

№	ФИО студента	Подложка	Плётка	Толщина плётки t , нм	Металл	Ион
12	Сотников Д.Э.	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	250	Ni	⁴ He ⁺

$$Z_{\text{He}} := 2 \text{ атомный номер иона}$$

$$M_{\text{He}} := 4.002602 \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad \text{относительная атомная масса иона}$$

$$m_0 := 0.00055 \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad \text{масса электрона}$$

$$q := 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot \text{C}$$

$$K_c := 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{\text{m}}{\text{F}}$$

$$\text{eV} := 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot \text{V}$$

Первый пункт

1. Построить кривые зависимости сечения торможения от энергии иона для каждого из элементов плётки и подложки, а также для материала само плётки и подложки на одном графике в диапазоне энергий от 0.5 МэВ до 3 МэВ.

Для определения сечения торможения нужно знать порядковый номер и энергию ионизации атомов мишени.

$$Z_{\text{Ga}} := 31$$

$$Z_{\text{Al}} := 13$$

$$Z_{\text{O}} := 8$$

$$I_{\text{Ga}} := 10 \cdot Z_{\text{Ga}} \cdot \text{eV} = 310 \cdot \text{eV}$$

$$I_{\text{Al}} := 10 \cdot Z_{\text{Al}} \cdot \text{eV} = 130 \cdot \text{eV}$$

$$I_{\text{O}} := 10 \cdot Z_{\text{O}} \cdot \text{eV} = 80 \cdot \text{eV}$$

$$\epsilon_{\text{Ga}}(E) := \left(K_c^2 \cdot \frac{2\pi \cdot Z_{\text{He}}^2 \cdot q^4}{E} \cdot Z_{\text{Ga}} \cdot \frac{M_{\text{He}}}{m_0} \right) \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot m_0 \cdot E}{M_{\text{He}} \cdot I_{\text{Ga}}} \right)$$

$$\epsilon_{\text{Al}}(E) := \left(K_c^2 \cdot \frac{2\pi \cdot Z_{\text{He}}^2 \cdot q^4}{E} \cdot Z_{\text{Al}} \cdot \frac{M_{\text{He}}}{m_0} \right) \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot m_0 \cdot E}{M_{\text{He}} \cdot I_{\text{Al}}} \right)$$

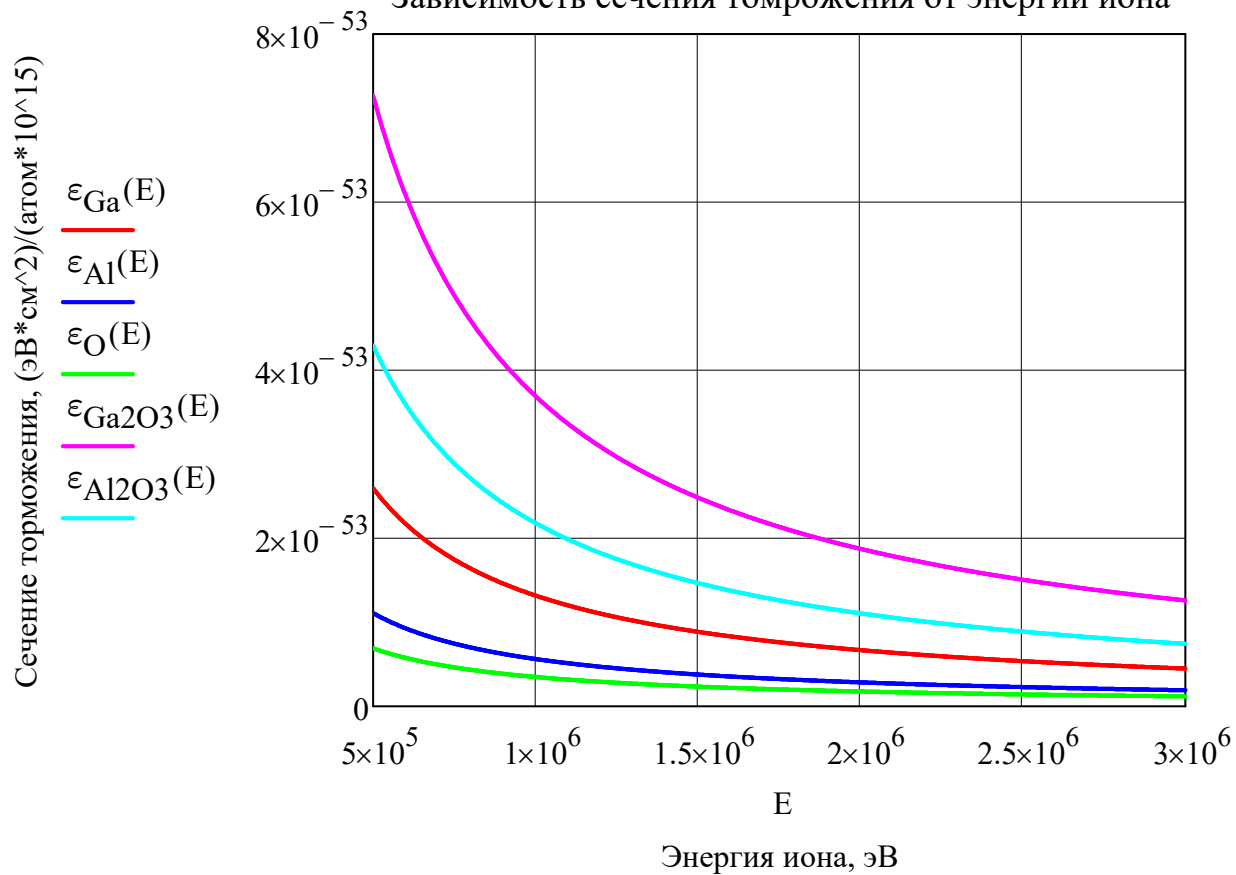
$$\epsilon_{\text{O}}(E) := \left(K_c^2 \cdot \frac{2\pi \cdot Z_{\text{He}}^2 \cdot q^4}{E} \cdot Z_{\text{O}} \cdot \frac{M_{\text{He}}}{m_0} \right) \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot m_0 \cdot E}{M_{\text{He}} \cdot I_{\text{O}}} \right)$$

