

С 344.12

ЛЯП

Н-379

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

3196/4-71

13 - 5942



Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев, Н.А. Смирнов,
М.И. Соловьев

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ
ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ДВУХМЕТРОВОЙ ПРОПАНОВОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

1971

Введение

Двухметровая пропановая пузырьковая камера ОИЯИ^{/1/} (ТПК-500) в 1969 году установлена на пучке отрицательных пионов с импульсом 40 Гэв/с ускорителя ИФВЭ на энергию 76 Гэв (г. Серпухов). Для работы в ИФВЭ камера подвергалась некоторым конструктивным изменениям. Здесь мы будем говорить только о системе фотографирования.

В первоначальном варианте фотографирование производилось шестью объективами "Руссар-плазмат Т 2 с" с фокусным расстоянием 150 мм на пленку шириной 80 мм. Основная база фотографирования была максимальной для данного варианта и составляла 380 мм, что давало не очень хорошее разрешение по Z , требовало много фотопленки и нового просмотрово-измерительного оборудования.

Поскольку в ряде стран-участниц ОИЯИ имелось уже готовое оборудование для просмотра и измерений на формат пленки 50 мм, то было решено заменить объективы "Руссар-плазмат" на объективы "Руссар-446" с фокусным расстоянием 100 мм, перейти на формат пленки 50 мм и увеличить основную базу фотографирования до 0,5 м. А это можно было сделать только при условии применения зеркального перископа.

Конструирование новой оптической системы было выполнено в Институте ядерной физики в Кракове инженерами В. Кубицей и Ю. Гиза, а ее изготовление – во Вроцлавском политехническом институте под руководством профессоров З. Бондара и В. Хованца инженерами А. Кубицей, З. Шурбертом, Х. Жебровским с сотрудниками.

Все специальные вопросы по конструированию и изготовлению этой оптической системы будут рассмотрены в отдельном сообщении.

1. Общая характеристика камеры

Размер рабочей области камеры $210 \times 65 \times 43$ см³. Видимый объем фотографирования – около 500 л. Камера может заполняться как чистым пропаном, так и смесью пропана и фреона. В ИФВЭ для камеры было введено краткое обозначение ТПК-500 (пропан и фреон считаются тяжелыми жидкостями).

Камера размещается в магните со средним значением магнитного поля 16000 эрстед^{1/2}.

Поскольку при конструировании камеры был использован один из готовых магнитов и в то время не было больших оптических стекол, то пришлось делать две системы фотографирования (см. рис. 1). В верхнем полюсном блоке имеется 2 колодца. Снизу колодцы закрыты стеклянными пластинками из стекла К-8. Размер каждой из них $960 \times 650 \times 151$ мм³. Пластины крепятся к полюсному блоку, и при сборке и разборке камеры для чистки, смены мембраны и т.д. стекла не вынимаются. На этих стеклянных пластинах нанесено по 25 крестов с шагом 90×150 мм. Толщина линии около $0,3$ мм. Так как стекла при разборке камеры остаются укрепленными в полюсном блоке магнита, то при чистке камеры оптическая ориентация реперных крестов не меняется.

Верхние части колодцев закрываются двумя массивными стальными плитами с тремя стеклянными окнами в каждой плите. Толщина стеклянных окон – 40 мм.

Снизу к этим стальным плитам крепятся зеркальные перископы, с помощью которых достигается увеличение основной базы фотографирования до 490 мм. Схема фотографирования для поперечного сечения камеры вдоль основной базы показана на рис. 2. Расположение фотографических камер – вид сверху – дано на рис. 3.

Во время работы камеры в пространство колодцев подается сжатый газ – углекислота или азот – под давлением 15 атм. С помощью этого давления снимается часть нагрузки на большие стекла. Слой газа, через который производится фотографирование, эквивалентен 9 -миллиметровой стеклянной пластинке.

При расчете объективов была сделана коррекция на дисторсию всех преломляющих сред. Коррекция произведена до нижней плоскости больших стекол – до границы стекло-пропан. Реперные кресты фотографируются без дисторсии.

На массивные стальные плиты, укрепленные в полюсном блоке сверху, устанавливаются чугунные головки с тремя фотограмметрическими камерами в каждой. Поверхности сочленения головок и плит тщательно подогнаны. Установка головок в одно и то же место достигается с помощью фиксаторов. При работе оптические головки остаются на месте. Для смены пленки вынимаются только фильмопротяжные механизмы.

Над каждой фотограмметрической камерой имеются плоскопараллельные стеклянные пластинки, к которым прижимаются фотопленки. Это так называемые "прижимные" стекла. Прижимные стекла имеют реперные перекрестия. Толщина линий перекрестий $15-20$ микрон (рис.3).

