

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P11-86-342

Л.А.Кулюкина, Г.А.Ососков, Л.Халада*

**АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДСЧЕТА
ИОНИЗАЦИИ СТРИМЕРНЫХ ТРЕКОВ
ПРИ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ**

* Институт технической кибернетики САН,
Братислава, ЧССР

1986

I. Введение

Успешные попытки полутоновых измерений с помощью классических сканирующих устройств /I-3/ и широкое распространение светочувствительных линеек и матриц на базе приборов с зарядовой связью (ПЗС) /4,5/ делают реальной возможность использования таких измерений для автоматизации подсчета числа центров ионизации по оцифрованным данным треков элементарных частиц. Решение этой задачи для стримерных камер позволяет сделать более надежной идентификацию частиц высоких энергий в диапазоне импульсов от 5 до 100 ГэВ/с /6-8/.

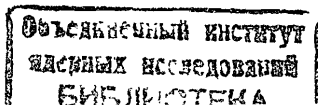
Ручные измерения ионизации состоят в подсчете числа стримеров χ на снимке заданного участка трека длиной L . Отношение χ/L служило оценкой ионизационной плотности, с помощью которой и осуществлялось сравнение и различие гипотез о треках частиц. Главные факторы, затруднявшие автоматизацию этих измерений, были вызваны, во-первых, случайным разбросом диаметров стримеров, что приводило к перекрытию и даже поглощению изображений одних стримеров другими, а во-вторых, потерей значительной части информации при оцифровке с дискриминацией сигнала на два уровня. Для треков в пузырьковых камерах, состоящих из пузырьков одинакового диаметра, были развиты методы автоматического определения ионизации /9/. Имеются работы по успешному применению этих методов к экспериментальной информации, полученной со снимков стримерных треков специальным прибором, измеряющим световой поток от узкой щели, перпендикулярной треку и перемещаемой вдоль него /7,10/.

Полутоновые измерения позволяют поставить задачу алгоритмизации человеческой способности распознавать отдельные стримеры на фотоснимках стримерных треков. В настоящей работе предложен такой алгоритм и приведены результаты его проверки на монтекарловской модели стримерных треков.

2. Модель. Постановка задачи

Для постановки математической задачи воспользуемся формализованной моделью изображения стримерного трека, предложенной в работе /II/. В основу модели положены следующие предложения, возникшие из рассмотрения свойств реальных измерений.

Поскольку ионизационные измерения могут производиться только после распознавания трека и определения его геометрических параметров, достаточно принять модель прямолинейного трека.



Распределение центров первичной ионизации вдоль трека удовлетворяет закону Пуассона /6,12/. Отсюда следует, что расстояния между центрами распределены экспоненциально с плоскостью

$$F_g(l) = g e^{-gl}, \quad l \geq 0. \quad (I)$$

Оптическая система камеры РИСК /13/ позволяет пренебрегать вертикальными размерами стримеров на плоскость снимка и моделировать их изображения в виде последовательности окружностей случайных диаметров (см. рис. I)

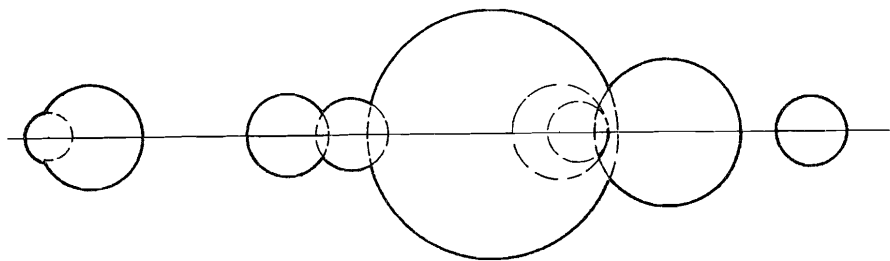


Рис. I

Распределение случайных диаметров - симметрично усеченное нормальное со средним \bar{D}_1 , дисперсией σ_D^2 , максимальным и минимальным значениями (D_{\min} ; D_{\max}), определяемыми условиями регистрации и оцифровки /11/.

