

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ С ПОМОЩЬЮ 14 МЭВ НЕЙТРОНОВ

Цель работы: Определение C/N/O-отношений произвольного объекта методом меченых нейтронов

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Принцип метода меченых нейтронов

Метод меченых нейтронов (ММН) – нейтронно-радиационный метод исследования элементного состава вещества, в основе которого лежит регистрация ответного γ -излучения в режиме совпадений с α -частицей, сопутствующей реакции испускания нейтронов. На рис.1 представлена принципиальная схема ММН. Нейтроны и α -частицы образуются в реакции $T(d,n)He^4$ в результате бомбардировки дейтерием тритиевой мишени нейтронного генератора. Скорости рождающихся в данной реакции нейтронов и α -частиц составляют около 52 мм/нс и 13 мм/нс, соответственно, и незначительно зависят от энергии дейтона и углов вылета. Важно отметить, что направления вылета как нейтронов, так и α -частиц имеют почти изотропное распределение, однако углы между направлениями их вылета в каждом случае лишь немного отличаются от 180° . Данное обстоятельство может быть использовано для определения момента рождения и направления вылета отдельно взятого нейтрона с помощью регистрации α -частицы встроенным в нейтронную трубку α -детектором. Такие нейтроны принято называть меченым (taggedneutron), а использующие их методы – ММН (AssociatedParticleTechniques, API).

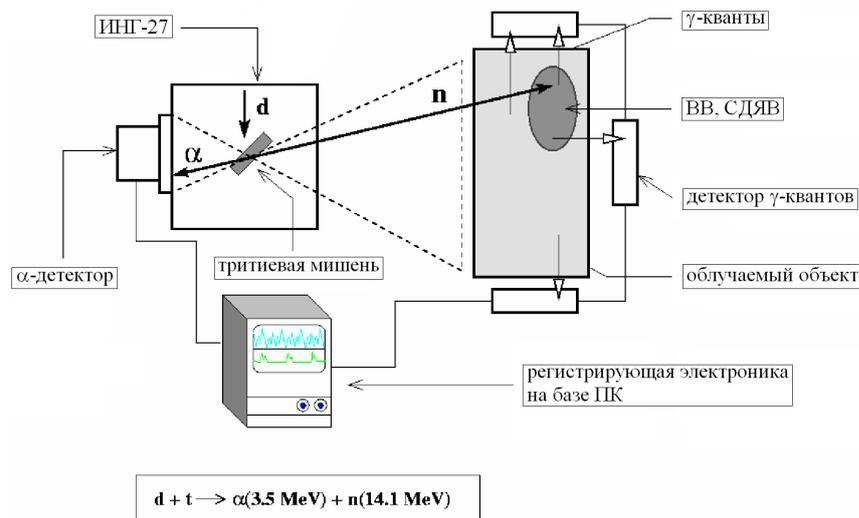


Рис.1. Схема ММН.

В данной работе ММН может быть использован совместно с методом элементного анализа материалов с помощью быстрых нейтронов ($E_n > \sim 0.1 \text{ МэВ}$). Такой анализ базируется на способности быстрых нейтронов взаимодействовать с ядрами, вызывая различные неупругие реакции, в результате которых рождаются

мгновенные гамма-кванты с энергиями, перечень и интенсивности которых зависят от химического элемента. Регистрируя γ -излучение от объекта, облучаемого быстрыми нейтронами, можно проводить его элементный анализ. Использование ММН в таком анализе позволяет отбирать сигналы гамма-детектора по их временному соответствию альфа-сигналам, что позволяет проводить дифференцировать анализ объекта по его объему.

Минимальная конфигурация установки ММН должна содержать нейтронный генератор с встроенным детектором альфа-частиц, детектор γ -излучения, а также аппаратуру сбора данных по совпадениям сигналов с α - и γ -детекторов. Схема соединений данных блоков приведена на Рис. 1.

Каждое событие совпадений включает:

1. номера α - и γ -детекторов, сигналы которых совпали в данном событии;
2. время между моментами регистрации α -частицы и γ -кванта;
3. амплитуда сигнала γ -детектора.

