

01; 02

© 1991

НЕКОТОРЫЕ ЭФФЕКТЫ ДАЛЬНОДЕЙСТВУЮЩЕГО РАДИАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ НЕСКОЛЬКИХ КВАНТОВЫХ ЗАРЯДОВ

С.Т. З а в т р а к

Цель настоящей статьи состоит в том, чтобы показать возможность образования нового вида связанных состояний нескольких квантовых частиц в поле мощной электромагнитной волны.

Недавно в работах [1-5] было установлено, что наличие поля внешней электромагнитной волны может приводить не только к существенному изменению обычного потенциала взаимодействия заряженных частиц, но и к появлению дальнедействующих радиационных сил. Указанная модификация обусловлена тем, что на каждую из частиц, помимо внешней волны, воздействует также и поле, рассеянное соседней частицей. Радиационное взаимодействие классических зарядов и магнитных моментов рассмотрено в работах [1-4]. Квантовая теория этого явления построена в [5]. В работе [5] получено общее выражение для эффективного потенциала взаимодействия двух квантовых зарядов в присутствии внешней волны, учитывающее релятивистские эффекты, переизлучение зарядов и запаздывание во времени при распространении рассеянных волн от одного заряда к другому. Когда одна из частиц очень тяжела, то в нерелятивистском приближении и в случае не слишком сильных полей оно переходит в выражение для хорошо известного потенциала Крамерса-Ханнеберга [6-8]. Последний соответствует водородоподобному атому в поле высокочастотной электромагнитной волны. Потенциал Крамерса-Ханнеберга не учитывает перерассеяние зарядов, поэтому не содержит дальнедействующих радиационных сил. Поскольку дальнедействующие силы наиболее эффектно проявляются для частиц примерно одинаковой массы и абсолютных величин зарядов, приведем выражения для потенциалов взаимодействия двух электронов ($V_{e^-e^-}$) и электрона с позитроном ($V_{e^-e^+}$) в квадратичном по внешнему полю приближении в дальней зоне $kr \gg 1$ (\vec{k} - волновой вектор внешней плоской линейно поляризованной волны, \vec{r} - радиус-вектор относительного расстояния между зарядами), следующие из работы [5]:

$$V_{e^-e^-} \approx \frac{e^2}{r} \left\{ 1 + \frac{e^2 E_0^2}{2m^2 \omega^2 c^2} - \frac{e^2 (E_0^2 - (\vec{E}_0 \cdot \vec{n})^2)}{2m^2 \omega^2 c^2} \cos \vec{k} \cdot \vec{r} \cos kr \right\}, \quad (1)$$

$$V_{e^-e^+} \approx \frac{e^2}{r} \left\{ 1 + \frac{e^2 E_0^2}{2m^2 \omega^2 c^2} + \frac{e^2 (E_0^2 - (\vec{E}_0 \cdot \vec{n})^2)}{2m^2 \omega^2 c^2} \cos \vec{k} \cdot \vec{r} \cos kr \right\}. \quad (2)$$

Здесь e - заряд электрона, m - его масса, \bar{E}_0 - амплитуда напряженности электрического поля внешней волны, c - скорость света, $\omega = ck$.

Эффективный потенциал взаимодействия электрона (или позитрона) с более тяжелой частицей, например с протоном (p), как уже отмечалось выше, соответствует потенциалу Крамерса-Ханнеберга, который в дальней зоне не отличается от обычного кулоновского, т.е. $V_{e-p} \approx -e^2/r$, $V_{e+p} \approx e^2/r$. Это связано с тем, что протон „дрожит“ во внешнем поле и рассеивает менее эффективно, чем более легкие электрон и позитрон.

В присутствии внешней волны на кулоновские потенциалы $V_{e^-}e^-$ и $V_{e^+}e^+$ накладывается рябь. С классической точки зрения, возможно образование связанных состояний пары электронов [1, 3], отвечающих минимумам $V_{e^-}e^-$. Но с квантовой это невозможно ввиду того, что всюду $V_{e^-}e^- > 0$.

