

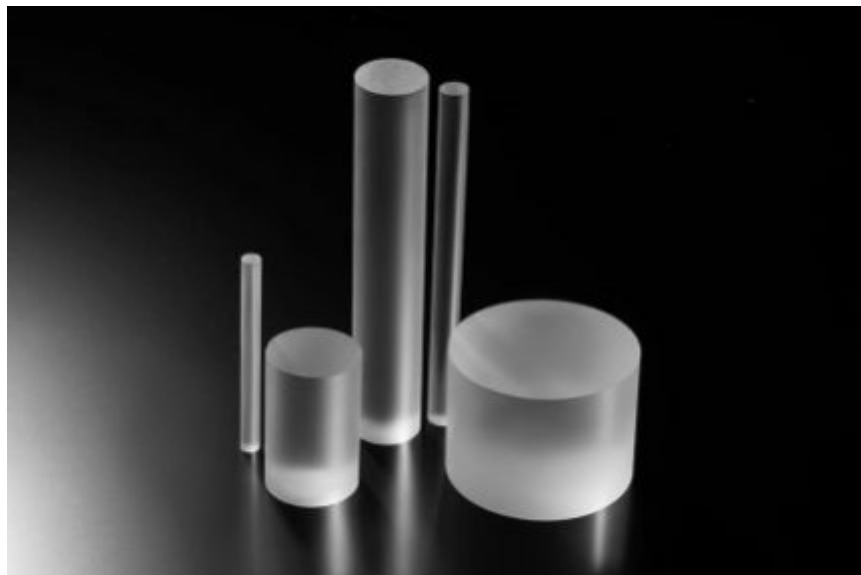
# РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ LiF И $Gd_3Ga_5O_{12}$ В ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ ДО 200 ГПа

*Е. И. Несмиянов<sup>1</sup>, А. В. Красильников<sup>2</sup>, Я. Е. Стариков<sup>1</sup>, Е. С. Шестаковская<sup>1</sup>, А. Я. Лейви<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия

<sup>2</sup> ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский НИИ технической физики имени академика Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

E-mail: nesmianov@inbox.ru



Оптическая прозрачность  $\lambda = 120\text{—}6000\text{ нм}$



Давление  $P$  до 200 ГПа



Оптические элементы



Линзы

Плоскопараллельные  
пластины



Экстремальные условия



Изменение показателя  
преломления  $n$

# Математическая модель

Система уравнений механики сплошных сред

Уравнение  
непрерывности

$$\dot{\rho} = -\rho \frac{\partial v}{\partial z}$$

← скорость  
← плотность

Уравнение движения

$$\rho \dot{v} = \frac{\partial}{\partial z} (-P + S_{zz})$$

← тензор девиатора напряжений  
← давление

Уравнение энергии

$$\rho \dot{E} = (-P + S_{zz}) \frac{\partial v}{\partial z}$$

← внутренняя энергия

# Математическая модель

Тензор девиатора  
напряжений

$$\dot{S}_{zz} = \frac{4\mu}{3} \frac{\partial v}{\partial z}$$

модуль сдвига



Условие текучести  
Мизеса

$$S_{ik}^2 \leq 2Y_0^2 / 3$$

предел текучести



# Уравнение состояния в форме Ми-Грюнайзена

$$P(V, E) = P_x(V) + \frac{\Gamma(V)}{V} (E - E_x(V))$$

Холодная часть давления

скорость звука

$$P_x = \frac{B_0 c_0^2}{V_0} \left[ \left( \frac{V_0}{V} \right)^n - 1 \right]$$

подбираемые  
параметры

Коэффициент Грюнайзена

$$\Gamma = \Gamma_0 \left( \frac{V}{V_0} \right) \left[ 1 + \Gamma_0 \left( 1 - \frac{V}{V_0} \right) \right]^{-1}$$