Дополнительные упрощения в сравнении с реальными изображениями состояли в отсутствии засветок от δ -электронов и пренебрежении отклонением формы проекций реальных стримеров от круга особенно по краям изображения, где из-за оптического параллакса эти проекции становятся эллипсовидными, что ведет к их дополнительному небольшому перекрытию. Тем не менее, сегменты реальных треков, взятые в области оптической оси и без δ -электронов, вполне сравнимы с этой моделью (ср. рис. 2 и 3). Флуктуация кривой яркости стримеров, описываемая кривой Ландау /14/, имитировалась с помощью плотности, аппроксимирующей распределение Ландау в условных единицах, изменяющихся в диапазоне 1:100.

Спадание яркости от центра изображения стримера к его периферии описывалось гауссовой кривой. При необходимости имитировался эффект слияния двух близких лавин-стримеров в один (т. наз. "Робин-эффект" /15/).

Имитация процесса измерения основывалась на допущениях /11/ о перпендикулярности линии сканирования треку и о сложении сигналов от перекрывающихся стримеров. Численная величина сигнала в интервале сканирования определялась путем интегрирования по объему, лежащему под гауссовой поверхностью, с учетом коэффициента яркости стримера. С учетом возможного применения ПЗС-матрицы имитация оцифровки трехмерной модели изображения стримерного трека производилась путем последовательного наложения на изображение матрицы $M \times M$, захватывающей полосу шириной $3D_{\max}$, и дискретизации значений яркости $BR(i,j)$: $i, j = \overline{1, M}$ в каждой ячейке матрицы на 32 уровня (5 двоичных разрядов) между начальным уровнем дискретизации BR_{\min} и максимальным возможным значением яркости BR_{\max} . Для имитации шумовых эффектов были приняты следующие предположения:

- аппаратные шумы в определении яркости - много меньше ошибок округления при дискретизации;
- нормальная работа системы АРУ (автоматической регулировки усиления) обеспечивает минимально возможное значение яркости шумовых отсчетов, превышающих BR_{\min} , и равномерность их распределения в сканируемой полосе вдоль трека.

С точки зрения математической реализации в модели это означало, что в ячейки, где яркость изображения оказывалась меньше BR_{\min} , т.е. $BR(i,j) = 0$, с вероятностью $P_{\text{ш}}$ засылалось значение $BR(i,j) = 1$. После этого матрица накладывалась на соседнее окно полосы и т.д., так что фактически "продольный" индекс двумерного массива яркости $BR(i,j)$ меняется до какого-то большого числа ($10^3 + 10^4$), соответствующего многократному положению матрицы. В реализации модели на ЭЭМ СДС-6500, представленной на рис. 3, было принято $M=32$; $i = \overline{1, 1000}$; $j = \overline{1, M}$;

$$P_{\text{ш}} = 0,1; \quad \bar{D} = 1,0; \quad D_{\min} = 0,7\bar{D}; \quad D_{\max} = 1,3\bar{D}, \quad \sigma_D = 0,3\bar{D}.$$

Вышеописанная модель и ее более простые варианты активно использовались в исследованиях по применению методов оценки ионизации, разработанных для снимков с пузырьковых камер, к стримерным трекам /11/, для теоретических исследований (см. обзор в /16/), для выработки алгоритмов оценки ионизации стримерных треков при дискриминации сигнала в устройстве автоматического сканирования на два уровня /17/.

С помощью математических методов массового обслуживания, развитых в теоретических работах для систем с бесконечным числом обслуживаемых устройств, исследовались процессы образования сгустков стримеров вдоль трека, состоящих из цепочек перекрывающихся изображений отдельных стримеров. Наиболее сложная проблема состояла в учете влияния тех стримеров, которые из-за эффектов перекрытия и поглощения оказывались принципиально ненаблюдаемыми.

