

ФИЗИКА

УДК 539.1.074.3

Н. Р. Баласанян

**Коррекция величин депозированной энергии заряженных частиц в
сцинтилляционных счетчиках детектора CLAS**

(Представлено чл.-кор. НАН РА Р.М. Авакяном 28/VII 2009)

Ключевые слова: *коррекция депозированной энергии частиц, сцинтилляционные счетчики*

Введение. Измерение депозированной энергии заряженных частиц в сцинтилляционных счетчиках имеет большое значение для идентификации частиц. Во время обработки экспериментальных данных, полученных с помощью детектора CLAS (CEBAF Large Acceptance Spectrometer) [1] запрос на депозированную энергию заряженных частиц в сцинтилляционных счетчиках дается в усредненном виде по всем сцинтилляционным счетчикам детектора. При более подробном анализе депозированной энергии заряженных частиц в каждом сцинтилляционном счетчике детектора CLAS было обнаружено, что в некоторых из них депозированная энергия частиц не соответствует действительному ее значению. Известно, что в используемых сцинтилляторах пион с энергией выше 0.5 ГэВ депозитует энергию ~ 2 МэВ на 1 см. На рис. 1 представлены гистограммы, показывающие энерговыделение от пионов в зависимости от номера счетчика (счетчики толщиной 5 см), полученных от сцинтилляторов в шести секторах. Как следует из диаграмм, во всех секторах имеется некоторое количество сцинтилляционных счетчиков, для которых вышеприведенные условия не выполняются.

На всех гистограммах явно видны нехарактерные разбросы величин измеряемых энергий, что указывает на неточность восстановления депозированной энергии заряженных частиц из зарегистрированных сигналов фотоумножителей сцинтилляционных счетчиков (рис. 1). Поэтому возникает

задача коррекции данных измерений и повышения точности измерений при обработке результатов экспериментов.

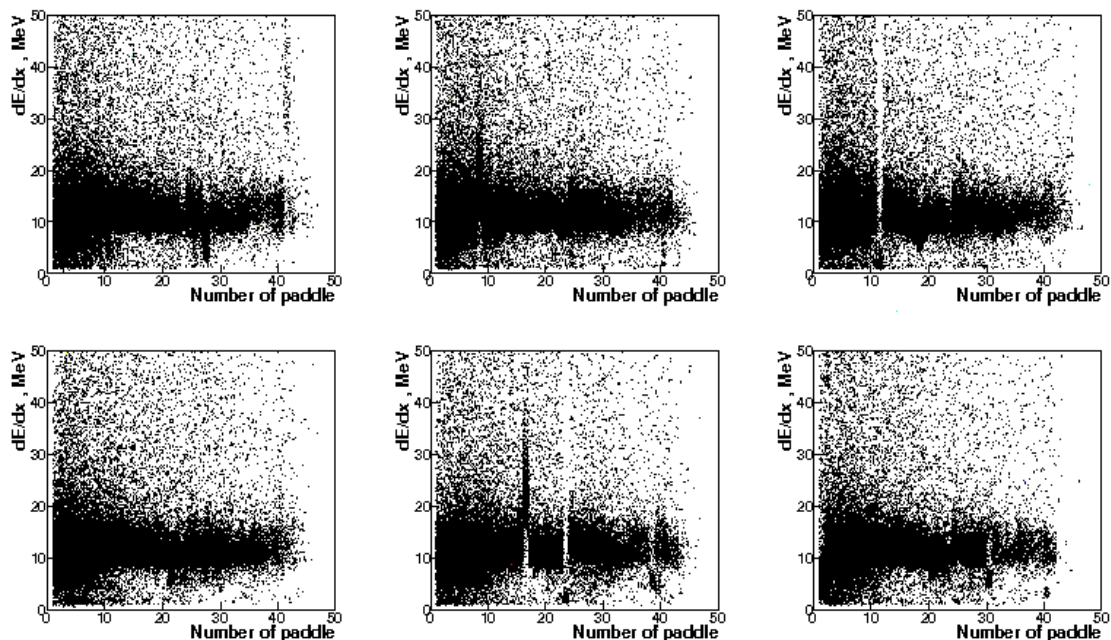


Рис.1. Энергия депозиции пионов в сцинтиляционных счетчиках для шести секторов CLAS в зависимости от номера сцинтиляционных счетчиков.

