

3/ix-79

3456/2-79



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

С 344.1 g
В-156

1 - 12356

А.Валкарова, Р.Ледницки, В.И.Молостцова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

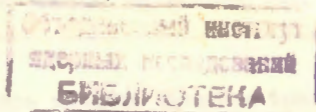
ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ УСТАНОВКИ "ЛЮДМИЛА"

1979

1 - 12356

А.Валкарова, Р.Ледници, В.И.Молостова

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ УСТАНОВКИ "ЛЮДМИЛА"**



Валкарова А., Ледниcki P., Молоstвова В.И. 1 - 12356

Определение оптических констант установки "Людмила"

Описывается процедура определения оптических констант установки "Людмила", необходимых для работы программ геометрической реконструкции событий MDTHRESH и HYDRA. Обсуждаются значения оптических констант, полученные при облучении камеры в пучке антипротонов с импульсом 22,4 ГэВ/с. Результаты повторного определения констант указывают на возникновение нелинейной деформации пленки в процессе ее обработки.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Valkarova A., Lednicky R., Molostvova V.I. 1 - 12356

Optical Constant Determination of the LUDMILA Bubble Chamber

Optical constant determining of the LUDMILA bubble chamber necessary for operation of MDTHRESH and HYDRA programs of geometrical event reconstruction is described. Optical constant values obtained by the exposition of the chamber in the antiproton beam with the momentum of 22.4 GeV/c are discussed. The results of repeat constant determining point to the appearance of nonlinear deformation of the film during its processing.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

При облучении двухметровой водородной камеры ОИЯИ "Людмила" в сепарированном пучке антипротонов с импульсом 22,4 ГэВ/с в Серпухове было получено около 380.000 снимков.

Для обработки этого материала с помощью программ геометрической реконструкции /MDTHRESH и HYDRA/ требуется знание оптических констант установки. В данном сообщении описывается процедура определения оптических констант и обсуждаются значения этих констант, которые использовались сотрудничеством Алма-Ата-Дубна-Москва-Прага-Тбилиси-Хельсинки для обработки pp -взаимодействий при 22,4 ГэВ/с.

1. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ

В программах MDTHRESH и HYDRA в качестве оптических констант служат следующие величины: координаты входных зрачков фотокамер $\vec{x}'_3 = (x_3, y_3, z_3)$, $i=1,2,3,4$; координаты изображений реперных меток, умноженные на масштаб съемки, толщины d_j и показатели преломления n_j сред на пути луча света от объекта до входного зрачка, а также параметры дисторсий объективов $\beta_1^{(i)}, \beta_2^{(i)}, \dots, \beta_7^{(i)}$, $i=1,2,3,4$ ($\beta_1^{(i)}, \beta_2^{(i)}$ - углы плоскости пленки с нижней поверхностью камерного стекла ($z=0$)). Дисторсии $\beta_1^{(i)}, \dots, \beta_7^{(i)}$ объективов учитывают тот факт, что угол, под которым луч света входит во входной зрачок объектива, может не совпадать с углом, который образует с оптической осью прямая, соединяющая изображение с выходным зрачком.

Преобразование измеренных на пленке координат \vec{x} в координаты изображения той же точки в случае идеальной оптики \vec{x}' проводится в соответствии с формулами

$$\vec{t}' = D \cdot \vec{t}, \quad \vec{t}' = -\frac{1}{f}(\vec{x} - \vec{x}_3),$$

$$D = 1 + \beta_1 t_x + \beta_2 t_y + \beta_3 t_x t_y + \beta_4 t_x^2 + \beta_5 t_y^2 + \beta_6 (t_x^2 + t_y^2)^2, \quad /1/$$

где $\vec{t} = (t_x, t_y)$, а f - расстояние от выходного зрачка фотокамеры до плоскости пленки. Для устранения нелинейных искажений вдоль оси X, которые наиболее сильно влияют на определение импульса пучка /направление оси X приблизительно совпадает с направлением пучка/, вводится квадратичная поправка путем замены $t_y' \rightarrow t_y' + \beta_7 t_x^2 / z_3$. Соответствующий этой поправке радиус кривизны в плоскости $z=0$ равняется $R = z_3^2 / 2\Delta\beta_7$.

