

## Правила отбора в сильных и сверхсильных лазерных полях.

Андреев Анатолий Васильевич <sup>1</sup>,

профессор, доктор физико-математических наук,

Стремоухов Сергей Юрьевич <sup>2</sup>,

студент,

Шутова Ольга Анатольевна,

научный сотрудник МЛЦ МГУ, кандидат физико-математических наук.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия.

E-mail: [sustrem@gmail.com](mailto:sustrem@gmail.com)

Проблема взаимодействия атома со сверхсильными лазерными полями активно исследуется на протяжении последних двадцати лет, в течение которых наблюдались экспериментально и объяснялись теоретически такие явления как надпороговая ионизация, генерация высоких гармоник и суперконтинуума, стабилизация скорости ионизации и другие. Важнейшим параметром задачи о взаимодействии атома с полем является отношение напряженности поля волны к напряженности внутриатомного поля. В области субатомных полей отклик атома представляет собой ограниченный спектр, содержащий только нечетные гармоники, что соответствует дипольным правилам отбора, а частота отсечки этого спектра линейно зависит от пондеромоторного потенциала и интенсивности. Однако при приближении напряженности поля волны к величине внутриатомного поля в этой зависимости происходит качественное изменение, она начинает насыщаться. Недавно была предложена и развита новая теория, позволяющая описывать эти явления [1-4]. Согласно данной теории, в случае взаимодействия атома с плоской волной, полный гамильтониан системы может быть преобразован к следующему виду:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \left[ \frac{1}{2m} \left( \vec{p} - \frac{e}{c} \vec{A} \right)^2 + U \right] \psi = V^{-1} \left[ \frac{\vec{p}^2}{2m} + U \right] V \psi,$$

где  $V = \exp\left(-\frac{ieAr}{\hbar c}\right)$  - оператор эволюции.

Настоящая работа посвящена исследованию зависимости между характером отклика и симметричными свойствами волновых функций атома, взаимодействующего с электромагнитным полем. В полях невысокой напряженности гамильтониан взаимодействия атома с внешним полем можно рассматривать как возмущение, поэтому отклик атома может рассчитываться на основе традиционного подхода, состоящего в том, что в качестве базиса разложения выбираются собственные функции свободного атома. Но при этом повышение напряженности внешнего электромагнитного поля приводит к тому, что симметрия волновой функции атома, взаимодействующего с внешним полем, перестает быть центральной, поскольку электромагнитная волна имеет три выделенных направления в пространстве, связанных с векторами напряженности электрического и магнитного поля и волнового вектора. Влияние векторов магнитного поля и волнового вектора на симметрию волновой функцию становится существенным лишь при релятивистской напряженности поля лазерной волны, вследствие чего нами не учитывается.

В рамках развиваемого подхода исследованы матричные элементы ионизационного перехода, выявлены их нелинейные зависимости от интенсивности лазерного поля. В силу сложности используемых волновых функций и громоздкости вычислений были исследованы матричные элементы для 6 значений орбитального квантового числа ( $l=0-5$ ). Анализ данных матричных элементов показал, что в слабых полях основной вклад в ионизационный процесс дают переходы из основного состояния в состояние непрерывного спектра с орбитальным квантовым числом  $l=1$ . Однако увеличение поля приводит к увеличению вкладов состояний с большим значением орбитального квантового числа, а сами матричные элементы представляют собой нелинейные

функции поля. Например, для матричных элементов переходов из основного состояния в состояние континуума с угловым моментом  $l = 0$  получаем

$$\langle 1s|V|k, l=0\rangle = \frac{2k \exp\left(\frac{\pi}{2k}\right) \Gamma\left(1 - \frac{i}{k}\right)}{ia} \left( \frac{{}_2F_1\left(1 + \frac{i}{k}, 2, 2, \frac{2ik}{1+ik-ia}\right)}{(1+ik-ia)^2} - \frac{{}_2F_1\left(1 + \frac{i}{k}, 2, 2, \frac{2ik}{1+ik+ia}\right)}{(1+ik+ia)^2} \right)$$

где  $a = 2T(t) \frac{E}{E_{at}}$ .

Дальнейший анализ правил отбора привел к получению зависимости вероятности ионизации от азимутального угла для различных значений импульсов ионизованных электронов и различных значений пиковой напряженности электрического поля импульса. Показано, что с увеличением напряженности поля эти зависимости усложняются.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-02-16764).

#### Литература

1. Андреев А.В. “Взаимодействие атома со сверхсильными полями” ЖЭТФ, 1999, т.116, вып. 3(9), с. 793-806.
2. A.V. Andreev, O.A. Shoutova “Single hydrogen like atom ionization by ultrastrong laser field: Nonperturbative approach”, Physics Letters A, 2006, v. 350, Issues 3-4, p.309-314.
3. Андреев А.В., Стремоухов С.Ю., Шутова О.А. “Ионизация водородоподобного атома сильным лазерным полем: частота отсечки, генерация высоких гармоник, скорость ионизации” . Сборник тезисов конференции “Ломоносов -2006”, секция “Физика”, том 1, с. 192-193.
4. Андреев А.В., Стремоухов С.Ю., Шутова О.А. “Взаимодействие электромагнитного поля околоатомной напряженности с одиночным водородоподобным атомом”, Научная сессия МИФИ-2007, том 5, с. 198-199.

<sup>1</sup> Научный руководитель. E-mail: [av\\_andreev@phys.msu.ru](mailto:av_andreev@phys.msu.ru)

<sup>2</sup> Докладчик.