

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968

Атомная Энергия

Ежемесячный журнал
год издания двенадцатый

Том 25 ■ Октябрь ■ Вып. 4

Главный редактор
М. Д. МИЛЛИОНИЧКОВ

Заместители главного
редактора:
Н. А. ВЛАСОВ, И. А. КОЛОКОЛЬЦОВ

Редакционная коллегия:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, И. Н. ГОЛОВИН,
Н. А. ДОЛЖЕКАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, А. К. КРАСИН,
А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, Н. Н. ПАЛЕЙ,
Д. Л. СИМОНЕЦКО, В. И. СМИРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО.

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

- В. Б. Осипов, Р. В. Джагаппанин, А. С. Штань,
В. М. Симонов, С. В. Мамиконян, Л. Д. Солодихина,
Д. П. Бодров, С. В. Голубков, Ю. Г. Лискин.
Радиационный сульфохлоратор РС-2,5 271
Г. Н. Баласанов, Д. Я. Суражский, Б. А. Чумаченко,
А. А. Деригин, Е. П. Власов. Использование ма-
тематических методов при поисках месторождений
урана 274
А. А. Шолохов, В. Е. Минанин. Теплообмен при про-
дольном течении жидкости в пучках стержней 280
Б. Н. Селиверстов, А. И. Ефанов, Ю. М. Быков,
П. А. Гаврилов, Л. В. Константинов. Некоторые
вопросы приложения статистических методов
к задачам оперативного исследования кинетиче-
ских характеристик реакторов 287
В. И. Голубев, Н. Д. Голяев, А. В. Звонарев, М. Н. Зи-
зин, Ю. Ф. Колеганов, М. Н. Николаев, М. Ю. Ор-
лов. Распространение нейтронов в двуокиси
урана
Часть I. Пространственно-энергетические распре-
деления 292
Л. П. Абагян, В. И. Голубев, Н. Д. Голяев, А. В. Зво-
нарев, Ю. Ф. Колеганов, М. Н. Николаев,
М. Ю. Орлов. Распространение нейтронов в дву-
окиси урана
Часть II. Допплер-эффект на U^{235} 297
А. И. Громова, И. К. Моро佐ва, В. В. Герасимов. Влия-
ние облучения на электрохимическое поведение
конструкционных материалов 302
Р. А. Беляев, Ю. И. Данилов, С. А. Фураев. Корро-
зия длинномерных изделий из окиси бериллия
в газовых влагосодержащих потоках 305
А. Ф. Настоящий. О функции распределения электро-
нов в неоднородной слабоионизированной плазме 308

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

- Р. В. Джагаппанин, В. Б. Осипов, Л. Д. Солодихина,
Ю. Г. Лискин, А. И. Гершенович. Опыт эксплуата-
ции радиационно-химического сульфохлоратора
РС-2,5 314
В. Б. Осипов, Л. Д. Солодихина, Д. П. Бодров,
В. М. Симонов, Р. В. Джагаппанин. Применение
кассет сферической формы для создания протяжен-
ных облучателей опытно-промышленных и промыш-
ленных радиационно-химических установок 315
Э. И. Кузнецов. Время жизни заряженных частиц в
в плазме на установке «Токамак ТМ-3» 315
Н. С. Мартынова, И. В. Василькова, М. П. Сусарев,
С. С. Толкачев. Термографическое и рентгено-
структурное изучение системы $UCl_4 - KCl - NaCl$ 316
В. Ф. Баранов, О. А. Павловский. О прохождении
электронов через вещество 317
П. П. Зольников, Е. Г. Голиков, К. А. Суханова,
Б. Л. Двигининов. Отражение тормозного излучения
бетатрона барьераами из различных материа-
лов 318
П. А. Фефелов. Исследование влияния излучений
на прочность стеклопластиков 318

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

- В. Б. Осипов, В. П. Гутеев, Р. В. Джагаппанин,
А. И. Гершенович, С. В. Голубков. Технико-эконо-
мические аспекты радиационного способа произ-
водства сульфоната 320
Н. Т. Чеботарев, А. В. Безносикова. Исследование
структурь соединения $CaUF_6$ 321
Б. П. Причинин. К динамике выделения накопленного
радона при нагревании горной породы 324

235307



К вопросу обобщения понятия реактивности

Б. П. ШИШИН

Известны трудности экспериментального определения реактивности и ее изменений в реальных ядерных реакторах. Представляет интерес проанализировать проблему экспериментального определения размножающих свойств реактора, которые выражаются через реактивность при переходе от обычной реактивности к ее эквиваленту.

