

УДК 539.17

ПРОГРАММНОЕ ВВЕДЕНИЕ МИШЕННОЙ СИСТЕМЫ В УСТАНОВКУ КЛАС И ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОПРАВОК НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ В ВЕЩЕСТВЕ МИШЕНИ

Н.Б. ДАШЬЯН

Ереванский физический институт

(Поступила в редакцию 7 июля 2005 г.)

Описан метод программной имплементации (“введения”) имитированной мишенной системы установки КЛАС, точно воспроизводящий реальную картину комплекса мишень–детектор, что позволяет вычислить поправки на измеренные импульсы заряженных частиц, обусловленные энергетическими (импульсными) потерями в веществе мишенной системы. Путем анализа распределения недостающей массы показано, что найденные поправки хорошо восстанавливают значения импульсов протонов, измеренные в квазиупругом $d(e, e'p)$ рассеянии.

1. Введение

В исследованиях в области современной ядерной физики и физики высоких энергий используются сложные многопараметрные экспериментальные установки. Получение искомых физических результатов требует учета влияния применяемой сложной аппаратуры на эти результаты. Для такого учета, как правило, используется Монте-Карло имитация как используемой установки и изучаемого явления, так и процесса регистрации и идентификации последнего. Для этой цели созданы сложные программные пакеты, одним из которых является часто применяемый пакет GEANT [1].

Группа физиков Ереванского физического института проводит исследования по ядерной физике высоких энергий в американском научном центре СЕБАФ, на установке КЛАС [2], представляющей собой комплекс магнитных спектрометров, покрывающих почти 4π -пространство. Каждая серия исследований с помощью КЛАС требует изменения конфигурации мишенной системы, что влечет за собой необходимость соответствующих изменений в учете влияния установки. К числу требующих внимания воздействий установки относится изменение энергии (импульса) регистрируемых заряженных частиц, обусловленное ионизационными потерями в веществе детектора и, в частности, в веществе мишенной системы. Для вычисления поправок в случае установки КЛАС используется программная система GSIM (Geant Simulation) [3], созданная на основе пакета GEANT и реализующая геометрию установки, с возможностью изменения и дополнения отдельных узлов,

в том числе и мишенной системы. В настоящей работе описаны процедура введения в программную систему новых мишенных систем, способ нахождения поправок и их величины.

2. Установка КЛАС

Установка КЛАС (CLAS → Cebaf Large Acceptance Spectrometer) предназначена для изучения процессов электро- и фоторождения на нуклонах и ядрах при первичной энергии до 6 ГэВ, в широком диапазоне передаваемых импульсов и энергий. КЛАС состоит из шести секторов, каждый из которых функционирует как независимый магнитный спектрометр в 1/6 части углового пространства. Шесть сверхпроводящих колец генерируют тороидальное магнитное поле в азимутальном направлении. Каждый сектор оснащен многопроволочными дрейфовыми камерами (DC) [4], времяпролетными сцинтилляционными счетчиками (SC) [5], покрывающими в лабораторной системе координат угловой интервал от 8° до 143° . В переднем направлении ($8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$) расположены газовые пороговые черенковские счетчики (CC) [6] и электромагнитный калориметр, представляющий собой сэндвич сцинтилляторов и свинцовых слоев [7]. Установка позволяет регистрировать как заряженные, так и нейтральные частицы в широком интервале углов и импульсов [2]. Как было сказано выше, наиболее мобильной частью установки КЛАС является ее мишенная система (МС). Используются как газовые и жидкокриогенные, так и твердые мишени. Все мишени устанавливаются в центре КЛАС посредством дистанционного управления. Параметры (температура и давление) газовых и жидкокриогенных мишеней записываются непрерывно в течение всего эксперимента.

3. Введение мишени в программный пакет GSIM

GSIM реализует модель установки на основе пакета GEANT3.21. Он состоит из центрального управляющего и регулирующего пакета, который вызывает большое количество специальных пакетов, описывающих геометрию и отклик детектора. Модульная структура программы, а также широкое использование заложенных в GEANT возможностей, позволяют легко манипулировать геометрией детектора, создавая его прототип, точно соответствующий определенному эксперименту.

