**Взаимодействие гамма-квантов с веществом:**

**зависимость линейного коэффициента**

**ослабления потока гамма-квантов от вида поглотителя**

Изучить основные механизмы взаимодействия и закон ослабления при прохождении гамма-излучения через вещество.

Измерить функцию пропускания гамма-излучения через поглотители из различных металлов. Получить зависимость линейного коэффици­ента ослабления от плотности поглотителя. Установить преимуще­ственный механизм ослабления гамма-излучения для данного радио­нуклидного источника. Определить материал неизвестного поглоти­теля.

**Приборы:** бета-гамма спектрометр МКС АТ1315 (производитель – «Атомтех») с неорганическим сцинтилляционным Nal(Tl) гамма-детектором; источник гамма-излучения из комплекта образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ) – Cs-137; металлические поглотители.

**Математическая модель:**

Абсолютная погрешность толщины поглотителя:

$∆X=\sqrt{X\_{сл}^{2}+X\_{пр}^{2}}$ *,*

где Xпр-абсолютная погрешность прибора (микрометр), равная 0,0005 см;

$$X\_{сл}=t\_{n,p}∙\sqrt{\frac{1}{n(n-1)}∙\sum\_{i=1}^{n}(X\_{i}-<X>)^{2}}$$

Где tn,p –коэффициент Стьюдента для физических измерений, в данном случае равный 2,8; n - количество измерений одной пластинки поглотителя; Xi – i-тое измерение пластинки поглотителя, см; <X> - среднее значение по i-тому столбцу пластинки поглотителя, см.

Закон ослабления для узкого моноэнергетического пучка:

$${N(x)}/{N\_{0}=e^{-μx}},$$

$где μ$–линейный коэффициент ослабления вещества, см-1; x- толщина поглотителя, см; отношение N(x)/N(0) – функция пропускания T(x):

$$μ=\frac{1}{x}ln\frac{N\_{0}}{N(x)}=-\frac{lnT(x)}{x}$$

где N(x) – количество регистрируемых гамма-квантов за такой же интервал времени после их прохождения через слой поглотителя;

N(0) – количество регистрируемых гамма-квантов за время экспозиции t в отсутствие поглотителя.

Число импульсов от источника излучения:

$N\_{и}=N\_{иф}-N\_{ф}$,

где Nиф – число импульсов от источника вместе с фоном; Nф – фоновое число импульсов.

**Результаты измерений.**

1. Определение средних толщин пластин-поглотителей.

Таблица 1.1 Определение средней толщины пластины из свинца

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер пластинки | x1, мм | x2, мм | x3, мм | x4, мм | x5, мм | <x>, мм | $∆$xпр, мм | $∆$xсл, мм | $∆$x, мм |
| 1 | 1,37 | 1,47 | 1,34 | 1,48 | 1,36 | 1,404 | 0,005 | 0,0824 | 0,0825 |
| 2 | 1,79 | 1,78 | 1,80 | 1,76 | 1,87 | 1,800 | 0,005 | 0,0524 | 0,0526 |
| 3 | 1,89 | 1,81 | 1,88 | 1,91 | 1,89 | 1,876 | 0,005 | 0,0482 | 0,0484 |
| 4 | 1,45 | 1,55 | 1,56 | 1,42 | 1,47 | 1,490 | 0,005 | 0,0777 | 0,0779 |
| 5 | 1,81 | 1,75 | 1,78 | 1,79 | 1,79 | 1,784 | 0,005 | 0,0274 | 0,0279 |
| 6 | 1,73 | 1,85 | 1,86 | 1,79 | 1,78 | 1,802 | 0,005 | 0,0671 | 0,0673 |
| 7 | 1,81 | 1,86 | 1,84 | 1,83 | 1,82 | 1,832 | 0,005 | 0,0241 | 0,0246 |
| 8 | 1,67 | 1,74 | 1,81 | 1,75 | 1,69 | 1,732 | 0,005 | 0,0688 | 0,069 |

