

7. РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ В $p^9\text{Be}$ СИСТЕМЕ

Radiative capture in the $p^9\text{Be}$ system

Введение

В потенциальной кластерной модели с классификацией орбитальных состояний кластеров по схемам Юнга и запрещенными, в некоторых случаях, состояниями, рассмотрим реакцию $p^9\text{Be} \rightarrow {}^{10}\text{B}\gamma$ в области астрофизических энергий. Сразу отметим, что нам удалось найти только одну работу, посвященную подробному экспериментальному измерению сечений и астрофизического S - фактора этой реакции [146] при низких энергиях. Результаты этой работы мы будем использовать далее для сравнения с нашими модельными расчетами.

При рассмотрении астрофизического S - фактора радиационного $p^9\text{Be}$ захвата в ПКМ [20,25], которая обычно используется нами для анализа подобных реакций [112,134], требуется знание потенциалов $p^9\text{Be}$ взаимодействия в непрерывном и дискретном спектре. По-прежнему будем считать, что такие потенциалы должны соответствовать классификации кластерных состояний по орбитальным симметриям [20,25], как это было сделано нами ранее для других легких ядерных систем.

7.1 Классификация орбитальных состояний

Определим вначале возможные орбитальные схемы Юнга для ядра ${}^9\text{Be}$, например, рассматривая его в $p^8\text{Li}$ или $n^8\text{Be}$ канале. Если считать, что в системе $8+1$ частиц можно использовать схемы $\{44\}+\{1\}$, то для такой системы получим две возможные симметрии $\{54\}+\{441\}$. Первая из них запрещена, поскольку содержит пять клеток в одной строке

[125]. Сразу отметим, что приведенная здесь классификация орбитальных состояний по схемам Юнга носит качественный характер, поскольку для системы $A = 9, 10$ частиц не удалось найти таблицы произведений схем Юнга, которые имелись ранее для всех $A < 9$ [44], и использовались для анализа числа разрешенных состояний и ЗС в волновых функциях различных кластерных систем [87].

Далее, если для ядра ${}^9\text{Be}$ используется схема {54}, то возможные орбитальные схемы Юнга $p^9\text{Be}$ системы оказываются запрещенными, поскольку в одной строчке не может быть более четырех клеток [125, 147]. Они соответствуют запрещенным состояниям с конфигурациями {64} и {55} и моментом относительно движения $L = 0$ и 1, который определяется по правилу Элиота [125]. Еще одна запрещенная схема {541} присутствует в этом произведении и в рассмотренном далее случае и соответствует $L = 1$.

Когда для ядра ${}^9\text{Be}$ принимается схема {441}, система $p^9\text{Be}$ содержит запрещенные уровни со схемой {541} в P -волне и {442} в S -волне и РС с конфигурацией {4411} при $L = 1, 3$. Таким образом, $p^9\text{Be}$ потенциалы в разных парциальных волнах должны иметь запрещенное связанное {442} состояние в S -волне и запрещенное и разрешенное связанные уровни в P -волне со схемами Юнга {541} и {4411} соответственно.

Можно рассмотреть и случай, когда для ядра ${}^9\text{Be}$ используются обе допустимые орбитальные схемы Юнга {54} и {441}. Подобный подход вполне успешно использовался нами ранее при рассмотрении $p^6\text{Li}$ [119] и $p^7\text{Li}$ [136] систем. Тогда классификация уровней будет несколько иной, число запрещенных состояний возрастет, и в каждой парциальной волне с $L = 0$ и 1 добавится лишний запрещенный связанный уровень.

Такая, более полная схема состояний, которая будет использоваться нами далее, по сути, является суммой первого и второго рассмотренных выше случаев, и в S - и P -волнах содержится по два ЗС с разрешенными связанными состояниями в P -волне. Одно из них, а именно, 5P_3 -состояние может соответствовать основному состоянию ядра ${}^{10}\text{B}$ в $p^9\text{Be}$

канале.

7.2 Потенциальное описание фаз рассеяния

Рассматриваемый $p^9\text{Be}$ канал в ядре ^{10}B имеет проекцию изоспина $T_z = 0$, что возможно при двух значениях полного изоспина $T = 1$ и 0 [137], поэтому $p^9\text{Be}$ система, так же как $p^3\text{H}$ [112], оказывается смешана по изоспину. Чистыми по изоспину, в данном случае и в полной аналогии с $p^3\text{He}$ и $p^3\text{H}$ системами [112], являются кластерные каналы $p^9\text{B}$ и $n^9\text{Be}$ при $T_z = \pm 1$ и $T = 1$. Фазы упругого $p^9\text{Be}$ рассеяния, поскольку эта система смешанна по изоспину, представляются в виде полусуммы чистых по изоспину фаз [20,25], как было приведено ранее в параграфе 4.1 (4.1).

Смешанные по изоспину фазы с $T = 1,0$ по-прежнему определяются в результате фазового анализа экспериментальных данных, которыми обычно являются дифференциальные сечения упругого $p^9\text{Be}$ рассеяния. Чистые с изоспином $T = 1$ фазы определяются из фазового анализа упругого $p^9\text{B}$ или $n^9\text{Be}$ рассеяния. В результате можно найти чистые с $T = 0$ фазы $p^9\text{Be}$ рассеяния и по ним построить взаимодействие, которое должно соответствовать потенциалу связанного состояния $p^9\text{Be}$ системы в ядре ^{10}B [137]. Именно такой метод разделения фаз и потенциалов использовался для $p^3\text{H}$ системы [94,112] и продемонстрировал свою полную работоспособность.

Однако, нам не удалось найти данные по фазам упругого $n^9\text{Be}$, $p^9\text{B}$ или $p^9\text{Be}$ рассеяния при астрофизических энергиях [138], поэтому здесь будем рассматривать только смешанные по изоспину потенциалы процессов рассеяния в $p^9\text{Be}$ системе и чистые с $T = 0$ потенциалы связанных состояний, которые, как обычно, строятся на основе описания характеристик SS – энергия связи, зарядовый радиус, асимптотическая константа. Именно такой подход использовался нами ранее для $p^6\text{Li}$ и $p^7\text{Li}$ систем, а сам потенциал выбирается в простом гауссовом виде с точечным кулоновским членом (2.8).

Поскольку отсутствуют фазы упругого $p^9\text{Be}$ рассеяния,

полученные в результате фазового анализа экспериментальных данных, далее будем основываться на чисто качественных представлениях об их поведении как функции энергии. В частности, известно, что в спектре ядра ^{10}B имеется надпороговый уровень с $J = 1^-$ при $T = 0+1$ и энергии $0.319(5)$ МэВ (л.с.) с шириной 133 кэВ [137,148]. В p -канале ядра ^{10}B это резонансное состояние может быть образовано конфигурацией 3S_1 , поскольку $J(^9\text{Be}) = 3/2^-$ и $J(p) = 1/2^+$. Наличие такого уровня приводит к резонансу фазы, которая при этой энергии принимает значение 90° .

Однако резонанс S -фактора, измеренного в [146], наблюдается при энергии 299 кэВ (л.с.), что показано в табл.1 и рис.4 работы [146]. В тоже время, в табл.2 работы [146], для энергии резонанса приводится величина $0.380(30)$ МэВ (л.с.) с шириной $330(30)$ кэВ. Оба этих значения не соответствует давно известным данным [137,148]. Поэтому в более поздних работах [149,150] был проведен дополнительный анализ экспериментальных результатов и для энергии этого уровня получено $328 \div 329$ кэВ (л.с.) с шириной $155 \div 161$ кэВ (л.с.), что также несколько отличается от данных [137,148].

Поскольку имеется столь большое различие разных данных, мы несколько варьировали параметры этого потенциала, для получения наилучшего описания положения резонанса в S -факторе, приведенного в работе [146]. В результате для 3S_1 -волны рассеяния был получен потенциал, который приводит к резонансу фазы в 90° при 333 кэВ (л.с.) и имеет следующие параметры

$$V_0 = -69.5 \text{ МэВ} \text{ и } \alpha = 0.058 \text{ Фм}^{-2}.$$

Триплетная 3S_1 -фаза этого потенциала показана на рис.7.1 непрерывной линией и носит резонансный характер, а сам потенциал содержит два ЗС в соответствии с приведенной выше классификацией.

Если для расчета ширины уровня по фазе рассеяния δ использовать выражение [78]

$$\Gamma_{\text{л.с.}} = 2(d\delta/dE_{\text{л.с.}})^{-1},$$

то ширина такого резонанса оказывается, примерно, равна 150(3) кэВ (л.с.), что вполне соответствует результатам работ [149,150].

Далее считаем, что 5S_2 - фаза практически равна нулю в области энергий до 600 кэВ, которые будут здесь рассматриваться, поскольку в спектрах ${}^{10}\text{B}$ отсутствуют резонансы, сопоставимые этой парциальной волне при таких энергиях [137,148]. Практически нулевая фаза получается с гауссовым потенциалом и параметрами

$$V_0 = -283.5 \text{ МэВ} \text{ и } \alpha = 0.3 \text{ ФМ}^{-2}.$$

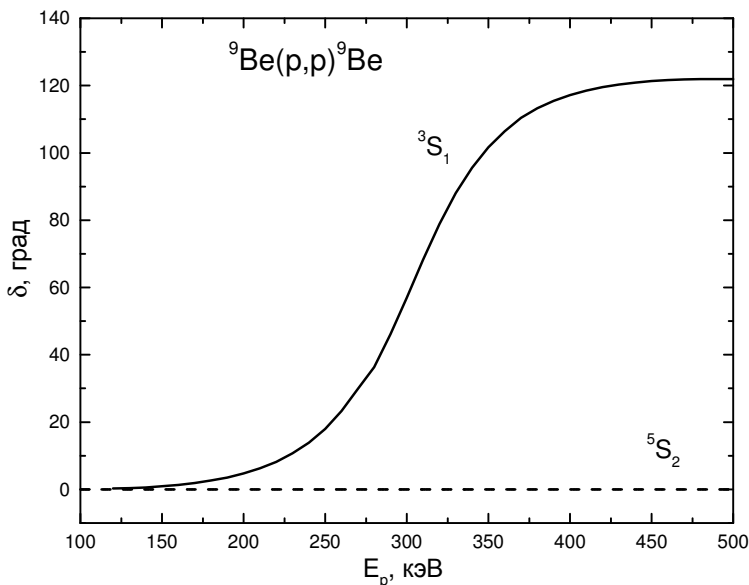


Рис.7.1. S - фазы упругого $p^9\text{Be}$ рассеяния при низких энергиях. Линии – расчеты с гауссовыми потенциалами, параметры которых приведены в тексте.

