

2095

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2095



Н.А.Буздавина, З.М.Иванченко, В.Г.Иванов,
И.Паточка, М.И.Попов

ВЫСШАНТАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ
МЕТРОВОЙ ПРОПАНОВОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

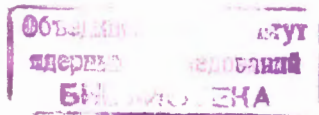
1965

2095

Н.А.Буздавина, З.М.Иванченко, В.Г.Иванов,
И.Паточка, М.И.Попов

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ
МЕТРОВОЙ ПРОПАНОВОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

3281/3



В в е д е н и е

Программа составлена для восстановления пространственной картины событий, регистрируемых в метровой пропановой пузырьковой камере Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ^{/1/} в соответствии с разработанной ранее в институте методикой обработки стереофотографий, получаемых на пузырьковых камерах^{/2,3,4/}.

Программа составлена из стандартных частей, написанных в системе ИС, и управляющей подпрограммы. (Список используемых стандартных программ приведен в Приложении 1). Такая система усложняет отладку, но позволяет в дальнейшем производить замену стандартных и подключения новых частей программы без существенных переделок последней.

При составлении программы большая помощь была оказана Г.Н.Тентюковой.

Подпрограмма зачеркивания неверных результатов была составлена Н.С.Новиковой.

I. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

1. Схема фотографирования

Фотографирование треков в метровой пропановой пузырьковой камере Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ^{/1/} производится через воздух, воду, стекла и пропан (рис.1) шестью объективами типа "Гидро Руссар-4" на две параллельные пленки. В результате одно событие оказывается зафиксированным на 6 снимках, имеющих один и тот же порядковый номер (номер кадра). Схема расположения объективов в стереофотоаппарате показана на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что эти объективы образуют семь стереопар: три с базой B_1 и четыре с базой B_2 . В дальнейшем первые будем называть стереопарами, а вторые - продольными стереопарами. Средняя стереопара ($B_1^{(2)}$) захватывает почти весь рабочий объем камеры и соответствующие снимки могут использоваться как для просмотра, так и для измерений. Крайние стереопары ($B_1^{(1)}$ и $B_1^{(3)}$) захватывают только по половине рабочего объема и снимки с них предназначаются в основном для измерений. Снимки, получаемые на продольных стереопарах, могут быть использованы для измерений следов, которые образуют с $B_1^{(1)}$ углы $< 20-30^\circ$.

На предметных стеклах объективов (рис. 3) нанесены специальные перекрестия M_1, M_2, M_3 (реперные точки снимка), определяющие на снимке положение оптической оси (точка O) и координатной системы, в которой одна из осей (x) совпадает

ет с базой фотографирования, а вторая (у) — перпендикулярна ей. Началом координат является точка пересечения (0) оптической оси с плоскостью снимка. В связи с тем, что расстояния между перекрестьями на предметных стеклах объектива известны, они также используются для учета усадки пленки в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

2. Методика восстановления пространственной картины событий

Методика восстановления пространственной картины событий в пузырьковых камерах для аналогичных условий съемки была разработана ранее в ЛВЭ и ВЦ ОИЯИ^{2,3,4/} и заключается в следующем:

1. На снимках стереопары измеряются реперные точки снимка и координаты изображений следов события.

2. Вычисляются координаты соответствующих точек (изображения одних и тех же пространственных точек) на снимках стереопары.

3. Вычисляются пространственные координаты точек следов по обычным формулам стереофотограмметрии^{5/}, которые для нашего случая съемки (рис. 1) имеют следующий вид:

$$X = \frac{Bx}{x + x'y/y'} = \frac{Bx}{p} \quad (1-1)$$

$$Y = \frac{By}{x + x'(y/y')} = \frac{By}{p} \quad (1-2)$$

$$Z = \frac{1}{2}(z+z') = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{Bz}{x + x'(y/y')} - d_0 \cdot \operatorname{tg} \beta - \frac{d_1 \cdot \sin \beta}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \beta}} - \frac{d_2 \cdot \sin \beta}{\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \beta}} \right) \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}}{\sin \beta} + \left(\frac{Bz'}{x' + x \cdot (y/y')} - d'_0 \cdot \operatorname{tg} \beta' - \frac{d_1 \cdot \sin \beta'}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \beta'}} - \frac{d_2 \cdot \sin \beta'}{\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \beta'}} \right) \frac{\sqrt{n'^2 - \sin^2 \beta'}}{\sin \beta'} \right], \quad (1-3)$$

где: x, y, x', y' — координаты изображений некоей пространственной точки M с координатами X, Y и Z на левом и правом снимках стереопары. Как видно из рис. 1, пространственные координаты отсчитываются от точки пересечения оптической оси правого объектива с поверхностью рабочей камеры, причем ось OX направлена по базе съемки от левого объектива к правому, OY — перпендикулярно ей, а OZ — вертикально вниз.

d_1 — суммарная толщина стекла, через которое производится фотографирование ($d_1 = d'_1 + d''_1$);

d_2 — толщина воды;

d_0 и d'_0 — расстояния между передними узловыми точками объективов и защитным стеклом камеры, являющиеся в общем случае как и углы β и β' функциями радиус-векторов изображений пространственной точки r и r' . $|d = \text{const} - \Delta t(r)|$;

Δt — продольная сферическая aberrация зрачка входа;

B — база фотографирования.

3. Характеристики объективов и константы, используемые в программе

Из формул (1-1), (1-2) и (1-3) видно, что для вычисления пространственных координат в программу нужно ввести следующие характеристики объективов:

1) зависимость $\beta(r)$, где β — угол между оптической осью объектива и главным лучом из некоей пространственной точки, а r — радиус-вектор изображения этой точки;

2) зависимость продольной сферической aberrации зрачка входа главного луча от r , $\Delta t = f(r)$;

3) координаты оптических осей относительно реперных точек снимков — Δx , Δy (рис. 3);

4) расстояния между реперными точками снимка ℓ_x и ℓ_y (рис. 3). Кроме этого, в формулы вычисления X , Y и Z входят также толщины и показатели преломления сред, через которые производится фотографирование и расстояния между оптическими осями объективов (база съемки B).

Все указанные величины включены в программу в виде таблиц и постоянных величин (см. Приложение II).

4. Распределение магнитного поля в рабочем объеме камеры

Измерения зависимости магнитного поля от пространственных координат ($H = H(X, Y, Z)$) в рабочем объеме камеры были проведены В.С.Кладницким^{1/6/}. Эти измерения показали, что в горизонтальных плоскостях отклонения магнитного поля от соответствующих средних значений не превышают одного процента при точности измерений $\pm 0,5\%$ т.е. H практически зависит только от Z -ой координаты.

Полученная из этих данных зависимость $H(Z)$ выражается следующей формулой:

$$H(Z) = H_0(0,9580 + 0,00184 Z \text{ см}), \quad (1-5)$$

где: $H_0 = 1,68$ тесла — значение магнитного поля в фиксированной точке объема камеры.

II. ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ И СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА БУМАЖНОЙ ЛЕНТЕ

1. Краткое описание методики измерений

Измерения случаев ядерных взаимодействий производятся на автоматах и полуавтоматах /7,8/.

Результаты измерений каждой точки (x и y координаты) записываются в виде положительных двоичных чисел в одном кадре бумажной перфоленты в следующих разрядах: с 1 по 16 - " y ", с 21 по 36 - " x ". (рис. 4).

При измерениях фотопленка устанавливается в приборе таким образом, чтобы на его экране направление пучка частиц совпадало с положительным направлением оси OY прибора, а положение реперных точек левого и правого снимков стереопары соответствовало указанному на рис. 5.

Обмер следов события производится всегда по направлению движения частицы по возможности в следующей последовательности (рис. 6):

- 1) координаты первичного следа, т.е. следа пучка, вызвавшего данное взаимодействие;
- 2) координаты лучей первичной звезды;
- 3) координаты лучей вторичных звезд;
- 4) координаты лучей третичных звезд;
- 5) координаты лучей, образующих нейтральные звезды, вилки и электрон-позитронные пары.

Примечание. Координаты следов, образующих вторичные и третичные взаимодействия, в соответствующей группе треков измеряются в последнюю очередь.

