Синтез и диагностика железо-углеродных наночастиц лазерными методами

Гуренцов Е.В.[1], Еремин А.В.[1], Мусихин С.А.[1,2]

1. Объединенный Институт Высоких Температур РАН, Москва
2. МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва

stasntsk@gmail.com

Металлические наночастицы

- Электроника
- Техника
- Химическая промышленность
- Медицина и др.

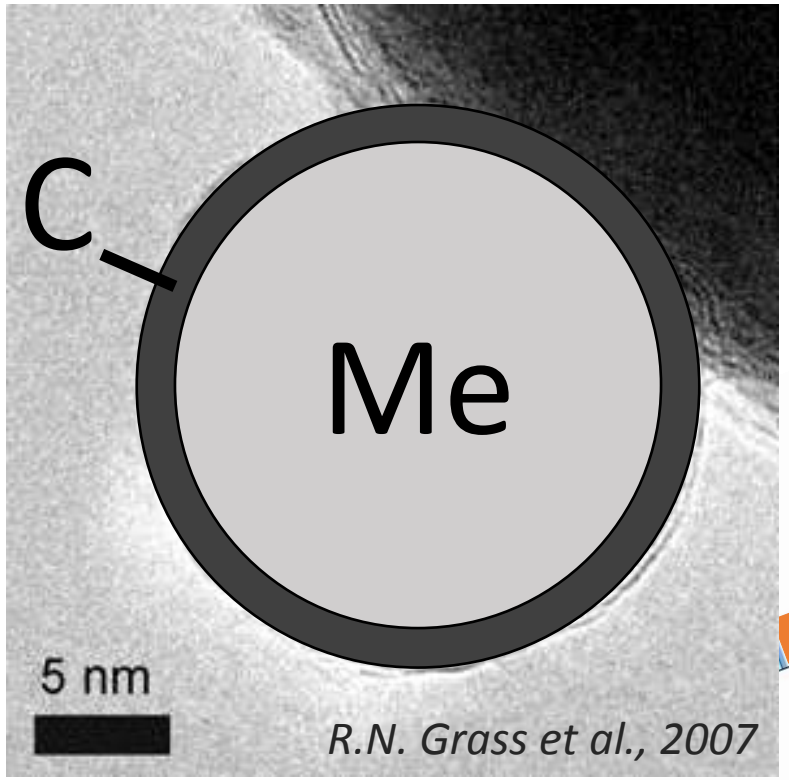
Проблемы

Биологическая активность

Окисление = изменение свойств

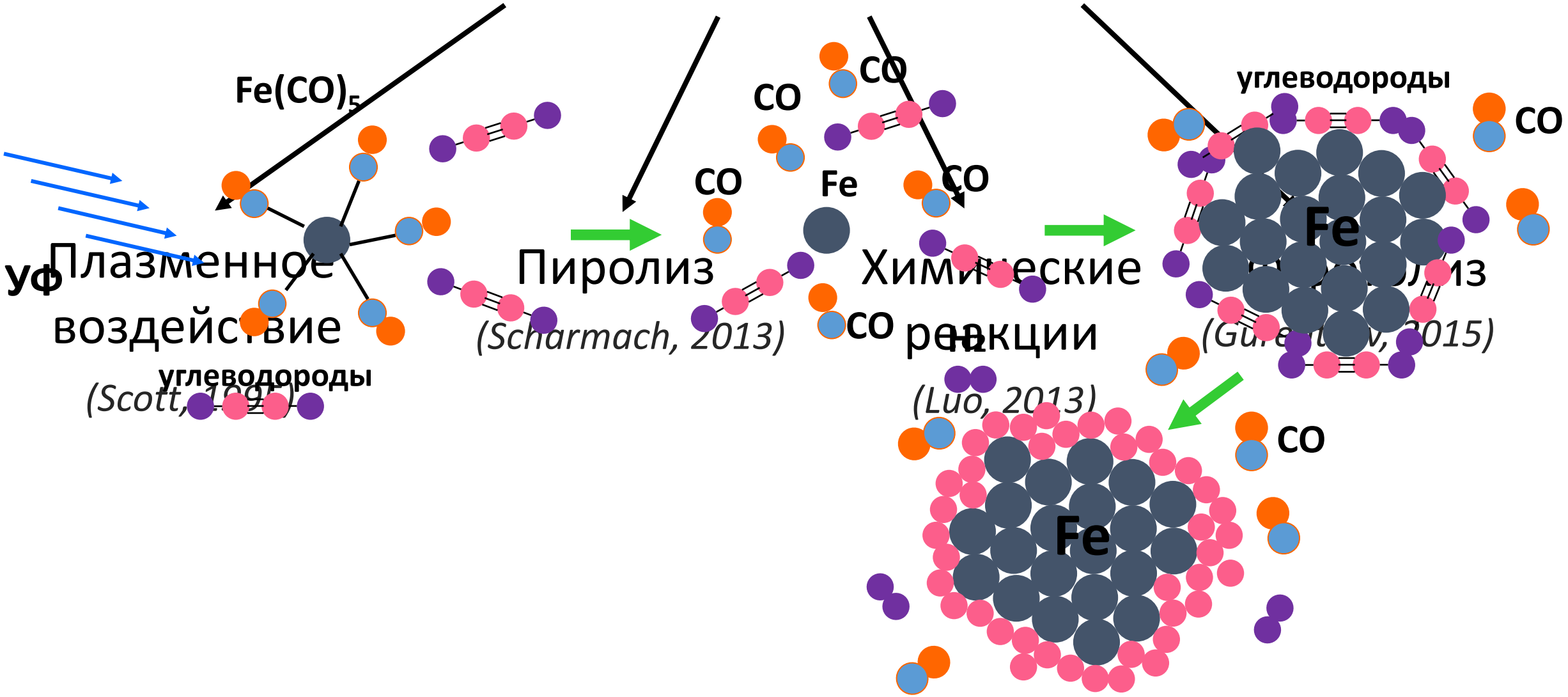
Металло-углеродные наночастицы

- ✓ Биосовместимость
- ✓ Защита от окисления/коррозии
- ✓ Использование в аггресивных средах

