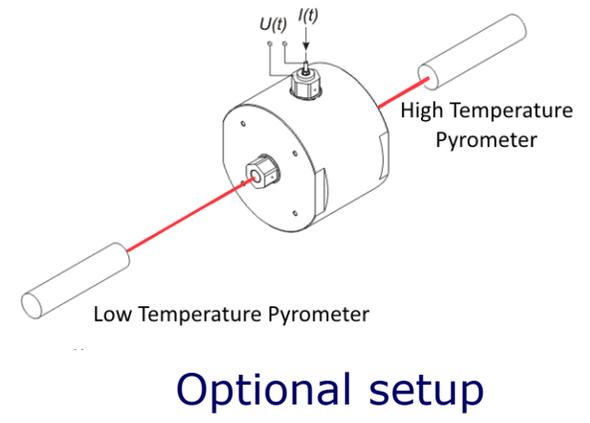
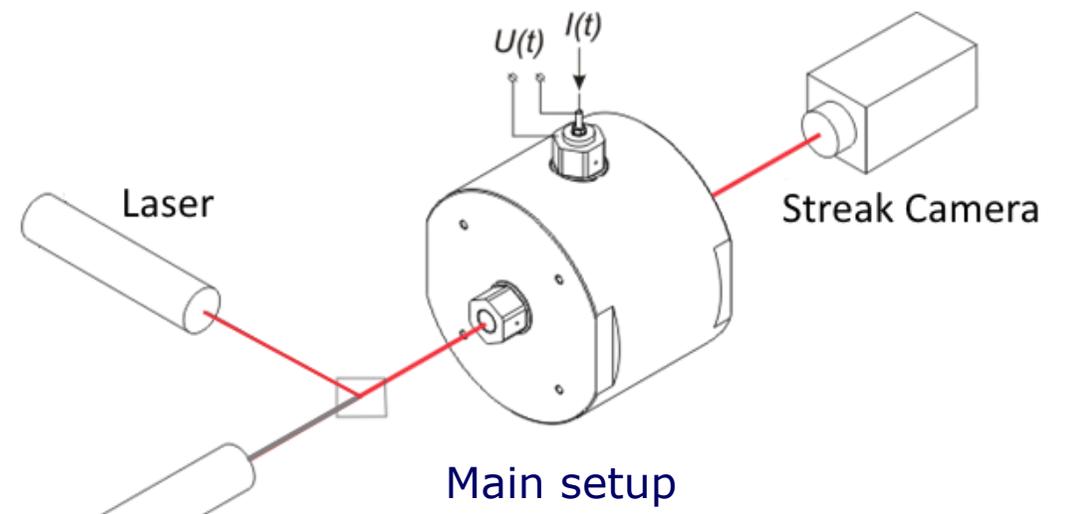
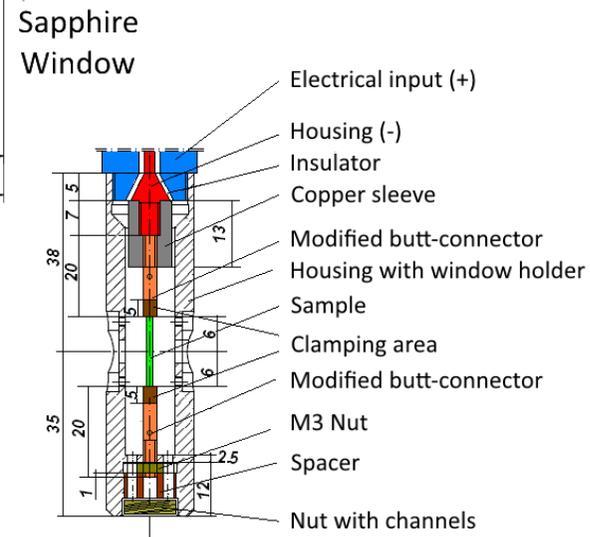
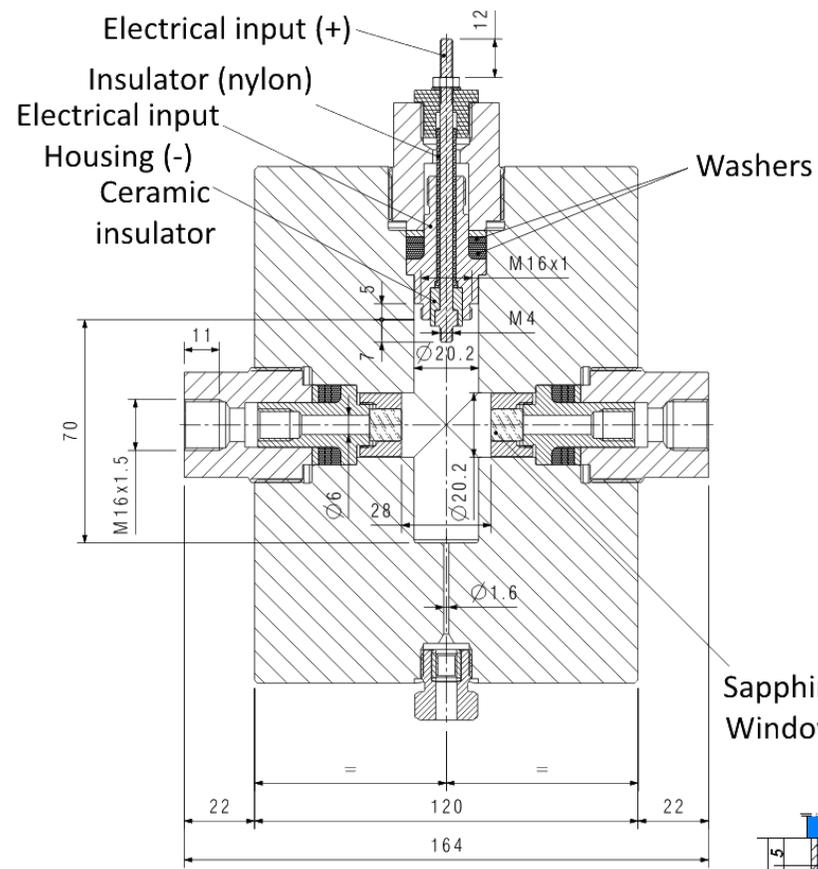


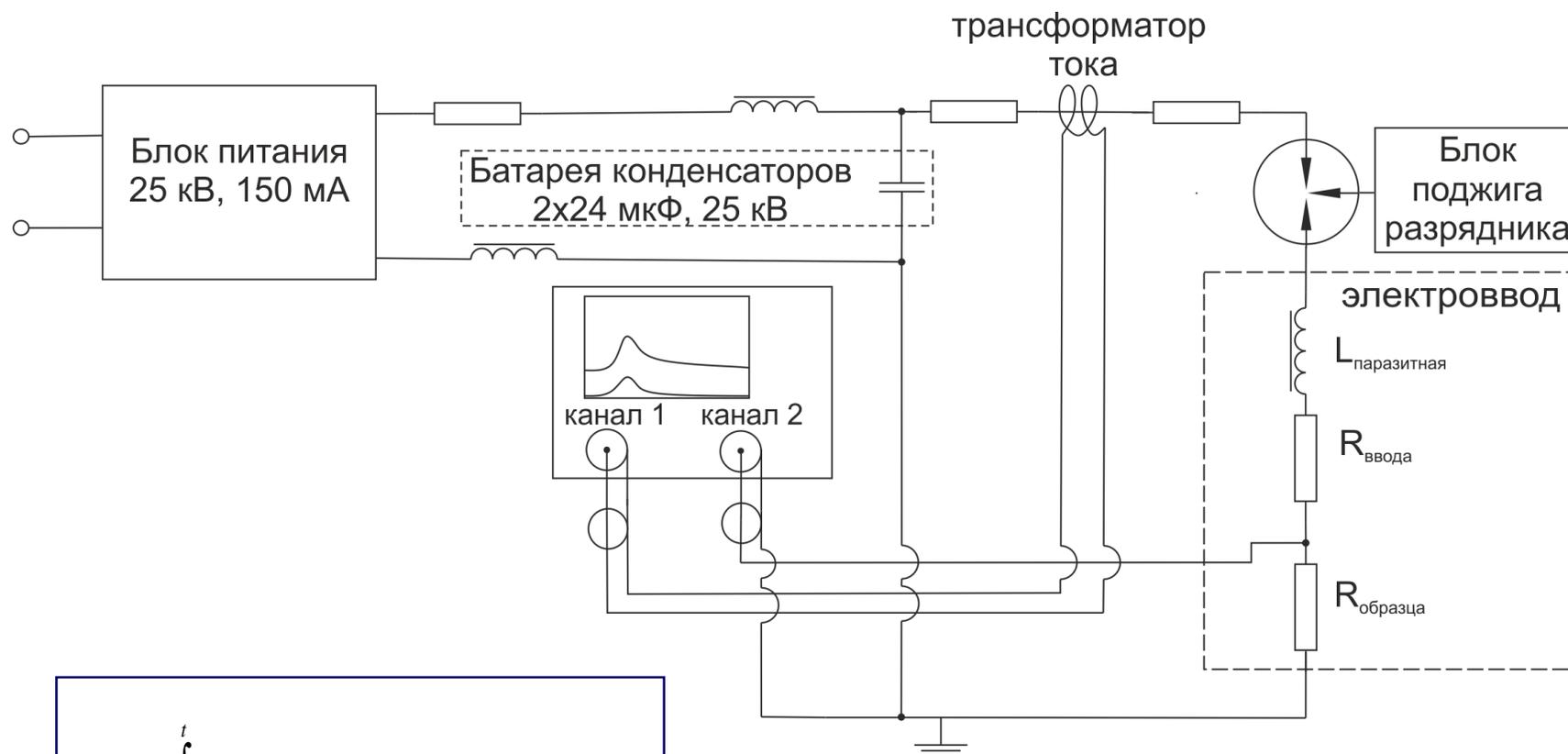
Экспериментальное исследование теплофизических свойств циркония и гафния методом импульсного нагрева электрическим ТОКОМ