Координаты любых следов всегда измеряются на двух снимках соответствующей стереопары.

При измерениях следов, зафиксированных на снимках первой и третьей стереопар, измеренные точки должны обязательно перекрываться для последующего "сшивания" таких треков.

Число следов измеряемого события не более 13. Максимальное число точек, измеренных на треке стереопары - 15, а общее число измеренных точек "сшиваемого" следа не должно превышать 20.

Максимальное число стереопар, на снимках которых могут производиться измерения равно 4.

2. Служебная информация, пробиваемая на бумажной ленте

При записи результатов измерений на бумажную ленту на последней пробивается следующая служебная информация, необходимая для расшифровки и обсчета события:

- 1) признак начала зоны (события) и ее номер - восьмеричное число, меняющееся от 1 до 377;
- 2) номер фотопленки и номер кадра - трехзначные десятичные числа, изменяющиеся от 1 до 999.

Примечание. Под кадром фотопленки понимаются все шесть снимков, на которых зафиксировано событие;

- 3) номер измерительного прибора - восьмеричное число от 1 до 12;
- 4) признак конца зоны (события);
- 5) признак последней зоны бумажной ленты;
- 6) признак конца трека;
- 7) признак конца снимка;
- 8) номер продольной стереопары;
- 9) признак измерений, начинающихся с обмера снимков третьей стереопары (33 разряд в третьем кадре зоны).

Признаки начала зоны, конца трека, конца снимка и конца зоны показаны, соответственно, на рис. 7^а, 7^б, 7^в и 7^г.

Номер зоны пробивается во втором кадре зоны (рис. 7а) в следующих разрядах: единицы - 1,2,3; десятки - 5,6,7; сотни - 9,10.

Номера фотопленки и кадра в двоично-десятичной системе и номер прибора в восьмеричной пробиваются, соответственно, в разрядах с 1 по 12, с 13 по 24 и с 29 по 32.

Во втором кадре последней зоны рулона бумажной ленты дополнительно пробиваются шесть семерок в разрядах с 13 по 35. При записи результатов измерений на магнитную ленту зона с семерками во втором кадре не записывается.

Номера продольных стереопар (от 1 до 4) пробиваются в младших разрядах (1,2 и 3) кадра с признаком конца последнего снимка предыдущей стереопары.

Примечание. Номер продольной стереопары совпадает с номером ее первого объекта (рис. 2). Так, например, продольная стереопара №1 образована 1 и 3 объектами, №2 - 2 и 4 и т.д.

3. Порядок измерения случаев ядерных взаимодействий

Обмер события начинается с пробивки на бумажной ленте трех кадров со служебной информацией (признаком и номером зоны, номерами пленки, кадра и прибора). Затем измеряются координаты центров реперных точек первого (правого по пучку) снимка первой стереопары в соответствии с их номерами (рис. 2) и координаты треков события. Координаты треков отделяются друг от друга признаком конца трека, который пробивается после каждого трека, включая последний.

После признака конца последнего трека на бумажной ленте пробивается признак конца снимка.

Измерения на втором (левом) снимке первой стереопары производятся в такой же последовательности, то-есть сначала измеряются реперные точки, потом координаты следов события в том же порядке, как и на первом снимке.

Аналогичным образом проводятся измерения на первом и втором снимках третьей и продольных стереопар.

На продольных стереопарах измеряются следы, образующие с базами V_1 (рис. 1) небольшие углы ($< 20-30^\circ$).

Обмер снимков продольных стереопар производится после того, как измерения на поперечных стереопарах закончены. При этом в кадре с признаком конца предыдущего снимка пробивается номер соответствующей продольной стереопары.

Примечание. Обсчет треков, измеренных на снимках первой и второй продольных стереопар, производится сразу же после обработки данных, относящихся к первой стереопаре. В связи с этим номера треков обчисленного события не всегда совпадают с номерами, задаваемыми последовательностью измерений.

Обмер события заканчивается пробивкой на ленте признака конца зоны (рис. 7г).

Между концом одной и началом другой зоны пробивается 30-35 пустых кадров.

Таким образом, результаты измерений одного события занимают одну зону бумажной ленты и располагаются на ней в следующем порядке:

Служебная информация, относящаяся ко всему событию (признак зоны, номер зоны, номера пленки, кадра и прибора), записывается в трех первых кадрах зоны (рис. 7а).

Координаты реперных точек первого снимка первой стереопары - 4,5 и 6 кадры зоны.

Координаты первого трека события - 7,8, (6 + k) - кадры ($k \leq 15$).

Признак конца первого трека. Координаты второго трека, признак его конца и т.д. до i -го трека включительно, где $1 \leq i \leq 13$.

Примечание. Признак конца трека пробивается после каждого трека, включая последний.

Признак конца снимка.

Координаты реперных точек второго снимка первой стереопары. Координаты следов события от 1-го до i -го.

Признак конца снимка.

Координаты реперных точек первого снимка третьей стереопары. Координаты следов события, зафиксированные на снимках третьей стереопары от n до ℓ -го ($n \geq 1, \ell < 13$).

Признак конца снимка.

Координаты реперных точек второго снимка третьей стереопары. Координаты следов события от n до ℓ . Признак конца снимка с номером продольной стереопары (k).

Примечание. Если на снимках продольных стереопар измеряется \bar{m} треков, то $i \leq 13 - \bar{m}$.

Координаты реперных точек первого снимка k продольной стереопары.

Координаты измеренных треков.

Признак конца снимка.

Координаты реперных точек второго снимка k продольной стереопары.

Координаты измеренных треков.

Признак конца снимка с номером следующей продольной стереопары (q).

Координаты реперных точек первого снимка q -ой продольной стереопары.

Координаты измеренных треков.

* Признак конца снимка.

Координаты реперных точек второго снимка q -ой стереопары. Координаты измеренных треков.

Признак конца снимка.

Признак конца зоны.

В указанном расположении информации могут быть допущены следующие изменения:

1. Измерения следов событий производятся на снимках первой и продольных стереопар. В этом случае номер первой продольной стереопары записывается в кадре с признаком конца второго снимка.

Измерения следов события начинается со снимков третьей стереопары. В этом случае номер первой продольной стереопары также записывается в кадре с признаком конца второго снимка, а в третьем кадре зоны дополнительно пробивается 33 разряд.

3. Если измерения на снимках продольных стереопар не производились, то признак конца зоны пробивается после признака конца второго снимка первой или третьей стереопары.

4. Признаки аннулирования неверных результатов измерений

В процессе работы на измерительных приборах с помощью специальных признаков аннулирования можно зачеркивать неверно измеренные точки, треки и снимки.

Признаком аннулирования реперных точек и треков является кадр с пробитым 20 разрядом, следующий непосредственно за кадрами с координатами зачеркиваемых реперных точек.

В первом случае (аннулирование реперных точек) зачеркиваются все кадры (от 1-го до 3-х) с координатами реперных точек, расположенные от начала снимка до признака аннулирования, включая последний. Новые измерения реперных точек записываются на ленте сразу же за признаком аннулирования в обычном порядке.

Во-втором случае (аннулирование трека) этот признак (20 разряд) пробивается сразу же после последнего кадра с координатами зачеркиваемого трека, без пробивки признака его конца.

В этом случае для первого следа снимка зачеркиваются все кадры, расположенные между реперными точками и этим признаком; для остальных треков снимка — от начала трека до этого признака.

Неверно измеренный снимок зачеркивается кадром с пробитым 19 разрядом. При этом зачеркиваются все результаты измерений на этом снимке (треки и реперные точки). Новые измерения следуют непосредственно за признаком аннулирования.

Для зачеркивания нескольких треков или снимков соответствующие признаки аннулирования пробиваются подряд столько раз, сколько треков или снимков нужно зачеркнуть. Максимальное число зачеркиваемых треков и снимков не должно превышать 10 и 8, соответственно.

III. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КАРТИНЫ СОБЫТИЙ

1. Вычисление пространственных координат

Вычисление пространственных координат точек следов производится в следующей последовательности:

I. x и y -ые координаты следов и реперных точек умножаются на коэффициенты μ_x и μ_y . μ_x - цена деления измерительного прибора по оси Ox , μ_y - по Oy .

