

С 341, 3а

К-18

2323/2-77

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

20/VI-77



11 - 10492

В.В.Каманин

РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ НАХОЖДЕНИЯ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДРА
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ Γ_f/Γ_n И $\Delta\chi$
В МОДЕЛИ С ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ

1977

11 - 10492

В.В.Каманин

РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ НАХОЖДЕНИЯ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДРА
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ Γ_f / Γ_n И $\Delta \chi$
В МОДЕЛИ С ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Каманин В.В.

11 - 10492

Решение обратных задач нахождения термодинамических характеристик ядра по экспериментальным данным Γ_f/Γ_n и $\Delta\chi$ в модели с постоянной температурой

Разработаны программы для решения обратных задач нахождения термодинамических характеристик ядра в модели с постоянной температурой по экспериментальным данным энергетической зависимости $\Gamma_f/\Gamma_n(E^*)$ и эффективных величин $\Delta\chi_{эфф}$, измеренных с помощью эффекта теней в реакциях на монокристаллических мишенях. Программы написаны на языке ФОРТРАН с использованием стандартной программы **COMPILE**, в основе которой лежат регуляризованные итерационные процессы Гаусса-Ньютона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

© 1977 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

1. Введение

Экспериментальные данные энергетической зависимости отношения делительной и нейтронной ширины распада ядер Γ_f/Γ_n в области энергии возбуждения $40 < E^* < 120$ МэВ можно воспроизвести в модели с постоянной температурой в предположении $T_n = \text{const}$ и $T_f = T_f|_{E_0^*} + k(E^* - E_0^*)$ - слабая линейная функция $E^*/1$, T_n и T_f - температуры ядер после испарения нейтрона и на вершине барьера деления, соответственно. Параметры модели $T_f|_{E_0^*} = T_f^0$, k и V_f^0 /жидкокапельная составляющая барьера деления/ систематизированы в виде гладких функций: $T_f^0(V_f - V_n)$, $k(V_f^0 - V_n)$ и $V_f^0(Z^2/A)$, V_n - энергия связи нейтрона. Это дает возможность с хорошей точностью производить расчеты $\Gamma_f/\Gamma_n(E^*)$ для любых ядер в диапазоне $60 < Z < 85$, что, в частности, необходимо для теоретической обработки экспериментальных данных по временам жизни ядер, измеренным с помощью эффекта теней^{/2,3/}.

В настоящей работе приводится структура программы **RATIO**, с помощью которой параметры модели оптимизировались для теоретического воспроизведения экспериментальных зависимостей $\Gamma_f/\Gamma_n(E^*)$ различных ядер, полученных в реакциях с тяжелыми ионами от ^{11}B , до ^{22}Ne ^{/4,5,6/} и описана процедура сглаживания параметров^{/1/}.

В работе приведена также программа **DELTA**, в основе которой лежит математическая модель, описывающая физическую составляющую глубин теневого минимума в угловых распределениях осколков деления от монокристаллической мишени с учетом деления после испарения нейтронов^{/7/}. С помощью этой программы

решается обратная задача нахождения времен жизни высоковозбужденных составных ядер в рамках модели с постоянной температурой по экспериментальным данным глубин теневого минимума. Результаты расчетов, проведенных для ядер в диапазоне $79 \leq Z \leq 89$, систематизированы в /7/.

Программы написаны на языке ФОРТРАН с использованием библиотечной программы COMPII. /библиотека программ ОИЯИ, С401//13/ для ЭВМ CDC-6500.

2. Основные соотношения

а/ Расчет $\Gamma_f / \Gamma_n(E^*)$

В расчетах $\Gamma_f / \Gamma_n(E^*)$ (GFN) * использовалась известная формула /8/ в предположении зависимости плотности уровней от энергии возбуждения $\rho = \text{Const} \exp(E^*/T)$:

$$\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n}(E^*) = \frac{T_f k_0}{2A_c^{2/3} T_n^2} \exp\left[\frac{E^* - B_f - E_R^f}{T_f} - \frac{E^* - B_n - E_R}{T_n}\right],$$

где $A_c(AC)$ - массовое число составного ядра, $T_f(TF)$ - температура ядра на вершине барьера, $T_n(TT)$ - температура ядра после испарения нейтрона, $B_f(BF)$ - барьер деления ядра, $B_n(BN)$ - энергия связи нейтрона /11/ ,

$E_R(ER)$ и $E_R^f(ERF)$ - средняя вращательная энергия, соответственно, составного ядра и ядра на вершине барьера, $k_0 = 12,25 \text{ МэВ}$.

Средняя вращательная энергия составного ядра вычислялась в соответствии с /9/, при этом максимальная вращательная энергия ограничивалась сверху критическим угловым моментом /10/. Вращательная энергия в седловой точке вычислялась на основе данных работы /12/.

* Здесь и далее в скобках указано обозначение величины на внутреннем языке программ RATIO и DELTA.