При конструировании и юстировке системы фотографирования стремились к тому, чтобы оптические оси фотограмметрических камер были параллельны друг другу и перпендикулярны поверхностям раздела оптических сред.

У оптических систем с зеркалами трудно точно определить эффективную высоту фотографирования и расположение оптических осей. При определении оптических констант будем считать неизвестными высоту и базы фотографирования.

Эти трудности были преодолены с помощью применения трех типов реперов внутри и вне камеры. Реперы фотографировались через различные среды в специальных экспериментах.

II. Процедура определения констант оптической системы ТПК-500

1. Схема фотографирования

Схема фотографирования показана на рис. 1,2,3. Первую половину камеры фотографируют объективы 1, 2, 3, вторую половину - объективы 4, 5, 6. При этом основные стереопары 1,2 и 5,6 полностью "видят" каждый свою половину камеры и вблизи дна имеют зону перекрытия, которая составляет 6 см на дне камеры. Зона перекрытия уменьшается с высотой камеры, при $Z = 28$ см она исчезает, и выше начинается невидимая область для всех объективов. Объективы 3 и 4 "видят" только часть своих половин камеры и являются вспомогательными.

Для определения констант, применяемых в формулах восстановления пространственных координат треков, а также при измерении событий взаимодействия частиц, можно воспользоваться несколькими группами реперов. Все реперы выполнены в форме крестов. "Внешними" реперными крестами

мы называем реперные кресты, расположенные на прижимных стеклах. Число таких крестов на каждом стекле равно шести (рис. 3). "Внутренние" реперные кресты расположены на больших стеклах камеры со стороны пролана по 25 крестов на каждом стекле (рис. 4) и на поверхности дюралюминиевой пластины, установленной на дне камеры, - так называемом "столе" - 31 перекрестие. 7 реперных крестов, расположенных в середине "стола", попадают в зону перекрытия и фотографируются как 1, 2, так и 5,6 объективами.

Расположение крестов на больших стеклах и дне камеры показано на рис. 4. Там же указано начало и направление координат X и Y ,

2. Реконструкция пространственных координат

Для геометрической реконструкции траекторий частиц нами используются программы 1-6^{/3/} и ГЕОФИТ^{/4/}. В этих программах переход от координат точек x, y , отсчитываемых в системе измерительного прибора, к координатам X, Y, Z в пространстве камеры делается в несколько этапов. На первом этапе производится преобразование измеренных координат на пленке в системы координат реперных крестов каждого объектива с оптическими осями в начале отсчета^{/5/}. При этой трансформации учитывается деформация пленки в продольном и поперечном направлениях путем измерений расстояний между реперными крестами. Система координат каждого снимка ориентируется так, чтобы направления ее осей совпадали с направлениями осей в пространстве камеры (рис.4). На втором этапе рассматриваются стереопары снимков. Для каждой пары объективов i, j делается переход в такую систему координат, где оси O, X_i и O, X_j лежали бы на прямой, проходящей через оптические центры O_i, O_j объективов i, j (рис. 5). Переход осуществляется путем поворота каждой проекции вокруг своего центра на угол ψ . Угол определяется из условия

$$\sin \psi = (Y_{i,l}^0 - Y_i^0) / r_{xy}^0 \quad \text{и} \quad \cos \psi = (X_{i,l}^0 - X_i^0) / r_{xy}^0, \quad (1)$$

где $X_{i,l}^0$ и $Y_{i,l}^0$ — координаты точек пересечения оптических осей объективов с плоскостью больших стекол камеры в системе координат камеры (точнее, в системе координат, определяемой реперными крестами на этих стеклах), а $r_{xy}^0 = ((Y_{i,l}^0 - Y_i^0)^2 + (X_{i,l}^0 - X_i^0)^2)^{1/2}$. Координаты точки в этой системе обозначим через $\bar{X}_{i,l}, \bar{Y}_{i,l}$; затем определяются координаты точки X', Y', Z' в пространстве камеры, но эти координаты все еще связаны с направлением осей $x_{i,l}, y_{i,l}$

$$Z' = \frac{X_{i,l}^{0'} - X_i^{0'} - (M_{i,l}(r)x_{i,l} - M_{i,l}(r)x_i)}{N_{i,l}(r)x_{i,l} - N_{i,l}(r)x_i}, \quad (2)$$

$$X' = Z' x_{i,l} N_{i,l}(r) + x_i M_{i,l}(r) + X_i^{0'}, \quad (3)$$

$$Y' = (y_{i,l} - x_{i,l}) ((Z' N_{i,l}(r) + M_{i,l}(r))^{-1} + (Z' N_{i,l}(r) + M_{i,l}(r))^{-1})^{-1} + Y_i^{0'}, \quad (4)$$