II. По координатам первой и второй реперных точек ($x_1, y_1; x_2, y_2$) находятся синус и косинус угла наклона прямой $M_1 M_2$ к оси Ox измерительного прибора.

$$\sin \phi = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (3-1)$$

$$\cos \phi = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}.$$

3. Определяются поправки на усадку пленки ϵ_x и ϵ_y в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

$$\epsilon_x = \frac{\ell_x}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (3-2)$$

$$\epsilon_y = \frac{\ell_y}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}.$$

4. Вычисляется знак коэффициента K , учитывающего разные направления координатных осей снимков стереопары.

$$K = \frac{x_2 - x_1}{|x_2 - x_1|}. \quad (3-3)$$

5. Измеренные координаты точек треков (x_1^*, y_1^*) пересчитываются в координатную систему снимка, началом которой является центр симметрии объектива (рис.3) и исправляются на усадку пленки

$$x_1 = [(x_1^* - x_1) \cdot \cos \phi + (y_1^* - y_1) \sin \phi + \Delta x] \cdot \epsilon_x \quad (3-4)$$

$$y_1 = \{ K[-(x_1^* - x_1) \sin \phi + (y_1^* - y_1) \cos \phi + \Delta y] \} \epsilon_y.$$

8. Вычисляются координаты соответствующих точек на снимках стереопар в соответствии с методикой, описанной в работе Е.Н.Кладнической^{/3/}. Эта методика заключается в следующем.

Пусть $x_1, y_1, x_2, y_2; \dots \dots \dots x_1, y_1$ - координаты изображений неизвестных пространственных точек $A_1(X_1, Y_1, Z_1), A_2(X_2, Y_2, Z_2), \dots \dots \dots A_1(X_1, Y_1, Z_1)$ на первом снимке стереопары и требуется найти координаты изображений этих же точек на втором снимке ($x'_1, y'_1; x'_2, y'_2; \dots \dots \dots x'_1, y'_1$), если зависимость $x' = f(y')$ задана в виде таблицы.

Очевидно, что Z - координата точки не должна зависеть от того, какой из снимков стереопары взят за исходный, т.е.

$$Z = Z' \quad (3-5)$$

Тогда из 1-3 следует, что

$$\left[\frac{Bx}{p} - A(r) \right] C(r) = \left[\frac{Bx'}{p'} - A(r') \right] C(r'), \quad (3-6)$$

где :

$$p = x + x'(y/y') \quad (3-7)$$

$$p' = x' + x \cdot (y'/y)$$

$$A(r) = d_0 \cdot \operatorname{tg} \beta + \frac{d_1 \cdot \sin \beta}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \beta}} + \frac{d_2 \cdot \sin \beta}{\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \beta}} \quad (3-8)$$

$$A(r') = d'_0 \cdot \operatorname{tg} \beta' + \frac{d'_1 \cdot \sin \beta'}{\sqrt{n_1'^2 - \sin^2 \beta'}} + \frac{d'_2 \cdot \sin \beta'}{\sqrt{n_2'^2 - \sin^2 \beta'}} \quad (3-9)$$

$$c(r) = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}}{\sin \beta}; \quad c(r') = \frac{\sqrt{n'^2 - \sin^2 \beta'}}{\sin \beta'}$$

Поскольку из уравнения нельзя найти явного выражения для x' и y' через x, y , параметры сред и зависимость $x' = f(y')$, оно решается методом итераций.

Вводится величина $\epsilon = y/y'$. Из (3-6) следует, что

$$\epsilon = \frac{B \cdot C(r') \cdot r' + [A(r)C(r) - A(r')C(r')] \cdot x'}{B \cdot C(r) \cdot r + [A(r')C(r') - A(r)C(r)]} \quad (3-10)$$

Для нахождения первого приближения для $\epsilon(\epsilon_1)$ сначала полагается, что $y'_1 = y_1$ и с помощью квадратичной интерполяции зависимости $x' = f(y')$ находится $x'_1 = f(y'_1)$. Полученные таким способом значения x'_1 и y'_1 используются для вычисления ϵ_1 . По ϵ_1 находится новое значение $y'_1(f) = \epsilon_1 \cdot y_1$ и т.д. Процесс продолжается до тех пор, пока разность между двумя последующими значениями y'_1 не станет меньше одного микрона.

Примечание. Так как координатные системы снимков продольных стереопар повернуты на 90° относительно снимков поперечных стереопар, то в этом случае перед вычислением соответствующих точек необходимо произвести следующие замены: $x \rightarrow y$, $y \rightarrow x$, $x' \rightarrow y'$, $-y' \rightarrow x'$.

В связи с тем, что для точек, лежащих вблизи базы съемки ($y < 10$ мм), вычисляемые значения координат соответствующих точек зависят от погрешностей оптической системы сильнее, чем для больших y , то для них поиск соответствующих точек не производится, а считается, что $y' = y$. Точки, y -ые координаты которых < 1 мм, не используются для вычислений.

7. По формулам (1-1), (1-2) и (1-3) вычисляются пространственные координаты точек треков (X , Y , Z).

8. Пространственные координаты треков, измеренных на снимках различных стереопар, переводятся в общую координатную систему камеры (Таблица 1).

Т а б л и ц а 1

| стереопары | X см | Y см |
|----------------|---------------|----------------|
| I - стереопара | $5 + X_1$ | $20 + Y_1$ |
| III - " | $5 + X_{III}$ | $87 + Y_{III}$ |
| 1-я продольная | $5 + Y_1$ | $20 + X_1$ |
| 2-я " | $45 - Y_2$ | $20 + X_2$ |
| 3-я " | $5 + Y_3$ | $53,5 + X_3$ |
| 4-я " | $45 - Y_4$ | $53,5 + X_4$ |

9. Поиск и "сшивание" координат одних и тех же треков, измеренных на I и III стереопарах. Для этого по очереди сравниваются X и Z -ные координаты следов при одинаковых Y , которые для треков III стереопары вычисляются по формулам:

$$X_{III}^k = X_{I,III}^k + \frac{X_{II,III}^k - X_{I,III}^k (Y_{II,III}^k - Y_I^k)}{Y_{II,III}^k - Y_{I,III}^k} \quad (3-11)$$

$$Z_{III}^k = Z_{I,III}^k + \frac{Z_{II,III}^k - Z_{I,III}^k (Y_{II,III}^k - Y_I^k)}{Y_{II,III}^k - Y_{I,III}^k} \quad (3-12)$$

где: $X_{I,III}^k$, $Y_{I,III}^k$, $Z_{I,III}^k$ и $X_{II,III}^k$, $Y_{II,III}^k$, $Z_{II,III}^k$ - координаты k -го следа на III стереопаре, $X_{I,n}^\ell$, $Y_{I,n}^\ell$, $Z_{I,n}^\ell$ - координаты последней точки ℓ -го следа на первой стереопаре. Если разности $X_{III}^k - X_{I,n}^\ell$ и $Z_{III}^k - Z_{I,n}^\ell$ меньше 3 мм, то k -ый след считается продолжением ℓ -го и координаты этих следов объединяются. При этом все точки k -го следа с $Y_{III}^k < Y_{I,n}^\ell$ отбрасываются.

Для треков, принадлежащих к первой и третьей стереопарам, с неперекрывающимися значениями Y -ых координат сшивание не производится.

2. Вычисление кинематических и геометрических характеристик трека

Для определения геометрических и кинематических характеристик трека через его пространственные точки с помощью СП-167 проводится винтовая линия, определяемая следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + R \cdot \cos(\phi - \phi_0) \\ Y &= Y_0 + R \cdot \sin(\phi - \phi_0) \\ Z &= Z_0 + \lambda(\phi - \phi_0) \end{aligned} \quad (3-13)$$

и вычисляются ее параметры: радиус кривизны - R , направляющие косинусы в первой точке трека (l, m, n), координаты центра (X_0, Y_0, Z_0) и их ошибки.

