

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

P10-85-217

В.М.Горожанкин, Л.Л.Капустина,* В.Б.Бруданин,
Ц.Вылов, Н.А.Головков, В.В.Пилюгин,* Б.А.Шукин*

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ И АНАЛИЗА
СХЕМ РАСПАДА РАДИОНУКЛИДОВ
(ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ
И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ)**

* Московский инженерно-физический институт

1985

ВВЕДЕНИЕ

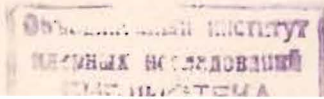
В настоящей работе дается описание принципов организации автоматизированной системы для построения и анализа схем распада радионуклидов. Предлагаемая система расширяет возможности существующей в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ системы сбора, обработки и анализа спектрометрической информации, общая организация которой описана в ¹. Необходимые для работы рассматриваемой системы исходные данные задаются в виде файлов. Для их подготовки могут быть использованы как оригинальные данные экспериментатора, так и/или информация из банков данных. Вопросы создания банков ядерно-спектроскопической информации рассмотрены в ².

Построение схем распада заключается в том, чтобы на основании экспериментальных данных о свойствах излучений получить сведения о каналах, по которым идет процесс распада, об энергиях и квантовых характеристиках уровней дочернего ядра, о вероятностях заселения уровней и вероятностях переходов и т.п.^{3/}

Автоматизация процесса построения схем распада радионуклидов является важным фактором ускорения ядерно-спектрометрического эксперимента. Заметим, однако, что полная автоматизация этого процесса в настоящее время представляется нереальной в связи с отсутствием формальных алгоритмов решения задачи построения схемы распада. Создание таких алгоритмов, в свою очередь, затруднено тем, что: экспериментальные данные, как правило, не являются полными, определены с погрешностями; модельные представления об атомных ядрах также не дают однозначных указаний о месте расположения того или иного уровня или перехода в схеме распада; возможны случаи многократных /по крайней мере, двойных/ размещений и т.п.^{3/}. Поэтому физику-экспериментатору часто приходится при введении новых уровней или при размещении переходов опираться на косвенные указания, следующие, например, из систематики, а иногда и просто на свой опыт и интуицию. Творческое участие человека в этом процессе позволяет существенно уменьшить перебор вариантов и направить решение задачи по наиболее оптимальному пути.

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ

В основу организации предлагаемой автоматизированной системы положен реализуемый в форме диалога принцип ведущей роли физика-



экспериментатора как в управлении процессом построения, так и в принятии решения на любом из этапов.

Как правило, при наличии нескольких хорошо установленных уровней имеется возможность начать построение схемы распада с задания энергий "опорных уровней". Допустим и случай единственного "опорного уровня" - основного состояния ядра, соответствующего нулевой энергии возбуждения.

В качестве основного этапа, повторяющегося в процессе построения схемы, было выбрано последовательное дополнение схемы распада фрагментами, апробированными с точки зрения выполнения правил отбора. На каждом этапе выполняются следующие операции:

- поиск кандидатов в уровни и построение на их основе дополнения схемы распада;
- проверка выполнения правил отбора и проведение необходимой коррекции фрагмента;
- оценка достоверности фрагмента;
- определение текущих схемных параметров /характеристик/ построенного фрагмента.

Структурно каждая из перечисленных операций представляет собой набор процедур, доступ к любой из которых открывается при обращении к операции. Выбор процедуры осуществляется физиком-экспериментатором. В случае необходимости набор процедур в каждой операции может быть расширен в рамках предлагаемой системы при наличии соответствующих алгоритмов и программ.

Результат выполнения этапа - дополнение схемы - запоминается для дальнейшего использования.

Полный процесс построения схемы распада организован в виде бинарного дерева, ветвью которого является цепочка последовательно выполняемых этапов. Система предусматривает возможность возвращения к любому из предыдущих этапов и развития от него другой ветви построения, что позволяет разрабатывать несколько вариантов схемы распада.

ПОИСК КАНДИДАТОВ В УРОВНИ И ПОСТРОЕНИЕ ДОПОЛНЕНИЯ К СХЕМЕ РАСПАДА

При поиске кандидатов в уровни основное место занимают экспериментальные сведения об энергиях переходов, совпадениях между ними и энергиях ранее известных уровней. К настоящему времени разработано множество алгоритмов получения значений энергий возбужденных состояний из экспериментальных данных⁴⁻⁷.

