

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ МЕТОДОМ КРАМЕРСА-КРОНИГА

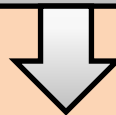
В.В.Тихонов¹, Д.А.Боярский¹, О.Н.Полякова²

(1) Институт космических исследований РАН

(2) Московский педагогический государственный
университет, физический факультет



Многочастотное дистанционное зондирование



Исследование Земли и планет Солнечной системы

Поиск

полезных ископаемых

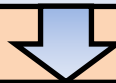
Геологическое
картирование

Состав
грунтов

И

.....

Интерпретация и анализ данных ДЗ



Оптические (диэлектрические) свойства вещества

$$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon''$$

$$n = n' + in''$$

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'' \\ n = n' + in'' \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon' = n'^2 - n''^2, \quad \varepsilon'' = 2n'n'', \\ n' = \sqrt{\frac{\sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} + \varepsilon'}{2}}, \quad n'' = \sqrt{\frac{\sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} - \varepsilon'}{2}} \end{array} \right.$$

Грунты, пыль
Земли и других планет

Атмосферная
аэрозоль

Пыль межпланетного и
межзвездного пространства

Природные минералы

Оптические (диэлектрические) свойства

Диэлектрики
(кварц, полевые шпаты и др.)

Диапазоны:

- УФ,
- Оптический,
- ИК,
- Радио

Металлы

(медь, золото, платина, железо)

Диапазоны:

- УФ,
- Оптический,
- ИК,
- Радио

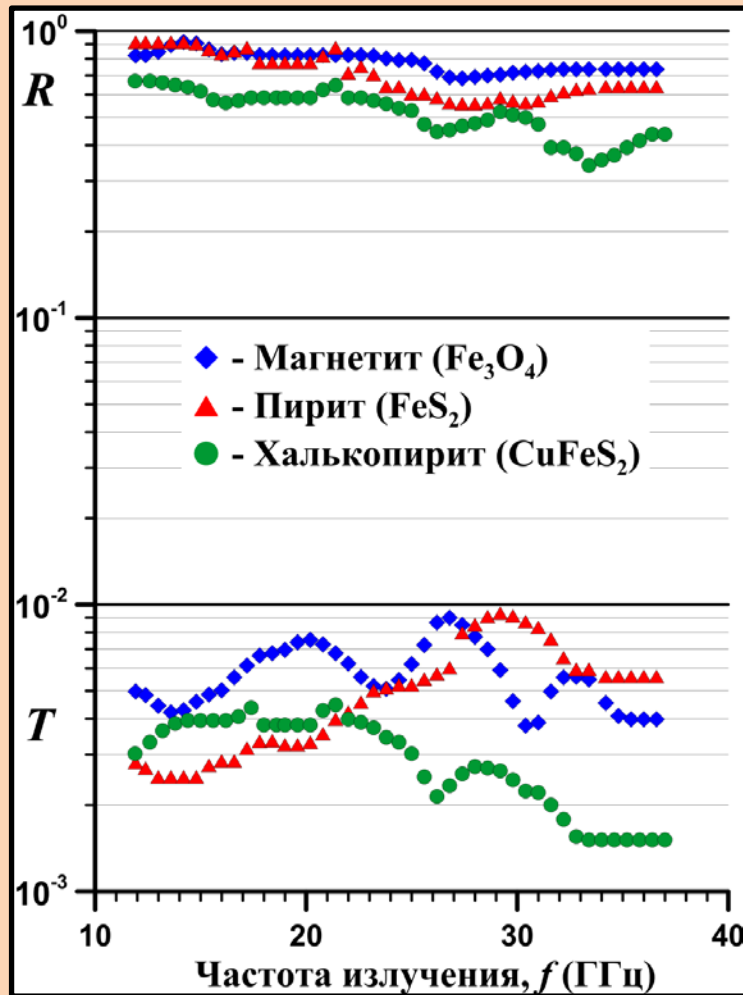
Полупроводники
(сульфиды, некоторые окислы)
Рудные минералы

Диапазоны:

- УФ, Оптический, ИК
- Радио ???

2006-2008 гг

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 12-145 ГГц



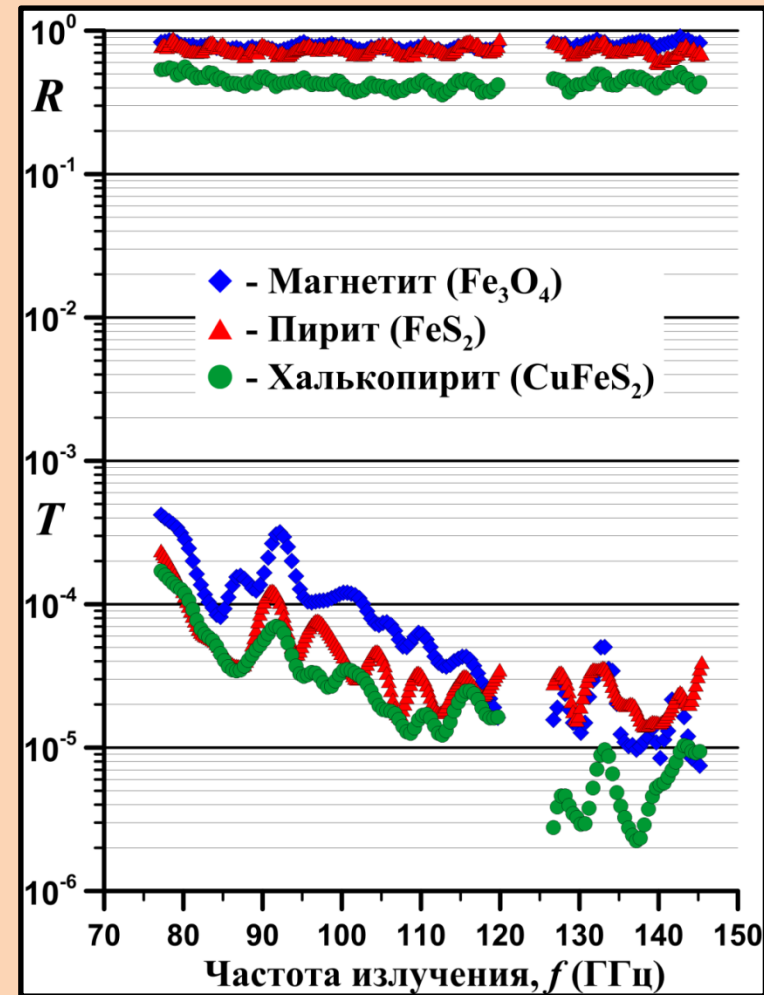
ЛОВ-
спектрометр

ОБРАЗЦЫ:

- размер – 1 см,
- сростки кристаллов,
- примеси и поры < 10%

ЧИСЛЕННЫЙ
РАСЧЕТ:

- Минимизация целевой функции.



Получены аппроксимационные выражения для оптических постоянных минералов в диапазоне частот 12-145 ГГц

**ДОСТОВЕРНОСТЬ
ПОЛУЧЕННЫХ
РЕЗУЛЬТАТОВ**

???

Draine B.T., Hensley B. Magnetic nanoparticles in the interstellar medium: emission spectrum and polarization.

$$\varepsilon', \varepsilon'' - \begin{cases} \lambda = 60 \text{ нм} \dots 2.5 \text{ мм} \\ \nu = 120 \text{ ГГц} \dots 5 \cdot 10^6 \text{ ГГц} \end{cases}$$

Компиляция эксп. данных:

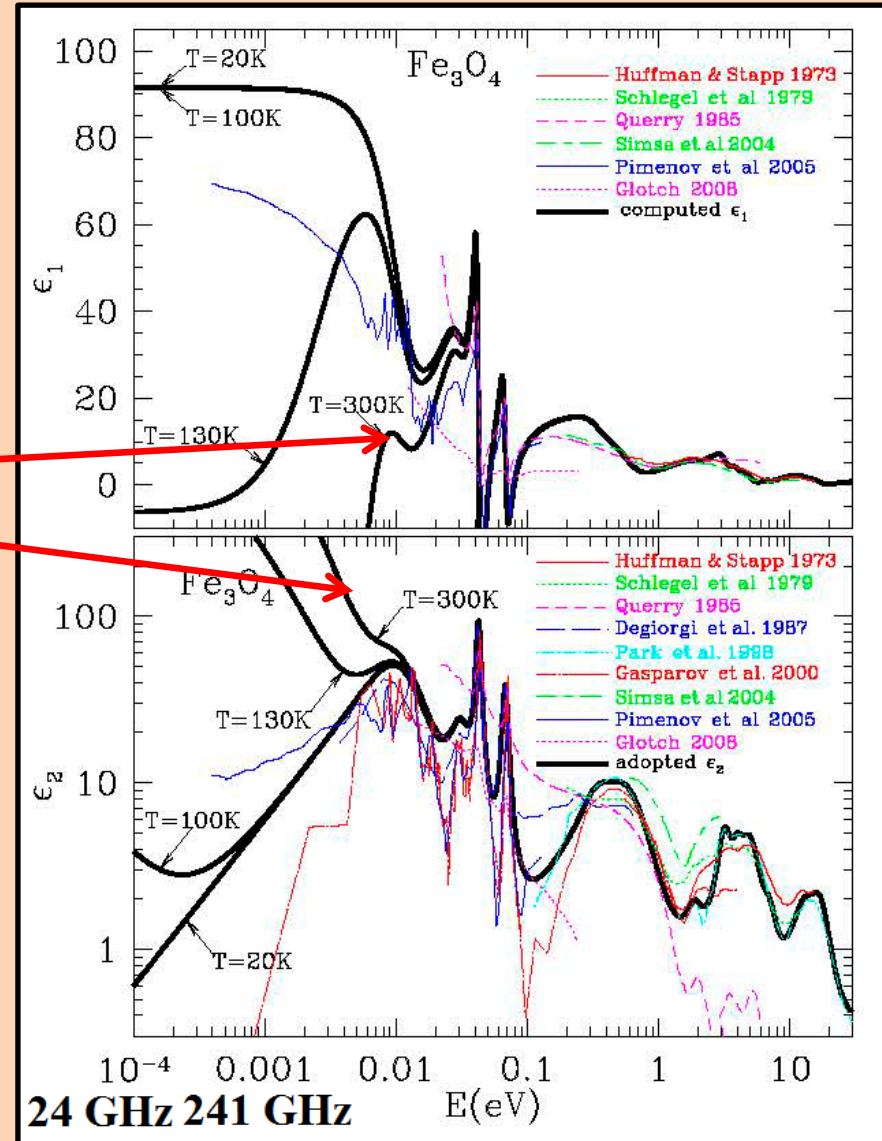
- отражательной способности,
- проводимости.

Обработка данных:

- соотношения Крамерса-Кронига,
- теория Лоренца,
- теори Друде.

$$140 \text{ ГГц}$$

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon''_{\text{мы}} = 4 \\ \varepsilon''_{\text{они}} = 3300 \end{array} \right\} \rightarrow \frac{\varepsilon''_{\text{они}}}{\varepsilon''_{\text{мы}}} = 825$$



МЕТОД КРАМЕРСА-КРОНИГА

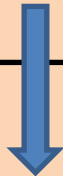
$$\varepsilon'(\omega) = 1 + \frac{2}{\pi} P \int_0^{\infty} \frac{x \varepsilon''(x)}{x^2 - \omega^2} dx, \quad \varepsilon''(\omega) = -\frac{2\omega}{\pi} P \int_0^{\infty} \frac{\varepsilon'(x)}{x^2 - \omega^2} dx,$$

$$n'(\omega) = 1 + \frac{2}{\pi} P \int_0^{\infty} \frac{x n''(x)}{x^2 - \omega^2} dx, \quad n''(\omega) = -\frac{2\omega}{\pi} P \int_0^{\infty} \frac{n'(x)}{x^2 - \omega^2} dx,$$