В этой связи укажем, что обычно применяемая физиками оценка плотности \hat{g} , получаемая фактически как отношение числа наблюдаемых стримеров ν_L к длине L отрезка, на котором производятся измерения, по сути является оценкой не плотности g первичной ионизации, а меньшей величины g^* , названной в [16] наблюдаемой плотностью

$$g^* = g e^{-g\bar{D}} / p < g \quad (2)$$

Параметр p , согласно [16], определяет геометрическое распределение числа ν_H стримеров, наблюдаемых в отдельном ступке

$$P(\nu_H = k) = p(1-p)^{k-1} \quad (k=1, 2, \dots) \quad (3)$$

В работе [17], где рассмотрена модель с дискриминацией сигнала на два уровня, трек представляется в виде ступков, состоящих из перекрывающихся кругов различных диаметров, разделенных промежутками. При достаточно частом шаге сканирования $h \leq \bar{D}/5$, обычном для устройств пленочной обработки, выполнялись условия для определения числа наблюдаемых стримеров в каждом ступке с помощью алгоритма "вырезания" стримера, определяемого как место максимального расширения ступка. Начало и конец каждого ступка находились по наличию пропуска длины $\ell \geq \ell_{min}$, после чего ступок расчленялся на стримеры путем последовательного применения алгоритма к остаткам от вырезания на предыдущем шаге, пока не останется частей, больших ℓ_{min} .

Процедура эта, как следует из приведенных в [17] графиков распределения оценки g^* , достаточно груба, так что для повышения точности подобных способов подсчета стримеров потребовалось привлечение информации о яркости стримеров, предоставляемых полутонными измерениями.

Представим себе вышеприведенную модель полутонных измерений стримерного трека как результат дискретизации некоторой горной цепи с пиками, имеющими форму гауссианов различной высоты, расположенными на одной линии и кое-где накладывающимися друг на друга. Тогда поставленная задача сводится к разработке алгоритма детектирования этих вершин.

Подобные задачи встречаются в физике при обработке двумерных спектров [18, 19] и обычно решаются с помощью предварительного сглаживания поверхности и применения преобразования (фильтра), способствующего детектированию пиков с использованием второй производной для их сужения и выравнивания по высоте (см. напр. [19]).

В нашем случае дело существенно упростилось, благодаря стационарности фона и наличию осевой симметрии, позволяющих свести задачу к