В рассматриваемой системе предусмотрены три возможности поиска кандидатов в уровни. Прежде всего, это - непосредственное задание значения его энергии, что осуществимо при наличии соответствующей информации, например, из альфа-распада или ядерных реакций.

Вторая возможность состоит в использовании данных о $\gamma\gamma$ -или γe -совпадениях, что позволяет выделить цепочки последовательных гамма-переходов^{3,4}. Имеющаяся в системе процедура сравнивает значения схемных коэффициентов для совпадений /рассчитываемых по алгоритму, близкому к описанному в⁸/ с экспериментальными отношениями $I_{\gamma\gamma}/I_{\gamma}$ или $I_{\gamma e}/I_{\gamma}$ /здесь $I_{\gamma\gamma}$ и $I_{\gamma e}$ - интенсивности γ -квантов, наблюдаемые в $\gamma\gamma$ - и γe -совпадениях, соответственно, а I_{γ} - интенсивность тех же γ -квантов в одиночном спектре/. При совпадении указанных величин в пределах погрешности эксперимента процедура рассчитывает энергии кандидатов в уровни.

И, наконец, в тех случаях, когда имеются сведения только об энергиях гамма-переходов, применяются комбинаторные методы кратных сумм и разностей^{3,6}. Реализованная в системе процедура осуществляет последовательное суммирование энергии перехода, выбранного экспериментатором, с энергиями всех известных к данному моменту уровней, начиная с нулевого. Полученные значения сумм и рассматриваются как кандидаты в уровни.

Затем для всех найденных кандидатов в уровни EL_n образуется список возможных переходов на уровни EL_i уже имеющейся схемы. Энергии возможных переходов $|EL_n - EL_i|$ сопоставляются с экспериментальными значениями энергий переходов EG_k , и выбирается для размещения в схеме то EG_k , для которого величина

$$K_{ni}^k = \frac{||EL_n - EL_i| - EG_k|}{\sqrt{(\Delta EL_n)^2 + (\Delta EL_i)^2 + (\Delta EG_k)^2}}$$

является наименьшей. Здесь ΔEL_n , ΔEL_i и ΔEG_k - погрешности значений EL_n , EL_i и EG_k соответственно. Полученное значение далее сравнивается со значениями K_{min} /обычно $K_{min} = 1/$ и K_{max} , задаваемыми экспериментатором предварительно. Размещение перехода считается:

- "реальным" /несомненным/, если $K_{ni}^k \leq K_{min}$;
- "сомнительным", если $K_{min} < K_{ni}^k \leq K_{max}$.

Для переходов с $K_{ni}^k > K_{max}$ размещение не производится.

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАВИЛ ОТБОРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДОВ, РАЗМЕЩЕННЫХ В СХЕМЕ РАСПАДА

Поскольку размещение переходов при построении дополнения проводится лишь на основании энергетических соображений, необходима проверка выполнения правил отбора, целью которой является выявление случаев размещения переходов EG_k в схеме с нарушением одного из следующих условий:

а/ выполнение закона сохранения момента количества движения $\max ||J_i - L_{ni}|| \leq \min ||J_i + L_{ni}||$, здесь J_i - значение спина

уровня EL_i , L_{ni} - значение момента количества движения, унитарного соответствующим гамма-квантом;

б/ выполнение закона сохранения четности $\text{sgn} \{ \pi_n \}_i = \text{const}$, здесь $\{ \pi_n \}_i$ - четность уровня EL_n , вытекающая из связи его с четностью π_i уровня EL_i . Для гамма-переходов мультипольности L_{ni} имеем

$$\{ \pi_n \}_i = (-1)^{L_{ni}} \cdot \pi_i \quad \text{для электрических переходов и}$$

$$\{ \pi_n \}_i = (-1)^{L_{ni}+1} \cdot \pi_i \quad \text{для магнитных переходов;}$$

в/ в отсутствие изомерных состояний нормировка вероятностей различных каналов распада приводит к нулевому значению вероятности завершения распада на любом из промежуточных уровней дочернего ядра, что выражается в виде условия "баланса интенсивностей" уровня $\sum_{l>i} I_{li} = \sum_{j<i} I_{ij}$. Здесь I_{li} и I_{ij} - интенсивности переходов с уровнями EL_l и EL_i на уровни EL_i и EL_j , соответственно. В процессе построения схемы распада проверяется выполнение менее жесткого условия для любого из уровней EL_i фрагмента: $\sum_{l>i} I_{li} \leq \sum_{j<i} I_{ij}$.