Он содержит два ЗС, как это следует из приведенной классификации орбитальных состояний, а фаза рассеяния

показана на рис.7.1 штриховой кривой. Конечно, 5S_2 - фазу, близкую к нулю, можно получить и с помощью других вариантов параметров потенциала с двумя ЗС.

В этом смысле, не удастся однозначно фиксировать его параметры, и возможны другие комбинации V_0 и α . Однако, дальнейшие расчеты $E1$ перехода из 5S_2 - волны рассеяния на связанное 5P_3 - состояние показали довольно слабую зависимость S - фактора радиационного $p^9\text{Be}$ захвата от параметров этого потенциала.

Для потенциала связанного 5P_3 - состояния $p^9\text{Be}$ системы, который соответствует основному состоянию ядра ${}^{10}\text{B}$ в рассматриваемом кластерном канале, найдены следующие параметры:

$$V_0 = -719.565645 \text{ МэВ} \text{ и } \alpha = 0.4 \text{ Фм}^{-2} .$$

С таким потенциалом получена энергия связи -6.585900 МэВ при точности 10^{-6} МэВ, среднеквадратичный радиус 2.58 Фм при экспериментальной величине $2.58(10)$ Фм [137], а асимптотическая константа, вычисляемая по функциям Уиттекера, оказалась равна $C_w = 2.94(1)$. Для радиусов кластеров были использованы величины $R_p = 0.8768(69)$ Фм [35] и $R_{\text{Be}} = 2.519(12)$ Фм [137]. Ошибка АК определяется ее усреднением на интервале $5 \div 15$ Фм, где асимптотическая константа остается практически стабильной. Кроме разрешенного СС, соответствующего основному состоянию ядра ${}^{10}\text{B}$, такой P - потенциал имеет два ЗС в полном соответствии с проведенной выше классификацией орбитальных кластерных состояний.

Для сравнения АК приведем результаты работы [151], где для ее значений получена величина $C_w = 2.37(2)$ Фм $^{-1/2}$. Нужно отметить, что в этой работе для определения асимптотической константы использовалось выражение

$$\chi_L(R) = C_w W_{-\eta L + 1/2}(2k_0 R) ,$$

которое отличается от нашего определения (2.10) на величи-

ну $\sqrt{2k_0}$. Поделив приведенное выше значение на $\sqrt{2k_0}$, где для $p^9\text{Be}$ системы $k_0 = 0.536 \text{ Фм}^{-1}$, получим для АК в нашем определении значение 2.29, которое заметно отличается от приведенного выше результата. Однако, если принять для АК значение, полученное в работе [151], зарядовый радиус ядра ^{10}B , из-за более быстрого спада "хвоста" волновой функции, будет несколько занижен.

Для потенциалов первых трех возбужденных, но связанных в $p^9\text{Be}$ канале состояний с $J^P T = 1^+0, 0^+1$ и 1^+0 при энергиях 0.71835, 1.74015 и 2.1543 МэВ [137] получены следующие параметры:

$$\begin{aligned} V_0(0.718350) &= -715.162918 \text{ МэВ и } \alpha = 0.4 \text{ Фм}^{-2}, \\ V_0(1.740150) &= -708.661430 \text{ МэВ и } \alpha = 0.4 \text{ Фм}^{-2}, \\ V_0(2.154300) &= -705.935443 \text{ МэВ и } \alpha = 0.4 \text{ Фм}^{-2}. \end{aligned}$$

Они точно описывают приведенные выше и показанные в скобках значения энергии уровней, которые относительно порога $p^9\text{Be}$ канала равны -5.867550, -4.845700 и -4.431600 МэВ. Такие потенциалы приводят к зарядовым радиусам 2.59, 2.60 и 2.61 Фм, асимптотическим константам 2.74(1), 2.46(1) и 2.35(1) соответственно в области от $4 \div 5$ до $11 \div 13$ Фм и имеют по два ЗС и одно РС. Можно, по-видимому, считать, что эти потенциалы соответствуют триплетным 3P связанным в $p^9\text{Be}$ канале уровням.

Для дополнительного контроля точности вычисления энергии связи СС использовался вариационный метод с разложением кластерной волновой функции $p^9\text{Be}$ системы по неортогональному гауссову базису (2.9) [24]. При размерности базиса $N = 10$ для потенциала ОС получена энергия -6.585896 МэВ, которая только на 4 эВ отличается, от приведенной выше, конечно - разностной величины [24]. Невязки имеют порядок 10^{-11} , асимптотическая константа, на интервале $5 \div 10$ Фм, равна 2.95(3), а зарядовый радиус не отличается от предыдущих результатов. Параметры разложения полученной вариационной радиальной межкластерной волновой функции ОС ^{10}B в кластерном $p^9\text{Be}$ канале приведены в

табл.7.1.

Поскольку, как мы уже не раз упоминали, вариационная энергия при увеличении размерности базиса уменьшается и дает верхний предел истинной энергии связи, а конечно - разностная энергия при уменьшении величины шага и увеличении числа шагов увеличивается [24], то для реальной энергии связи в таком потенциале можно принять среднюю величину $-6.585898(2)$ МэВ. Таким образом, точность определения энергии связи ядра ^{10}B в кластерном $p^9\text{Be}$ канале в предложенном выше потенциале двумя различными методами по двум разным компьютерным программам находится на уровне ± 2 эВ.

Табл.7.1. Коэффициенты и параметры разложения радиальной вариационной волновой функции основного состояния ^{10}B в $p^9\text{Be}$ канале по неортогональному гауссовому базису [24].

Нормировочный коэффициент волновой функции на интервале $0 \div 25$ Фм равен $N = 1.0000000000000002$.

| i | α_i | C_i |
|-----|------------------------|-------------------------|
| 1 | 7.715930101739352E-002 | -2.802002694398972E-002 |
| 2 | 3.224286905853033E-002 | -2.092599791641983E-003 |
| 3 | 1.677117157858407E-001 | -1.481060223206524E-001 |
| 4 | 3.388993785610822E-001 | -5.049291144131660E-001 |
| 5 | 9.389553670123860E-001 | 4.713342588832875 |
| 6 | 1.999427899506135 | -7.632712971301209 |
| 7 | 2.988529100669578 | -5.267741895838846E-001 |
| 8 | 6.878703971128334 | 6.022748751134505E-002 |
| 9 | 23.149662023260950 | 2.252725100117285E-002 |
| 10 | 100.917699526293000 | 1.285655220977827E-002 |

В рамках ВМ для потенциала второго возбужденного 0^+1 уровня получена энергия -4.845692 МэВ, зарядовый радиус 2.61 Фм, а АС оказалась равна $2.48(2)$ на интервале $5 \div 12$

Фм. Параметры ее разложения по неортогональному гауссову базису приведены в табл.7.2. Для средней энергии этого уровня, найденной двумя методами по двум компьютерным программам, получена величина $-4.845696(4)$ МэВ, а невязки имеют порядок 10^{-13} .

Табл.7.2. Коэффициенты и параметры разложения радиальной вариационной волновой функции возбужденного 0^+1 состояния $^{10}\text{В}$ при энергии 1.74015 МэВ по неортогональному гауссовому базису [24].

Нормировочный коэффициент волновой функции на интервале $0 \div 25$ Фм равен $N = 9.99999999999970\text{E}-001$.

| i | α_i | C_i |
|-----|------------------------|-------------------------|
| 1 | 6.669876139241313E-002 | -2.347210794847986E-002 |
| 2 | 2.667656102033708E-002 | -1.775040363036249E-003 |
| 3 | 1.517176918481825E-001 | -1.283117981223353E-001 |
| 4 | 3.212149403864399E-001 | -4.601647158129205E-001 |
| 5 | 9.260148198737874E-001 | 4.396116518097601 |
| 6 | 1.968143319382518 | -7.091171845894630 |
| 7 | 2.891825315028276 | -6.237051439471658E-001 |
| 8 | 6.205147839342107 | 6.217503950196968E-002 |
| 9 | 20.141061492467640 | 2.305215376077275E-002 |
| 10 | 86.640072856521640 | 1.321899076244325E-002 |

7.3 Астрофизический S - фактор

При рассмотрении электромагнитных переходов в $p^9\text{Be}$ захвате будем учитывать $E1$ процесс, обозначив его $E1(\text{CC})$, из резонансной 3S_1 - волны рассеяния на три связанные в кластерном $p^9\text{Be}$ канале состояния ядра $^{10}\text{В}$ с $J^P T = 1^+0, 0^+1$ и 1^+0 [137] считая их 3P - состояниями. А также $E1$ переход из 5S_2 - волны рассеяния с нулевой фазой на основное связанное 5P_3 - состояние этого ядра, используя для него обозначение $E1(\text{OC})$.

Результаты расчета S - фактора при энергиях $50 \div 600$ кэВ (л.с.) и экспериментальные данные из работы [146] приведены на рис.7.2 непрерывной кривой. Как видно, величина полного расчетного S - фактора в области энергий $50 \div 100$ кэВ остается почти постоянной и равной $1.15(2)$ кэВ·б, что вполне согласуется с данными работы [146], где среднее по трем первым экспериментальным точкам при энергии $70 \div 100$ кэВ равно $1.27(4)$ кэВ·б.

Переход на основное 5P_3 - состояние ${}^{10}\text{B}$ из 5S_2 - волны рассеяния приводит к расчетной величине S - фактора при 50 кэВ равной 0.81 кэВ·б (штриховая кривая на рис.7.2). Линейная экстраполяция полученного результата к нулевой энергии дает примерно 0.90 кэВ·б. Сумма переходов из 3S_1 - волны рассеяния на три связанные 3P уровни представлен на рис.7.2 точечной кривой.

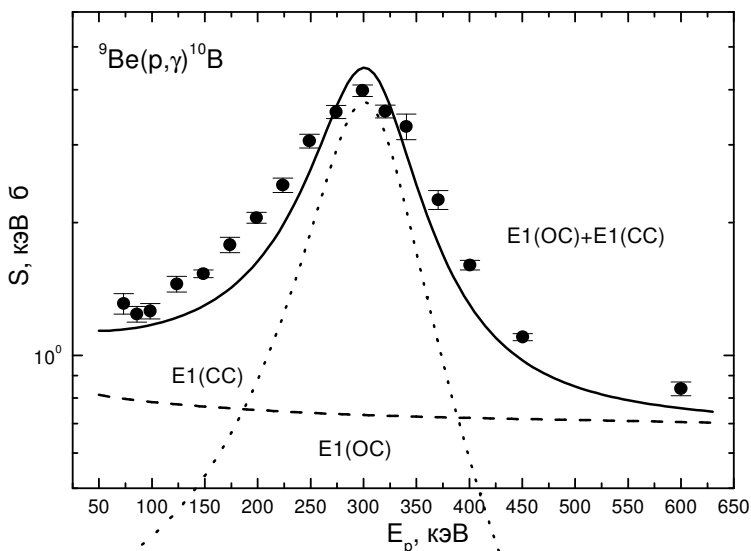


Рис.7.2. Астрофизический S - фактор реакции радиационного ${}^9\text{Be}$ захвата.