Обычно реактивность характеризует числовое значение скорости образования избыточных нейтронов в реакторе в единицах скорости генерации нейтронов деления. Определим эквивалент реактивности как величину, равную скорости образования избыточных нейтронов в реакторе, выраженной в единицах функционала, линейного относительно плотности нейтронов.

В отношении характеристики размножающих свойств реактора новый параметр эквивалент реактивности, поскольку отличается от последней единицами измерения.

Назовем эквивалент реактивности обобщенной реактивностью λ . Определение обобщенной реактивности предполагает [1] формулировку условно-критического уравнения реактора, которое в операторном виде можно записать

$$\hat{M}\mathbf{n} = \lambda \hat{N}\mathbf{n}, \quad (1)$$

где \hat{M} — оператор скорости производства избыточных носителей цепной реакции в единичном объеме фазового пространства реактора; N — некоторый положительный линейный нормирующий оператор; \mathbf{n} — вектор-функция плотности носителей цепной реакции (нейтроны, предшественники запаздывающих нейтронов). Член правой части уравнения (1) представляет такое изменение размножающих свойств системы, которое делает ее критической. Явный вид оператора \hat{M} находится из рассмотрения скоростей убыли и генерации носителей в единичном объеме фазового пространства реактора [2]. Оператор \hat{N} в общем случае выбирается.

Уравнение (1) однородно, поэтому обобщенную реактивность λ можно рассматривать как собственное число задачи, при котором существует решение при известных граничных условиях. Значения $\lambda > 0$, $\lambda = 0$, $\lambda < 0$ характеризуют соответственно надкритический, критический и подкритический реакторы.

Физический смысл обобщенной реактивности зависит от выбора нормирующего оператора \hat{N} . Подбирая соответствующим образом его конкретный вид, можно добиться того, что λ будет представлять обычную реактивность ($\hat{N}\mathbf{n}$ — скорость генерации носителей за счет деления ядер горючего), обратный установившийся период реактора (\hat{N} — единичный оператор), ядерную концентрацию дополнительного поглотителя ($\lambda\hat{N}\mathbf{n}$ — скорость поглощения нейтронов). Возможные толкования параметра λ не ограничиваются указанными примерами. Математический формализм позволяет определить абстрактную реактивность. Между значениями обобщенной реактивности различных форм существуют строгие соотношения связи. Их можно установить из рассмотрения основного условно-критического уравнения одной формы и сопряженного уравнения другой формы:

$$\hat{M}_1\mathbf{n}_1 = \lambda_1 \hat{N}_1\mathbf{n}_1; \quad \hat{M}_2\mathbf{n}_2^+ = \lambda_2 \hat{N}_2\mathbf{n}_2^+. \quad (2)$$

Домножим левое уравнение системы (2) на вектор-строку \mathbf{n}_2^+ , а правое — на \mathbf{n}_1 , проинтегрируем по всем

УДК 621.039.516

переменным и вычтем одно уравнение из другого. С учетом условия сопряженности операторов M_1 , \hat{M}_2^+ для одного и того же реактора ($M_1 = \hat{M}_2$) получим соотношение связи

$$\lambda_1 = \lambda_2 \frac{\int d\mathbf{x} \mathbf{n}_1 \hat{N}_2^+ \mathbf{n}_2^+}{\int d\mathbf{x} \mathbf{n}_2^+ \hat{N}_1 \mathbf{n}_1}. \quad (3)$$

Результат (3) является общим независимо от вида реактора и конкретных форм условно-критической модели реактора.