По этим величинам находятся:

1. Импульс частицы - PC в Мэв

$$PC = - \frac{300 HR}{\cos \alpha}, \quad (3-14)$$

α - угол подъема винтовой линии,

\bar{H} - среднее значение магнитного поля по траектории частицы, усредненное по 3-м точкам

$$\alpha = \arcsin n \quad (3-15)$$

$$\bar{H} = \frac{H(Z_1) + H\left(\frac{Z_1 + Z_k}{2}\right) + H(Z_k)}{3}. \quad (3-16)$$

2. Ошибка импульса - ΔP в Мэв/с

$$\Delta p = p \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{k_n}{\beta \cdot \sqrt{S} \cdot \cos \alpha}\right)^2}. \quad (3-17)$$

Здесь $\Delta H/H$ - относительная ошибка в абсолютной величине магнитного поля, равная 1%;

k_n - коэффициент, характеризующий ошибку импульса из-за многократного рассеяния, равный в нашем случае 0,32;

S - длина трека в пространстве;

β - скорость частицы.

Примечание. Для положительных частиц β, α , следовательно, и Δp вычисляются для двух значений массы частицы π -мезона и протона (Δp_π и Δp_p).

3. Ошибки углов α и β - $\Delta\alpha^2$ и $\Delta\beta^2$.

β - угол между проекцией трека на плоскость ХУ и осью ОХ.

$$\beta = \text{arctg} \frac{l}{m} . \quad (3-18)$$

4. Вертикальный разброс точек трека - W^2

$$W^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Z - Z_0 - \lambda\phi_i)^2}{n - 2} . \quad (3-19)$$

5. Угол поворота координатной системы, в которой производится вычисления параметров винтовой линии - ϕ_0 .

БЛОК-СХЕМЫ ПРОГРАММЫ

Из блок-схемы программы (рис. 8) видно, что ее работу можно разбить на следующие этапы:

- 1) ввод исходных данных (и.д.) в МОЗУ;
- 2) подготовка и.д. к счету;
- 3) вычисление пространственных координат треков;
- 4) сшивание треков;
- 5) вычисление кинематических характеристик треков и выдача их на печать;
- 6) подготовка программы к вводу и обсчету следующей зоны

1. Ввод исходных данных

Исходные данные, записанные при измерениях на бумажную ленту, могут быть введены в ЭВМ двумя способами:

I. Непосредственно с бумажной ленты с помощью фотоввода. В этом случае ввод производится по одной зоне с контролем. При двойном несовпадении контрольных сумм происходит останов по 35 команде.

II. Исходные данные предварительно записываются на магнитную ленту на вспомогательной ЭВМ и затем передаются на основную. В одной зоне магнитной ленты может быть записано несколько зон бумажной. Обсчет, так же как и в первом случае, производится по одной зоне бумажной ленты.

2. Подготовка числового материала к счету

Введенный в ЭВМ числовой материал (и.д.) записывается на нулевой магнитный барабан, (МБ-0) и при наличии признаков аннулирования выбрасываются неверные измерения.

После этого производится подсчет числа стереопар, перепись исходных данных по одной стереопаре на первый магнитный барабан (МБ-1) и формируется считывание материала по одной стереопаре.

3. Вычисление пространственных координат

Вычисление пространственных координат начинается со считывания данных, относящихся к обсчитываемой стереопаре и вычисления величин ($\sin \phi$, $\cos \phi$, k и др.), необходимых для перевода измеренных координат точек треков в систему снимка. Затем производится подсчет числа треков на первом снимке стереопары и числа точек каждого трека на обоих снимках и формирование цикла по числу треков. После этого измеренные координаты первого трека засылаются в рабочие ячейки и в соответствии с методикой, изложенной в 5-1, вычисляются пространственные координаты трека (X , Y , Z), которые засылаются в таблицу на первом магнитном барабане (МБ-1).

Цикл повторяется до тех пор, пока не будут вычислены и засланы в таблицу на МБ-1 пространственные координаты всех треков, измеренных на снимках данной стереопары.

В ходе вычисления X , Y , Z проверяется - не выходят ли координаты обсчитанного трека за пределы камеры. И, если оказывается, что трек не лежит в пределах камеры, то его координаты не засылаются в таблицу на МБ-1, а на печать выдвоятся две строки семерок

| | | | |
|----|------|------|------|
| 77 | 7777 | 7777 | 7777 |
| 77 | 7777 | 7777 | 7777 |

и порядковый номер трека (в восьмеричной системе) на снимках обсчитываемой стереопары.

После окончания обсчета данных с одной стереопары проверяется наличие результатов с других стереопар, и, при обнаружении последних определяется тип (поперечная или продольная) стереопары, ее номер (для продольных) и производится подготовка программы для обсчета следующей стереопары. Рассмотренный цикл повторяется для всех стереопар, число которых не должно превышать 4.

При записи пространственных координат на МБ-1 треки разбиваются на две группы: к первой группе относятся треки, измеренные на снимках 1 стереопары и 1 и 2-ой продольных; ко второй - 3 стереопары и 3 и 4-ой продольных.

Таким образом эта часть программы заканчивается обсчетом всех стереопар и получением 2-х таблиц пространственных координат, записанных на МБ-1.

4. "Сшивание" треков

С МБ-1 считываются пространственные координаты 1 группы треков, считывается их число и формируется цикл. Затем проверяется наличие треков 2-ой группы и, если они есть, то для них выполняются те же операции, что и для первой группы.

После этого по очереди выбираются треки первой группы, формируется обращение к программе сшивания и производится "сшивание" треков, измеренных одновременно на снимках первой и третьей стереопар.

5. Вычисление кинематических характеристик трека

Вычисление кинематических характеристик трека начинается с разделения его пространственных координат на следующие группы: $X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_n, Z_1, Z_2, \dots, Z_n$, вычисления магнитного поля \bar{H} и выброса плохих точек по СП-165.

Кроме этого, для первого трека производится поворот на 180° , т.к. стандартная программа "винтовой линии" вычисляется направляющие косинусы в первой точке трека.

После этого следует обращение к стандартной программе "винтовая линия", с помощью которой вычисляются радиус - кривизны, направляющие косинусы и т.д. (см. III-2). Эти величины используются для вычисления импульса и других кинематических характеристик частицы.

Обсчет трека заканчивается выдачей на печать перфокарты геометрических характеристик трека, необходимых для обсчета события по кинематическим программам.

Цикл повторяется до тех пор, пока не будут обсчитаны все треки первой и второй групп.

В процессе счета выделяются треки, принадлежащие к первичному взаимодействию, для чего для всех треков события, кроме первого, вычисляется величина Δl_i^2

$$\Delta l_i^2 = (X_k^{(1)} - X_1^{(1)})^2 + (Y_k^{(1)} - Y_1^{(1)})^2 + (Z_k^{(1)} - Z_1^{(1)})^2, \quad (4-1)$$

где: $X_n^{(1)}, Y_n^{(1)}$ и $Z_n^{(1)}$ - координаты последней точки первого трека,
 $X_1^{(1)}, Y_1^{(1)}$ и $Z_1^{(1)}$ - координаты первой точки i -го трека.

Если $\Delta l_i^2 < 0,10 \text{ см}^2$ - то трек считается принадлежащим к звезде и в 16 строке пробивается 45 разряд.

6. Подготовка программы к вводу и обсчету следующей зоны

Обсчет зоны заканчивается обновлением программы, таблиц, констант фотографирования и ИС-2, после чего происходит передача управления на ввод и обсчет следующей зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практика массового обсчета результатов измерений случаев ядерных взаимодействий показала необходимость включения в программу ряда специальных подпрограмм для: выброса неверных измерений, выявления и устранения небольших ошибок, допущенных при измерениях; замены констант и таблиц, используемых для вычисления пространственных координат; классификации событий; вычисления точек пересечения нескольких треков и т.п.

В связи с этим в настоящее время проводится работа по составлению нового варианта геометрической программы, в которую будут включены дополнительные подпрограммы.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность В.П.Джелепову, Н.Н.Говоруну, Г.Н.Тентюковой за постоянную помощь и интерес к работе, Н.С.Новиковой за составление программы зачеркивания, Л.В.Тутышкиной, В.Б.Виноградову и В.Б.Флягину за полезные обсуждения.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Список стандартных программ, используемых в геометрической программе

1. Программа перевода в двоичную систему (СП-0042).
2. Программа перевода в десятичную систему с печатью (СП-0027).
3. Программа перевода в десятичную систему без печати (СП-0010).
4. Программа выдачи результатов на печать (СП-0015).
5. Программы вычисления $\sin x$ и $\cos x$ (СП-0005 и 0071).
6. Программа интерполяции по параболе (СП-0125).
7. Программа выброса плохих точек (СП-0185).
8. Программа обмена между накопителями (СП-0000).
9. Программа вычисления $\arcsin x$ (СП-0006).
10. Программа винтовой линии, в которую входят четыре стандартных: СП-0156, СП-0033, СП-0037 и СП-0111.