Таким образом, становится очевидной актуальность проведения работ, направленных на повышение точности данных для обработки результатов измерений, что особенно важно при идентификации частиц с помощью энерговыведения в сцинтилляторах.

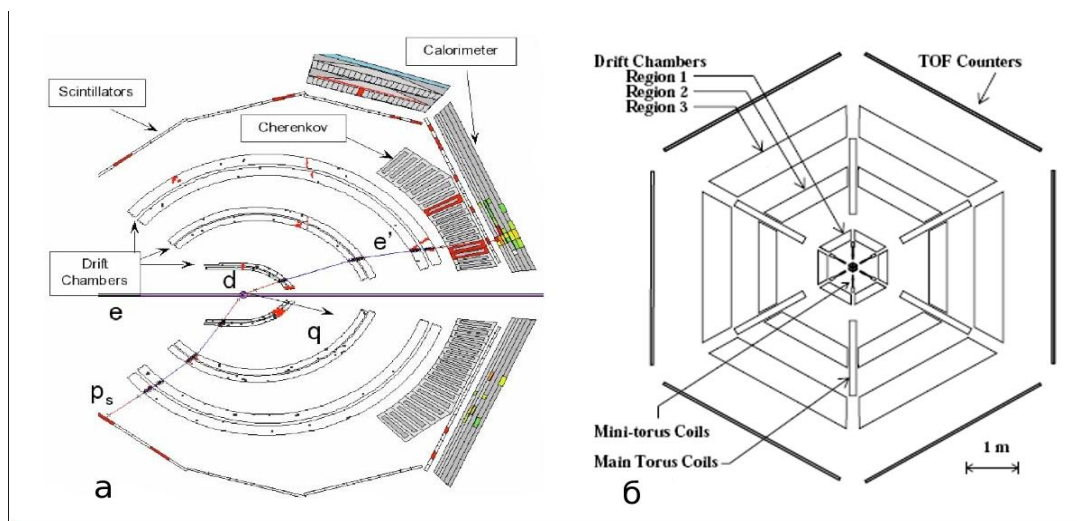


Рис. 2. Схематическая структура детектора CLAS параллельно (а) и перпендикулярно (б) к направлению пучка.

Экспериментальная установка. Эксперимент "eg3" был выполнен в Лаборатории имени Томаса Джефферсона (США), оснащенной ускорителем

электронов CEBAF и детекторным комплексом CLAS в экспериментальном зале "B". Схематическое изображение комплекса приведено на рис. 2. Это спектрометр с большим телесным углом, который представляет собой систему детекторов, составной частью которых являются дрейфовые камеры [2], черенковские газовые счетчики [3], сцинтилляционные счетчики [4] и электромагнитные колориметры [5]. Система CLAS спроектирована для регистрации элементарных частиц, рожденных при взаимодействии электронных или фотонных пучков с ядерными мишенями. Большой телесный угловой захват позволяет одновременно в довольно широком кинематическом объеме регистрировать рождение рассеянных частиц. Вид детектора CLAS параллельно и перпендикулярно к пучку представлен на рис.2. Конструктивно он основан на шести сверхпроводящих катушках торроидальной формы (рис.2,б). По сути, CLAS представляет собой шесть независимых магнитных спектрометров с одной мишенью, триггером и системой сбора информации. Каждый такой сектор имеет 48 сцинтилляционных счетчиков, при помощи которых измеряют время пролета заряженной частицы и депозированную энергию в данном счетчике [4]. Счетчики этого типа установлены на внешней поверхности детектора и по полярному углу охватывают область от 8° до 142° , а по азимуту – область $\sim 2\pi$. Как видно из рис.2,а, сцинтилляционные счетчики установлены после дрейфовых камер и черенковских счетчиков. Толщина сцинтилляторов во всех сцинтилляционных счетчиках CLAS одинакова и составляет 5.08 см. Пространственное расположение групп сцинтилляторов выбрано таким образом, чтобы плоскость группы была приблизительно перпендикулярна к траектории полета частиц. Длина сцинтилляторов в разных местах различна и меняется в пределах от 32 до 376 см.

