



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

В.Ф. Вишневский, Ду Юань-чай, А.Ф. Лукьянцев, В.И. Мороз,
А.В. Никитин, Г.Н. Тентюкова, Ю.А. Троян, Цзян Шао-цзюн,
Чжан Вэнь-юй, Б.А. Шахбазян, Янь У-гуан

P-1488

СХЕМА ОБРАБОТКИ ТРЕКОВ В ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ,
ФОТОГРАФИРОВАННЫХ ДВУХОБЪЕКТИВНОЙ СТЕРЕОГОЛОВКОЙ

Дубна 1963

В.Ф. Вишневский, Ду Юань-пай, А.Ф. Лукьянцев, В.И. Мороз,
А.В. Никитин, Г.Н. Тентюкова, Ю.А. Троян, Цзян Шао-цзюя,
Чжан Вэнь-юй, Б.А. Шахбазян, Янь У-гуан

P-1488

2004/3 48

СХЕМА ОБРАБОТКИ ТРЕКОВ В ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ,
СФОТОГРАФИРОВАННЫХ ДВУХОБЪЕКТИВНОЙ СТЕРЕОГОЛОВКОЙ

Объединенный институт
ядерных исследований
БМФИОТЕКА

Дубна 1963

А н н о т а ц и я

Описанная в настоящей работе схема обработки треков отличается от изложенной в ^{1,2/} тем, что:

- 1/ используются устойчивые к y -смещению симметричные формулы вычисления пространственных координат;
- 2/ введена компенсация деформации пленки и ошибок оптической головки;
- 3/ предложена методика определения пространственных характеристик трека минимизацией функционала, построенного в плоскости левого и правого кадров. Указанная методика распространена на следы, проекции которых направлены вдоль базы;
- 4/ осуществлена выдача характеристик следов на перфокарты, и разработана система критериев для отбора правильных измерений;
- 5/ рассмотрена методика накопления библиотеки хороших измерений в памяти ЭСМ, с их последующим обчислением по любой программе /или программам/ идентификации;
- 6/ использован метод усреднения при вычислении начальных параметров функционала идентификации V -события.

A b s t r a c t

A scheme for analyzing the tracks is described which is different from that of ^{1,2/}.

- 1) In our scheme use is made of the symmetrical formulae for calculating the spatial coordinates insensitive to the y -displacement.
- 2) Corrections for the film deformation and for the errors due to the optical misalignment are introduced.
- 3) A technique is suggested for determining the spatial characteristics of the track by minimizing the functional constructed of quantities taken in the plane of the left and right pictures. This technique is extended to the tracks whose projections are directed along the base.
- 4) The track characteristics are punched on cards. A system of criteria for selecting correct measurements is developed.
- 5) A technique for storing good measurements in the computer memory and their subsequent analysis by any program are considered.
- 6) The initial parameters of the functional of the V^0 event identification are averaged.

В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ имеется значительное количество снимков событий в пузырьковых камерах, сделанных при помощи двухобъективной стереоголовки. Методика обработки этих фотографий ранее была рассмотрена в работах ^{1,2,3,4/}. Переход к измерениям следов на автомате ^{5/} потребовал разработать такую программу обчета, которая позволяет обрабатывать как следы, направленные вдоль оси y /проекция этих следов образуют с осью y угол от 0° до $\approx 70^\circ$ /, так и следы, направленные вдоль оси x /проекция этих следов образуют с осью $x_{д.п}$ угол от 0° до $\approx 20^\circ$ /.

Определение пространственного направления следа, проекции которого направлены вдоль оси $x_{д.п}$, возможно лишь в том случае, если на нем измерены по крайней мере две соответствующие точки /включая первую/ и эта информация введена в счетную машину.

Таким образом, в ЭСМ вводятся следующие сведения, пробитые на перфоленге автомата:

- 1/ № события;
- 2/ № зоны /измерения/;
- 3/ число следов, измеренных в зоне, и их нумерация;
- 4/ указание о необходимости выяслять импульс определенных следов по их пробегу;
- 5/ координаты реперных крестов стереоголовки на левом и правом кадрах;
- 6/ координаты точек следов; если эти точки соответствующие, то пробивается специальный признак.

Введенные в машину координаты точек левого и правого кадров переводятся в систему реперных крестов, как это описано в ^{1/}, и специальная программа проверяет гладкость измеренных точек отдельно на левом и правом кадрах. Точки, выпадающие из общего хода кривых, программа исключает.