Эксперименты на установке КЛАС сгруппированы в так называемые “раннинг периоды”, согласно типу пучка и мишени. Описанный в настоящей работе анализ проводился на основе данных эксперимента e5, в котором электроны с энергией 2.6 и 4.32 ГэВ рассеивались на криогенных мишенях водорода (^1H) и дейтерия (^2D). Особенностью использованной в этом эксперименте мишени явилась “дуальная ячейка”. Под пучком должны были одновременно присутствовать обе “жидкие” мишени, что потребовало определенного конструкторского решения. На рис.1а изображен конструкторский эскиз продольного сечения реальной мишени, который должен был быть имитирован (“введен”) в код GSIM. Построение геометрии мишени в коде GSIM было произведено (пакет UGEOM) с учетом всех конструкторских деталей (форма, размер, позиционирование), а также параметров использованных материалов (плотность, состав). На рис.1б изображена мишень, уже “введенная” в GSIM (пакет DRAW). Использование пакета FFREAD позволило, в

зависимости от поставленной задачи, легко манипулировать разными частями геометрического построения, а также разыгрывать вершину взаимодействия пучка электронов или фотонов в нужном объеме мишени. Как и в реальном случае, имитированная мишень размещалась в также имитированной камере рассеяния, обеспечивающей вакуум для мишенной ячейки. Точность имитации проверялась при помощи экспериментальных данных, полученных на пустой реальной мишени, облученной электронным пучком с энергией 2.6 ГэВ.

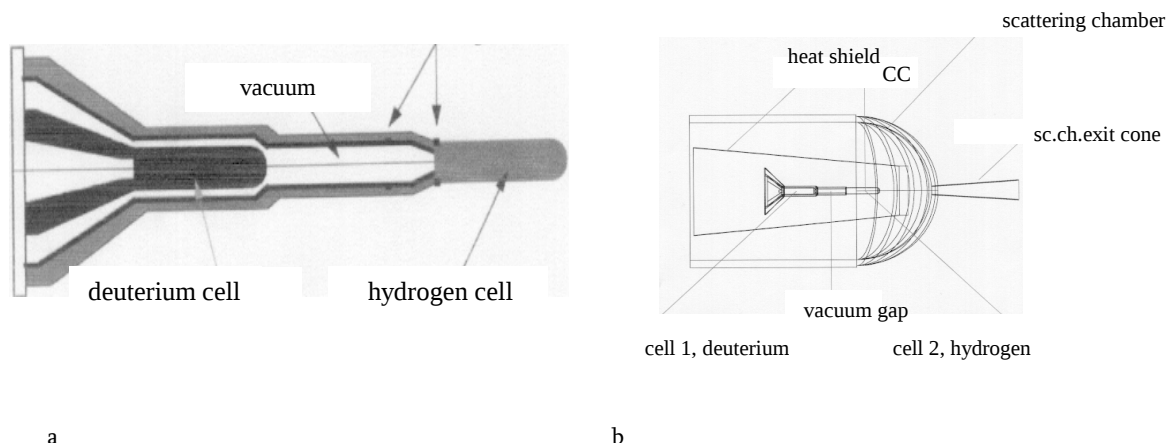


Рис.1. а) Конструкторский эскиз продольного сечения мишени эксперимента е5. б) Продольное сечение мишенной системы, имитированной в коде GSIM.

4. Поправки на энергетические (импульсные) потери заряженными частицами в веществе детектора КЛАС

В процессе регистрации и идентификации частиц большое значение имеет точность в определении импульса и угла вылета частицы. Очевидно, что наличие вещества на пути частиц, особенно на близких расстояниях от точки их рождения, приводит к потерям энергии и к многократным рассеяниям, что искажает истинное значение этих важных параметров исследуемого процесса. Поэтому необходимо как можно точнее оценить эти потери и ввести соответствующие поправки. Построение и “введение” правильной геометрии МС в пакет GSIM позволяет довольно успешно решить эту проблему для всех заряженных частиц. В настоящей работе будут приведены результаты нахождения поправок для протонов. Расчеты для других заряженных частиц идентичны.