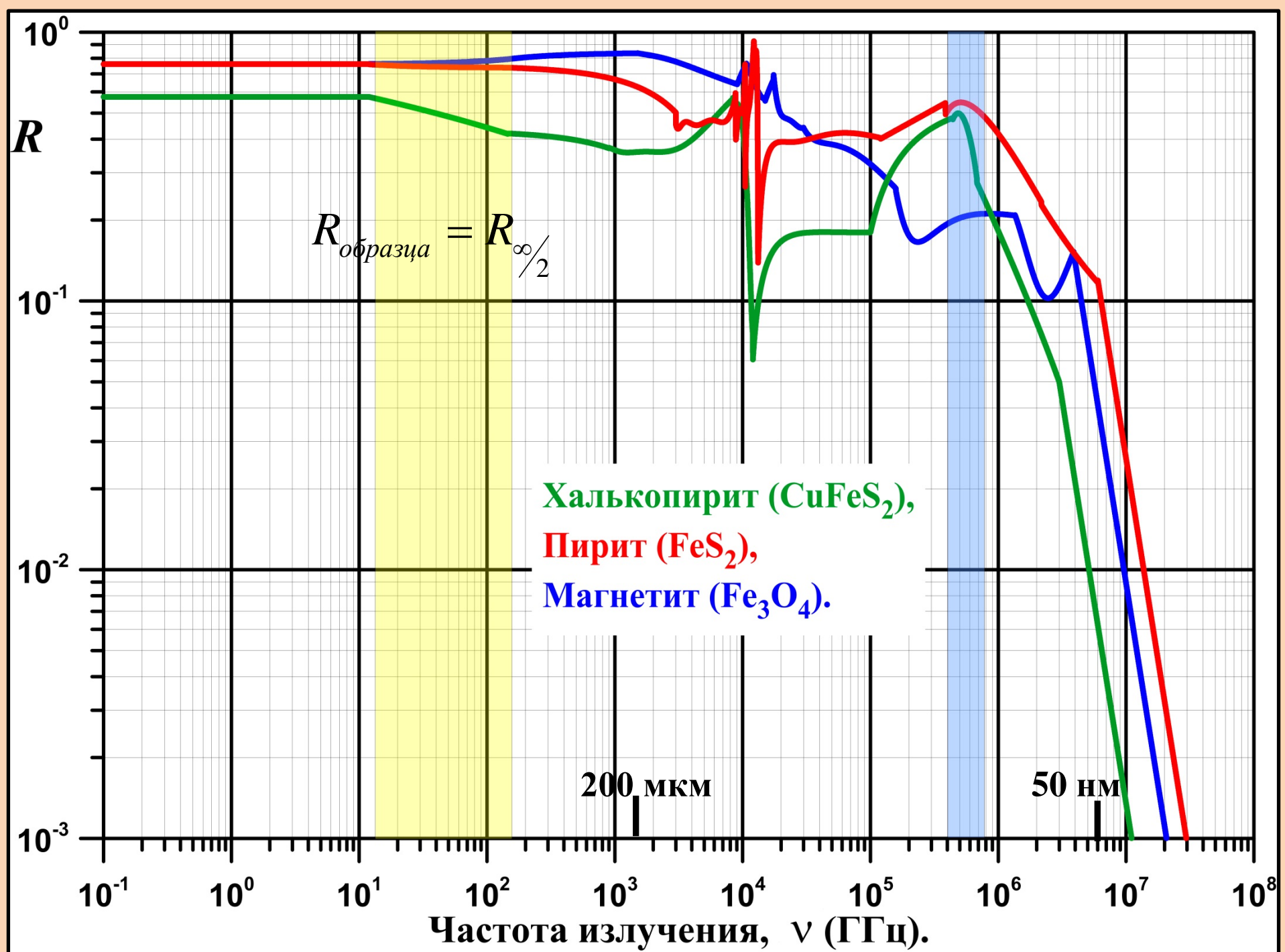


$$n' = \frac{1 - R}{1 + R - 2\sqrt{R} \cos \Theta}, \quad n'' = \frac{-2\sqrt{R} \sin \Theta}{1 + R - 2\sqrt{R} \cos \Theta},$$