Точки – экспериментальные данные из работы [146]. Кривые – результаты расчета для разных электромагнитных переходов с приведенными в тексте потенциалами.

Для сравнения приведем некоторые результаты экстраполяции различных экспериментальных данных к нулевой энергии. Для S - фактора с переходом на ОС, например, в работе [131] получено 0.92 кэВ·б, что вполне согласуется с найденной здесь величиной. Однако для переходов на три рассмотренных выше уровня с $J^P T = 1^+0, 0^+1$ и 1^+0 приводится 1.4 кэВ·б, 1.4 кэВ·б и 0.47 кэВ·б соответственно [131], сумма которых явно превышает наш результат и данные работы [146].

Далее, в более поздней работе [149], для полного S - фактора получено 0.96(2) кэВ·б, а в одной из последних работ [150], посвященной этой реакции, найдена величина от 0.96(6) до 1.00(6) кэВ·б. Оба этих значения вполне согласуются с полученными выше значениями.

Таким образом, в потенциальной кластерной модели рассмотрены $E1$ переходы из 5S_2 и 3S_1 - волн рассеяния на основное 5P_3 связанное в $p^9\text{Be}$ канале состояние ядра ^{10}B и три его возбужденные состояния $1^+0, 0^+1$ и 1^+0 , которые также связаны в этом канале. При наличии определенных предположений общего характера относительно потенциалов взаимодействия в $p^9\text{Be}$ канале ядра ^{10}B , оказывается возможным приемлемо описать имеющиеся экспериментальные данные по астрофизическому S - фактору при энергиях до 600 кэВ и получить его величину для нулевой (50 кэВ) энергии, которая вполне согласуется с последними экспериментальными данными [146]. Правильно получается и $S(0)$ - фактор только для перехода на ОС ядра ^{10}B .

Однако, поскольку отсутствуют данные по фазовому анализу $p^9\text{Be}$ упругого рассеяния, потенциалы рассеяния строятся на основе некоторых качественных представлений, а потенциалы трех СС получены лишь приближенно, т.к. нет данных по радиусам и АК ядра ^{10}B в этих возбужденных состояниях. Поэтому данные результаты следует рассматривать, лишь как предварительную оценку возможности описания S - фактора реакции $p^9\text{Be}$ захвата на основе ПКМ с ЗС. Но несмотря на приближенный характер рассмотрения процесса $p^9\text{Be} \rightarrow ^{10}\text{B}\gamma$ радиационного захвата для астрофизиче-

ского S - фактора этой реакции удастся получить вполне приемлемые результаты.

В заключение можно отметить, что имеющиеся в нашем распоряжении экспериментальные данные по S - фактору этой реакции заметно отличаются между собой и, по-видимому, требуется дальнейшее, более тщательное исследование радиационного $p^9\text{Be} \rightarrow {}^{10}\text{B}\gamma$ захвата при астрофизических энергиях, а также уточнения положения резонанса и его ширины в 3S_1 - волне рассеяния [152].

7.4 Программа расчета астрофизического S - фактора

Приведем теперь текст компьютерной программы для расчета S - фактора радиационного $p^9\text{Be}$ захвата. Она несколько отличается от предыдущих программ, поскольку переходы из состояний рассеяния происходят на четыре связанных уровня.

```
PROGRAM P9BE_BS_S  
USE MSIMSL  
IMPLICIT REAL(8) (A - Z)  
INTEGER(4) L,N,NN,NV,NH,IFUN,MIN,IFAZ,L5S,L3S  
CHARACTER*8  
RA0D,RA1D,RA2D,RA3D,FU0D,FU1D,FU2D,FU3D,SFACT  
CHARACTER*12 AS0D,AS1D,AS2D,AS3D  
CHARACTER*6 EN0D,EN1D,EN2D,EN3D  
DIMENSION  
V(0:10240000),U(0:10240000),U0(0:10240000),U1(0:10240000)  
,U2(0:10240000),U3(0:10240000),EE(0:10)  
COMMON /BB/ A2,R0,AK1,RCU  
COMMON /AA/ SKS,L,GK,R,SSS,AKK,CC  
COMMON /CC/ HK,IFUN,MIN,IFAZ  
COMMON /DD/ SS,AAK,GAM  
COMMON /FF/  
A5S,R5S,A5S1,R5S1,L5S,L3S,A3S,R3S,A3S1,R3S1  
COMMON /EE/ PI  
! * * * * ПАРАМЕТРЫ РАСЧЕТОВ * * * * * * * * * *
```

RA0D="RAD0.TXT"
RA1D="RAD1.TXT"
RA2D="RAD2.TXT"
RA3D="RAD3.TXT"
FU0D="FUN0.TXT"
FU1D="FUN1.TXT"
FU2D="FUN2.TXT"
FU3D="FUN3.TXT"
AS0D="ASIMPTO0.TXT"
AS1D="ASIMPTO1.TXT"
AS2D="ASIMPTO2.TXT"
AS3D="ASIMPTO3.TXT"
EN0D="E0.TXT"
EN1D="E1.TXT"
EN2D="E2.TXT"
EN3D="E3.TXT"
SFACT="SFAC.TXT"
WFUN=0; != 0 - ФУНКЦИЯ НЕ ЗАПИСЫВАЕТСЯ, = 1 - ЗА-
ПИСЫВАЕТСЯ В ФАЙЛ
IFUN=0; != 0 ТОГДА KRM, = 1 ТОГДА RK
IFAZ=1; != 0 ФАЗА ПРОСТО = 0, = 1 - ФАЗА ВЫЧИСЛЯ-
ЕТСЯ
MIN=0; != 0 ФАЗА СЧИТАЕТСЯ НА ГРАНИЦЕ ОБЛАСТИ,
= 1 ПРОВОДИТСЯ ПОИСК ФАЗЫ ПО ЗАДАННОЙ ТОЧ-
НОСТИ
! ***** МАССЫ И ЗАРЯДЫ *****
Z1=1.0D-000
Z2=4.0D-000
Z=Z1+Z2
AM1=1.00727646677D-000; ! P
AM2=9.0121829D-000; ! 9BE
AM=AM1+AM2
RK1=0.877D-000; ! P
RM1=0.877D-000; ! P
RK2=2.52D-000; ! 9BE
RM2=2.52D-000; ! 9BE
PI=4.0D-000*DATAN(1.0D-000)
PM=AM1*AM2/AM

A1=41.4686D-000
B1=2.0D-000*PM/A1
AK1=1.439975D-000*Z1*Z2*B1
GK=3.44476D-002*Z1*Z2*PM
! ***** ПАРАМЕТРЫ РАСЧЕТОВ *****
N=64000
RR=30.0D-000
H=RR/N
HK=H*H
SKN=-10.0D-000
HC=0.1D-000
SKV=1.0D-000
SKN=SKN*B1
SKV=SKV*B1
HC=HC*B1
NN=0
NV=90
NH=1
EH=5.0D-003
EN=5.0D-002
EP=1.0D-015; ! ТОЧНОСТЬ ПОИСКА НУЛЯ ДЕТЕРМИ-
НАНТА И КУЛОНОВСКИХ ФУНКЦИЙ
EP1=2.D-006; ! ТОЧНОСТЬ ПОИСКА ЭНЕРГИИ СВЯЗИ В
АБСОЛЮТНЫХ ЕДИНИЦАХ
EP2=1.0D-006; ! ТОЧНОСТЬ ПОИСКА АСИМПТОТИЧЕ-
СКОЙ КОНСТАНТЫ В ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦАХ
EP3=1.0D-003; ! ТОЧНОСТЬ ПОИСКА ФАЗ РАССЕЯНИЯ В
ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ЕДИНИЦАХ
! ***** ПОТЕНЦИАЛЫ СС *****
V0=719.565645D-000; ! P9BE FOR RCU=0. R0=0.4
CW=2.94(1)(4-15 ФМ) RZ=2.58 RM=2.56 E=-6.585900 MEV
E(3C)= 2 3C -348.5;-134.4
R0=0.4D-000; ! P9BE FOR RCU=0. L=1 S=2 5P3
V01=0.0D-000
R01=1.0D-000
A2=-V0*B1
A01=V01*B1
L=1

```

RCU=0.0D-000
! * * * * * ПОИСК МИНИМУМА * * * * *
CALL
ENERGY(0,EP,EP1,EP2,B1,SKN,SKV,HC,H,N,L,A2,R0,AK1,R
CU,GK,ESS,SKS,A01,R01,U0,V,AS0D)
EE(0)=ESS
! * * * АСИМПТОТИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ * * * * *
CALL ASSIM(U0,H,N,C0,CW0,CW,N,EP2,AS0D)
! * * * * * РАДИУС * * * * *
CALL
RAD(V,U0,N,H,AM1,AM2,AM,Z1,Z2,Z,RM1,RM2,RK1,RK2,
RA0D,RM,RZ)
! * * * * * ЭНЕРГИЯ * * * * *
OPEN (25,FILE=EN0D)
WRITE(25,*) ESS,SKS,N,H
CLOSE(25)
! * * * * * ПОИСК МИНИМУМА * * * * *
V0=715.162918D-000;! P9BE FOR RCU=0. R0=0.4
CW=2.74(1)(5-13 ФМ) RZ=2.59 RM=2.56 E=-5.867550 MEV
E(3C)= 2 3C -268.8;-105.7
R0=0.4D-000; ! P9BE FOR RCU=0.    L=1    S=1    3P1
V01=0.0D-000
R01=1.0D-000
A2=-V0*B1
A01=V01*B1
L=1
RCU=0.0D-000
! * * * * * ПОИСК МИНИМУМА * * * * *
CALL
ENERGY(1,EP,EP1,EP2,B1,SKN,SKV,HC,H,N,L,A2,R0,AK1,R
CU,GK,ESS,SKS,A01,R01,U1,V,AS1D)
EE(1)=ESS
! * * * АСИМПТОТИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ * * * * *
CALL ASSIM(U,H,N,C0,CW0,CW,N,EP2,AS1D)
! * * * * * РАДИУС * * * * *
CALL
RAD(V,U1,N,H,AM1,AM2,AM,Z1,Z2,Z,RM1,RM2,RK1,RK2,
RA1D,RM,RZ)