где r — расстояние точки от оптической оси на пленке; $M_{i,l}$ — масштаб фотографирования отрезков, расположенных на нижней поверхности больших стекол камеры; $N_{i,l}$ — коэффициенты, определяющие угол входа луча в рабочую среду камеры, или, иначе, изменение масштаба по глубине камеры; $X_{i,l}^{0'}, Y_{i,l}^{0'} \equiv Y_i^{0'} = Y_i^{0'}$ получаются путем поворота X^0 и Y^0 на угол ψ . Далее для перехода от системы координат $X_{i,l}, Y_{i,l}$ в систему координат, связанную с реперными крестами на больших стеклах, делаются обратные преобразования:

$$X = X' \cos \psi - Y' \sin \psi,$$

$$Y = X' \sin \psi + Y' \cos \psi.$$

И, наконец, нужно сделать еще один поворот для того, чтобы прийти к общей для обеих половин камеры системе координат (см. §VIII).

3. Процедура определения констант оптической системы

Таким образом, для осуществления реконструкции пространственных координат вышеизложенным способом необходимо заранее знать следующие величины:

- координаты пересечения оптических осей объективов с плоскостью пленки $O_{i,l,k}$ и с нижней поверхностью больших стекол камеры $X_{i,l}^0, Y_{i,l}^0$;
- координаты реперных крестов, как "внешних", так и "внутренних";
- масштабы фотографирования $M_{i,l}$ в плоскости с $Z=0$;
- коэффициенты изменения масштаба при $Z \neq 0$: $N_{i,l} \dots$.

Общий метод определения перечисленных констант состоит в том, что формируется функционал вида

$$F = \sum_{i=1}^n \left(\frac{f(a_k, x_i)}{\sigma_{f_i}} \right)^2, \quad (6)$$

где a_k — параметры, которые необходимо определить: $K=1 \dots m$, m — число параметров, x_i — экспериментальные данные, n — число экспериментальных точек, σ_{f_i} — ошибки.

Параметры a_k находятся путем минимизации функционала F , при этом $\chi_p^2 = \text{MIN}(F)$ с числом степеней свободы, определяемым как $p = n - m$.

III. Определение координат пересечения оптических осей объективов с плоскостями пленок

Метод определения положения оптических осей основан на свойствах центрированной оптики. Основываясь на этом свойстве оптической системы, группы "внутренних" реперных крестов дважды фотографировали на один и тот же кадр, причём в одном случае камера была наполнена воздухом, а в другом - водой. Прямые, проведенные через соответствующие изображения крестов на каждом кадре, давали пересечение в том месте, где проходит оптическая ось. Однако из-за ошибок в измерениях прямые пересекаются где-то в окрестности x_0, y_0 - вблизи оптической оси O_i . В данном случае функционал F (§III) для K -го объектива ($K = 1, 2, \dots, 6$) будет иметь вид

$$F = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{\sigma_{d_i}} \right)^2, \quad (7)$$

где d_i - расстояние от точки O_i до прямой, проведенной через каждую пару изображений одного и того же креста.

$$d_i = \frac{x_0(y'_i - y_i) - y_0(x'_i - x_i) + x'_i y_i - y'_i x_i}{((x'_i - x_i)^2 + (y'_i - y_i)^2)^{1/2}}. \quad (8)$$

Здесь x_0, y_0 - координаты центра, через который проходит оптическая ось; x_i, y_i - координаты i -го креста в случае, когда камера заполнена воздухом; x'_i, y'_i - координаты i -го креста в случае заполнения камеры водой. При этом все координаты отсчитываются в системе, связанной с "внешними" реперными крестами. Ошибка в определении d_i получается из формулы

$$\sigma_{d_i} = \left[\frac{(x'_i - x_i)^2 + (y'_i - y_i)^2}{\left(x_0 - \frac{x_i + x'_i}{2}\right)^2 + \left(y_0 - \frac{y_i + y'_i}{2}\right)^2} \right]^{-1/2} \cdot \sigma_{x,y}, \quad (9)$$

где $\sigma_{x,y}$ - ошибка измерения координат крестов на фотопластинке ($\sigma_{x,y} = 0,0006$ см).

Необходимо заметить, что на самом деле из-за неточностей юстировки оптической системы поверхности стекол, к которым прижимаются фотопластинки, также не совсем точно перпендикулярны оптическим осям объективов. В действительности мы определяем координаты пересечения линий, близких к истинным оптическим осям. Назовем их "побочными" оптическими осями.