По координатам крестов вычисляется деформация пленки. Путем анализа соответствующих точек следов на левом и правом снимках вычисляется величина y -смещения, которое возникает из-за некоторой деформации головки и неточной разметки реперных крестов. Определив величины, характеризующие деформацию пленки и величину y -смещения, машина вносит соответствующие поправки в координаты всех измеренных точек всех следов в зоне.

Теперь для следов, направленных вдоль оси y , способом, изложенным в ^{1/},

можно найти для каждой точки на левом кадре "соответствующую" ей на правом и таким образом перейти в пространство камеры. Нужно иметь в виду, что приведенные в /1/ несимметричные формулы для пространственных координат очень чувствительны даже к весьма малым y -смещениям, поэтому для восстановления пространственных координат, измеренных на левом и правом кадрах соответствующих точек, в программе использованы симметризованные выражения, получаемые ниже.

$$\text{Обозначим через } r_{Ai} = \sqrt{x_{Ai}^2 + y_{Ai}^2}$$

расстояние от точки пересечения оптической оси с плоскостью левого кадра до проекции i -той точки следа на левый кадр /см. рис. 1/;

$a = kr_{Ai} \psi(r_{Ai})$ - расстояние между точками пересечения нижней поверхности стекла камеры с оптической осью и линией проектирования точки i / k - константа $\psi(0) = 1, \psi(r_A) = \psi_A$ /; $\text{tg } \theta = k r_{Ai} \psi_i(r_{Ai})$ - тангенс угла между линией проектирования i -той точки в рабочем объеме камеры и оптической осью / k_i - константа; $\psi_i(0) = 1, \psi_i(r_A) = \psi_{Ai}$ /.

Коэффициенты k и k_i , функции ψ и ψ_i могут быть определены экспериментально или расчетом; нужно отметить, что $\psi(r)$ и $\psi_i(r)$ являются слабыми функциями только четных степеней r .

X_i, Y_i, Z_i - пространственные координаты i -той точки.

Если оптические оси стереоголовки параллельны OZ и лежат в плоскости XOY и ось Z направлена вглубь камеры от стекла, получим:

$$\left. \begin{aligned} x_A &= \frac{X - B_A}{Zk\psi_{Ai} + k\psi_A} \\ y_A &= \frac{Y}{Zk\psi_{Ai} + k\psi_A} \end{aligned} \right\} /1/$$

$$\left. \begin{aligned} x_n &= \frac{X - B_n}{Zk\psi_{in} + k\psi_n} \\ y_n &= \frac{Y}{Zk\psi_{in} + k\psi_n} \end{aligned} \right\} /2/$$

B_A и B_n - координаты точек пересечения оптических осей и оси X / Так как Y - параллакс мал, то почти вся информация о Z - координате заключена в X - параллаксе, что фактически сводит систему 4-х уравнений к 3-м.

x/y таких "соответствующих" точек y -смещение точно равно 0, по способу их получения.

из которых можно определить пространственные координаты следующим образом:

$$Z = \frac{B_n - B_A - (x_A k \psi_{Ai} - x_n k \psi_n)}{x_A k \psi_{in} - x_n k \psi_{in}}, \quad /3/$$

$$X = \frac{1}{2} [x_n (Zk\psi_{in} + k\psi_n) + x_A (Zk\psi_{Ai} + k\psi_A) + B_A + B_n],$$

$$Y = \frac{1}{2} [y_n (Zk\psi_{in} + k\psi_n) + y_A (Zk\psi_{Ai} + k\psi_A)].$$

Из этих формул очевидно, что замена y_n на $y_n + d$, где d есть остаточное y -смещение, приведет к очень малому изменению пространственных координат, значительно меньшему, чем допустимые ошибки.

