

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СЛЕДА ПРИ РАБОТЕ СО СКАНИРУЮЩИМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРОЕКТОРОМ

В. А. МАМАЕВ, В. П. МИХЕЕВ, Б. С. РОЗОВ, Г. В. ЧЕРЕМИСИНОВ

Как известно, измерение плотности следов на фотографии с пузырьковой камеры дает добавочную информацию, полезную при определении скорости частицы, а также при разборе физических гипотез взаимодействия. В данной работе рассматривается методика и установка для измерения плотности следов на фотографии с пузырьковой камеры с помощью сканирующего измерительного проектора. Приводятся результаты измерений и данные о точности измерений.

Сканирующий измерительный проектор предназначен для измерения координат трека при ручном сопровождении [1]. Характерной особенностью этой установки является выделение сигнала с фотоумножителя в те моменты времени, когда на опорные метки попадает тень обмеряемого трека. Это равносильно сканированию следа под разными углами к касательной к следу отверстиями, диаметр которых приблизительно равен увеличенному изображению отдельного пузырька на поверхности проектора. Таким образом, имеется связь между средним количеством выходных импульсов (сформированных после фотоумножителя) и плотностью следа на фотопленке. Под плотностью следа ионизирующей частицы в пузырьковой камере понимается число зародышевых пузырьков на единицу длины следа. Зависимость плотности от скорости частицы выражается формулой [2]

$$g = \frac{A}{\beta^2} \left(B + \ln \frac{\beta^2}{1 - \beta^2} - \beta^2 \right), \quad (1)$$

где β — относительная скорость частицы, A , B — коэффициенты, зависящие от термодинамических параметров жидкости камеры.

Величины A и B сильно сказываются на плотности g при прочих равных условиях, поэтому предпочтительнее проводить измерения относительных плотностей, т. е. сравнивать плотность обмеряемого следа частицы с плотностью следа частицы с известными параметрами. Очевидно, что в качестве известных следов могут быть взяты следы первичных частиц на снимке.

Из принципа работы измерительного проектора видно, что количество выходных импульсов за один оборот перископа зависит не только от плотности следа, но также от расположения трека относительно опорных меток. Количество выходных импульсов на один оборот перископа в случае аппроксимации трека сплошным отрезком прямой может быть подсчитано как количество пересечений данного отрезка прямой с окружностями радиуса R (где R — плечо перископа).

Центры этих окружностей лежат в заштрихованной области, показанной для некоторого положения трека (рис. 1). Число выходных импульсов практически равно количеству опорных меток, попадающих в заштрихованную область, и колеблется от 6,2 до 7,2. На рис. 2 показана гистограмма, показывающая число выходных импульсов при входной апертуре $6 \times 6 \text{ мм}^2$. Гистограмма снята для 500 случайно расположенных сплошных треков. Наиболее вероятное число выходных импульсов на один оборот перископа $N=6,7$.

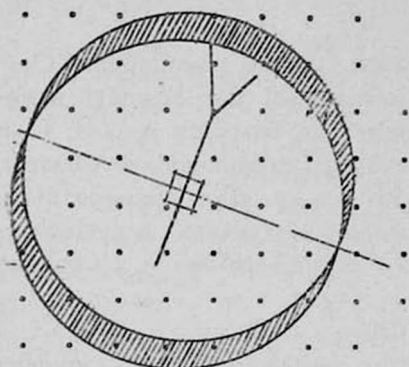


Рис. 1. Область захватываемых опорных меток.

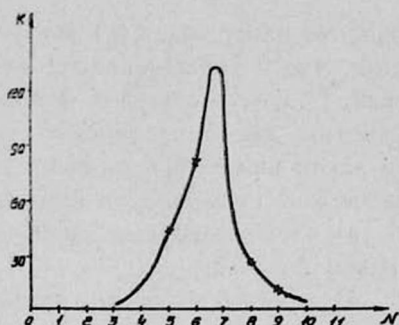


Рис. 2. Результаты измерения числа выходных импульсов на один оборот перископа.

Полагая в дальнейшем N постоянным и равным 6,7 для сплошного трека, рассмотрим зависимость числа выходных импульсов от плотности следа. Пусть имеется некоторый след длиной L на поверхности проектора со средним диаметром пузырьков D . При условии $L \gg D$, вероятность того, что длина просвета между пузырьками лежит в интервале $l \div l + dl$ равна [3]

$$W(l) dl = g e^{-gl} dl, \quad (2)$$

где g — плотность следа. Или средняя длина просвета

$$L_{\text{ср.}} = \int_0^L l g e^{-gl} dl = \frac{1}{g}. \quad (3)$$

Тогда средний „период“ следа равен $l_{\text{ср.}} + D$ и среднее число пузырьков на длине L

$$n_{\text{ср.}} = \frac{L}{l_{\text{ср.}} + D}. \quad (4)$$

Выходной импульс появляется при попадании метки на пузырек следа и при скважности следа $\gamma = 1 - \frac{D}{l_{\text{ср.}} + D}$ вероятное число выходных импульсов на один оборот перископа равно

