

СЗУЧ. 19  
Б-794

БОЛОНКИН Б.В.

+

Б1-10-3579.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Б1-10-3579

Б.В.Болонкин, В.Б.Виноградов, Ю.Ф.Ломакин,  
П.К.Маньяков, В.Б.Флягин

$\frac{с 344.1g + с 344.4}{Б-494}$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
МЕТРОВОЙ ПРОПАНОВОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ 9-ти ЭКСПО-  
ЗИЦИЙ 1963-1967 ГОДОВ

Рукопись поступила  
в ИИЯИ  
.. 1 - XI 1967

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

-г.Дубна, 1967 г. -

с.р. 2062

СОДЕРЖАНИЕ

В в е д е н и е

§ 1. Расчет параметров "  $\beta$  "

§ 2. Расчет параметров "  $\alpha$  " для 4-х экспозиций  
1963-1965 гг.

§ 3. Экспериментальное определение параметров  
"  $\alpha$  " для 5-ти экспозиций 1966-67 гг.

Л и т е р а т у р а.

## В в е д е н и е

В период с 1963 по 1967 г. на метровой пропановой камере<sup>(1)</sup> в 9-ти экспозициях было получено около 250 тысяч кадров. Для каждой экспозиции менялись стекла, через которые производилось фотографирование рабочего объема камеры. Поэтому возникла необходимость определения "меняющихся" параметров оптической системы, характеризующих промежуточные среды (воздух, стекла, воду), для каждой экспозиции.

Кроме того, с мая 1967 г. обработка событий, полученных на данной камере, стала производиться по программе 0-10<sup>(2)</sup>, в которой параметры, характеризующие оптическую систему, представлены в иной форме, чем в ранее используемой программе 755<sup>(3,4)</sup>.

Поэтому целью данной работы являлось: во-первых, представление ранее полученных параметров для 4-х экспозиций 1963-1965 гг.<sup>(5,6)</sup> в форме, приемлемой для программы 0-10, и, во-вторых, получение новых параметров для 5-ти экспозиций 1966-1967 гг.

В программе 0-10 совокупность сред (воздух, вода, стекла, пропан), через которые производится фотографирование треков в метровой пропановой камере, и характеристики объективов описываются с помощью 6-ти параметров -  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  (2).

Параметры " $\alpha$ " ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ) являются коэффициентами разложения в ряд по четным степеням  $r$  масштаба уменьшения на верхнем стекле рабочей камеры:

$$M = R/r = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot r^2 + \alpha_3 \cdot r^4 ;$$

где  $R$  - расстояние от некоторой точки на нижней поверхности верхнего стекла до оптической оси;

$r$  - расстояние от изображения этой точки на пленке до главной точки снимка.

Параметры " $\beta$ " являются коэффициентами разложения в ряд по нечетным степеням  $r \cdot \operatorname{tg} \theta$  ( $\theta$  - угол между световым лучом в рабочей жидкости и оптической осью).

$$\operatorname{tg} \theta = \beta_1 \cdot r + \beta_2 \cdot r^3 + \beta_3 \cdot r^5.$$

Параметры " $\beta$ " зависят от характеристик объектива и показателя преломления рабочей жидкости и не изменяются при различных экспозициях, если не происходит смены объективов и рабочей жидкости.

Параметры " $\alpha$ " являются "меняющимися" параметрами, поскольку они зависят от свойств промежуточных сред, изменяющихся для различных экспозиций.

§ I. Определение параметров "β"

Коэффициенты  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  определялись методом наименьших квадратов при минимизации функционала:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{16} (\operatorname{tg} \theta_i - \beta_1 \cdot r_i - \beta_2 \cdot r_i^3 - \beta_3 \cdot r_i^5)^2$$

где  $\operatorname{tg} \theta_i = \frac{\sin \gamma_i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \gamma_i}}$ ; (Предполагается, что границы раздела всех сред параллельны друг другу, а оптические оси объективов перпендикулярны к ним).

$\gamma_i$  - угол выхода светового луча из объектива в воздух по отношению к оптической оси, соответствующий  $r_i$ ;

$n$  - показатель преломления пропана .

(В соответствии с результатами работы<sup>(7)</sup> было взято  $n = 1,25$ ).