Если рассматривать X, Y, Z в выражениях 1/ и 2/ как точки винтовой линии

$$X = \frac{1}{2} \sin(\varrho s + \beta) - \frac{1}{2} \sin \beta + X_0,$$

$$Y = -\frac{1}{2} \cos(\varrho s + \beta) + \frac{1}{2} \cos \beta + Y_0,$$

$$Z = (\text{tg } \alpha) s + Z_0, \quad /3 \geq 0/$$

заданной в параметрической форме / s - параметр /, где ϱ - кривизна проекции на плоскость XOY . β и α - углы в первой точке, X_0, Y_0, Z_0 - первая точка, то получим:

$$x_A = x_n(s, \varrho, \beta, d, X_0, Y_0, Z_0) \quad /4/$$

$$y_A = y_n(s, \varrho, \beta, d, X_0, Y_0, Z_0) \quad /5/$$

$$x_n = x_n(s, \varrho, \beta, d, X_0, Y_0, Z_0)$$

$$y_n = y_n(s, \varrho, \beta, d, X_0, Y_0, Z_0)$$

Обозначим через A /см. рис. 2/ функционал

$$A = \sum_i \min [(x_{Ai} - x_A)^2 + (y_{Ai} - y_A)^2] + \sum_j \min [(x_{nj} - x_n)^2 + (y_{nj} - y_n)^2] + \sum_k \min [(x_{nk} - x_n)^2 + (x_{nk} - x_n)^2 + (y_{nk} - y_n)^2 + (y_{nk} - y_n)^2]$$

Если взять также значения $\varrho, \beta, d, X_0, Y_0, Z_0$, которые обращают A в минимум, то эти значения определяют винтовую линию, наилучшим образом приближенную к следу частицы в однородном магнитном поле, направленном по оси Z , многократным рассеянием которой и ионизационными потерями можно пренебречь.

Начальные параметры для вычисления функционала

а/ Определение X_0 нач., Y_0 нач., Z_0 нач.

За параметры начального приближения можно принять: X_0, Y_0, Z_0 , определенные по формулам /3/ для первой точки следа /по этим же формулам можно определить X_q, Y_q, Z_q - для всех соответствующих точек/.

б/ Определение α нач. и β нач.

Из выражений /4/ и /5/ можно найти для всех соответствующих точек на левом и правом кадрах: (\bar{I}_{aL}) и (\bar{I}_{aP}) - орты проекции на кадр вектора скорости текущей точки винтовой линии; (\bar{I}_{vL}) и (\bar{I}_{vP}) - кривизну проекций винтовой линии. Подобрав методом наименьших квадратов гладкую кривую /например, параболу/, наилучшим образом проходящую через все измеренные точки проекции следа на левом /соответственно - правом/ кадре, мы можем в каждой соответствующей точке /1, ..., q, .../ определить: $(\bar{I}b_L)$ и $(\bar{I}b_P)$ - орты проекции скорости частицы на левом и правом кадре, считая, что проекция скорости частицы направлена по касательной к определенной выше гладкой кривой; $(\bar{I}c_L)$ и $(\bar{I}c_P)$ - кривизну проекций трека, считая, что она равна кривизне гладкой кривой.

Приравняв выражения $(\bar{I}a_L)$ и $(\bar{I}b_L)$, $(\bar{I}a_P)$ и $(\bar{I}b_P)$, получим для каждой соответствующей точки два уравнения, из которых определяются: $tg\alpha$, и β , - в первой точке следа, $tg\alpha_q$ и β_q - в q -той точке следа.

Для следов, проекции которых точно направлены вдоль X_{1n} , выражение, определяющее α , превращается в неопределенность типа $\frac{0}{0}$, однако, используя дополнительную информацию X_2, Y_2, Z_2 , получим:

$$tg\alpha_q = \frac{2(Z_0 - Z_2) \sin \frac{\theta}{2}}{g^2 \sqrt{(X_0 - X_2)^2 - (Y_0 - Y_2)^2}}$$

В качестве начальных значений берем

$$\alpha_{нач.} = \arctg(tg\alpha),$$

$$\beta_{нач.} = \bar{\beta},$$

где под $tg\alpha$ и $\bar{\beta}$ подразумевается усредненное значение по всем вычислениям с учетом веса.

в/ Определение g нач.

Для определения начального значения g , приравняем выражения $(\bar{I}c_L)$ и $(\bar{I}c_P)$, $(\bar{I}v_L)$ и $(\bar{I}v_P)$ во всех соответствующих точках /считая $X_0, Y_0, Z_0, \alpha, \beta$ равными начальным значениям/. Каждое из полученных уравнений линей-

но относительно g_q , а за $\bar{g}_{нач.}$ мы примем \bar{g} , усредненное по всем g_q .

