



РОСАТОМ

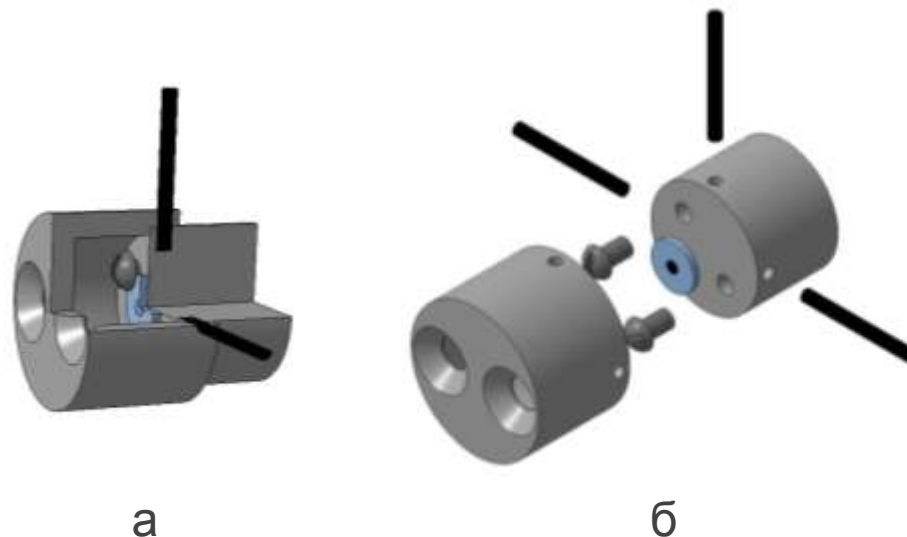
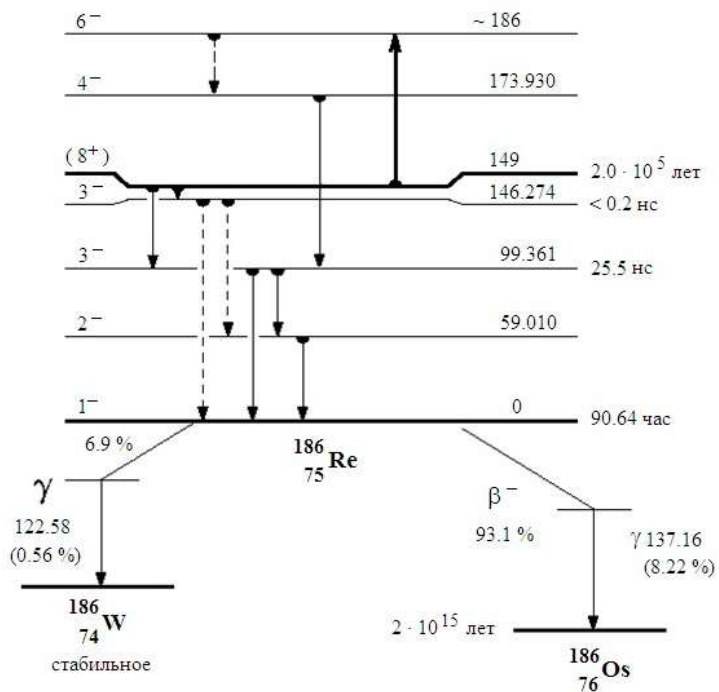
XIV ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

НАРУШЕНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАВНОВЕСИЯ МЕЖДУ ИЗОМЕРАМИ ЯДРА ^{186}Re В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ УСТАНОВКИ «ИСКРА-5»

Есьман А.А., Куликов М.А., Ларин Д.Е., Тачаев Г.В.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