б/ Расчет $\Delta\chi_{\text{эфф}}$

Для расчета величин $\Delta\chi_{\text{эфф}}$ использовалась формула, вывод которой дан в работе /7/:

$$\chi(a) = \frac{1}{\sum_{i=0}^n P_i} \sum_{i=0}^n P_i \chi_i(a);$$

$$\chi_i(a) = \frac{1}{v\tau_i \sin a} \sum_{k=0}^i C_{ik} \left\{ \frac{2D(v\tau_k \sin a)^3}{R_0^2} \left[1 - \left(1 + \frac{r_c}{v\tau_k \sin a}\right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times e^{-\frac{r_c}{v\tau_k \sin a}} - \frac{1}{2} \left(\frac{r_c}{v\tau_k \sin a}\right)^2 e^{-\frac{r_c}{v\tau_k \sin a}} \right] + \right. \\ \left. + v\tau_k \sin a e^{-\frac{r_c}{v\tau_k \sin a}} \right\}.$$

Величины вероятностей деления после испарения i нейтронов $P_i(AK)$ вычислялись с помощью следующего соотношения:

$$P_i = \frac{(\Gamma_f / \Gamma_n)_i}{(1 + \Gamma_f / \Gamma_n)_i} \prod_{j=0}^i \frac{1}{(1 + \Gamma_f / \Gamma_n)_j}.$$

Величины $\tau(\text{TIME})$ определялись следующим образом: $\tau = \hbar / (\Gamma_n + \Gamma_f)$, $r_c(R_c)$ - параметр обрезания атомного потенциала, C_{ik} /см. /7/ /; D - параметр, учитывающий отличие потенциала реальной атомной цепочки от непрерывного цилиндрического потенциала заряженной оси; $R_0(RO)$ - радиус объема, приходящегося на один атом в монокристалле; $V(V)$ - скорость отдачи составного ядра, $\alpha(\text{ALPHA})$ - угол между одной из рабочих осей и направлением пучка ионов. Эффективная величина $\Delta\chi$ с учетом деления после испарения нейтронов определялась как

$$\Delta\chi_{\text{эфф}} = \chi(a_1) - \chi(a_2).$$

3. Нахождение параметров модели с постоянной температурой

Очевидно, что для нахождения трех параметров модели B_f , T_f^0 и $k(EK)$ необходимо иметь количество уравнений $M \geq 3$. Допустим, что имеется M энергий возбуждения, для которых измерены отношения Γ_f / Γ_n ($GFN(I)$), $I = 1, 2, \dots, M$.

Тогда имеется система нелинейных уравнений относительно искомых параметров:

$$\left(\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n} \right)_i = \frac{T_f^i k_n}{2A_c^2 T_n^2} \exp \left| \frac{E^* - B_f^i - E_R}{T_f^i} - \frac{E^* - B_n - E_R}{T_n} \right|, \quad (xx)$$

$$i = 1, 2, \dots, M.$$

В тех работах, где приводятся экспериментальные данные о зависимости $\Gamma_f / \Gamma_n(E^*)$, $M > 3$. С другой стороны, невозможно отдать предпочтение каким-либо трем точкам из множества M , поэтому система (xx) становится переопределенной.

Задача численного решения переопределенных систем уравнений является неустойчивой по отношению к колебаниям входных данных и ошибок округлений при работе ЭВМ. С целью преодоления этих трудностей программа RATIO для решения систем уравнений типа (xx) была основана на специально разработанной для решения подобных задач программе COMPIL^{13/}. Программа COMPIL базируется на программе REGN с алгоритмом, основанным на регуляризованных итерационных процессах Гаусса-Ньютона, и предназначена для построения устойчивых итерационных процессов^{14/}.

Текст программы RATIO, за исключением программы COMPIL, приведен в Приложении 1.

Следует отметить некоторые особенности работы с программой RATIO.

Матрицы Якоби, составляющие основу общей итерационной схемы в программе REGN, формируются с

помощью частного дифференцирования функции $Y = GFN(I)$ по искомым неизвестным. Одним из способов дифференцирования является численное дифференцирование /класс D /.

Опыт работы с программой RATIO показал, что наилучшим вариантом в классе D для решения систем (xx) является дифференцирование с шагом, зависящим от неизвестных. Этот процесс реализуется присвоением /см.^{13/}, стр. 18/ числового значения оператору D. Такой выбор шага дифференцирования целесообразен ввиду большого различия ($\sim 10^4$) в величинах параметров.

Применяемая в программе REGN "аддитивная регуляризация" итерационного процесса осуществляется различными способами при помощи присвоения определенного численного значения оператору EI /см.^{13/}, стр. 11/. Оптимальный результат решения системы (xx) с точки зрения метода наименьших квадратов HISQ с наименьшим количеством итераций достигается с помощью авторегуляризованного процесса первого типа, при этом $EI = E_0$, где E_0 - задаваемая постоянная.