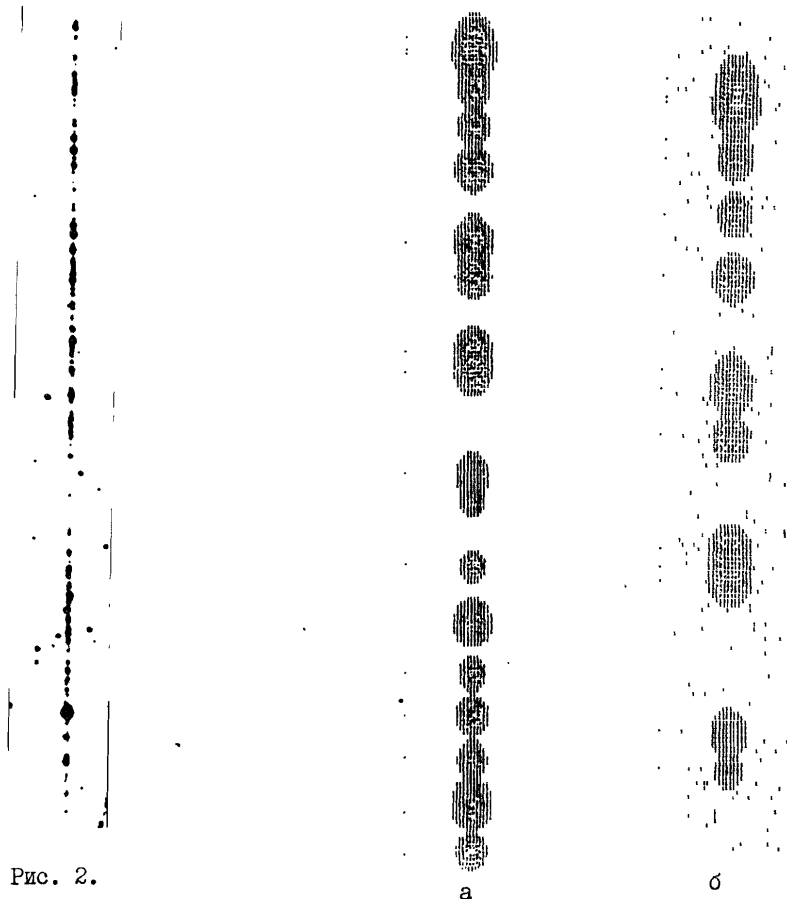


Рис. 2.

Рис. 3.

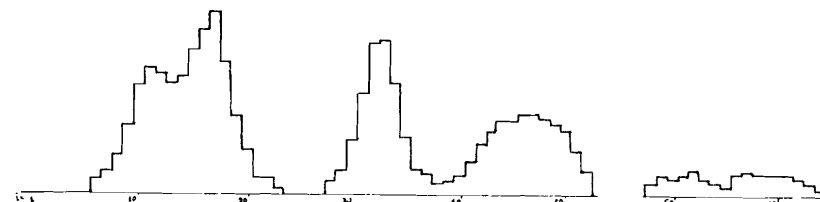


Рис. 4.

поиску пиков одномерного спектра путем интегрирования по поперечной координате j

$$F(i) = \sum_{j=1}^M BR(i, j) \quad (4)$$

Наиболее подходящим из известных в этом случае является фильтр, основанный на т. наз. квазикривизне $^{/20/}$

$$Q(i) = \frac{F''(i)}{\sqrt{1+(F'(i))^2}}, \quad (i > 1) \quad (5)$$

где $F'(i) = F(i+1) - F(i)$; $F''(i) = F(i+1) - 2F(i) + F(i-1)$.

Этот фильтр детектирует пики в области $\min Q(i)$ при $Q(i) < 0$.

На рис. 4 представлен график $F(i)$, соответствующий модели, изображенной на рис. 3.

Внимательное рассмотрение рис. 3, 4 показывает наличие по крайней мере трех существенных проблем.

1. Необходимость усовершенствования алгоритма определения начала и конца ступки (или промежутка), учитывающее наличие ненулевого шумового фона.

2. Необходимость сглаживания $F(i)$ для устранения шумовых выбросов и скачков, вызванных дискретизацией, которые могут привести к появлению ложных минимумов $Q(i)$.

3. Трудности непосредственного применения квазикривизны $Q(i)$ для детектирования пиков внутри ступок в областях с близкими пиками различной высоты и пологих пиков (см. области $i = 43+5I, 66+7I$ на рис. 4), где значения $Q(i)$ оказываются положительными или нулевыми.

3. АЛГОРИТМЫ

При решении первой из этих проблем использовались предположения о малости вероятности $P_{ш}$ шумового выброса и о симметрии изображения трека относительно осевой линии (соответствующей индексу

$j_M = \lfloor \frac{M+1}{2} \rfloor$). В этих предположениях обобщением алгоритма определения начала и конца ступки по двукратному пропуску отсчетов будет алгоритм, фиксирующий дважды хотя бы один пропуск в центральной полосе ширины $2r+1$, идущей вдоль трека, т.е. индексы i_B и i_E начала и конца ступки определяются по равенству нулю функции

$$Z_r(i) = \sum_{j=j_M-r}^{j_M+r} (BR(i, j) + BR(i+1, j)). \quad (7)$$

При $P_{ш} = 0, 1+0, 2$ оказалось достаточно взять $r=1$.