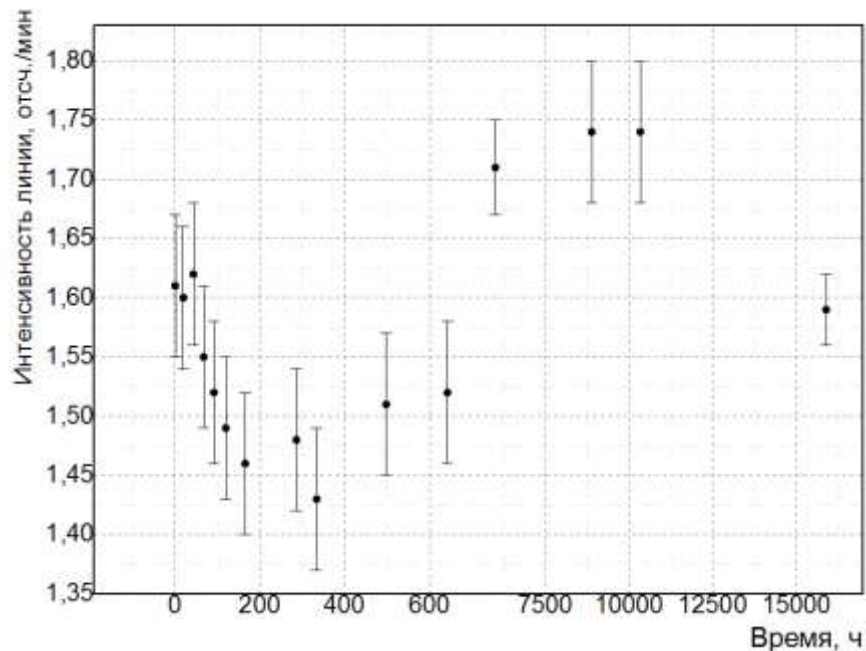
г. Снежинск, 19 марта 2019 г.



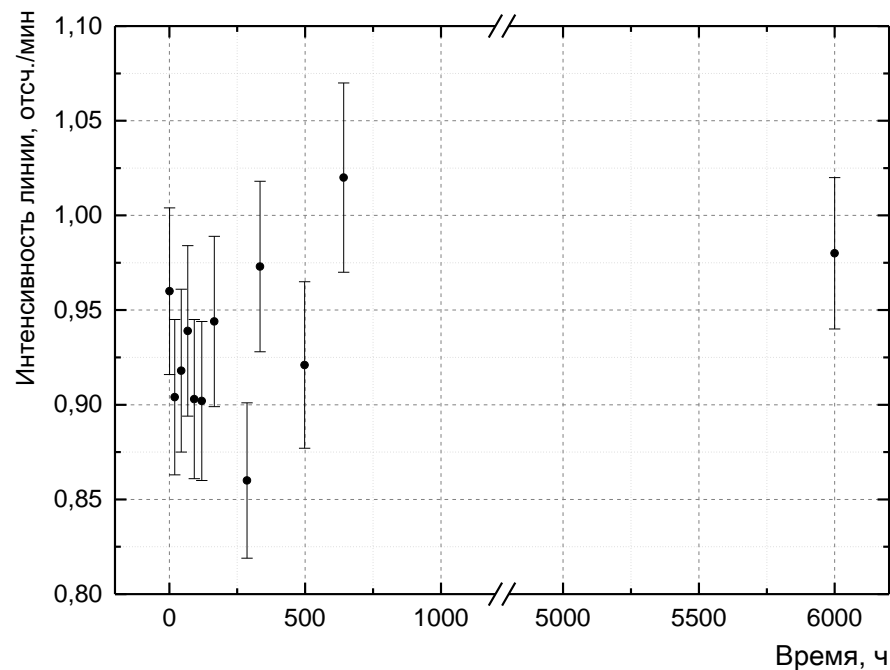
Бокс для экспериментов с изомерными препаратами рения:
а – бокс в разрезе; б – бокс в разборе

