

Отзыв  
научного консультанта на диссертацию  
Дмитрия Анатольевича Соловьева  
«Теоретические аспекты процессов фотонного рассеяния в приложениях к прецизионным  
спектроскопическим экспериментам и астрофизике»,  
представленную для защиты ученой степени доктора физико-математических наук

Атомная спектроскопия играет особую роль в общей структуре современной фундаментальной физической науки. С теории атомных спектров начиналась квантовая механика, одна из двух великих физических теорий вместе с теорией относительности, легших в основу современной Стандартной Модели. Экспериментальная атомная спектроскопия является самой точной отраслью современной физики, позволяющей измерить характеристики атомов с восемнадцатью значащими цифрами, а теория атомных спектров способна с такой же точностью рассчитать эти характеристики.

В настоящее время атомная спектроскопия переживает очередной кризис роста, когда достигнутая степень точности измерений требует новых подходов для описания этих измерений. Речь идет о резонансной спектроскопии, которая после создания лазеров является главным инструментом всех спектроскопических исследований. Квантовая теория резонансных явлений до сих пор чрезвычайно хорошо описывала все спектроскопические измерения в атомах. Первые упоминания о так называемых нерезонансных поправках появились в наших работах (L. Labzowsky, V. Karasev and I. Goidenko, J. Phys. B 27, L439 (1994); L.N. Labzowsky, D.A. Solovyev, G. Plunien and G. Soff, Phys. Rev. Lett. 87, 143003 (2001)); а также в работах ученых из института стандартов США (U.D. Jentschura and P.J. Mohr, Can. J. Phys. 80, 633 (2002)). Поначалу эти поправки упоминались в литературе лишь как возможные пределы точности существующей теории резонансной спектроскопии.

Большую роль в установлении нового уровня точности в атомной спектроскопии, включающего также учет нерезонансных поправок, сыграли работы группы Г. Хёнша из института квантовой оптики Макса Планка в Гарчинге (Германия) по сверхточному измерению частот переходов в атоме водорода. В конце концов в работе A. Beyer et al., Science 358, 79 (2017) впервые были опубликованы измерения, где явным образом присутствовали нерезонансные поправки. Применение теории нового уровня к описанию прецизионных атомных экспериментов стало после этого необходимым.

Такая теория была развита в работах Д.А. Соловьева, появившихся в течение двух последних десятилетий. Основная идея этой теории заключалась в том, что все атомные процессы следует рассматривать как переходы от начального стабильного состояния до конечного стабильного состояния. Резонансное приближение описывает лишь главную часть процесса резонансного возбуждения атома лазерным излучением, игнорируя его начало и конец. Начало заключается в приготовлении исходного состояния (если это не основное состояние атома), конец заключается в распаде конечного состояния до тех пор пока атом не придет вновь в основное или метастабильное состояние. Эта зависимость характеристик процесса (частоты перехода) от начала и конца как раз и содержится в нерезонансных поправках. В связи с этим возникает вопрос что назвать частотой перехода. В резонансном приближении контур спектральной линии симметричен относительно частоты перехода в атоме, не возмущенном процессом измерения. Нерезонансные поправки делают контур асимметричным. Как определять частоту в этом случае подробно исследуется в работах Д.А. Соловьева.

В работах Д.А. Соловьева рассматривается также целый ряд других важных проблем, связанных с нерезонансными поправками, например, зависимость нерезонансных поправок от геометрии эксперимента, т.е. от угла между направлением лазерного луча и направлением на детектор в лабораторной системе. Очень важной представляется также проблема влияния каскадов при распаде конечного состояния. Эта проблема впервые была осознана и рассмотрена в работах Д.А. Соловьева. Если распад конечного состояния включает в себя также каскадные процессы, то необходимо учитывать нерезонансные поправки в каскадах. Благодаря этим поправкам нарушается и широко используемая в резонансной спектроскопии особенность атомных спектров: эквивалентность спектральных контуров для процессов возбуждения и распада, происходящих между одними и теми же атомными состояниями.

В целом работы Д.А. Соловьева представляют собой весьма важный и современный вклад в бурно развивающуюся прецизионную атомную спектроскопию. Этот вклад несомненно соответствует степени доктора физико-математических наук.

д. ф.-м. н., профессор Л. Н. Лабзовский.

11.04.24г.