При работе с программой RATIO в большинстве задач наблюдалось монотонное схождение решения, о чем можно было судить по монотонному убыванию от итерации к итерации величины HISQ. Обычно для получения решения системы (xx) было достаточно задать $I_0 \sim 100$ итераций, при этом из модификаций алгоритма прерывания итерационного процесса выбирался выход решения, соответствующего итерации с наименьшим значением HISQ, при достижении заданного числа итераций $ITN = I_0$ /см.^{13/}, стр. 22/.

Следует отметить, что существенное влияние на скорость решения оказывают величины начального приближения искомых параметров, задаваемые посредством присвоения операторам $xx(n)$ численных значений, а также способ задания весов g_i величин $(\Gamma_f / \Gamma_n)_i$. Имеет место соотношение /см.^{13/}, стр. 22/:

$$g_i = \frac{1}{(\Delta(\Gamma_f / \Gamma_n)_i)^2},$$

где $\Delta(\Gamma_f/\Gamma_n)_i$ - дисперсии величин $(\Gamma_f/\Gamma_n)_i$ типа стандартного отклонения.

В работах ^{4,5,6/} дисперсии величин Γ_f/Γ_n не приводятся, поэтому можно было использовать произвольные величины. Было установлено, что для получения решения с минимальным отклонением расчетных и экспериментальных величин Γ_f/Γ_n для всей системы уравнений (xx) /критерии RO и MAX DEFECT, см. ^{13/}, стр. 10/ наилучшим способом задания весов является выражение

$$g_i = \frac{1}{(\Delta(\Gamma_f/\Gamma_n)_i / (\Gamma_f/\Gamma_n)_i)^2 C_E 10^4},$$

где

$$C_E = \left(\frac{25}{E^*}\right)^2.$$

4. Сглаживание параметров

С помощью программы RATIO были обработаны экспериментальные зависимости $\Gamma_f/\Gamma_n(E^*)$ для 19 реакций из работ ^{4,5,6/}. Было обнаружено, что, несмотря на сильный разброс, найденные значения параметров имеют регулярный характер функций вида $V_f^0 = V_f^0(Z^2/A)$, здесь V_f^0 - жидкокапельная составляющая барьера деления, которая определялась по схеме из работы ^{15/}; $T_f^0 = T_f^0(V_f - V_n)$; $k = k(V_f - V_n)$.

Корреляционные коэффициенты, которые даются программой COMPIL ^{13/}, указывали на довольно сильную связь параметров при решении системы (xx). Было обнаружено, что разброс параметров может быть значительно уменьшен путем использования такой связи.

Для этого проводилось сглаживание одного из параметров, например V_f , и соответствующие значения вводились в программу в виде начального приближения XX(I). В программе COMPIL имеется возможность фиксирования искомого параметра, с целью исключения их поиска при решении системы, путем присвоения операторам DX(n) единичных значений. Таким образом, программа RATIO искала решение только по двум другим параметрам.

Было обнаружено, что сглаживание параметров эффективно достигается при двух - трехкратном повторении этой операции по всем параметрам.

Сглаженные параметры TF100, EK, BF для обработанных зависимостей $\Gamma_f/\Gamma_n(E^*)$ приведены в работе ^{1/}.

5. Пример использования программы RATIO

В качестве примера решения обратной задачи нахождения величин BF, TF100 и EK по экспериментальной зависимости $\Gamma_f/\Gamma_n(E^*)$ была выбрана реакция $^{174}_{70}\text{Yb} + ^{16}_8\text{O} \rightarrow ^{190}_{78}\text{Pt}$ ^{4/}. Задача относилась к типу $k=3$, $kk=3$ /см. ^{13/}, стр. 24/, при этом величины $1/g_i$ носили нестатистический характер. Ход решения представлен начальной и конечной итерациями в табл. 1. В данном случае использовалось численное дифференцирование с шагом $D = 100.002$, и начальная регуляризация задавалась в виде $EI = 100$. Найденное решение $BF = 20,086 \text{ МэВ}$, $TF100 = 0,793 \text{ МэВ}$ и $EK = 0,109 \cdot 10^{-2}$ получено при фиксированном значении $T_n = 0,9 \text{ МэВ}$.

6. Обработка экспериментальных данных $\Delta\chi_{эфф}$

Как было сказано выше, с помощью программы RATIO была получена систематика параметров ^{1/}, позволяющая с хорошей точностью описывать энергетические зависимости $\Gamma_f/\Gamma_n(E^*)$. Независимость систематики от T_n дает возможность использовать вариацию этой величины для извлечения абсолютных значений ширины Γ_n и Γ_f из экспериментальных данных эффективных времен жизни высоковозбужденных составных ядер, измеренных с помощью эффекта теней.

Однако первые попытки воспроизвести зависимость $\Delta\chi_{эфф}$ от энергии возбуждения дали для некоторых реакций неудовлетворительный результат. Было установлено, что небольшое отклонение величин T_f^0 от

Вывод на печать ЭВМ решения обратной задачи нахождения величин $V_f = x(1)$, $T_f |_{100} = x(2)$ и $k = x(3)$ по экспериментальным данным Γ_f / Γ_n для реакции $^{174}\text{Yb} + ^{16}\text{O} / 4/$ с помощью программы RATIO.

