



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XVII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

РОССИЯ, ТОМСК, 21 – 24 апреля 2020 г.

Том 1. Физика

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Abstracts
XVII International Conference of Students
and Young Scientists

RUSSIA, TOMSK, April 21 – 24, 2020

Volume 1. Physics

МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ РОЖДЕНИЯ СКАЛЯРНОГО МЕЗОНА $a_0(980)$
В ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ

К.А. Шарко, А.Г. Чумаков

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.Е. Любовицкий

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: konstantin.a.sharko@gmail.com

MONTE-CARLO SIMULATION OF $a_0(980)$ SCALAR MESON PRODUCTION
IN ELECTRON-POSITRON ANNIHILATION

K.A. Sharko, A.G. Chumakov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.E. Lyubovitskij

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: konstantin.a.sharko@gmail.com

Abstract. In this work we develop a Monte-Carlo (MC) simulation framework for analysis of the $a_0(980)$ scalar meson production in electron-positron annihilation. Obtained results reproduce predictions of theoretical and experimental studies. Proposed MC framework can be successfully used in running and future experiments.

Введение. Теоретическое и экспериментальное исследование электрон-позитронной аннигиляции в адроны является актуальной задачей, поскольку позволяет получить дополнительную информацию о структуре адронов и их свойствах. В частности, оно позволяет определить электромагнитные форм-факторы адронов, ширины распадов, пролить свет на механизм нарушения G -чётности в двухпионном распаде ω -мезона, исследовать рождение и распады экзотических состояний, таких как адронные молекулы и тетракварки. Кроме того, сечение электрон-позитронной аннигиляции в адроны дает важный вклад в прецизионное определение аномального момента мюона.

В работе [1] рассмотрен процесс рождения скалярного мезона $e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow \gamma S$ (диаграмма Фейнмана приведена на рисунке 1), где для данного процесса получено дифференциальное сечение рассеяния

$$\frac{d\sigma}{dt}(e^+e^- \rightarrow \gamma S) = \frac{4\pi\alpha\Gamma(S \rightarrow \gamma\gamma)|F_{\gamma^*\gamma S}(s)|^2}{M_S^3} \times \left[1 + \frac{2t}{s} - \frac{2M_S^2}{s} + \frac{2t^2}{s^2} - \frac{2M_S^2 t}{s^2} + \frac{M_S^4}{s^2} \right].$$

Здесь $\Gamma(S \rightarrow \gamma\gamma)$ – ширина распада скалярного мезона в два фотона, зависящая от константы взаимодействия g , определённой на его массовой поверхности,

$$\Gamma(S \rightarrow \gamma\gamma) = \frac{\pi}{4} \alpha^2 g_{S\gamma\gamma}^2 M_S^3.$$

Форм-фактор $F_{\gamma^*\gamma S}(s)$, введённый в соответствии с правилами кваркового счёта в КХД, зависит от трёх параметров: масштабного параметра Λ и безразмерных параметров a и b ,

$$F_{\gamma^*\gamma S}(s) = \frac{1 + a\hat{s}}{1 - b\hat{s} + \alpha\hat{s}^2}, \quad \hat{s} = \frac{s}{\Lambda^2}.$$

Необходимым этапом проведения физического эксперимента является его моделирование. Для моделирования эксперимента в области физики высоких энергий применяется метод Монте-Карло, подразумевающий генерацию случайных событий с заданной функцией плотности вероятности. Целью

данной работы было провести Монте-Карло моделирование процесса рождения скалярного мезона $a_0(980)$ в электрон-позитронной аннигиляции в области энергии от 1000 до 2000 МэВ.

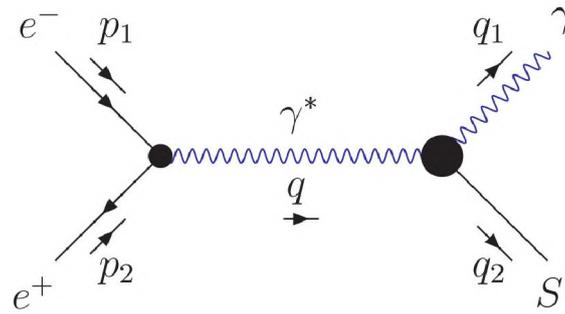


Рис. 1. Диаграмма Фейнмана рождения скалярного мезона

Моделирование. На языке C++ был спроектирован и реализован Монте-Карло фреймворк для процессов $2 \rightarrow 2$. Его назначение состоит в том, чтобы разделить реализации метода генерации псевдослучайных событий и описания физического процесса. Эта возможность обеспечивается двумя программными абстрактными классами, названными соответственно *VGenerator* и *VProcess*. Метод *MakeEvent()* возвращает массив 4-импульсов частиц в конечном состоянии.