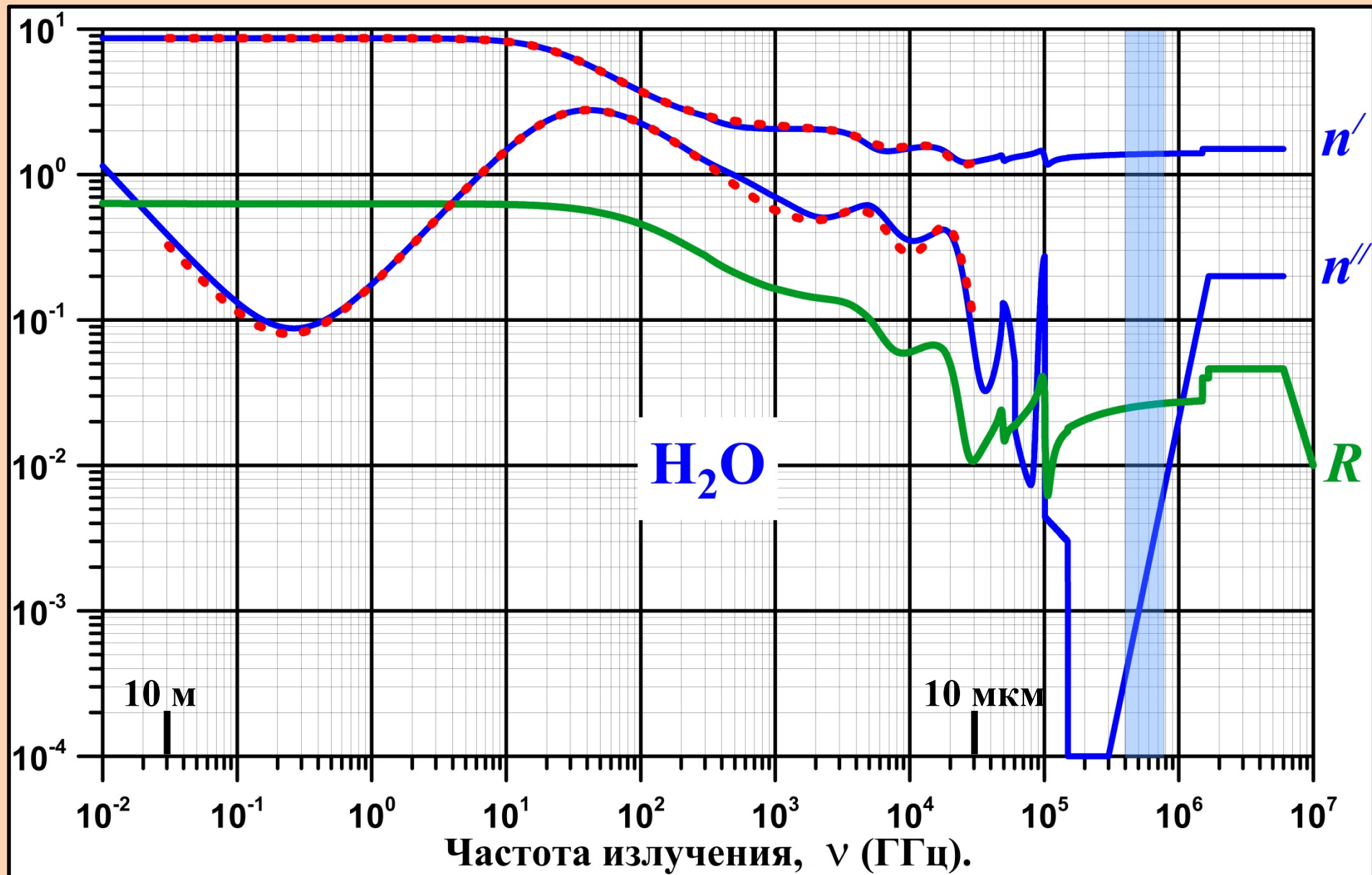
$$\Theta(\omega) = -\frac{\omega}{\pi} P \int_0^{\infty} \frac{\ln R(x)}{x^2 - \omega^2} dx, \quad R = |r|^2 = \frac{(n' - 1)^2 + n''^2}{(n' + 1)^2 + n''^2},$$