Указанная методика определения параметров трека /и их ошибок/ через минимизацию A по $g, \alpha, \beta, X_0, Y_0, Z_0$ может быть с успехом применена и для следов, проекции которых направлены вдоль оси $U_{A,n}$. Очевидно, что в этом случае нет необходимости иметь на следе измерения дополнительных соответствующих точек.

Организация измерений на автоматах и полуавтоматах

При переводе измерений с микроскопов на полуавтоматы резко увеличивается объем информации, который должен быть обработан, а некоторое ухудшение точности измерения пространственных координат, вызванное тем, что на полуавтоматах производится измерение не соответствующих точек, требует более тщательного отбора правильно измеренных треков.

Событие, состоящее из n следов, может считаться измеренным правильно:

а/ если каждый из следов измерен не менее двух раз, а результаты отличаются не более чем на одну-две стандартные ошибки, или

б/ если каждый след измерен один раз, но удовлетворяет таким критериям, которые гарантируют, что второе измерение этого следа /удовлетворяющее этим же критериям/ будет с вероятностью w отличаться не более чем на одну-две ошибки от результатов первого измерения, где w достаточно близко к 1 /требования к w вытекают из условий физической задачи/. Следовательно, является необходимым после вычисления геометрической части программы, но еще до начала расчетов по каким-либо программам, дающим заключение о событии в целом, произвести проверку /сверку/ измерений следов, с тем, чтобы получить набор правильно измеренных следов хотя бы и из разных зон /измерений/.

Для исключения работы по переписыванию измерений и для значительного облегчения сверки измерений на счетной машине осуществлена выдача основных данных расчета геометрической программы следа на две перфокарты и задействована так называемая "программа сравнения" и программа "качество" отдельного измерения^{x/}.

На 1-ой перфокарте пробиваются:

1. № пленки, № кадра; 2. № зоны; 3. № следа; 4. импульс P ;
5. Ошибка импульса (ΔP_p) , угловая ошибка $(\Delta \beta)^2$; 6. Ошибка импульса (ΔP_p) , угловая ошибка $(\Delta \alpha)^2$;

^{x/} Последняя программа может задерживать выдачу перфокарт тех следов, измерения которых не удовлетворяют ее критериям.

7. l }
 8. m } Направляющие косинусы;
 9. n }
 10. X }
 11. Y } Координаты первой точки
 12. Z }

На 2-ой перфокарте пробиваются:

1. № пленки, № кадра;
2. № зоны и длина следа L ;
3. № следа и величина $\frac{\sigma_z}{g}$;
4. }
 5. }
 6. } дополнительные характеристики следа ;
 7. }
 8. }
 9. } дополнительные характеристики следа ;
 10. }
 11. }

12. Контрольная сумма двух перфокарт.

Полученные перфокарты обрабатываются по "программе чтения", которая, сравнив сумму отпечатанных на перфокарте величин с контрольной суммой, проверяет правильность работы перфоратора и выдает на печать данные, пробитые на перфокартах.

Отдельно машина указывает на те перфокарты, на которых она обнаружила сбой в пробивке; такие перфокарты вынимаются из массива и перепробиваются /опыт показывает, что таких перфокарт бывает не более 2%/.

По окончании проверки правильности пробивки перфокарт можно приступить к сравнению результатов измерения следов в "разных зонах"/так называемая "программа сравнения"/; для этого перфокарты вновь вводят в машину, и она для карт следов, у которых совпадают номера пленки-кадра и следа, вычисляет величины a_i ($i = 1, 2, 3, 4$).

$$a_i = \frac{(P_1 - P_2)^2}{P_1^2 \left(\frac{\sigma_z}{g}\right)^2 + P_2^2 \left(\frac{\sigma_z}{g}\right)^2}$$

$$a_2 = \frac{L_1 + L_2}{L_1 + L_2 + c} \arccos \cos(\ell, \ell_2 + m, m_2 + n, n_2)$$

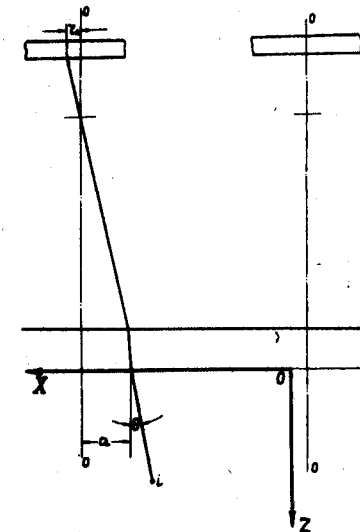
$$a_3 = \sqrt{(X_{01} - X_{02})^2 + (Y_{01} - Y_{02})^2 + (Z_{01} - Z_{02})^2}$$

$$a_4 = \left| \frac{P_1^2 \left(\frac{\sigma_z}{g}\right)_1}{P_2^2 \left(\frac{\sigma_z}{g}\right)_2} \right| \quad (a_4 > 1 \text{ X/})$$

