

**ОТЗЫВ  
официального оппонента на диссертацию  
Козырева Евгения Анатольевича**

на тему  
**«Изучение процессов  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$  и  $\gamma^*\gamma^* \rightarrow \eta'(958)$  в эксперименте BABAR»**  
по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Актуальность темы**

В диссертации выполнено измерение энергетической зависимости сечения  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$  в диапазоне 1.15–3.50 ГэВ и измерен переходный формфактор  $\eta'(958)$  мезона в дважды виртуальной области. Сечение рождения  $\pi^+\pi^-\eta$  позволяет изучать свойства возбужденных  $\rho$  мезонов, проверять гипотезу о сохранении векторного тока и необходимо для определения вклада данного процесса в поляризацию вакуума. Переходный формфактор позволяет проверять предсказания КХД в области средних энергий. Все эти вопросы являются актуальными.

**Обоснованность научных выводов, достоверность результатов**

В работе используются данные эксперимента BABAR, имеющие высокое качество, моделирование физических процессов выполнено подробно и точно, моделирование детектора хорошо откалибровано. Исследования выполнены на высоком уровне, сделаны необходимые проверки и подробно изучены систематические погрешности. Все это позволяет заключить, что представленные в работе научные выводы обоснованы и результаты достоверны.

**Новизна полученных результатов**

Сечение  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$  измерено более точно, чем в предыдущих экспериментах. При этом в диапазоне 1.15–3.50 ГэВ сечение измерено впервые. Процесс  $e^+e^- \rightarrow \eta'(958) e^+e^-$  впервые обнаружен с регистрацией обоих конечных электронов, впервые измерен переходный формфактор  $\eta'(958)$  мезона в дважды виртуальной области. Новизна результатов не вызывает сомнений.

**Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

В работе измерены параметры  $\rho(1450)$ ,  $\rho(1700)$  и  $\rho(2230)$  резонансов. На основании полученной зависимости  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$  сечения от энергии сделано предсказание вероятности распада  $\tau^- \rightarrow \pi^-\pi^0\eta v_\tau$  с использованием гипотезы о сохранении векторного тока. Согласие с прямым измерением находится на уровне 2.7 стандартных отклонения и мотивирует повышение точности прямых измерений. Выполнена оценка вклада процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$  в адронную поляризацию вакуума и аномальный момент мюона. Проведено сравнение предсказаний КХД и модели векторной доминантности для переходного формфактора  $\eta'(958)$  мезона в дважды виртуальной области. Сделано заключение о независимости формфактора от амплитуды  $\eta'(958)$  и о справедливости теоремы о факторизации. Таким образом,

представленные результаты имеют высокую теоретическую и практическую значимость.

### **Оценка содержания диссертации, её завершенность**

В диссертации, помимо самих экспериментальных измерений, выполнено изучение следствий из полученных результатов, к которому относятся проверка гипотезы о сохранении векторного тока, расчет вклада изучаемого процесса в поляризацию вакуума, сравнения переходного формфактора с предсказаниями КХД и модели векторной доминантности. Работа выглядит завершенной.

### **Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации**

Диссертация написана живым и ёмким языком. Видно, что автор глубоко понимает обсуждаемые вопросы. Приведено много существенных деталей, имеется достаточное количество иллюстративного материала. Диссертация содержит большую теоретическую составляющую. Так, автор самостоятельно получает теоретические следствия из выполненных измерений, а также хорошо ориентируется в моделировании изучаемых процессов. Автор продемонстрировал отличное владение разнообразными экспериментальными техниками. Диссертационная работа выполнена на высоком уровне, ее автор является квалифицированным сложившимся ученым.

Выскажем несколько замечаний.

В распределениях, показанных на рисунках 13, 18 и 24, видны различные нерегулярности: пики, ступеньки, скачки. Не хватает обсуждения причин их возникновения.

При фитировании спектров инвариантных масс двух фотонов при разных энергиях (Рис. 26 – 31) пикующийся фон вычитается из данных. Ввиду малости количества событий в некоторых гистограммах, более строгий подход состоит в добавлении пикующегося фона к фитирующей функции.

В работе выполнена поправка измеренной энергетической зависимости сечений на разрешение по энергии. Значение разрешения взято из моделирования. Было бы желательно указать, есть ли различие между данными и моделированием для разрешения и какова связанная с ним систематическая погрешность в поправленных сечениях. Аналогичный вопрос по поводу разрешения по инвариантной массе двух фотонов, которое используется при нахождении выхода сигнальных событий.

Требования на энергию и на импульс комбинаций  $e^+e^- \eta'(958)$  имеют не очень высокую эффективность для сигнала (Рис. 63). Видно, что здесь приходится «резать по живому». В диссертации не указано, как именно были выбраны оптимальные критерии отбора.

В работе имеется ряд неточностей. Например, на Рис. 10 неверно подписана ось (вместо  $q^2$  должно быть просто  $q$ ), подписи к рисункам 40 и 41 не содержат описания всех представленных на них распределений. Эти неточности, в целом, не мешают восприятию материала.

Отмеченные недостатки не снижают высокий уровень исследований, представленных в диссертации.

## **Соответствие автореферата основному содержанию диссертации**

Автореферат полностью соответствует основному содержанию диссертации.

### **Заключение**

Диссертация Козырева Евгения Анатольевича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой измерена энергетическая зависимость сечения  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$  в диапазоне 1.15–3.50 ГэВ и измерен переходный формфактор  $\gamma^*\gamma^* \rightarrow \eta'(958)$  в дважды виртуальной области, что вносит значимый вклад в развитие современной физики элементарных частиц и соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент,  
Мизюк Роман Владимирович,  
доктор физико-математических наук,  
специальность 01.04.23 - физика высоких энергий,  
член-корреспондент Российской академии наук,  
почтовый адрес: г. Москва, Плавский проезд, 1/292,  
телефон: +7 (903) 775-29-46,  
адрес электронной почты: mizuk@lebedev.ru  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физический институт имени П. Н. Лебедева  
Российской академии наук, г. Москва,  
главный научный сотрудник  
лаборатории тяжелых кварков и лептонов

08.09.2020

  
Р. В. Мизюк