Фиксируя номера α - и γ -детекторов можно получить дважды дифференциальный (по времени и по амплитуде) спектр зарегистрированных событий (Рис.2). Интегрирования этого спектра по времени или энергии даст дифференциальные распределение по времени и энергии, соответственно (Рис.2 справа и внизу)

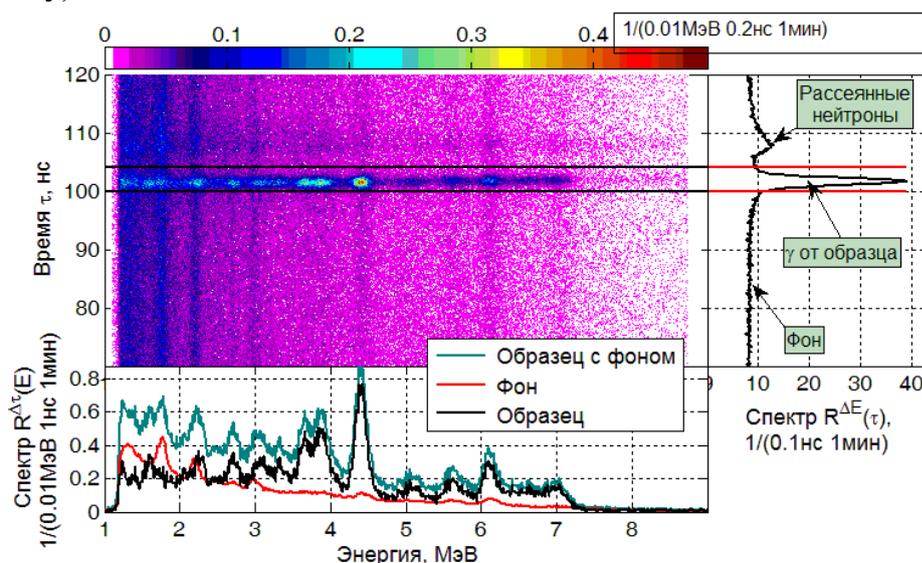


Рис.2. Результат обработки данных измерения имитатора тетрила: двумерный по энергии и времени спектр измерения, времяпролетный спектр, энергетический спектр.

Выделив временной интервал, соответствующий положению объекта, можно, учтя спектр случайных совпадений, получить энергетический спектр ответного излучения объекта (Рис. 2 низ).

Определение элементного состава по эталонным спектрам

В лабораторной работе №1 были получены спектры от образцов с различными соотношениями углерода, водорода и азота, т.е с известными химическими формулами. Задача данной работы - провести измерения спектра отклика образца с

органическим материалом с целью определения состава, используя в качестве эталонных спектров результаты предыдущей лаб. работы №1.

Исходя из того, что спектр ответного излучения является суперпозицией спектров отдельных элементов (С, Ni O) с коэффициентами W_i , соответствующими элементному составу образца, такой спектр можно представить в линейном виде:

$$S(E_j) = \sum_{i=C,N,O} [W_i \cdot A_i(E_j)] + e(E_j) \quad (1)$$

$$H = \sum_{j=1..n} e(E_j)^2 \quad (2)$$

$$H = \sum_{j=1..n} \left\{ S(E_j) - \sum_{i=C,N,O} [W_i \cdot A_i(E_j)] \right\}^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

где: $S(E_j)$ – измеренный спектр образца, в котором E_j – значение энергий в каналах $j=1..n$, где n – кол-во каналов, $A_i(E_j)$ – спектр отклика элемента i ($i=C,N,O$), далее $A_i(E_j)$ будем называть эталонными спектрами, $e(E_j)$ – спектр шумов или невязка, W_i – коэффициенты (веса) эталонных спектров, пропорциональные кол-ву соответствующих элементов в объекте, H – сумма квадратов невязки, минимальность которой принимается в качестве критерия решения.