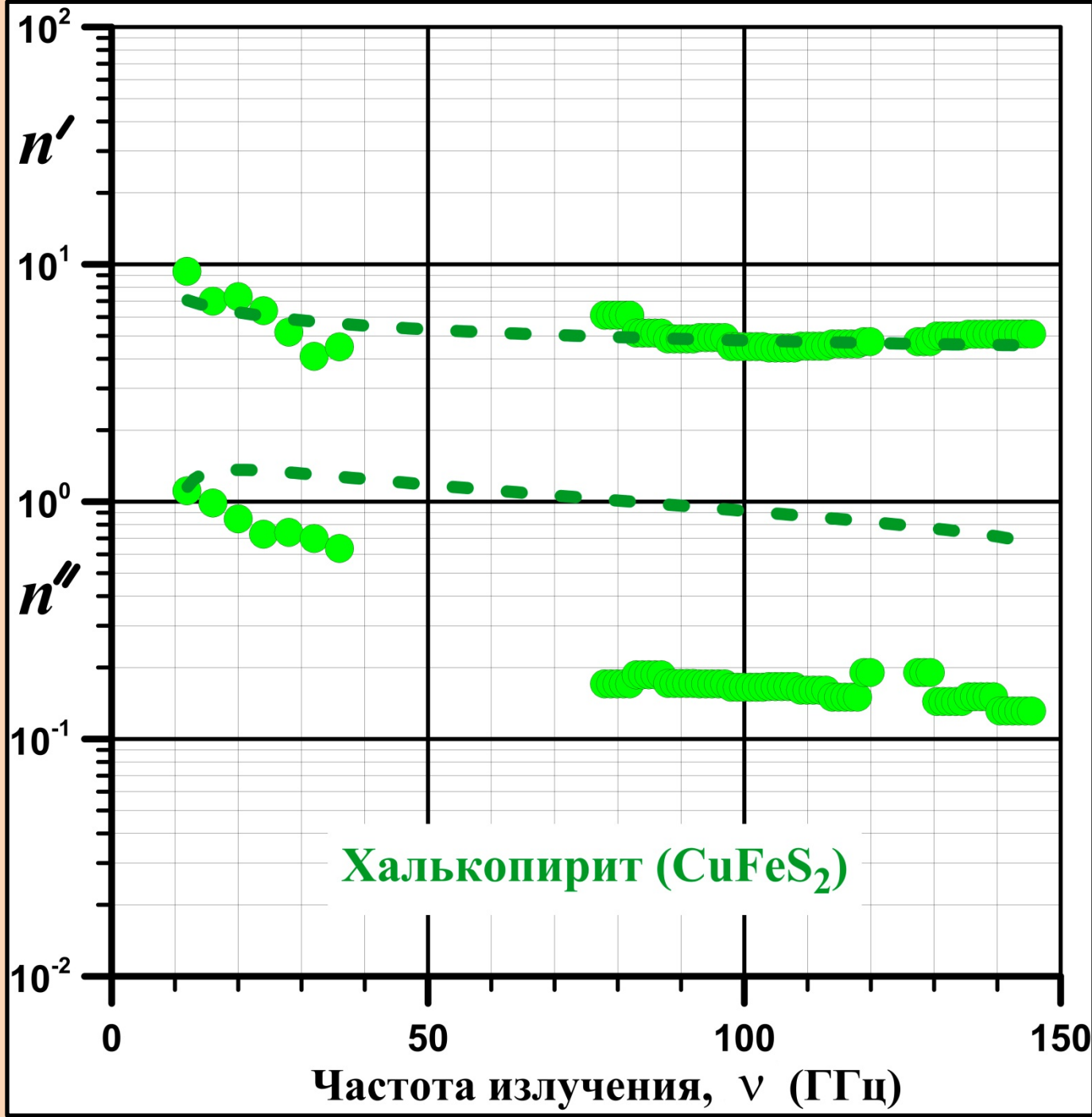


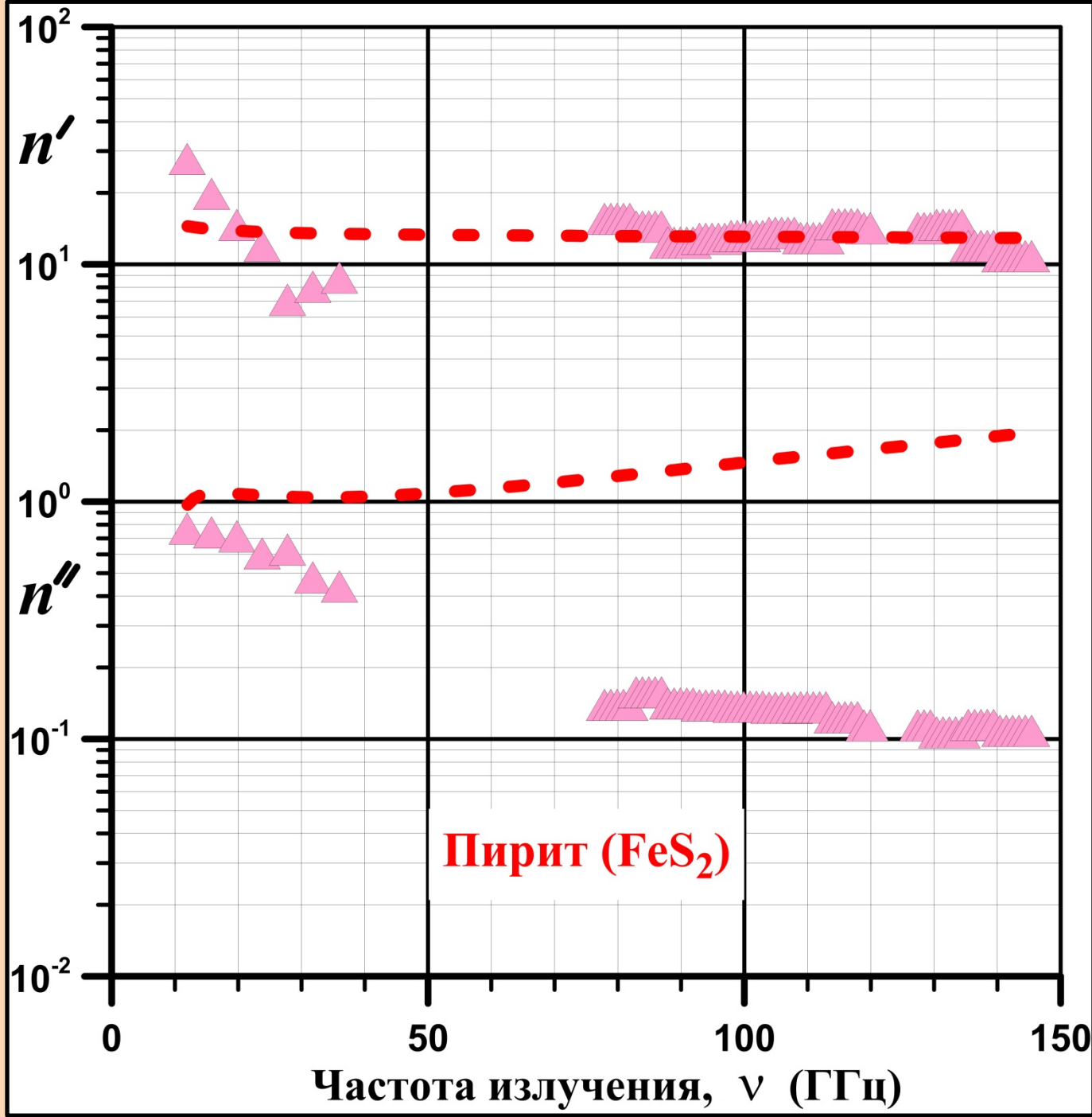
$$\Theta(\omega) = -\frac{\omega}{\pi} P \int_0^{a_m} \frac{\ln R(x)}{x^2 - \omega^2} dx - \dots - \frac{\omega}{\pi} P \int_{a_1}^{b_1} \frac{\ln R(x)}{x^2 - \omega^2} dx - \dots - \frac{\omega}{\pi} P \int_{b_k}^{\infty} \frac{\ln R(x)}{x^2 - \omega^2} dx,$$