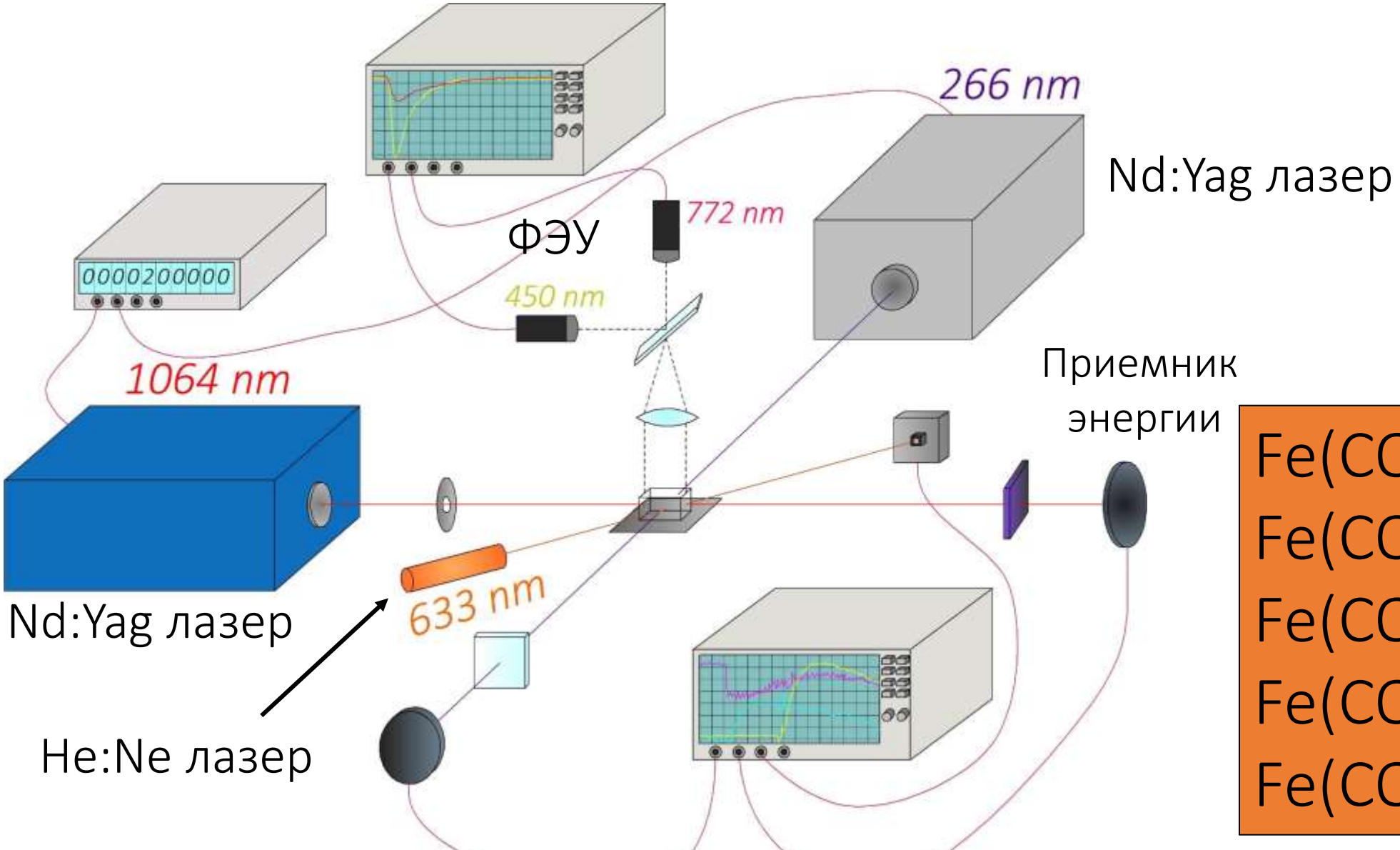


Наночастица кобальта в углеродной оболочке

Способы получения железо-углеродных наночастиц



Экспериментальная установка



Смеси

$Fe(CO)_5 + C_2H_2$

$Fe(CO)_5 + C_6H_6$