А. В. Дороватовский, М. А. Шейндлин, Д. В. Минаков

Схема установки: камера высокого давления

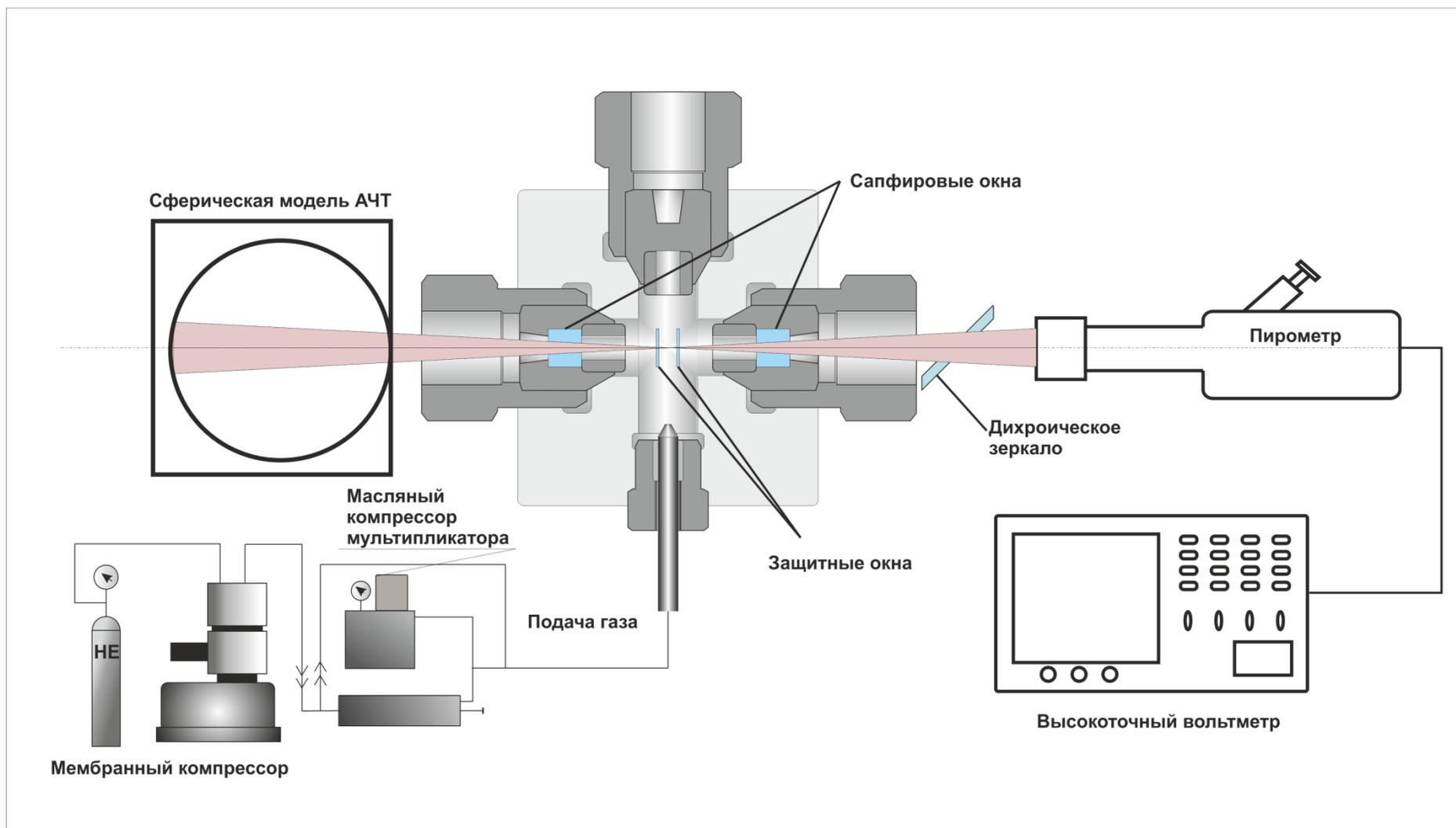


Электрическая схема

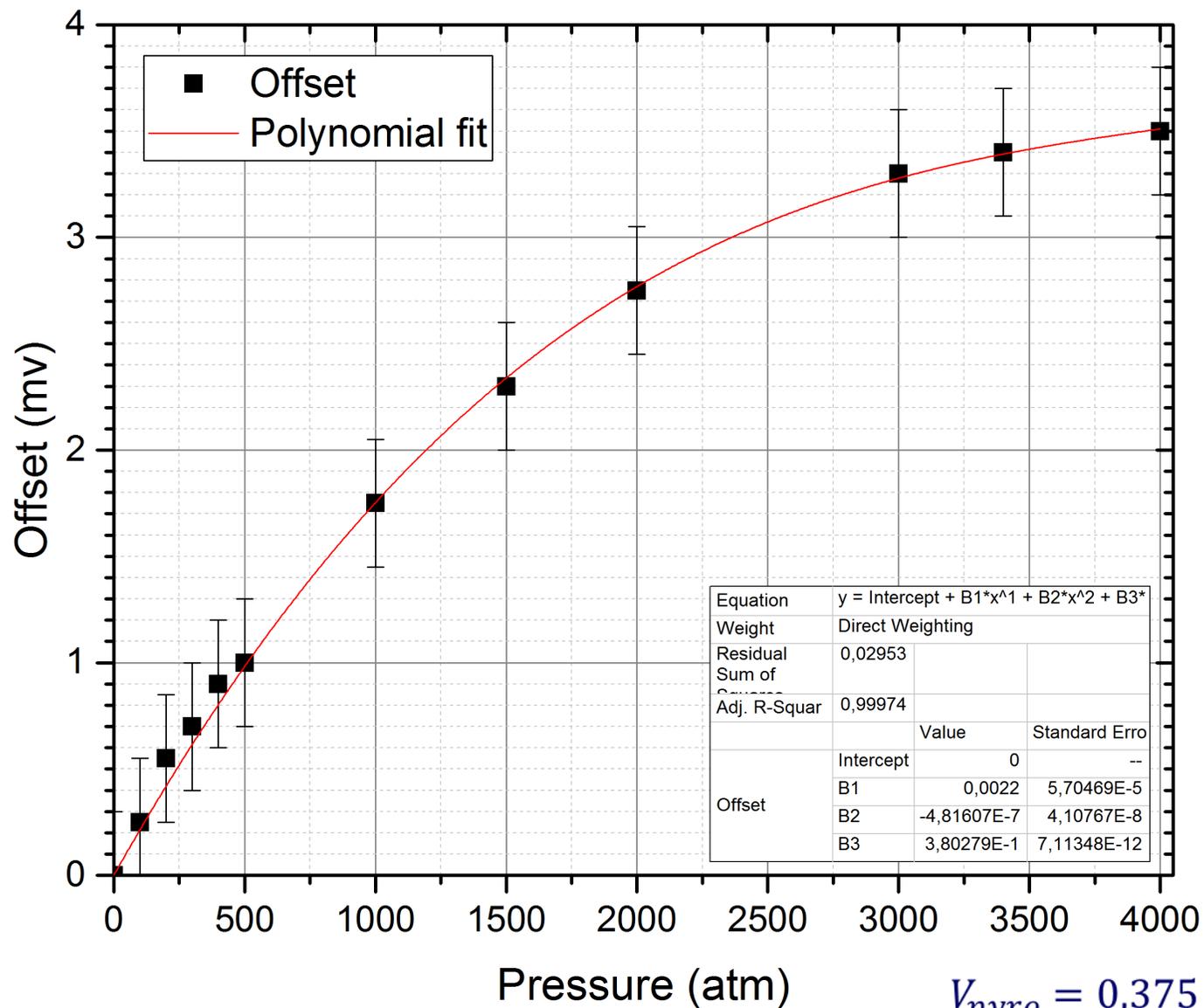