Мы не могли воспользоваться стандартными программами, служащими для определения оптических констант /см., например, PYTHON /1/, т.к. в объеме камеры "Людмила" имеется практически только одна реперная плоскость вместо необходимых двух /реперные метки нанесены лишь на верхнюю и нижнюю поверхности камерного стекла, эффективная толщина которого $d_{эфф} = d/n \sim 10$ см/. С учетом этого обстоятельства в Лаборатории высоких энергий была создана программа MUNG /2/.

Входными данными для программы MUNG являются толщины и показатели преломления оптических сред, координаты реперных меток на главной и вспомогательной реперных плоскостях /нижняя и верхняя поверхности камерного стекла/ и координаты $\vec{x}_{F_i}^k$ изображений реперных меток для фотокамер, $k=1,2,3,4$. Координаты $\vec{x}_{F_i}^k$ определяются с помощью следующей процедуры: изображения реперных меток измеряются на нескольких кадрах * вместе с изображениями меток внутреннего ориентирования /которые нанесены на прижимные стекла/. С помощью программы PREST координаты усредняются в системе первого измерения, и с помощью заданных координат меток внутреннего ориентирования /координаты этих меток, а также координаты реперных меток на камерном стекле были измерены на координатно-расточном станке/ находятся параметры линейного преобразования

* Были выбраны 1 или 2 пленки, снятые в середине рабочего сеанса. Реперные метки измерялись на 10-17 разных снимках на полуавтоматических измерительных приборах ПУОС.

$$x' = a_1 + a_2 x + a_3 y,$$

$$y' = a_4 + a_5 x + a_6 y, \quad /2/$$

учитывающего сдвиг, поворот и линейную деформацию пленки. Для устранения возможной квадратичной деформации пленки вдоль направления пучка в некоторых случаях делается замена $y' \rightarrow y' + a_7 x^2$ /см. табл. 1 и 2/.

Оптические параметры $\vec{a} = (\beta_1, \dots, \beta_7, \vec{x}_3, f)$ (1), т.е. параметры дисторсий, координаты входных зрачков фотокамер и расстояния от входных зрачков до пленки находятся для всех камер минимизацией функционала

$$\chi^2 = \sum_i \left(\frac{\vec{x}_{F_i}^k(\vec{a}) - \vec{x}_{F_i}^k}{\sigma} \right)^2, \quad /3/$$

где $\vec{x}_{F_i}^k(\vec{a})$ - полученные с помощью параметров \vec{a} координаты изображений реперных меток /для камер $k=1,2,3,4$ /, а $\vec{x}_{F_i}^k$ - измеренные на пленке координаты этих же меток.

Программа MUNG выдает информацию для блоков REFER /координаты 4 ÷ 10 реперных меток, используемые при измерении событий/, CAMERA /координаты входных зрачков фотокамер/ и CORREC /параметры дисторсий объективов/ в программах геометрической реконструкции MDTHRESH и HYDRA.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЭКСПОЗИЦИЙ 201-207 КАМЕРЫ "ЛЮДМИЛА"

Оптические константы программ геометрической реконструкции были определены для экспозиций 201-207 камеры "Людмила" в пучке антипротонов. Для экспозиций 201 и 202 были получены два набора оптических констант /201-1, 201-2; 202-1, 202-2/, поскольку камера в течение сеанса разбиралась.

При сравнении оптических параметров для разных заливок или для разных измерений в одной и той же заливке следует иметь в виду наличие сильных корреляций между некоторыми параметрами /2/. В частности, значения параметров x_3, f, β_1 и β_2 могут существенно измениться из-за корреляций между $x_3(y_3)$, $\beta_1(\beta_2)$ и параметрами ориентирования камерного стекла, а также из-за корреляций между z_3 и f / β_1, β_2 - углы поворота плоскости пленки относительно плоскости $z=0$, см.