Энергетическая структура ядра ^{186}Re

После облучения мишеней проводилась спектрометрическая обработка с целью зафиксировать нарушение радиоактивного равновесия между основным (линия 137 кэВ) и метастабильным (линии 40 и 59 кэВ) состояниями ядра ^{186}Re



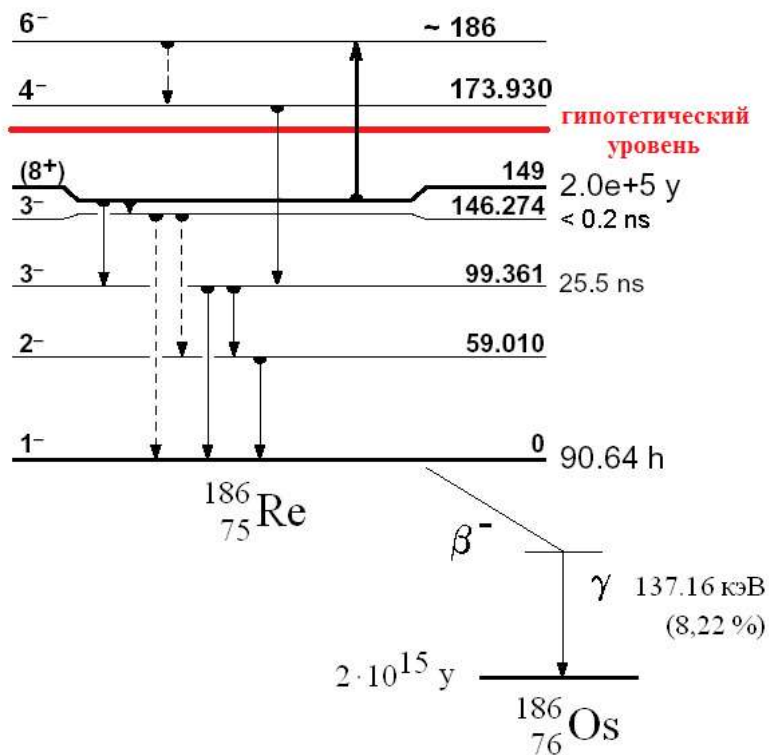
Поведение линии распада основного состояния ядра ^{186}Re после лазерного выстрела



Поведение линии распада возбуждённого состояния (40 кэВ) ядра ^{186}Re после лазерного выстрела

Параметры лазерного импульса:

300 Дж, 0,4 нс (ширина гауссиана), 300 мкм, 10^{15} Вт/см²



Соответствующая система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -\lambda_x x + \lambda_y y \\ \frac{dy}{dt} = -\lambda_y y + \lambda_z z, \\ \frac{dz}{dt} = -\lambda_z z \end{cases}$$

и её решение:

$$\begin{cases} x(t) = \frac{z_0 \lambda_y \lambda_z}{\lambda_z - \lambda_y} \cdot \left(\frac{e^{-\lambda_x t} - e^{-\lambda_y t}}{\lambda_y - \lambda_x} - \frac{e^{-\lambda_x t} - e^{-\lambda_z t}}{\lambda_z - \lambda_x} \right) + \frac{y_0 \lambda_y}{\lambda_y - \lambda_x} \cdot (e^{-\lambda_x t} - e^{-\lambda_y t}) + x_0 e^{-\lambda_x t} \\ y(t) = \frac{z_0 \lambda_z}{\lambda_z - \lambda_y} \cdot (e^{-\lambda_y t} - e^{-\lambda_z t}) + y_0 e^{-\lambda_y t} \\ z(t) = z_0 e^{-\lambda_z t} \end{cases}$$