Для решения проблемы об аппроксимации $F(i)$, являющейся суперпозицией гауссианов, было опробовано несколько сглаживающих функций. Наиболее подходящими оказались кубические сплайны специального колоколообразного вида $^{/21/}$ (см. рис. 5), определяемые на четырех ячейках решетки шага H , симметрично относительно средней точки X_0 ,

$$s(x, x_0, H) = \begin{cases} \text{как} \\ (2H - \Delta)^3 - 4(H - \Delta)^3; & \Delta < H, \\ (2H - \Delta)^3 & ; H < \Delta < 2H, \\ 0 & ; \Delta > 2H, \end{cases} \quad (6)$$

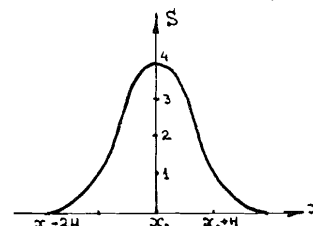


Рис. 5

где $\Delta = |x - x_0|$.

Величина шага решетки вычисляется по длине ступки $l = i_E - i_B$ и числу сплайнов N_{Sp} : $H = l / N_{Sp}$. Вопрос о выборе N_{Sp} явился здесь самым существенным, т.к. наилучшую аппроксимацию дает как раз искомое число стримеров в ступке, а завышение N_{Sp} ,

как и во всякой аппроксимационной задаче, приводит к тому, что аппроксимирующая кривая перестает сглаживать дефекты $F(i)$, подлежащие устранению.

Поэтому для выделения случаев одиночных стримеров (или близких стримеров равной яркости, наблюдаемых как одиночные), когда $N_{Sp}=1$, потребовалось привлечь дополнительную информацию о ширине и симметрии формы пика. Таким образом был получен алгоритм решения третьей проблемы: если длина ступки $l = i_E - i_B$ оказывалась близка к \bar{l} , находилась его середина $i_C = \lfloor \frac{i_E + i_B}{2} \rfloor$, в которой определялась ширина w , и при выполнении условия

$$0 < l - 2 \leq w \quad (7)$$

вычислялся выборочный коэффициент асимметрии

$$\gamma = \frac{\sum_{i=i_B}^{i_E} (i - i_C)^3 F(i)}{(\sum_{i=i_B}^{i_E} (i - i_C)^2 F(i))^{3/2}} \quad (8)$$

В соответствии с $^{/22/}$ малость асимметрии проверялась как

$$\gamma < 6 \sqrt{\frac{N-2}{(N+1)(N+3)}}, \quad (9)$$

где $N = \sum_{i=i_S}^{i_E} F(i)$.

При выполнении (7) и (9) $N_{Sp}=1$, при выполнении (7) и нарушении (9) $N_{Sp}=2$, при нарушении (7) и (9) число сплайнов вычислялось по формуле

$$N_{Sp} = \lambda \ell + 1, \quad (10)$$

где значение коэффициента $\lambda = 0,55$ было подобрано так, чтобы обеспечить наилучшую близость найденного на треке длины L числа стримеров N_L к теоретическому значению Lg^* (g^* найдено из (2)). В качестве детектора пиков PD (peak detector) применялась функция

$$PD = \left| \min_{i_S \leq i \leq i_E} Q(i) \cdot X(i) \right|, \quad (11)$$

где $X(i)$ - характеристическая функция области локального максимума

$$X(i) = \begin{cases} 1, & (F(i) \geq F(i-1)) \wedge (F(i) \geq F(i+1)). \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

4. Статистические выводы

Пусть с помощью алгоритмов предыдущего раздела на участке трека длины L было определено n сгустков с числом наблюдаемых стримеров в каждом k_1, k_2, \dots, k_n . Согласно (3), логарифмическая функция максимального правдоподобия числа наблюдаемых стримеров в сгустке будет

$$\mathcal{L} = n \ln p + \ln(1-p) \sum_{i=1}^n (k_i - 1). \quad (12)$$

Для оценки параметра p , имеющего смысл вероятности того, что отдельный стример не перекрывается с другим, приравняем нулю $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial p}$

$$n/p - (\sum_{i=1}^n k_i - n)/(1-p) = 0.$$

Отсюда получаем оценку максимального правдоподобия

$$\hat{p} = \frac{1}{\bar{k}}, \quad (13)$$

где $\bar{k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i$ - среднее число стримеров в сгустке. Оценка \hat{p} распределена асимптотически нормально $N(p, p \sqrt{(1-p)/n})$. Из-за аналитических трудностей график зависимости \hat{p} от g , приведенный на рис. 6 с соответствующим коридором ошибок, был получен методом Монте-Карло.