На базе Лунд-генератора было сгенерировано достаточно большое количество протонов с кинематическими параметрами, равномерно распределенными в интервалах, соответствующих возможностям детектора КЛАС:

$$0 \leq p_0 \leq 5 \text{ (GeV/c)}, \quad 10^\circ \leq \theta \leq 140^\circ, \quad 0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ. \quad (1)$$

Здесь p_0 – импульс протона, θ и ϕ – соответственно, полярный и азимутальный углы.

Разыгранные события были “пропущены через установку”, т.е. явились входными данными для кода GSIM с геометрией, соответствующей условиям эксперимента е5. Очевидно, что спектры всех трех параметров искажались в установке из-за прохождения регистрируемых частиц через вещество мишенной системы и самого детектора. Для прошедших через установку КЛАС событий физические параметры (импульс и углы) восстанавливались специальным кодом RECSIS. Выходные данные пакета RECSIS записывались в формате, пригодном для анализа на базе пакета PAW⁺⁺. Энергетические (импульсные) потери заряженных частиц dE (dp) определяются соотношением Бете(Блоха)

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi N_0 Z z^2 e^4}{mv^2 A} \left\{ \ln \frac{2mv^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right\}. \quad (2)$$

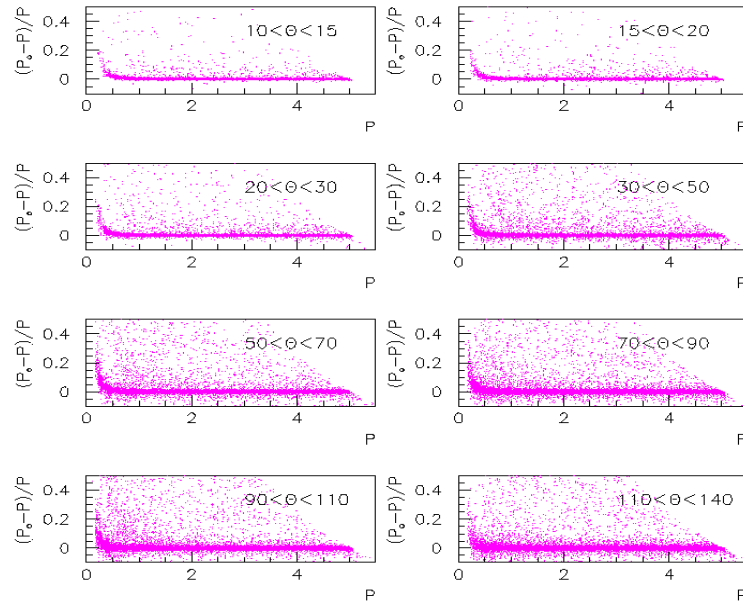


Рис.2. Зависимости отношений dp/p от p для разных угловых интервалов.

Как видно из формулы, эти потери прямо пропорциональны толщине вещества dx , через которое прошла частица. С другой стороны, dx (длина пути частицы) зависит от полярного угла образования (прохождения) частицы. Поэтому энергетические потери были найдены для относительно узких интервалов θ . На рис.2 показаны зависимости dp/p от p для разных угловых интервалов. Здесь $dp = p_0 - p$, где p_0 – сгенерированный (начальный) импульс протона, а p – реконструированный (импульс протона после прохождения через установку). Как видим, в области малых импульсов наблюдается заметное возрастание разностей dp .