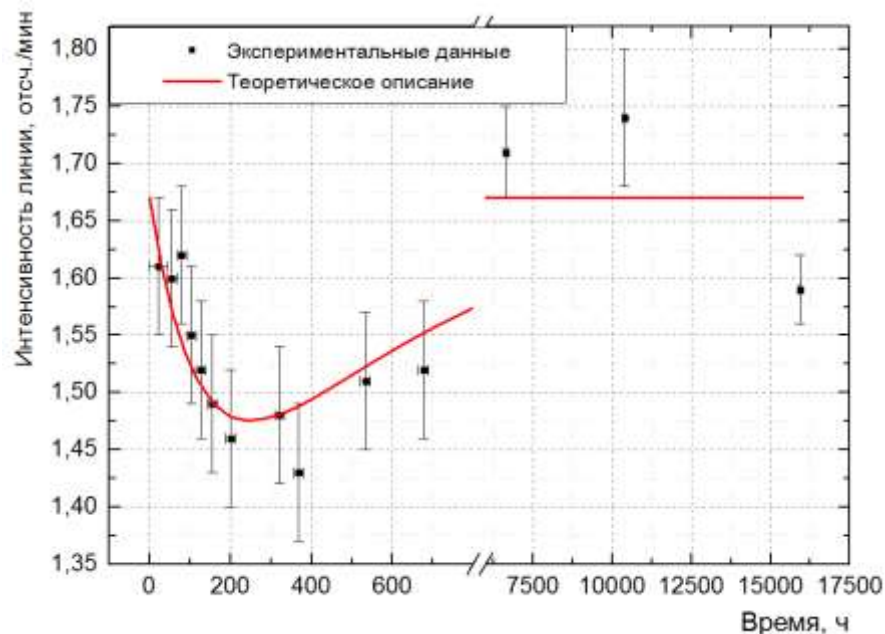
где x – основное состояние,
 y – возбуждённое состояние,
 z – гипотетическое состояние.

Предполагаем переход с возбуждённого на вышерасположенный триггерный уровень

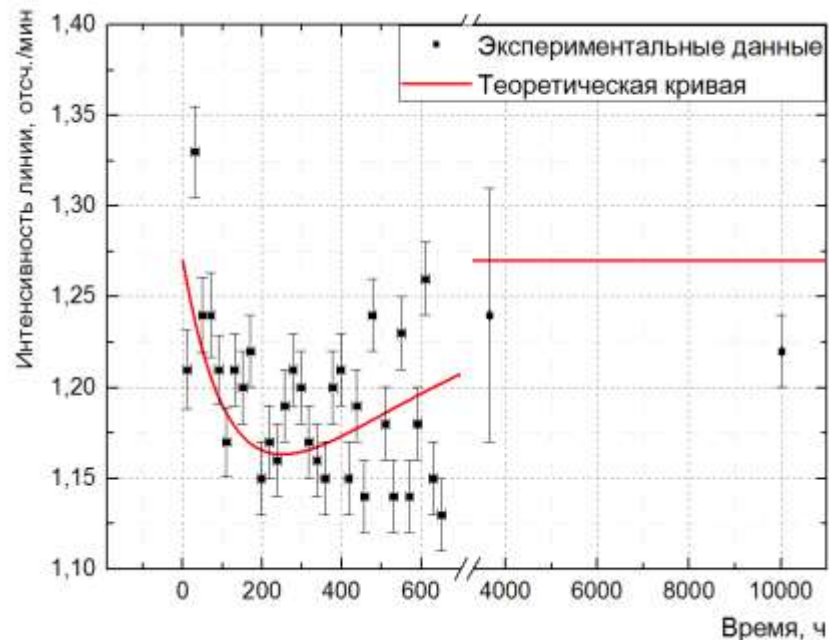
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ (МИШЕНИ №№58-59)



РОСАТОМ



Поведение активности линии
основного состояния
(мишень №59)



Поведение активности линии
основного состояния
(мишень №58)

