

АНАЛИЗ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ ПОЗИТРОННЫХ ПУЧКОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ВЫХОДА АННИГИЛЯЦИОННЫХ ФОТОНОВ

Нейман Д.А.

Научный руководитель: Потылицын А.П., д.ф.-м.н., профессор
 Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: Neyman@tpu.ru

Введение

В настоящее время планируется создание e^-/e^+ коллайдера (International Linear Collider - ILC), одна из опций которого предусматривает столкновение поляризованных e^-/e^+ пучков. На данный момент поляризованные пучки e^- высокой энергии получены в ряде центров, где реализуются различные методы анализа данных пучков. Однако получение поляризованных e^+ пучков и их анализ является нерешенной проблемой до сих пор.

В работах [1,2] проводились эксперименты по измерению поляризации e^+ при их конверсии в циркулярно-поляризованные γ -кванты с последующим измерением циркулярной поляризации по комптоновскому эффекту. Чувствительность данного метода крайне низка, поэтому разработка новых методов анализа является весьма актуальной задачей.

Построение математической модели средствами GEANT4

К основным методам, предназначенным для измерения поляризации позитронов можно отнести следующее[3]:

1. моттовское рассеяние
2. поляриметрия Баба
3. поляриметрия основанная на анализе циркулярной поляризации γ -квантов, образованных e^+

В настоящей работе приведен альтернативные метод определения степени поляризации позитронных пучков малой интенсивности.

Основу данного метода составляет идея, заключающаяся в пропускании продольно-поляризованного пучка позитронов через тонкий слой намагниченного железа и регистрации разности выхода аннигиляционных γ -квантов при различных направлениях магнитного поля.

В качестве программного пакета для моделирования процессов переноса позитронов через вещество с учетом поляризационных эффектов используется специализированный программный комплекс GEANT4[4].

При моделировании траекторий учитывались следующие базовые процессы:

- тормозное излучение
- многократное комптоновское рассеяние
- аннигиляция поляризованных e^+
- ионизационные потери

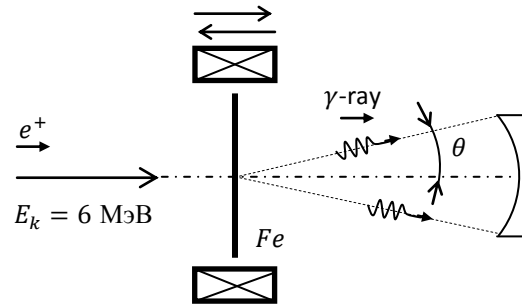


Рис. 1. Геометрия модели эксперимента

Пучок продольно-поляризованных позитронов с кинетической энергией $E = 6$ МэВ, падает нормально на тонкую пластину намагниченного железа, в результате взаимодействия с которой образуются вторичные частицы в соответствии с сечениями указанных ранее реакций (см. рис. 1).

Из всех 4π возможных направлений выбрано только то, которое отвечает малому углу θ . Данное обстоятельство позволяет выделить в спектре фотонов область с наибольшим вкладом частиц, образованных в результате парной аннигиляции и получивших практически всю энергию исходных позитронов, а также заметно снизить вклад тормозного излучения в заданном направлении.

На рис. 2. представлено распределение γ -квантов по энергиям после прохождения слоя неполяризованного железа толщиной $d = 0.5$ мм. Угол коллимации пучка фотонов $\theta \sim \gamma^{-1} \approx 2.5^\circ$, исходное число позитронов $N = 10^9$, число разбиений гистограммы $n_t = 10^2$.

n , отн. ед.

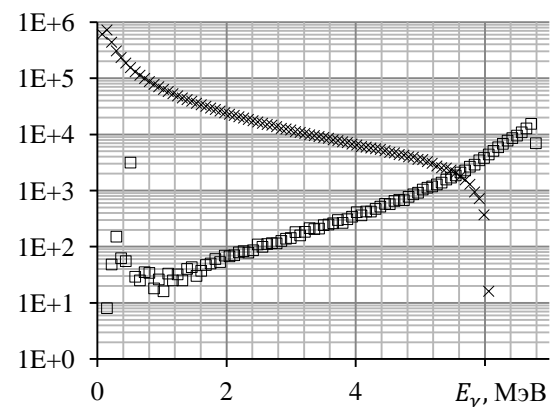


Рис. 2. □ - аннигиляционные фотоны, × - тормозное излучение.

Из представленных распределений отчетливо видно преобладание аннигиляционных квантов для энергий $E > 6$ МэВ, т. е. в области энергий фотонов,

превышающих максимальную энергию тормозных γ -квантов.

Так как пик, соответствующий максимальным переданным энергиям, обусловлен только аннигиляцией, то выход фотонов в данной области будет зависеть от соответствующих поляризационных состояний электронов мишени. Последнее реализуется намагничиванием соответствующих пластинок.

