

УДК 539.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АССОЦИАТИВНОГО РОЖДЕНИЯ $J/\psi + \gamma$ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА SPD NICA

© Алимов Л.Э.

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: alimov.le@yandex.ru

Ассоциативное рождение  $J/\psi + \gamma$  в протонных столкновениях обсуждается уже в течение около 30 лет [1], но до сих пор нет экспериментально измеренных сечений рождения. Измерения ассоциативного рождения  $J/\psi + \gamma$  крайне важны для: во-первых, для уточнения функций распределения глюонов в протоне по поперечному импульсу [2, 3]; во-вторых, для чистого извлечения f-функции Сиверса [4; 5]; и также, для восстановления функцию Бура–Малдернса, которая позволит точнее определить распределение спина в протоне.

В эксперименте SPD на коллайдере NICA планируется изменение сечения ассоциативного рождения  $J/\psi + \gamma$  при энергии столкновения  $\sqrt{s} = 27$  ГэВ. Регистрация  $J/\psi$ -мезонов будет проводится путем регистрации продуктов распада – пары  $\mu^+\mu^-$  (бренчинг распада по этому каналу  $Br(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-) = 0.05961 \pm 0.00033$ ).

В работе проанализированы несколько типов фоновых процессов: комбинаторный фон в реакции  $J/\psi + \gamma$  – кандидатом в  $J/\psi$ -мезон принимается реальный  $J/\psi$ , а кандидатом в фотон принимается фотон, который не был ассоциирован с  $J/\psi$ ; фон  $J/\psi X$  – так же, кандидатом в  $J/\psi$ -мезон принимается реальные  $J/\psi$  и кандидатами в фотоны принимаются не ассоциированные фотон; фон событий minimal bias(MB), которые будут моделироваться с помощью класса процессов softQCD – кандидатами в  $\mu^+$  или в  $\mu^-$  принимаются мюоны соответствующего знака с вероятностью 100% и пионы соответствующего знака с вероятностью 1 %, соответственно, кандидат в  $J/\psi$  – всевозможные комбинации пар кандидатов в мюоны с вероятностью равной произведению вероятностей отбора составляющих. Фотоны рождаются преимущественно из распадов  $\pi^0$  (с вероятностью 98.798 %), которые рождены посредством механизма адронизации. Количество моделированных событий для комбинаторного фона и  $J/\psi X$ -фона  $N = 5 * 10^7$ , а для фона MB-процессов  $N = 10^9$ .

В данной работе проводится оценка соотношения сигнал-фон и предоставлен возможный набор кинематических ограничений, которые позволили бы выделить сигнальные события:  $|\cos\theta_{\mu^+}|, |\cos\theta_{\mu^-}| < 0.9$  – стандартное ограничение применяемое при реконструкции инклюзивных  $J/\psi$ ;  $2/(p_{\mu^-} - 0.11) + 0.11 < p_{\mu^+}$  – физическая природа которого понятна из того, что импульсы мюонов, рожденные через распад  $J/\psi$ , ограничены снизу массой  $m_{J/\psi} = 3.096$  ГэВ;  $|M_{\mu^+\mu^-} - m_{J/\psi}| < 40$  МэВ – естественное ограничение, выделяющее только тех кандидатов в  $J/\psi$ , инвариантные массы, которые находятся в окрестности массы состояния  $J/\psi$ ;  $p_{T\gamma} > 2.5$  ГэВ – ограничение, которое позволяет полностью отделить комбинаторный фон; ограничение на угол между кандидатом в фотон и остальными фотонами или заряженными частицами ( $\theta > 0.5$  рад) позволяет отделить большую часть  $J/\psi X$ -фона. В результате

применения данного набора получены коэффициенты эффективностей фонов (см. таблицу).

Таблица – Коэффициенты эффективностей фонов

требование	$J/\psi + \gamma$	$J/\psi X$	“minimal bias”
$ \text{Cos}\theta_{\mu^+} ,  \text{Cos}\theta_{\mu^-}  < 0.9$	0.67	0.65	0.75
$2/(p_{\mu^-} - 0.11) + 0.11 < p_{\mu^+}$	0.986	0.987	0.07
$ M_{\mu^+\mu^-} - m_{J/\psi}  < 40 \text{ МэВ}$	0.78	0.78	0.01
$p_{T\gamma} > 2.5$	0.06	$4 * 10^{-5}$	$10^{-4}$
$\theta > 0.5 \text{ рад}$	0.6	0.07	0.4
Полная эффективность	$1.8 * 10^{-2}$	$1.1 * 10^{-6}$	$2 * 10^{-8}$

Оценки выполнены с помощью моделирования реакций в Монте-Карло генераторе Pythia8, основанном на коллинеарной партонной модели [6] с дополнительным учетом ненулевых поперечных импульсов путем умножения компонент поперечных импульсов конечных частиц на распределение Гаусса с шириной, зависящей от характерных масштабов процессов [7]. Также была учтена экспериментальная погрешность измерения импульсов регистрируемых частиц ( $\Delta p \approx 1.5\%$ ).

По теоретическому полному сечению ( $\sigma = 0.33 \text{ нб}$ ), учитывая светимость коллайдера NICA  $L = 10^{32} \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2} = 0.1 \text{ с}^{-1}\text{нб}^{-1}$ , оценивается ожидаемое количество сигнальных событий в год, без учета эффективности отбора  $N_{\text{год}} = \sigma * L * T * Br(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-) \approx 22200$ . С учетом эффективности отбора и с учетом эффективности детектирования  $J/\psi$  ( $\approx 40\%$ ) было оценено количество сигнальных событий в год  $N_{\text{год}} \approx 190$ .

В исследовании обнаруживается проблема, которая требует не только дополнительных более точных теоретических предсказаний, но и привлечения экспериментальных данных. Остаток фона процесса  $J/\psi X$  оказывается скоррелированным по разности азимутальных углов, как и сигнал. При наличии экспериментальных данных измерения инклюзивного рождения  $J/\psi X$  и рождения  $\pi^0$  на коллайдере NICA представится возможным применить процедуру вычитания фона.

### Библиографический список

1. Doncheski M.A., Kim C.S. Associated  $J/\psi + \gamma$  production as a probe of the polarized gluon distribution // Physical Review D. 1994. Vol. 49, no. 9. P. 4463.
2. Mehen T. Testing quarkonium production with photoproduced  $J/\psi + \gamma$  // Physical Review D. 1997. Vol. 55, no. 7. P. 4338.
3. Drees M., Kim C.S. Associate  $J/\psi + \gamma$  production: a clean probe of gluon densities // Zeitschrift für Physik C Particles and Fields. 1992. Vol. 53, no. 4. P. 673–678.
4. Boer D. et al. The gluon Sivers distribution: status and future prospects // Advances in High Energy Physics. 2015. Vol. 2015.
5. Arbuzov A. et al. On the physics potential to study the gluon content of proton and deuteron at NICA SPD // Progress in Particle and Nuclear Physics. 2021. Vol. 119. C. 103858.
6. Collins J. Foundations of perturbative QCD. Cambridge University Press, 2011. Vol. 32.
7. Bierlich C. et al. A comprehensive guide to the physics and usage of PYTHIA 8.3 // SciPost Physics Codebases. 2022. C. 008.