

## ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертации Герасимова Романа Евгеньевича "Радиационные поправки к сечению электрон-протонного рассеяния в экспериментах по изучению вклада двухфотонного обмена и измерению зарядового радиуса протона", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Радиационные поправки к сечению электрон-протонного рассеяния начали вычисляться лет семьдесят тому назад, и конца этому изучению не видно. Вообще радиационные поправки — тема неисчерпаемая, а для рассеяния электрона на протоне её неисчерпаемость усугубляется сложной структурой протона, из-за которой невозможно использовать стандартную теорию возмущений квантовой электродинамики. Основная цель экспериментов по рассеянию электронов на протонах — извлечь сведения о структуре протона. В борновском приближении по электромагнитному взаимодействию эта структура описывается двумя формфакторами: электрическим  $G_E(q^2)$  и магнитным  $G_M(q^2)$ , зависящими от передачи импульса  $q$ . Эксперименты по их измерению начались еще раньше вычисления радиационных поправок, и долгое время велись в мире и согласии, но лет двадцать тому назад возникло противоречие между измерениями отношения  $G_E/G_M$  в экспериментах по рассеянию неполяризованных частиц и по измерению поляризации протона отдачи при рассеянии поляризованного электрона, заставившее теоретиков вновь вернуться к теме радиационных поправок. А лет десять тому назад возникло новое противоречие, между измерениями электрического радиуса протона  $r_E$  ( $r_E^2 = -6G'_E(0)$ ) в экспериментах по рассеянию электрона и спектроскопиям электронного и мюонного водорода. Эти противоречия не разрешены окончательно до сих пор, так что тема диссертации безусловно актуальна.

Диссертация состоит из введения, четырех глав основной части, заключения, двух приложений и списка литературы.

Во введении дается краткий обзор современного состояния эксперимента и теории электрон-протонного рассеяния, формулируются цели работы, новизна и значимость полученных результатов, основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе рассматривается борновское приближение для упругого рассеяния электронов на протонах, приводятся формулы, используемые для извлечения формфакторов протона из экспериментов по рассеянию неполяризованных частиц и по рассеянию поляризованных электронов, и для определения радиуса протона.

Вторая глава посвящена сравнению различных подходов, используемых при вычислении радиационных поправок к сечению электрон(позитрон)-протонного рассеяния. Исследуется расхождение между использовавшимися при обработке экспериментов результатами работ Мо и Тсяя и более поздними результатами Максимова и Тьена. Особое внимание уделяется анализу приближений, используемых двумя группами авторов. Обсуждается влияние процедуры учета радиационных поправок на измеряемое отношение формфакторов протона.

В третьей главе рассмотрен вклад резонанса Delta (1232) в радиационные поправки к сечению электрон(позитрон)-протонного рассеяния за счет излучения реальных фотонов. Для ранее проведенных экспериментов по измерению сечений процессов с неполяризованными частицами, а также для недавнего эксперимента ВЭПП-3 по исследованию эффектов двухфотонного обмена этот вклад оказывается мал.

В четвертой главе рассматриваются радиационные поправки в эксперименте по измерению радиуса протона в такой его постановке, когда в конечном состоянии регистрируется протон отдачи. Наибольшие радиационные поправки, содержащие большие логарифмы от мягких и коллинеарных фотонов, связаны с излучением фотонов, реальных и виртуальных, электроном. Показано, что эти вклады сокращаются, причем сокращаются не только большие логарифмы, но и константы при них.

В заключении перечислены основные результаты, представленные в диссертации.

Научная новизна и достоверность представленных к защите результатов не вызывает сомнений.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, а ее результаты полностью отражены в опубликованных работах.

Диссертационная работа Р.Е. Герасимова является законченным научным исследованием. Она удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель  
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН

В.С. Фадин

31 мая 2020г.

подпись В.С. Фадин подтверждает  
Ученый секретарь ИЯФ СО РАН  
к.ф.-м.н.

1.06.2020г.



А.С. Аракчеев.