При торможении в материале сложного состава сечение торможения складывается из сечений торможения от каждого рода атомов с весом, равным относительному содержанию элементов.

$$\epsilon_{\text{Ga}_2\text{O}_3}(E) := 2\epsilon_{\text{Ga}}(E) + 3 \cdot \epsilon_{\text{O}}(E)$$

$$\epsilon_{\text{Al}_2\text{O}_3}(E) := 2\epsilon_{\text{Al}}(E) + 3 \cdot \epsilon_{\text{O}}(E)$$

Зависимость сечения торможения от энергии иона



Второй Пункт

2. Построить спектр обратного рассеяния.

Слой металла

Ni - используемый металл

$t := 250 \cdot 10^{-7} \cdot \text{cm}$ - толщина пленки Al_2O_3

$Z_{Ni} := 28$

$M_{Ni} := 58.6934 \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}}$

$I := 10 \cdot 10^{-6} \cdot \text{A}$ - ток пучка ионов

$tt := 30 \cdot \text{s}$ - длительность бомбардировки

$\theta := 170 \cdot \text{deg}$ - угол рассеяния

$A := 0.1 \cdot \text{cm}^2$ - площадь приемного окна детектора

$L := 5 \cdot \text{cm}$ - расстояния до детектора

$E_0 := 2.5 \cdot 10^6 \cdot \text{eV}$ - энергия налетающего иона

Расчёт телесного угла захвата детектора и количество частиц в пучке ионов.

$$\Omega := \frac{A}{L^2} = 4 \times 10^{-3} \cdot \text{sr}$$

$$Q := \frac{I \cdot t}{q} = 1.875 \times 10^{15}$$

Определение концентрации атомов в мишени

$$N_A := 6.022 \cdot 10^{23} \cdot \frac{1}{\text{mol}} \quad \begin{array}{l} \text{- число} \\ \text{Авогадро} \end{array}$$

$$\rho_{\text{Ni}} := 8.902 \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \text{- плотность мишени}$$

$$N_{\text{Ni}} := \frac{N_A}{M_{\text{Ni}}} \cdot \rho_{\text{Ni}} = 9.134 \times 10^{22} \cdot \frac{1}{\text{cm}^3}$$

По формуле Резерфорда рассчитаем дифференциальное сечение рассеяния

Так как исследуемый слой считается тонким (менее 0.5 мкм), то энергию выхода можно посчитать как произведение начальной энергии на кинематический фактор

$$K_{\text{Ni}} := \left[\frac{\cos(\theta) + \sqrt{\left| \left(\frac{M_{\text{Ni}}}{M_{\text{He}}} \right)^2 - \sin^2(\theta) \right|}}{1 + \frac{M_{\text{Ni}}}{M_{\text{He}}}} \right]^2 = 0.763 \quad \left(\frac{M_{\text{Ni}}}{M_{\text{He}}} \right)^2 - \sin^2(\theta) = 214.997$$

$$E_{\text{Ni}} := E_0 \cdot K_{\text{Ni}} = 1.906 \times 10^6 \cdot \text{eV}$$

$$d\sigma_{d\Omega, \text{Ni}} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{\text{He}} \cdot Z_{\text{Ni}} \cdot q^2}{4 \cdot E_{\text{Ni}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} = 1.136 \cdot \frac{\text{barn}}{\text{sr}} \quad \text{- формула Резерфорда}$$

Рассчитаем выход рассеяния.

$$Y_{\text{Ni}} := d\sigma_{d\Omega, \text{Ni}} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_{\text{Ni}}^{\frac{2}{3}} = 1.727 \times 10^4$$

$$\delta E_d := 20 \cdot 10^3 \cdot \text{eV} \quad - \text{ разрешение детектора}$$

Не имея данных о толщине пленки металла, рассчитать разрешение страгглинга нельзя, поэтому примем предел разрешения равным разрешению детектора.

$$\delta E := \delta E_d$$

Зная выход рассеяния и предел разрешения, сможем посчитать высоту спектра

$$d_n := 5 \cdot 10^3 \cdot \text{eV} \quad - \text{ ширина канала}$$

$$H_{Ni} := \frac{Y_{Ni}}{\sqrt{2\pi \cdot \left(\frac{\delta E}{d_n}\right)^2}} \cdot e^{\frac{(E_0 - E_{Ni})^2}{2 \cdot \delta E^2}} = 3.92 \times 10^{194}$$

Тонкая пленка

Определим концентрацию атомов в мишени

$$\rho_{Al_2O_3} := 3.99 \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad - \text{ плотность мишени} \quad M_{Al} := 26.9815386 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$N_A := 6.022 \cdot 10^{23} \cdot \frac{1}{\text{mol}} \quad - \text{ число Авогадро}$$

$$M_{Al_2O_3} := 101.96 \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad \text{молярная масса алюминия}$$

$$N_{Al_2O_3} := \frac{N_A}{M_{Al_2O_3}} \cdot \rho_{Al_2O_3} = 2.357 \times 10^{22} \cdot \frac{1}{\text{cm}^3}$$

$$N_{Al} := \frac{2}{5} \cdot N_{Al_2O_3} = 9.426 \times 10^{21} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$N_O := \frac{3}{5} \cdot N_{Al_2O_3} = 1.414 \times 10^{22} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$\rho_O := 0.00142897 \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad - \text{ плотность мишени (кислород)}$$