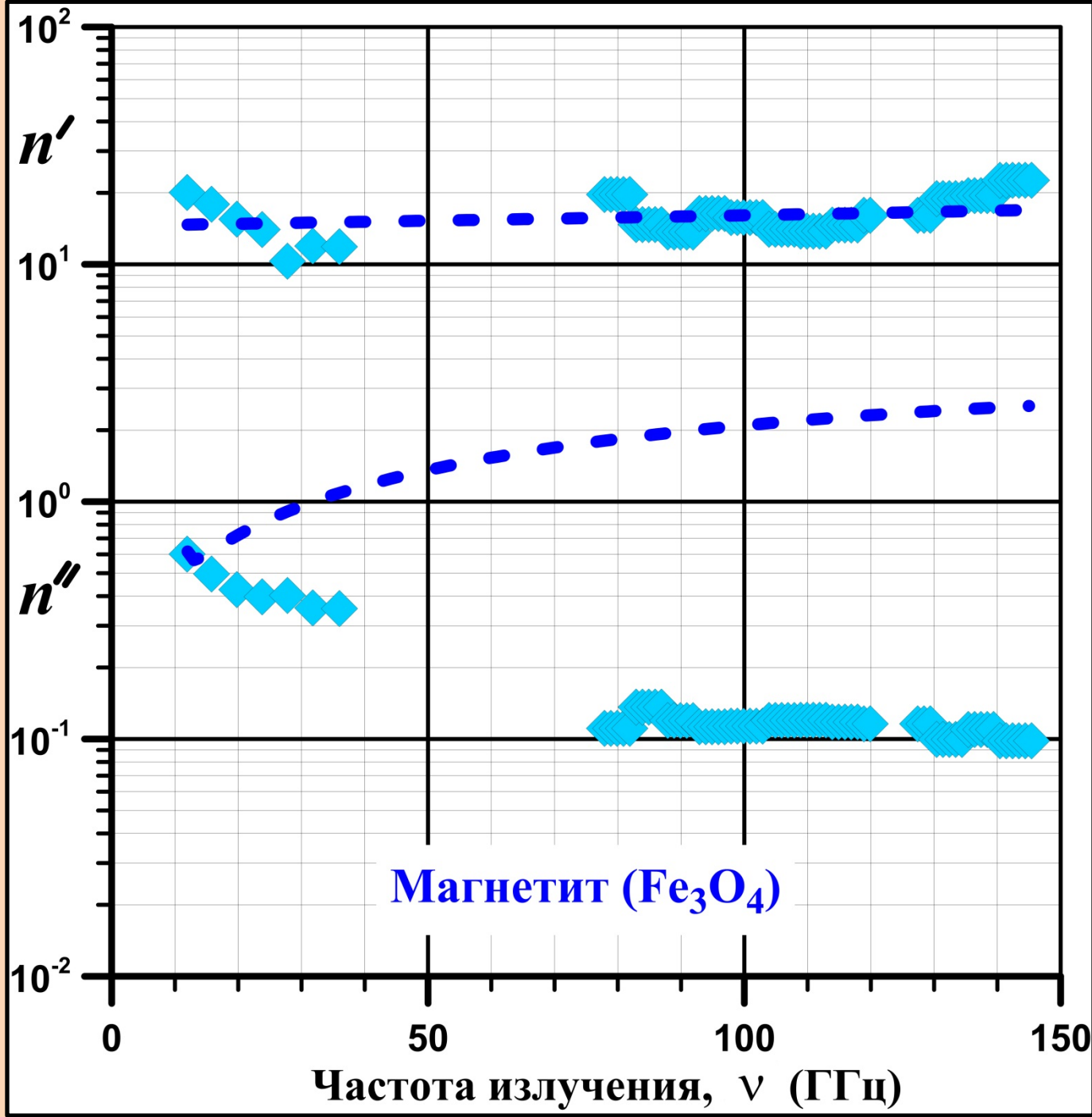
ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ

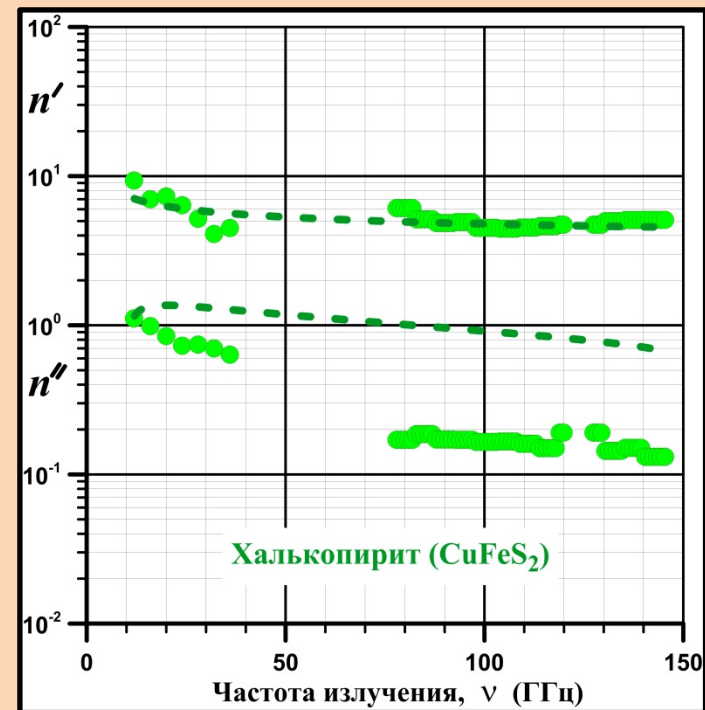






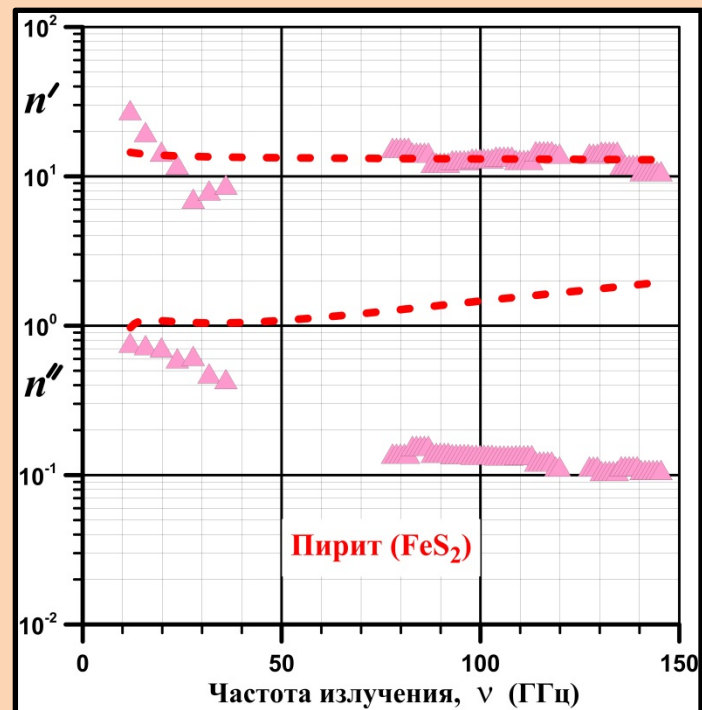
Пирит (FeS_2)





