

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

К 583

13-88-627

Ю.А.Кожевников, Л.К.Лыткин

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
МЕТОДОМ СОВПАДЕНИЙ
ПРИ МАЛЫХ РАЗРЕШАЮЩИХ ВРЕМЕНАХ

Направлено в "Журнал технической физики"

1988

Триггер по времени пролета позволяет выделять релятивистские частицы в достаточно узком интервале их скоростей — диапазон времен пролета может быть доведен до $2 + 3$ нс ^{/1/}. Разрешающее время схем совпадений становится при этом сравнимым по величине с погрешностью устройств временной привязки (УВП) ^{/2/}, которые выдают сигналы, отмечающие моменты попадания частиц в счетчики. Уменьшение разрешающего

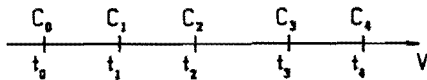


Рис. 1. Схема получения временных отметок со счетчиков.

времени вызывает усиление зависимости эффективности регистрации от точности установки задержек, посредством которых совмещаются во времени сигналы, анализируемые на совпадения. В реальных условиях, при измерении импульсного спектра регистрируемых частиц, задержки в каналах устанавливаются для определенной средней скорости — $V_{ср}$. Отклонение скорости конкретной частицы от средней будет действовать аналогично ухудшению точности установки задержек и должно сопровождаться понижением эффективности регистрации. Таким образом, эффективность регистрации совпадений будет зависеть от скорости частицы и от погрешности временной отметки.

В настоящей работе проводится количественная оценка этих зависимостей для случая, когда частица последовательно пересекает несколько счет-

чиков (рис. 1). Время попадания частицы в счетчик отмечается УВП с некоторой погрешностью, а распределение отклонений хорошо согласуется с нормальным ^{/2/}. На рис. 2 представлен общий вид плотностей распределений временных отметок с отдельных счетчиков — $\rho_i(t)$. Заметим, что скорость частицы однозначно задает положения центров $\rho_i(t)$ с соответствующих счетчиков — $t_i(V)$. Вероятность регистрации этих сигналов методом совпадений будет определяться вероятностью попадания их временных отметок (имеются в виду передние фронты сигналов ^{/1/}) в интервал $\pm a$ вокруг некоторого t . Если определить функционал

$$I_i(t) = \int_{t-a}^{t+a} \rho_i(\tau - t_i) d\tau, \quad (1)$$

характеризующий вероятность попадания сигнала i -го счетчика в интервал $t \pm a$, то, поскольку отклонения сигналов с отдельных счетчиков статистически независимы, вероятность одновременного попадания в этот интервал сигналов с нескольких счетчиков будет равна

$$F(t) = \prod_i I_i(t). \quad (2)$$

Максимальное значение функционала $F(t)$, соответствующее оптимальному положению интервала интегрирования $2a$ (рис. 2), будет равно вероятности попадания сигналов со счетчиков в этот интервал, т.е. эффективности регистрации частиц с фиксированной скоростью, заданной набором t_i . Такой способ вычисления эффективности применим для любых $\rho_i(t)$, в том числе и полученных экспериментально.

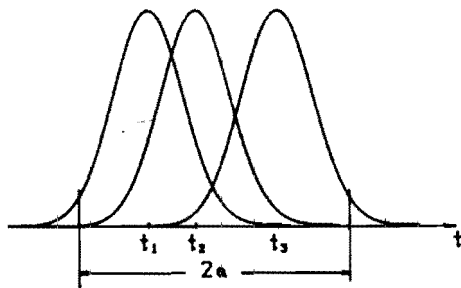
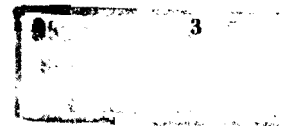


Рис. 2. Общий вид распределений временных отметок сигналов со сцинтилляционных счетчиков: t_1, t_2, t_3 — центры распределений, $2a$ — разрешающее время совпадений.