$$H(t) = \int_0^t W(t) dt \quad W(t) = I(t) * U_{res}(t)$$

Калибровка пропускания камеры

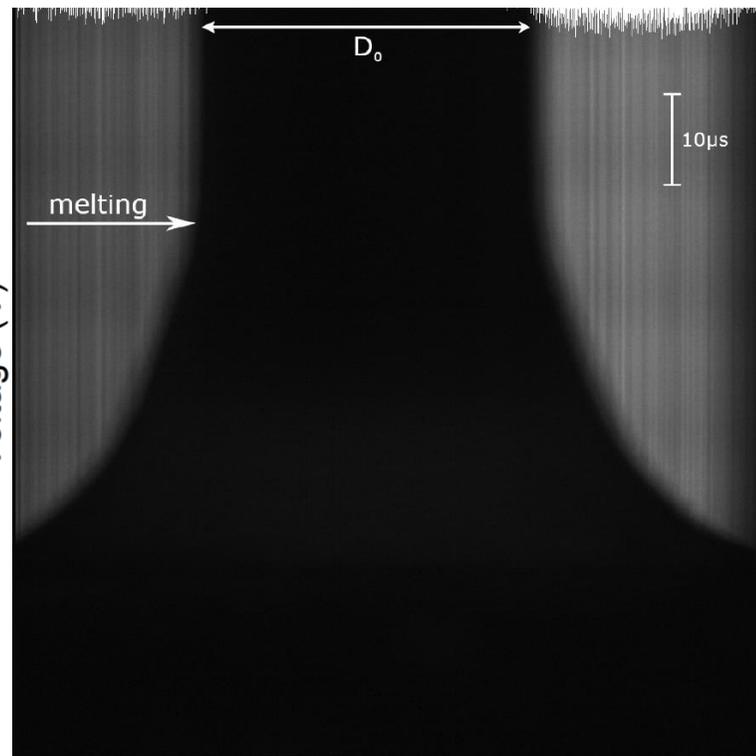
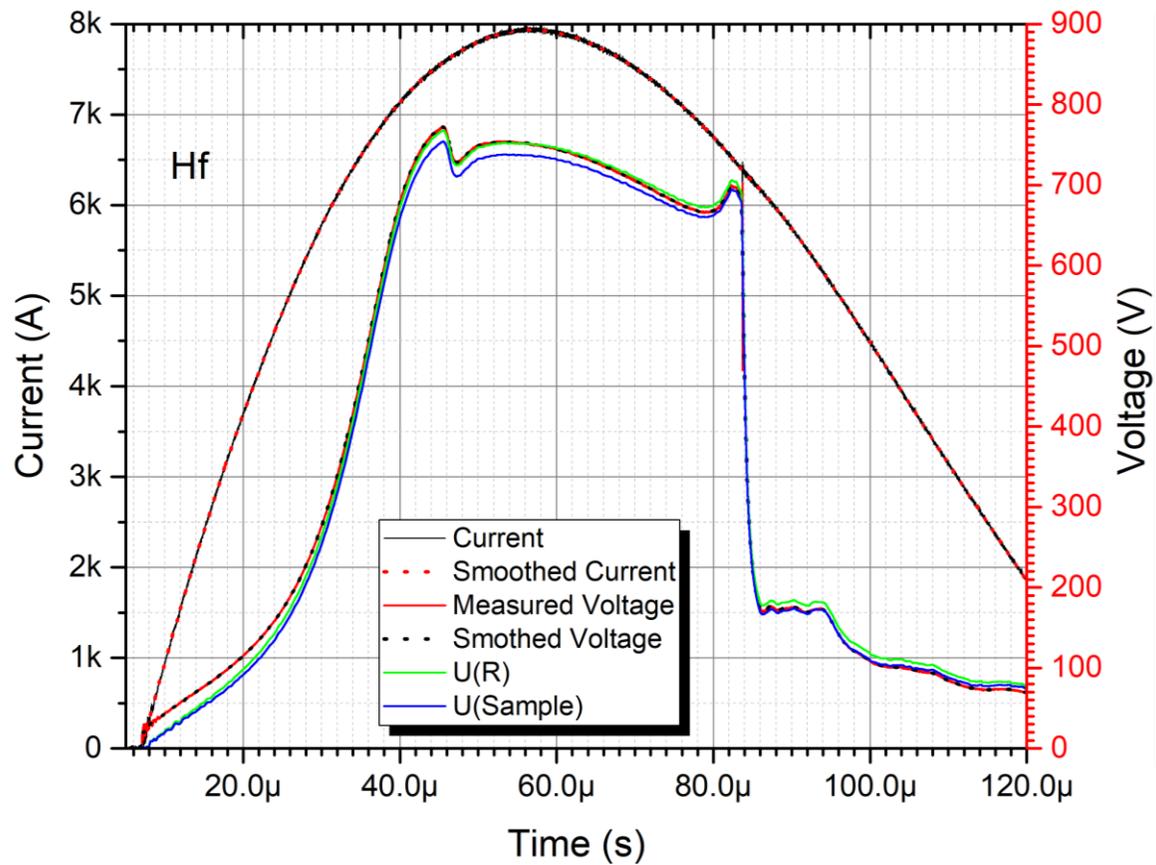