$Fe(CO)_5 + C_7H_8$

$Fe(CO)_5 + CH_4$

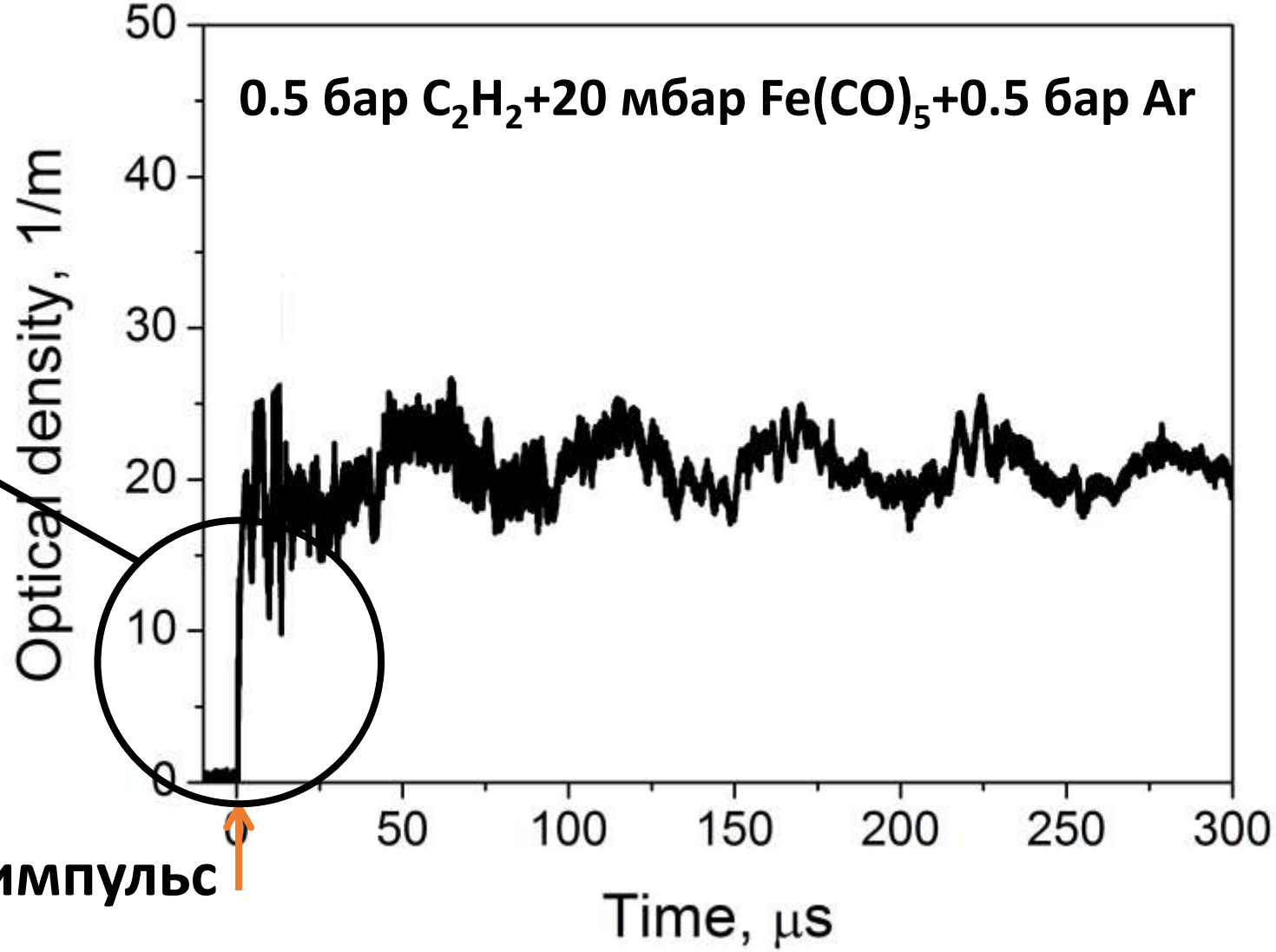
$Fe(CO)_5 + C_4H_9OH$

Лазерная экстинкция

Закон Ламберта-Бэра

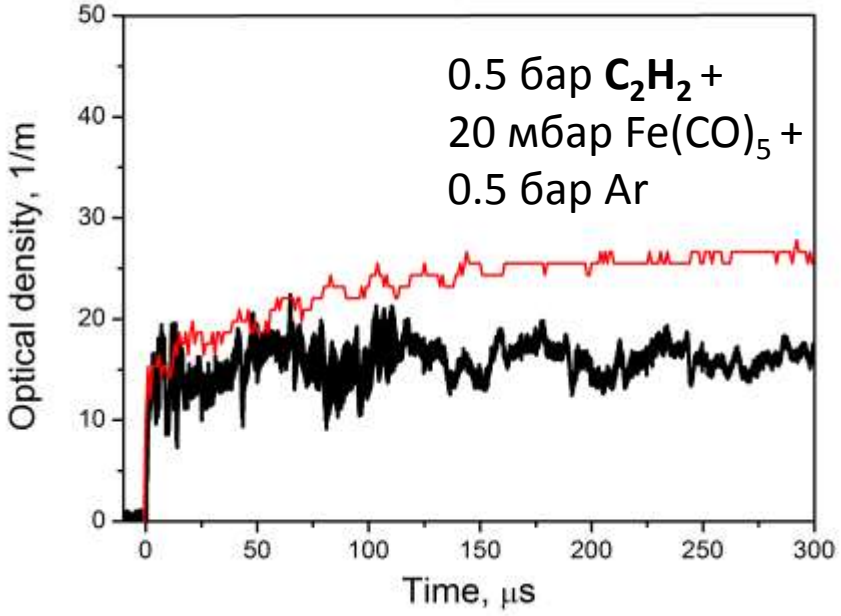
$$J = J_0 e^{-Dl}$$