Для определения поправок к импульсным потерям, соответствующим данному p , была применена заложенная в PAW⁺⁺ процедура расслоения двумерных распределений (см. рис.2) на n одномерных проекций. Ось p была разбита на 50 интервалов (бинов), каждый по 100 MeV шириной, и строились dp и dp/p распределения в каждом из бинов. Все 50

распределений фитировались гауссовской функцией, позволяющей определить средние значения и среднеквадратичные ошибки dp и dp/p в каждом бине. На рис.3 показаны зависимости найденных средних значений dp (рис.3а) и dp/p (рис.3б) от p для четырех полярных углов рождения протона.

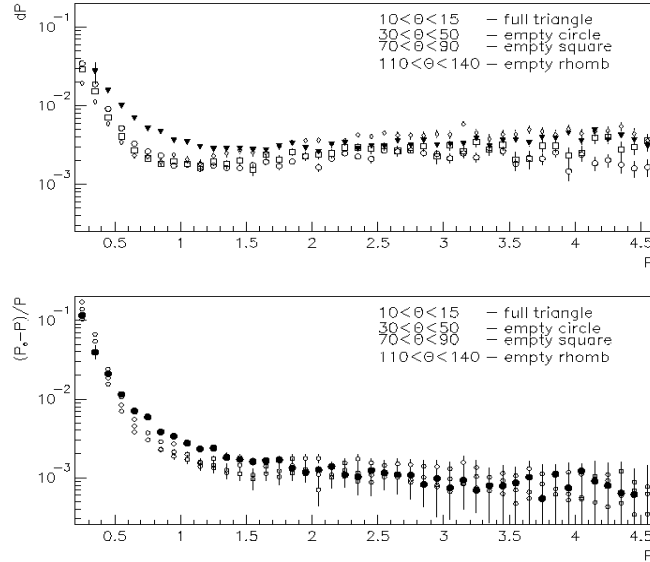


Рис.3. а) Зависимости dp от p для четырех значений полярного угла. б) Зависимости dp/p от p для четырех значений полярного угла.

Для нахождения поправок были использованы данные по dp/p (рис.3б). С этой целью распределения dp/p в каждом угловом интервале $\Delta\theta$ фитировались плавной гиперболической функцией

$$\Phi(p) \equiv dp/p = a + b/(p + c). \quad (3)$$

Коэффициенты a , b и c находились фитированием. По найденным функциям $\Phi(p)$ были определены истинные значения импульсов p_0 :

$$p_0 = p(1 + \Phi(p, \Delta\theta)). \quad (4)$$

Поправки по (4) используются при анализе физических данных “пособытийно”, т.е. для каждого события с измеренными значениями p и θ сначала программно определяется интервал $\Delta\theta$, выбирается соответствующая найденному интервалу $\Delta\theta$ функция $\Phi(p, \Delta\theta)$, а затем из (4) находится истинное значение импульса p_0 , который и приписывается данному событию. Эффект поправок на энергетические (импульсные) потери приведен на рис.4, где

показаны измеренное импульсное распределение протонов (сплошная кривая) из реакции электродезинтеграции дейтрона

$$e + d = e' + p + n \quad (5)$$

и то же распределение после введения поправок (штриховая кривая).

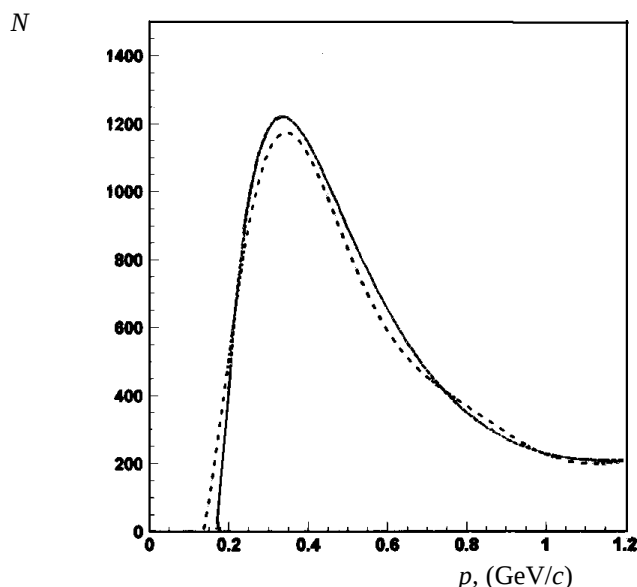


Рис.4. Измеренное импульсное распределение протонов из реакции электродезинтеграции дейтрона до введения поправок (сплошная кривая) и после введения поправок (штриховая кривая).