формулу /1//. В табл. 1 и 2 приведены значения оптических параметров, определенные заново для экспозиций 201 и 203 после нескольких лет работы с пленкой, т.е. после многократного использования пленки на просмотрных и измерительных приборах. Из данных табл. 1 видно сильное изменение α_3 , β_1 и f . Масштаб $\lambda = z_3 / f$ при повторном измерении не изменялся, $\lambda_{201-1} = \lambda_{201-1}^* = 13,75 \pm 0,02$. При повторном измерении оптических констант для экспозиции 203 сильно изменилось значение f и скоррелированное с ним значение $z_3 / \text{см.}$ табл. 2/.

Нелинейные эффекты, связанные с прохождением луча света через установку, т.е., например, нелинейные деформации пленки, эффективно учитываются параметрами $\beta_3, \beta_4, \dots, \beta_7$. Из данных, приведенных в табл. 1 и 2, видно, что параметр β_7 , полученный при повторном измерении, существенно отличается от полученного первоначально. Следует заметить, что такое изменение параметра β_7 соответствует появлению ложной кривизны, радиус которой в плоскости $z=0$ составляет $\Delta R = z_3^2 / 2\Delta\beta_7 = 1 \div 5$ км. Этот факт может указывать на возникновение квадратичной деформации пленки в процессе ее обработки.

Для учета квадратичной деформации пленки мы модифицировали преобразование /2/ заменой $u' \rightarrow u' + a_7 x^2$ и определили оптические параметры для повторных измерений экспозиций 201-1 и 203*. Результаты, приведенные в табл. 1 и 2, показывают что значения параметра β_7 стали существенно ближе к первоначальным значениям; $\Delta\beta_7$ теперь соответствует радиусу ложной кривизны в плоскости $z=0$, $\Delta R \sim 10$ км. Таким образом, деформация пленки, по-видимому, возникает в процессе просмотра или измерения, а не во время съемки или проявки. Поэтому целесообразно введение параметра деформации пленки в программу MDTHRESH, как это уже отмечалось в работе /3/. Поскольку число меток внутреннего ориентирования всего 4 или 5, то при этом число степеней свободы при определении a_7 равно 0 или 1. Поэтому желательно нанести на прижимные стекла 1 или 2 дополнительные метки и тем самым повысить точность определения параметра a_7 .

* При этом значения параметров a_7 получаются в интервале $1 \div 10 \text{ км}^{-1}$, что соответствует радиусу ложной кривизны в плоскости $z=0$, $R = \lambda / 2a_7 = 0,7-7$ км; что хорошо согласуется со значениями $\Delta\beta_7$ в случае, когда $a_7=0$.

Таблица I

Экспозиция 201-I

Камера	I		II		I		II	
	$a_7=0$	$a_7 \neq 0$	$a_7=0$	$a_7 \neq 0$	$a_7=0$	$a_7 \neq 0$	$a_7=0$	$a_7 \neq 0$
Год	1973	1977	1973	1973	1977	1977	1977	1977
X_1	23.4904±0.0003	23.4944±0.0003	23.4944±0.0003	-22.5175±0.0003	-22.5166±0.0003	-22.5167±0.0003	-22.5167±0.0003	-22.5167±0.0003
Y_1	-39.0795±0.0004	-39.0792±0.0004	-39.0796±0.0004	-39.0691±0.0003	-39.0697±0.0004	-39.0695±0.0004	-39.0695±0.0004	-39.0695±0.0004
Z_1	206.46±0.33	206.87±0.34	207.05±0.35					
$\beta_1 \cdot 10^4$	80±9	33±9	35±9	47±6			-1±9	-5±9
$\beta_2 \cdot 10^4$	2±43	11±44	15±44	8±20			60±44	75±44
$\beta_3 \cdot 10^4$	-63±35	-82±35	-75±35	-36±29			14±40	-1±40
$\beta_4 \cdot 10^4$	320±40	297±40	303±40	110±50			176±40	208±40
$\beta_5 \cdot 10^4$	220±130	215±128	214±129	12±130			-1±130	-1±130
$\beta_6 \cdot 10^4$	-29±10	-27±11	-28±11	26±16			-2±11	-6±11
$\beta_7 \cdot 10^3$	277±49	63±51	157±51	-121±49			73±50	58±50
f	15.019±0.005	15.045±0.005	15.059±0.005	15.027±0.004			15.010±0.005	15.028±0.005

Таблица I (продолжение)