```

! ***** ЭНЕРГИЯ *****

OPEN (25,FILE=EN1D)
WRITE(25,*) ESS,SKS,N,H
CLOSE(25)

! * * * * * ПОИСК МИНИМУМА * * * * * * * * * * * * * * * *

V0=708.661430D-000;! P9BE FOR RCU=0. R0=0.4
CW=2.46(1)(5-13 ФМ) RZ=2.60 RM=2.57 E=-4.845700 MEV
E(3C)= 2 3C -268.8;-105.7

R0=0.4D-000; ! P9BE FOR RCU=0. L=1 S=1 3P0
V01=0.0D-000

R01=1.0D-000

A2=-V0*B1

A01=V01*B1

L=1

RCU=0.0D-000

! * * * * * ПОИСК МИНИМУМА * * * * * * * * * * * * * * * *

CALL

ENERGY(1,EP,EP1,EP2,B1,SKN,SKV,HC,H,N,L,A2,R0,AK1,R
CU,GK,ESS,SKS,A01,R01,U2,V,AS2D)

EE(2)=ESS

! * * * * * АСИМПТОТИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ * * * * *

CALL ASSIM(U,H,N,C0,CW0,CW,N,EP2,AS2D)

! * * * * * * * * * * РАДИУС * * * * * * * * * * * * * * * *

CALL

RAD(V,U2,N,H,AM1,AM2,AM,Z1,Z2,Z,RM1,RM2,RK1,RK2,
RA2D,RM,RZ)

! ***** ЭНЕРГИЯ *****

OPEN (25,FILE=EN2D)
WRITE(25,*) ESS,SKS,N,H
CLOSE(25)

! * * * * * ПОИСК МИНИМУМА * * * * * * * * * * * * * * * *

V0=705.935443D-000;! P9BE FOR RCU=0. R0=0.4
CW=2.35(1)(5-13 ФМ) RZ=2.61 RM=2.58 E=-4.431600 MEV
E(3C)= 2 3C -268.8;-105.7

R0=0.4D-000; ! P9BE FOR RCU=0. L=1 S=1 3P1

V01=0.0D-000

R01=1.0D-000

A2=-V0*B1


```
A01=V01*B1
L=1
RCU=0.0D-000
! * * * * * ПОИСК МИНИМУМА * * * * *
CALL
ENERGY(1,EP,EP1,EP2,B1,SKN,SKV,HC,H,N,L,A2,R0,AK1,R
CU,GK,ESS,SKS,A01,R01,U3,V,AS3D)
EE(3)=ESS
! * * * * АСИМПТОТИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ * * * * *
CALL ASSIM(U,H,N,C0,CW0,CW,N,EP2,AS3D)
! * * * * * РАСПЕЧАТКА ВФ * * * * *
IF (WFUN==0) GOTO 2235
CALL WAVE(U0,N,H,FU0D)
CALL WAVE(U1,N,H,FU1D)
CALL WAVE(U2,N,H,FU2D)
CALL WAVE(U3,N,H,FU3D)
! * * * * * РАДИУС * * * * *
CALL
RAD(V,U3,N,H,AM1,AM2,AM,Z1,Z2,Z,RM1,RM2,RK1,RK2,
RA3D,RM,RZ)
! * * * * * ЭНЕРГИЯ * * * * *
OPEN (25,FILE=EN3D)
WRITE(25,*) ESS,SKS,N,H
CLOSE(25)
! * * * * * ПОТЕНЦИАЛЫ РАССЕЯНИЯ * * * * *
12345 V5S=283.5D-000
R5S=0.3D-000
V5S1=0.0D-000
R5S1=1.0D-000
A5S=-V5S*B1
A5S1=V5S1*B1
L5S=0
V3S=69.5D-000
R3S=0.058D-000
V3S1=0.0D-000
R3S1=1.0D-000
A3S=-V3S*B1
A3S1=V3S1*B1
```

```
L3S=0
! ***** РАСЧЕТ S-ФАКТОРОВ *****
READ *
CALL
SFAC(EN,EH,NN,NV,NH,B1,EE,H,N,RCU,AK1,Z1,Z2,AM1,A
M2,PM,GK,EP,EP3,U,V,U0,U1,U2,U3,SFACT)
END
SUBROUTINE
ENERGY(YS,EP,EP1,EP2,B1,SKN,SKV,HC,H,N,L,A2,R0,A
K1,RCU,GK,ESS,SKS,A01,R01,U,V,ASS)
USE MSIMSL
IMPLICIT REAL(8) (A - Z)
INTEGER(4) I,L,N,IFUN,N1,MIN,IFAZ,LL,YS
CHARACTER*12 ASS
DIMENSION EEE(0:1000)
DIMENSION U(0:10240000),V(0:10240000)
COMMON /CC/ HK,IFUN,MIN,IFAZ
COMMON /DD/ SS,AAK,GAM
COMMON /AA/ SKSS,LL,GKK,RR,SSS,AKK,CC
I=1
LL=L
CALL
MINIMUM(EP,B1,SKN,SKV,HC,H,N,L,A2,R0,AK1,RCU,GK,
ESS,SKS,A01,R01)
PRINT*, '      E      N      DEL-E'
EEE(I)=ESS
IF(YS==1) GOTO 11221
111 N=2*N
H=H/2.0D-000
I=I+1
CALL
MINIMUM(EP,B1,SKN,SKV,HC,H,N,L,A2,R0,AK1,RCU,GK,
ESS,SKS,A01,R01)
EEE(I)=ESS
EEPP=ABS(EEE(I))-ABS(EEE(I-1))
PRINT *,EEE(I),N,EEPP
IF (ABS(EEPP)>EP1) GOTO 111
11221 PRINT *,EEE(I),N,EEPP
```

```
SSS=DSQRT(ABS(SKS))
SS=SSS
AKK=GK/SSS
AAK=AKK
HK=H*H
ZZ=1.0D-000+AAK+L
GAM=DGAMMA(ZZ)
! * * * * * РАСЧЕТ ВФ * * * * *
IF (IFUN==0) THEN
CALL FUN(U,H,N,A2,R0,A01,R01,L,RCU,AK1,SKS)
ELSE
CALL FUNRK(U,N1,H,L,SKS,A2,R0,A01,R01)
END IF
! * * * * * НОРМИРОВКА ВФ * * * * *
N1=1
CALL ASSIM(U,H,N,C0,CW0,CW,N1,EP2,ASS)
DO I=0,N1
V(I)=U(I)*U(I)
ENDDO
CALL SIMP(V,H,N1,SII)
HN=1.0D-000/DSQRT(SII)
DO I=0,N1
X=I*H
U(I)=U(I)*HN
ENDDO
! * * * АССИМПТОТИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ * * * * *
CALL ASSIM(U,H,N1,C0,CW0,CW,N1,EP2,ASS)
! * * * * ПЕРЕНОРМИРОВКА ХВОСТА ВФ * * * * *
SQQ=DSQRT(2.0D-000*SS)
DO I=N1+1,N
R=I*H
CC=2.0D-000*R*SS
CALL WHI(R,WWW)
U(I)=CW*WWW*SQQ
ENDDO
1122 CONTINUE
! * * * * ПОВТОРНАЯ НОРМИРОВКА ВФ * * * * *
DO I=1,N
```

```
V(I)=U(I)*U(I)
ENDDO
CALL SIMP(V,H,N,SIM)
HN=1.0D-000/DSQRT(SIM)
DO I=1,N
U(I)=U(I)*HN
ENDDO
END
SUBROUTINE ASSIM(U,H,N,C0,CW0,CW,I,EP,ASS)
IMPLICIT REAL(8) (A-Z)
INTEGER I,L,N,J,N2,N1,N3
CHARACTER*12 ASS
DIMENSION U(0:10240000)
COMMON /AA/ SKS,L,GK,R,SS,GGG,CC
N2=10
OPEN (22,FILE=ASS)
WRITE(22,*) '      R      C0      CW0
CW'
SQQ=DSQRT(2.0D-000*SS)
IF (I==N) THEN
PRINT *, '      R      C0      CW0      CW'
N1=3.0D-000/H
N3=1.0D-000/H+1
DO J=N1,N,N3
R=J*H
CC=2.0D-000*R*SS
C0=U(J)/DEXP(-SS*R)/SQQ
CW0=C0*CC**GGG
CALL WHI(R,WWW)
CW=U(J)/WWW/SQQ
PRINT 1,R,C0,CW0,CW,I
WRITE(22,1) R,C0,CW0,CW
ENDDO
ELSE
I=N
R=I*H
CC=2.0D-000*R*SS
CALL WHI(R,WWW)
```

```
CW1=U(I)/WWW/SQQ
12 I=I-N2
IF (I<=0) THEN
PRINT *,'NO STABLE ASSIMPTOTIC FW'
STOP
END IF
R=I*H
CC=2.0D-000*R*SS
CALL WHI(R,WWW)
CW=U(I)/WWW/SQQ
IF (ABS(CW1-CW)/ABS(CW)>EP .OR. CW==0.0D-000)
THEN
CW1=CW
GOTO 12
END IF
END IF
CLOSE(22)
1 FORMAT(1X,4(E13.6,2X),3X,I8)
END
FUNCTION F(X)
IMPLICIT REAL(8) (A-Z)
INTEGER L
COMMON /AA/ SKS,L,GK,R,SS,AA,CC
F=X**(AA+L)*(1.0D-000+X/CC)**(L-AA)*DEXP(-X)
END
SUBROUTINE WHI(R,WH)
USE MSIMSL
IMPLICIT REAL(8) (A-Z)
REAL(8) F
EXTERNAL F
COMMON /DD/ SS,AAK,GAM
CC=2.0D-000*R*SS
Z=CC**AAK
CALL DQDAG (F,0.0D-000,25.0D-000,0.0010D-000,0.0010D-
000,1,RES,ER)
WH=RES*DEXP(-CC/2.0D-000)/(Z**GAM)
END
```

SUBROUTINE

**MINIMUM(EP,B1,PN,PV,HC,HH,N3,L,A22,R0,AK1,RCU,G
K,EN,COR,A33,R1)**

IMPLICIT REAL(8) (A-Z)

INTEGER I,N3,L,LL

HK=HH**2

LL=L*(L+1)

IF(PN>PV) THEN

PNN=PV; PV=PN; PN=PNN

ENDIF

H=HC; A=PN ; EP=1.0D-015

1 CONTINUE

CALL

DET(A,GK,N3,A22,R0,L,LL,AK1,RCU,HH,HK,D1,A33,R1)

B=A+H

2 CONTINUE

CALL

DET(B,GK,N3,A22,R0,L,LL,AK1,RCU,HH,HK,D2,A33,R1)