Оценки, полученные подгонкой

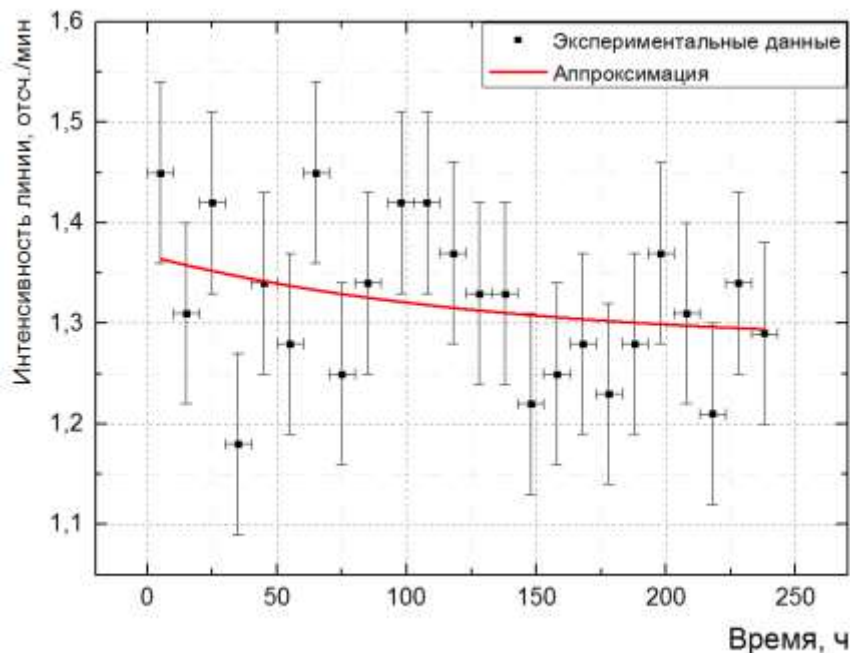
Мишень №59: $z_0 = 0,18$, $\lambda_z = 4,81 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ ($T_{1/2} \approx 400 \text{ ч}$), $\Delta I/I_{\text{max}} = 12\%$

Мишень №58: $z_0 = 0,13$, $\Delta I/I_{\text{max}} = 12\%$

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ (МИШЕНЬ №60)



РОСАТОМ

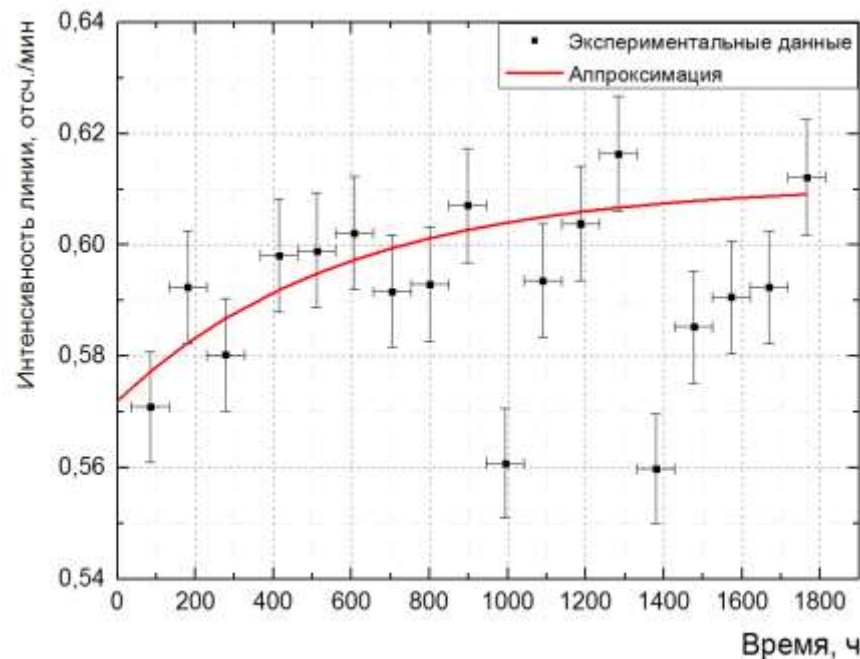


Поведение активности линии основного состояния, измеренное детектором-1

Аппроксимация:

$$I(t) = a + b \cdot 2^{-t/90,64 \text{ ч}},$$

$$a = 1,28 \text{ отсч./мин.}, b = 0,088 \text{ отсч./мин.}$$



Поведение активности линии основного состояния, измеренное детектором-2

Аппроксимация:

$$I(t) = a - b \cdot 2^{-t/400 \text{ ч}},$$

$$a = 0,611 \text{ отсч./мин.}, b = 0,039 \text{ отсч./мин.}$$

Однонуклонная модель Вайскопфа:

$$\frac{1}{\tau_l} = A \frac{R^{2l}}{\lambda^{2l+1}}, \quad \frac{\tau_y}{\tau_z} = \frac{A_z R^{2l_z-2l_y}}{A_y \lambda^{2l_z-2l_y}} = \frac{A_z}{A_y} \left(\frac{ER}{2\pi c \hbar} \right)^{2j}, \quad E = \frac{2\pi c \hbar}{R} \sqrt[2j]{\frac{A_y \tau_y}{A_z \tau_z}}, \quad R = 1,1 \text{ фм} \cdot \sqrt[3]{186} = 6,3 \text{ фм}$$

$$\frac{A_E}{A_M} = \left(\frac{eR}{e\hbar/m_N c} \right)^2 = \left(\frac{m_N c R}{\hbar} \right)^2 = \left(\frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 6,3 \text{ фм}}{1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}} \right)^2 = 890$$

Таблица – Возможные значения энергии распада гипотетического уровня, кэВ

Величина уносимого момента	Е-переход	М-переход
-2	4300	790
-1	94	3,2
1	$4,1 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^{10}$
2	$9,0 \cdot 10^6$	$4,9 \cdot 10^7$

Спин-чётность состояния z: 7⁺

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВНУТРИЯДЕРНЫХ ПЕРЕХОДОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



РОСАТОМ

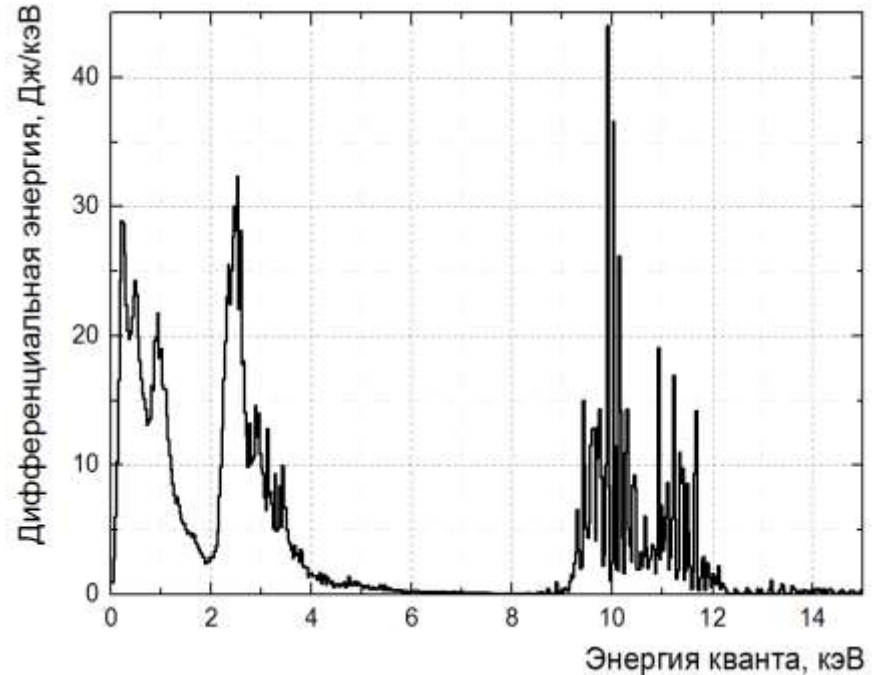
$$P(\omega) = \frac{2I_z + 1}{2I_y + 1} \frac{\pi^2 c^2}{\hbar} \frac{\Gamma_{zy}^2}{\Gamma_z \Gamma_G} \frac{S_0}{\omega^3} e^{-\left(\frac{E_0}{\hbar} - \omega\right)^2 \tau^2}$$