IV. Определение координат оптических осей в пространстве

Расчёт производится для каждого объектива отдельно. Используются координаты крестов, расположенных на больших стеклах камеры X_i, Y_i , и координаты их изображений на фотопластинке x_i, y_i , а также ранее определенные значения координат x_0, y_0 - пересечения оптических осей с пластинкой (индекс, относящийся к номеру объектива, везде опускается). Для написания уравнений связи необходимо перевести x_i и y_i из системы координат, связанной с внешними реперными крестами, в систему координат крестов на больших стеклах, т.е. повернуть их на угол ϕ . Затем из подобия треугольников определить следующие уравнения связи:

$$f_i = \frac{(x_i - x_0) \cos \phi - (y_i - y_0) \sin \phi}{X_i - X_0} - \frac{(y_i - y_0) \cos \phi + (x_i - x_0) \sin \phi}{Y_i - Y_0}, \quad (10)$$

X_0, Y_0 - координаты центров пересечения оптических осей с поверхностью больших стекол камеры.

Ошибки в функциях f_i вычисляются по формуле

$$\sigma_{f_i}^2 = \left(\frac{1}{(X_i - X_0)^2} + \frac{1}{(Y_i - Y_0)^2} \right) \left(\left(\frac{\sigma_x}{M} \right)^2 + \sigma_x^2 \right), \quad (11)$$

где σ_x, σ_y - ошибки в измерении координат X_i, Y_i и x_i, y_i соответственно (здесь $\sigma_x = 0,0035$ см, $\sigma_y = 0,0006$ см); \bar{M} - усредненный масштаб фотографирования ($\bar{M} \approx 10,6$).

Замечание, приведенное в конце § III, действительно и в данном случае. Здесь мы также имеем дело с координатами "побочных" осей - линий, строго перпендикулярных поверхности больших стекол и близко расположенных к оптическим осям.

V. Определение масштаба фотографирования

Масштаб фотографирования отрезков, расположенных в плоскости больших стекол камеры (т.е. при $Z=0$), определяется как

$$M(r^2) = \frac{R}{r}, \quad (12)$$

где R - расстояние между "внутренними" реперными крестами больших стекол камеры и оптической осью, а r - соответствующее расстояние на фотоснимке.

Масштаб $M(r^2)$ можно разложить в ряд по величине r^2 .

$$M(r^2) = M_0 + a_1 r^2 + a_2 r^4. \quad (13)$$

Расчет производился для каждого объектива отдельно, и индексы, обозначающие номер объектива, опущены. Уравнения связи для функционала (§ III) запишутся в виде

$$f_i = \frac{((X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2)^{1/2}}{((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2)^{1/2}} - [M_{0i} + a_1((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2) + a_2((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2)^2] \quad (14)$$

и

$$\sigma_{f_i} = \frac{[\sigma_x^2 + \bar{M}^2 \sigma_x^2]^{1/2}}{[(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]^{1/2}} \quad (15)$$

где X_i, Y_i и x_i, y_i - координаты реперных крестов, расположенных на больших стеклах камеры, и их изображение на фотопластинке соответственно; X_0, Y_0 и x_0, y_0 - координаты положения оптических осей в пространстве камеры и на фотоснимках соответственно. Другие обозначения - такие же, как в § V.

VI. Определение угла входа светового луча в рабочую среду камеры

С изменением глубины происходит изменение масштаба фотографирования. Это изменение учитывается коэффициентом $N(r)$, который определяется как

$$N(r) = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{r} = N_0 + \beta_1 r^2 + \beta_2 r^4. \quad (16)$$

где γ — угол между направлением "побочной" оптической оси и лучом света, идущим от какой-либо точки в рабочем объеме камеры. β_1, β_2 — коэффициенты при r^2, r^4 разложения $N(r)$ в ряд по r (членами более высоких степеней пренебрегаем).

Для определения коэффициентов $N(r)$ был проведен эксперимент, в котором фотографировались на фотопластины внутренние метки, расположенные на "столе" камеры, причём камера была приведена в "рабочее" состояние (т.е. заполнена пропаном, нагрета до рабочей температуры и т.д.). Зная глубину расположения стола (координату Z) и пользуясь формулой (2), можно написать уравнения связи в виде

$$f_{i, k, \ell} = \frac{B_{k\ell} - ((M_{0k} + a_{1k}(r_i^k)^2 + a_{2k}(r_i^k)^4)x_i^k - (M_{0\ell} + a_{1\ell}(r_i^\ell)^2 + a_{2\ell}(r_i^\ell)^4)x_i^\ell}{(N_{0k} + \beta_{1k}(r_i^k)^2 + \beta_{2k}(r_i^k)^4)x_i^k - (N_{0\ell} + \beta_{1\ell}(r_i^\ell)^2 + \beta_{2\ell}(r_i^\ell)^4)x_i^\ell} - Z_i \quad (17)$$

где $B_{k\ell}$ — база, расстояние между осями объективов k, ℓ ; x_i^k, x_i^ℓ — координата i -го реперного креста, расположенного на "столе" камеры для k и ℓ объективов в такой системе координат, где ось x параллельна базе фотографирования; Z_i — координата данного креста. Отсчёт Z начинается от плоскости больших стекол камеры. В качестве начальных данных для Z были приняты результаты замеров глубины камеры, т.е. расстояние от плоскости больших стекол до "стола".