Коррекция пирометра от давления

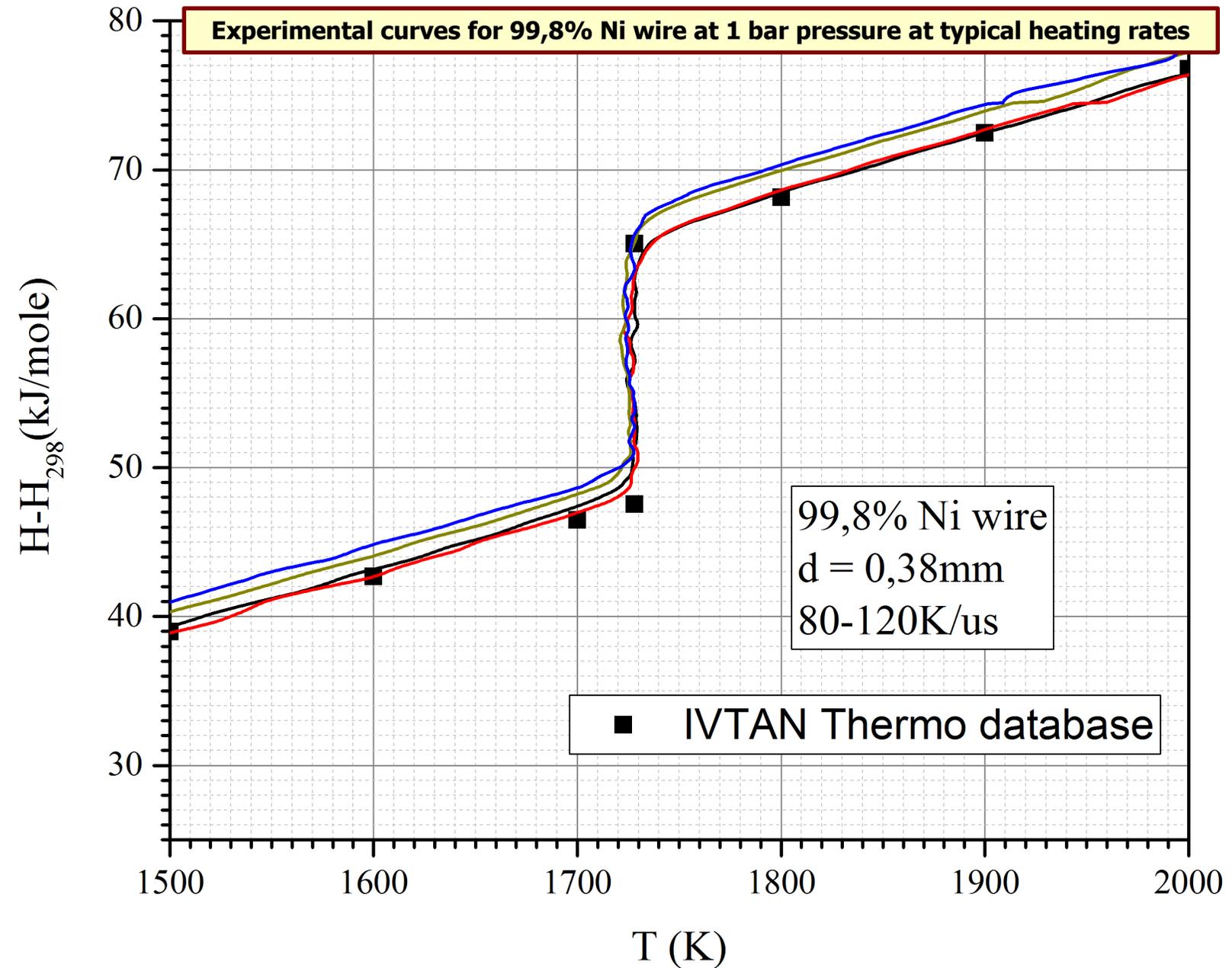


$$V_{pyro} = 0,375 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) [B]$$

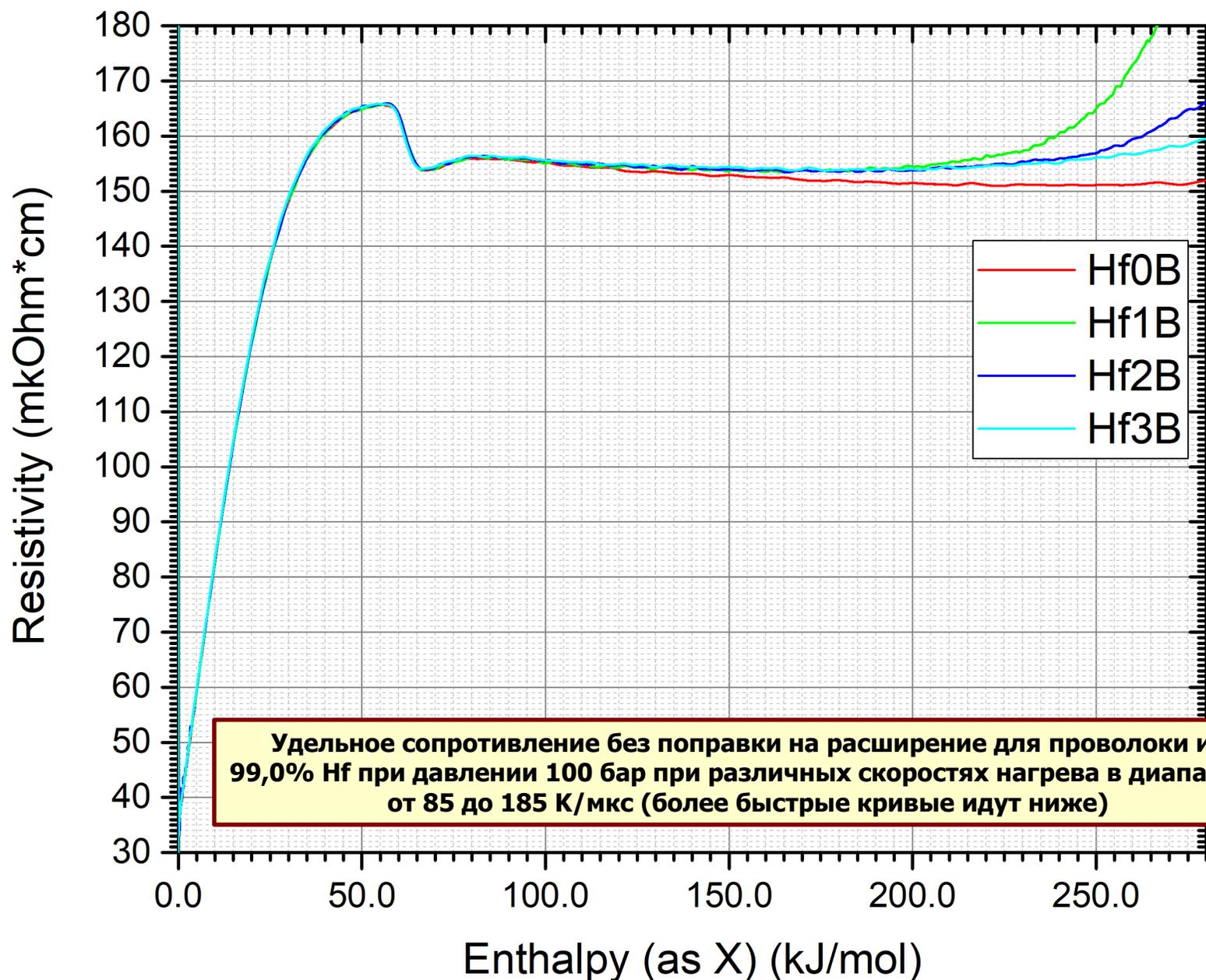