Получение поправок. Обработка экспериментальных данных осуществлена с использованием программного пакета ROOT [6]. Для обработки данных эксперимента "eg3", в частности, базы данных, включающих измеренные величины сигналов депозированной энергии элементарных частиц в сцинтилляционных счетчиках, была составлена программа на языке C++.

Программа состоит из трех основных частей. В первой части реализуется идентификация положительных пионов, имеющих энергию больше 0.5 ГэВ. Во второй части программы исследуется депозированная энергия этих пионов в каждом сцинтилляционном счетчике, а далее полученные распределения депозированной энергии фитируются с помощью гауссовой функции, с целью выявления среднего значения депозированной энергии в данном счетчике. В третьей части программы среднее значение депозированной энергии сравнивается со средним значением по шести секторам ($ED_{average}$) и составляется таблица коэффициентов поправок, которая может представлять

собой матрицу (48×6). Каждый элемент матрицы определяется отношением усредненных величин значений депозированной энергии пиона в данном сцинтилляционном счетчике к среднему значению энергии $ED_{average}$ по всему детектору CLAS. Среднее значение по детектору является репером для определения коэффициентов коррекции:

$$ED_{average} = \frac{\sum_i ED_i}{6}, \quad i = 1 \dots 6, \quad (1)$$

где ED_i – среднее значение депозированной энергии пионов в данном секторе.

Имея реперное значение для депозированной энергии пиона, можно определить коэффициенты поправки следующим образом:

$$ED_{coefficient}[i][j] = \frac{ED_{mean}[i][j]}{ED_{average}}, \quad i = 1 \dots 6, \quad j = 1 \dots 40, \quad (2)$$

где $ED_{mean}[i][j]$ – среднее значение депозированной энергии пиона в данном сцинтилляционном счетчике, i – номер сектора, j – номер счетчика.

Поправки выше 40-го сцинтиллятора не были осуществлены, поскольку они расположены на задней части детектора CLAS и не имеется достаточной статистики для определения среднего значения их показаний. Следовательно, наши расчеты по определению коэффициентов поправок ограничиваются максимальным номером счетчиков $j = 1 - 40$, которые регистрируют более чем 99.4% сигналов от сцинтилляционных счетчиков (рис.1).

В соответствии с формулой (2) определены коэффициенты поправок, которые представлены в таблице, где приведены поправки на энерговыделение для 40 счетчиков в 6 секторах.

Из таблицы следует, что максимальный разброс в показаниях некоторых сцинтилляционных счетчиков достигает более 100% (сектор 5, счетчик 16), но в среднем этот разброс составляет около 6%.

Коррекция энерговыделения дейтронов. Данная методика коррекции величин депозированной энергии, основанная на сравнении с депозированной энергией пионов, была применена для коррекции величин депозированной энергии дейтронов. На рис.3 представлены гистограммы зависимости депозированной энергии дейтронов в сцинтилляционных счетчиках в зависимости от величины их импульсов без коррекции (рис.3,а) и после коррекции энерговыделения (рис.3,б).

Из сравнения этих гистограмм следует, что выполненная коррекция приводит к повышению концентрации дейтронов на характеристической полосе, кроме того, наблюдающееся некоторое перераспределение сигналов в районе импульсов 1 - 1.4 ГэВ/с исчезает, что также является эффектом коррекции.