параметр Грюнайзена

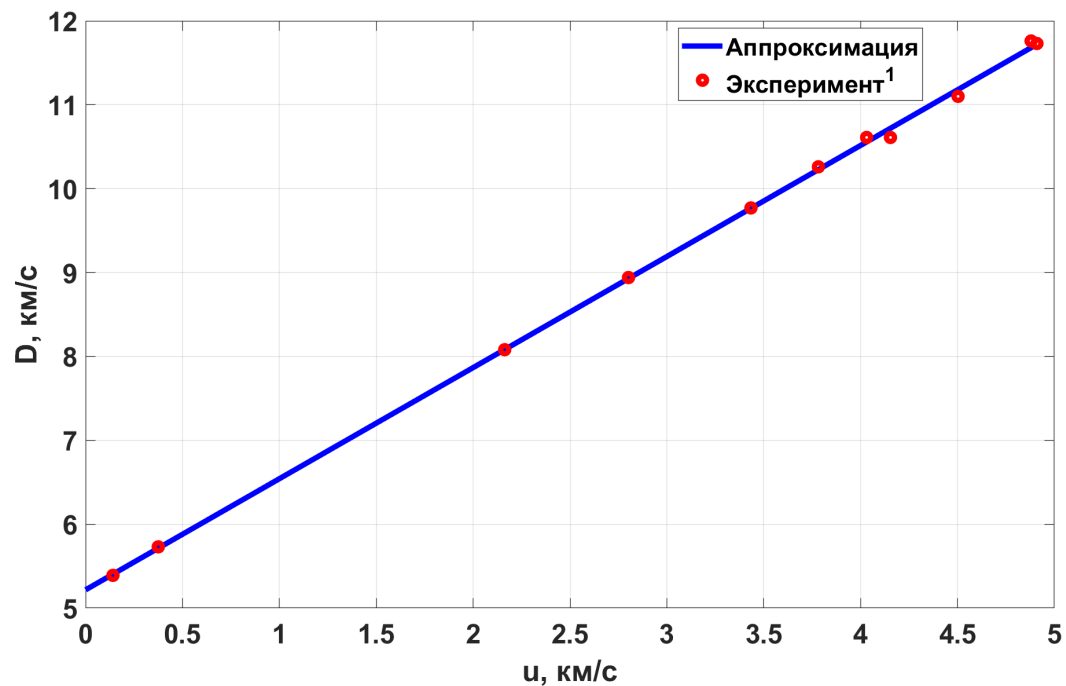
Холодная часть энергии

$$E_x = B_0 c_0^2 \left\{ \frac{1}{n-1} \left[ \left( \frac{V_0}{V} \right)^{n-1} - 1 \right] - 1 + \frac{V}{V_0} \right\}$$