IF (D1*D2>0.0D-000) THEN

B=B+H; D1=D2

IF (B<=PV .AND. B>=PN) GOTO 2

I=0; RETURN; ELSE

A=B-H; H=H*1.0D-001

IF(ABS(D2)<EP .OR. ABS(H)<EP) GOTO 3

B=A+H; GOTO 1

ENDIF

3 I=1; COR=B; D=D2; EN=COR/B1;

END

SUBROUTINE

DET(DK,GK,N,A2,R0,L,LL,AK,RCU,H,HK,DD,A3,R1)

IMPLICIT REAL(8) (A-Z)

INTEGER(4) L,N,II,LL

S1=DSQRT(ABS(DK))

G2=GK/S1

D1=0.0D-000

D=1.0D-000

DO II=1,N

X=II*H

```
XX=X*X
F=A2*DEXP(-XX*R0)+A3*DEXP(-XX*R1)+LL/XX
IF (X>RCU) GOTO 67
F=F+(AK/(2.0D-000*RCU))*(3.0D-000-(X/RCU)**2)
GOTO 66
67 F=F+AK/X
66 IF (II==N) GOTO 111
D2=D1
D1=D
OM=DK*HK-F*HK-2.0D-000
D=OM*D1-D2
ENDDO
111 Z=2.0D-000*X*S1
OM=DK*HK-F*HK-2.0D-000
W=-S1-2.0D-000*S1*G2/Z-2.0D-000*S1*(L-G2)/(Z*Z)
OM=OM+2.0D-000*H*W
DD=OM*D-2.0D-000*D1
END
SUBROUTINE
FUN(U,H,N,A2,R0,AP1,RP1,L,RCU,AK,SKS)
IMPLICIT REAL(8) (A-Z)
DIMENSION U(0:10240000)
INTEGER N,L,K,IFUN,MIN,IFAZ
COMMON /CC/ HK,IFUN,MIN,IFAZ
U(0)=0.0D-000
U(1)=0.1D-000
DO K=1,N-1
X=K*H
XX=X*X
Q1=A2*DEXP(-R0*XX)+AP1*DEXP(-RP1*XX)+L*(L+1)/XX
IF (X>RCU) GOTO 1571
Q1=Q1+(3.0D-000-(X/RCU)**2)*AK/(2.0D-000*RCU)
GOTO 1581
1571 Q1=Q1+AK/X
1581 Q2=-Q1*HK-2.0D-000+SKS*HK
U(K+1)=-Q2*U(K)-U(K-1)
ENDDO
END
```

SUBROUTINE SIMP(V,H,N,S)

IMPLICIT REAL(8) (A-Z)

DIMENSION V(0:10240000)

INTEGER N,II,JJ

A=0.0D-000; B=0.0D-000

A111: DO II=1,N-1,2

B=B+V(II)

ENDDO A111

B111: DO JJ=2,N-2,2

A=A+V(JJ)

END DO B111

S=H*(V(0)+V(N)+2.0D-000*A+4.0D-000*B)/3.0D-000

END

SUBROUTINE CULFUN(LM,R,Q,F,G,W,EP)

IMPLICIT REAL(8) (A-Z)

INTEGER L,K,LL,LM

EP=1.0D-015

L=0

F0=1.0D-000

GK=Q*Q

GR=Q*R

RK=R*R

B01=(L+1)/R+Q/(L+1)

K=1

BK=(2*L+3)*((L+1)*(L+2)+GR)

AK=-R*((L+1)**2+GK)/(L+1)*(L+2)

DK=1.0D-000/BK

DEHK=AK*DK

S=B01+DEHK

15 K=K+1

AK=-RK*((L+K)**2-1.D-000)*((L+K)**2+GK)

BK=(2*L+2*K+1)*((L+K)*(L+K+1)+GR)

DK=1.D-000/(DK*AK+BK)

IF (DK>0.0D-000) GOTO 35

25 F0=-F0

35 DEHK=(BK*DK-1.0D-000)*DEHK

S=S+DEHK

IF (ABS(DEHK)>EP) GOTO 15

FL=S
K=1
RMG=R-Q
LL=L*(L+1)
CK=-GK-LL
DK=Q
GKK=2.0D-000*RMG
HK=2.0D-000
AA1=GKK*GKK+HK*HK
PBK=GKK/AA1
RBK=-HK/AA1
AOMEK=CK*PBK-DK*RBK
EPSK=CK*RBK+DK*PBK
PB=RMG+AOMEK
QB=EPSK
52 K=K+1
CK=-GK-LL+K*(K-1.)
DK=Q*(2.*K-1.)
HK=2.*K
FI=CK*PBK-DK*RBK+GKK
PSI=PBK*DK+RBK*CK+HK
AA2=FI*FI+PSI*PSI
PBK=FI/AA2
RBK=-PSI/AA2
VK=GKK*PBK-HK*RBK
WK=GKK*RBK+HK*PBK
OM=AOMEK
EPK=EPSK
AOMEK=VK*OM-WK*EPK-OM
EPSK=VK*EPK+WK*OM-EPK
PB=PB+AOMEK
QB=QB+EPSK
IF ((ABS(AOMEK)+ABS(EPSK))>EP) GOTO 52
PL=-QB/R
QL=PB/R
G0=(FL-PL)*F0/QL
G0P=(PL*(FL-PL)/QL-QL)*F0
F0P=FL*F0

```
ALFA=1.0D-000/( (ABS(F0P*G0-F0*G0P))**0.5 )
G=ALFA*G0
GP=ALFA*G0P
F=ALFA*F0
FP=ALFA*F0P
W=1.0D-000-FP*G+F*GP
IF (LM==0) GOTO 123
AA=(1.0D-000+Q**2)**0.5
BB=1.0D-000/R+Q
F1=(BB*F-FP)/AA
G1=(BB*G-GP)/AA
WW1=F*G1-F1*G-1.0D-000/(Q**2+1.0D-000)**0.5
IF (LM==1) GOTO 234
DO L=1,LM-1
AA=((L+1)**2+Q**2)**0.5
BB=(L+1)**2/R+Q
CC=(2*L+1)*(Q+L*(L+1)/R)
DD=(L+1)*(L**2+Q**2)**0.5
F2=(CC*F1-DD*F)/L/AA
G2=(CC*G1-DD*G)/L/AA
WW2=F1*G2-F2*G1-(L+1)/(Q**2+(L+1)**2)**0.5
F=F1; G=G1; F1=F2; G1=G2
ENDDO
234 F=F1; G=G1
123 CONTINUE
END
SUBROUTINE
SFAC(EN,EH,NN,NV,NH,B1,EE,H,N,RCU,AK1,Z1,Z2,AM1,
AM2,PM,GK,EP,EP3,U,V,U0,U1,U2,U3,SFACT)
IMPLICIT REAL(8) (A-Z)
INTEGER(4) NN,NV,NH,N,IFUN,MIN,I,IFAZ,JJ,L5S,L3S
CHARACTER*8 SFACT
DIMENSION
EG0(0:1000),EG1(0:1000),EG2(0:1000),EG3(0:1000),ECM(0:10
00),SR5S(0:1000),SR3S1(0:1000),SR3S2(0:1000),SR3S3(0:1000
),S3Z(0:1000),S5Z(0:1000),EL(0:1000),SF(0:1000),F3S(0:1000),
F5S(0:1000),ST(0:1000)
```

```

DIMENSION
V(0:10240000),U1(0:10240000),U(0:10240000),U0(0:10240000)
,EE(0:10),U2(0:10240000),U3(0:10240000)
COMMON /CC/ НК,IFUN,MIN,IFAZ
COMMON /FF/
A5S,R5S,A5S1,R5S1,L5S,L3S,A3S,R3S,A3S1,R3S1
COMMON /EE/ PI
! * * * ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ РАССЕЯНИЯ ФАЗ И
МАТРИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ S-FACTOROV * * * * *
OPEN (1,FILE=SFACT)
WRITE (1,*) ' EL      SF5      SF31      SF32      SF33
ST      SF      F5      F3'
PRINT *, ' EL      SF5      SF31      SF32      SF33
ST      SF      F5      F3'
A1: DO I=NN,NV,NH
EL(I)=EN+I*EH
ECM(I)=EL(I)/AM1*PM
SK=ECM(I)*B1
SS=DSQRT(SK)
G=GK/SS
! ***** ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЧНЫХ ЭЛЕ-
МЕНТОВ E1 - 5S1-->5P *****
AI5S=0.
JJ=1
CALL
ME(JJ,I,G,L5S,N,MIN,IFUN,EP,EP3,A5S,R5S,A5S1,R5S1,AK1
,RCU,H,SS,F5S,AI5S,AI5S,AI5S,U0,U0,U0,U,V)
! ***** ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЧНЫХ ЭЛЕ-
МЕНТОВ E1 - 3S1-->3P *****
AI3S1=0.; AI3S2=0.; AI3S3=0.
JJ=1
CALL
ME(JJ,I,G,L3S,N,MIN,IFUN,EP,EP3,A3S,R3S,A3S1,R3S1,AK1
,RCU,H,SS,F3S,AI3S1,AI3S2,AI3S3,U1,U2,U3,U,V)
! ***** ВЫЧИСЛЕНИЕ СЕЧЕНИЙ
E1,E2,M1 *****
AKP=SS

```

```

BBB=344.447D-000*8.0D-000*PI*PM*2.0D-000/4.0D-
000/2.0D-000/3.0D-000**2
SSS=1.0D-006*ECM(I)*1.0D+003*DEXP(Z1*Z2*31.335D-
000*DSQRT(PM)/DSQRT(ECM(I)*1.0D+003))
EG0(I)=ECM(I)+ABS(EE(0))
AKG0=(EG0(I))/197.331D-000
AME5S=DSQRT(7.0D-000)*PM*AKG0*(Z1/AM1-
Z2/AM2)*AI5S ! HA OC E1
S5Z(I)=BBB*AKG0/AKP**3*AME5S**2
SR5S(I)=S5Z(I)*SSS
EG1(I)=ECM(I)+ABS(EE(1))
AKG1=(EG1(I))/197.331D-000
AME3S1=DSQRT(3.0D-000)*PM*AKG1*(Z1/AM1-
Z2/AM2)*AI3S1
S3Z(I)=BBB*AKG1/AKP**3*AME3S1**2
SR3S1(I)=S3Z(I)*SSS
EG2(I)=ECM(I)+ABS(EE(2))
AKG2=(EG2(I))/197.331D-000
AME3S2=DSQRT(1.0D-000)*PM*AKG2*(Z1/AM1-
Z2/AM2)*AI3S2
S3Z(I)=BBB*AKG2/AKP**3*AME3S2**2
SR3S2(I)=S3Z(I)*SSS
EG3(I)=ECM(I)+ABS(EE(3))
AKG3=(EG3(I))/197.331D-000
AME3S3=DSQRT(3.0D-000)*PM*AKG3*(Z1/AM1-
Z2/AM2)*AI3S3
S3Z(I)=BBB*AKG3/AKP**3*AME3S3**2
SR3S3(I)=S3Z(I)*SSS
ST(I)=SR3S1(I)+SR3S2(I)+SR3S3(I)
SF(I)=SR5S(I)+SR3S1(I)+SR3S2(I)+SR3S3(I)
! ***** ЗАПИСЬ В ФАЙЛ *****
PRINT 2,
EL(I)*1000,SR5S(I),SR3S1(I),SR3S2(I),SR3S3(I),ST(I),SF(I),F5
S(I),F3S(I)
WRITE (1,2)
EL(I)*1000,SR5S(I),SR3S1(I),SR3S2(I),SR3S3(I),ST(I),SF(I),F5
S(I),F3S(I)
ENDDO A1