$$\frac{2I_z + 1}{2I_y + 1} = \frac{7 \cdot 2 + 1}{8 \cdot 2 + 1} = 0,88 \Rightarrow$$

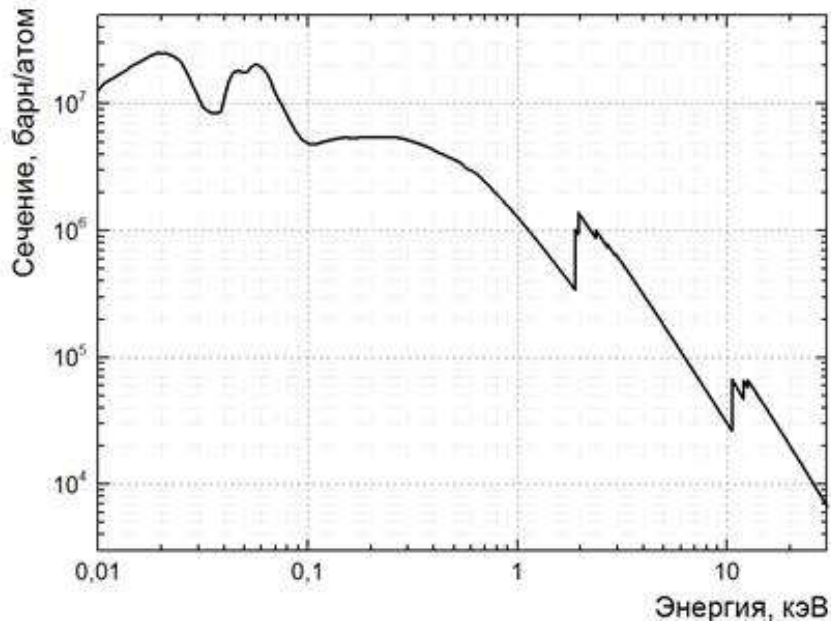
$$e^{-\left(\frac{E_0}{\hbar} - \omega\right)^2 \tau^2} \approx \frac{\Delta E}{\tau} \Rightarrow$$

$$\frac{\Gamma_{zy}^2}{\Gamma_z \Gamma_G} = \frac{(\Gamma_z + \Gamma_y)^2}{\Gamma_z \Gamma_G} = \frac{\left(\frac{\hbar}{\tau_z} + \frac{\hbar}{\tau_y}\right)^2}{\frac{\hbar^2}{\tau \tau_z}} \approx \frac{\tau}{\tau_z} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P \sim 10^{-21} \quad \text{НИЧТОЖНО МАЛО!}$$



Рассчитанный по Монте-Карло
спектр рентгеновского
излучения в мишени



Зависимость полного сечения взаимодействия фотонов с атомом рения

Энергии связи электронов на оболочках: $M3 - 2,3673$ кэВ;
 $M2 - 2,6816$ кэВ, $M1 - 2,932$ кэВ

Возможные механизмы

- Электронная конверсия – коэффициент $\sim 10^{20}$ (цепная реакция? малая концентрация изомера $\sim 10^{-5}$)
- Рентгеновский – ничтожная вероятность процесса
- Неупругостолкновительный – лазер не проникает вглубь мишени, мишень остаётся холодной
- Соударения с протонами и др. ионами
- Соударения с нейтронами
- Ещё один короткоживущий вышележащий уровень: 1 нс, момент 6^- , энергия 5,4 кэВ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