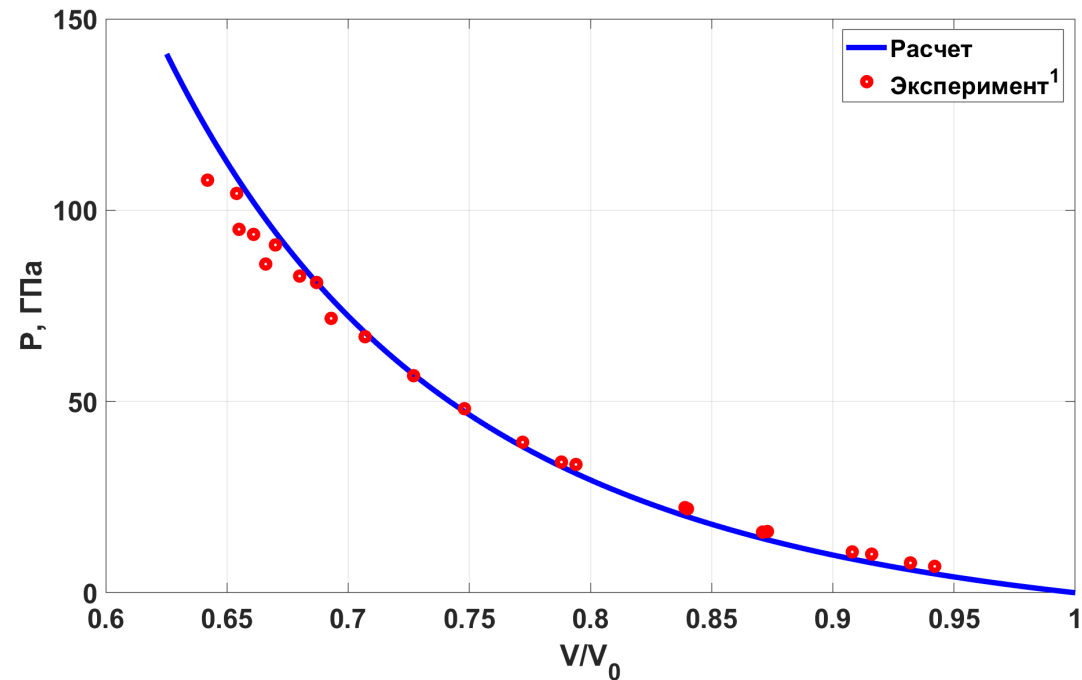
удельный объем

начальный  
удельный объем

# Ударная адиабата фторида лития



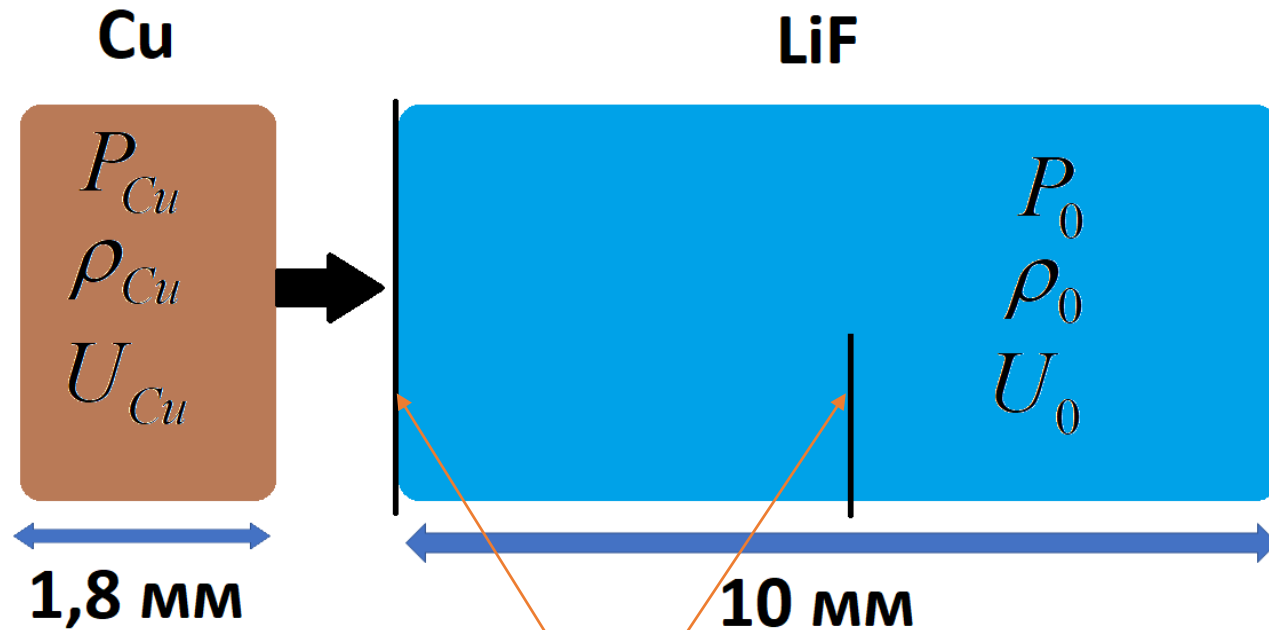
D-u зависимость



P-V зависимость

<sup>1</sup> Marsh, S.P. 1980.

