

АНАЛИЗ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ПОГЛОЩЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Я.А. Салькевич, Ю.С. Миргород

Научный руководитель – Качан С.М., к. ф.-м. н., доцент

Особенности взаимодействия гамма-излучения с веществом позволяют использовать метод поглощения гамма-излучения для анализа металлов и сплавов. Объектом анализа может являться плотность материала, а в случае сплава, дополнительно, его количественный состав и характеристики отдельных компонент. Важно отметить, что данный метод контроля является неразрушающим и обеспечивает при этом высокую точность результата (1-3%).

Нами проведено экспериментальное исследование с целью характеристики сплавов, включающих олово, свинец, кадмий и висмут: SnPb, сплав Розе (SnPbBi) и сплав Вуда (SnPbBiCd)). При этом в нашем распоряжении также находились образцы чистых металлов – Sn, Pb, Cd.

Задачей исследования было установить плотности сплавов, массовое содержание компонентов и коэффициент ослабления гамма-излучения для висмута, не представленного монометаллическим образцом.

1. Определение линейных коэффициентов ослабления материалов

Исследование проводилось методом ослабления пучка гамма-излучения при прохождении через поглотитель наборной толщины d .

Основной характеристикой материала при взаимодействии с гамма-излучением является линейный коэффициент ослабления μ материала-поглотителя, определяющий долю гамма-квантов, выбывающих из пучка на единицу длины пути. Линейный коэффициент ослабления учитывает все виды взаимодействия гамма-излучения с веществом (фотоэффект, Комптон-эффект, образование пар) и, по сути, является эффективным макроскопическим сечением материала.

Важно отметить, что линейный коэффициент ослабления является тем исходным параметром, на основе которого далее можно установить все интересующие нас характеристики сплавов.

Как известно, в «приближении узких пучков» число гамма-квантов в пучке, проходящем через материал-поглотитель толщиной d убывает по экспоненциальному закону [1]:

$$N = N_0 \exp(-\mu d) \quad (1)$$

Значение μ определяется методом наименьших квадратов из графика зависимости отношения числа прошедших через поглотитель гамма-

квантов к их начальному числу в пучке N/N_0 от толщины поглотителя d , построенному в полулогарифмическом масштабе (см. рисунок 1).

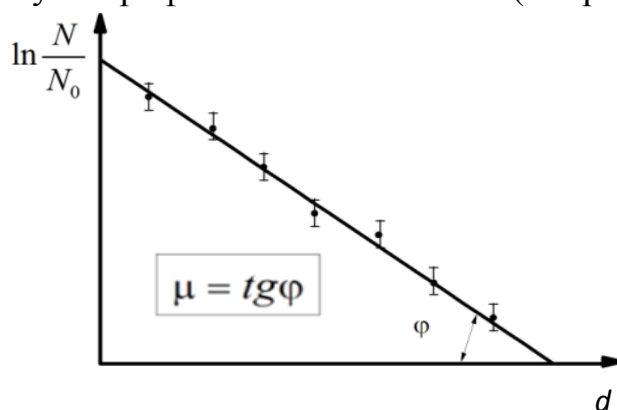


Рисунок 1 – К графическому методу определения линейного коэффициента ослабления μ материала-поглотителя

Использование «приближения узких пучков» предполагает, что прошедший пучок содержит только не вступившие во взаимодействие гамма-кванты с начальной энергией источника. В то же время, экспериментальная реализация узких пучков гамма-квантов вызывает неизбежные трудности, связанные с тем, что на практике детектируемый поток неизбежно включает гамма-излучение, рассеянное в поглотителях, и вторичное (индуцированное) фотонное излучение [1]. Использование при обработке данных эксперимента закона экспоненциального ослабления гамма-излучения в узких пучках для оценки μ также неизбежно будет давать некорректный, завышенный результат.

Чтобы избежать вышеуказанной ошибки мы моделировали узкие пучки, используя в качестве регистрирующего прибора гамма-спектрометр. Получив в результате эксперимента развернутый амплитудный спектр прошедшего через материал-поглотитель гамма-излучения, мы выделяем в нем узкий диапазон пиков фотопоглощения (см. рисунок 2).