Камера	III		IV		IV	
	$a_2 \neq 0$ 1973	$a_2 = 0$ 1977	$a_2 \neq 0$ 1977	$a_2 = 0$ 1973	$a_2 = 0$ 1977	$a_2 \neq 0$ 1977
x_2	-22.5175±0.0003	-22.5136±0.0003	-22.5134±0.0003	23.4799±0.0003	23.4838±0.0003	23.4838±0.0003
y_2	6.9203±0.0003	6.9197±0.0003	6.9200±0.0004	6.9208±0.0003	6.9210±0.0004	6.9208±0.0003
$\beta_1 \cdot 10^4$	47±6	7±6	7 ± 6	68±5	11±6	12±6
$\beta_2 \cdot 10^4$	8±20	-17±18	-18 ± 18	-3±19	-23±19	-24±19
$\beta_3 \cdot 10^4$	-36±29	-63±30	-62±30	7±30	-3±30	12±30
$\beta_4 \cdot 10^4$	110±50	216±44	219±44	300±360	227±51	263±47
$\beta_5 \cdot 10^4$	12±130	45±125	25±120	2±113	-32±125	-30±120
$\beta_6 \cdot 10^4$	26±16	-13±14	-14±14	-32±10	-16±16	-27±15
$\beta_7 \cdot 10^3$	-121±49	-77±46	-116±46	-153±39	-229±50	-165±47
f	15.027±0.004	15.047±0.004	15.061±0.004	15.025±0.004	15.049±0.004	15.066±0.004

Если отвлечься от эффектов, связанных с искажением пленки или с приближенным учетом неоднородности газообразного водорода над камерным стеклом ^{12/}, то оптические параметры, характеризующие дисторсии объективов ($\beta_3, \beta_4, \dots, \beta_7$), не должны меняться от экспозиции к экспозиции. Поскольку значимыми являются практически только параметры β_4 и β_7 ,

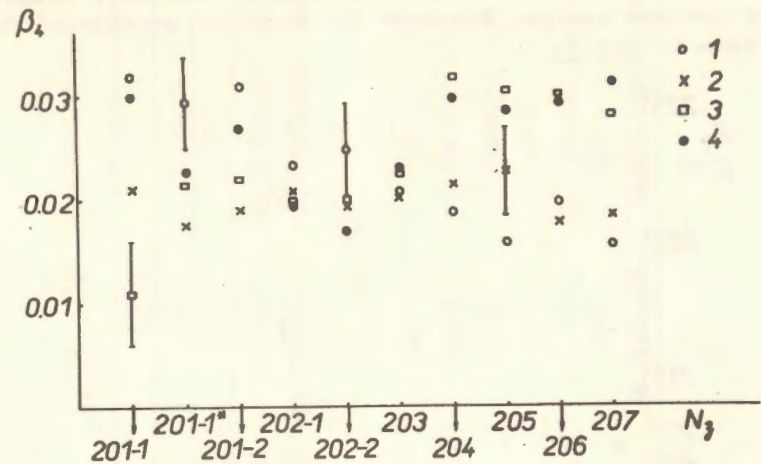


Рис. 1. Зависимость параметра β_4 от экспозиции для фотокамер 1, 2, 3, 4.

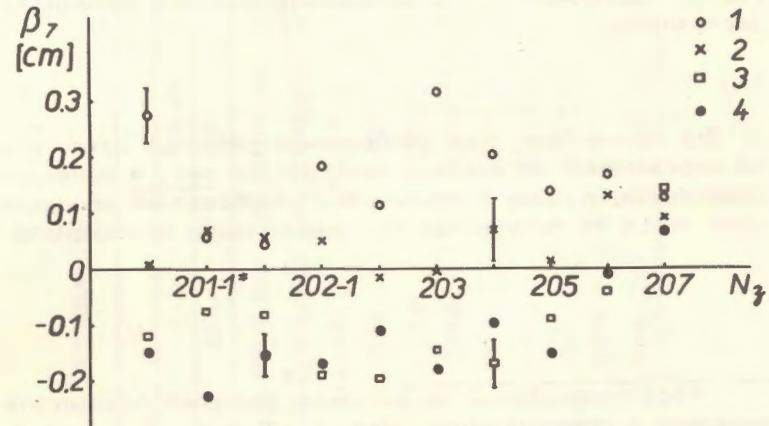


Рис. 2. Зависимость параметра β_7 от экспозиции для фотокамер 1, 2, 3, 4.