# Постановка эксперимента

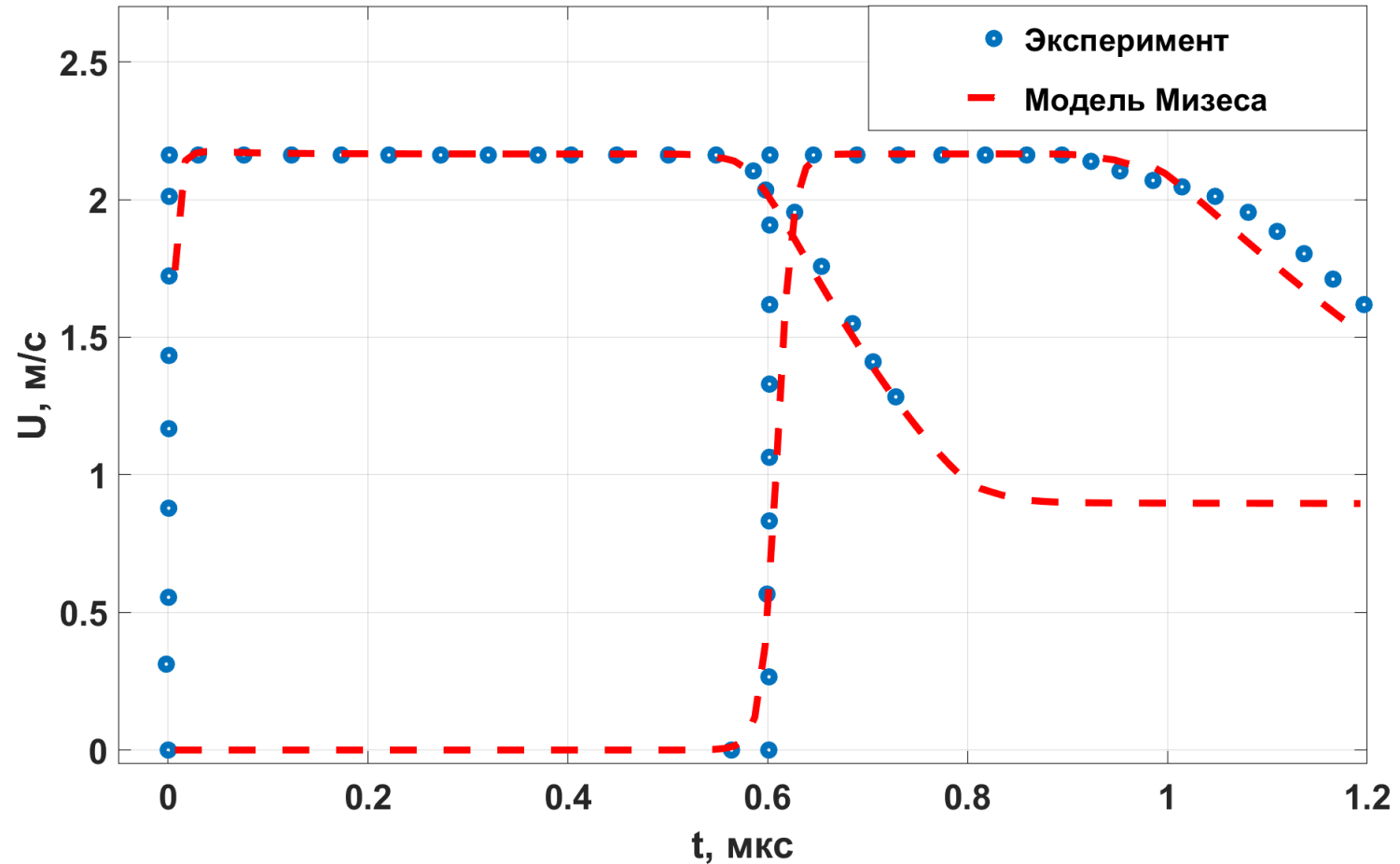


Поверхности измерения массовой скорости

Эксперимент: Young, G. Refractive index of [100] lithium fluoride under shock pressures up to 151 GPa [text]. / G. Young, X. Liu, C. Leng, J. Yang, H. Huang. // AIP Advances. – 2018 – Vol. 8, № 12. – P. 1–4.