Функция $\hat{g}_B = p^{-1}(\hat{p}) = p^{-1}(\frac{1}{\bar{k}})$, обратная к этому графику, дает нам оценку плотности первичной ионизации g , также асимптотически нормальную $N(g, \frac{dp^{-1}}{dp} p \sqrt{(1-p)/n})$. Полученная выборка сгустков дискретизованного трека позволяет нам получить информацию о промежутках между этими сгустками, длины которых, как известно /23/, являются независимыми от величин сгустков. На исследуемом участке трека между n сгустками будет $n-1$ промежуток m_1, m_2, \dots, m_{n-1} . Их распределение известно /23/

$$p(m) = (1 - e^{-gh}) e^{-mgh}, \quad (m \geq 1) \quad (14)$$

и позволяет получить еще одну оценку максимального правдоподобия для g

$$\hat{g}_m = \frac{1}{h} \ln \frac{\bar{m}}{\bar{m}-1}, \quad (15)$$

где $\bar{m} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} m_i$ - среднее арифметическое длин промежутков. Статистика \hat{g}_m распределена асимптотически нормально /23/ $N(g, (e^{\frac{gh}{2}} - e^{-\frac{gh}{2}})/h\sqrt{n})$.

Статистическая независимость сгустков и промежутков дает возможность объединить оценки (13) и (15) путем известной операции взвешивания /24/. Взвешенная оценка

$$\hat{g} = \left(\frac{\hat{g}_B}{\sigma_B} + \frac{\hat{g}_m}{\sigma_m} \right) (\sigma_B^{-2} + \sigma_m^{-2})^{-1}$$

будет также асимптотически нормальной со среднеквадратичным отклонением

$$\sigma_{\hat{g}} = \frac{\sigma_B \cdot \sigma_m}{\sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_m^2}},$$

меньшим, чем каждая из величин σ_B и σ_m .

Результаты вычислений оценок \hat{p} , \hat{g}^* и \hat{g} по данным моделирования с различными исходными значениями $P_{ш}$, приведены в табл. I.

Следует также отметить, что в большинстве физических приложений ионизация используется не сама по себе в своем абсолютном значении, а как фактор, необходимый для сравнения или разделения частиц по их трекам для выбора той или иной физической гипотезы.

В этом качестве наблюдаемая плотность g^* , получаемая с помощью предлагаемых алгоритмов как $g_H = (\sum_{i=1}^n k_i)/L$, вполне заменяет g , если только точность этой оценки (см. средние колонки табл. I) достаточна для разделения двух сравниваемых значений g .

Таблица I

ε	$P_{ш} = 0,1$			$P_{ш} = 0,2$		
	P	$\frac{\sigma^*}{\sigma_{g^*}}$	$\frac{\hat{\sigma}}{\sigma_{\hat{\sigma}}}$	P	$\frac{\sigma^*}{\sigma_{g^*}}$	$\frac{\hat{\sigma}}{\sigma_{\hat{\sigma}}}$
0,2	0,875	$\frac{0,216}{0,0015}$	$\frac{0,238}{0,0389}$	0,846	$\frac{0,216}{0,0021}$	$\frac{0,235}{0,0371}$
0,4	0,795	$\frac{0,367}{0,0058}$	$\frac{0,417}{0,0443}$	0,807	$\frac{0,367}{0,0056}$	$\frac{0,421}{0,0452}$
0,6	0,603	$\frac{0,569}{0,0057}$	$\frac{0,624}{0,0535}$	0,576	$\frac{0,597}{0,0036}$	$\frac{0,624}{0,0536}$
0,8	0,527	$\frac{0,709}{0,0075}$	$\frac{0,803}{0,0553}$	0,503	$\frac{0,700}{0,0060}$	$\frac{0,800}{0,0549}$

В заключение рассмотрим возможность параллельной реализации приведенного алгоритма.