Правильность найденных поправок проверялась на примере измерения недостающей массы в реакции (5). Кинематика реакции (5) с регистрацией рассеянного электрона (e') и протона (p) отдачи в совпадении позволяет определить массу третьей частицы (n) в конечном состоянии, которая должна совпасть с массой нейтрона. Неточность измерений (в частности импульса (энергии) протона) может привести к отклонению вычисленной недостающей массы от известной массы нейтрона. На рис.5 для двух импульсных интервалов протонов показаны распределения найденных недостающих масс с поправленными и непоправленными значениями энергии (импульса) протона. Видно, что среднее значение найденных недостающих масс без поправок заметно смещено от массы нуклона при малых импульсах протонов (рис.5в). Введение поправок почти устраняет это смещение (рис.5г). В области же больших импульсов протонов влияние поправок незначительно (рис.5а,б), поскольку сами поправки малы (рис.3а,б). Необходимо также отметить, что в области малых импульсов (< 400 МэВ/с) введение поправок не только устраняет смещение среднего значения распределения недостающей массы от нейтронной, но и заметно уменьшает ширину этого распределения, т.е. улучшает точность измерения этой массы (см. рис.5в,г).

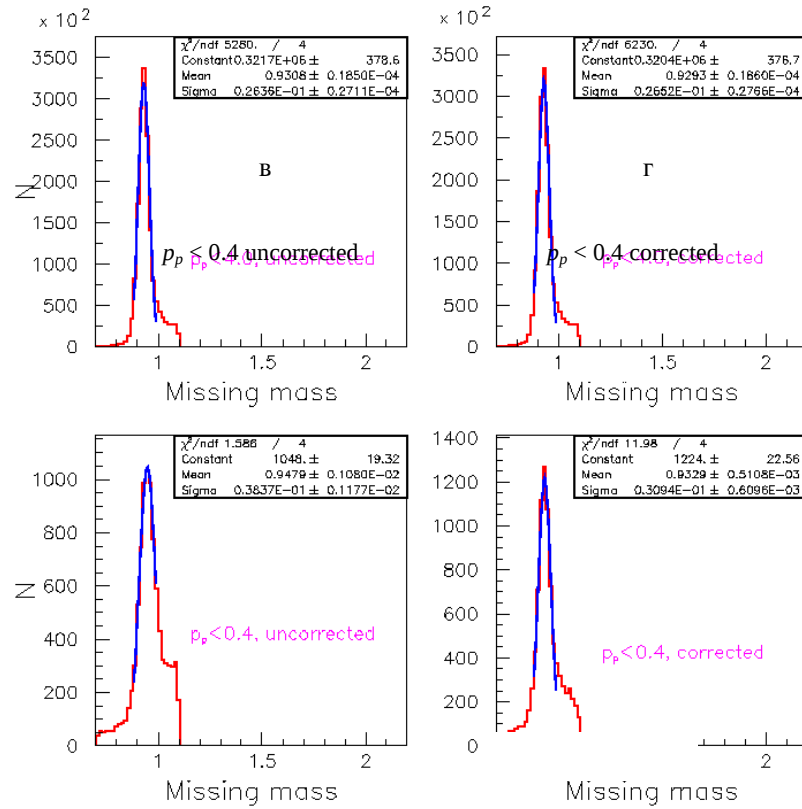


Рис.5. Распределения недостающих масс в области импульсов до 4 ГэВ/с (а,б) и до 0.4 ГэВ/с (в,г). (а,в) – до введения поправок на энергетические (импульсные) потери, (б,г) – после введения соответствующих поправок.