$$M_O := 15.9994 \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$K_{Al} := \left[\frac{\cos(\theta) + \sqrt{\left(\frac{M_{Al}}{M_{He}}\right)^2 - \sin(\theta)^2}}{1 + \frac{M_{Al}}{M_{He}}} \right]^2 = 0.553 \quad \left(\frac{M_{Al}}{M_{He}}\right)^2 - \sin(\theta)^2 = 45.411$$

$$E_{Al} := E_0 \cdot K_{Al} = 1.381 \times 10^6 \cdot \text{eV}$$

$$d\sigma_{d\Omega,Al} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{He} \cdot Z_{Al} \cdot q^2}{4 \cdot E_{Al}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} = 0.466 \cdot \frac{\text{barn}}{\text{sr}} \quad - \text{формула Резерфорда}$$

$$Y_{Al} := d\sigma_{d\Omega,Al} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_{Al}^{\frac{2}{3}} = 1.56 \times 10^3$$

$$K_O := \left[\frac{\cos(\theta) + \sqrt{\left(\frac{M_O}{M_{He}}\right)^2 - \sin(\theta)^2}}{1 + \frac{M_O}{M_{He}}} \right]^2 = 0.362 \quad \left(\frac{M_O}{M_{He}}\right)^2 - \sin(\theta)^2 = 15.948$$

$$E_O := E_0 \cdot K_O = 9.062 \times 10^5 \cdot \text{eV}$$

Поскольку атом кислорода относительно легкий, для него в формулу Резерфорда нужно внести поправку.

$$d\sigma_{d\Omega,O} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{He} \cdot Z_O \cdot q^2}{4 \cdot E_O} \right)^2 \cdot \frac{4}{\sin(\theta)^4} \cdot \frac{\left[\sqrt{1 - \left(\frac{M_{He}}{M_O} \cdot \sin(\theta)\right)^2} + \cos(\theta) \right]^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{M_{He}}{M_O} \cdot \sin(\theta)\right)^2}} = 0.361 \cdot \frac{\text{barn}}{\text{sr}}$$

$$Y_O := d\sigma_{d\Omega,O} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_O^{\frac{2}{3}} = 1.584 \times 10^3$$

Посчитаем разрешение страгтлинга с применением формулы Бора для двух компонент пленки.

$$\delta E_s := 2.35 \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot K_c^2 \cdot Z_{He}^2 \cdot q^4 \cdot N_{Al} \cdot Z_{Al} \cdot t} = 4.199 \times 10^3 \cdot \text{eV}$$

$$\delta E_s = 4.199 \times 10^3 \cdot \text{eV}$$

$$\delta E_{Al} := \sqrt{\delta E_s^2 + \delta E_d^2} = 2.044 \times 10^4 \cdot \text{eV}$$

$$\delta E_s := 2.35 \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot K_c^2 \cdot Z_{He}^2 \cdot q^4 \cdot N_O \cdot Z_O \cdot t} = 4.035 \times 10^3 \cdot \text{eV}$$

$$\delta E_s = 4.035 \times 10^3 \cdot \text{eV}$$

$$\delta E_O := \delta E_d$$

$$E_{n0} := 0.1 \cdot 10^6 \cdot \text{eV} = 1.6 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$n_{Ni} := \text{ceil}\left(\frac{E_{Ni} - E_{n0}}{d_n}\right) = 362$$

$$\sigma := \frac{\delta E_d}{d_n}$$

$$\mu := n_{Ni} = 362$$

Определим значение коэффициента энергетических потерь при обратном рассеянии.

$$S_{Al} := K_{Al} \cdot \varepsilon_{Al}(E_{Ni}) \cdot N_{Al} + \frac{1}{|\cos(\theta)|} \cdot (K_{Al} \cdot \varepsilon_{Al}(K_{Al} \cdot E_0) \cdot N_{Al}) = 6.142 \cdot \frac{\text{eV}}{\text{Angstrom}}$$

$$\Delta E_{Al} := t \cdot S_{Al} = 1.536 \times 10^4 \cdot \text{eV}$$

$$S_O := K_O \cdot \varepsilon_O(E_0) \cdot N_O + \frac{1}{|\cos(\theta)|} \cdot (K_O \cdot \varepsilon_O(K_O \cdot E_0) \cdot N_O) = 4.955 \cdot \frac{\text{eV}}{\text{Angstrom}}$$

$$\Delta E_O := t \cdot S_O = 1.239 \times 10^4 \cdot \text{eV}$$

$$E_{n0} := 0.1 \cdot 10^6 \cdot \text{eV} \quad - \text{ энергия нулевого канала}$$