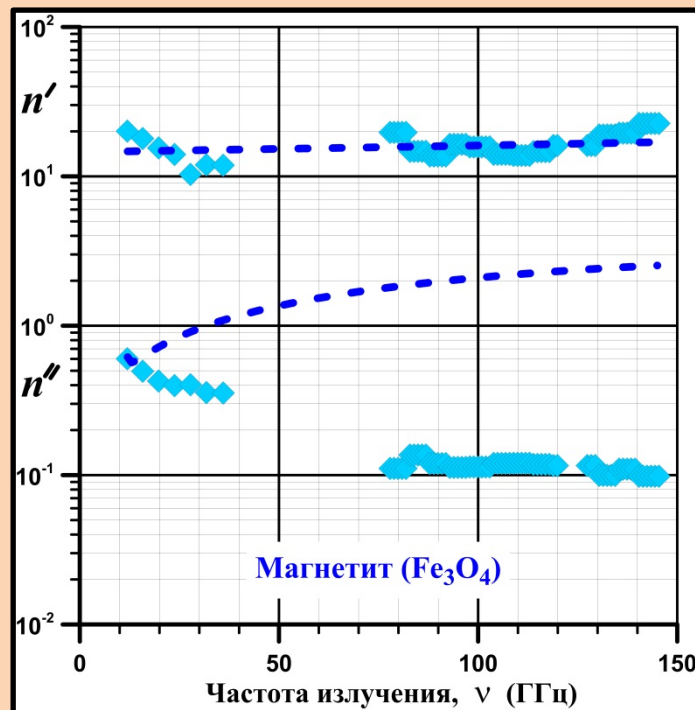
$$n' = 14.45 + 0.017 \cdot \nu,$$

$$n'' = 0.275 + 0.025 \cdot \nu - 6.29 \times 10^{-5} \cdot \nu^2,$$



$$n' = 7.51 - 0.07 \cdot \nu + 6.52 \times 10^{-4} \cdot \nu^2 - 2.1 \times 10^{-6} \cdot \nu^3,$$

$$n'' = 1.44 - 0.005 \cdot \nu.$$



$$n' = 14.19 - 0.02 \cdot \nu + 8.06 \times 10^{-5} \cdot \nu^2,$$

$$n'' = 1.05 - 0.001 \cdot \nu + 5.46 \times 10^{-5} \cdot \nu^2,$$

ПРИЧИНЫ РАСХОЖДЕНИЙ:

1. Экспериментальная.

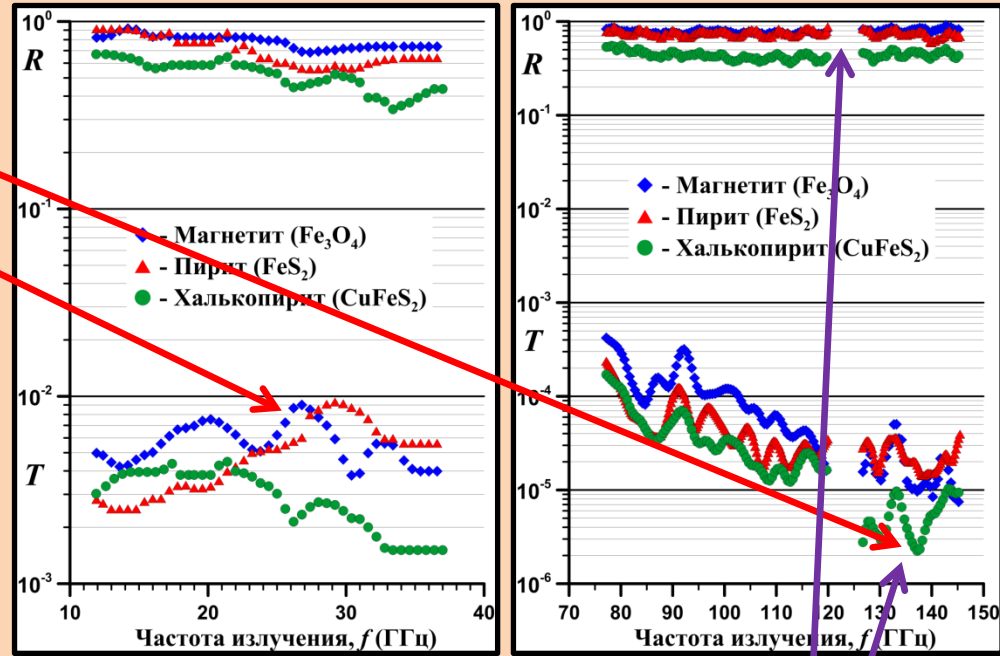
T уменьшалось от 10^{-2} до 10^{-6} .

Ячейка Голея – $T > 10^{-4}$.

$T < 10^{-4}$ – паразитный сигнал.

$$T = f(n) \cdot \exp(-4\pi h n'' / \lambda),$$

$$T \uparrow \Rightarrow n'' \downarrow$$



2. Вычислительная.

$$R = |r|^2, \quad T = |t|^2,$$

$$r = \frac{r_{12} - r_{12} e^{2i\beta}}{1 - r_{12}^2 e^{2i\beta}}, \quad t = \frac{(1 - r_{12}^2) e^{i\beta}}{1 - r_{12}^2 e^{2i\beta}},$$

$$r_{12} = \frac{1 - n}{1 + n}, \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda} n h.$$

$$\rightarrow F(n', n'') = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \left(\frac{(R_t(n', n'', \nu_k) - R_e(\nu_k))^2}{R_e^2(\nu_k)} + \frac{(T_t(n', n'', \nu_k) - T_e(\nu_k))^2}{T_e^2(\nu_k)} \right)$$

3. Объективная (Техническая).