	Сектор 1	Сектор 2	Сектор 3	Сектор 4	Сектор 5	Сектор 6
1	1.0114	0.9893	0.9750	1.0055	0.9834	0.5724
2	1.0016	0.9955	1.0156	1.0430	0.9551	1.0156
3	0.9844	1.0236	1.0238	1.0245	0.9765	1.0157
4	1.0042	1.0291	1.0115	1.0476	1.0127	1.0158
5	1.0356	1.0451	1.0335	1.0588	1.0429	1.0210
6	1.0431	1.0935	1.0916	1.0914	1.0342	1.0422
7	1.0385	1.0373	1.0621	1.0655	1.0433	1.0359
8	1.0620	1.6449	1.0459	1.0968	1.0485	1.0409
9	1.0501	1.0446	1.0281	1.0585	1.0166	1.0490
10	1.0422	1.0625	1.0238	1.0438	1.0572	1.0585
11	1.0699	1.0108	0.1317	1.1032	1.0370	1.0493
12	1.0448	1.0520	1.0536	1.0662	1.0191	1.0529
13	1.0482	1.0572	1.0343	1.0721	1.0552	1.0353
14	1.0419	1.0365	1.0435	1.0694	1.0421	1.0377
15	1.0870	1.0175	1.0834	1.0737	1.1795	1.0429
16	1.0495	1.0451	0.9768	1.0594	2.0978	1.0691
17	0.9988	1.0433	0.9417	1.0325	1.0305	1.0278
18	1.0101	1.0426	0.7222	1.0398	0.9990	1.0247
19	1.0058	1.0120	0.9953	1.0430	1.0422	1.0142
20	1.0270	1.0342	1.0047	1.0275	0.9984	0.9434
21	0.9975	1.0655	1.0048	0.7312	1.0167	0.9704
22	1.0227	0.9930	0.9643	1.0226	1.0520	0.9788
23	0.9973	1.0057	0.9133	0.9795	0.2023	0.9339
24	1.1503	1.1855	1.1460	1.0992	1.2629	1.2049
25	1.0768	1.1431	1.1498	1.1431	1.1824	1.1602
26	1.1268	1.1058	1.0880	1.1002	1.2098	1.1700
27	0.7394	1.1195	1.0950	1.0920	1.1595	1.0770
28	1.0757	1.1271	1.1441	1.1132	1.1545	1.1034
29	1.0664	1.1239	1.0848	1.1095	1.1215	1.1429
30	1.0949	1.0934	1.0910	1.1110	1.0665	0.5748
31	1.0548	1.0457	1.0631	1.1176	1.0566	1.1283
32	1.0786	1.0408	1.0346	1.0435	1.0731	1.1113
33	1.1065	1.0334	1.0646	1.0799	1.0493	1.1262
34	1.0635	1.0597	1.0446	1.0756	1.0635	1.0459
35	1.2503	1.1178	1.1741	1.1507	1.1909	1.1754
36	1.2219	1.1441	1.1779	1.1433	1.1753	1.1652
37	1.2215	1.1910	1.1729	1.1212	1.1529	1.1766
38	1.1819	1.1453	1.1766	1.1877	0.7822	1.1717
39	1.1752	1.1249	1.1118	1.1848	1.2088	1.1510
40	1.1840	1.0624	1.2363	1.1725	1.1759	1.0845

Корректированное распределение энерговыделения дейтронов было использовано для селекции дейтронов при анализе экспериментальных данных. С этой целью область импульсов дейтронов от 0.5 до 1.6 ГэВ/с была разбита на участки шириной 30 МэВ/с, и на каждом участке распределение энерговыделения дейтронов было фитировано с помощью гауссовской функции. Из каждого участка импульсов были извлечены средние значения и дисперсия (σ) фитированных гауссовских функций. На основе этих значений получены эмпирические зависимости для средних значений и дисперсии энергий депозиции дейтронов. Эти результаты в виде графиков представлены на рис.4. Зависимость средней энергии депозиции дейтронов от величины их импульсов представлена кривой 1. Верхняя кривая 2 получена на уровне тройной дисперсии, а нижняя кривая 3, полученная на уровне двойной дисперсии, позволяет эффективно отделять дейтроны от протонов и более легких частиц. Эти зависимости позволяют проводить более точный выбор дейтронов при анализе экспериментальных данных.