Таблица 1.2 Определение средней толщины пластины из железа

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер пластинки | x1, мм | x2, мм | x3, мм | x4, мм | x5, мм | <x>, мм | $∆$xпр, мм | $∆$xсл, мм | $∆$x, мм |
| 1 | 2,97 | 2,98 | 2,98 | 2,96 | 2,97 | 2,972 | 0,005 | 0,0105 | 0,0116 |
| 2 | 3,02 | 3,02 | 3,02 | 3,09 | 3,01 | 3,032 | 0,005 | 0,0410 | 0,0413 |
| 3 | 3,01 | 3,01 | 3,00 | 3,01 | 3,02 | 3,010 | 0,005 | 0,0089 | 0,0102 |
| 4 | 2,97 | 2,97 | 2,96 | 2,97 | 2,96 | 2,966 | 0,005 | 0,0069 | 0,0085 |

Таблица 1.3 Определение средней толщины пластины из алюминия

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер пластинки | x1, мм | x2, мм | x3, мм | x4, мм | x5, мм | <x>, мм | $∆$xпр, мм | $∆$xсл, мм | $∆$x, мм |
| 1 | 1,40 | 1,37 | 1,37 | 1,37 | 1,36 | 1,374 | 0,005 | 0,0269 | 0,0273 |
| 2 | 1,38 | 1,40 | 1,39 | 1,39 | 1,37 | 1,386 | 0,005 | 0,0202 | 0,0208 |
| 3 | 1,41 | 1,42 | 1,36 | 1,48 | 1,37 | 1,408 | 0,005 | 0,0844 | 0,0845 |
| 4 | 1,38 | 1,42 | 1,51 | 1,39 | 1,38 | 1,416 | 0,005 | 0,0975 | 0,0976 |
| 5 | 1,40 | 1,39 | 1,51 | 1,42 | 1,39 | 1,422 | 0,005 | 0,0898 | 0,0899 |
| 6 | 1,40 | 1,38 | 1,45 | 1,41 | 1,38 | 1,404 | 0,005 | 0,0510 | 0,0513 |
| 7 | 1,37 | 1,37 | 1,39 | 1,38 | 1,38 | 1,378 | 0,005 | 0,0148 | 0,0156 |
| 8 | 1,38 | 1,37 | 1,36 | 1,45 | 1,38 | 1,388 | 0,005 | 0,0631 | 0,0633 |

Таблица 1.4 Определение средней толщины пластины из неизвестного материала.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер пластинки | x1, мм | x2, мм | x3, мм | x4, мм | x5, мм | <x>, мм | $∆$xпр, мм | $∆$xсл, мм | $∆$x, мм |
| 1 | 1 | 0,995 | 0,995 | 0,98 | 0,99 | 0,992 | 0,005 | 0,0095 | 0,0107 |
| 2 | 1,03 | 1,01 | 0,985 | 1,02 | 0,99 | 1,007 | 0,005 | 0,0241 | 0,0246 |
| 3 | 0,985 | 0,99 | 1,01 | 1 | 1,03 | 1,003 | 0,005 | 0,0224 | 0,0229 |
| 4 | 1 | 1,01 | 1,02 | 1,015 | 1 | 1,009 | 0,005 | 0,0112 | 0,0123 |
| 5 | 1,03 | 1,01 | 1,005 | 1,04 | 1 | 1,017 | 0,005 | 0,0215 | 0,0221 |
| 6 | 1,09 | 1,01 | 1,02 | 1,04 | 1,02 | 1,036 | 0,005 | 0,0402 | 0,0405 |
| 7 | 1,02 | 1 | 1,03 | 1,035 | 1,025 | 1,022 | 0,005 | 0,0169 | 0,0176 |
| 8 | 1,02 | 1,02 | 1,04 | 1,01 | 1 | 1,018 | 0,005 | 0,0186 | 0,0193 |

1. Определение линейного коэффициента ослабления для различных поглотителей.

