УДК 539.182

Измерение квантового состояния электрона в ридберговских атомах

И.А. Лучников

Московский физико-технический институт (государственный университет)

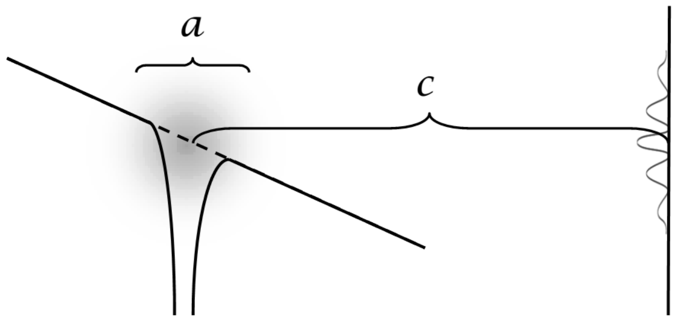
Ожидается, что микроскопия волновой функции окажется сильным инструментом в томографии квантовых состояний. Этот метод был реализован в эксперементах с водородом[1], ксеноном[2] и литием[3]. Основная идея заключается в оптическом возбуждении атомов, находящихся в электрическом поле, на уровни с большими квантовыми числами. Под действием поля электрон тунелирует, после чего регистрируется на экране. После большого числа повторений данного эксперемента, на экране образуется интерференционная картина, которую можно использовать для анализа волновой функции.

Было разработано теоретическое описание данного эксперемента. Найдена связь между интерференционной картиной, которая регистрируеться на экране и структурой сильно возбужденного состояния атома. Была использована следующая модель. Система рассматривалась как ридберговский атом расположеный в слабом, постоянном и однородном электрическом поле. Показано, что в рассматривоемой задаче можно пренибречь собственным потенциалом атома.

Используя описаные выше приближения, можем выписатьзависимость зависимость волновой функции возбужденного электрона от времени.

$$\psi(T,\mathbf{x}) = \frac{1}{Z}\int e^{i\left(\frac{(\mathbf{x}-\mathbf{y})^2}{2T}+\frac{1}{2}\mathbf{E}(\mathbf{x}+\mathbf{y})\mathrm{T}\right)}\psi(\mathbf{y})d^3y$$

Здесь Z нормировочная константа.



Ридберговский атом в постоянном электрическом поле.

Атом раполагается далеко от экрана по сравнению с его хоррактерными размерами $c \gg a$, $|\mathbf{E}|T^2 \gg a$ и $\frac{|\mathbf{E}|T^2}{2} \approx c$, здесь $\frac{|\mathbf{E}|T^2}{2}$ хоррактерное расстояние между атомом и электроном. Используя этои соотношения, можно получит приближенное выражение для волновой функции:

$$\psi(T,\mathbf{x}) = \frac{\sqrt{2\pi}}{Z} e^{i\left(\frac{\mathbf{x}^2+\mathrm{T}^2\mathbf{E}\mathbf{x}}{2T}\right)}\tilde{\psi}\left(\frac{2\mathbf{x}-\mathrm{T}^2\mathbf{E}}{2T}\right)$$

$$|\psi(T,\mathbf{x})|^2 = \frac{2\pi}{Z^2}\left|\tilde{\psi}\left(\frac{2\mathbf{x}-\mathrm{T}^2\mathbf{E}}{2T}\right)\right|^2$$

Здесь $\tilde{\psi}$ фурье образ начальной волновой функции. Можно показать, что за време пролета через экран, характерные размеры волновой функции почти не меняются. Пользуясь этим утверждением можно получить связь фурье образа начальной волновой функции и интерференционной картины:

$$I(x,y)=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{2\pi}{Z^2}\left|\tilde{\psi}\left(\frac{2\mathbf{x}-\frac{2c}{|\mathbf{E}|}\mathbf{E}}{\sqrt{\frac{4c}{|\mathbf{E}|}}}\right)\right|^2 dz$$

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-32-00778

Литература

1. *A. S. Stodolna, A. Rouzee, F. Lepine, S. Cohen, F. Robicheaux, A. Gijsbertsen, J. H. Jungmann, C.Bordas, and M. J. J. Vrakking.* Hydrogen Atoms under Magnification: Direct Observation of the Nodal Structure of Stark States // Phys. Rev. Lett. 110, 213001 (2013).
2. *C. Nicole, I. Sluimer, F. Rosca-Pruna et al*. Slow photoelectron imaging // Phys. Rev. Lett. 85(19), 4024 (2000).
3. *S. Cohen, M.M. Harb, A. Ollagnier et al.* Wave function microscopy of quasibound atomic states // 110(18), 183001 (2013).