Зависимости  $\gamma(r)$  для семи используемых объективов приведены в таблице I. Эти зависимости взяты из работы<sup>(I)</sup>. В верхней строке приведены номера объективов, выгравированные на предметных стеклах. Полученные коэффициенты показаны в таблице II. Среднеквадратичный разброс между рассчитанными и подобранными значениями  $\theta$  составляет  $\Delta \theta \approx 3''$ . Ошибки в найденных параметрах примерно равны:

$$\begin{aligned} \Delta \beta_1 &\approx 0,3 \cdot 10^{-6}, \\ \Delta \beta_2 &\approx 0,2 \cdot 10^{-9}, \\ \Delta \beta_3 &\approx 0,2 \cdot 10^{-13}. \end{aligned}$$

Таблица I

Зависимость  $\gamma(r)$  в градусах

$r$ см	Номера объективов на предметных стеклах						
	I	2	3	5	7	8	9
0	00000	0	0	0	0	0	0
5	2 <sup>0</sup> 50'47"	2.48.3I	2 <sup>0</sup> 48'2I"	2.49.58	2.50.0I	2.50.43	2.49.24
I.0	5.4I.36	5.37.0I	5.36.4I	5.39,45	5.40.05	5.4I,08	5.38.48
I.5	8.3I.32	8.24.46	8.24.I3	8.28.50	8.29.I8	8.30.48	8.27.24
2.0	II.20.35	II,II.34	II.I0.5I	II.I7.04	II,I7.4I	II.I9.39	II.I5.07
2.5	I4.08.28	I3.57.I6	I3.56.2I	I4.04.00	I4.04.50	I4.07.I8	I4.0I.4I
3.0	I6.54.5I	I6.4I.28	I6.40.27	I6.49.34	I6.50.33	I6.53.29	I6.46.46
4.0	22.22.I0	22.04.50	22.03.26	22.I5.28	22.I6.43	22.20.28	22.II.38
4.5	25.02.4I		24.4I.5I	24.55.I2	24.56.35	25.00.5I	24.50.55
5.0	27.40.45	27.I9.40	27.I7.58	27.32.4I	27.34.09	27.38.54	27.27.53
5.5	30.I6.I5	20.53.30	29.5I.37	30.07.33	30.09,09	30.I4.2I	30.02.20
6.5	35.I8.59	34.53.00	34.50.48	35.09.06	35.I0.5I	35.I6.52	35.03.07
7.0	37.45.50	37.I8.23	37.I6.26	37.35.36	37.37.26	37.44.02	37.28.40
7.5	40.09,34	39.40,57	39.38.52	39.59.02	40.00.54	40.07.58	39.5I.37
8.0	42.30.I4		4I.58.I3	42.I9.22	42.2I.I5	42.28.47	42.II.26
8.5	44.47.42	44.I6.38	44.I4.28	44.36.35	44.38.28	44.46.29	44.28.07

Таблица II

Параметры "  $\beta$  "

$N_{\text{объект}}$	I	2	3	5	7	8	9
$\beta_1 \cdot 10^2$	0,7957	0.785	0.7842	0,79I5	0,7922	0.7946	0.7893
$\beta_2 \cdot 10^7$	0,246	0,235	0,233	0.245	0,245	0,25	0,236
$\beta_3 \cdot 10^{II}$	-0,204	-0,189	-0,184	-0,195	-0,199	-0,196	-0,196

§ 2. Расчет параметров "α" для 4-х экспозиций 1963-1965 гг

Для этих экспозиций параметры оптической системы были получены ранее с помощью методов, описанных в работах<sup>(5,6)</sup>, в виде толщин промежуточных сред. Поэтому ставилась задача представить их в виде, приемлемой для программы 0-10, т.е. в виде параметров "α".

Это было проделано методом наименьших квадратов путем минимизации функционала:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{16} (R_i - \alpha_1 \cdot r_i - \alpha_2 \cdot r_i^3 - \alpha_3 \cdot r_i^5)^2$$

где  $R_i$  рассчитывались по формулам<sup>(3)</sup>:

$$R = [d_0 - \Delta t(r)] \cdot \operatorname{tg} \gamma + \frac{d_1 \cdot \sin \gamma}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \gamma}} + \frac{d_2 \cdot \sin \gamma}{\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \gamma}} ;$$

где  $d_0$  - расстояние между передней узловой точкой объектива и защитным стеклом камеры;

$d_1$  - суммарная толщина стекла, через которое производится фотографирование;

$d_2$  - толщина воды (оптическая схема камеры приведена на рис. I работы<sup>(3)</sup>);

$n_1$  и  $n_2$  - показатели преломления стекла и воды;

$\Delta t(r)$  - зависимость продольной сферической аберрации зрачка входа главного луча от  $r$  (см. таблицу 3 работы<sup>(3)</sup>).

Показатели преломления стекла и воды были взяты равными:

$n_1 = 1.495$ ;  $n_2 = 1.327$ , а значения  $d_0$ ,  $d_1$ ,  $d_2$  для разных экспозиций приведены в таблице III.