Параметры: время экспозиции $t=300с;$

 фоновое число импульсов $N\_{ф}=406 имп.$

Таблица 2.1 Свинцовый поглотитель

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Число пластин поглотителя n | Толщина поглотителя x,см | $∆$X | Число гамма-квантов от источника и фона Nиф | $∆$Nиф | Число гамма-квантов от источника Nи | $∆$Nи | lnT(x) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 35399 | 198 | 34993 | 267 | 0 |
| 2 | 2 | 0,321 | 0,0135 | 23087 | 321 | 23061 | 357 | 0,4170 |
| 3 | 4 | 0,657 | 0,0261 | 14852 | 192 | 15039 | 180 | 0,8445 |
| 4 | 6 | 1,016 | 0,0357 | 10156 | 147 | 9764 | 270 | 1,2764 |
| 5 | 8 | 1,372 | 0,0450 | 6476 | 96 | 6138 | 372 | 1,7406 |

Поскольку в логарифмическом масштабе функция пропускания представляет собой прямую, среднее значение линейного коэффициента ослабления $μ,$ можно оценить как тангенс угла наклона такой прямой, проведённой через экспериментальные точки: $μ=tgφ$. Обычно для определения значений $tgφ$ применяют метод наименьших квадратов (МНК), так как он дает наименьшую погрешность.


График 2.1 Зависимость функции пропускания от толщины свинцовой пластины

С помощью программы OriginPro 8 была произведена аппроксимация экспериментальных точек. Из полученного графика следует, что линейный коэффициент ослабления для свинца $μ=1,2620\pm 0,0093 (см^{-1})$.

Таблица 2.2 Железный поглотитель

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Число пластин поглотителя n | Толщина поглотителя x,см | $∆$X | Число гамма-квантов от источника и фона Nиф | $∆$Nиф | Число гамма-квантов от источника Nи | $∆$Nи | lnT(x) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 35399 | 198 | 34993 | 267 | 0 |
| 2 | 1 | 0,297 | 0,00116 | 29711 | 273 | 29425 | 405 | 0,17330 |
| 3 | 2 | 0,600 | 0,00413 | 25593 | 198 | 23715 | 1104 | 0,38904 |
| 0,4 | 3 | 0,901 | 0,00102 | 21727 | 189 | 21360 | 276 | 0,49363 |
| 5 | 4 | 1,198 | 0,00085 | 17625 | 246 | 17289 | 312 | 0,70979 |



График 2.2 Зависимость функции пропускания от толщины железной пластины

Из полученного графика следует, что линейный коэффициент ослабления для железа $μ=0,5799\pm 0,0310 (см^{-1})$.

Таблица 2.3. Алюминиевый поглотитель

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Число пластин поглотителя n | Толщина поглотителя x,см | $∆$X | Число гамма-квантов от источника и фона Nиф | $∆$Nиф | Число гамма-квантов от источника Nи | $∆$Nи | lnT(x) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 35399 | 198 | 34993 | 267 | 0 |
| 2 | 2 | 0,276 | 0,00481 | 33953 | 195 | 33758 | 318 | 0,0359 |
| 3 | 4 | 0,558 | 0,02302 | 32428 | 192 | 32418 | 309 | 0,07643 |
| 4 | 6 | 0,841 | 0,03714 | 31356 | 138 | 31138 | 204 | 0,11672 |
| 5 | 8 | 1,118 | 0,04503 | 28021 | 204 | 27694 | 408 | 0,23393 |



График 2.3 Зависимость функции пропускания от толщины алюминиевой пластины

Из полученного графика следует, что линейный коэффициент ослабления для алюминия $μ=0,1958\pm 0,0327 (см^{-1})$.