Z = 78. A = 190.
Z1 = 8. A1 = 16.
Z2 = 70. A2 = 174.
BN = 8.333 IT = .90
DBFBN = 11.67

AUTO-REGULARIZED GAUSS-NEWTON PROCESS
EXTIT INITIIT RO MAX DEFECT HI SQ TAU COND EPS
0 .2956298E+00 .2911974E-02 .1969865E-02 .7345254E+02 0. .1000000E+03
X(1) = .200000000E+02 X(2) = .810000000E+00 X(3) = .900000000E-03

SOLUTION AND STATISTIC ESTIMATES
BY LEAST SQUARE ROOT METHOD

EXTIT INITIIT RO MAX DEFECT HI SQ TAU COND EPS
50 0 .8166498E-04 .1563824E-03 .1102829E-04 .3269130E+04 .6792668E+06 .4862853E-02
X(1) = .2008641671E+02 9(1) = 1.00000 8(2) = -.99982 8(3) = .99280
+/- .2413045E+01
X(2) = .7930525083E+00 9(1) = -.99982 8(2) = 1.00000 8(3) = -.99082
+/- .2588926E-01
X(3) = .1089232049E-02 9(1) = .99280 8(2) = -.99082 8(3) = 1.00000
+/- .3922249E-03
DEFECTS

D(1) = .8389697262E-06 U(2) = .6723356620E-06 O(3) = .1965879217E-04 O(4) = .2850884605E-04
D(5) = .7402720859E-04 O(6) = .1217291302E-03 O(7) = -.1563824102E-03 O(8) = .3104208153E-04

EXPERIMENT	ERROR	THEORY	ENERGY
.00200	.00100	.00250	51.00000
.00900	.00450	.00935	55.00000
.02200	.01100	.03026	61.00000
.05000	.02500	.06023	66.00000
.10000	.05000	.12231	72.00000
.15000	.07500	.18293	76.00000
.36000	.18000	.32453	83.00000
.59000	.29500	.59537	95.00000

Разработана программа DELTA, позволяющая извлекать термодинамические характеристики ядер T_n и T_f из экспериментальных данных эффективных времен жизни составных ядер, измеренных с помощью эффекта теней, с учетом деления после испарения нейтронов.

Было найдено, что для решения задач типа (xx) применение регуляризованных итерационных процессов Гаусса-Ньютона дает хороший результат. При этом следует отметить практическую независимость решения от начального приближения.

Найдены оптимальные значения операторов, ответственных за скорость решения задачи.

В работе описана программа RATIO, основанная на стандартной подпрограмме COMPIL, которая предназначена для нахождения параметров модели с постоянной температурой из экспериментальных данных зависимостей $\Gamma_f / \Gamma_n (E^*)$.

7. Заключение

Текст программы DELTA, с помощью которой производились вычисления, приведен в Приложении 2. Эта программа также основана на стандартной программе COMPIL и относится к типу $k=3$ $kk=3$. В программу DELTA входит подпрограмма LINT1 линейной интерполяции величин T_f^0 и k систематики ^{/1/}.

С целью достижения точного теоретического воспроизведения экспериментальных зависимостей $\Delta\chi_{\text{эфф}}(E^*)$ в расчет был введен дополнительный параметр $S_{T_f^0}$, характеризующий отклонение величин T_f^0 от систематики. Система довольно сильно меняет энергетическую зависимость $\Delta\chi_{\text{эфф}}$. В свою очередь, величина T_f^0 является функцией аргумента ($V_f - V_n$), и ее отклонение может быть связано с неточностью определения величин V_f и V_n .

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность академику Г.Н.Флерову и профессору Ю.Ц.Оганесяну за внимание и поддержку работы, С.А.Карамяну за плодотворные обсуждения и Б.Бочеву за консультации при написании программ.

Приложение 1. Текст программы RATIO.

```

1      PROGRAM RATIO (INPUT,OUTPUT)
      COMMON/OUTN/ITN,KPN,KPFN/LC/LC
      COMMON/TYP/K,KK/ARPN/TN,A1N/ITS/ITS
5      COMMON/DROPX/CX(100)
      COMMON/LINT/LINT
      COMMON/NPN/NPN
      COMMON/X/X(10)
      COMMON/KGSN/KGSN
10     DIMENSION ZL(3,3)
      DIMENSION Z(10,10),XX(10),YR(100)
      COMMON/DATAS/Z1,A1,DM1,Z2,A2,DM2,DMC,BN,TT
      DIMENSION ER(100)
      ITEMP=3
      NUM=20
15     DO 3 II=1,NUM
      M=24
      N=3
      NPN=1
      EI=100.
20     ITN=50
      D=100.002
      K=3
      KK=3
      KPFN=4
25     READ2,Z1,A1,DM1,Z2,A2,DM2,DMC,BN,BF
      ZCCMP=Z1+Z2
      ACOMP=A1+A2
      DBFBN=BF-BN
30     MW=M/3
      DO5I=1,MW
      J1=3*(I-1)+1
      J2=3*(I-1)+2
      J3=3*I
35     READ20,YR(J1),YR(J2),YR(J3)
      ER(J2)=YR(J2)
      YR(J2)=(YR(J2)/YR(J1))*25./YR(J3)**2*10000.
5      CONTINUE
      TT=0.8
40     DO 4 III=1,ITEMP
      TT=TT+.1
      XX(1)=0F
      XX(2)=0.9*TT
      XX(3)=0.001*TT
      PRINT 21