Приложение II

Зависимости и константы, используемые в программе для пленок с №№ от 251 до 500

1. Таблица зависимостей $\beta(t)$

| № объекта r (см) | I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,5 | 2°48' 21" | 2°50' 01" | 2°50' 47" | 2°49' 24" | 2°50' 43" | 2°49' 58" |
| 1,0 | 5°36 41 | 5°40 05 | 5°41 36 | 5°38 48 | 5°41 08 | 5°39 45 |
| 1,5 | 8°24 13 | 0°29 18 | 8°31 32 | 0°27 24 | 8°30 48 | 8°28 50 |
| 2,0 | 11°10 51 | 11°17 41 | 11°20 35 | 11°15 07 | 11°19 39 | 11°17 04 |
| 2,5 | 13° 56 21 | 14°04 50 | 14°08 28 | 14°01 41 | 14°07 18 | 14°04 00 |
| 3,0 | 16° 40 27 | 16°50 33 | 16°54 51 | 16°46 46 | 16°53 29 | 16°49 34 |
| 4,0 | 22° 03 26 | 22°16 43 | 22°22 10 | 22°11 38 | 22°20 28 | 22°15 28 |
| 4,5 | 24° 41 51 | 24°56 35 | 15°02 41 | 24°50 55 | 25°00 51 | 24°55 12 |
| 5,0 | 27° 17 58 | 27°34 09 | 27°40 45 | 27°27 53 | 27°38 54 | 27°32 41 |
| 5,5 | 29° 51 37 | 30°09 09 | 30°16 15 | 30°02 20 | 30°14 21 | 30°07 33 |
| 6,5 | 34° 50 48 | 35°10 51 | 35°18 59 | 35°03 07 | 35°16 52 | 35°09 06 |
| 7,0 | 37° 16 26 | 37°37 26 | 37°45 50 | 37°28 40 | 37°44 02 | 37°35 36 |
| 7,5 | 39° 38 52 | 40°00 54 | 40°09 34 | 39°51 37 | 40°07 58 | 39°59 02 |
| 8,0 | 41° 56 13 | 42°21 15 | 42°30 14 | 42°11 26 | 42°28 47 | 42°19 22 |
| 8,5 | 44° 14 28 | 44°38 28 | 44°47 42 | 44°28 07 | 44°46 29 | 44°36 35 |

Приложение II

2. Таблица координат оптических осей, расстояний между реперными точками и d_0 в см

| <u>№</u> <u>объектива</u> | <u>I</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Δ_x | -0,0004 | +0,0006 | -0,0010 | 0,0000 | -0,0010 | -0,0008 |
| Δ_y | +0,0003 | -0,0008 | +0,0003 | 0,0000 | 0,0000 | -0,0007 |
| r_x | 6,0000 | 5,9998 | 6,012 | 5,9990 | 5,9979 | 5,9991 |
| r_y | 3,5000 | 3,5002 | 3,4998 | 3,5000 | 3,5002 | 3,5014 |
| d_0 | 3,491 | 3,49 | 3,24 | 3,23 | 3,54 | 3,44 |

Приложение II

3. Зависимость продольной сферической аберрации - Δt от радиус -
вектора изображения - r

| r см. | Δt см. |
|------------|-------------------|
| 0,4818 | 0,0010 |
| 1,0448 | 0,0040 |
| 1,05303 | 0,0080 |
| 2,0188 | 0,0140 |
| 2,5124 | 0,0210 |
| 3,0119 | 0,0300 |
| 3,5192 | 0,0410 |
| 4,0340 | 0,0540 |
| 4,5591 | 0,0680 |
| 5,0059 | 0,0810 |
| 5,5617 | 0,0960 |
| 6,0216 | 0,1160 |
| 6,5012 | 0,1340 |
| 7,0673 | 0,1580 |
| 7,4945 | 0,1750 |
| 8,0242 | 0,1980 |
| 8,5675 | 0,2230 |

Приложение II

4. Толщины и показатели преломления сред, через которые производится фотографирование

| Среда | Толщина в см | Показатель преломления |
|--------|-----------------|---------------------------|
| Стекло | 11,81 | 1,495 |
| Вода | 64,30 | 1,327 |
| Пропан | | 1,23 |

Приложение III.

Распределение памяти

М О З У

| | |
|---|--|
| 0001 - 0270 - рабочие ячейки | 0567 - (n - 1) по A_1 - количество стереопар |
| 0271 - B_1 | 0545-0560 - таблица констант для перехода в коорд. систему камеры. |
| 0272 - B_2 | 0561-52; 0, $n_1 - 1,0$ |
| 0273 - d_1 | 0562-52; 0, $n_2 - 1,0$ n_1 - число точек |
| 0274 - 87 | 0563-52; 0, $n_3 - 1,0$ в i-ой стереопаре |
| 0275 - n^2 | 0564-52; 0, $n_4 - 1,0$ |
| 0276 - d_2 | 0565-52; 0, $n_5 - 1,0$ |
| 0277 - n_2^2 | 0566-52; 0, $n_6 - 1,0$ |
| 0300 - n_1^2 | 0567 - (n - 1) по A_1 - количество стереопар |
| 0301 - точность отыскивания соответств. точек | 0570 - n по A_1 - кол-во следов на 1 снимке стереопары |
| 0302 - μ_x | 0571 |
| 0303 - μ_y | 0572 нули или номера |
| 0304 - точность выброса | 0573 продольных стереопар |
| 0305 - Δx } точность измерения | 0574 (в 1-3 разрядах) |
| 0306 - Δy } точек пересечения | 0575 |
| 0307 - Δz } треков | 0576 |
| 0310-0330-аргументы для Δt | 0577-2100-управляющая програм. |
| 0331-0351-таблица Δt | 4050-4778- X, Y, Z |
| 0352-0370-аргументы для β | |
| 0371-0544- $\beta(t)$, Δx , Δy и d_0 для каждого объектива | |

2000 - номер трека
2001-2035- X_1, X_2, \dots
2036-2073- Y_1, Y_2, \dots
2074-2134- Z_1, Z_2, \dots
2421-2477-результаты обсчета по СП "винтовая линия"
2501-4774-числовой материал для 1 части программы
Рабочее поле с 5500

МБ - 0

0004 - 0008 - регистр адреса
0100 - 1500 - исходные, не разбитые по стереопарам.

МБ - 1

0001 - 2477 - исходные данные, распределенные по стереопарам
4500 - 6177 - пространственные координаты 1 гр. треков
6200 - 7777 - пространственные координаты 2 гр. треков

МБ - 1

0118 - 0632 - програм. вычисления простр. к-т
0751 - 1165 - прогр. зачеркивания
1200 - 1345 - прогр. сшивания
1350 - 1626 - программа выдачи результатов
1630 - 2550 - прогр. винтовая линия
2600 - 2730 - обсчет реперов
3000 - 3277 - таблицы
3300 - 4601 - управляющая программа
5770 - 6020 - обновление программы
6025 - 6324 - СП-165
7300 - 7777 - ИС-2 и ПТХ

Приложение IV

Выдача на перфокарты и печать

Геометрические и кинематические характеристики каждого обсчитанного трека выдаются на две стандартные перфокарты и печатаются на бумажной ленте. Расположение информации на перфокартах показано на рисунке 9.

На перфокартах также указываются: знак частицы, совпадающий со знаком им-

пульса; принадлежность трека к звезде ("единица" в 45 разряде 4-ой строки второй перфокарты) и наличие первой измеренной точки трека ("единица" в 45 разряде 10 строки первой перфокарты).