№	$U_{Cu}, \text{ м/с}$
1	3100
2	4100
3	5100

# Результаты численного эксперимента



Профили массовой скорости на передней и тыльной поверхностях образца



# Связь между показателем преломления и плотностью

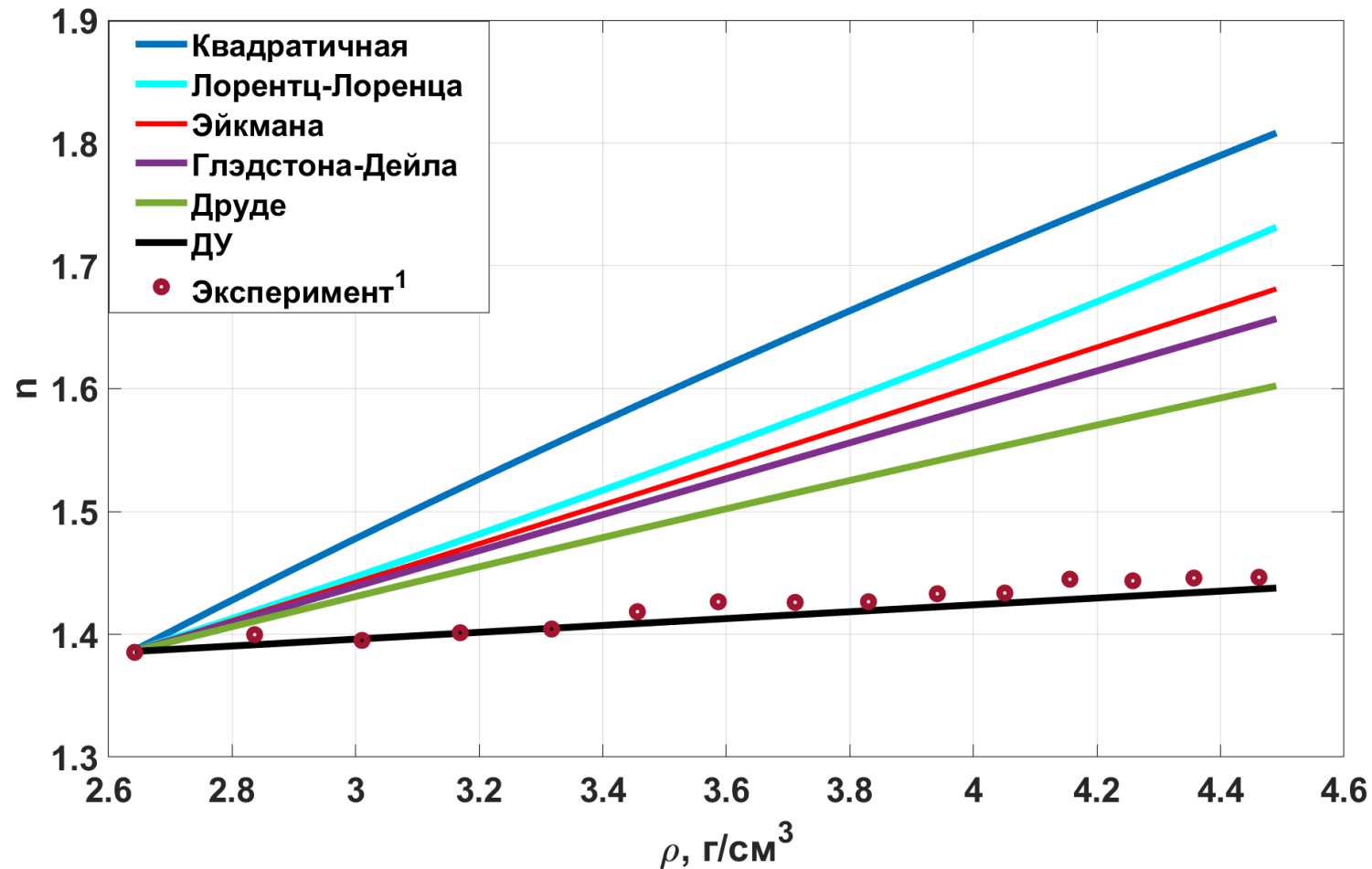
Квадратичная зависимость	$n = n_0 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$	Зависимость Глэдстона-Дейла	$\frac{n-1}{\rho} = \text{Const}$
Формула Лорентца-Лоренца	$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$	Зависимость Друде	$\frac{n^2 - 1}{\rho} = \text{Const}$
Соотношение Эйкмана	$\frac{n^2 - 1}{n + 0,4} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$	Зависимость в виде ДУ	$n = n_0 + \frac{dn}{d\rho} (\rho - \rho_0)$

# Расчет показателя преломления LiF

$$n = n_0 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n + 0,4} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$$



$$\frac{n-1}{\rho} = \text{Const}$$

$$\frac{n^2 - 1}{\rho} = \text{Const}$$

$$n = n_0 + \frac{dn}{d\rho}(\rho - \rho_0)$$

$$\frac{dn}{d\rho} = 3,99 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\Gamma$$