Расчеты эффективностей регистрации проводились для системы сцинтилляционных счетчиков основного плеча установки МАСПИК ^{/3/}. Расстояния между нулевым и остальными счетчиками (см. рис. 1) составляют 2,83, 8,30, 19,05 и 21,90 м соответственно. В качестве исходных использовались нормальные распределения погрешностей временных отметок. Центры $\rho_i(t)$, соответствующие заданному отклонению скорости (времени пролета) частицы от средней, определялись как

$$t_i = (l_i / l_4) \times \Delta t_4 + t_{0i}, \quad (3)$$

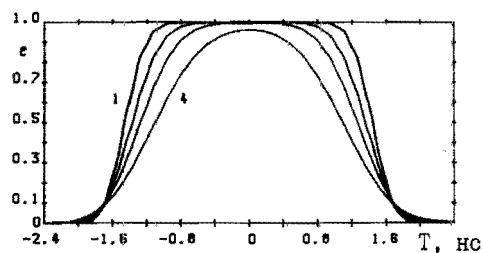
где l_i — расстояния от 0-го до i -го счетчика, l_4 — расстояние между крайними счетчиками, t_{0i} ($i = 1, 2, 3$) — начальные смещения центров распределений соответствующих счетчиков, которые отождествляются с ошибкой установки задержек, Δt_4 — отклонение времени пролета между счетчиками 0 + 4 от среднего. Диапазон используемых в расчетах изме-



нений Δt , составлял $\pm 1,5a$, где $2a$ - разрешающее время совпадений (см. рис. 2).

Результаты расчетов приведены на рис. 3 + 6. По оси абсцисс отложена величина $T = 1/\delta - T_{пер}$, где δ - скорость частицы, $T_{пер}$ - время пролета, соответствующее $\delta_{пр}$, а по оси ординат - эффективность регис-

Рис. 3. Зависимость эффективности регистрации совпадений (при разрешающем времени 3,2 нс) от погрешности временной отметки. Среднеквадратичное отклонение σ составляет 120 пс, 160 пс, 220 пс, 300 пс для кривых 1-й по 4-ю соответственно.



трации. Кривые эффективности, представленные на рис. 3, 4 и 5, свидетельствуют о зависимости эффективности от величины погрешности временной отметки (σ) и точности начальной установки задержек входных сигналов (t_{0i}). Если распределения входных сигналов для некоторой $\delta_{пр}$ совмещены точно (все $t_{0i} = 0$), изменение разрешающего времени совпадений влияет только на эффективность и величину интервала скоростей регистрируемых частиц и не отражается на форме боковых склонов (рис. 4, 5). Систематическое смещение этого интервала относительно

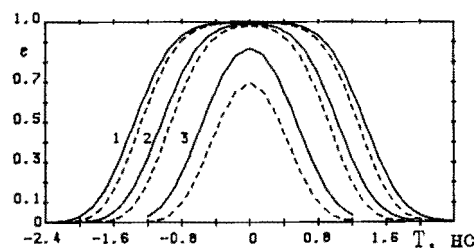


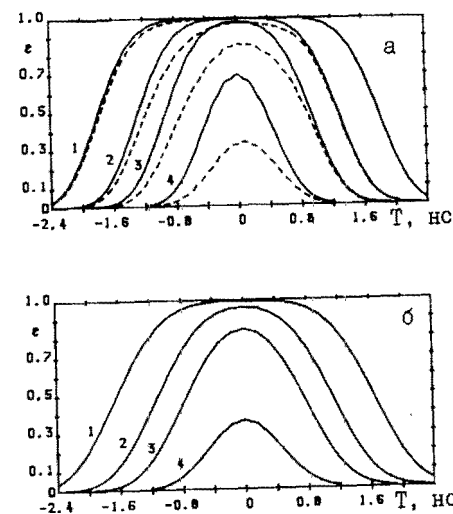
Рис. 4. Зависимость эффективности регистрации совпадений от разрешающего времени и числа счетчиков, включенных в совпадения. Сплошная линия - 2 счетчика, пунктирная - 5. Разрешающие времена (при $\sigma = 220$ пс) для кривых 1 - 3,2 нс, 2 - 2,4 нс и 3 - 1,6 нс.

средней скорости (времени пролета) отсутствует. При неточном начальном совмещении центров распределений величина разрешающего времени влияет на положение и форму всей кривой эффективности (рис. 5а, 6), причем уменьшение разрешающего времени усиливает это влияние. Появляется систематическое смещение интервала скоростей регистрируемых частиц.

Рис. 5. Зависимость эффективности регистрации совпадений от разрешающего времени и погрешности временной отметки для 5 счетчиков, включенных в совпадения;

а) $\sigma = 220$ пс, сплошная линия - $t_{01} = t_{02} = t_{03} = 0$ нс, пунктирная - $t_{01} = t_{03} = 0$ нс, $t_{02} = 0,5$ нс;

б) $\sigma = 300$ пс, $t_{01} = t_{02} = t_{03} = 0$ нс.



Результаты, представленные на рис. 6, показывают, что при одинаковом начальном смещении задержки для разных - 1, 2, 3 - счетчиков максимумы эффективности могут размещаться по разные стороны от центра.