Минимизация функционала, написанного на основе уравнений связи (17), проводилась для каждой пары объективов, k, ℓ , отдельно.

При этом $\sigma_f^2 = \sigma_{k,\ell}^2 + \sigma_Z^2 \approx \text{const}$, т.к. $M_{0,k} \approx M_{0,\ell}, N_{0,k} \approx N_{0,\ell}, a_k, a_\ell, \beta_k, \beta_\ell \ll 1$. Значения $N_{0\ell}$, полученные для одного и того же объектива (в разных парах), были затем усреднены.

VII. Переход к общей системе координат

Все вышеприведенные расчёты проводились независимо для первой (объективы 1, 2, 3) и второй (объективы 4, 5, 6) половин камеры. Если какая-нибудь частица проходила из первой половины камеры во вторую, то для соединения двух частей трека необходимо было определить относительное расположение систем координат, связанных с реперными крестами на стеклах первой и второй половины камеры.

В нашем распоряжении имеется 5 крестов, которые фотографируются 1,2 и 5,6 объективами. Эти кресты расположены на одной прямой и находятся в средней части "стола" камеры.

Пусть X_i^I, Y_i^I, Z_i^I — координаты этих крестов, полученные по измерениям стереоснимков 1-ой половины камеры, а $X_i^{II}, Y_i^{II}, Z_i^{II}$ — координаты тех же самых крестов, измеренных на снимках 2-ой половины камеры. Обозначим ω угол, на который повернута система координат второй половины камеры относительно первой;

X_c^I, Y_c^I — координаты первой половины камеры.

Для определения угла поворота ω , а также X_c^I, Y_c^I запишем уравнения связи в виде

$$f_i = \begin{cases} (X_i^I - X_c^I) \cos \omega + (Y_i^I - Y_c^I) \sin \omega - X_i^{II}, & i \leq n; \\ (Y_i^I - Y_c^I) \cos \omega - (X_i^I - X_c^I) \sin \omega - Y_i^{II}, & n < i < 2n; \end{cases} \quad (18)$$

где n — число реперных крестов ($n=5$).

Путем минимизации функционала вида (6) были получены значения для угла ω и относительных смещений по X и Y систем координат обеих половин камеры. Далее положения оптических осей и реперных крестов 2-ой половины камеры были пересчитаны в общую систему координат (здесь совпадающую с системой координат 1-ой половины камеры).

VIII. Результаты вычислений констант оптической системы 2-метровой пропановой камеры (ТПК-500)

Для проведения расчётов, связанных с экспериментом по определению положения оптических осей на фотоснимках, была составлена программа для машины СЭС-1604А под названием **OPTAXE**. Для минимизации функционалов (6) в ней используется метод наименьших квадратов. Краткое описание программы **OPTAXE** приведено в Приложении 1А.

Нужно отметить, что поскольку положение оптических осей очень чувствительно к юстировке оптической системы и к положению больших стекол камеры, то эксперименты по определению положения оптических осей нужно проводить всякий раз после каких-либо работ, связанных с демонтажем элементов оптической системы или снятием больших стекол.

В табл. 1 приведены результаты вычисления координат оптических центров в системе координат "внешних" реперных крестов. Значения координат, обозначенные в табл. 1 как XFO , YFO , получены от усреднения с весами величин, рассчитанных на основании 9 независимых измерений крестов на фотопластинках. Мы использовали пластинки с целью исключения деформации фотографического материала при определении констант. Пластинки были экспонированы в декабре 1970 года, и результаты, таким образом, относятся к первому сеансу облучения. После первого сеанса большие стекла камеры были переставлены. Эксперимент по определению положения оптических осей был повторен. В табл. 2 приведены результаты второго и третьего сеансов облучения камеры (январь, март 1971). Для определения других оптических констант использовалась программа под названием **OPTIC** (см. Приложение 1Б). Координаты оптических осей в пространстве камеры, полученные с использованием **OPTIC**,

приведены в табл. 1 (обозначены как XSO , YSO) для сеанса №1 и в табл. 2 для сеансов №2,3. В этих же таблицах даны величины коэффициентов разложения масштабов M (M_0 , a_1 и a_2) и N (N_0 , β_1 и β_2).

Координаты внутренних реперных крестов, расположенных на больших стеклах камеры, пересчитанные в систему координат внешних реперных крестов, приведены в табл. 3 и 4. В пронумерованных рядах этих таблиц расположены координаты реперных крестов в той же самой системе координат.