Примечание. Знак R противоположен знаку частицы. На бумажной ленте печатается информация, содержащаяся на двух перфокартах каждого трека; ошибки направляющих косинусов Δl , Δm и Δn и координаты последней точки.

Кроме этого на печать можно вывести дополнительную информацию: координаты измеренных точек проекций трека на снимки, пространственные координаты треков до сшивания и после него.

Для всего события на печать можно вывести координаты реперных точек снимков.

Для вывода на печать дополнительной информации, относящейся к треку или событию, на пульте управления ЭВМ (I и II ДЗУ) нужно набрать соответствующие разряды, указанные в инструкции для счета.

Л и т е р а т у р а

1. А.В.Богомолов, Ю.А.Будагов, А.Т.Василенко, В.П.Джелепов, Н.И.Дьяков, В.Г.Иванов, В.С.Кладницкий, В.И.Лепилов, Ю.Ф.Ломакин, В.И.Москалев, В.Б.Флягин, Т.И.Шетет, П.В.Шляпников. ПТЭ, 1984, №1, 61.
2. Ван Ган-чан, Ван Цу-цзен, Дин Да-цао, Е.Н.Кладницкая, М.И.Соловьев. "Материалы совещания по камерам Вильсона, диффузионным и пузырьковым камерам", выпуск V, стр. 101-114, Дубна, 1981 г.
3. Е.Н.Кладницкая. "Материалы совещания по методике пузырьковых камер". стр. 5-30, Дубна, 1981 г.
4. Н.Н.Говорун, Е.П.Жидков, Л.И.Лепилова, Г.И.Макаренко, Г.Н.Тентюкова. "Обработка экспериментальных данных, поступающих с просмотровых автоматов", Препринт ОИЯИ 1102, 1982 г.
5. Ю.А.Александров, Г.С.Воронов, В.М.Горбунков, Н.Б.Делоне, Ю.И.Нечаев. Пузырьковая камеры. Москва, Госатомиздат, 1983.
6. В.С.Кладницкий, В.Б.Флягин, ПТЭ, 1985, 1, 24.
7. Е.М.Андреев, П.Гиршл, И.А.Зарубин, Г.М.Кадыков, С.М.Коренченко, В.М.Лачинов, А.Г.Морозов, К.Г.Некрасов, Р.Позе, М.И.Полов, В.В.Смирнов, Н.С.Толстой. ПТЭ, №3, 52 (1981).
8. Ю.А.Каржавин, И.В.Чувило, С.С.Кириллов, В.Д.Инкин, И.А.Голутвин, В.Д.Неустров, В.Д.Степанов, Б.П.Тулаев, И.В.Колесов, В.Я.Алмазов, Ю.П.Прокофьев, И.Шинагл. ПТЭ, №5, 54 (1983).

Рукопись поступила в издательский отдел
8 апреля 1985 г.

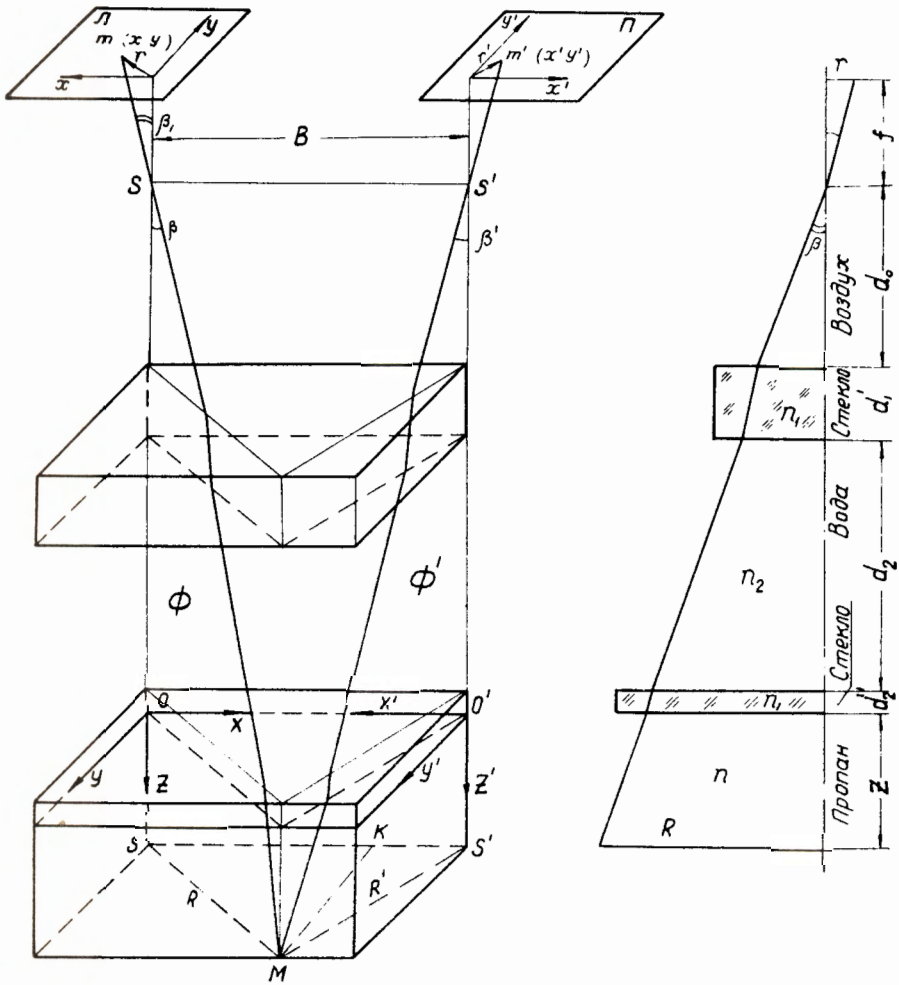


Рис. 1. Оптическая схема камеры.

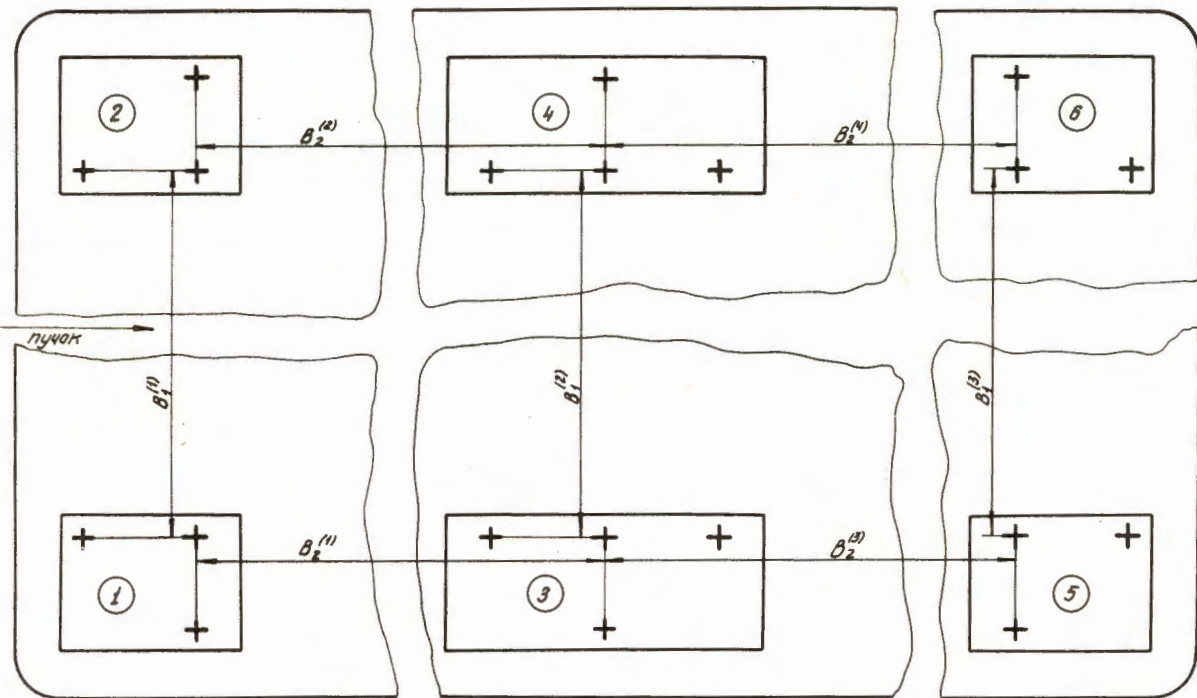


Рис. 2. Схема расположения объективов в стереофотоаппарате.
1,2,3,4,5,6 - порядковые номера объективов.