Таблица 2.4 Неизвестный поглотитель

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Число пластин поглотителя n | Толщина поглотителя x,см | $∆$X | Число гамма-квантов от источника и фона Nиф | $∆$Nиф | Число гамма-квантов от источника Nи | $∆$Nи | lnT(x) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 35399 | 198 | 34993 | 267 | 0 |
| 2 | 2 | 0,200 | 0,00353 | 22094 | 222 | 21603 | 272 | 0,48232 |
| 3 | 4 | 0,401 | 0,00705 | 19030 | 128 | 18521 | 156 | 0,63624 |
| 4 | 6 | 0,606 | 0,01331 | 15871 | 208 | 15624 | 754 | 0,80634 |
| 5 | 8 | 0,810 | 0,01700 | 14062 | 106 | 13496 | 392 | 0,95275 |



График 2.4 Зависимость функции пропускания от толщины неизвестной пластины

Из полученного графика следует, что линейный коэффициент ослабления для неизвестного материала $μ=1,0990\pm 0,1877 (см^{-1})$.

График 2.5 Зависимость функции пропускания исследуемых поглотителей от их толщин

Из графика можно сделать вывод, что наибольшей поглощающей способностью обладает свинец (с увеличением толщины пластинки функция пропускания увеличивается); на втором месте – неизвестный материал; на третьем –железо; наименьшей поглощающей способность обладает алюминий (с увеличением толщины пластинки-защиты функция пропускания увеличивается незначительно, как показано на графике 2.5).

1. Определение неизвестного материала.

Таблица 3.1 Характеристики поглотителей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Материал поглотителя | Плотность, г/см3 | Линейный коэффициент ослабления $μ$, см-1 | Абсолютная погрешность линейного коэффициента ослабления $∆μ$ |
| Свинец | 11,35 | $$1,2620$$ | $$0,0093$$ |
| Железо | 7,85 | $$0,5799$$ | $$0,0310$$ |
| Алюминий | 2,70 | $$0,1958$$ | $$0,0327$$ |
| Неизвестный | ? | $$1,0990$$ | $$0,1877$$ |



График 3.1 Зависимость линейного коэффициента ослабления $μ$ от плотности материала поглотителя $ρ$

Используя график $μ\left(ρ\right)$, была определена плотность неизвестного материала $ρ=10,6 ^{г}/\_{см^{3}}$ (при помощи перпендикуляра). В ходе данного эксперимента выяснилось, что неизвестным материалом поглотителя является БрС30 с плотностью $ρ=10,0 ^{г}/\_{см^{3}}$. Из вышенаписанного следует, что $ρ\_{эксп}≈ρ\_{теор}$ – опыт проведён успешно.

График 3.2 Зависимость абсолютной погрешности линейного коэффициента ослабления $μ$ от плотности материала поглотителя $ρ$

Из графика следует, что значение плотности неизвестного материала лежит в пределах [7,05;11,0]. Плотность БрС30 10,0, данное значение лежит практически в конце интервала.

**Вывод:** В ходе данной лабораторной работы были изучены основные механизмы взаимодействия и закон ослабления при прохождении гамма-излучения через вещество.

Были найдены линейные коэффициенты ослабления поглотителей из различных материалов. Способ определения - аппроксимация экспериментальных точек с помощью программы OriginPro 8.

* $μ\_{pb}=1,2620\pm 0,0093 \left(см^{-1}\right);$
* $μ\_{fe}=0,5799\pm 0,0310 \left(см^{-1}\right);$
* $μ\_{al}=0,1958\pm 0,0327 \left(см^{-1}\right);$
* $μ\_{anon}=1,0990\pm 0,1877 \left(см^{-1}\right);$

Наибольшим линейным коэффициентом ослабления обладает свинец; наименьшим – алюминий. Из этого следует, что свинец имеет большую поглощающую способность из всех приведенных материалов.

Была найдена плотность неизвестного материала поглотителя. Используя график 3.1, экспериментально было получено значение плотности $ρ=10,6 ^{г}/\_{см^{3}}$. Из справочника было найдено ближайшее значение $ρ=10,0^{г}/\_{см^{3}}$. Материал, обладающий данной плотностью – БрС30.