Уравнение «обратных часов» [3], связывающее установившийся период реактора с обычной реактивностью, — конкретное проявление формулы (3).

Обобщенную реактивность и ее изменения можно определить и экспериментально. В некоторых случаях значение реактивности можно измерить непосредственно на опыте (период реактора, ядерную концентрацию дополнительного поглотителя и др.). Если при экспериментальном определении обобщенной реактивности возникают трудности в терминах одной формы, можно на опыте определить соответствующее значение реактивности в другой форме и затем, в случае необходимости, сделать обратный переход. В частности, этот прием используется при экспериментальном определении обычной реактивности на основе измеренного периода реактора. Этот способ может быть также применен для экспериментального определения значений реактивности любой формы, в том числе и абстрактной.

Если проанализировать точность экспериментального определения обобщенной реактивности или ее изменений, можно прийти к выводу, что точность определения соответствующих значений для некоторых форм реактивности выше по сравнению с обычной реактивностью.

Например, при экспериментальном определении запаса реактивности водо-водяных реакторов используется метод, при котором изменяется уровень воды в реакторе, измеряется период, затем определяется дифференциальная реактивность. Считается, что интегрирование дифференциальной реактивности дает значение запаса реактивности реактора. Период реактора изменяется с некоторой ошибкой. Использование формулы «обратных часов» для перевода периода в реактивность приводит к дополнительной неточности в реактивности вследствие ограниченной точности параметров запаздывающих нейтронов. Кроме того, появляются ошибки, связанные с ценностью запаздывающих нейтронов относительно мгновенных, а также ошибки, вызванные интерпретацией эксперимента в целом. Все это приводит к ошибке в запасе реактивности, составляющей более $\pm 10\%$.

Однако тот же реактор можно отравить дополнительным поглотителем. Критическая ядерная концентрация поглотителя — обобщенная реактивность — достаточно легко измеряется с ошибкой не меньше 1—3%.

Отказ от обычной реактивности в пользу обобщенной имеет еще одно преимущество: материальные затраты на проведение экспериментов могут быть уменьшены, а время проведения экспериментов сокращено.

Следует отметить, что предлагаемый подход оставляет без изменений проблему соответствия между запасом реактивности и энерговыработкой реактора. Тем не менее такой подход может способствовать успешному решению прикладных задач, когда появляется

необходимость определить состояние реактора с большей точностью, чем это делается в терминах обычной реактивности. То же самое относится к запасу реактивности и эффективности возмущающих факторов.

Автор благодарит Т. С. Дидейкина за ценные обсуждения рассмотренного вопроса.

Поступило в Редакцию 15/V 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Ф. Н. Морс, Г. Фешбах. Методы теоретической физики. Т. 1. М., Изд-во иностр. лит., 1958.
- Т. Сосапи. Nucleonik, 5, N. 2, 55 (1963).
- С. Глесстон, М. Эдлунд. Основы теории ядерных реакторов. М., Изд-во иностр. лит., 1954

Определение лития по выходу реакции $\text{Li}^7(p, \gamma)\text{Be}^8$

С. С. ВАСИЛЬЕВ, Г. И. МИХАЙЛОВ, Л. П. СТАРЧИК, Л. В. КОНАНЫКИН

УДК 539.17:669.88

Методы, основанные на применении физических свойств ядер атомов различных элементов, находят все более широкое распространение.