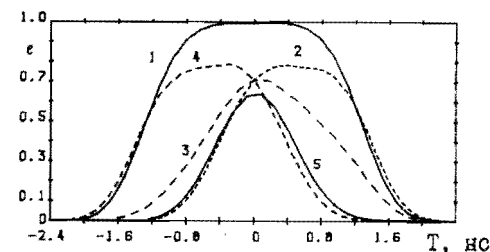


Рис. 6. Зависимость эффективности регистрации совпадений от точности начальной установки задержек входных сигналов при разрешающем времени 3,2 нс и погрешности временной отметки $\sigma = 220$ пс. Кривая 1: $t_{01} = t_{02} = t_{03} = 0$ нс; 2: $t_{01} = 1$ нс, $t_{02} = t_{03} = 0$ нс; 3: $t_{01} = t_{03} = 0$ нс, $t_{02} = 1$ нс; 4: $t_{01} = t_{02} = 0$ нс, $t_{03} = 1$ нс; 5: $t_{01} = t_{02} = t_{03} = 1$ нс.

Это можно объяснить следующим образом. Для отличающихся друг от дру-

га только положением центров $\rho_i(t)$ максимум эффективности соответствует скорости, при которой среднеквадратичное отклонение центров распределений $t_i(\varphi)$ относительно их среднего - $(1/n) \times \sum t_i(\varphi)$ - минимально. При начальной ошибке в установке какой-либо одной или нескольких задержек t_{0i} (если соответствующие C_i расположены между серединой пролетного интервала и C_4 , например C_3 - рис. 1) положение максимума может оказаться смещенным и в противоположную относительно этих задержек сторону.

Очевидно, что максимальная эффективность достигается при точном совмещении центров распределений временных отметок, в то же время доступная точность установки задержек, как правило, ограничена. Требуемая точность может быть определена из анализа эффективности с учетом всех реальных параметров установки: расположения счетчиков, распределений погрешностей их временных отметок и заданного интервала импульсов регистрируемых частиц.

Количественные результаты расчетов позволяют сделать вывод, что при достигнутом на спектрометре МАСПИК временном разрешении отдельных счетчиков ($\sigma \approx 220$ пс [27]) установка разрешающего времени схем совпадений меньше 2,5 нс ведет (для 5-ти счетчиков) к снижению эффективности. Большое влияние имеет и точность согласования начальных задержек сигналов - ошибка может привести здесь не только к потере эффективности, но и к изменению средней скорости регистрируемых частиц и к изменению формы зависимости эффективности от скорости (времени пролета) частиц.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Л.С.Ажгирей и Г.Д.Столетова за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.С.Ажгирей, И.К.Взоров, В.М.Гребенюк и др. Препринт ОИЯИ 13-88-437, Дубна, 1988.
2. В.Ф.Борейко, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов и др. Препринт ОИЯИ 13-86-362, Дубна, 1986; ИТЭ, № 5, 1987, с.87.
3. Л.С.Ажгирей, И.К.Взоров, В.Н.Жмиров и др. В кн: Труды Совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. ОИЯИ, д2-82-568, Дубна, 1982, с.83.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 августа 1988 года.

Кожевников Ю.А., Лыткин Л.К.

13-88-627

Анализ эффективности регистрации элементарных частиц методом совпадений при малых разрешающих временах

Описывается вариант расчета эффективности регистрации элементарных частиц методом совпадений при разрешающих временах, сравнимых по величине с погрешностью временных отметок счетчиков, который применяется для любых типов распределений этих погрешностей, в том числе и полученных экспериментально. Приводятся результаты расчета, оценивающие эффективность регистрации релятивистских частиц системой сцинтилляционных счетчиков установки МАСПИК в области $1,6 \div 4$ нс/ разрешающих времен. Показывается зависимость эффективности от времени пролета /импульса/ частицы при различных погрешностях временных отметок и точностях согласования задержек сигналов счетчиков.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Kozhevnikov Yu.A., Lytkin L.K.

13-88-627

The Elementary Particle Registration Efficiency Analysis by the Coincidence Method at Small Resolution Times

The computation version of elementary particle registration efficiency by coincidence method for comparable in value to counter timing error resolution times is described. The version is applied to all the types of timing error distributions including those obtained experimentally. The computation results estimating the relativistic particle registration efficiency by means of MASPIC detector scintillation counter system in the region of small (1.6 ÷ 4 ns) resolution times are given. The time-of-flight /impulse/ dependence at various timing errors and fitting accuracy of counter signal delay is shown.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988