D - Оптическая плотность

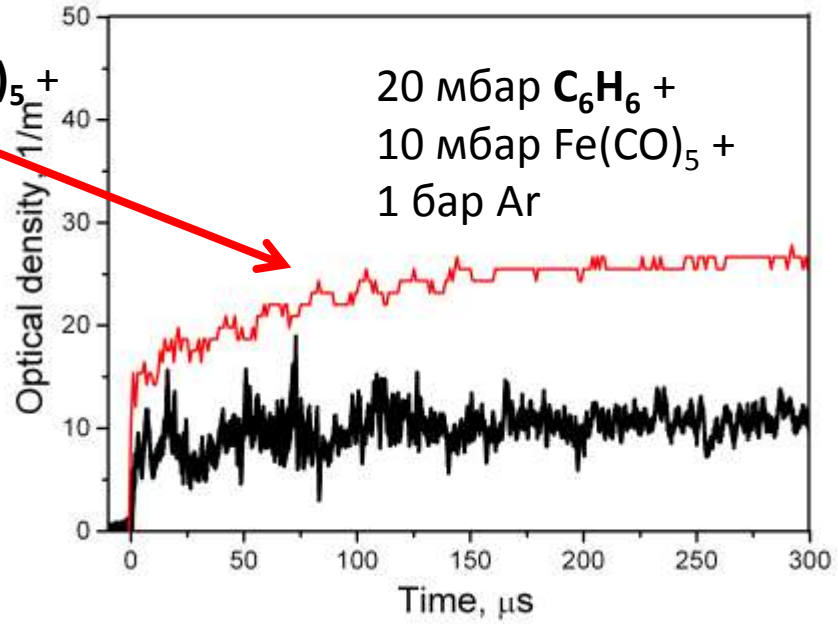


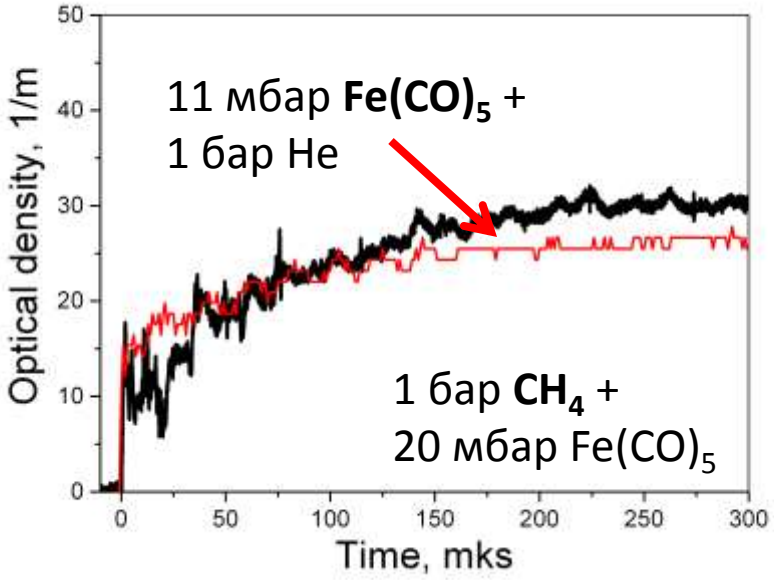
УФ импульс

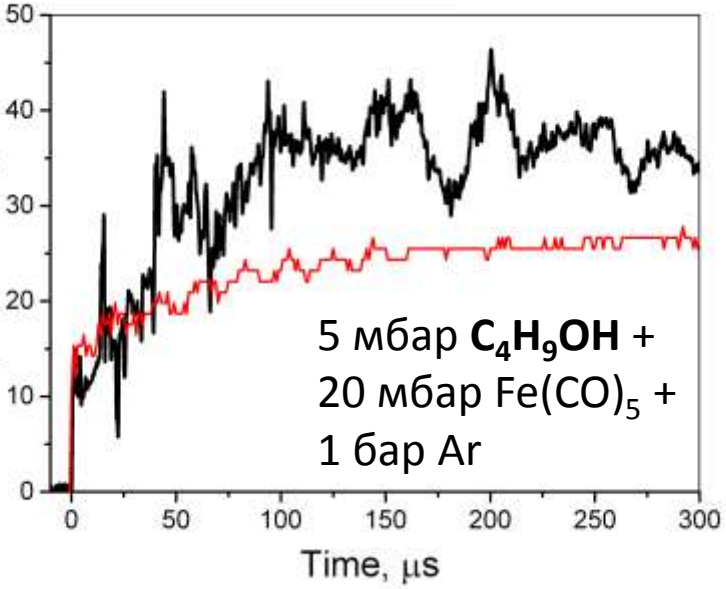
Лазерная экстинкция

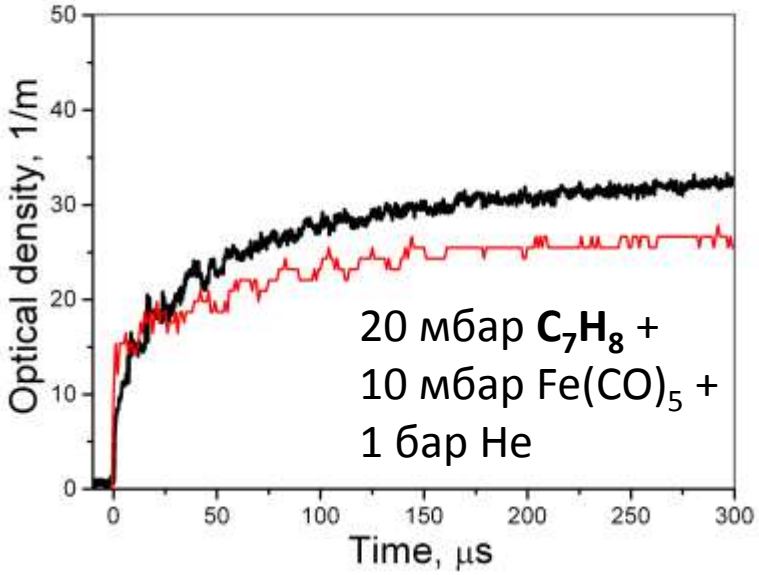