Пример экспериментальных данных



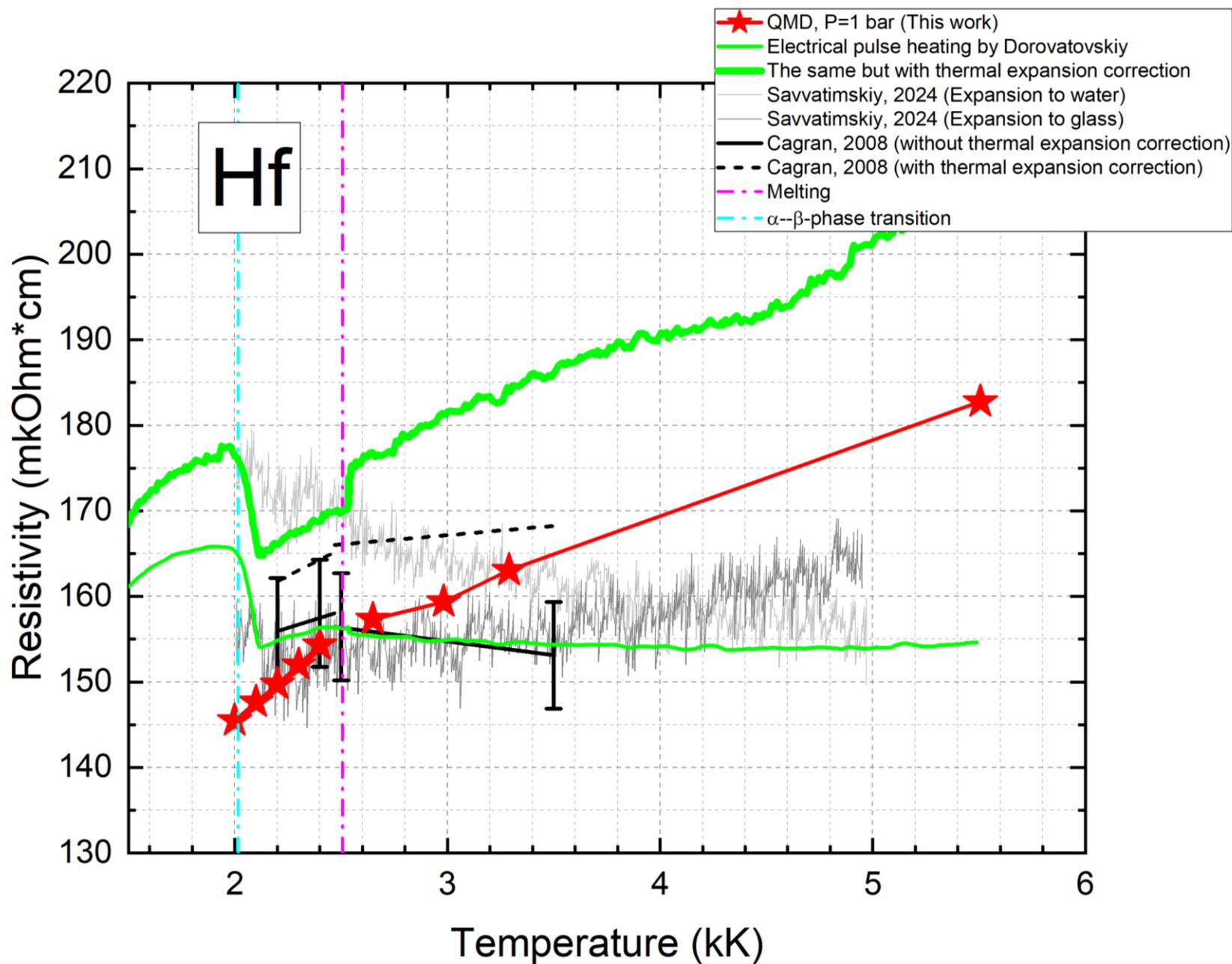
Энтальпия Ni в окрестности плавления



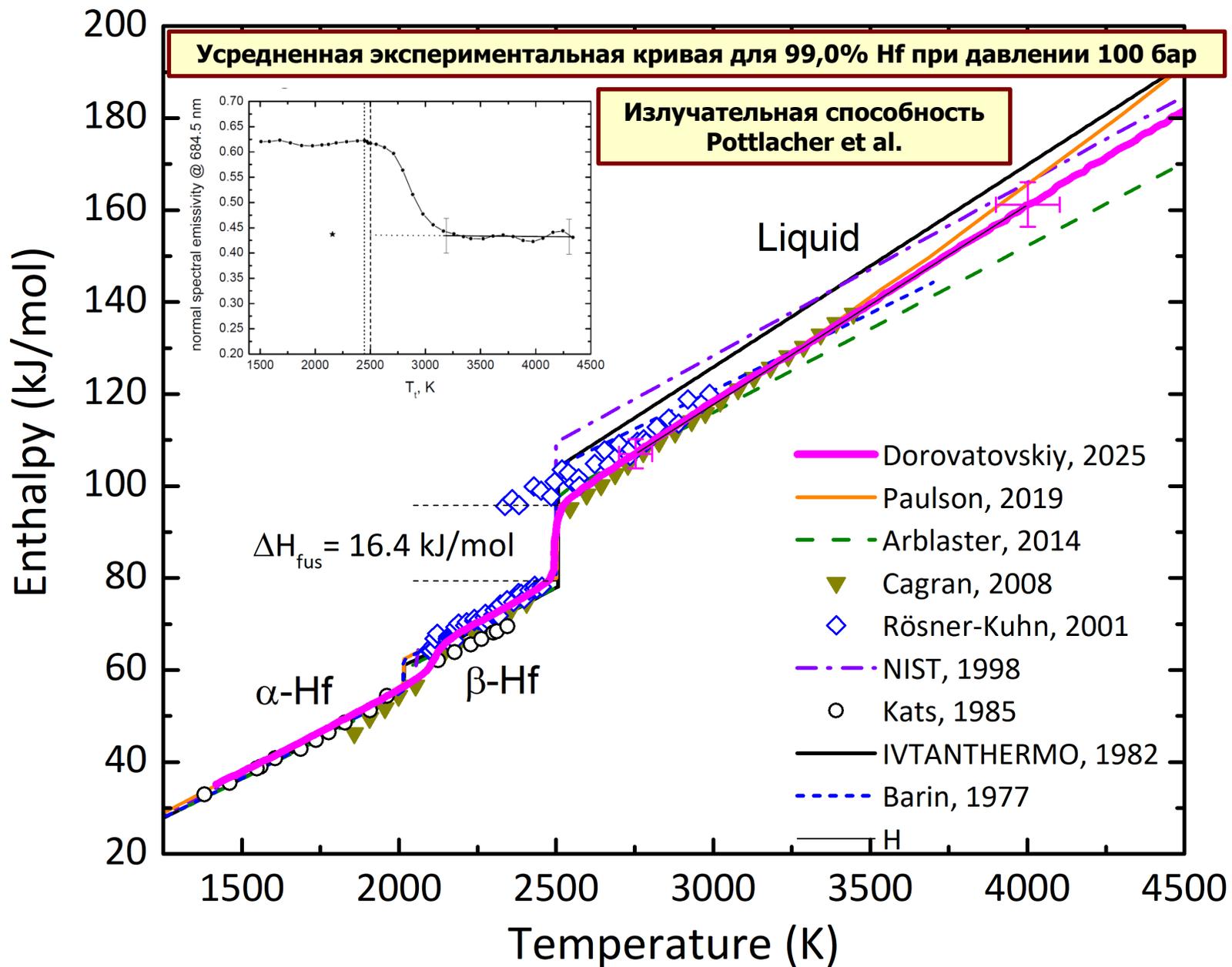
Сопротивление гафния



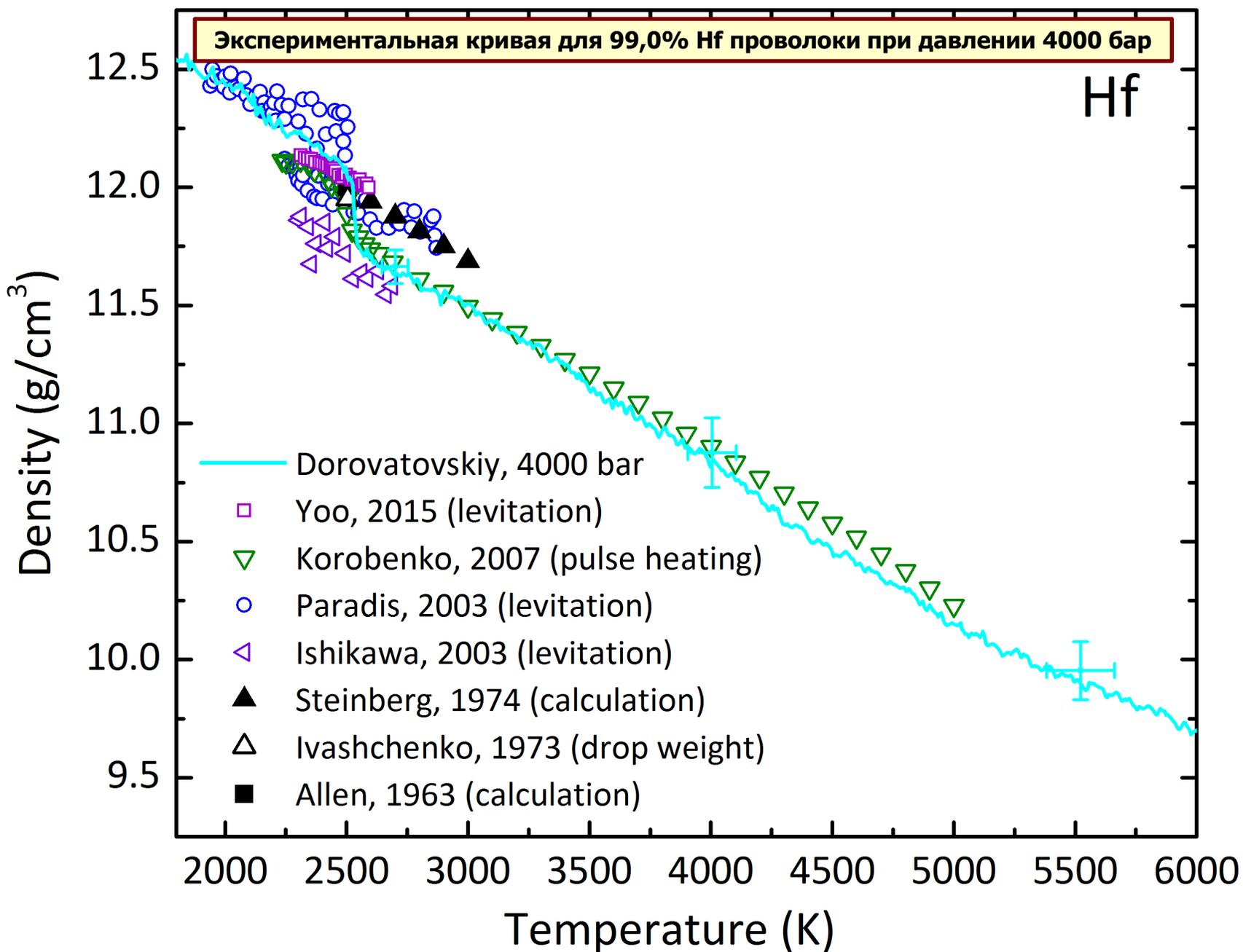