Зависимость показателя преломления фторида лития от плотности

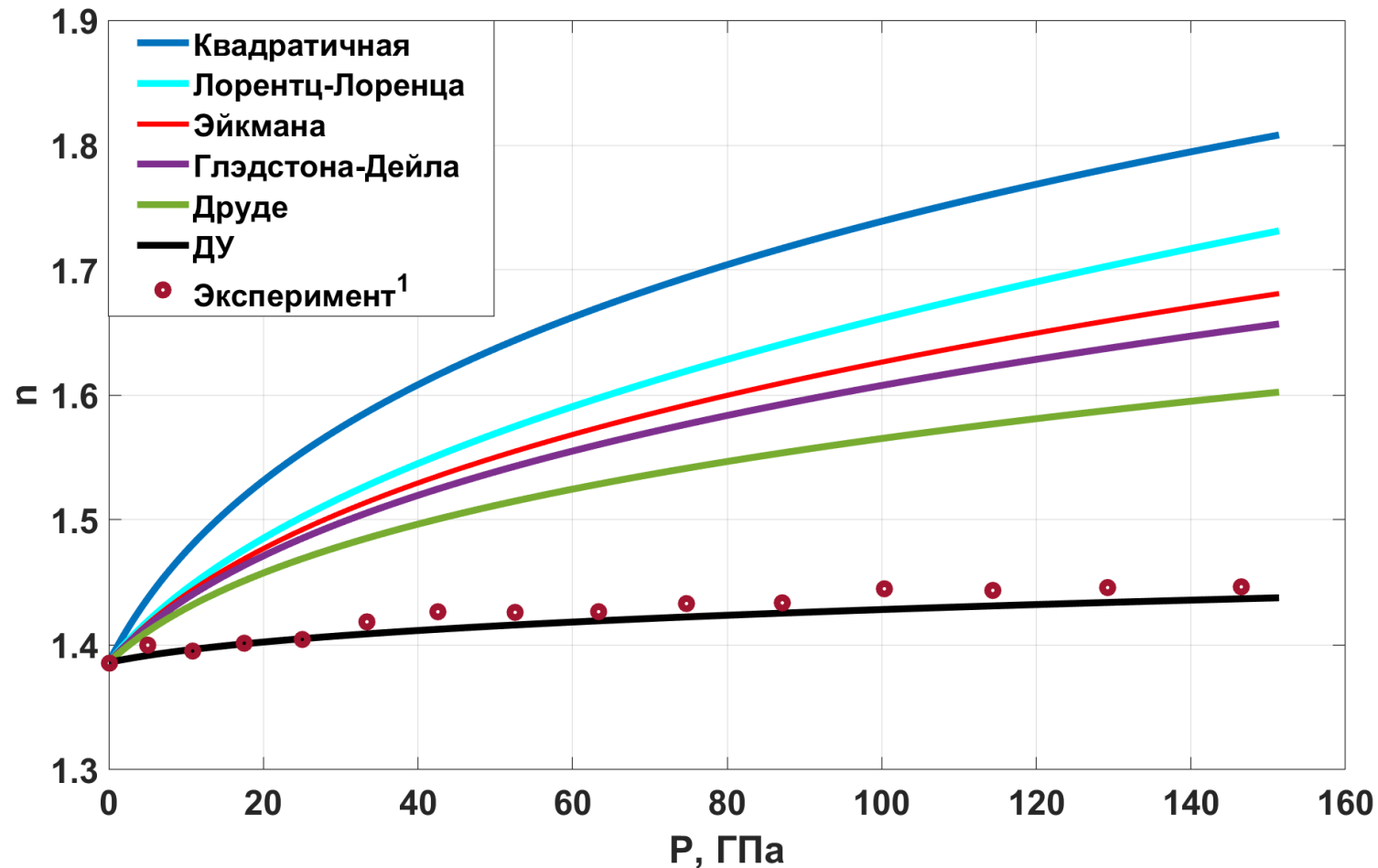
<sup>1</sup> Young G., Liu X., Leng C., Yang J., Huang H. 2018.

# Расчет показателя преломления LiF

$$n = n_0 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n + 0,4} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$$



$$\frac{n-1}{\rho} = \text{Const}$$

$$\frac{n^2 - 1}{\rho} = \text{Const}$$

$$n = n_0 + \frac{dn}{d\rho}(\rho - \rho_0)$$

$$\frac{dn}{d\rho} = 3,99 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\text{Г}$$

