

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/ψ -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/ψ -мезон принимается реальный J/ψ , а кандидатом в фотон принимается фотон, который не был ассоциирован с J/ψ ; фон $J/\psi X$ – так же, кандидатом в J/ψ -мезон принимается реальные J/ψ и кандидатами в фотоны принимаются не ассоциированные фотон; фон событий minimal bias(MB), которые будут моделироваться с помощью класса процессов softQCD – кандидатами в μ^+ или в μ^- принимаются мюоны соответствующего знака с вероятностью 100% и пионы соответствующего знака с вероятностью 1 %, соответственно, кандидат в J/ψ – всевозможные комбинации пар кандидатов в мюоны с вероятностью равной произведению вероятностей отбора составляющих. Фотоны рождаются преимущественно из распадов π^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/ψ ; $2/(p_{\mu^-} - 0.11) + 0.11 < p_{\mu^+}$ – физическая природа которого понятна из того, что импульсы мюонов, рожденные через распад J/ψ , 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/ψ , инвариантные массы, которые находятся в окрестности массы состояния J/ψ ; $p_{T\gamma} > 2.5$ 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”
$ \cos\theta_{\mu^+} , \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/ψ ($\approx 40\%$) 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 π^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.