$$n = \frac{ND}{l_{\text{ср.}} + D}. \quad (5)$$

Зная n и N , легко определить скважность γ и плотность следа $g = -\frac{15,35}{MD} \ln \gamma$ (где M — отношение длины следа в камере к длине следа на проекции). Следовательно,

$$g = -\frac{15,35}{MD} \ln \frac{N-n}{N}. \quad (6)$$

Точность измерений $\gamma(g)$ зависит от длины L (базы измерения). Очевидно, что с уменьшением L будет увеличиваться погрешность измерения. С другой стороны, выбирать L чрезмерно большим нельзя, если мы хотим знать плотность следа в какой-то ограниченной области или закон изменения плотности вдоль по следу. Для примера были подсчитаны погрешности определения γ при следующих допущениях:

а) число выходных импульсов с 1 см сплошного трека постоянно и равно $N_1 = 12$;

б) диаметр пузырька постоянен и равен $D = 3$ мм.

Задаваясь постоянной скважностью γ , можно построить кривую распределения вероятности попадания фиксированного количества меток на пузырьки для различных длин L . Так, для $L = 1$ см при $\gamma = 0,5$ среднее число пузырьков $n_{\text{ср.}} = 15$. На пузырьки может попасть любое количество меток от 0 до 12. ($x_i = 0; 1; \dots; 12$), так что возможное число событий равно 13. Вероятность любого из этих событий определяется как

$$P(x_i) = \frac{C_{n_{\text{ср.}}}^{x_i-1} \cdot C_{m-n_{\text{ср.}}}^{(N_1+1)-x_i}}{C_m^{N_1}}, \quad (7)$$

где m — общее наибольшее количество пузырьков на 1 см изображения (в нашем случае $m = 30$). Построив такие кривые для разных γ ,

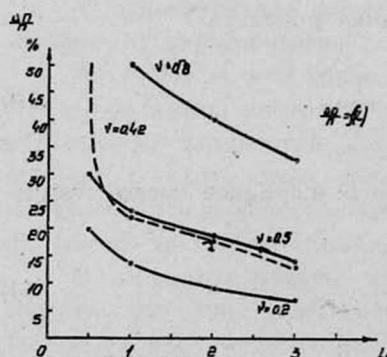


Рис. 3. Зависимость погрешности определения скважности от базы измерения (сплошные линии — расчет, пунктирная — эксперимент).

можно найти погрешность определения n (т. е. γ) как функцию L (рис. 3, сплошные линии). Видно, что при $L = 2$ см погрешность измерения уменьшается до приемлемой величины. При такой базе относительные вариации N также достаточно малы (менее 8%).

Полученные результаты были проверены экспериментально. С этой целью с помощью микроскопа была измерена скважность 15 треков по методике, описанной в [4]. Результаты измерений на микроскопе (табл. 1) сравнивались с результа-

Таблица 1

№ трека	Число выходных импульсов на оборот перископа (n)	(γ_n) скважность, измеренная на проекторе	Скважность, измеренная на микроскопе (γ_m)	Абсолютная ошибка ($\gamma_m - \gamma_n$)	Относительная ошибка $\frac{\gamma_m - \gamma_n}{\gamma_m}$
1	2,08	0,69	0,725	0,035	4,8 %
2	3,05	0,545	0,583	0,038	6,6 %
3	2,3	0,657	0,69	0,033	4,8 %
4	2,25	0,663	0,733	0,07	9,5 %
5	6,55	0,023	0,0	0,023	
6	1,53	0,772	0,79	0,018	2,3 %
7	2,62	0,61	0,628	0,018	2,8 %
8	2,4	0,64	0,761	0,08	10,5 %
9	1,49	0,78	0,83	0,05	6,0 %
10	6,0	0,105	0,02	0,09	
11	1,62	0,76	0,81	0,05	6,1 %
12	1,04	0,845	0,83	0,015	1,8 %
13	0,94	0,86	0,83	0,03	3,6 %
14	1,04	0,845	0,83	0,015	1,8 %
15	1,25	0,814	0,83	0,016	1,9 %

тами измерений на проекторе. На рис. 4 приведены блок-схема и временные диаграммы электроники, предназначенной для измерения скважности. Для усреднения выбиралась база $L=2$ см. Точнее говоря, брались 4 последовательно расположенных участка трека, попадающих во входную апертуру 6×6 мм². При движении апертуры по следу по сигналу с разряда счетчика грубых координат, соответствующего перемещению приблизительно на 6 мм, запускается счетная схема 1. Схема 1 суммирует выходные импульсы с ФЭУ за 4 полных оборота перископа, причем каждому из этих оборотов соответствует следующее положение апертуры. Полученная сумма затем делится на 4 и число выходных импульсов, усредненное на базе $L=2$ см, выводится на память (в нашем случае использовалась визуальная индикация). После очистки счетчика 1 указанный цикл повторяется. Схема приводится в действие сигналом „пуск“, который вырабатывается автоматически в режиме измерений после сноса данных по скважности в память и очистки счетчика. Взаимодействие блоков и их назначение ясны из блок-схемы и временных диаграмм.