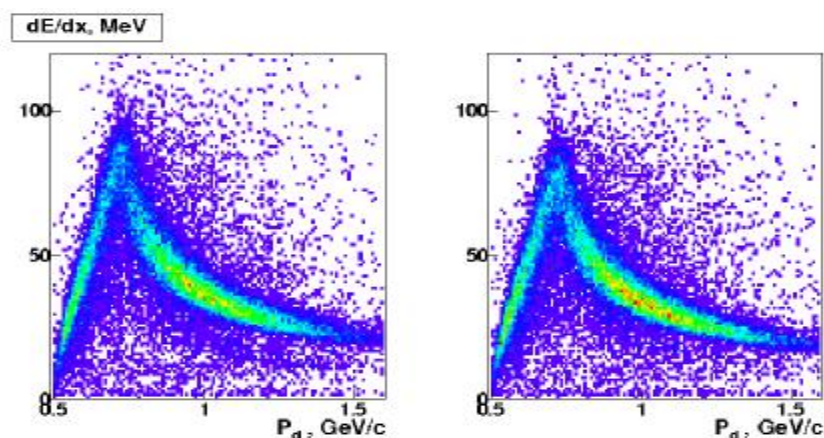


Рис. 3. Энергия депозиции дейтрона в сцинтилляционных счетчиках до (а) и после (б) коррекции.

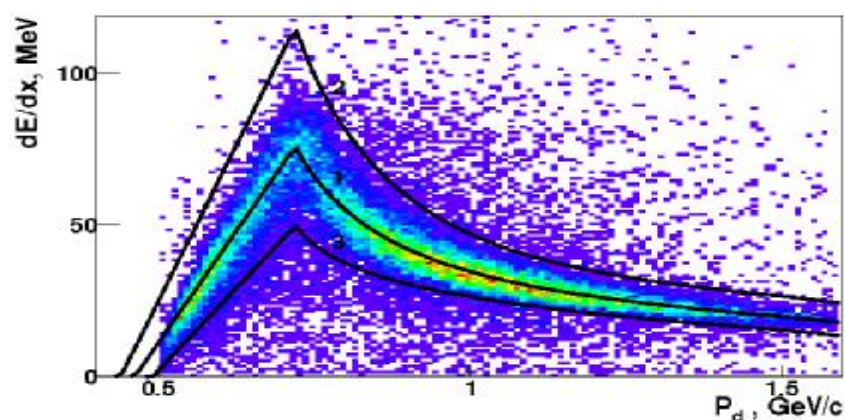


Рис. 4. Зависимость энергии депозиции дейтронов от их импульсов. Кривая 1 представляет среднее значение депозиции энергии, кривые 2, 3 определяют энергетическую область, соответствующую дейтронам.

Таким образом, с помощью корректировки экспериментальных данных по измерению депозированной энергии дейтронов была уточнена область энерговыделения, соответствующая дейтронам в зависимости от их импульсов. Сравнение отбора дейтронов до и после коррекции сцинтилляционных счетчиков, в частном случае в анализах реакции $\gamma + d \rightarrow d + \pi^+ + \pi^-$, показали более чем на 1.7% увеличение событий после конечного отбора.

Заключение. Полученная эмпирическая зависимость функции для средней энергии депозиции дейтронов и их дисперсии в зависимости от импульса частиц позволяет уточнить область энерговыделения, соответствующую дейтронам. Учет поправок при определении энергии депозиции заряженных частиц привел к повышению точности селекции дейтронов. Такие поправки в измерениях параметров рассеянных частиц особенно важны при исследованиях ядерных реакций с малым сечением.

Следовательно, в случаях, где необходимо проведение прецизионных измерений, весьма полезно введение корректирующих коэффициентов для каждого сцинтилляционного счетчика.