Соотношения (3)-(5) и (II) можно быстро вычислить с помощью какого-либо матричного процессора, например, ЕС-2706 или FPS-190L, позволяющего быструю по-элементную обработку векторов.

Например, для вычисления квазикривизны введем вектор-строки $c^{(j)}$ двумерного массива яркости с компонентами $c_1^{(j)}, c_2^{(j)}, \dots, c_N^{(j)}$, где $c_1^{(j)} = BR(1, j)$; $i=1, N$; $j=1, M$, и вычислим $F(1), F'(1), F''(1)$ как векторы

$$\begin{aligned} c &= \sum_{j=1}^M c^{(j)}, \\ c' &= c_1 - c, \\ c'' &= c_2 - c_1 + c, \end{aligned} \quad (I6)$$

где векторы c_1 и c_2 получаются сдвигом влево вектора c на 1 или 2 элемента соответственно.

Далее введем $I=(1, 1, \dots, 1)$ единичный вектор r , вычисляем вектор

$$R = VSQRT(I + c_1 * c_1) \quad (I7)$$

и получаем из него вектор R_1 сдвигом на один элемент влево. Тогда $Q(1) i=2, N-1$ будут элементами вектора

$$Q = c'' / R_1. \quad (I8)$$

Вычисления (I6) требуют $M+1$ операций векторного суммирования VADD или векторного вычитания VSUB, а (I7) и (I8) - по одной VMUL, VADD, VSQRT, VDIV.

К сожалению, в случаях высокой зашумленности и большого шага сканирования h , когда нельзя обойтись без сглаживания по формулам (6)-(9), вычисления по этим формулам не могут быть выполнены параллельно, т.к. производится локально и зависят от числа сплайнов в слугтке $N_{ш}$.

Тем не менее даже и в этом случае доля векторных вычислений является основной, т.е. применение матричного процессора целесообразно.

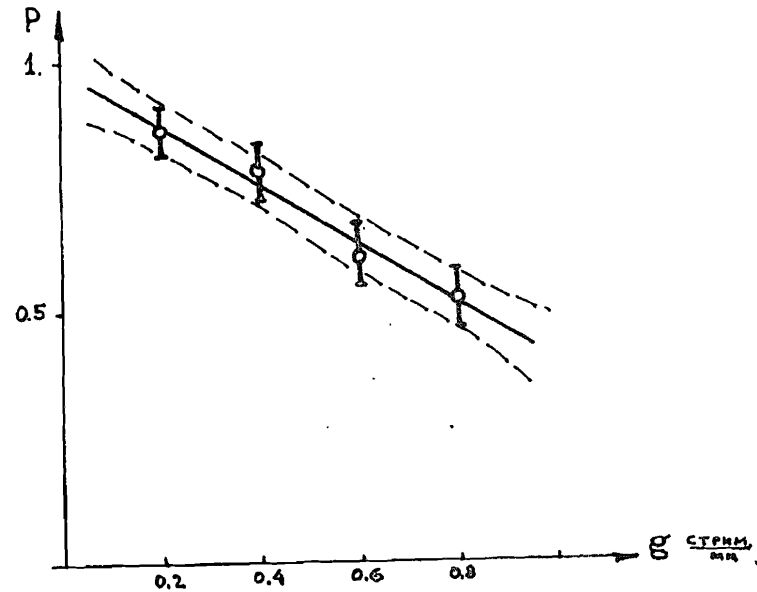


Рис. 6.