на рис. 1 и 2 приводятся величины только этих параметров для экспозиций 201-207*. Оба параметра являются относительно стабильными и не выходят за рамки трех стандартных отклонений.

Координата z_3 входных зрачков фотокамер в ходе эксперимента несколько раз существенно менялась. Так, например, после 201 экспозиции была поднята плита с фотоаппаратами, чтобы совместить среднюю плоскость объективов с центром камеры. Значения z_3 для всех экспозиций показаны на рис.3.

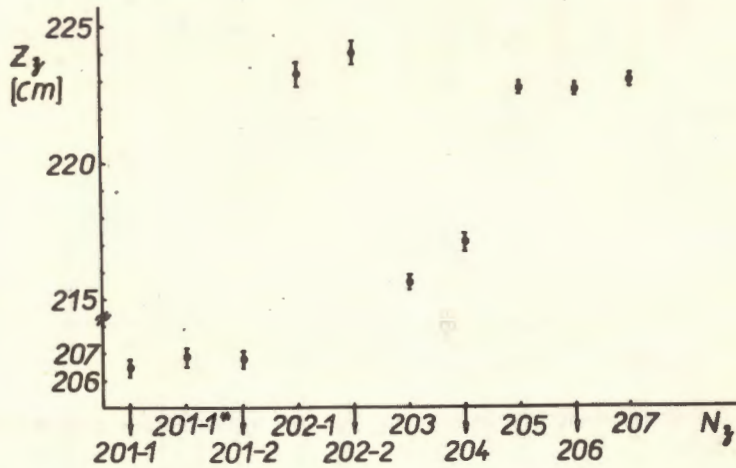


Рис.3. Зависимость z_3 - координаты входных зрачков от экспозиции.

Для оценки качества изображения реперных меток и качества определения оптических констант на рис. 4 приведены среднеквадратичные отклонения σ изображений координат этих меток от полученных при минимизации функционала /3/.

*Все приведенные на рисунках значения параметров получены в предположении, что $a_7 = 0$.

Таблица 2

Камера	I		II		II	
	$q_7 \neq 0$	$q_7 = 0$	$q_7 \neq 0$	$q_7 = 0$	$q_7 = 0$	$q_7 \neq 0$
Год	1974	1977	1977	1974	1977	1977
K_2	23.4926 \pm 0.0002	23.4926 \pm 0.0002	23.4926 \pm 0.0002	-22.5171 \pm 0.0003	-22.5169 \pm 0.0002	-22.5160 \pm 0.0003
U_3	-39.0792 \pm 0.0003	-39.0792 \pm 0.0003	-39.0792 \pm 0.0003	-39.0712 \pm 0.0003	-39.0716 \pm 0.0003	-39.0718 \pm 0.0003
Z_3	215.66 \pm 0.18	215.43 \pm 0.18	215.65 \pm 0.18			
$K_1 \cdot 10^3$	15 \pm 8	29 \pm 7	31 \pm 8	-4 \pm 8	2 \pm 8	0 \pm 8
$K_2 \cdot 10^3$	1 \pm 38	18 \pm 38	23 \pm 38	46 \pm 39	52 \pm 38	48 \pm 38
$K_3 \cdot 10^3$	10 \pm 28	-39 \pm 28	-31 \pm 28	38 \pm 29	-79 \pm 29	-70 \pm 29
$K_4 \cdot 10^4$	209 \pm 38	246 \pm 38	259 \pm 38	205 \pm 40	189 \pm 40	214 \pm 40
$A_1 \cdot 10^4$	208 \pm 97	186 \pm 97	189 \pm 97	89 \pm 99	92 \pm 98	134 \pm 97
$A_2 \cdot 10^3$	-95 \pm 110	-167 \pm 110	-180 \pm 111	-123 \pm 113	20 \pm 112	-34 \pm 112
$B_3 \cdot 10^3$	318 \pm 51	170 \pm 51	292 \pm 51	-3 \pm 51	157 \pm 49	30 \pm 50
f	15.016 \pm 0.006	15.001 \pm 0.005	15.018 \pm 0.006	14.991 \pm 0.005	14.974 \pm 0.006	14.991 \pm 0.006