Удельное сопротивление гафния



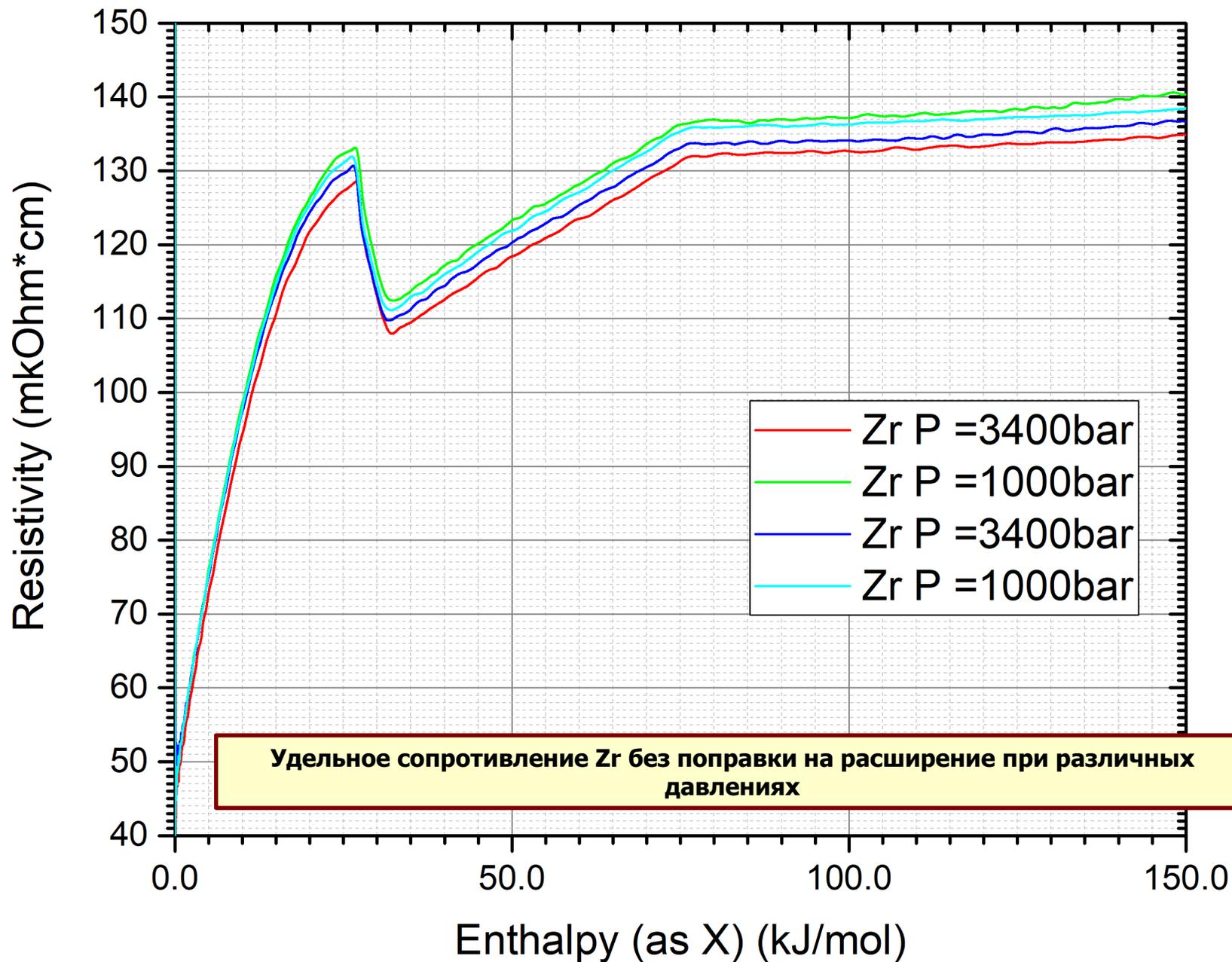
Зависимость энтальпии гафния от температуры



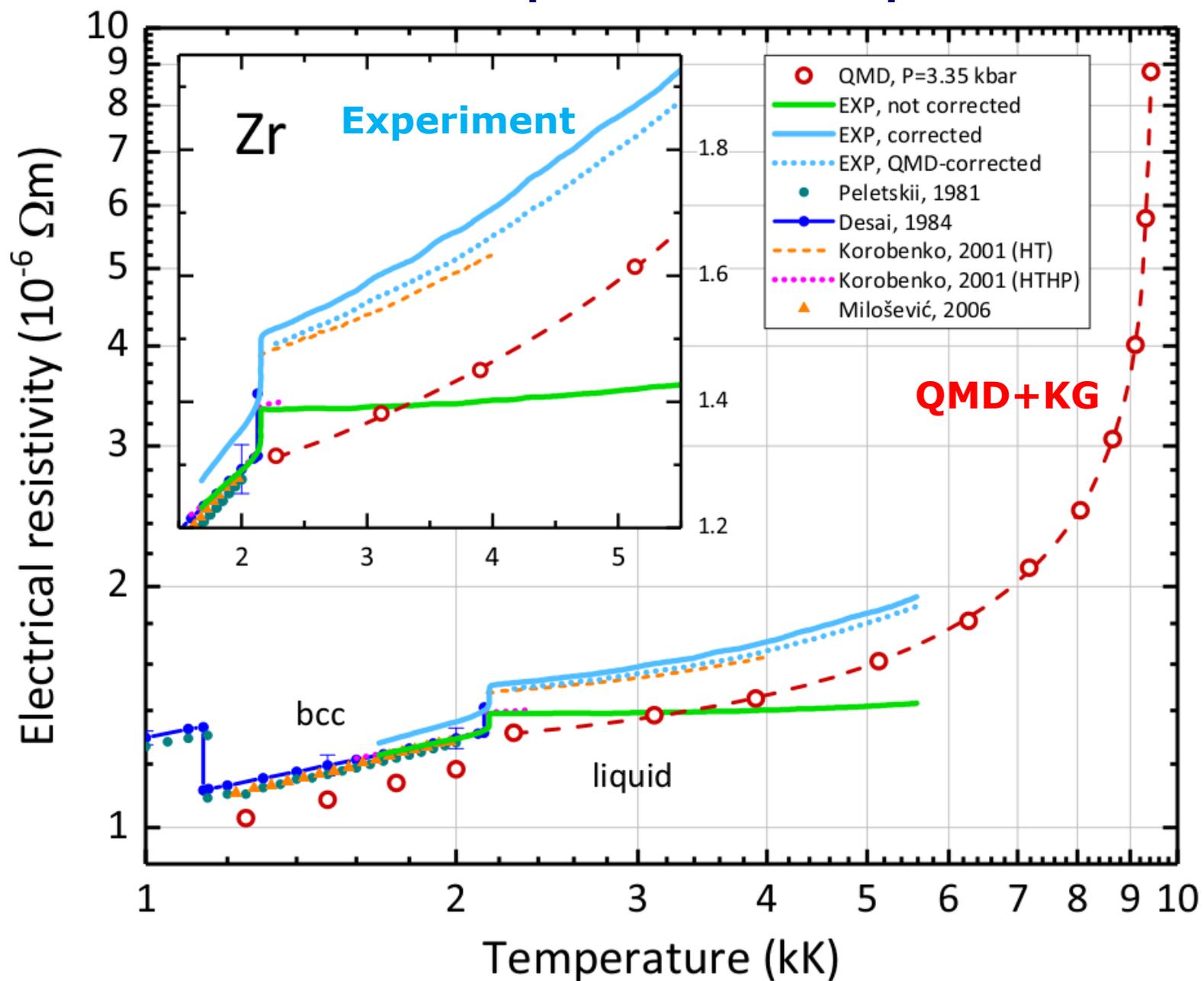
Зависимость плотности гафния от температуры