$$n_{Ni} := \text{ceil}\left(\frac{E_{Ni} - E_{n0}}{d_n}\right) = 362$$

$$\mu := n_{Ni} = 362$$

$$\sigma := \frac{\delta E}{d_n} = 4$$

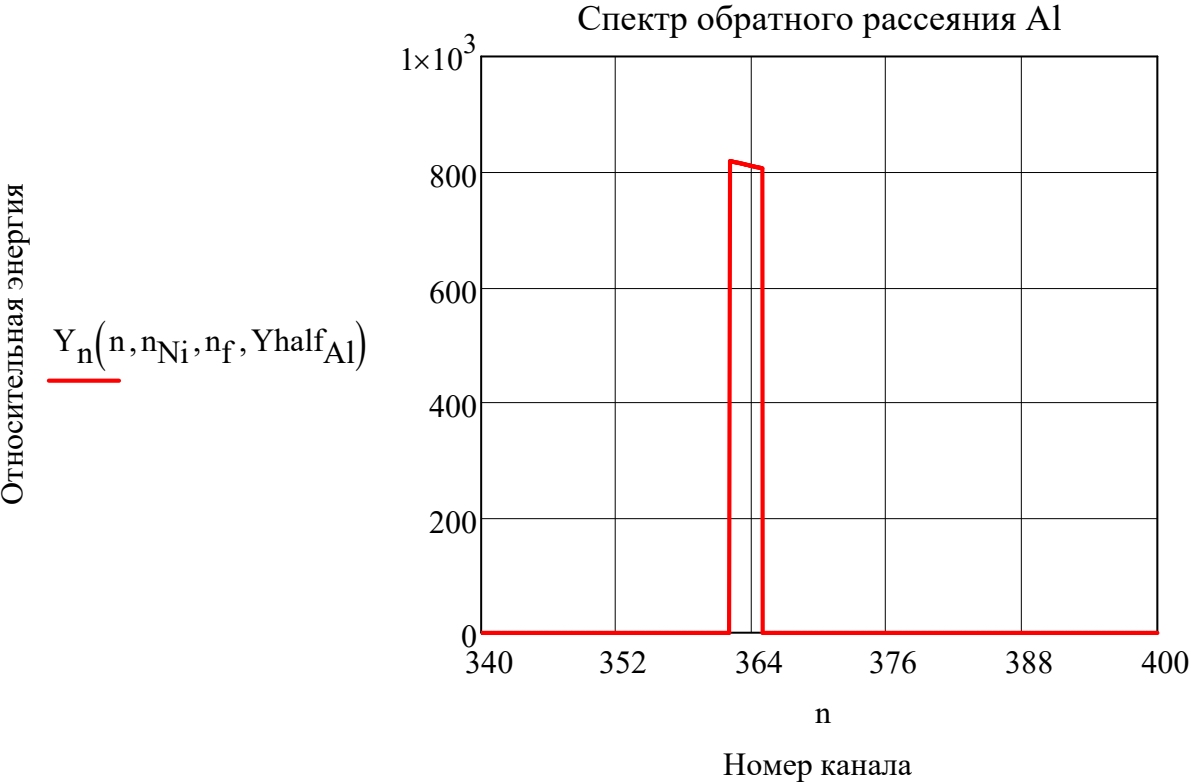
$$n_f := \text{ceil}\left[\frac{(E_{Ni} + \Delta E_{Al}) - E_{n0}}{d_n}\right] = 365$$

$$E_{half_{Al}} := E_{Ni} + \frac{\Delta E_{Al}}{2} = 1.914 \times 10^6 \cdot \text{eV}$$

$$Y_{half_{Al}} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{He} \cdot Z_{Al} \cdot q^2}{4 \cdot E_{half_{Al}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_{Al}^{\frac{2}{3}} = 812.699$$

$$n_{half_{Al}} := n_{Ni} + \left(\frac{n_f - n_{Ni}}{2} \right) = 363.5$$

$$Y_n(n,n_{Ni},n_f,Y_{half_{Al}}) := \left\{ \begin{array}{l} n05 \leftarrow n_{Ni} + \left(\frac{n_f - n_{Ni}}{2} \right) \\ Y_n \leftarrow Y_{half_{Al}} \cdot \left(\frac{n05}{n} \right)^2 \quad \text{if } n_{Ni} < n < n_f \\ Y_n \leftarrow 0 \quad \text{otherwise} \\ Y_n \end{array} \right.$$



Определим концентрацию атомов в мишени

$$\rho_{\text{Ga}_2\text{O}_3} := 6.44 \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad - \text{плотность мишени}$$

$$N_A := 6.022 \cdot 10^{23} \cdot \frac{1}{\text{mol}} \quad - \text{число Авогадро}$$

$$M_{\text{Ga}_2\text{O}_3} := 187.444 \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$N_{\text{Ga}_2\text{O}_3} := \frac{N_A}{M_{\text{Ga}_2\text{O}_3}} \cdot \rho_{\text{Ga}_2\text{O}_3} = 2.069 \times 10^{22} \cdot \frac{1}{\text{cm}^3}$$

$$M_{\text{Ga}} := 69.723 \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$N_{\text{O}} := \frac{3}{5} \cdot N_{\text{Ga}_2\text{O}_3} = 1.241 \times 10^{22} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$N_{\text{Ga}} := \frac{2}{5} \cdot N_{\text{Ga}_2\text{O}_3} = 8.276 \times 10^{21} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$\rho_{\text{O}} := 0.00142897 \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad - \text{плотность мишени (кислород)}$$

$$M_{\text{O}} := 15.9994 \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$K_{\text{Ga}} := \left[\frac{\cos(\theta) + \sqrt{\left| \left(\frac{M_{\text{Ga}}}{M_{\text{He}}} \right)^2 - \sin^2(\theta) \right|}}{1 + \frac{M_{\text{Ga}}}{M_{\text{He}}}} \right]^2 = 0.796$$

$$\left(\frac{M_{\text{Ga}}}{M_{\text{He}}} \right)^2 - \sin^2(\theta) = 303.406$$

$$E_{\text{Ga}} := E_0 \cdot K_{\text{Ga}} = 1.99 \times 10^6 \cdot \text{eV}$$

$$d\sigma_{d\Omega, \text{Ga}} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{\text{He}} \cdot Z_{\text{Ga}} \cdot q^2}{4 \cdot E_{\text{Ga}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} = 1.277 \cdot \frac{\text{barn}}{\text{sr}} \quad - \text{формула Резерфорда}$$

$$Y_{\text{Ga}} := d\sigma_{d\Omega, \text{Ga}} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_{\text{Ga}}^{\frac{2}{3}} = 3.919 \times 10^3$$

$$K_O := \left[\frac{\cos(\theta) + \sqrt{\left| \left(\frac{M_O}{M_{He}} \right)^2 - \sin(\theta)^2 \right|}}{1 + \frac{M_O}{M_{He}}} \right]^2 = 0.362 \quad \left(\frac{M_O}{M_{He}} \right)^2 - \sin(\theta)^2 = 15.948$$

$$E_O := E_0 \cdot K_O = 9.062 \times 10^5 \cdot \text{eV}$$

$$d\sigma_{d\Omega_O} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{He} \cdot Z_O \cdot q^2}{4 \cdot E_O} \right)^2 \cdot \frac{4}{\sin(\theta)^4} \cdot \frac{\left[\sqrt{1 - \left(\frac{M_{He}}{M_O} \cdot \sin(\theta) \right)^2} + \cos(\theta) \right]^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{M_{He}}{M_O} \cdot \sin(\theta) \right)^2}} = 0.361 \cdot \frac{\text{barn}}{\text{sr}}$$

$$Y_O := d\sigma_{d\Omega_O} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_O^{\frac{2}{3}} = 1.452 \times 10^3$$