Расстояния между осями объективов, рассчитанные по измерениям реперных крестов, представлены на рис. 6.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить за обсуждения и консультации В. Кубицу, Ю. Гиза, а также Н.А. Коржева, А.Н. Зубарева, И.С. Соковнина, В.А. Белякова, Е.Н. Кладницкую, Ю.В. Тевзадзе, А.У. Абдурахимова, Х.Я. Супичакова за помощь и внимание к работе.

Приложение 1

А. Краткое описание программы **OPTAXE**

Исходными данными программы являются координаты (2п/ф, формат **10F8.4**) внешних реперных крестов, а также координаты крестов, расположенных на "столе" камеры без воды (4 п/ф, формат **10F8.4**) и с водой (4 п/ф, формат **10F8.4**). Весь числовой материал вводится в массивы $X(14,5)$, $Y(14,5)$. Программа **OPTAXE** переводит измеренные координаты в системы координат реперных крестов каждого кадра и подготавливает данные для группы подпрограмм минимизации **FUMILI**. Уравнение связи и его производные рассчитываются в подпрограмме **XUFILM**. Для усреднения значений параметров, полученных по несколькими измерениям, вызывается подпрограмма **WMEAN**. Остальные подпрограммы относятся к блоку минимизации. Предусмотрена возможность подробной печати промежуточных результатов (ключ $\cdot f, 1/1$).

Б. Краткое описание программы OPTIC

Исходные данные программы - глубины камеры в точках положения крестов на больших стеклах (массив ZEX (2,20)), координаты положения оптических осей на пленке с их ошибками (массивы XFO (6), YFO (6)) и расстояния между реперными крестами (DLL (6,4)). После перевода в систему реперных крестов и учета коэффициентов усадки пленки программа переходит к минимизации функционалов. Последовательно 3 раза вызывается группа минимизирующих программ FUMILI. В первый раз находятся координаты оптических осей в пространстве и $\sin \phi$, во второй и третий - вычисляются коэффициенты разложения в ряд масштабов M и N соответственно. Уравнения связи и производные подготавливаются в первый раз подпрограммой XYSF, второй - AMA 1 и третий - NBETA.

Затем программа делает ряд дополнительных расчётов: рассчитывает координаты реперных крестов на пленке и в пространстве камеры и т.д.

Предусмотрена возможность печати результатов промежуточных вычислений (ключ $\cdot f, 1/1$), а также перфорации результатов (ключ $\cdot f, 2/1$).

Литература

1. М.Р. Balandin, N.G. Borisov et al. N.I.M., 20, 110 (1963).
2. С.А. Аверичев, Л.Н. Беляев и др. Сообщения ОИЯИ, 13-3724, Дубна, 1968.
3. Н.Ф. Маркова, В.И. Мороз, В.И. Никитина и др. Сообщения ОИЯИ, P10-3768, Дубна, 1968.
4. А.У. Абдурахимов, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев. Сообщения ОИЯИ, 1-5140, Дубна, 1970.
5. В.А. Загинайко, В.Н. Шигаев. Сообщения ОИЯИ, 2527, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел

20 июля 1971 года.

ТАБЛИЦА I Оптические параметры 2-метрового пропановой камеры (в см)

ОБЪЕКТЫ	XFO	YFO	XSO	YSO	MO	ALFA1	ALFA2	MO	BETA1	BETA2
1	4.3893 .0081	-0.6668 .0033	24.4996 .0224	-66.1897 .03512	10.64695 .001101	-0.000308 .000003240	-0.00080996 .000739	.077459 .00006780	-0.00010516 .	0
2	-0.0704 .0010	.0642 .0016	-24.4996 .0108	-66.1511 .01691	10.64704 .001102	-0.000838 .000003916	.00017743 .000740	.076821 .00007091	-0.00012201 .	0
3	2.2235 .0033	-0.0584 .0036	-1.794 .0394	39.2054 .03671	10.64772 .004215	-0.02627 .000034021	.000085008 .000302	.078855 .00009801	-0.00089501 .0000100876	.0000889682
4	8.1077 .0010	-0.0334 .0023	-0.6643 .0197	39.2863 .02439	10.66711 .003797	-0.02736 .000029988	.00065433 .000425	.077874 .00013664	-0.00081934 .0000110203	.0000776277
5	4.4826 .0028	.0262 .0035	23.7123 .0295	66.2188 .03740	10.67028 .005342	-0.003321 .0000081668	.000000410 .000221	.077288 .00002071	-0.00007236 .	0
6	-0.1429 .0017	-0.0336 .0025	-25.1096 .0183	66.1221 .02685	10.66326 .001423	-0.000646 .000006616	.00009937 .000210	.076543 .00002128	-0.00066822 .	0