В программном пакете GEANT4 учет намагниченности материала железной мишени проводился для максимально достижимой поляризации электронов мишени $\sim 8\%$. Соответственно было выбрано две основных ориентации компонент поляризации электронов материала, первая из которых совпадает с первоначальным направлением позитронов, вторая соответственно противоположна по направлению. Результат моделирования представлен ниже.

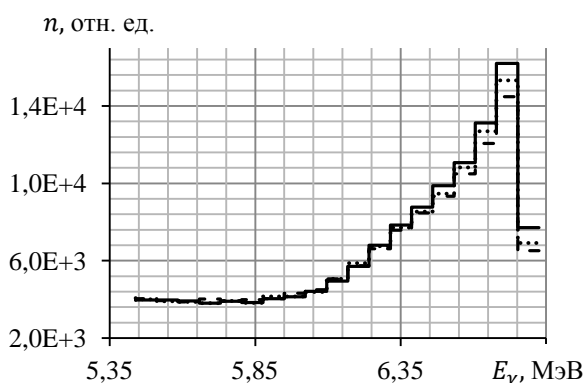


Рис. 3. Результирующее распределение соответствующее трем различным ориентациям: $(\uparrow\uparrow)$, $(\uparrow 0)$, $(\uparrow\downarrow)$. (первая стрелка обозначает поляризацию исходной частицы, вторая направление поляризации электронов мишени)

Из представленного на рис. 3. распределения отчетливо видна разность в числе зарегистрированных событий.

В правильности проделанных симуляций можно убедиться, обратив внимание на неполяризованную компоненту, отвечающую в среднем полусумме противоположно поляризованных компонент см. сечения аннигиляции [5].

Определяющей величиной качества разделения двух распределений, отвечающих противоположным ориентациям компонент поляризации электронов мишени, является асимметрия выхода аннигиляционных фотонов

$$A = \frac{N_{\uparrow\uparrow} - N_{\uparrow\downarrow}}{N_{\uparrow\uparrow} + N_{\uparrow\downarrow}} \quad (1)$$

где $N_{\uparrow(\uparrow\downarrow)}$ — соответственно скорости счета зарегистрированных событий, взятых под аннигиляционным пиком.

Результаты вычисления последних двух значений асимметрий распределения, представленного на рис. 3, рассчитаны согласно формуле (1) и сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Асимметрия выхода аннигиляционных фотонов

E_γ , МэВ	A , %
6,75	5,62
6,83	8,32

Также были получены спектры распределений для углов $\theta \in [0, \pi]$, с шагом $\Delta\theta = (100\gamma)^{-1}$, в том числе и с различными ориентациями наклона мишени относительно исходного пучка частиц. Но как показали результаты, вклады аннигиляционных пиков были заметно меньше, чем при постановке геометрии рис. 1.

Заключение

В настоящем докладе был представлен альтернативный способ анализа поляризационных состояний позитронных пучков для энергий ~ 10 МэВ.

Средствами математического моделирования, а также привлечение специализированных программных библиотек основанных на переносе излучения методом Монте-Карло, таких как GEANT4, была построена достаточно полная и реалистичная модель эксперимента, схематически изображенного на рис. 1.

В результате были получены распределения фотонов по энергиям, отвечающие различным ориентациям поляризации электронов мишени и, как следствие, произведены оценки асимметрии этих распределений.

Из таблицы 1 видно, что максимальная асимметрия предлагаемого метода, достигает 8%, тогда как асимметрия процесса, используемая в экспериментах [1, 2], не превышала 2%.

В связи с этим предлагаемый метод при анализе фотонов с энергией, выше предельной энергии тормозного излучения, является весьма перспективным и может быть легко реализован в эксперименте.

Список литературы

- [1] Undulator-Based Production of Polarized Positrons / G. Alexander, J. Barley, Y. Batygin et al. // arXiv:0905.3066v1. 2009. <http://arxiv.org/pdf/0905.3066v1.pdf>.
- [2] Efficient Propagation of Polarization from Laser Photons to Positrons through Compton Scattering and Electron-Positron Pair Creation / T. Omori, M. Fukuda, T. Hirose et al. // Phys. Rev. Lett. – 2006. Vol. 96, - Pp. 1-4.
- [3] Low-energy Positron Polarimetry at the ILC / G. Alexander, R. Dollan, T. Lohse et al. // EUROTeV-Report-2008-091. http://www.eurotev.org/reports_presentations/eurotev_reports/2008/e1556/EUROTeV-Report-2008-091.pdf <http://conf.cern.ch/conference/papers/Pol07.pdf>
- [4] GEANT4. <https://geant4.web.cern.ch/geant4/>
- [5] Physics Reference Manual. <http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/PhysicsReferenceManual/fo/PhysicsReferenceManual.pdf>.