При выполнении указанных условий для данного кандидата проводится уточнение его энергии по всем "реальным" переходам, идущим с него, и пересчитываются значения K_{ni}^k для всех переходов с данного уровня.

Для корректировки фрагмента система предоставляет в распоряжение экспериментатора набор процедур, включающий:

- перевод перехода из разряда "сомнительных" в "реальные" /при этом можно выбрать значение K_{min} , отличное от использовавшегося ранее/;

- удаление перехода из фрагмента;
- удаление введенного на данном этапе уровня.

Следует отметить, что при этом нельзя удалять уровни, введенные на более ранних этапах построения, так как часть логических рассуждений в процессе построения могла быть основана на существовании этих уровней. Поэтому удалить их можно, лишь вернувшись к тому этапу, на котором они были введены.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДОСТОВЕРНОСТИ СХЕМЫ РАСПАДА

Количественная оценка степени достоверности схемы распада относится к числу плохо формулируемых операций, поскольку экспериментальные данные, на которых может базироваться формирование схемы, разнородны по характеру /энергии и интенсивности α -, β -, и γ -переходов, сведения о совпадениях, мультипольности гамма-переходов, данные ядерных реакций и т.д./ . Поэтому оценка степени достоверности схемы распада остается пока ка-

чественной и в большинстве случаев основывается на опыте и интуиции самого физика-экспериментатора.

Тем не менее, экспериментатору для проведения субъективной оценки степени достоверности фрагмента схемы или в целом схемы распада могут оказаться полезными вспомогательные количественные оценки, например, оценки χ^2 -критерия согласия для энергетических характеристик, вероятности случайного введения уровня при использовании комбинаторного метода [3] и т.п. Разработка алгоритмов для проведения таких оценок, а также принципов объединения этих оценок может привести к решению задачи количественной оценки достоверности схемы распада в целом.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКУЩИХ СХЕМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРАГМЕНТА СХЕМЫ РАСПАДА

Заключительная операция этапа состоит в оценке схемных характеристик на основе всех данных о схеме распада, которые имеются к текущему моменту. Отметим, что текущие значения параметров /энергия, спин, четность/ уровней на отдельных этапах должна представлять собой "сходящуюся" последовательность.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ

В систему включен ряд вспомогательных процедур, выполняющих следующие функции:

- просмотр перечня операций и перечня процедур в рамках выбранной операции с кодами обращения к ним;
- просмотр экспериментальных данных;
- просмотр построенного варианта схемы распада;
- визуализация произвольного фрагмента схемы распада;
- просмотр "дерева" /совокупности "ветвей"/ выполненного процесса построения схемы распада и возможность обращения к любому из этапов;
- получение "твердых копий" схемы распада и протоколов процедур, выполненных при ее построении;
- временное прекращение работы с записью текущего состояния памяти ЭВМ на носитель и возобновление работы в дальнейшем с этого момента без потери информации.

В системе широко используются средства машинной графики для наглядного и привычного экспериментаторам представления схемы распада.

Управление системой осуществляется физиком-экспериментатором с помощью диалогового диспетчера, который позволяет ему обратиться к любой из процедур. Окончание процедуры автоматически возвращает управление системой диспетчеру.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ

Важным этапом осмысления результатов и получения физических следствий из экспериментального материала является сравнение параметров построенной схемы распада с результатами расчетов по тем или иным моделям ядер. В этом плане предлагаемая автоматизированная система построения схем распада может быть выделена в автономную подсистему, выполняющую функции построения схемы в общей системе анализа ядерно-спектроскопической информации, включающей также подсистемы модельных расчетов, сравнения и анализа экспериментальных и расчетных результатов и т.п.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность В.Н.Покровскому за помощь, полезные обсуждения и критические замечания при подготовке рукописи к печати.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фруданин В.Б. и др. ОИЯИ, 6-82-23, Дубна, 1982.
2. Богомолова Е.С. и др. ОИЯИ, 10-82-158, Дубна, 1982.
3. Дзепелов Б.С. Методы разработки сложных схем распада. "Наука", Л., 1974.
4. Hons Z. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 161, p.299.
5. Backlin A. Nucl.Instr. and Meth., 1967, 53, p.177.
6. Калмыкова Л.А., Бурмистров В.Г. ОИЯИ, 10-9803, Дубна, 1976.
7. Johnson Z.V., Kennett T.I. Nucl.Instr. and Meth., 1970, 87, p.109.
8. Будзяк А.В. и др. ОИЯИ, Р6-80-668, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 марта 1985 года.

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.