```

```
CLOSE (1)
2 FORMAT(1X,11(E13.6,1X))
END
SUBROUTINE
ME(JJ,I,G,L,N,MIN,IFUN,EP,EP1,A,R,A1,R1,AK,RC,H,SS,
FA,AMAT1,AMAT2,AMAT3,U1,U2,U3,UR,V)
IMPLICIT REAL(8) (A-Z)
INTEGER(4) L,N,I,MIN,IFUN,II,J,ID,N2,JJ
DIMENSION FA1(0:1000),FA2(0:1000),FA(0:1000)
DIMENSION
V(0:10240000),UR(0:10240000),U1(0:10240000),U2(0:1024000
0),U3(0:10240000)
COMMON /EE/ PI
! ***** ВЫЧИСЛЕНИЕ P1-FUNCTION ДЛЯ M1 *****
N2=4
SK=SS**2
IF (IFUN==0) THEN
CALL FUN(UR,H,N,A,R,A1,R1,L,RC,AK,SK)
ELSE
CALL FUNRK(UR,N,H,L,SK,A,R,A1,R1)
END IF
! ** ВЫЧИСЛЕНИЕ КУЛОНОВСКИХ Р-ФУНКЦИЙ ***
X1=H*SS*(N-N2)
X2=H*SS*N
CALL CULFUN(L,X1,G,F1,G1,W0,EP)
CALL CULFUN(L,X2,G,F2,G2,W0,EP)
! ***** ВЫЧИСЛЕНИЕ Р ФАЗ *****
CALL FAZ(N,F1,F2,G1,G2,UR,FA1,I,XH2)
FA(I)=FA1(I)*180.0D-000/PI
IF (MIN==0) GOTO 556
II=N
138 II=II-N2
IF (II<=4) THEN
PRINT *,'NO DEFINITION S-FAZA'
FA(I)=0.0D-000
GOTO 556
END IF
X1=H*SS*(II-N2)
```

```
X2=H*SS*II
CALL CULFUN(L,X1,G,F1,G1,W0,EP)
CALL CULFUN(L,X2,G,F2,G2,W0,EP)
CALL FAZ(II,F1,F2,G1,G2,UR,FA2,I,XH2)
IF ( ABS ( FA1(I) - FA2(I) ) == 0.D-000 .OR. ABS ( FA1(I) -
FA2(I) ) > ABS(EP1*FA2(I) ) ) THEN
FA1(I)=FA2(I)
GOTO 138
END IF
ID=II
DO J=ID,N
X=H*SS*J
CALL CULFUN(L,X,G,F1,G1,W0,EP)
UR(J)=(F1*DCOS(FA2(I))+G1*DSIN(FA2(I)))
ENDDO
FA(I)=FA2(I)*180.0D-000/PI
556 CONTINUE
! ***** ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЧНЫХ ЭЛЕ-
МЕНТОВ M1 - P1 *****
DO J=0,N
X=H*J
V(J)=UR(J)*X**JJ*U1(J)
ENDDO
CALL SIMP(V,H,N,AM)
AMAT1=AM
DO J=0,N
X=H*J
V(J)=UR(J)*X**JJ*U2(J)
ENDDO
CALL SIMP(V,H,N,AM)
AMAT2=AM
DO J=0,N
X=H*J
V(J)=UR(J)*X**JJ*U3(J)
ENDDO
CALL SIMP(V,H,N,AM)
AMAT3=AM
END
```

```
SUBROUTINE FAZ(N,F1,F2,G1,G2,V,F,I,H2)
IMPLICIT REAL(8) (A-Z)
INTEGER I,J,N,MIN,IFUN,IFAZ
DIMENSION V(0:10240000),F(0:1000)
COMMON /CC/ HK,IFUN,MIN,IFAZ
COMMON /EE/ PI
U1=V(N-4)
U2=V(N)
AF=-((F1*(1-(F2/F1)*(U1/U2)))/(G1*(1-(G2/G1)*(U1/U2))))
FA=DATAN(AF)
IF (ABS(FA)<1.0D-008) THEN
FA=0.0D-000
ENDIF
IF (FA<0.0D-000) THEN
FA=FA+PI
ENDIF
F(I)=FA
H2=(DCOS(FA)*F2+DSIN(FA)*G2)/U2
DO J=0,N
V(J)=V(J)*H2
ENDDO
END
SUBROUTINE FUNRK(V,N,H,L,SK,A22,R00,A1,R1)
IMPLICIT REAL(8) (A-Z)
INTEGER I,N,L
DIMENSION V(0:10240000)
! ***** РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА МЕТО-
ДОМ РУНГЕ - КУТТА ВО ВСЕЙ ОБЛАСТИ ПЕРЕМЕН-
НЫХ *****
VA1=0.0D-000; ! VA1 - ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИИ В НУЛЕ
PA1=1.0D-003 ! PA1 - ЗНАЧЕНИЕ ПРОИЗВОДНОЙ В НУЛЕ
DO I=0,N-1
X=H*I+1.0D-015
CALL RRUN(VB1,PB1,VA1,PA1,H,X,L,SK,A22,R00,A1,R1)
VA1=VB1
PA1=PB1
V(I+1)=VA1
ENDDO
```

END

SUBROUTINE

RRUN(VB1,PB1,VA1,PA1,H,X,L,SK,A,R,A1,R1)

IMPLICIT REAL(8) (A-Z)

INTEGER L

! ***** РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА МЕТО-
ДОМ РУНГЕ - КУТТА НА ОДНОМ ШАГЕ *****

X0=X

Y1=VA1

CALL FA(X0,Y1,FK1,L,SK,A,R,A1,R1)

FK1=FK1*H

FM1=H*PA1

X0=X+H/2.0D-000

Y2=VA1+FM1/2.0D-000

CALL FA(X0,Y2,FK2,L,SK,A,R,A1,R1)

FK2=FK2*H

FM2=H*(PA1+FK1/2.0D-000)

Y3=VA1+FM2/2.0D-000

CALL FA(X0,Y3,FK3,L,SK,A,R,A1,R1)

FK3=FK3*H

FM3=H*(PA1+FK2/2.0D-000)

X0=X+H

Y4=VA1+FM3

CALL FA(X0,Y4,FK4,L,SK,A,R,A1,R1)

FK4=FK4*H

FM4=H*(PA1+FK3)

PB1=PA1+(FK1+2.0D-000*FK2+2.0D-000*FK3+FK4)/6.0D-
000

VB1=VA1+(FM1+2.0D-000*FM2+2.0D-000*FM3+FM4)/6.0D-
000

END

SUBROUTINE FA(X,Y,FF,L,SK,A,R,A1,R1)

IMPLICIT REAL(8) (A-Z)

INTEGER L

COMMON /BB/ A2,R0,AK,RCU

! * ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИИ F(X,Y) В МЕТОДЕ РУНГЕ -
КУТТА *

VC=A*DEXP(-R*X*X)+A1*DEXP(-R1*X*X)


```
IF (X>RCU) GOTO 1
VK=(3.0D-000-(X/RCU)**2)*AK/(2.0D-000*RCU)
GOTO 2
1 VK=AK/X
2 FF=-((SK-VK-VC-L*(L+1))/(X*X))*Y
END
SUBROUTINE
RAD(V,U,N,H,AM1,AM2,AM,Z1,Z2,Z,RM1,RM2,RK1,RK2,
RADD,RM,RZ)
IMPLICIT REAL(8) (A-Z)
INTEGER I,N
CHARACTER*8 RADD
DIMENSION U(0:10240000),V(0:10240000)
OPEN (23,FILE=RADD)
WRITE(23,*) ' SQRT(RM**2) SQRT(RZ**2)'
DO I=0,N
X=I*H
V(I)=X*X*U(I)*U(I)
ENDDO
CALL SIMP(V,H,N,RKV)
RM=AM1/AM*RM1**2+AM2/AM*RM2**2+((AM1*AM2)/A
M**2)*RKV
RZ=Z1/Z*RK1**2+Z2/Z*RK2**2+(((Z1*AM2**2+Z2*AM1**
2)/AM**2)/Z)*RKV
PRINT *,'(RM^2)^1/2= ',DSQRT(RM)
PRINT *,'(RZ^2)^1/2= ',DSQRT(RZ)
WRITE(23,2) DSQRT(RM),DSQRT(RZ)
2 FORMAT(1X,2(E16.8,2X))
CLOSE(23)
END
SUBROUTINE WAVE(U,N,H,FUN)
INTEGER I,N
REAL(8) U,H
CHARACTER*8 FUN
DIMENSION U(0:10240000)
OPEN (24,FILE=FUN)
WRITE(24,*) ' R U'
PRINT *,' R U'
```

```

DO I=0,N
X=H*I
PRINT 2,X,U(I)
WRITE(24,2) X,U(I)
ENDDO
CLOSE(24)
2 FORMAT(1X,2(E16.8,2X))
END
    
```

Приведем результаты контрольного счета по этой программе, если отключить выдачу на экран асимптотических констант, т.е. поставить комментарии у вызова подпрограммы

```
CALL ASSIM(U0,H,N,C0,CW0,CW,N,EP2,AS0D) .
```