```

12

```

45     PRINT 26,ZCOMP,ACOMP
      PRINT 22,Z1,A1,Z2,A2
      PRINT 23,BN,TT
      PRINT 27,DBFBN
50     CALL COMPIL (M,N,D,EI,Z,ZL,XX,YR)
      PRINT 25
      DO 6 IIT=1,MW
      J1=3*(IIT-1)+1
      J2=3*(IIT-1)+2
      J3=3*IIT
55     X(1)=YR(J3)
      CALL RELADI (N,NP,INDEX,XX,Y,DF)
      G=Y
      PRINT 24,YR(J1),ER(J2),G,YR(J3)
      CONTINUE
60     FORMAT (2F4.0,F7.3/
      * 2F4.0,F7.3/
      * F7.3/
      * F5.3/F4.1)
      FORMAT (3F10.6)
65     FORMAT (////5X,13HFINAL RESULTS)
      FORMAT (////5X,3HZ1=,F4.0,2X,3HA1=,F4.0/
      * 5X,3HZ2=,F4.0,2X,3HA2=,F4.0)
      FORMAT (5X,3HBN=,F5.3,5X,3HTT=,F4.2)
70     FORMAT (5X,4 (F12.5,2X))
      FORMAT (//5X,12H EXPERIMENT,6X,5HERROR,8X,6HTHEORY,
      * 8X,6HENERGY)
      FORMAT (////5X,2HZ=,F4.0,2X,2HA=,F4.0)
      FORMAT (5X,6HDBFBN=,F5.2)
75     CONTINUE
      CONTINUE
      END
1     SUBROUTINE RELADI (N,NP,INDEX,T,Y,DF)
      COMMON/X/X(10)
      COMMON/DATAS/Z1,A1,DM1,Z2,A2,DM2,DMC,BN,TT
5     DIMENSION T(N),DF(N)
      E0=X(1)
      R0=1.22
      Z=Z1+Z2
      A=A1+A2
10     A3=A1*(1./3.)+A2*(1./3.)
      DM=DM1+DM2-DMC
      EB=0.96*Z1*Z2*A/(A3*A2)
      EB1=EB*A2/A+DM
      XZ=1.-Z**2/(45.*A)
      W=1.-1.167*XZ-5.026*XZ**2+6.874*XZ**3
15     S2CR=(0.155*R0*A3*(A1*A2*EB1/A)**0.5)**2
      EP=(E0-DM)*A/A2
      S2M=0.0937*A1*A2*A3**2*EP*(1.-EB/EP)/A
      IF (S2M-S2CR) 4,5,5
      S2=S2M
20     GO TO 6
      S2=S2CR
      CONTINUE
      ER=0.5*35.12*S2/A**(5./3.)
      ERF=W*ER
      BF=T(1)
      TF100=T(2)
      EK=T(3)
      TF=TF100+EK*(E0-100.)
      CFN=(12.25*TF)/(2.*A**(2./3.)*TT**2)
25

```

13

Приложение 1. Продолжение

```

30      EAB1=E0*((1./TF)-(1./TT))
        EAB2=(BF+ERF)/TF
        EAB3=(BN+ER)/TT
        EABC=EAB1-EAB2+EAB3
35      Y=CFM*EXP(EABC)
        RETURN
        ENC
    
```