Автор выражает благодарность С.Степаняну за постановку задачи и полезные обсуждения.

Ереванский государственный университет

Н. Р. Баласян

Коррекция величин депозированной энергии заряженных частиц в сцинтилляционных счетчиках детектора CLAS

Для изучения когерентного образования адронных пар на дейтроне были использованы данные эксперимента "eg3", полученные на установке CLAS, при исследовании рассеяния высокоэнергичных фотонов на дейтериевой мишени. В этих реакциях очень важно регистрировать дейтрон отдачи. Для идентификации дейтронов на установке CLAS важную роль играет энерговыделение в сцинтилляционных счетчиках. Выявлено, что некоторые сцинтилляционные счетчики детектора имели несоответствие в калибровках. На основе величин депозированной энергии пионов в сцинтилляционных счетчиках детектора CLAS составлена таблица коэффициентов поправок, с помощью которой скорректированы величины энергии депозиции дейтронов, что позволило получить более точную идентификацию этих частиц.

Ն. Ռ. Բալասանյան

Լիցքավորված մասնիկների կորստի էներգիայի ճշգրտումը CLAS դետեկտորի սցինտիլյացիոն հաշվիչներում

CLAS սարքավորման օգնությամբ ստացված "eg3" փորձի փվյալները, որտեղ հետազոտվել են բարձր էներգետիկ ֆոտոնների ցրումը դեյտերիումի թիրախի վրա, օգտագործվել են դեյտերոնի վրա աղրոնային գույգի կոհերենս առաջացման ուսումնասիրման համար: Նման ռեակցիաներում շատ կարևոր է ցրված դեյտերոնի գրանցումը: CLAS սարքավորման վրա դեյտերոնների նույնականացման համար կարևոր դեր են կատարում էներգիայի կորստի ուսումնասիրումը սցինտիլյացիոն հաշվիչներում: "eg3" փորձի փվյալներից հայտնաբերվել է, որ դետեկտորի որոշ սցինտիլյացիոն հաշվիչներ փրամաչափարկման մեջ ունեցել են անհամապատասխանություն: Տիմնվելով CLAS դետեկտորի սցինտիլյացիոն հաշվիչներում պիոնների ցուցադրած էներգիայի կորստի մեծությունների վրա, կազմվել է ուղղման գործակիցների աղյուսակ: Օգտագործելով փվյալ աղյուսակը, կատարվել է դեյտերոնի էներգիայի կորստի մեծության ճշգրտում, որը հնարավորություն է փվել սրանալու այդ մասնիկների նույնականացման ավելի մեծ ճշգրտում:

N. R. Balasanyan

Correction of Energy Deposition of Charged Particles in Scintillator Counters in CLAS Detector

Data from "eg3" experiment acquired on the CLAS detector have been used to study the coherent production of hadron pairs on deuterium in the scattering of high energy photons on deuterium target. In such reactions it is important to detect scattered deuterons. To identify the deuterons on CLAS the important role plays energy deposition in scintillator counters. From experimental data of "eg3" it has been revealed that some scintillator counters have been mis-calibrated. Based on the known energy deposition of pions in the scintillator counters of the CLAS detector, the table of correction coefficient has been defined. This table is used to correct the energy deposition of deuterons, which allows to obtain more precise identification of deuterons.

Литература

1. *Mecking B.A., Adams G., Ahmad S. et. al.* - NIM A. 2003. V.503. P. 513-553.
2. *Mestayer M.D., Carman D.S., Asavapibhop B. et. al.* - NIM A. 2000. V. 449. P. 81-111.
3. *Adams G., Burkert V., Carstens T. et. al.* - NIM A. 2001. V.65. P. 414-427.
4. *Smith E.S., Carstens T., Distelbrink J. et. al.* - NIM A. 1999. V.432. P. 265-298.
5. *Amarian M., Asryan G., Beard K. et. al.* - NIM A. 2001. V.460. P. 239-265.
6. <http://root.cern.ch>