Трек считается измеренным правильно в зонах 1 и 2, если для всех a_i выполняется условие

$$a_i < a'_i \quad i = 1, 2, 3, 4$$

где a'_i - заданные критерии; если хотя бы один из критериев не удовлетворяется, то необходимо выполнить еще одно измерение. В "программу сравнения" введена определенная логика, благодаря которой машина сама указывает, какие зоны в случае двух и трех измерений одного трека следует считать хорошими.



$$\alpha = \arctan(\frac{a}{h})$$

$$\tan \theta = \frac{h}{a}$$

$$L = \sqrt{a^2 + h^2}$$

Р и с. 1. Расположение оптических осей и линии проектирования.

X/ Если отношение меньше 1, то меняются местами номера зон.

Программа работы с магнитной лентой

Настоящая программа предназначена для исключения основной массы ручной работы по разбору и сортировке выдачи счетной машины, по ведению архива измерений и учета измерений.

Для изучаемой группы событий, найденных при просмотре камерной пленки, вводим на магнитную ленту все номера событий /пленки-кадра/ и номера треков, подлежащих измерению в этих событиях /в группе событий должно быть не более 2000 треков/. Магнитная лента устанавливается на счетной машине во всех случаях обработки /обсчета/ перфолент с измерительных автоматов или полуавтоматов, относящихся к событиям указанной группы. Перфолента обчисляется по геометрической программе, и результаты расчета заносятся на магнитную ленту в объеме перфокарт следов и некоторых величин из программы контроля, после чего сразу начинает работать программа "качество отдельного измерения", отмечающая плохие измерения по величине среднего разброса точек около подобранного следа, по величине ошибки стрелы прогиба следа и т.д. Если какое-либо измерение трека не удовлетворяет критериям, заложенным в программу "качество отдельного измерения", то это измерение не используется в дальнейшем ни в программе усреднения, ни в программах идентификации. /Предусмотрена блокировка против повторного обсчета и записи на магнитную ленту обработанных ранее зон, и проверка правильности записи каждого из следов по контрольным суммам/. После этого начинает работать программа "сравнения" ^{x/}, результаты работы ее в виде цифрового материала и заключения "хорошее измерение" или "измерения следа в данных зонах не совпадают" для каждого из треков заносятся на магнитную ленту. При этом проводится сравнение и тех измерений следов, которые были отмечены как плохие программой "качество отдельного измерения", что даст возможность проверять качество ее работы, необходимость иметь два или более измерений одного трека.

Следующая программа /так называемая программа "архивариус"/ работает по вызову, то есть если ее номер набирается с пульта счетной машины, она просматривает записи на магнитной ленте и выдает на печать следующие сведения:

а/ какие следы правильно измерены;

х/ Если работа ее необходима.

б/ сколько измерений и каких следов в каких зонах не совпадают;

в/ какие следы и сколько раз еще необходимо измерить,

По вызову с пульта может работать и программа "выдачи сведений", которая выдает на печать числа, стоящие на указанных в запросе местах "перфокарт" следов, программы сравнения или контроля; при этом выдача ведется отдельно для групп "хорошее измерение" и "измерения следа в данных зонах не совпадают".

Если в результате трех измерений /не считая отмеченных как плохие программой "качество отдельного измерения"/ программа сравнения не дает заключения "хорошее измерение" ни для одного из них, то все имеющиеся материалы этих трех измерений /вместе с соответствующим указанием/ выдаются программой "архивариусом" на печать для анализа их физикам.

Программой работы с магнитной лентой предусматривается возможность:

1/ из указанных трех измерений оставить одно или два и их вновь ввести на магнитную ленту;

2/ заменить в любом измерении любого следа любое число или числа по желанию экспериментатора;

3/ заключения по указанию экспериментатора относительно любого измерения следа, что оно является "хорошим измерением";

4/ направления экспериментатором материала, определенного события /из указанных им зон для каждого из следов/ на обсчет по идентификационным программам;

5/ выдачи на перфоратор и /или/ печать данных "хороших измерений" материалов программы сравнения.