Примеси 10% \Rightarrow поглощение $\downarrow \Rightarrow T \uparrow \rightarrow n'' \downarrow$

140 ГГц

Было:

$$\left. \begin{array}{l} \epsilon''_{мы} = 4 \\ \epsilon''_{они} = 3300 \end{array} \right\} \rightarrow \frac{\epsilon''_{они}}{\epsilon''_{мы}} = 825$$

Стало:

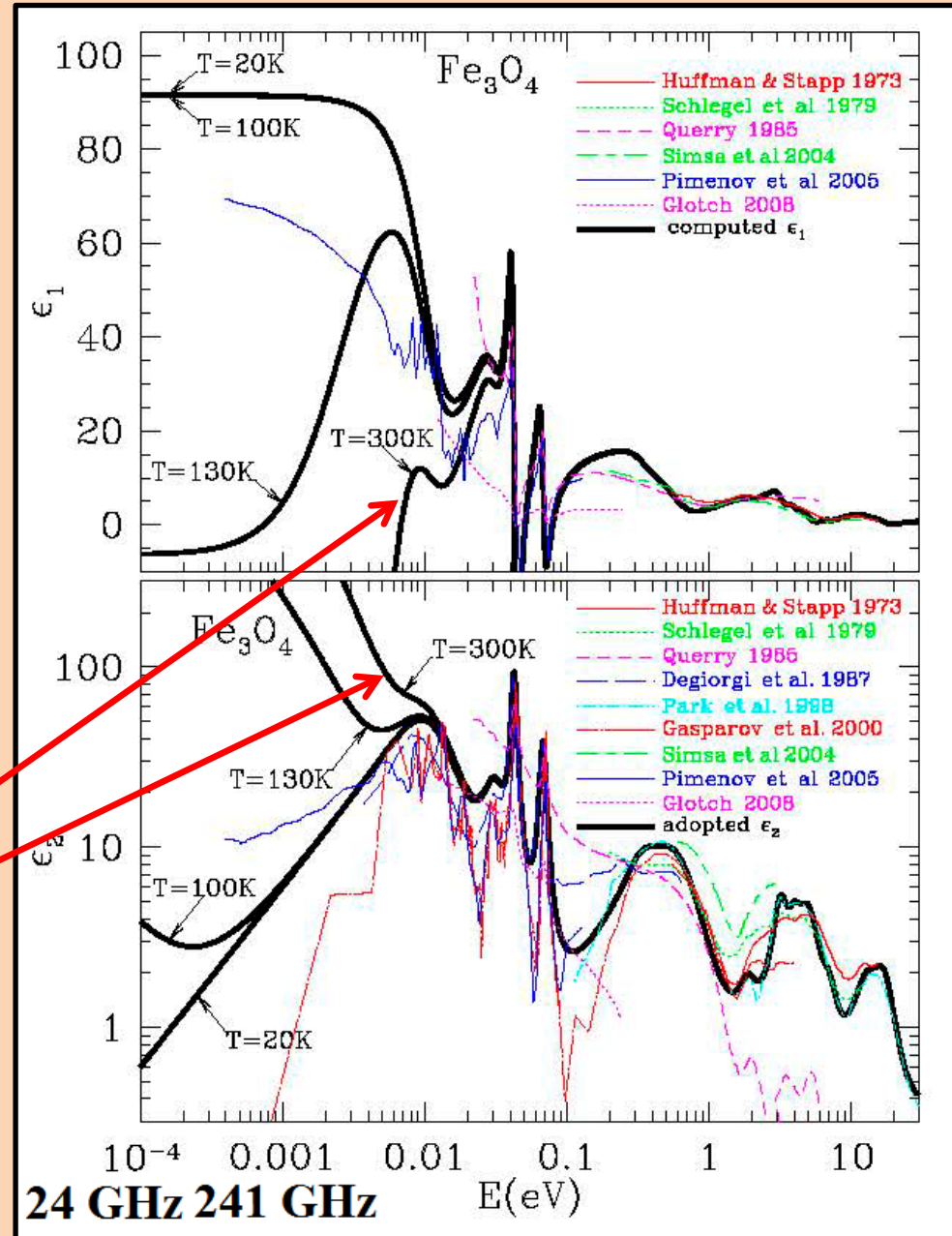
$$\left. \begin{array}{l} \epsilon''_{мы} = 100 \\ \epsilon''_{они} = 3300 \end{array} \right\} \rightarrow \frac{\epsilon''_{они}}{\epsilon''_{мы}} = 33$$

Магнетит - полупроводник:

$$\rho_{нч} = 1.5 \cdot 10^{-5} \dots 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Проводник:

$$\epsilon'_{нч} \ll 0, \epsilon''_{нч} > 100$$



ВЫВОДЫ:

- Значения n' в диапазоне частот 12-145 ГГц, полученные в ходе лабораторных исследований являются с высокой степенью достоверными.
- Значения n'' исследуемых минералов, полученные при лабораторных исследованиях, существенно занижены. Различие связано как с вычислительными, так и с техническими (приборными) погрешностями лабораторного эксперимента.
- Рассчитанные при использовании метода Крамерса-Кронига, спектральные зависимости n' и n'' можно считать более достоверными, чем полученные при лабораторном эксперименте.
- Полученные аппроксимационные выражения позволяют определить значения оптических постоянных пирита, магнетита и халькопирита в диапазоне частот 12-145 ГГц.
- Полученные результаты противоречат данным Астрофизического журнала, но причина этого несоответствия непонятна и требует дальнейшего исследования.

**СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ!**