Толщина подложки нам не известна, поэтому разрешение страгглинга посчитать при данных условиях нельзя.

Определим значение коэффициента энергетических потерь при обратном рассеянии.

$$S_{Ga} := K_{Ga} \cdot \epsilon_{Ga}(E_{Ga}) \cdot N_{Ga} + \frac{1}{|\cos(\theta)|} \cdot (K_{Ga} \cdot \epsilon_{Ga}(K_{Ga} \cdot E_0) \cdot N_{Ga}) = 9.89 \cdot \frac{\text{eV}}{\text{Angstrom}}$$

$$\Delta E_{Ga} := t \cdot S_{Ga} = 2.473 \times 10^4 \cdot \text{eV}$$

$$S_O := K_O \cdot \epsilon_O(E_0) \cdot N_O + \frac{1}{|\cos(\theta)|} \cdot (K_O \cdot \epsilon_O(K_O \cdot E_0) \cdot N_O) = 4.351 \cdot \frac{\text{eV}}{\text{Angstrom}}$$

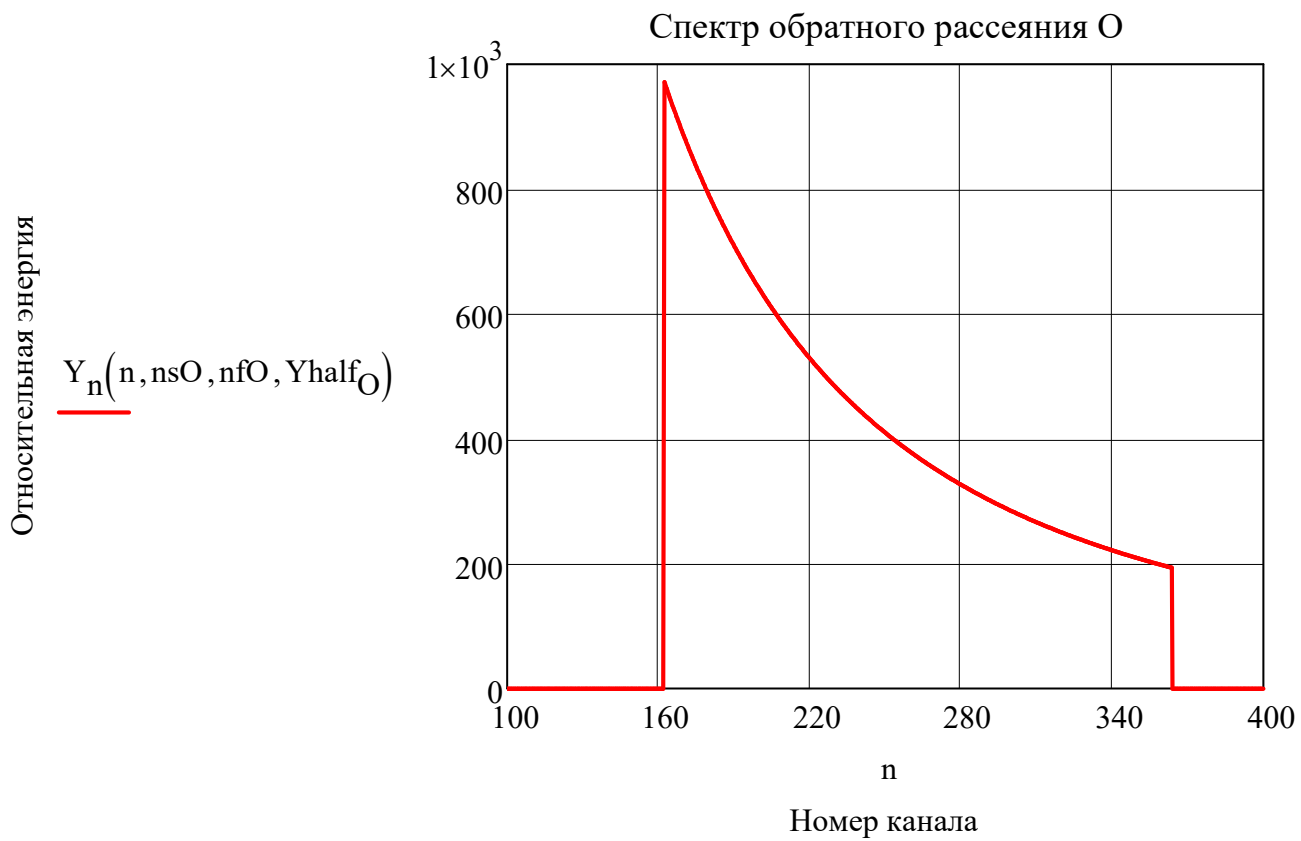
$$\Delta E_O := t \cdot S_O = 1.088 \times 10^4 \cdot \text{eV}$$

$$nsO := \text{ceil} \left(\frac{E_O - E_{n0}}{d_n} \right) = 162$$

$$nfO := \text{ceil} \left[\frac{(E_{Ni} + \Delta E_O) - E_{n0}}{d_n} \right] = 364$$