11 мбар **$Fe(CO)_5$** +
1 бар He

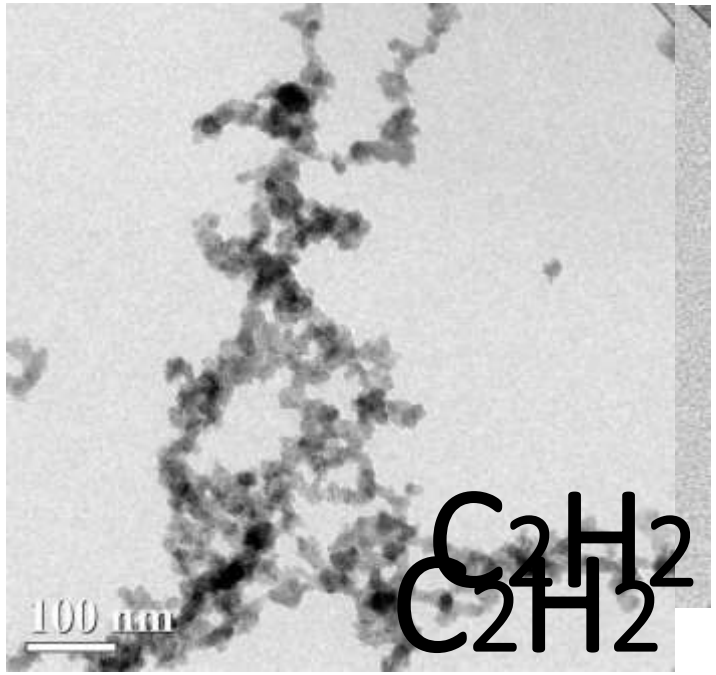


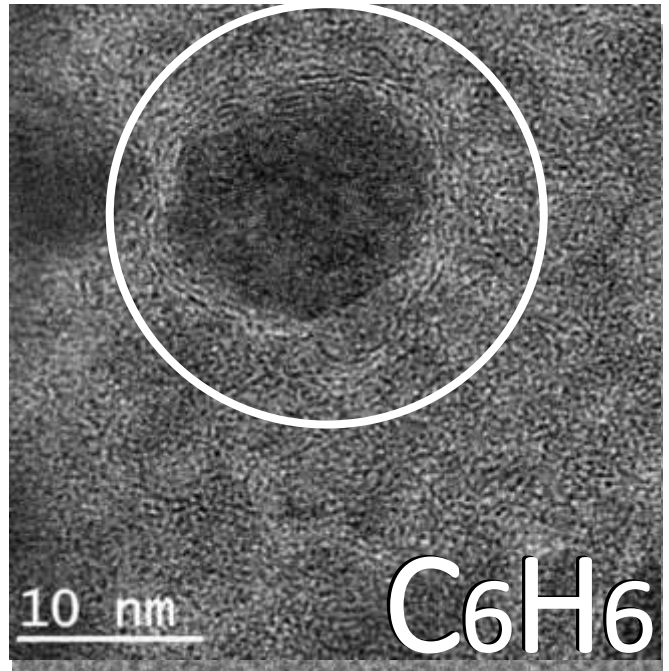


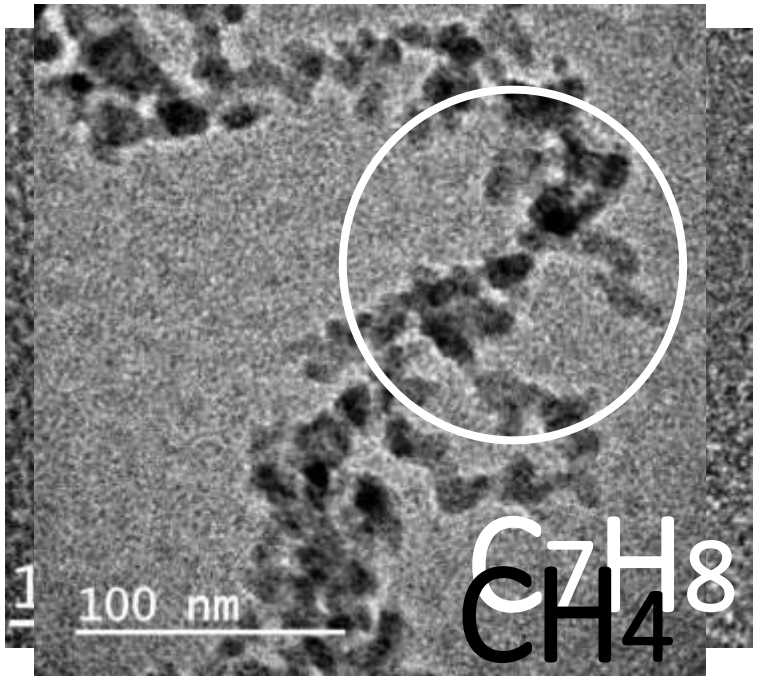




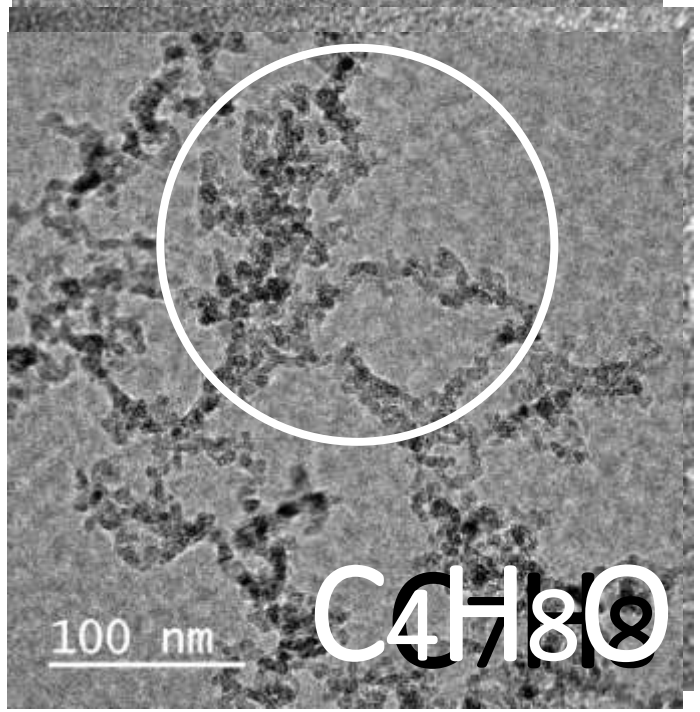