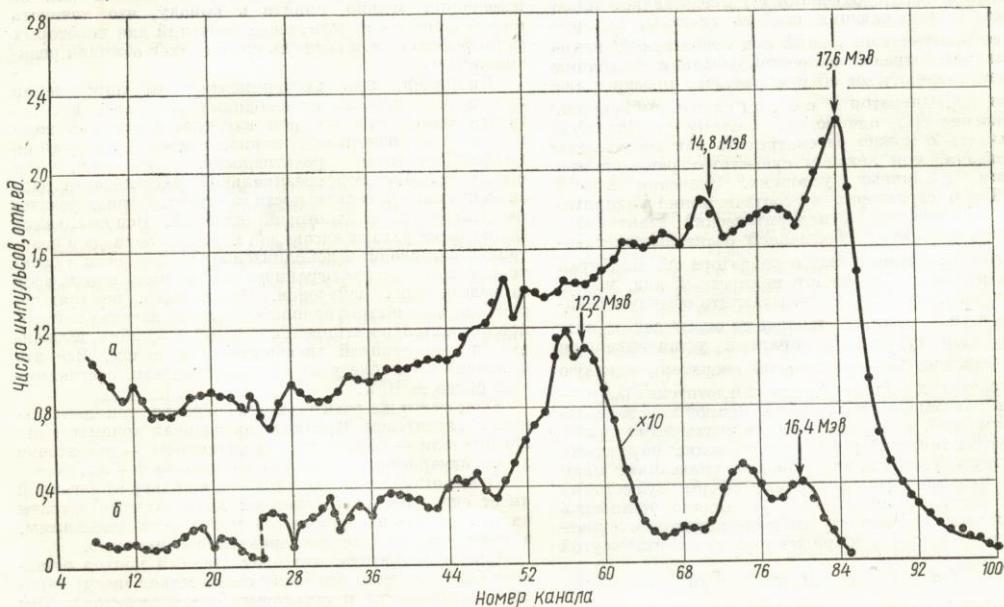
В последнее время для определения состава вещества используются реакции, вызываемые заряженными частицами [1, 2]. Определение лития, например, проводилось по выходу реакции $\text{Li}^7(p, n)\text{Be}^8$ ($E_{\text{пор}} = 1,882 \text{ МэВ}$). Недостатки применения этой реакции — низкая пороговая чувствительность метода ($\sim 0,01\%$), необходимость получения протонов с энергией $\geq 2 \text{ МэВ}$ и наличие мешающих реакций (p, n) на K, Ca, Na, Cl и Mn, имеющих низкую пороговую энергию.

В настоящей работе описан более чувствительный метод определения лития с использованием реакции радиационного захвата протонов: $\text{Li}^7(p, \gamma)\text{Be}^8$. При высоких энергиях протонов нейтроны, являющиеся продуктом реакции (p, n), могут отрицательно влиять на проведение анализа. Поэтому энергия протонов должна быть $\leq 1,5 \text{ МэВ}$.

В случае резонансной реакции $\text{Li}^7(p, \gamma)\text{Be}^8$ используются γ -кванты с энергией E_γ , равной 17,6 МэВ

(67%) и 14,8 (33%) МэВ [3]. Реакция (p, γ) на литии в области энергий протонов до 1 МэВ имеет лишь один резонанс при 441 кэВ. Выход в резонансе составляет $1,9 \cdot 10^{-8}$ квантов на один протон [4—7]. Из других реакций на ядрах элементов, присутствующих в пробе, интерферирующий эффект может создать только реакция $\text{B}^{11}(p, \gamma)\text{C}^{12}$, которая сопровождается испусканием γ -квантов с наибольшей энергией $E_\gamma \approx 16 \text{ МэВ}$. Однако выход этой реакции на два-три порядка меньше по сравнению с выходом резонансной реакции (p, γ) на Li и, кроме того, интенсивность излучения с $E_\gamma \approx 16 \text{ МэВ}$ составляет лишь $\sim 5\%$ интенсивности каскадного перехода [5, 6]. Содержание лития можно определить путем сравнения интенсивности потока γ -квантов с энергией $E_\gamma \approx 17 \text{ МэВ}$ или $E_\gamma \geq 14 \text{ МэВ}$ с интенсивностью потока γ -квантов с такой же энергией от стандартной пробы, содержащей известное количество лития.

Определение лития проводилось на электростатическом ускорителе НИИЯФ МГУ им. М. В. Ломоносова. Энергия протонов была равна 900 кэВ, ток пучка



Спектры γ -квантов, полученные при облучении протонами мишней из Li_2O (a) и H_3BO_3 (b).