$$E_{halfO} := E_{Ni} + \frac{\Delta E_O}{2} = 1.912 \times 10^6 \cdot \text{eV}$$

$$Y_{halfO} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{He} \cdot Z_O \cdot q^2}{4 \cdot E_{halfO}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_O^{\frac{2}{3}} = 370.637$$



$$E_{GaO} := E_{Ga} \cdot K_O = 7.214 \times 10^5 \cdot eV \quad E_{OAl} := E_O \cdot K_{Al} = 5.007 \times 10^5 \cdot eV$$

$$E_{GaAl} := E_{Ga} \cdot K_{Al} = 1.1 \times 10^6 \cdot eV \quad E_{OO} := E_O \cdot K_O = 3.285 \times 10^5 \cdot eV$$

$$d\sigma_{d\Omega.GaO} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{He} \cdot Z_{Ga} \cdot q^2}{4 \cdot E_{GaO}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} = 9.721 \cdot \frac{\text{barn}}{\text{sr}}$$

$$d\sigma_{d\Omega.GaAl} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{He} \cdot Z_{Ga} \cdot q^2}{4 \cdot E_{GaAl}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} = 4.184 \cdot \frac{\text{barn}}{\text{sr}}$$

$$d\sigma_{d\Omega.OAl} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{He} \cdot Z_O \cdot q^2}{4 \cdot E_{OAl}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{M_{He}}{M_O} \right)^2 \cdot \sin(\theta) \right]^2} + \cos(\theta)}{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{M_{He}}{M_O} \right)^2 \cdot \sin(\theta)^2 \right]^2}} = 0.02 \cdot \frac{\text{barn}}{\text{sr}}$$

$$d\sigma_{d\Omega.OO} := K_c^2 \cdot \left(\frac{Z_{He} \cdot Z_O \cdot q^2}{4 \cdot E_{OO}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{M_{He}}{M_O} \right)^2 \cdot \sin(\theta) \right]^2} + \cos(\theta)}{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{M_{He}}{M_O} \right)^2 \cdot \sin(\theta)^2 \right]^2}} = 0.047 \cdot \frac{\text{barn}}{\text{sr}}$$

$$Y_{GaO} := d\sigma_{d\Omega.GaO} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_{Ga}^{\frac{2}{3}} = 2.983 \times 10^4$$

$$Y_{GaAl} := d\sigma_{d\Omega.GaAl} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_{Ga}^{\frac{2}{3}} = 1.284 \times 10^4$$

$$Y_{O.Al} := d\sigma_{d\Omega.OAl} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_O^{\frac{2}{3}} = 81.771$$

$$Y_{OO} := d\sigma_{d\Omega.OO} \cdot \Omega \cdot Q \cdot N_O^{\frac{2}{3}} = 189.979$$

$$nf_{GaO} := \text{ceil}\left(\frac{E_{GaO} - E_{n0}}{d_n}\right) = 125$$

$$E_{cpGaO} := \frac{E_{GaO} - E_{n0}}{2} = 3.107 \times 10^5 \cdot \text{eV}$$

$$nf_{GaAl} := \text{ceil}\left(\frac{E_{GaAl} - E_{n0}}{d_n}\right) = 200$$

$$E_{cpGaAl} := \frac{E_{GaAl} - E_{n0}}{2} = 4.998 \times 10^5 \cdot \text{eV}$$

$$nf_{OAl} := \text{ceil}\left(\frac{E_{OAl} - E_{n0}}{d_n}\right) = 81$$

$$E_{cpOAl} := \frac{E_{OAl} - E_{n0}}{2} = 2.003 \times 10^5 \cdot \text{eV}$$

$$\text{nfOO} := \text{ceil}\left(\frac{\text{E}_{\text{OO}} - \text{En0}}{\text{d}_{\text{n}}}\right) = 46$$

$$\text{EcpOO} := \frac{\text{E}_{\text{OO}} - \text{En0}}{2} = 1.142 \times 10^5 \cdot \text{eV}$$

~~$$\text{E}_{\text{Ga}} := \text{K}_{\text{Ga}} \cdot \text{E}_0$$~~

~~$$\text{E}_{\text{O}} := \text{K}_{\text{O}} \cdot \text{E}_0$$~~

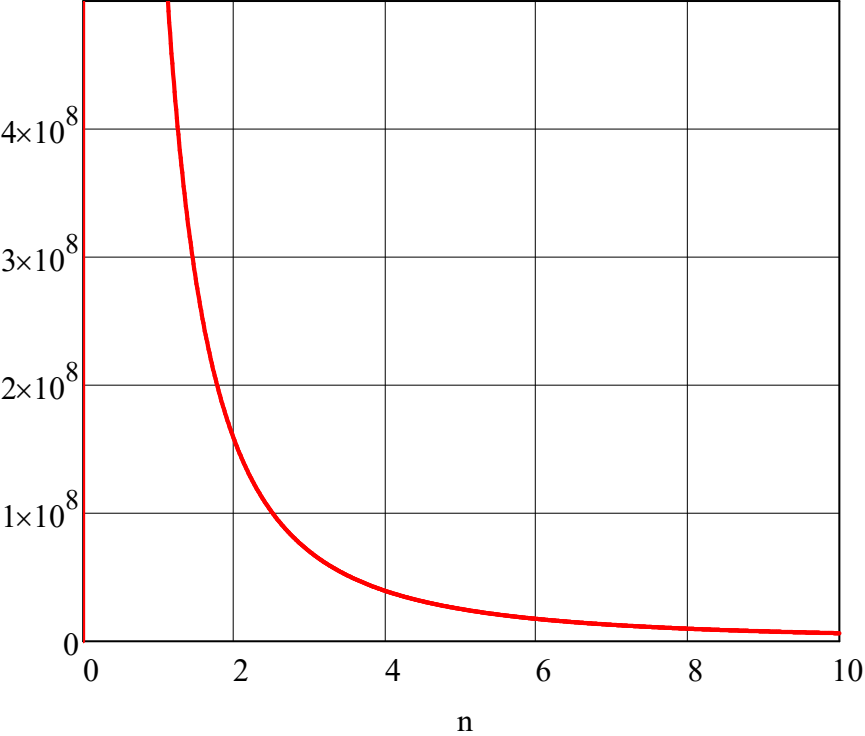
$$\text{Y05}_{\text{GaO}} := \text{K}_{\text{c}}^2 \cdot \left(\frac{\text{Z}_{\text{He}} \cdot \text{Z}_{\text{Ga}} \cdot \text{q}^2}{4 \cdot \text{EcpGaO}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \cdot \Omega \cdot \text{Q} \cdot \text{N}_{\text{Ga}}^{\frac{2}{3}} = 1.608 \times 10^5$$