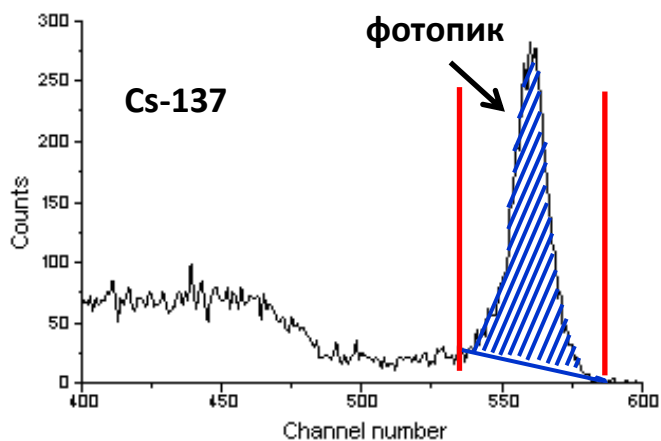


Рисунок 2 – Амплитудный спектр гамма-излучения, прошедшего через материал

Учет числа импульсов в фотопике в качестве числа N прошедших гамма-квантов позволяет искусственным образом отбросить из прошедшего потока гамма-кванты с энергией, меньшей начальной энергии источника и максимально приблизиться к геометрии «узких пучков».

Таким образом, в качестве приборной базы эксперимента был выбран сцинтилляционный бета-гамма-спектрометр модели МКС АТ1315, разработанный белорусским НПУП АТОМТЕХ.

2. Определение плотности и массового содержания компонентов сплавов

Для установления плотности сплавов первоначально было выполнено экспериментальное определение коэффициентов линейного ослабления μ ряда металлов (Sn, Pb, Cd) с известной плотностью ρ . Исследование выполнялось с использованием гамма-источника Co-60 ($E_\gamma=1,25$ МэВ), поскольку в диапазоне энергий гамма-квантов свыше 0,5-0,8 МэВ основным процессом взаимодействия является комптоновское рассеяние на электронах внешней оболочки атомов, что приводит к линейной зависимости $\mu(\rho)$.

Далее мы экспериментально определили линейные коэффициенты ослабления $\mu_{\text{спл}}$ для выбранных сплавов и, используя графическую зависимость $\mu(\rho)$, по значению $\mu_{\text{спл}}$ установили значение плотности $\rho_{\text{спл}}$ для каждого сплава.

Для сплава $\text{Sn}_x\text{Pb}_{1-x}$ также было определено массовое содержание компонентов (x). Для этого мы использовали полученные в предыдущем эксперименте значения μ отдельных металлических компонент (μ_{Sn} , μ_{Pb}), самого сплава μ_{SnPb} и его плотность ρ_{SnPb} , а также связь между массовыми коэффициентами ослабления многокомпонентного вещества [1]:

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{сплав}} = \sum_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i \cdot x_i \quad (2)$$

Полученное значение массового содержания олова с погрешностью 0.8% совпадает со значением, заявленным производителем сплава.

Для сплавов с известным количественным составом (сплав Розе $\text{Sn}_{18}\text{Pb}_{32}\text{Bi}_{50}$, сплав Вуда $\text{Sn}_{9,5}\text{Pb}_{41}\text{Bi}_{40}\text{Cd}_{9,5}$) мы экспериментально определили линейный коэффициент ослабления висмута, отсутствовавшего среди имеющихся монометаллических образцов. Значение μ_{Bi} было получено из формулы (2) с использованием известных плотностей отдельных компонент, а также найденных в первом эксперименте плотностей сплавов и линейных коэффициентов ослабления отдельных компонент μ_{Sn} , μ_{Pb} , μ_{Cd} .

Полученные закономерности были положены в основу лабораторной работы по изучению защитных свойств сплавов в практикуме по «Защите от ионизирующих излучений» для студентов 3 курса БНТУ, обучающихся по специальности «Паротурбинные установки атомных электростанций».

Литература

1. Защита от ионизирующих излучений. Том 1. Физические основы защиты от излучений / Н.Г. Гусев [и др.]; под ред. Н.Г. Гусева. – 3-е изд.– М.: Энергоатомиздат, 1992. – 512 с.