ТАБЛИЦА 2 Оптические параметры 2-метровый пропановой камер (в см)

ОБЪЕКТЫВ	МО	YFO	XFO	YSO	YSO	MO	ALFA1	ALFA2	MO	BETA1	BETA2
1	4.3893	-0.668	24.4949	-66.2329	10.63343	-0.00319	-0.00000233	-0.00000233	0.74916	-0.00009313	0
	.0021	.0033	.0225	.03520	.001060	.000003099	.000271	.00002603			
2	-0.7864	.0642	-24.4949	-66.1637	10.65657	-0.00022	.000011642	.0000280	0.75042	-0.00006168	0
	.0010	.0016	.0100	.01686	.001558	.000004978	.000280	.00002775			
3	2.2255	-0.584	-13.32	-39.2254	10.65695	-0.003457	.000102789	.000061003	0.75916	-0.0003291	0.0000661003
	.0033	.0036	.0353	.03872	.001748	.000014154	.000392	.00013863	.8000126272		
4	2.1077	-0.534	-2.716	39.3066	10.68317	-0.003002	.000083496	.000497	0.74384	-0.00071955	.0000590151
	.0018	.0023	.0281	.02443	.001635	.000013003	.000497	.00015702	.0000346824		
5	4.4426	.0268	24.2203	66.0514	10.67278	-0.00853	.000000900	.000354	0.75137	-0.00008208	0
	.0028	.0035	.0295	.03741	.001823	.000005000	.000354	.00003444			
6	-1.429	-0.356	-24.5394	66.3252	10.67164	-0.00891	.000006605	.000357	0.75422	-0.00010311	0
	.0017	.0025	.0183	.02689	.001659	.000007739	.000357	.00003442			

20

ТАБЛИЦА 3 КООРДИНАТЫ РЕШЕТИХ КРИСТОВ (в см)

ОБЪЕКТЫВ 1	1	2	3	4	5
PH1	-4.3449	-3.7145	-4.3449	-3.4145	-4.3897
	-4.0340	-1.4022	-4.0340	-1.0181	-4.0338
	-3.1875	-1.8028	-3.1875	-1.2155	-3.1887
	-2.3410	-1.6035	-2.3424	-1.2152	-2.3439
	-1.4970	-1.6041	-1.4970	-1.2149	-1.4977
	-0.6507	-1.6056	-0.6506	-1.2146	-0.6504
	-0.391	-3.6859	-0.391	-0.8649	-0.6504
ОБЪЕКТЫВ 2					
PH1	-0.702	-3.8141	-0.708	-3.5150	-0.705
	1.4151	-1.6067	1.4151	-1.2114	1.4151
	2.2614	-1.0774	2.2614	-1.2119	2.2618
	3.1084	-1.6071	3.1088	-1.2119	3.1085
	3.9555	-1.0777	3.9555	-1.2119	3.9544
	4.8014	-3.6045	4.8014	-3.5045	4.7952
ОБЪЕКТЫВ 3					
PH1	-2.2195	-6.7843	-2.2195	-6.4891	-2.2256
	-1.7161	-4.1489	-1.7166	-2.7361	-1.7163
	-0.8761	-4.1493	-0.8697	-2.7347	-0.8697
	-0.246	-4.1493	-0.244	-2.7322	-0.2438
	1.6290	-4.1442	1.6282	-2.7310	1.6280
	2.4853	-6.7894	2.4851	-6.4886	2.4793
ОБЪЕКТЫВ 4					
PH1	-2.0750	-1.9315	-2.0753	-1.6316	-2.1083
	-1.6860	-0.705	-1.6860	-0.705	-1.6971
	-0.8431	-0.665	-0.8431	-0.665	-0.8431
	-0.446	-0.665	-0.446	-0.665	-0.446
	1.6875	-1.639	1.6875	-1.639	1.6875
	2.5211	-1.598	2.5211	-1.598	2.5211
ОБЪЕКТЫВ 5					
PH1	-4.3498	-6.5261	-4.3735	-6.2556	-4.4420
	-3.9684	-4.0225	-3.9744	-2.5955	-3.9807
	-3.1237	-3.9877	-3.1296	-2.5955	-3.1361
	-2.2796	-3.9829	-2.2857	-2.5860	-2.2921
	-1.4349	-3.9883	-1.4414	-2.5814	-1.4480
PH1	-0.5918	-3.9841	-0.5971	-2.5774	-0.6039
	-0.301	-6.4783	-0.301	-6.1768	-0.301
ОБЪЕКТЫВ 6					
PH1	2.132	-6.4136	2.094	-6.1136	1.925
	1.6113	-3.9940	1.6036	-3.6905	1.5967
	1.4568	-3.9907	1.4492	-2.5824	1.4418
	2.3023	-3.9869	2.2944	-2.5789	2.2868
	3.1468	-3.9837	3.1394	-2.5754	3.1317
	4.0131	-6.3826	4.0091	-6.0631	4.0026