$$\text{Y05}_{\text{GaAl}} := \text{K}_{\text{c}}^2 \cdot \left(\frac{\text{Z}_{\text{He}} \cdot \text{Z}_{\text{Ga}} \cdot \text{q}^2}{4 \cdot \text{EcpGaAl}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \cdot \Omega \cdot \text{Q} \cdot \text{N}_{\text{Ga}}^{\frac{2}{3}} = 6.215 \times 10^4$$

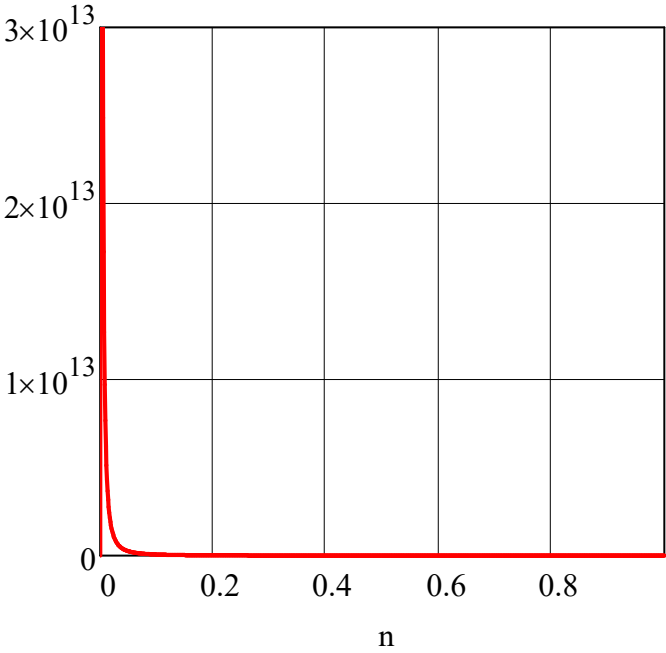
$$\text{Y05}_{\text{OAl}} := \text{K}_{\text{c}}^2 \cdot \left(\frac{\text{Z}_{\text{He}} \cdot \text{Z}_{\text{O}} \cdot \text{q}^2}{4 \cdot \text{EcpOAl}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{\text{M}_{\text{He}}}{\text{M}_{\text{O}}}\right)^2 \cdot \sin(\theta)\right]^2} + \cos(\theta)}{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{\text{M}_{\text{He}}}{\text{M}_{\text{O}}}\right)^2 \cdot \sin(\theta)^2\right]^2}} \cdot \Omega \cdot \text{Q} \cdot \text{N}_{\text{O}}^{\frac{2}{3}} = 510.72$$

$$\text{Y05}_{\text{OO}} := \text{K}_{\text{c}}^2 \cdot \left(\frac{\text{Z}_{\text{He}} \cdot \text{Z}_{\text{O}} \cdot \text{q}^2}{4 \cdot \text{EcpOO}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{\text{M}_{\text{He}}}{\text{M}_{\text{O}}}\right)^2 \cdot \sin(\theta)\right]^2} + \cos(\theta)}{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{\text{M}_{\text{He}}}{\text{M}_{\text{O}}}\right)^2 \cdot \sin(\theta)^2\right]^2}} \cdot \Omega \cdot \text{Q} \cdot \text{N}_{\text{O}}^{\frac{2}{3}} = 1.571 \times 10^3$$

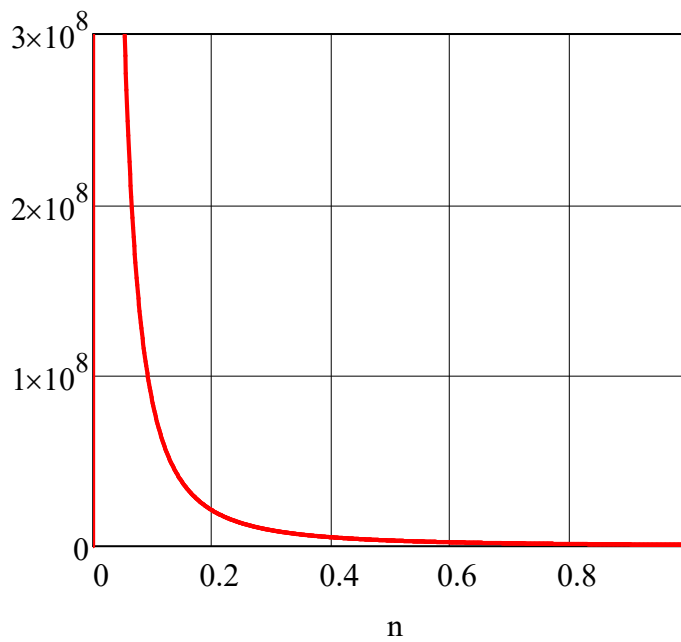
$Y_n(n, 0, \text{nfGaO}, Y05_{\text{GaO}})$