Фотоэлектронное изображение микроскопа



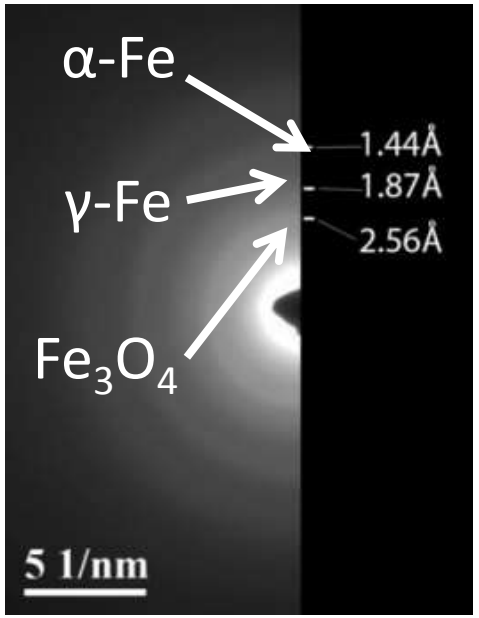




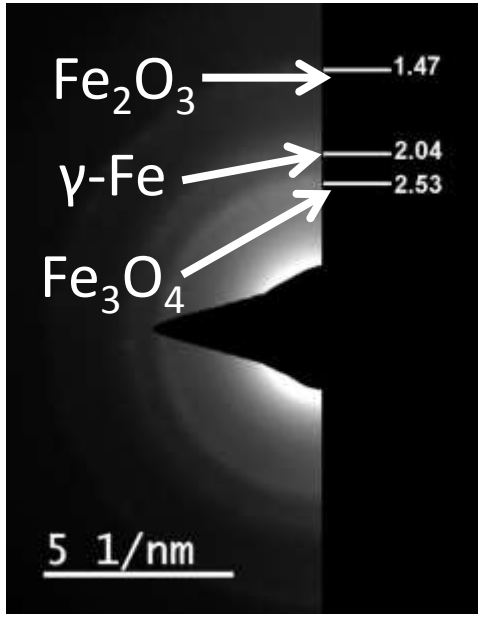
Смесь	CMD, нм	σ, нм
20 mbar C_6H_6 + 10 mbar $Fe(CO)_5$ + 1 bar Ar	5,7	1,38