После комплектации группы событий правильно измеренными следами /по вызову с пульта/ включается программа "усреднения", которая, анализируя хорошие измерения, проводит их усреднение, сопоставляя каждому следу только одно усредненное измерение. Имеющиеся на магнитной ленте правильно измеренные события автоматически /или по вызову с пульта/ направляются на обсчет по одной или нескольким идентификационным программам:

- идентификация V - события,
- идентификация V_p - рассеяния,
- расчет эффективной массы,
- выделение канала заданной реакции и т.д.

Программы идентификации события

Таким образом после окончания работы с программами "чтения", "сравнения" и "усреднения" каждому следу события сопоставляются две перфокарточки, на

которые выведены основные данные, характеризующие правильно измеренный трек события /кроме карточек следов на каждое событие имеется карточка управления/.

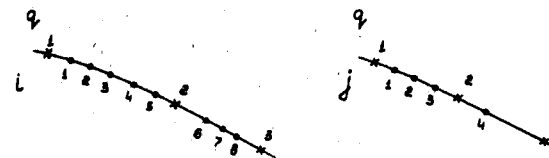
Теперь можно, введя в машину "усредненные" перфокарты, приступить к обсчету события в целом, который начинается для "вилочных" программ с уточнения координат звезды, вершины вилки и первых точек следов. В качестве уточненной вершины вилки /звезды/ берется точка скрещивания следов, взятых с весами, соответствующими их точностям измерения, а уточненная первая точка следа - как проекция первой точки на винтовую линию, приближающую след /указанная программа составлена А. Лукьянцевым/.

Если требуется идентификация вилки, как Λ^0 или K^0 события, то автоматически после программы А. Лукьянцева включаются программа расчета вилок и программа идентификации V - события. Используемая в данном случае программа идентификации V - события отличается от ранее использовавшейся программы /2/ тем, что для устранения возможности попадания в ложный минимум в процессе итераций, введено усредненное определение начальной точки /нулевая итерация/, что устранило имевшуюся ранее неоднозначность в определении χ^2 и, следовательно, облегчило идентификацию.

Результаты расчета по программе идентификации выдаются на печать, а некоторые данные, характеризующие "вилку", выводятся и на перфокарточку в следующем порядке:

1. № пленки и № кадра;
 2. № зоны /если он есть/;
 3. № следа входящего в звезду, относительно которой рассматривается вилка, и первый след вилки. Гипотеза идентификации / Λ^0 , K^0 или u /.
- Номер набора констант ($\overline{\Delta X}$, $\overline{\Delta y}$, $\overline{\Delta z}$)
- | | |
|----------------------------|--|
| 4. }
5. }
6. } | подобранный импульс и его ошибки |
| 7. l }
8. m }
9. n } | направляющие косинусы
нейтрального следа V - события |
| 10. }
11. } | координаты звезды откуда вылетела V
частица, пролетная длина, χ^2 для
сделанной гипотезы. |

На второй перфокарточке печатается контрольная сумма.



Левый кадр.

Правый кадр.

Р и с. 2. Размещение измеренных точек на левой и правой проекциях трека.

- x - соответствующие точки, q - их номера,
 i - номера точек на левом кадре,
 j - номера точек на правом кадре.

В составлении программ принимали участие Л.И. Лепилова, Шень Чун-хуа, О.В. Благойравова, Н.С. Новикова, В.Ф. Хлапоняна, Р. Агалова, И.В. Попова, которым авторы выражают свою глубокую благодарность.

Л и т е р а т у р а

1. Е.Н. Кладницкая. Препринт ОИЯИ № 786, 1961.
2. Т. Хофмоэль. Препринт ОИЯИ № 786, 1961.
3. В.И. Векслер и др. Отчет ЛВЭ ОИЯИ Б2-1133, 1961.
4. Н.Н. Говорун, Е.П. Жидков, Л.И. Лепилова, Г.И. Макаренко, Г.Н. Тентюкова. Препринт ОИЯИ, № 1102, 1962.
5. Ю.А. Каржавин, И.В. Чувило и др. ПТЭ, 1963, № 5, 54.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 ноября 1963 г.