Результаты измерений приведены в табл. 1. Кроме того, на рис. 5 приведена картина измерения скважности вдоль следа с помощью микроскопа (пунктирная линия) и с помощью измерительного проектора (сплошная линия) при $L=2$ см. Погрешность измерения γ , измеренная на проекторе для $\gamma=0,42$ приведена также на рис. 3 (пунктирная линия).

Так как съем данных о плотности следа происходит параллельно с обмером координат на сканирующем измерительном проекторе, то для характеристики скорости обработки пленок на сканирующем измерительном проекторе справедливы следующие данные: производи-

тельность комплекса столов при трехсменной работе— $100 \times \times 500$ тыс. событий в год. При работе на измерительных микроскопах эта цифра меньше в $30 \div 100$ раз.

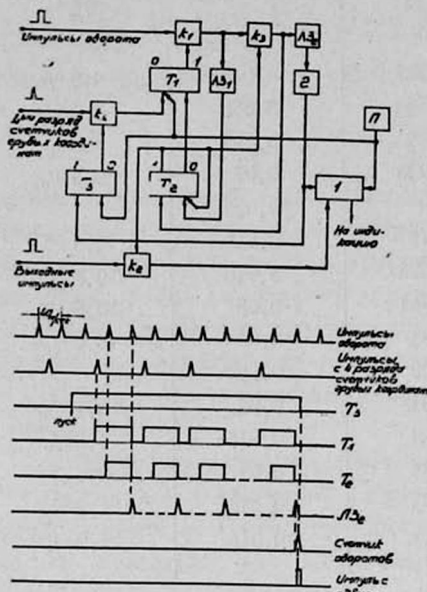


Рис. 4. Блок-схема и временные диаграммы электроники для измерения скважности. K_1 , K_2 , K_3 —схемы пропускания; T_1 , T_2 , T_3 —триггеры; LZ_1 , LZ_2 —линии задержки; P —схема пуска; 1—счетчик выходных импульсов на 8 разрядов двоичного кода; 2—счетчик оборотов на 2 разряда двоичного кода.

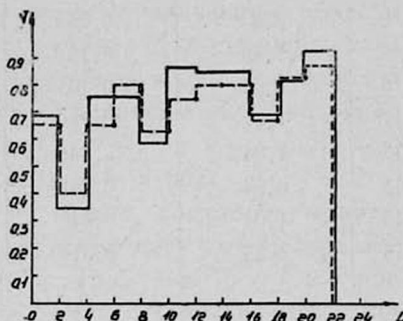


Рис. 5. Измерение скважности следа с помощью микроскопа (пунктир) и проектора (сплошная линия).

Из приведенных данных видно, что описываемая методика измерения плотности следа в пузырьковой камере проста и обеспечивает точность, достаточную для целого ряда экспериментов с частицами высоких энергий.

Московский инженерно-физический институт

Поступила 21 июня 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. P. G. Davey, R. I. Hulsizer, W. E. Humphrey, J. H. Munson, R. R. Ross and A. J. Schwemin, Scanning and Measuring Projector, R. S. J. 35, № 9, 1134 (1964).
2. „Пузырьковые камеры“, под редакцией Н. Б. Делоис. Госатомиздат, М., 1963.
3. Г. А. Блинов, Ю. С. Крестников, М. Ф. Ломанов, ЖЭТФ, 31, 762 (1956).
4. М. Ф. Ломанов, Б. В. Чириков, ПТЭ, № 5, 22 (1957).

ՀԵՏՔԻ ԽՏՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓՈՒՄԸ ՀԱՅՏԱԾՈՂ ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ
ՊՐՈՆԵԿՏՈՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԺԱՄԱՆԱԿ

Վ. Լ. ՄԱՄԱԵՎ, Վ. Պ. ՄԻԽԵԵՎ, Բ. Ս. ՐՈՋՈՎ, Գ. Վ. ՉԵՐԵՄԻՍԻՆՈՎ

Ինչպես հայտնի է, պղպջակային խցիկների լուանկարների վրա հետքերի խտության չափումը տալիս է լրացուցիչ տվյալներ, որոնք օգտակար են մասնիկի արագությունը որոշելիս, ինչպես նաև փոխադրեցությունների ֆիզիկական հիպոթեզի վերլուծության ժամանակ:

Տվյալ աշխատանքում քննարկված է հայտածող չափողական պրոնեկտորի օգնությամբ խցիկի լուանկարի վրա հետքերի խտության չափման մեթոդիկան և կայանքը: Բերված են չափումների արդյունքները և տվյալներ չափումների ճշտության մասին:

TRACK DENSITY MEASURING WITH THE HELP OF SCANNING
AND MEASURING PROJECTOR

by V. L. MAMAEV, V. P. MIKHEEV, B. S. ROSOV, G. V. CHEREMISSINOV

The paper deals with measuring the track density with the help of scanning and measuring projector, using the films from the bubble chamber. The measuring instruments are spoken of and the results of the experiments are described.