В таком случае для интервала энергий $50 \div 500$ кэВ с шагом 5 кэВ и точности поиска энергии связи 1 кэВ выдача будет иметь следующий вид:

| E | N | $DEL-E$ | | |
|--------------------|-------------|-------------------------|-------------|--------|
| -6.585906003925907 | 128000 | -1.826657319980996E-005 | | |
| -6.585901436295207 | 256000 | -4.567630700336167E-006 | | |
| -6.585900294335506 | 512000 | -1.141959701023154E-006 | | |
| -6.585900003296109 | 1024000 | -2.910393970267933E-007 | | |
| -6.585900003296109 | 1024000 | -2.910393970267933E-007 | | |
| R | C_0 | C_{w0} | C_w | |
| .300000E+01 | .309294E+01 | .405990E+01 | .272652E+01 | 518890 |
| .400002E+01 | .287237E+01 | .403144E+01 | .293601E+01 | 518890 |
| .500004E+01 | .259269E+01 | .383286E+01 | .294416E+01 | 518890 |
| .600006E+01 | .239230E+01 | .368991E+01 | .294356E+01 | 518890 |
| .700008E+01 | .224319E+01 | .358628E+01 | .294287E+01 | 518890 |
| .800010E+01 | .212693E+01 | .350775E+01 | .294226E+01 | 518890 |
| .900012E+01 | .203308E+01 | .344615E+01 | .294172E+01 | 518890 |
| .100001E+02 | .195527E+01 | .339653E+01 | .294124E+01 | 518890 |
| .110002E+02 | .188941E+01 | .335573E+01 | .294083E+01 | 518890 |
| .120002E+02 | .183276E+01 | .332169E+01 | .294058E+01 | 518890 |
| .130002E+02 | .178349E+01 | .329317E+01 | .294071E+01 | 518890 |
| .140002E+02 | .174062E+01 | .326993E+01 | .294198E+01 | 518890 |
| .150002E+02 | .170436E+01 | .325363E+01 | .294663E+01 | 518890 |

$$\begin{aligned} (RM^2)^{1/2} &= 2.558827994744726 \\ (RZ^2)^{1/2} &= 2.580476249980481 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc} E & N & DEL-E \\ -5.867550099637504 & 1024000 & -2.910393970267933E-007 \end{array}$$

| R | C ₀ | C _{w0} | C _w | |
|-------------|----------------|-----------------|----------------|--------|
| .300000E+01 | .291632E+01 | .383549E+01 | .254477E+01 | 402510 |
| .400002E+01 | .269432E+01 | .380397E+01 | .274138E+01 | 402510 |
| .500004E+01 | .242143E+01 | .361205E+01 | .274900E+01 | 402510 |
| .600006E+01 | .222640E+01 | .347383E+01 | .274841E+01 | 402510 |
| .700008E+01 | .208149E+01 | .337354E+01 | .274778E+01 | 402510 |
| .800010E+01 | .196871E+01 | .329754E+01 | .274727E+01 | 402510 |
| .900012E+01 | .187790E+01 | .323812E+01 | .274702E+01 | 402510 |
| .100001E+02 | .180309E+01 | .319093E+01 | .274739E+01 | 402510 |
| .110002E+02 | .174091E+01 | .315416E+01 | .274949E+01 | 402510 |

$$\begin{aligned} (RM^2)^{1/2} &= 2.564050898140670 \\ (RZ^2)^{1/2} &= 2.590198493346619 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc} E & N & DEL-E \\ -4.845700076375899 & 1024000 & -2.910393970267933E-007 \end{array}$$

| R | C ₀ | C _{w0} | C _w | |
|-------------|----------------|-----------------|----------------|--------|
| .300000E+01 | .266831E+01 | .351475E+01 | .228788E+01 | 447790 |
| .400002E+01 | .244357E+01 | .348001E+01 | .246616E+01 | 447790 |
| .500004E+01 | .217989E+01 | .329824E+01 | .247302E+01 | 447790 |
| .600006E+01 | .199222E+01 | .316713E+01 | .247243E+01 | 447790 |
| .700008E+01 | .185307E+01 | .307174E+01 | .247178E+01 | 447790 |
| .800010E+01 | .174495E+01 | .299922E+01 | .247117E+01 | 447790 |
| .900012E+01 | .165790E+01 | .294213E+01 | .247056E+01 | 447790 |
| .100001E+02 | .158584E+01 | .289586E+01 | .246985E+01 | 447790 |
| .110002E+02 | .152473E+01 | .285720E+01 | .246879E+01 | 447790 |
| .120002E+02 | .147156E+01 | .282344E+01 | .246668E+01 | 447790 |
| .130002E+02 | .142352E+01 | .279122E+01 | .246175E+01 | 447790 |

$$\begin{aligned} (RM^2)^{1/2} &= 2.572982607735848 \\ (RZ^2)^{1/2} &= 2.606786079456679 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc} E & N & DEL-E \\ -4.431600201068203 & 1024000 & -2.910393970267933E-007 \end{array}$$

| R | C ₀ | C _{w0} | C _w | |
|-------------|----------------|-----------------|----------------|--------|
| .300000E+01 | .256885E+01 | .338345E+01 | .218410E+01 | 468460 |
| .400002E+01 | .234266E+01 | .334792E+01 | .235494E+01 | 468460 |
| .500004E+01 | .208251E+01 | .317063E+01 | .236148E+01 | 468460 |
| .600006E+01 | .189770E+01 | .304263E+01 | .236091E+01 | 468460 |
| .700008E+01 | .176084E+01 | .294941E+01 | .236028E+01 | 468460 |
| .800010E+01 | .165463E+01 | .287851E+01 | .235973E+01 | 468460 |
| .900012E+01 | .156927E+01 | .282278E+01 | .235928E+01 | 468460 |
| .100001E+02 | .149883E+01 | .277788E+01 | .235896E+01 | 468460 |
| .110002E+02 | .143957E+01 | .274117E+01 | .235894E+01 | 468460 |
| .120002E+02 | .138910E+01 | .271117E+01 | .235961E+01 | 468460 |
| .130002E+02 | .134616E+01 | .268771E+01 | .236199E+01 | 468460 |

$$(RM^{\wedge}2)^{\wedge}1/2= 2.577274333966371$$

$$(RZ^{\wedge}2)^{\wedge}1/2= 2.614739448355708$$

| EL | SF5 | SF31 | SF32 | SF33 | ST |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| SF | F5 | F3 | | | |
| .500000E+02 | .814829E+00 | .634629E-01 | .545323E-01 | .204498E+00 | .322494E |
| +00 .113732E+01 | .180000E+03 | .343011E-03 | | | |
| .550000E+02 | .810406E+00 | .641682E-01 | .552977E-01 | .207474E+00 | .326939E |
| +00 .113735E+01 | .180000E+03 | .792144E-03 | | | |
| .600000E+02 | .806459E+00 | .649604E-01 | .561433E-01 | .210753E+00 | .331857E |
| +00 .113832E+01 | .180000E+03 | .164702E-02 | | | |
| .650000E+02 | .802892E+00 | .658371E-01 | .570673E-01 | .214331E+00 | .337235E |
| +00 .114013E+01 | .180000E+03 | .314751E-02 | | | |
| .700000E+02 | .799541E+00 | .667916E-01 | .580649E-01 | .218189E+00 | .343045E |
| +00 .114259E+01 | .179999E+03 | .560980E-02 | | | |
| .750000E+02 | .796533E+00 | .678418E-01 | .591521E-01 | .222389E+00 | .349383E |
| +00 .114592E+01 | .179999E+03 | .945095E-02 | | | |
| .800000E+02 | .793737E+00 | .689844E-01 | .603274E-01 | .226924E+00 | .356236E |
| +00 .114997E+01 | .179998E+03 | .151762E-01 | | | |
| .850000E+02 | .791117E+00 | .702233E-01 | .615947E-01 | .231811E+00 | .363629E |
| +00 .115475E+01 | .179998E+03 | .233962E-01 | | | |
| .900000E+02 | .788649E+00 | .715633E-01 | .629589E-01 | .237068E+00 | .371591E |
| +00 .116024E+01 | .179997E+03 | .348296E-01 | | | |
| .950000E+02 | .786310E+00 | .730136E-01 | .644294E-01 | .242732E+00 | .380175E |
| +00 .116649E+01 | .179996E+03 | .503086E-01 | | | |
| .100000E+03 | .783988E+00 | .745701E-01 | .660033E-01 | .248792E+00 | .389365E |
| +00 .117335E+01 | .179994E+03 | .707318E-01 | | | |
| .105000E+03 | .781859E+00 | .762624E-01 | .677080E-01 | .255352E+00 | .399322E |
| +00 .118118E+01 | .179992E+03 | .972484E-01 | | | |
| .110000E+03 | .779818E+00 | .780931E-01 | .695471E-01 | .262426E+00 | .410067E |
| +00 .118988E+01 | .179990E+03 | .131020E+00 | | | |
| .115000E+03 | .777854E+00 | .800726E-01 | .715312E-01 | .270056E+00 | .421660E |
| +00 .119951E+01 | .179987E+03 | .173373E+00 | | | |
| .120000E+03 | .775960E+00 | .822124E-01 | .736718E-01 | .278285E+00 | .434170E |
| +00 .121013E+01 | .179984E+03 | .225769E+00 | | | |
| .125000E+03 | .774026E+00 | .845165E-01 | .759741E-01 | .287136E+00 | .447626E |