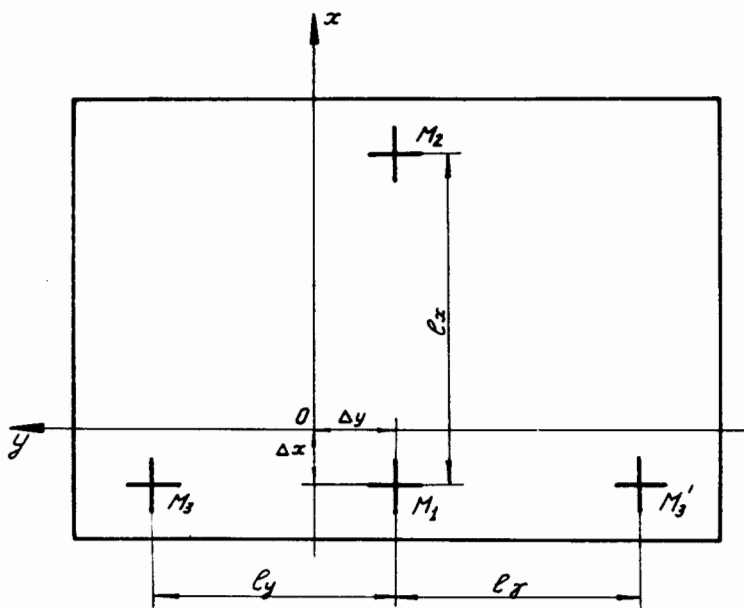


Рис. 3. Расположение реперных точек на предметном стекле объектива.

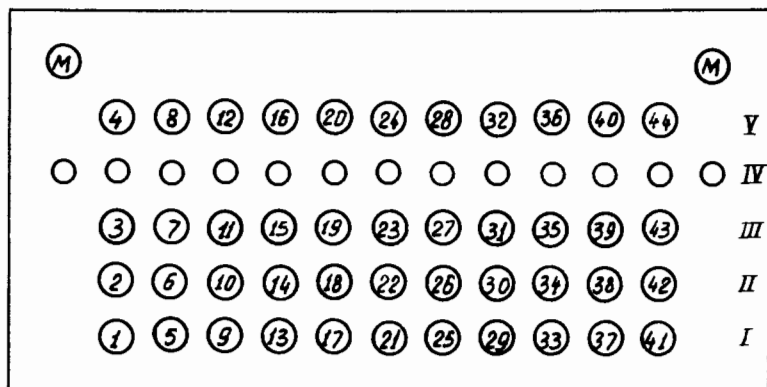


Рис. 4. Кадр бумажной ленты. 1,2,3, 44 - номера разрядов I, II, V - номера дорожек.

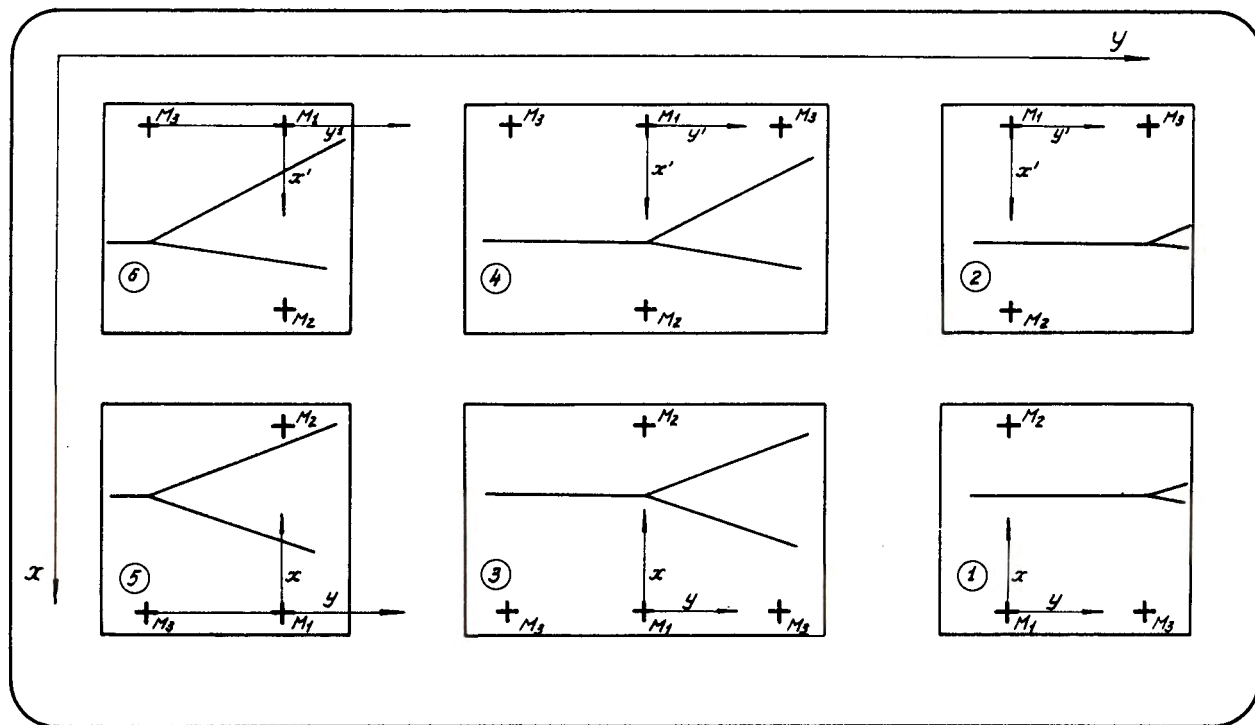


Рис. 5. Схема расположения фотопленки на экране измерительного прибора.

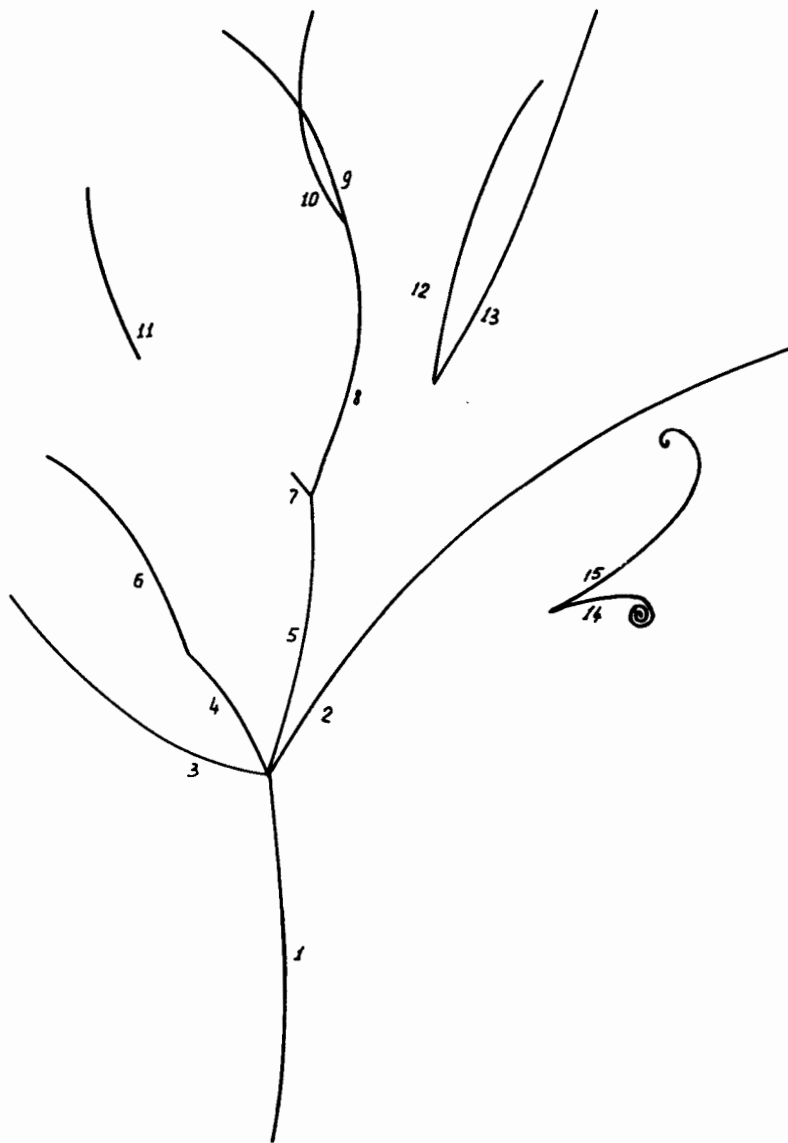


Рис. 6. Рисунок события с первичной, вторичной, третичной и нейтральной звездами, вилок и электрон-позитронной парой.