Ситуация становится своеобразной, когда рассматривается система из трех и более частиц, например атом водорода + позитрон. Будем считать, что последние разнесены достаточно далеко друг от друга. Гамильтониан такой системы в присутствии внешней высокочастотной волны

$$\hat{H} = \hat{H}_{at} + V_{e^-}e^+ + V_{e^+}p + T_{e^+} = \quad (3)$$

$$= \hat{H}_{at} + T_{e^+} - \frac{e^4 \bar{E}_0^2}{2m^2 \omega^2 c^2 r} \left\{ 1 + \left(1 - \frac{(\bar{E}_0 \cdot \bar{n})^2}{E_0^2} \right) \cos \vec{k} \cdot \vec{r} \cos kr \right\}$$

Здесь \hat{H}_{at} - гамильтониан атома водорода (с потенциалом Крамерса-Ханнеберга), T_{e^+} - кинетическая энергия позитрона, \vec{r} - радиус-вектор относительного расстояния между ядром атома водорода и позитроном. Из полученного выражения видно, что эффективный потенциал взаимодействия системы атом водорода-позитрон является знакопеременной функцией \vec{r} и образует совокупность потенциальных ям. Это приводит к принципиальной возможности образования нового вида связанных состояний с энергией связи порядка

$$E_{cb} \sim - \left(\frac{e^2}{\alpha_0} \right) \left(\frac{\alpha_0}{\lambda} \right) \left(\frac{e^2 \bar{E}_0^2}{m^2 \omega^2 c^2} \right), \quad (4)$$

где $\alpha_0 = 0,529 \cdot 10^{-8}$ см - атомная единица длины, $e^2/\alpha_0 = 27,21$ эВ - атомная единица энергии. Стоящий в скобках (4) параметр $e^2 \bar{E}_0^2 / m^2 \omega^2 c^2$ на сегодняшний день вполне может достигать значений порядка нескольких единиц и даже десятков [8]. При длине волны $\lambda = 1$ мкм и достаточной мощности внешнего воздействия вполне можно достигнуть значений E_{cb} порядка нескольких сотых и даже десятых эВ. Аналогичным образом могут образовываться и связанные состояния в системе позитроний - позитрон или позитроний - электрон. Такого рода связанные состояния очень похожи на те, которые были недавно обнаружены в акустике между дисперсными частицами

в поле звуковой волны в жидкости [9, 10] (последние в цитируемых работах названы состояниями зависания). Все это подтверждает общую природу и универсальный характер радиационных сил.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Завтрак С.Т. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 14-16.
- [2] Завтрак С.Т. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 16. С. 13-16.
- [3] Z a v t r a k S.T. // J. Phys. A: Math. Gen. 1990. V. 23. N 9. P. 1493-1499.
- [4] Z a v t r a k S.T. // J. Phys. A: Math. Gen. 1990. V. 23. N 12. P. L599-L602.
- [5] Завтрак С.Т., Комаров Л.И. // Теоретическая и математическая физика. 1990. Т. 84. В. 3. С. 431-445.
- [6] C h o i C.K., H e n n e b e r g e r W.C. and S a n d e r s F.C. // Phys. Rev. A. 1974. V. 9. N 5. P. 1895-1897.
- [7] G a v r i l a M., K a m i n s k i i J.Z. // Phys. Rev. Lett. 1984. V. 52. N 8. P. 613-616.
- [8] P o n t M. // Phys. Rev. A. 1989. V. 40. N 10. P. 5659-5672.
- [9] Дойников А.А., Завтрак С.Т. // Акустический журнал. 1989. Т. 35. В. 2. С. 256-259.
- [10] Дойников А.А., Завтрак С.Т. // Акустический журнал. 1990. Т. 36. В. 3. С. 429-432.

Белорусский государственный
университет им. В.И. Ленина,
Минск

Поступило в Редакцию
25 ноября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 2

26 января 1991 г.

05.1; 11

© 1991

ОБРАЗОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР
НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
ПРИ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

В.В. А по п л о н о в, А.М. П р о х о р о в,
А.В. Ш м а к о в, В.А. Ш м а к о в

Периодические структуры на поверхности твердых тел, возникающие при действии лазерного излучения, обычно рассматриваются как результат пространственно-неоднородного разогрева поверхности в интерференционном поле падающего излучения и образующейся