Приложение 2. Текст программы DELTA.

```

1      PROGRAM DELTA(INPUT,OUTPUT)
        COMMON/OUTN/ITN,KPN,KPFN/LC/L0
        COMMON/TYP/K,KK/ARPN/TN,A1N/ITS/ITS
5         COMMON/DROPX/DX(100)
        COMMON/LINT/LINT/NFN/NPN
        COMMON/X/X(10)
        COMMON/KGSN/KGSN/LCH/LCH
        COMMON/XT/XT(16)/FK/FK(32)
10        DIMENSION Z(10,10),XX(10),YR(100),ZL(2,2)
        COMMON/DATAS/ZP,AP,DM1,ZT,AT,DM2,DMC,BN(9),BF(9),CONST,ANGLE
        COMMON/KAY/KAY
        READ7,(XT(IA),IA=1,16)
        READ8,(FK(IB),IB=1,32)
15        D03II=1,10
        M=6$N=2$K=3$KK=3$KPFN=4
        ITN=10$D=100.001$EI=100.
        READ2,ZP,ZT,AP,AT,DM1,DM2,DMC,CONST,ANGLE
        READ1,(BN(I),I=1,9),(BF(I),I=1,9)
20        FORMAT(4F4.0/3F7.3/F4.2/F5.3)
        FORMAT(9F5.3/9F4.1)
        ZCOMP=ZP+ZT$ACOMP=AP+AT
        MH=M/3
7         FORMAT(16F4.1)
8         FORMAT(8F5.3/8F5.3/8F7.5/8F7.5)
25        D05I=1,MH
        J1=3*(I-1)+1 $ J2=J1+1 $ J3=J2+1
        READ4,YR(J1),YR(J2),YR(J3)
        FORMAT(2F5.3,F4.0)
4         CONTINUE
30        XX(1)=1. $ XX(2)=1.
        PRINT21
        PRINT26,ZCOMP,ACOMP
        PRINT22,ZP,AP,ZT,AT
        PRINT23,BN,BF
35        PRINT 27,CONST,ANGLE
27        FORMAT(//5X,6HCONST=,F5.3,2X,6HANGLE=,F5.3)
        KAY=0
        CALL COMPIL(M,M,D,EI,Z,ZL,XX,YR)
        D06IIT=1,MH
40        J1=3*(IIT-1)+1 $ J2=J1+1 $ J3=J2+1
        X(1)=YR(J3)$KAY=1
        CALL RELADI(N,NP,INDEX,XX,Y,DF)
        PRINT25
        PRINT24,YR(J1),YR(J2),Y,YR(J3)
45        CONTINUE
        FORMAT(//5X,13HFINAL RESULTS)
21
    
```

```

26      FORMAT(//5X,2HZ=,F4.0,2X,2HA=,F4.0)
22      FORMAT(//5X,3HZ1=,F4.0,2X,3HA1=,F4.0/
        * 5X,3HZ2=,F4.0,2X,3HA2=,F4.0)
50      23      FORMAT(/5X,3HBN=,9(F6.3)/5X,3HBF=,9(F4.1,2X)/)
        24      FORMAT(5X,4(4X,F7.3,3X))
        25      FORMAT(/5X,12H EXPERIMENT,6X,5HERROR,8X,
        * 6HTHEORY,8X,6HENERGY)
3         CONTINUE
55        ENC
    
```

```

1         SUBROUTINE RELADI(N,NP,INDEX,T,Y,DF)
        DIMENSION T(N),DF(N)
        DIMENSION FUN1(10),FUN2(10)
5         DIMENSION VT090(10),VT150(10)
        DIMENSION CC090(10,10),AC090(10,10)
        DIMENSION CC150(10,10),AC150(10,10)
        DIMENSION MI(10),MI2(10)
        DIMENSION GN(10),TIME(10)
10        DIMENSION GFN(10),GNF(10),AK(10),PP(10)
        DIMENSION C(10,10)
        DIMENSION APGFN(10),RAP(10,10)
        DIMENSION RTIMS(10,10),OART(10,10)
        COMMON/XT/XT(16)/FK/FK(32)
        COMMON/X/X(10)
15        COMMON/KAY/KAY
        DIMENSION F(4),TF(10)
        *  DIMENSION AC(16),E(10),S2C(10),ER(10),
        *  ERF(10),RGNN(10,10)
20        COMMON/DATAS/ZP,AP,DM1,ZT,AT,DM2,DMC,BN(9),BF(9),CONST,ANGLE
        DIMENSION TC(10)
        RC=.4
        E0=X(1)
        TN=T(1)
        CTF=T(2)
25        R0=1.22
        C0=12.25
        Z1=ZP
        A1=AP
        Z2=ZT
        A2=AT
30        Z=Z1+Z2
        A=A1+A2
        A3=A1*A2*(1./3.)+A2*(1./3.)
        DM=DM1+DM2-DMC
35        EB=0.96*Z1*Z2*A/(A3*A2)
        EB1=EB*A2/A*DM
        XZ=1.-Z**2/(45.*A)
        M=1.-1.167*XZ-5.026*XZ**2+6.874*XZ**3
        S2CF=(0.155*R0*A3*(A1*A2*EB1/A)**0.5)**2
40        EP=(EB-DM)*A/A2
        VEL=.139E2*(1/A)*(EP/A1)**.5
        IF(KAY-1)109,110,109
        GO TO 111
109       CONTINUE
110       PRINT 60,RC
45        60      FORMAT(5X,3HRC=,F5.3)
        PRINT 57,VEL
57         FORMAT(5X,4HVEL=,F4.2,9H8 CM/CEK)
        PRINT 49,IN
50        49      FORMAT(5X,31HNEUTRON EVAPORATION TEMPERATURE/20X,F4.2)
        111       CONTINUE
        S2M=0.0937*A1*A2*A3**2*EP*(1.-EB/EP)/A
        IF(S2M-S2CR) 4,5,5
55        4         S2=S2M
        GO TO 6
        5         S2=S2CR
        6         CONTINUE
        IF(E0-70.)14,14,15
        NNN=4
        GO TO 13
        15        IF(E0-80.)16,16,17
        16        NNN=5
    
```

```

65 17 GO TO 13
18 IF (E0-90.)18,18,19
   NNN=6
19 GO TO 13
20 IF (E0-100.)20,20,21
   NNN=7
70 21 GO TO 13
22 IF (E0-110.)22,22,26
   NNN=8
26 GO TO 13
   NNN=9
75 13 CONTINUE
100 IF (KAY-1)101,100,101
   MMH=1
101 GO TO 102
102 MMH=NNN
80 CONTINUE
DO 201 NXN=MMH,NNN
  HIEF1=0.
  HIEF2=0.

      CO 202 II=1,10
      E(I)=0.
      ER(I)=0.
      ERF(I)=0.
      GN(I)=0.
      TIME(I)=0.
      APGFN(I)=0.
      AK(I)=0.
      TF(I)=0.
      CONTINUE
202 DO 1 I=1,NXN
   CI=I
   AC(I)=A-(CI-1.)
   IF (I-1) 8,7,8
7   E(I)=EJ
   S2C(I)=S2
   GO TO 9
8   E(I)=C(I-1)-BN(I-1)-2.
9   S2C(I)=(S2**5-2.*(CI-1.))**2
   CONTINUE
   ER(I)=0.5*35.12*S2C(I)/AC(I)**(5./3.)
105 ERF(I)=4*ER(I)
   XA=BF(I)-BN(I)
   CALL LINT1(XA,XT,16,FK,2,F)
   TF100=TF(I)*TN*CTF
   EK=F(2)*TN
110 IF (I)=TF100*EK*(E(I)-100.)
   *GN(I)=12.25*TF(I)/(2.*AC(I)**(2./3.)*TN**2)
   *EXP(E(I)*1./TF(I)-(1./TN))-(3F(I)+ERF(I))/TF(I)
   *+(GN(I)+ER(I))/TN
   APGFN(I)=1.+GFN(I)
115 GNF(I)=1./GFN(I)
   IF (I-1)10,11,10
11 AK(I)=1./1.+GNF(I)
   PP(I)=1.
   GO TO 12
10 PP(I)=PP(I-1)/(1.+GNF(I-1))
12 AK(I)=1./1.+GNF(I)*FP(I)
   CONTINUE
61 IF (Z-90.)61,62,62
   TC(I)=TN
125 GO TO 63
62 TC(I)=TF(I)
63 CONTINUE
   GN(I)=AC(I)**(2./3.)*TN**2/(3.141*12.25)*
   *EXP((E(I)-BN(I)-ER(I))/TN-1E(I)-ER(I))/TC(I))
130 TIME(I)=6.58E-6/(GN(I)*(1.+GFN(I)))
   VT090(I)=VEL*TIME(I)
   VT150(I)=VT090(I)*SIN(ANGLE)
   *FUN1(I)=1.-(1.+RC/VT090(I))*EXP(-RC/VT090(I))-
   *5*(RC/VT090(I))**2*EXP(-RC/VT090(I))
135 *FUN2(I)=1.-(1.+RC/VT150(I))*EXP(-RC/VT150(I))-
   *5*(RC/VT150(I))**2*EXP(-RC/VT150(I))
   DO 2 K=1,I
   RGNN(K,I)=GN(K)/GN(I)
140 RAP(K,I)=APGFN(K)/APGFN(I)
   RAP(I,K)=1./RAP(K,I)
   RTIMSK(I)=RGNN(I,K)*RAP(I,K)
   RTIMS(I,K)=1./RTIMSK(I)
   DART(K,I)=1.-RTIMS(K,I)
   DART(I,K)=1.-RTIMS(I,K)