На практике обработку данных и получение требуемых функционалов удобнее проводить используя выражения (1)-(3) в матричной форме, для чего переводим указанные функционалы в матричный вид (матричные переменные далее будут выделяться жирным):

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} A_C(E_1) & A_N(E_1) & A_O(E_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ A_C(E_n) & A_N(E_n) & A_O(E_n) \end{bmatrix}, \mathbf{S} = \begin{bmatrix} S(E_1) \\ \dots \\ \dots \\ S(E_n) \end{bmatrix}, \mathbf{e} = \begin{bmatrix} e(E_1) \\ \dots \\ \dots \\ e(E_n) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} W_C \\ W_N \\ W_O \end{bmatrix}$$

И тогда выражения (1)-(3) трансформируются в:

$$\mathbf{S} = \mathbf{A} \times \mathbf{W} + \mathbf{e} \quad (4)$$

$$H = \mathbf{e}^T \times \mathbf{e} \quad (5)$$

$$H = (\mathbf{S} - \mathbf{A} \times \mathbf{W})^T \times (\mathbf{S} - \mathbf{A} \times \mathbf{W}) \rightarrow \min \quad (6)$$

Где символ « \wedge » означает операцию транспонирования матрицы, а « \times » – матричное умножение.

Так как значение вектора шумов является статистически непредсказуемой величиной, то получение искомого \mathbf{W} по измеренному \mathbf{S} с использованием ранее определенного \mathbf{A} в общем случае является математически некорректно поставленной задачей. На практике её решение осуществляется численными методами, например методом Холецкого, реализовать который можно в среде МАТЛАБ с использованием процедуры

$$[\mathbf{W}, d\mathbf{W}] = \text{lscov}(\mathbf{A}, \mathbf{S}) \quad (7)$$

Таким образом, основной целью данной лабораторной работы является овладение навыками измерения спектров ответного излучения объекта, облучаемого мечеными нейтронами, с последующей обработкой результатов измерений с использованием матричных операций линейных алгебры.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки показана на рис.2.3. Установка содержит генератор меченых нейтронов ИНГ-27 в составе блока излучателя нейтронов 1, с встроенным 9-пиксельным альфа-детектором 2, блока управления 2, блока питания 3, сцинтилляционный гамма-детектор на основе германата висмута (BGO) 6, блок амплитудно-временных измерений 3, набор образцов известного элементного состава, лабораторный домкрат (подставку) для их размещения, высоковольтный блок питания гамма-детектора, удаленный ПК для управления установкой и обработки данных, кабель связи с коммутаторами.

Схема соединений установки
"меченые нейтроны"

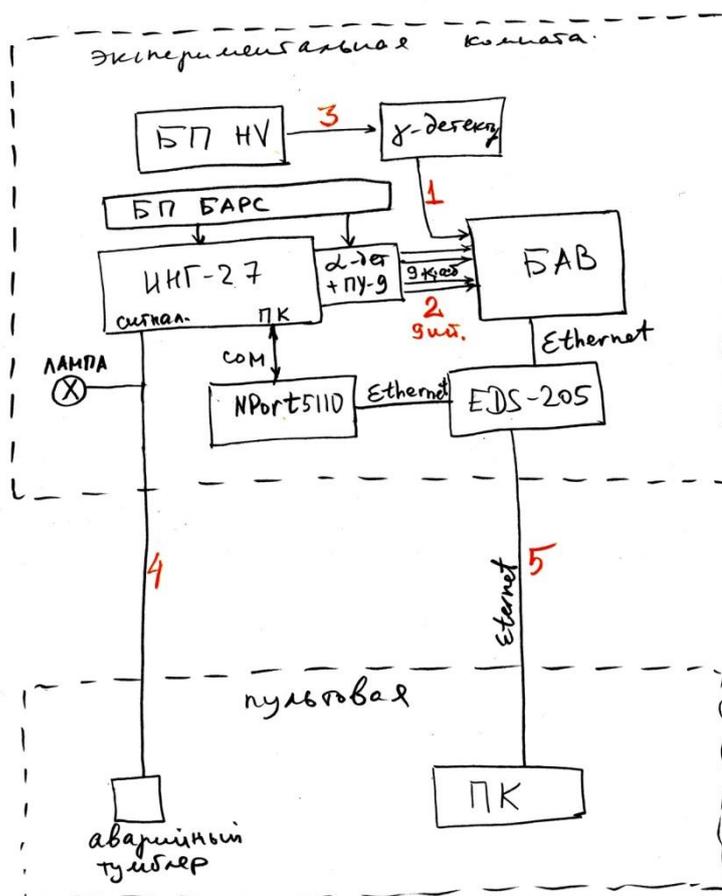


Рис.2.3. Схема экспериментальной установки для реализации метода меченых нейтронов.