Зависимость показателя преломления фторида лития от давления

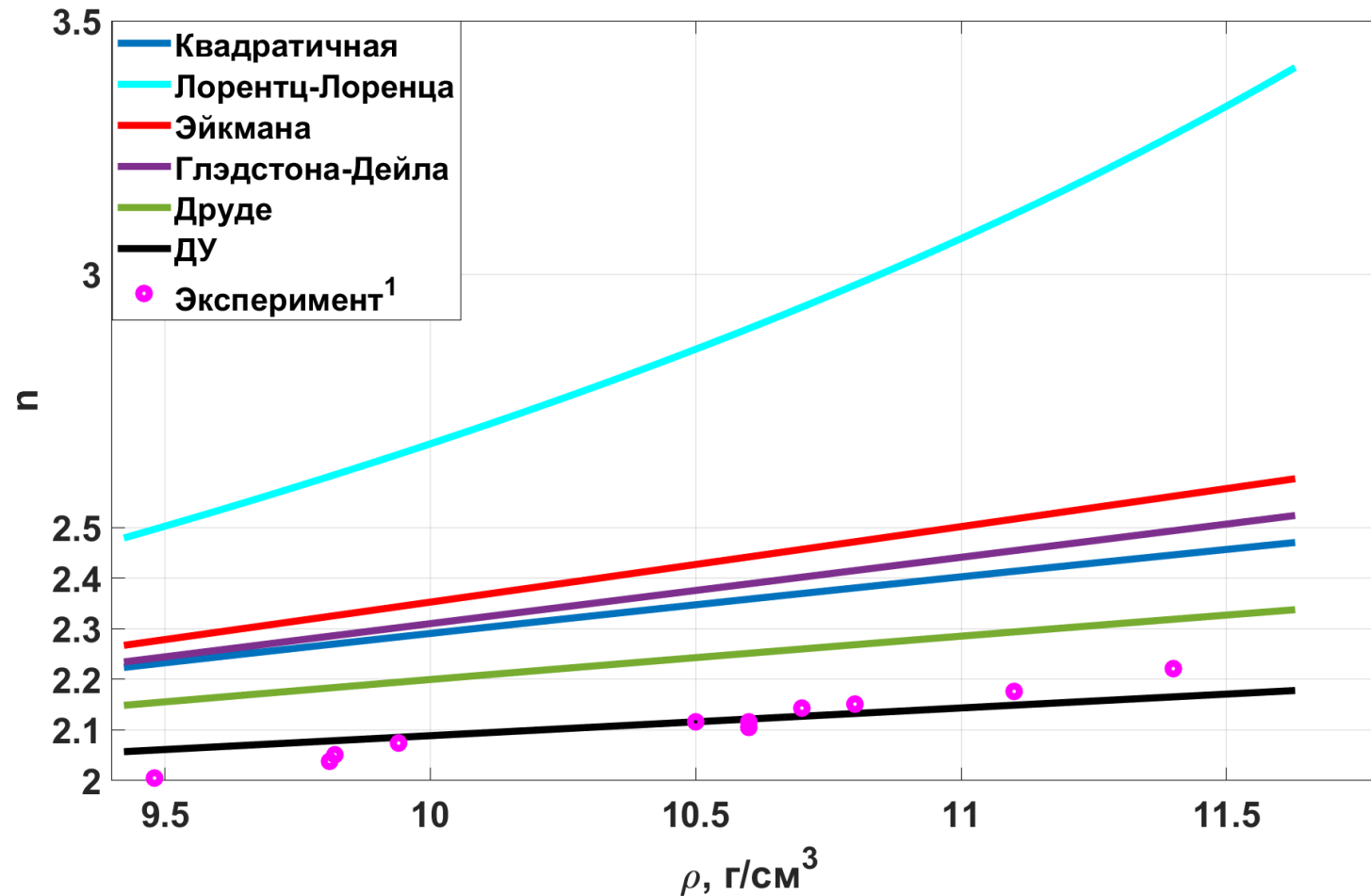
<sup>1</sup> Young G., Liu X., Leng C., Yang J., Huang H. 2018.

# Расчет показателя преломления $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$

$$n = n_0 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n + 0,4} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$$



$$\frac{n-1}{\rho} = \text{Const}$$

$$\frac{n^2 - 1}{\rho} = \text{Const}$$

$$n = n_0 + \frac{dn}{d\rho}(\rho - \rho_0)$$

$$\frac{dn}{d\rho} = 5,47 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\Gamma$$