Экспозиция 203

Таблица 2 (продолжение)

Экспозиция 203

Камера	III	III	III	IV	IV	IV
Год	1974	1977	1977	1974	1977	1977
X_7	-22.5127 ± 0.0003	-22.5124 ± 0.0002	-22.5122 ± 0.0003	23.4845 ± 0.0002	23.4840 ± 0.0002	23.4842 ± 0.0003
Y_7	6.9196 ± 0.0002	6.9187 ± 0.0002	6.9192 ± 0.0002	6.9212 ± 0.0002	6.9207 ± 0.0002	6.9210 ± 0.0002
$\beta_1 \cdot 10^4$	5 \pm 6	3 \pm 6	4 \pm 6	11 \pm 6	22 \pm 6	21 \pm 6
$\beta_2 \cdot 10^4$	6 \pm 12	3 \pm 12	3 \pm 12	-11 \pm 12	-34 \pm 12	-32 \pm 12
$\beta_3 \cdot 10^4$	-4 \pm 31	14 \pm 31	17 \pm 31	-2 \pm 30	-73 \pm 30	-30 \pm 30
$\beta_4 \cdot 10^4$	230 \pm 41	207 \pm 41	204 \pm 41	230 \pm 40	221 \pm 43	296 \pm 43
$\beta_5 \cdot 10^4$	150 \pm 110	228 \pm 114	208 \pm 114	160 \pm 120	276 \pm 121	230 \pm 121
$\beta_6 \cdot 10^4$	-160 \pm 150	2 \pm 146	1 \pm 146	-210 \pm 160	-72 \pm 158	-368 \pm 159
$\beta_7 \cdot 10^4$	-145 \pm 38	-63 \pm 38	-97 \pm 38	-182 \pm 38	108 \pm 39	-200 \pm 39
f	15.026 \pm 0.003	15.009 \pm 0.003	15.024 \pm 0.003	15.024 \pm 0.003	15.011 \pm 0.003	15.026 \pm 0.003

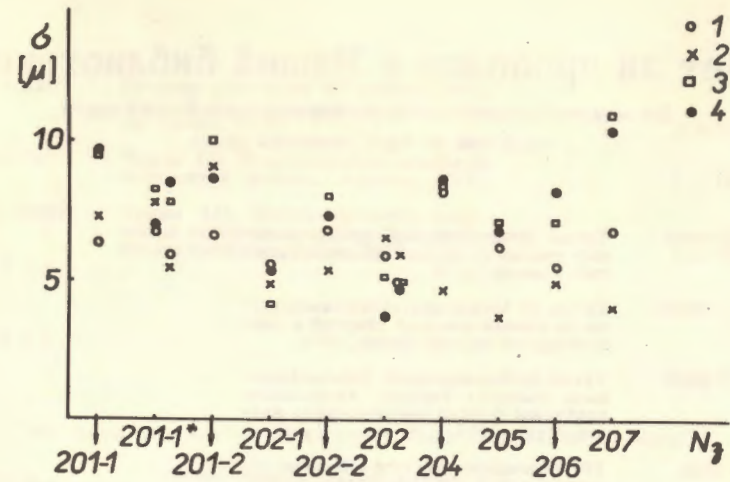


Рис. 4. Среднеквадратичные отклонения σ изображения координат меток от полученных при минимизации функционала /3/ для разных экспозиций.

Видно, что для фотокамер 1 и 2 σ получается систематически меньше, чем для фотокамер 3 и 4, что может быть связано с несимметричным расположением фотоаппаратов относительно центра камерного стекла.

Авторы благодарны лаборантам ЛВТА за проведенные измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. TC Program Library, CERN, vol. 1, 2, 3, 1968.
2. Ледницки Р., Саитов И.С. ОИЯИ, Б2-10-7737, Дубна, 1974.
3. Граменицкий И.М. и др. ОИЯИ, Б1-1-12325, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 марта 1979 года.