```

```

145 2 CONTINUE
   SC1=J.
   SA1=0.
   SC2=0.
   SA2=0.
150 DO 99 J=1,I
   IF (I-1)51,50,51
   CONTINUE
   C(I,1)=1.
   GO TO 52
155 CONTINUE
   PC=1.
   DO 53 NI=1,I
   IF (NI-J)54,55,54
160 DU=1.
   GO TO 56
   DD=OART(NI,J)
54 CONTINUE
56 PC=PC*DD
165 CONTINUE
   C(I,J)=RTIMS(I,J)/PC
   CONTINUE
   CC090(I,J)=C(I,J)*VT090(J)**3*FUN1(J)/VT090(I)
   AC090(I,J)=C(I,J)*EXP(-RC/VT090(J))*RTIMS(J,I)
170 CC150(I,J)=C(I,J)*VT150(J)**3*FUN2(J)/VT150(I)
   AC150(I,J)=C(I,J)*EXP(-RC/VT150(J))*RTIMS(J,I)
   SC1=SC1+CC090(I,J)
   SA1=SA1+AC090(I,J)
175 SC2=SC2+CC150(I,J)
   SA2=SA2+AC150(I,J)
99 CONTINUE
   HI1(I)=AK(I)*(CONST*SC1+SA1)
   HI2(I)=AK(I)*(CONST*SC2+SA2)
   HIEF1=HIEF1+HI1(I)
180 HIEF2=HIEF2+HI2(I)
   CONTINUE
   COEFF=0
   DO 200 JN=1,NXN
   COEFF=COEFF+AK(JN)
185 CONTINUE
   HIEF1=HIEF1/COEFF
   HIEF2=HIEF2/COEFF
   DHI=HIEF1-HIEF2
103 IF (KAY-1)103,104,103
104 GO TO 105
   CONTINUE
44 PRINT 44,HIEF1,HIEF2
   FORMAT(5X,9MHI EFF90=,F8.6,5X,10MHI EFF160=,F8.6)
   PRINT 45,DHI
195 FORMAT(5X,8MHI EFF=,F8.6)
205 CONTINUE
201 CONTINUE
   Y=DHI
106 IF (KAY-1)106,107,106
107 GO TO 108
   CONTINUE
   PRINT 23,(E(I),I=1,9,1)
23 FORMAT(5X,4HE =,9(6X,F5.1))
   PRINT 24,(ER(I),I=1,9,1)
24 FORMAT(5X,4HER =,9(6X,F5.2))
205 PRINT 25,(ERF(I),I=1,9,1)
25 FCRMAT(5X,4HERF=,9(6X,F5.2))
   PRINT 37,(TF(I),I=1,9,1)
37 FCRMAT(5X,4HTF =,9(6X,F5.3))
   PRINT 46,(GN(I),I=1,9,1)
46 FORMAT(5X,4HGN =,9(1X,E10.2))
   PRINT 47,(TIME(I),I=1,9,1)
47 FORMAT(4X,5HTIME=,5(1X,E10.3)/9X,9(8X,3H-16))
27 PRINT 27,(APGFN(I),I=1,9,1)
27 FORMAT(3X,6M1+GFN=,9(2X,F9.6))
   PRINT 36,(AK(I),I=1,9,1)
36 FCRMAT(5X,3HAK=,F7.5)
   PRINT 38,COEFF
38 FCRMAT(5X,18MTHE SUM OF AK(I) =,1X,F7.5)
220 CONTINUE
   RETURN
   END