+00 .122165E+01 .179980E+03 .289659E+00
 .130000E+03 .772251E+00 .870257E-01 .784767E-01 .296753E+00 .462255E
 +00 .123451E+01 .179976E+03 .367115E+00
 .135000E+03 .770529E+00 .897490E-01 .811896E-01 .307177E+00 .478116E
 +00 .124865E+01 .179971E+03 .459962E+00
 .140000E+03 .768857E+00 .927058E-01 .841325E-01 .318484E+00 .495322E
 +00 .126418E+01 .179966E+03 .570336E+00
 .145000E+03 .767230E+00 .959175E-01 .873269E-01 .330756E+00 .514000E
 +00 .128123E+01 .179960E+03 .700578E+00
 .150000E+03 .765539E+00 .993964E-01 .907871E-01 .344049E+00 .534232E
 +00 .129977E+01 .179953E+03 .852864E+00
 .155000E+03 .763997E+00 .103208E+00 .945754E-01 .358602E+00 .556385E
 +00 .132038E+01 .179946E+03 .103085E+01
 .160000E+03 .762493E+00 .107366E+00 .987076E-01 .374476E+00 .580549E
 +00 .134304E+01 .179939E+03 .123728E+01
 .165000E+03 .761028E+00 .111915E+00 .103229E+00 .391846E+00 .606990E
 +00 .136802E+01 .179931E+03 .147572E+01
 .170000E+03 .759600E+00 .116894E+00 .108179E+00 .410864E+00 .635938E
 +00 .139554E+01 .179922E+03 .174999E+01
 .175000E+03 .758207E+00 .122362E+00 .113617E+00 .431756E+00 .667735E
 +00 .142594E+01 .179913E+03 .206450E+01
 .180000E+03 .756733E+00 .128343E+00 .119571E+00 .454638E+00 .702553E
 +00 .145929E+01 .179903E+03 .242300E+01
 .185000E+03 .755408E+00 .134958E+00 .126159E+00 .479954E+00 .741071E
 +00 .149648E+01 .179892E+03 .283287E+01
 .190000E+03 .754116E+00 .142265E+00 .133442E+00 .507947E+00 .783654E
 +00 .153777E+01 .179882E+03 .329944E+01
 .195000E+03 .752856E+00 .150349E+00 .141507E+00 .538952E+00 .830808E
 +00 .158366E+01 .179871E+03 .382958E+01
 .200000E+03 .751628E+00 .159306E+00 .150452E+00 .573349E+00 .883107E
 +00 .163474E+01 .179859E+03 .443104E+01
 .205000E+03 .750310E+00 .169220E+00 .160369E+00 .611491E+00 .941080E
 +00 .169139E+01 .179846E+03 .511094E+01
 .210000E+03 .749144E+00 .180304E+00 .171470E+00 .654194E+00 .100597E
 +01 .175511E+01 .179834E+03 .588321E+01
 .215000E+03 .748007E+00 .192663E+00 .183867E+00 .701893E+00 .107842E
 +01 .182643E+01 .179821E+03 .675746E+01
 .220000E+03 .746901E+00 .206488E+00 .197756E+00 .755352E+00 .115960E
 +01 .190650E+01 .179808E+03 .774742E+01
 .225000E+03 .745817E+00 .221952E+00 .213322E+00 .815281E+00 .125056E
 +01 .199637E+01 .179795E+03 .886767E+01
 .230000E+03 .744766E+00 .239298E+00 .230817E+00 .882656E+00 .135277E
 +01 .209754E+01 .179781E+03 .101366E+02
 .235000E+03 .743641E+00 .258677E+00 .250408E+00 .958137E+00 .146722E
 +01 .221086E+01 .179767E+03 .115703E+02
 .240000E+03 .742637E+00 .280447E+00 .272466E+00 .104315E+01 .159606E
 +01 .233870E+01 .179752E+03 .131969E+02
 .245000E+03 .741672E+00 .304822E+00 .297228E+00 .113863E+01 .174068E
 +01 .248235E+01 .179738E+03 .150409E+02
 .250000E+03 .740733E+00 .331988E+00 .324906E+00 .124540E+01 .190229E
 +01 .264302E+01 .179724E+03 .171298E+02
 .255000E+03 .739803E+00 .362043E+00 .355630E+00 .136398E+01 .208165E

.01 .282145E+01 .179709E+03 .194930E+02
.260000E+03 .738829E+00 .394931E+00 .389379E+00 .149431E+01 .227862E
+01 .301745E+01 .179694E+03 .221616E+02
.265000E+03 .737948E+00 .430530E+00 .426067E+00 .163609E+01 .249269E
+01 .323064E+01 .179679E+03 .251751E+02
.270000E+03 .737111E+00 .468205E+00 .465099E+00 .178706E+01 .272036E
+01 .345747E+01 .179665E+03 .285645E+02
.275000E+03 .736298E+00 .506790E+00 .505341E+00 .194286E+01 .295499E
+01 .369129E+01 .179650E+03 .323528E+02
.280000E+03 .735484E+00 .544470E+00 .544987E+00 .209656E+01 .318602E
+01 .392150E+01 .179635E+03 .365492E+02
.285000E+03 .734716E+00 .578893E+00 .581674E+00 .223907E+01 .339963E
+01 .413435E+01 .179621E+03 .411555E+02
.290000E+03 .733900E+00 .606905E+00 .612184E+00 .235796E+01 .357705E
+01 .431095E+01 .179606E+03 .461284E+02
.295000E+03 .733151E+00 .625548E+00 .633449E+00 .244137E+01 .370037E
+01 .443352E+01 .179591E+03 .514172E+02
.300000E+03 .732449E+00 .632119E+00 .642618E+00 .247825E+01 .375299E
+01 .448544E+01 .179578E+03 .569297E+02
.305000E+03 .731767E+00 .625111E+00 .638008E+00 .246201E+01 .372513E
+01 .445689E+01 .179564E+03 .625418E+02
.310000E+03 .731076E+00 .604745E+00 .619677E+00 .239277E+01 .361719E
+01 .434827E+01 .179550E+03 .681164E+02
.315000E+03 .730371E+00 .572939E+00 .589440E+00 .227745E+01 .343983E
+01 .417020E+01 .179536E+03 .735275E+02
.320000E+03 .729718E+00 .532811E+00 .550368E+00 .212783E+01 .321101E
+01 .394073E+01 .179522E+03 .786750E+02
.325000E+03 .729110E+00 .487813E+00 .505937E+00 .195729E+01 .295104E
+01 .368015E+01 .179509E+03 .834811E+02
.330000E+03 .728519E+00 .441180E+00 .459445E+00 .177857E+01 .267919E
+01 .340771E+01 .179496E+03 .878939E+02
.335000E+03 .727915E+00 .395467E+00 .413536E+00 .160187E+01 .241088E
+01 .313879E+01 .179483E+03 .918911E+02
.340000E+03 .727304E+00 .352359E+00 .369988E+00 .143411E+01 .215646E
+01 .288376E+01 .179471E+03 .954800E+02
.345000E+03 .726760E+00 .312792E+00 .329815E+00 .127922E+01 .192183E
+01 .264859E+01 .179459E+03 .986884E+02
.350000E+03 .726201E+00 .277220E+00 .293537E+00 .113925E+01 .171001E
+01 .243621E+01 .179447E+03 .101535E+03
.355000E+03 .725685E+00 .245623E+00 .261184E+00 .101435E+01 .152116E
+01 .224684E+01 .179436E+03 .104059E+03
.360000E+03 .725152E+00 .217834E+00 .232624E+00 .904023E+00 .135448E
+01 .207963E+01 .179424E+03 .106288E+03
.365000E+03 .724661E+00 .193493E+00 .207519E+00 .806993E+00 .120801E
+01 .193267E+01 .179414E+03 .108259E+03
.370000E+03 .724138E+00 .172260E+00 .185548E+00 .722031E+00 .107984E
+01 .180398E+01 .179403E+03 .109996E+03
.375000E+03 .723641E+00 .153741E+00 .166322E+00 .647648E+00 .967711E
+00 .169135E+01 .179392E+03 .111531E+03
.380000E+03 .723184E+00 .137577E+00 .149490E+00 .582494E+00 .869561E
+00 .159275E+01 .179383E+03 .112889E+03
.385000E+03 .722736E+00 .123461E+00 .134746E+00 .525397E+00 .783605E

+00 .150634E+01 .179375E+03 .114088E+03
 .390000E+03 .722270E+00 .111119E+00 .121816E+00 .475301E+00 .708236E
 +00 .143051E+01 .179365E+03 .115145E+03
 .395000E+03 .721801E+00 .100296E+00 .110445E+00 .431227E+00 .641968E
 +00 .136377E+01 .179356E+03 .116078E+03
 .400000E+03 .721380E+00 .907741E-01 .100413E+00 .392323E+00 .583510E
 +00 .130489E+01 .179349E+03 .116904E+03
 .405000E+03 .720940E+00 .823852E-01 .915485E-01 .357934E+00 .531868E
 +00 .125281E+01 .179340E+03 .117630E+03
 .410000E+03 .720533E+00 .749647E-01 .836855E-01 .327416E+00 .486066E
 +00 .120660E+01 .179333E+03 .118271E+03
 .415000E+03 .720107E+00 .683895E-01 .766985E-01 .300287E+00 .445375E
 +00 .116548E+01 .179325E+03 .118833E+03
 .420000E+03 .719713E+00 .625399E-01 .704655E-01 .276076E+00 .409081E
 +00 .112879E+01 .179319E+03 .119327E+03
 .425000E+03 .719291E+00 .573273E-01 .648959E-01 .254432E+00 .376655E
 +00 .109595E+01 .179313E+03 .119758E+03
 .430000E+03 .718883E+00 .526661E-01 .599014E-01 .235015E+00 .347583E
 +00 .106647E+01 .179307E+03 .120133E+03
 .435000E+03 .718504E+00 .484849E-01 .554089E-01 .217543E+00 .321436E
 +00 .103994E+01 .179302E+03 .120458E+03
 .440000E+03 .718129E+00 .447264E-01 .513595E-01 .201787E+00 .297873E
 +00 .101600E+01 .179297E+03 .120738E+03
 .445000E+03 .717735E+00 .413411E-01 .477019E-01 .187550E+00 .276593E
 +00 .994328E+00 .179291E+03 .120976E+03
 .450000E+03 .717337E+00 .382825E-01 .443884E-01 .174647E+00 .257318E
 +00 .974655E+00 .179287E+03 .121176E+03
 .455000E+03 .716951E+00 .355127E-01 .413793E-01 .162925E+00 .239817E
 +00 .956767E+00 .179282E+03 .121342E+03
 .460000E+03 .716589E+00 .329975E-01 .386392E-01 .152246E+00 .223883E
 +00 .940471E+00 .179279E+03 .121478E+03
 .465000E+03 .716228E+00 .307095E-01 .361398E-01 .142501E+00 .209351E
 +00 .925579E+00 .179277E+03 .121586E+03
 .470000E+03 .715849E+00 .286251E-01 .338563E-01 .133595E+00 .196076E
 +00 .911925E+00 .179273E+03 .121666E+03
 .475000E+03 .715492E+00 .267201E-01 .317636E-01 .125429E+00 .183913E
 +00 .899404E+00 .179271E+03 .121724E+03
 .480000E+03 .715109E+00 .249773E-01 .298438E-01 .117935E+00 .172756E
 +00 .887865E+00 .179269E+03 .121760E+03
 .485000E+03 .714735E+00 .233795E-01 .280786E-01 .111041E+00 .162499E
 +00 .877235E+00 .179265E+03 .121775E+03
 .490000E+03 .714380E+00 .219110E-01 .264518E-01 .104686E+00 .153049E
 +00 .867429E+00 .179265E+03 .121773E+03
 .495000E+03 .714025E+00 .205598E-01 .249507E-01 .988186E-01 .144329E
 +00 .858354E+00 .179264E+03 .121754E+03
 .500000E+03 .713653E+00 .193151E-01 .235638E-01 .933960E-01 .136275E
 +00 .849928E+00 .179262E+03 .121717E+03

Вначале приводится энергия уровня, затем, АК и зарядо-
вый радиус для каждого уровня. После этого дается вывод

астрофизических S - факторов для перехода из 5S_2 - волны рассеяния на ОС и из 3S_1 - волны 1-й, 2-й и 3-й возбужденные уровни, а затем приводятся их суммы.