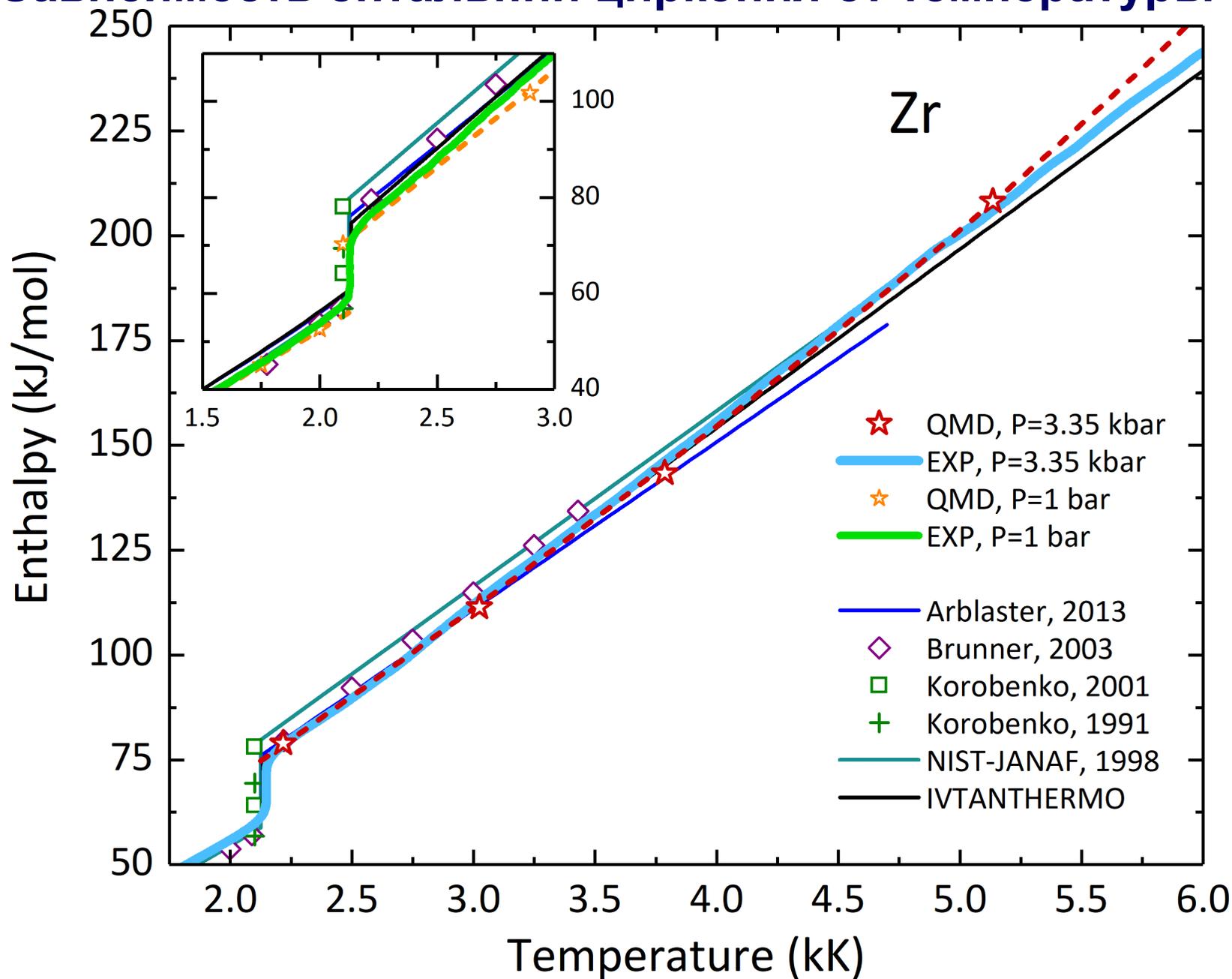
Сопротивление циркония



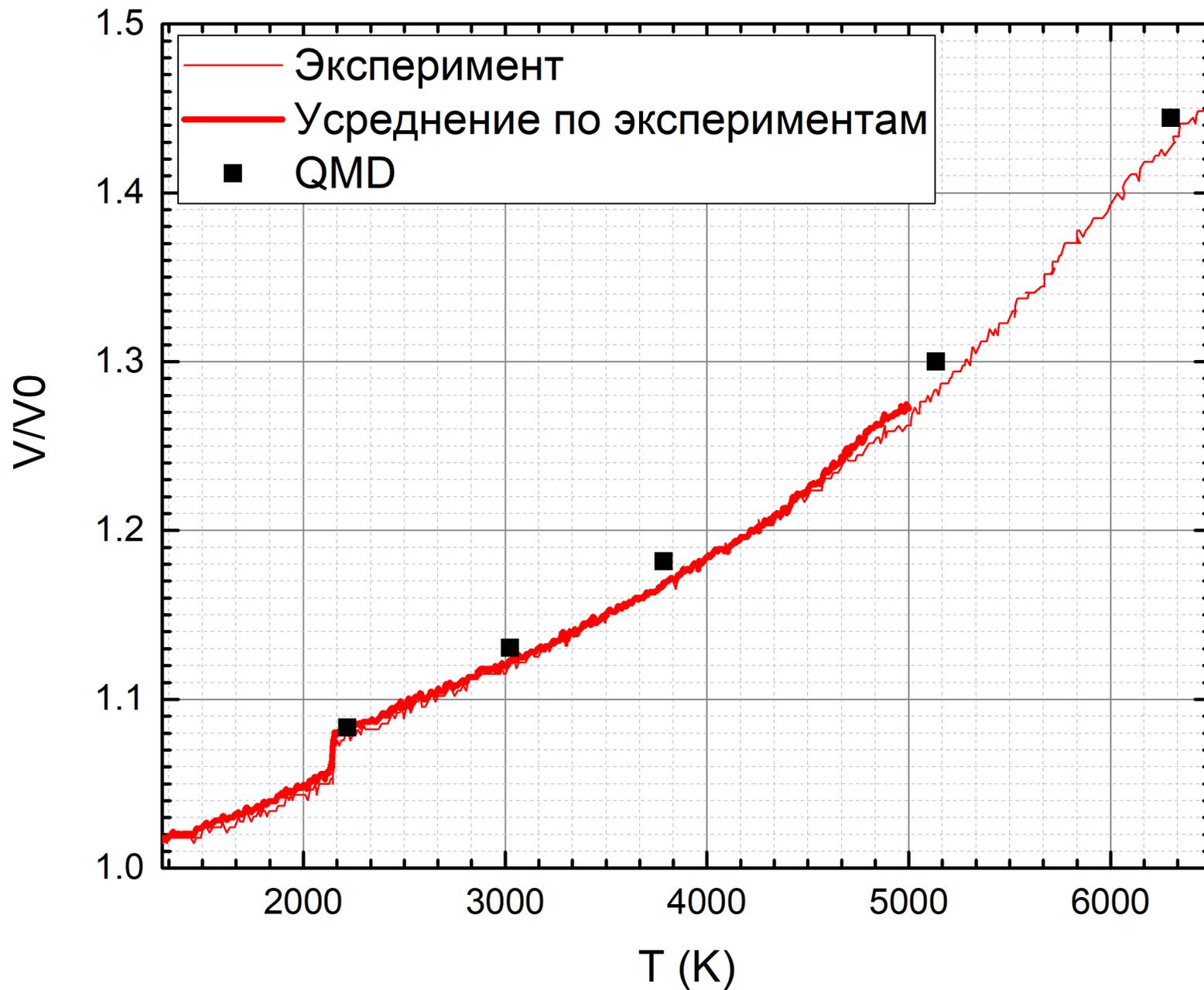
Удельное сопротивление циркония



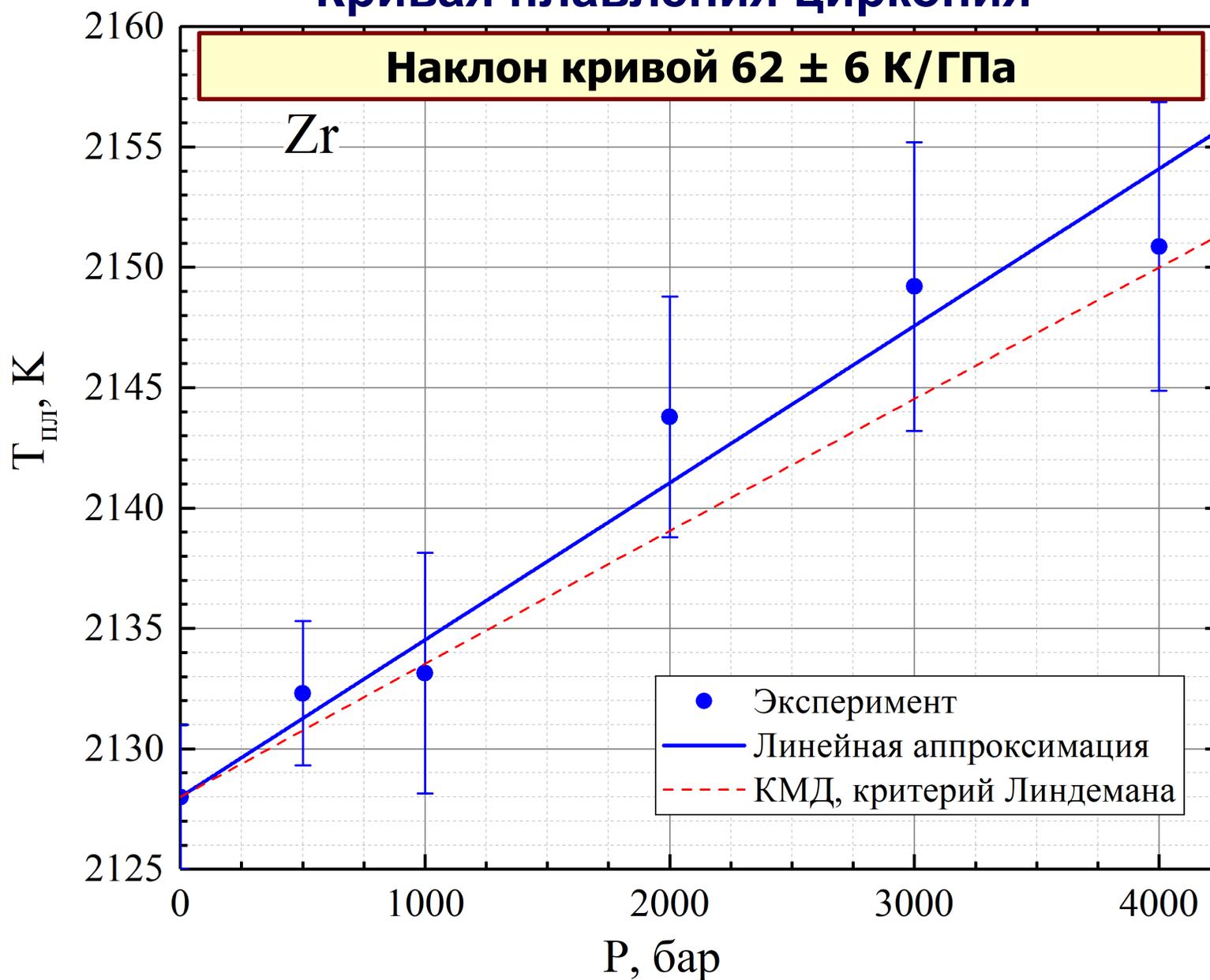
Зависимость энтальпии циркония от температуры