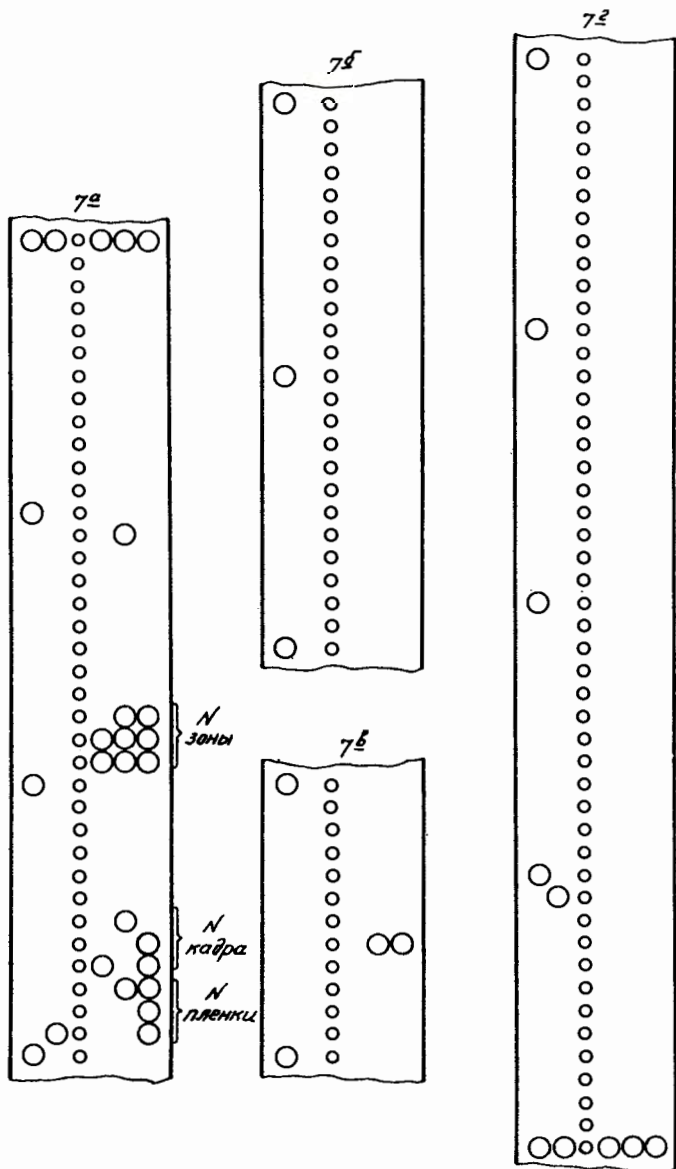


Рис. 7. Кадры бумажной ленты с признаками: начала зоны с номером 377, номером пленки 319 и номером кадра 215 (7^a); конца трека (7^b); конца снимка (7^c) и конца зоны (7^L).

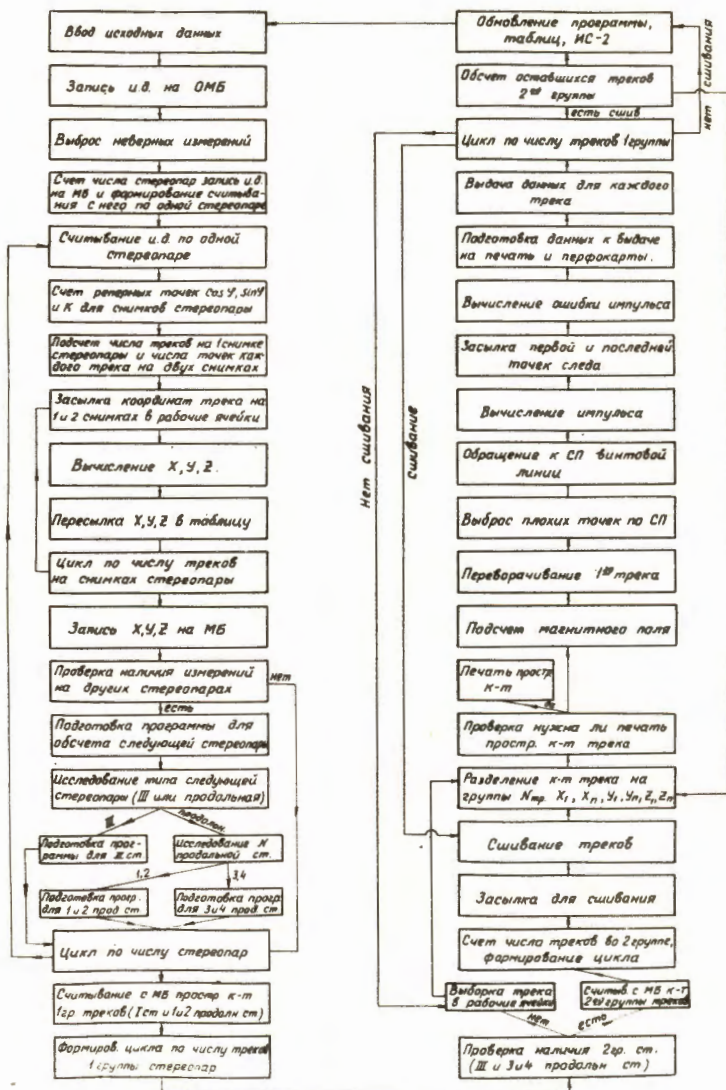


Рис. 8. Блок-схема программы.

Две стандартные перфокарты трека, обчисленного по геометрической программе для метровой пропановой пузырьковой камеры.

| | | | | | | |
|--|----|---------------|-----------|--------------------|---------------------------------------|----|
| | 00 | N пленки | N кадра | 000 | | |
| | 00 | 000 | 000 | N зоны | | 2 |
| | | N трека | 000 | 000 | | 3 |
| | | ρ | | | | 4 |
| | | ΔR_I | I II | α, β^2 | | 5 |
| | | ΔR_R | I II | α, α^2 | | 6 |
| | | ρ | | | направляющие косинусы в | 7 |
| | | m | | | первой точке любого трека | 8 |
| | | n | | | за исключением первого ^(*) | 9 |
| | | x | | | координаты первой точки | 10 |
| | | y | | | любого трека, кроме пер- | 11 |
| | | z | | | вого, в сантиметрах ^(*) | 12 |
| | 00 | N пленки | N кадра | 755 | | |
| | | $\Delta R/R$ | | N зоны | | 2 |
| | | N трека | II | L | L - длина пространств. хорды | 3 |
| | | R | | | Радиус кривизны в см. | 4 |
| | | $\tan \alpha$ | | | | 5 |
| | | x_c | | | Координаты центра кривизны | 6 |
| | | y_c | | | | 7 |
| | | z_c | | | | 8 |
| | | φ_0 | | Число точек | φ_0 - начальный угол трека | 9 |
| | | w^2 | | | Вертикальный разброс точек | 10 |
| | | | | | 0 | 11 |
| | | | $K\Sigma$ | | Контрольная сумма | 12 |

I - знак порядка, цифра 4^o означает . - ; $\alpha, 0$ - +^o
 II - порядок.
 *) Для первого трека на перфокартах выдаются направляющие косинусы в последней точке и ее координаты.
 Для отрицательных частиц в строке ΔR_R пребывают нули.

Рис. 9. Две стандартные перфокарты с геометрическими и кинематическими характеристиками трека.