Литература

1. Proc. Conf. on Computer Assisted Scanning, Padova, INFN, 1976.
2. Авакян Ц.М. и др. В кн.: Материалы 2 Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Изд. ЕрФИ, Ереван, 1978, с. 553-558.
3. Позе Р.А. там же, с. 326-353.
4. Приборы с зарядовой связью. Под ред. Д.Ф.Барба. "Мир", М., 1982.
5. Zacharov V. Proc. 1980 CERN School of Computing, CERN81-03, Geneva, 1981, pp. 8-31.
6. Dolgoshein B.A. et al Nucl. Instr. Meth., 29, 1964, p.270.
7. Glasnek C.-P., Peter G. PHE 75-9, Berlin-Zenter, 1975.
8. Eckardt V. et al Nucl. Instr. Meth., 143, 1977, p.235.
9. Glückstern R.L., Nucl. Instr. Meth., 45, 1966.
10. Бом Г. и др. PHE 80-8, ИФВЭ АН ГДР, Цойтен-Берлин, 1980.
11. Кадников Г.М. и др. В кн.: Совещание по программированию и математическим методам решения физических задач, ОИЯИ, ДИО-7707, Дубна, 1974, с. 51-59.
12. Ососков Г.А. Теор. вероят. и ее прим. т.1, № 2, 1956, с. 274-282.
13. Давиденко В.А. и др. ЖЭТФ, 55, 1968.
14. Асатиани Т.Л. и др. ОИЯИ, 13-4527, Дубна, 1969.
15. Bules F. et al SLAC-Report Nr.74.
16. Двуреченский А. и др. ОИЯИ, P5-82-682, Дубна, 1982.
17. Двуреченский А. и др. В кн.: Труды У Международного совещания по проблемам математического моделирования, программирования и математическим методам решения физических задач. ОИЯИ, ДИО, II-84-818, Дубна, 1985, с.343-345.
18. Злоказов В.Б. там же, с. 350-352.
19. Дженкинс Г.М., Ваттс Д.Г. Спектральный анализ и его приложение. Вып. 1, 2, Мир, М., 1972.
20. Злоказов В.Б. Comp. Phys. Comm., v.21, 1981, pp. 373-383.
21. Век J., Comp. Phys. Comm., v.16, 1978, pp.113-118.
22. Крамер Г. Математические методы статистики. "Иностр. Лит.", М., 1948.
23. Кулжикина Л.А. и др. ОИЯИ, P5-III43, Дубна, 1977.
24. Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике. ГИТТЛ, М., 1955.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 мая 1986 года.

Кулжикина Л.А., Ососков Г.А., Халада Л.
Алгоритмы автоматического подсчета ионизации стримерных треков при полутонных измерениях

P11-86-342

Исследуется модель изображения стримерного трека на фоне равномерного шума, учитывающая эффекты перекрытия и поглощения стримеров друг другом, а также имитацию полутонных измерений с помощью светочувствительной линейки или матрицы. На основе модели предложен экономичный алгоритм обработки данных оцифровки модельного изображения, допускающей параллельную реализацию. Алгоритм состоит в расчленении трека на сгустки слившихся стримеров, интегрировании объемов под поверхностью функции яркости, сглаживании получившихся кривых кубическими сплайнами колоколообразного вида и детектировании пиков с помощью первых и вторых разностей. Проверка метода на модельных данных показала его высокую надежность, сравнимую с ручной обработкой.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод авторов

Kulyukina L.A., Ososkov G.A., Halada L.
Algorithms for Automatic Calculation of Streamer Track Ionization by Grey Level Measurements

P11-86-342

The model of the streamer track image with a uniform background is considered. The simulation of grey level measurements is made, which takes into account the effects of streamer overlapping. On the basis of this model an efficient algorithm of data handling for the digitalized model image is suggested which allows the parallel implementation. The algorithm consists of the following parts: track partition into separate blobs of overlapping streamers; calculation of volumes under surface of the brightness function; smoothing the obtained curves by bellshape cubic splines; peak detecting by means of the first and second differences. The high reliability of the method was proved by testing on simulated data. It was found comparable with the treatment by human eye.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986