Зависимость плотности циркония от температуры

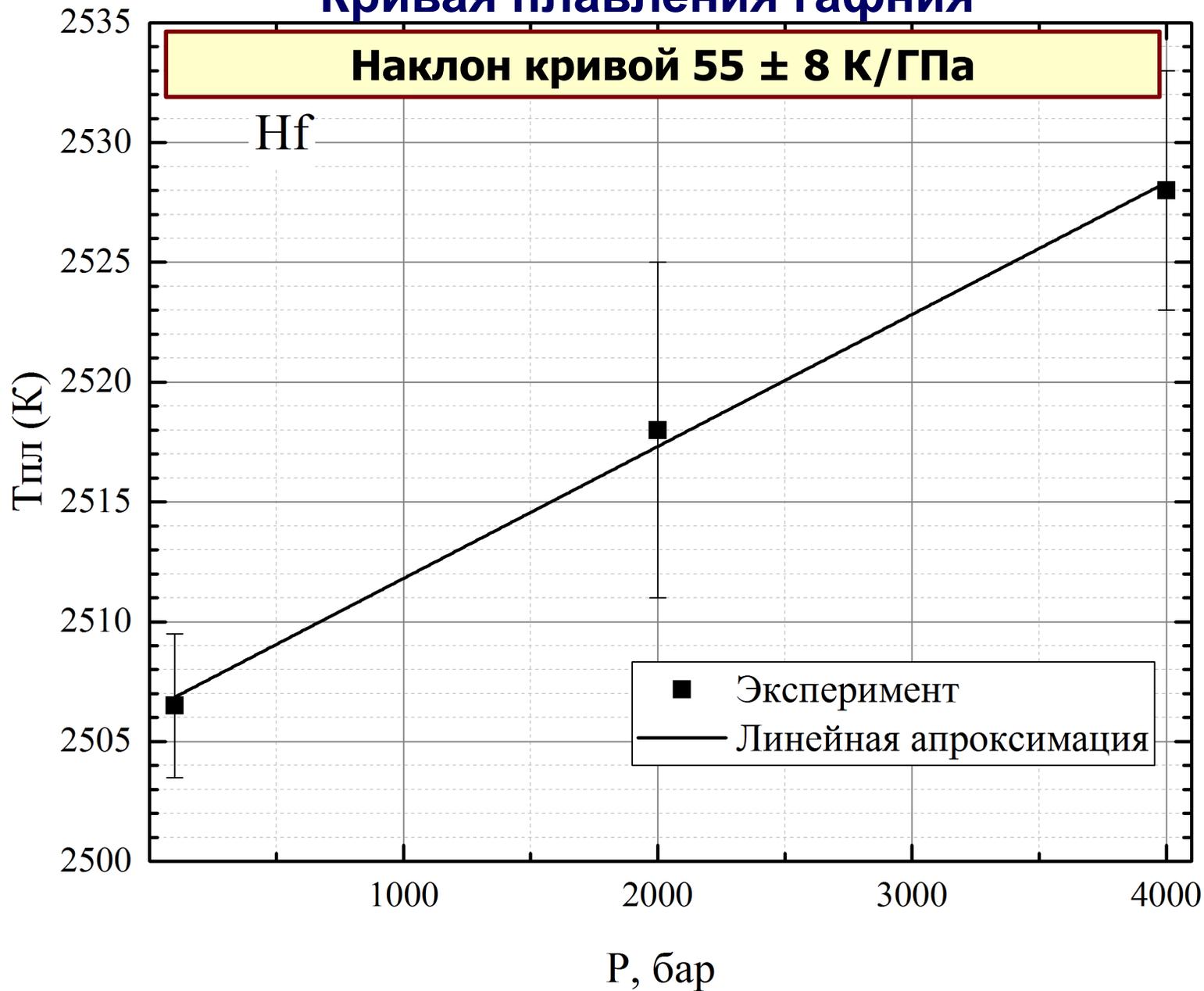


Кривая плавления циркония



Dorovatovsky A. V., Sheindlin M. A., Minakov D. V. Direct Measurement of Zirconium Melting Line up to 4 kbar by Isobaric Pulse Heating Method // High Temperature. 2023. Vol. 61. No. 6. pp. 871-874.

Кривая плавления гафния

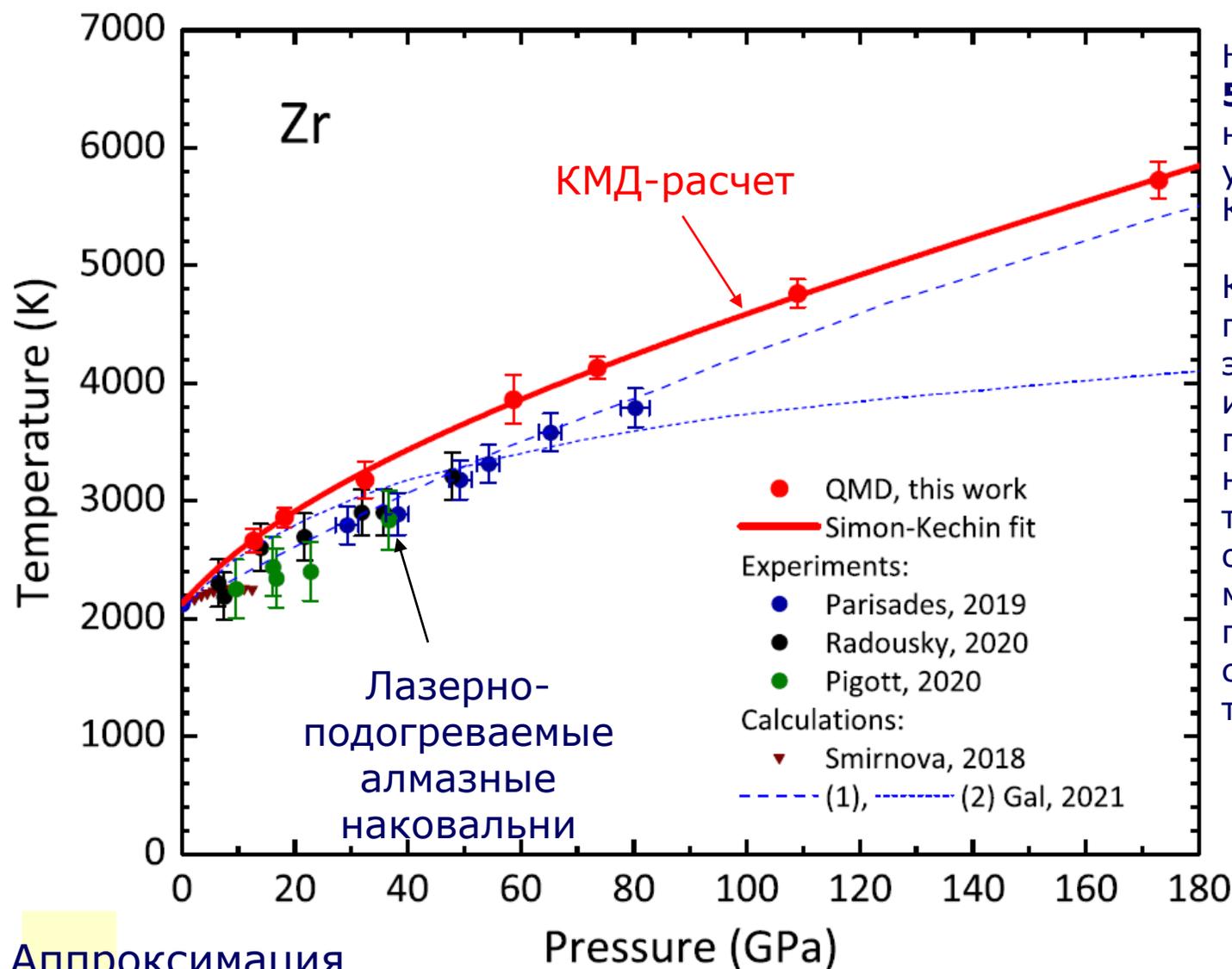


Выводы

- Измерена температурная зависимость энтальпии, плотности и удельного сопротивления циркония до 5000 и гафния до 5500 К
- Измерен наклон кривой плавления циркония и гафния в диапазоне давлений 1-4000 бар

Спасибо за внимание!

Кривая плавления для Zr



Наклон кривой плавления **56 К/ГПа** согласуется с наклоном, вычисленным из уравнения Клапейрона-Клаузиуса (**60 К/ГПа**)

Кривая плавления проходит выше недавних экспериментальных измерений в лазерно-подогреваемых алмазных наковальнях, однако в такие эксперименты, особенно для тугоплавких металлов, часто пересматриваются в сторону увеличения температуры плавления

$$A = 11.7647 \text{ ГПа}$$

$$B = 0.2965$$

$$C = -1.03 \cdot 10^{-3} \text{ ГПа}^{-1}$$

Аппроксимация
 Симона-Кечина:

$$T_m(P) = T_{m0} \left(1 + \frac{P}{A} \right)^B \exp(-C \cdot P)$$

Minakov D.V. et al. PRB **106**, 214105 (2022)
 Kechin V.V. PRB **65**, 052102 (2001)

END