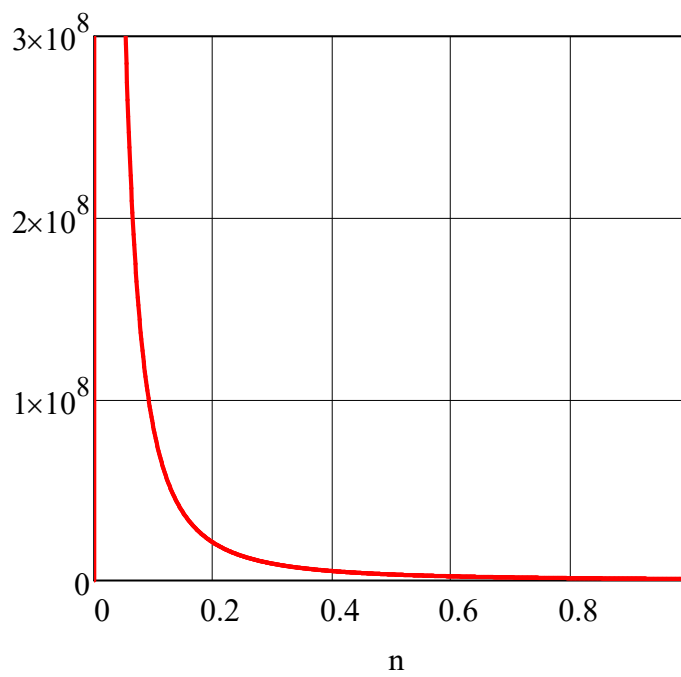
$Y_n(n, 0, \text{nfGaAl}, Y05_{\text{GaAl}})$



$$\underline{Y_n(n,0,nfOAl,Y05_{OAl})}$$



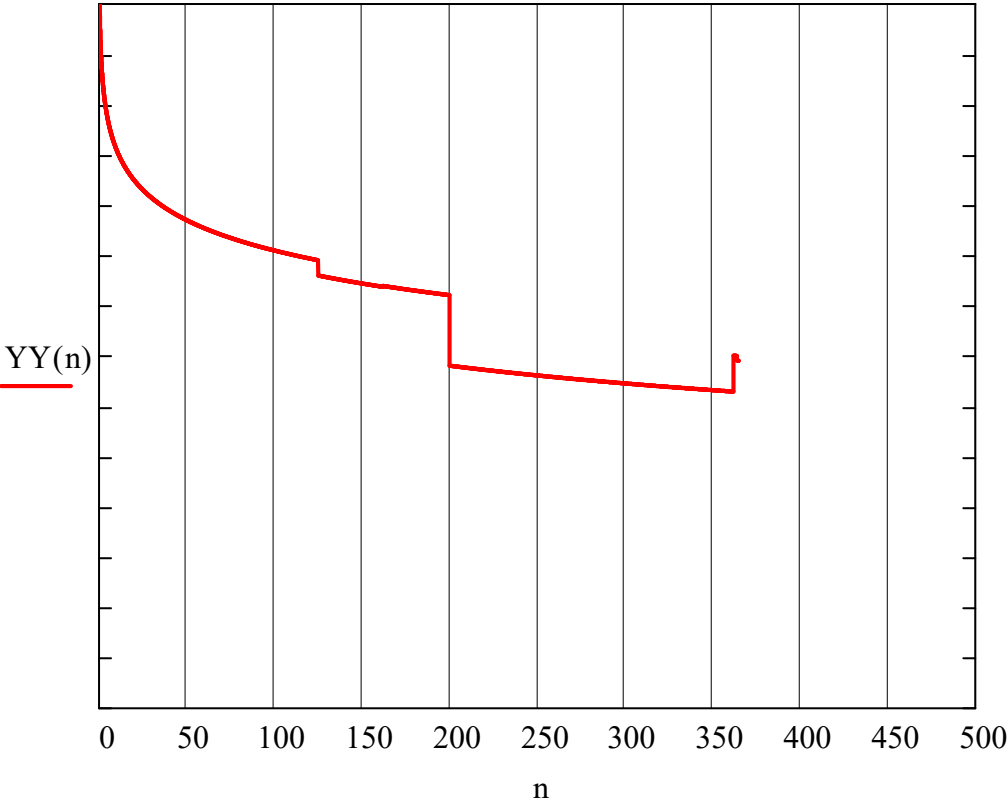
$$\underline{Y_n(n,0,nfOO,Y05_{OO})}$$



$$\begin{aligned} YY(n) &:= f_{Gauss}(n) + Y_n(n,0,nfSiO,Y05_{SiO}) + Y_n(n,0,nfSiSn,Y05_{SiSn}) + Y_n(n,0,nfOSn,Y05_{OSn}) + \\ &+ Y_n(n,0,nfOO,Y05_{OO}) + Y_n(n,nsO,nfO,Yhalf_O) + Y_n(n,n_{Pt},n_f,Yhalf_{Sn}) \end{aligned}$$

$$YY(n) := Y_n(n,0,nfGaO,Y05_{GaO}) + Y_n(n,0,nfGaAl,Y05_{GaAl}) + Y_n(n,0,nfOAl,Y05_{OAl}) + Y_n(n,0,nfSiO,Y05_{SiO}) + Y_n(n,0,nfSiSn,Y05_{SiSn}) + Y_n(n,0,nfOSn,Y05_{OSn}) + Y_n(n,0,nfOO,Y05_{OO}) + Y_n(n,nsO,nfO,Yhalf_O) + Y_n(n,n_{Pt},n_f,Yhalf_{Sn})$$

$$n := n_f, n_f - 0.01 \dots 0$$



$$n,0,nf_{OO},Y_{05_{OO}})+Y_n(n,ns_O,nf_O,Y_{half_O})+Y_n(n,n_{Ni},n_f,Y_{half_{Al}})$$