5. Заключение

В работе описан метод программной имплементации (“введения”) имитированной мишенной системы установки КЛАС, точно воспроизводящий реальную картину комплекса мишень–детектор, что позволяет вычислить поправки на измеренные импульсы заряженных частиц, обусловленные энергетическими (импульсными) потерями в веществе мишенной системы. На примере анализа распределения недостающих масс в реакции электро-дизинтеграции дейтрона $d(e,e'p)n$ показано, что найденные поправки хорошо восстанавливают ожидаемое массовое распределение незарегистрированного нейтрона в импульсном интервале протонов, где найденные поправки значительны.

Результаты работы, с подробной инструкцией по использованию мишени эксперимента e5 в коде GSIM и с программными кодами (на языках FORTRAN и C++) для введения поправочных коэффициентов на импульсы регистрируемых протонов, помещены на интернетовских сайтах [. org/Hall-B/secure/e5/nata/target](http://www.jlab.org/Hall-B/secure/e5/nata/target), http://www.jlab.org/Hall-B/secure/e5/nata/mom_corr и используются во всех анализах экспериментальных данных, полученных на данной мишени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Program Library Long Writeup W5013 Copyright CERN, Geneva, 1993. GEANT – Detector Description and Simulation Tool.
2. **B.Mecking** et al. Nucl. Inst. and Meth. A, **505**, 513 (2003).
3. **E.Wolin**. GSIM User's Guide Version CERN **1.0**, September 22, 1995.
4. **M.D.Mestayer** et al. Nucl. Inst. and Meth. A, **449**, 81 (2000).
5. **E.S.Smith** et al. Nucl. Inst. and Meth. A, **432**, 265 (1999).
6. **G.Adams** et al. Nucl. Inst. and Meth. A, **465**, 414 (2001).
7. **M.Amarian et al.** Nucl. Inst. and Meth. A, 460, 239 (2001).

ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՎԱԾ ԹԻՐԱԽԻ ՏԵՂԱԴՐՈՒՄԸ ԿԼԱՍ ՍԱՐՔԱՎՈՐՄԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՈՒՄ
ԵՎ ԹԻՐԱԽԻ ՆՅՈՒԹԻ ՄԵՋ ԼԻՑՔԱՎՈՐՎԱԾ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԻԱԿԱՆ
ԿՈՐՐԵԿՏՆԵՐԻ ՈՒՂՂՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ն.Բ. ԴԱՇՅԱՆ

Նկարագրված է ծրագրային մոդելավորմամբ ստեղծված թիրախային համակարգի ԿԼԱՍ սարքավորման մեջ ներդրման մեթոդը, որը հնարավորություն է տալիս մեծ ճշտությամբ վերարտադրել թիրախ-գրանցիչ ռեալ համակցությունը և հաշվարկել լիցքավորված մասնիկների չափվող իմպուլսների համար անհրաժեշտ ուղղումները՝ կապված թիրախի նյութի մեջ էներգիայի (իմպուլսի) կորուստների հետ: Պակասող մասսայի բաշխման չափման միջոցով ցույց է տրված, որ հաշվարկված ուղղումները թույլ են տալիս ճիշտ վերականգնել $d(e, e'p)$ քվազիառաձգական ցրման ժամանակ չափված պրոտոնների իմպուլսները:

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF TARGET SYSTEM IN CLAS DETECTOR AND CALCULATION OF CORRECTIONS DUE TO ENERGY LOSSES BY CHARGED PARTICLES IN THE TARGET MATERIAL

N.B. DASHYAN

A method of the software implementation for the target system of the CLAS detector is described. It reproduces correctly the realistic pattern of the target-detector complex. This allows one to calculate the corrections to the measured momenta of charged particles due to the energy (momentum) losses in the target material. By the analysis of the missing mass distribution it is shown that the corrections obtained reproduce well the proton momentum values measured in the quasi-elastic $d(e, e'p)$ scattering.