Таблица III

Значения величин  $d_0, d_1, d_2$  в 4-х экспозициях (в см)  
(В левом столбце указаны номера пленок каждой экспозиции)

$N_{\text{пленки}}$ / $N_{\text{объект}}$	1	2	3	5	7	8	9	$d_1$	$d_2$
I - 52	3,9	3,5	-	3,8	3,65	3,8	3,95	12,1	64,5
I98 -249	3,4	-	3,44	3,71	3,65	3,544	3,42	10,89	65,
250 -499	3,235	-	3,494	3,44	3,49	3,54	3,226	11,81	64,
500-1000	3,915	3,585	-	3,735	3,525	3,695	3,835	12,1	65.

$d_0$

В результате расчета были определены коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  вместе с ошибками и среднеквадратичный разброс  $\Delta R = \sqrt{\frac{\chi^2}{n-3}}$ , который в среднем оказался равным 10-20  $\mu$ , что говорит в пользу представления расчетной зависимости  $R(r)$  с экспериментально определенными параметрами данным полиномом 5-ой степени. Типичные ошибки в найденных параметрах " $\alpha$ ":

$$\Delta \alpha_1 = 0,3 \cdot 10^{-3}; \quad \Delta \alpha_2 = 0,2 \cdot 10^{-6}; \quad \Delta \alpha_3 = 0,2 \cdot 10^{-10^x}$$

Найденные величины " $\alpha$ " приведены в таблице IV.

x) Эти ошибки не являются полными ошибками  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ , поскольку при их нахождении не учитывались ошибки в толщинах и возможные перекосы стекол. Они имеют смысл точности аппроксимации расчетной зависимости  $R = f(r)$  данным полиномом.

Таблица IV

Рассчитанные параметры "  $\alpha$  " для 4-х экспозиций 1963-1965гг

№ № ОБЪЕКТИ- ВОВ	$\alpha_1$	$\alpha_2 \cdot 10^5$	$\alpha_3 \cdot 10^9$	№ пленок в экспозиции
1	6.2724	0,31	- 0,9	
2	6.3508	0,38	- 0,91	
3	6.3784	0,44	- 0,89	I-52
4	6.3537	0,41	- 0,9	
5	6.3975	0,42	- 0,94	
6	6.345	0,38	- 0,93	
1	6.2247	0,34	- 0,86	
2	6.3096	0,44	- 0,93	
3	6.3122	0,37	- 0,96	I98-219
4	6.2632	0,33	- 0,94	
5	6.3175	0,44	- 0,9	
6	6.3094	0,45	- 0,9	
1	6.2313	0,31	- 0,85	
2	6.295	0,37	- 0,93	
3	6.297	0,3	- 0,97	250-499
4	6.2453	0,25	- 0,94	
5	6.3184	0,4	- 0,9	
6	6.284	0,36	- 0,91	
1	6.3473	0,32	- 0,91	
2	6.4063	0,36	- 0,93	
3	6.4354	0,41	- 0,91	500-1000
4	6.4144	0,4	- 0,92	
5	6.4665	0,42	- 0,96	
6	6.3998	0,36	- 0,95	

§ 3. Экспериментальное определение параметров "α "  
для 5 экспозиций 1966-1967 гг.

В период с августа 1966 г. по марта 1967 г. на метровой пропановой камере в 5 экспозициях было получено 95.000 снимков. В этих экспозициях на верхнем стекле рабочей камеры со стороны пропана наносились кресты, что дало возможность экспериментально определить параметры "α " с помощью программы, описанной в работе<sup>(8)</sup>.

В этой программе параметры "α " находятся методом наименьших квадратов по измеренным на двух стереопроекциях координатам изображений крестов на пленке, находящихся на верхнем стекле камеры.

На верхнем стекле камеры было нанесено равномерно 63 креста. К сожалению, некоторые кресты были не видны или плохо видны, поэтому удалось использовать, в среднем, только 40 крестов на средней стереопаре и 20 крестов на крайних.

Измерения этих крестов и ~~реперных~~ реперных крестов (4 на средней и 3 на крайних стереопарах), необходимых для определения параметров перехода от  $m$  - системы к  $f$  - системе<sup>x)</sup>, производились на микроскопе УИМ-21.

Полученные в результате обсчета измерений по программе<sup>(8)</sup> параметры "α " приведены в таблице У. Эти параметры получены по "хорошо измеренным крастам", дающим среднеквадратичный разброс

$$\Delta R < 0,3 \text{ мм. Типичные ошибки в найденных параметрах:}$$
$$\Delta \alpha_1 \approx 0,8 \cdot 10^{-2}; \quad \Delta \alpha_2 = 0,5 \cdot 10^{-5}; \quad \Delta \alpha_3 \approx 0,1 \cdot 10^{-8}.$$

---

x) Определение систем координат приведено в работе<sup>(2)</sup>.

