

Прецизионное тестирование квантовой электродинамики для связанных состояний во внешнем магнитном поле

Физические науки. Санкт-Петербургский государственный университет.

Квантовая электродинамика (КЭД) на сегодня является наиболее хорошо разработанной и детально протестированной теорией поля. В этом качестве она служит образцом для других квантовопольных моделей, а её согласие с экспериментом – одним из важнейших аргументов в защиту Стандартной Модели. Совместные экспериментальные и теоретические исследования многозарядных ионов позволяют осуществить проверку КЭД в области сильной связи, где неприменимо разложение по параметру αZ (α – постоянная тонкой структуры, Z – заряд ядра).

Безразмерная характеристика магнитного момента – g -фактор – является одной из наиболее точно измеримых величин в квантовой физике. Сравнение теории и эксперимента для g -фактора свободного электрона с точностью порядка 10^{-13} позволяет с беспрецедентной точностью определять постоянную тонкой структуры и тестировать соответствующий сектор КЭД. В то же время, g -фактор связанного электрона в поле ядра открывает доступ к другим фундаментальным константам и ядерным параметрам. Так, совместные экспериментальные и теоретические исследования g -фактора лёгких водородоподобных ионов привели к наиболее точному на сегодня определению массы электрона. Проекты дальнейших исследований, которые позволят с высокой точностью независимо определять α и магнитные моменты ядер, а также тестировать КЭД в области сильной связи, требуют рассмотрения различных зарядовых состояний одного элемента (водородо-, литие- и бороподобные ионы).

Первые высокоточные измерения g -фактора с ионом захваченным в магнитной ловушке были выполнены для водородоподобных ионов в университете Майнца в Германии в 2000 году. В 2012 году был проведён первый подобный эксперимент для многоэлектронной системы – литиеподобного иона кремния $^{28}\text{Si}^{11+}$. Недавно было выполнено новое измерение, точность которого составила $1.4 \cdot 10^{-10}$ – в 15 раз лучше, чем в 2012 году. Одновременно с этим, в последние десятилетия интенсивно развивалась теория g -фактора многозарядных ионов. В недавней совместной работе теоретиков из СПбГУ и экспериментаторов из Германии представлено беспрецедентное по точности сравнение теории и эксперимента для многоэлектронных систем. Погрешность теоретического значения g -фактора литиеподобного кремния составляет $3.4 \cdot 10^{-9}$ и определяется в основном недоступными пока двухпетлевыми диаграммами. Согласие между теорией и экспериментом на этом уровне позволяет рассчитывать на успешное независимое определение α и ядерных магнитных моментов в предстоящих исследованиях.

Этот результат получен в ходе многолетнего развития квантовоэлектродинамической теории многозарядных ионов на кафедре квантовой механики физического факультета СПбГУ.

Результат опубликован в работе:

D. A. Glazov, F. Köhler-Langes, A. V. Volotka, K. Blaum, F. Heisse, G. Plunien, W. Quint, S. Rau, V. M. Shabaev, S. Sturm, and G. Werth,

“ g Factor of Lithiumlike Silicon: New Challenge to Bound-State QED”,

Physical Review Letters 123, 173001 (2019).

DOI:10.1103/PhysRevLett.123.173001