21

ТАБЛИЦА 4
КООРДИНАТЫ РЕБЕРНЫХ КРЕСТОВ (в см)

ОБЪЕКТЫ 1	ОБЪЕКТЫ 2	ОБЪЕКТЫ 3	ОБЪЕКТЫ 4	ОБЪЕКТЫ 5
РКА 1	РКА 1	РКА 1	РКА 1	РКА 1
РКА 2	РКА 2	РКА 2	РКА 2	РКА 2
РКА 3	РКА 3	РКА 3	РКА 3	РКА 3
РКА 4	РКА 4	РКА 4	РКА 4	РКА 4
РКА 5	РКА 5	РКА 5	РКА 5	РКА 5

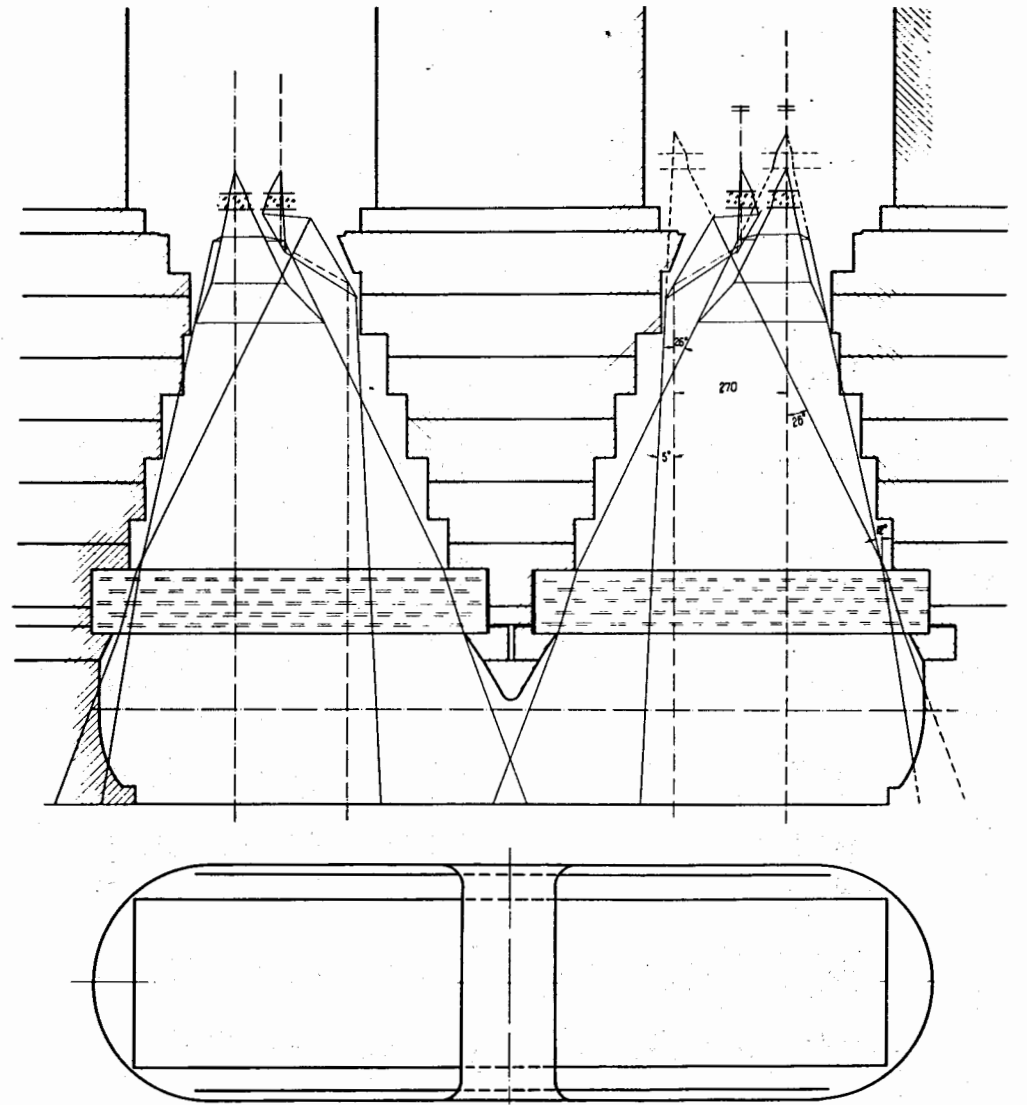


Рис. 1. Схема системы фотографирования. Продольный разрез.