```

```

1          SUBROUTINE LINT1 (XA,XT,N,FK,KA,F)
           DIMENSION XT(N),FK(32),F(KA)
           T=XA
           N1=1
5          N2=N
           IT=N1
           IF (N2-N1-1) 10,10,6
           AB1=N1
           AB2=N2
           I=INT((AB1+AB2)/2.)
           IF (XT(N2)-XT(N1)) 11,11,13
           IF (XT(I)-T) 8,8,9
           IF (T-XT(I)) 8,8,9
15          N2=I
           GO TO 4
           N1=I
           GO TO 3
           T1=XT(IT)
           T2=XT(IT+1)
           UC=1; KT=1,KA
           INC=IT+(KT-1)*N
           FT1=FK(IN3)
           FT2=FK(IN3+1)
           FT=FT1+(FT2-FT1)*(T-T1)/(T2-T1)
25          F(KT)=FT
           CONTINUE
           RETURN
           END
18

```

Литература

1. Каманин В.В., Карамян С.А. ОИЯИ, P7-10061, Дубна, 1976; ОИЯИ, P7-10062, Дубна, 1976.
2. Каманин В.В., и др. ЯФ, 1972, 16, с.447; ОИЯИ, P7-6302, Дубна, 1972.
3. Бугров В.Н. и др ОИЯИ, P7-9690, Дубна, 1976.
4. Sikkeland T. Phys.Rev., 1964, 135B, p.669.
5. Sikkeland T. e.a. Phys. Rev., 1971, 3C, p.329.
6. Донец Е.Д., Щеголев В.А., Ермаков В.А. ЯФ, 1965, 2, с.1015.
7. Каманин В.В., Карамян С.А. ОИЯИ, P7-10281, Дубна, 1976.
8. Юйзенга Дж., Ванденбош Р. В кн.: Ядерные реакции, т.2, Атомиздат, М., 1964, с.51.
9. Карамян С.А. и др. ОИЯИ, P7-5884, Дубна, 1971.
10. Бочев Б. и др. ЯФ, 1976, 23, с.520; ОИЯИ, P7-8676, Дубна, 1975.
11. Myers W.D., Swiatecki W.J. Preprint UCRL-11980, 1965.
12. Пик-Пичак Г.А. ЖЭТФ, 1958, 34, с.341.
13. Александров Л. ОИЯИ, P5-7259, Дубна, 1973.
14. Александров Л. ОИЯИ, Б1-5-9969, Дубна, 1976.
15. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, P7-7165, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 марта 1977 года.