Подготовка установки к работе

1. Включить блок питания ИНГ-27, блок высоковольтного питания гамма-детектора, блок амплитудно-временных измерений, ПК рабочего места. Выставить напряжение высоковольтного блока питания.
2. Установить полиэтиленовый образец на лабораторный домкрат на дистанции 50см от мишени ИНГ-27.
3. Настроить работу установки в соответствии с п. 2.3 НТ.425199.001РЭ

Порядок выполнения измерений

1. На удаленном ПК запустить VNCviewer, удаленно подключиться к БАВ-компьютеру, запустить там программу обработки альфа-гамма-совпадений adcm.
2. в окне adcm замкнуть гамма-канал сам на себя (галки в альфа- и гамма-столбцах) и убедиться в работе программы по наличию постоянно меняющейся осциллограммы фоновых гамма-импульсов. Разомкнуть гамма-канал (убрать галку с альфа-столбца).
3. Запустить программу ING27.exe, включить режим подготовки нейтронного генератора к работе.
4. Запустить программу readadcm.exe.
5. Запустить нейтронный генератор (программа ING27, кнопка старт), затем режим считывания первичных данных (программа readadcm, кнопка «старт»).
6. По окончании режима излучения, завершить режим считывания данных (программа readadcm, кнопка «стоп»)
7. В среде MaLab считать полученный файл первичных данных, гистограммировать их по времени и амплитуде, получить временные и амплитудные проекции (аналогично Рис. 2). Определить положение средних и ПШПВ основных пиков.

Задания

I. Энергетическая калибровка установки

1. Провести измерение углеродного образца
2. Программой readadcm считать файл первичных данных
3. Получить временной спектр образца углерода. Выделить временные интервалы образца, пика рассеянных нейтронов, фона случайных совпадений.
4. Выделить пик полного поглощения линии углерода 4439 кэВ, получить положение его среднего и ПШПВ. Результат занести в таблицу.
5. Откалибровать установку по пику полного поглощения линии углерода 4439 кэВ. Определить энергетическое и временное разрешения установки. Результат записать в таблицу

II. Определение временного и энергетического разрешения установки

1. Получить временной спектр образца углерода. Выделить временные интервалы образца, пика рассеянных нейтронов, фона случайных совпадений. Определить ПШПВ пика образца. Результат занести в таблицу.

2. Получить амплитудный спектр фона случайных совпадений $F(A)$ и полный спектр образца $N(A)$ в соответствующих временных интервалах. Определить спектр образца $S(A)$, вычитая из полного спектра $N(E)$ фоновый спектр с учетом различия их временных интервалов, т.е. $S(A) = N(A) - F(A) \cdot \tau_N / \tau_F$, где τ_N и τ_F – временной ширины интервалов спектров $N(A)$ и $F(A)$. Определить положение центра и ПШПВ пика полного поглощения.

III. Определение C/N/O отношений облученного образца.

1. Повторить измерения для двух образцов неизвестного состава.
2. Определить C/N/O соотношения образцов с погрешностями. с помощью процедуры Iscov. Записать результаты в таблицу. Оценить минимальное время измерения для идентификации данных образцов.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы преимущества и недостатки DT-нейтронов в сравнении с DD-нейтронами в нейтронно-радиационном анализе?
2. Какие преимущества дает технология меченых нейтронов?
3. Как зависят скорости и углы разлета альфа-частиц и нейтронов от энергии дейтонного пучка?
4. В чем различия анализа органических и неорганических материалов быстрыми нейтронами?
5. Чем определяется выбор дистанций между нейтронным генератором, объектом и гамма-детектором?