Зависимость показателя преломления фторида лития от плотности

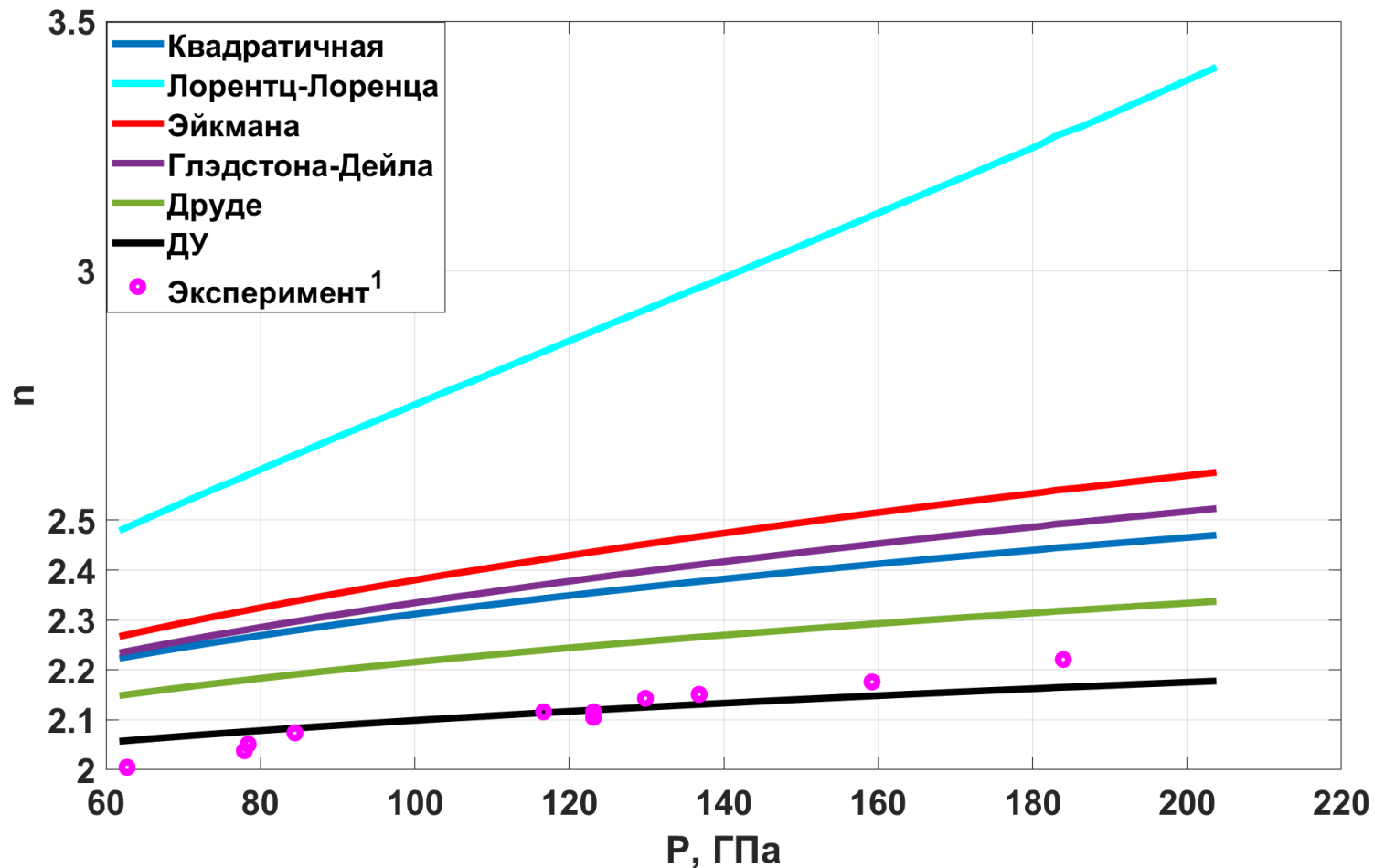
<sup>1</sup> Huang J., Liu Q., Zeng X. 2015.

# Расчет показателя преломления $Gd_3Ga_5O_{12}$

$$n = n_0 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n + 0,4} \frac{1}{\rho} = \text{Const}$$



$$\frac{n-1}{\rho} = \text{Const}$$

$$\frac{n^2 - 1}{\rho} = \text{Const}$$

$$n = n_0 + \frac{dn}{d\rho}(\rho - \rho_0)$$

$$\frac{dn}{d\rho} = 5,47 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{g}$$

Зависимость показателя преломления фторида лития от давления

# Выводы

- Построена и численно реализована математическая модель для описания ударно-волновых процессов в монокристаллах фторида лития и галлий-гадолиниевого граната
- Определены выражения для связи между показателем преломления и плотностью для кристаллов на основе численного и экспериментального исследований

*Спасибо за внимание!*

Докладчик: Несмиянов Елисей Игоревич

студент 4 курса бакалавриата

E-mail: [nesmiianov@inbox.ru](mailto:nesmiianov@inbox.ru)