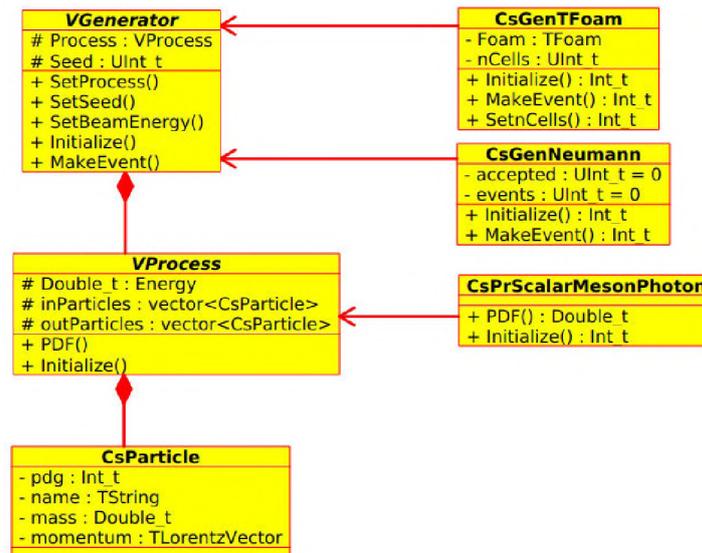


Рис. 2. UML диаграмма Монте-Карло генератора

На базе фреймворка реализован генератор для процесса рождения a_0 мезонов в электрон-позитронной аннигиляции. На рисунке 2 представлена UML диаграмма программного кода генератора. Классы *CsGenTFoam* и *CsGenNeumann* являются наследниками абстрактного класса *VGenerator* и реализуют метод FOAM [3] и метод фон Неймана соответственно. Класс *CsPrScalarMesonPhoton*, наследованный от абстрактного класса *VProcess*, описывает процесс рождения скалярного мезона.

В работе [1], используя экспериментальные данные работы [2], для мезона $a_0(980)$ были получены следующие оценки на параметры a , b и Λ :

$$a_{a_0} = 0,003^{+0,003}_{-0,002}, b_{a_0} = 0,090^{+0,042}_{-0,023}, \Lambda_{a_0} = 250 \pm 50 \text{ МэВ}.$$

Для других констант использовались значения $M_S = 980 \text{ МэВ}$, $\Gamma = 0,30 \text{ кэВ}$.

Результаты. С помощью генератора проведено Монте-Карло моделирование процесса $e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow \gamma a_0$ при энергиях процесса от 1000 МэВ до 2000 МэВ с шагом 25 МэВ. Для расчёта полного сечения использовался метод Неймана. На рисунке 3 представлено сравнение аналитических результатов работы [1], экспериментальных данных [2] и полного сечения, полученного в результате моделирования. Видно, что Монте-Карло моделирование воспроизводит значения функции, полученной аналитически.

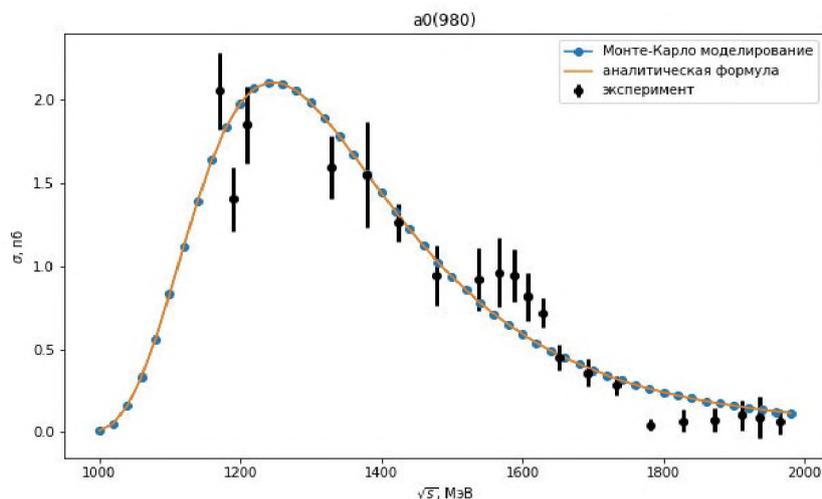


Рис. 3. Зависимость полного сечения рассеяния от энергии

Заключение. Разработан фреймворк для Монте-Карло моделирования процессов $2 \rightarrow 2$. Проведено Монте-Карло моделирование рождения скалярного мезона $a_0(980)$ в электрон-позитронной аннигиляции методом Неймана и методом FOAM. Полученная моделированием зависимость полного сечения рассеяния от энергии воспроизводит аналитическую функцию и экспериментальные значения. Результаты моделирования могут быть использованы в экспериментах на электрон-позитронных коллайдерах. Разработанный фреймворк может быть использован для моделирования других процессов взаимодействия частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chumakov, A.G., Gutsche, T., Lyubovitskij, V.E., & Schmidt, I. Role of QCD compositeness in the production of scalar and tensor mesons through single-photon annihilation $e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow \gamma S$ (T) // Physical Review D. – 2017. – 96(9). – P. 094018.
2. Achasov N.N., Goncharenko A.I., Kiselev A.V., Rogozina E.V. Comparative study of the production of scalar and tensor mesons in e^+e^- collisions // Phys. Rev. D – 2013. – Vol. 88. P. 114001
3. Brun R., Rademakers F. ROOT – An Object Oriented Data Analysis Framework // Proceedings AIHENP'96 Workshop, Lausanne, Sep. 1996, Nucl.Inst. & Meth. in Phys. Res.A. – 1997. – Vol. 389. – P. 81-86.