Эти ошибки не превышают допустимых, которые необходимы для точности определения пространственных координат  $\Delta X = \Delta Y = 0,2\text{мм}$ . Для некоторых объективов найденные параметры  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  оказались в пределах ошибок равны нулю. Но это не является удивительным поскольку объективы были специально изготовлены для получения неискаженных изображений при съемке через воздух, воду и стекла. Отличие  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  от нуля происходит за счет возможного перекоса стекол и различием между расчетными и реальными средами.

Поскольку параметры были найдены лишь по части измеренных крестов, то для проверки надежности их определения для всех крестов (включая плохо измеренные или невыгодно расположенные с точки зрения базы) были восстановлены  $Z$  - ые координаты по формулам, приведенным в работе<sup>(2)</sup>. Среднеквадратичный разброс  $\Delta Z$  оказался равным 0,7 мм, что является вполне удовлетворительным.

Авторы благодарны С.А.Мощалкиной за измерения на микроскопе.

Б. А. Машин  
С. А. Мощалкина

Л. О.  
М. А. М.

Ф. М.

Таблица У

Экспериментально определенные параметры " $\alpha$ "  
для 5 экспозиций 1966-1967 г.

№ объект	$\alpha_1$	$\alpha_2 \cdot 10^5$	$\alpha_3 \cdot 10^9$	№ пленок в экспо- зиции
1	2	3	4	5
1	6.2884	-3.9	6.3	
2	6.326	-1.7	2.1	
3	6.3282	0.46	-0.31	59-73
4	6.34	-0.84	2.02	
5	6.38	-1.97	1.9	
6	6.2588	2.9	-2.8	
1	6.211	-1.6	6.6	
2	6.349	-1.9	8.01	
3	6.381	-2.9	5.6	74-101
4	6.276	0,35	2.3	
5	6.431	-10.1	20.3	
6	6.27	11.1	1.1	
1	6.246	-0.73	3.2	
2	6.303	-11.1	2.4	
3	6.329	-0.06	0.48	126-134
4	6.302	0,19	0.53	
5.	6.366	- 1.2	1.8	
6	6.299	0.34	0,26	

- 13 -

1.	6.19	2.3	-2.1	
2	6.359	-3.6	4.6	
3	6.327	-0,26	0.74	I35-I48
4	6.318	-1.1	2.2	
5	6.336	0,56	-0,71	
6.	6.282	2.5	4,05	
1.	6.232	1.4	-1.9	
2.	6.374	-4.6	7.9	
3	6.335	0,71	-1.6	I49-I61
4	6.333	-0,5	0,79	
5	6,35	1,04	-2.4	
6.	6.316	0,74	-1.7	

---

Л и т е р а т у р а

1. А.В.Богомоллов и др. Метровая пузырьковая камера в магнитном поле  
ПТЭ, 1, 61, 1964.
2. Н.А.Буздавина и др. Новая программа обработки событий метровой  
пропановой камеры (программа 0-10)  
Отчет ОИЯИ, , Дубна, 1967г.
3. Н.А.Буздавина и др. Геометрическая программа для метровой про-  
пановой пузырьковой камеры.  
Препринт ОИЯИ, 2095, Дубна, 1965г.
4. Н.А.Буздавина, В.Г.Иванов. Программа реконструкции событий в  
пузырьковой камере с многообъективной системой фотографирования.  
Препринт ОИЯИ, 2755, Дубна, 1966г.
5. В.Г.Иванов. Методика определения параметров оптической системы  
пузырьковой камеры по реперным точкам, находящимся в ее рабочем  
объеме. Препринт ОИЯИ, 2646, Дубна, 1966г.
6. Ш.Красновский и др. Программа для определения констант оптиче-  
ской системы пузырьковых камер с помощью измерения соответствую-  
щих точек. Препринт ОИЯИ, 2656, Дубна, 1966г.
7. А.Ф.Гамалий и др. Измерение показателя преломления пропана в  
рабочем интервале температур пузырьковых камер.  
Препринт ОИЯИ, Р-2589, Дубна, 1966г.
8. Б.В.Болонкин, В.Б.Виноградов. Программа определения параметров  
оптической системы метровой пропановой камеры, зависящих от ха-  
рактеристик промежуточных сред в каждой экспозиции, по крестам  
на верхнем стекле рабочей камеры.  
Отчет ОИЯИ, , Дубна, 1967г.