1 bar CH_4 + 20 mbar $Fe(CO)_5$	10,4	1,16
5 mbar C_4H_9OH + 20 mbar $Fe(CO)_5$ + 1 bar Ar	9,2	1,22
20 mbar C_7H_8 + 10 mbar $Fe(CO)_5$ + 1 bar He	5,6	1,34
0.5 bar C_2H_2 + 20 mbar $Fe(CO)_5$ + 0.5 bar Ar	4,2	1,28



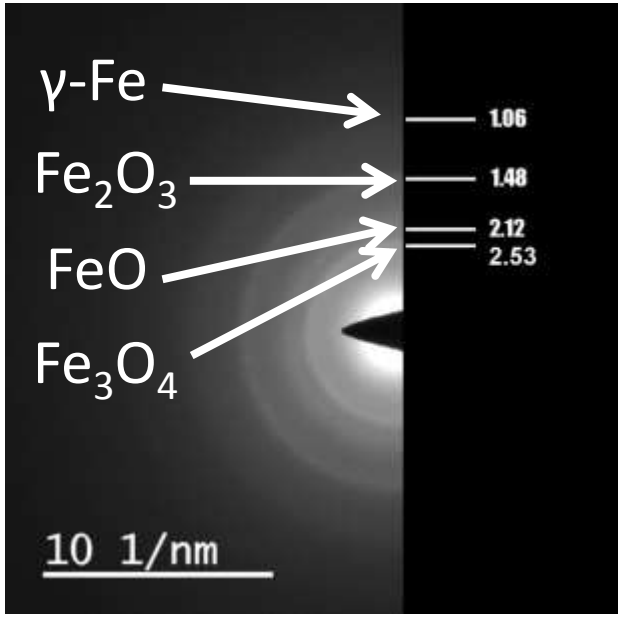
Электронная микродифракция



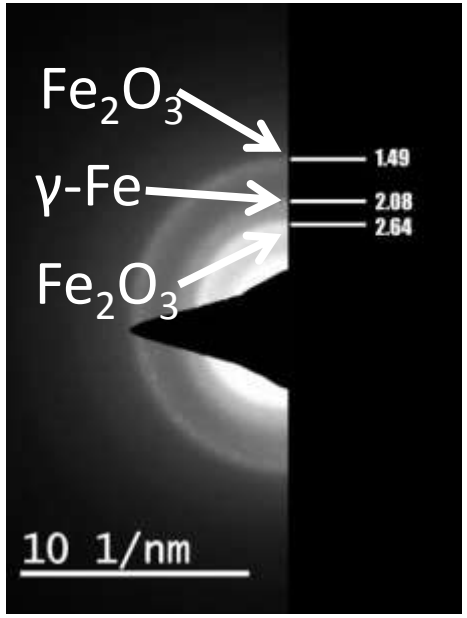
$Fe(CO)_5$ +
C_2H_2



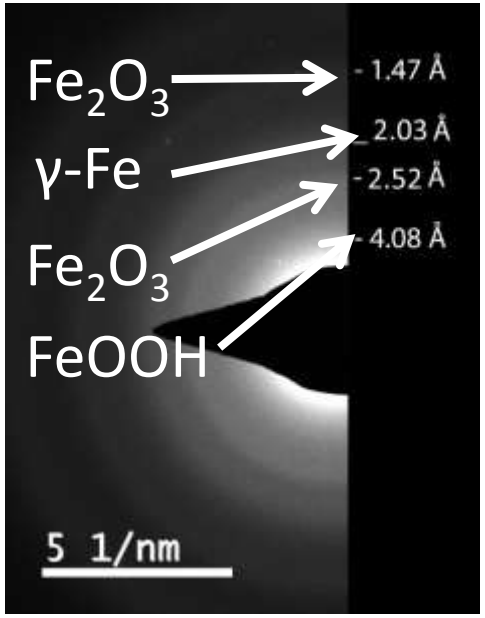
$Fe(CO)_5$ +
C_6H_6



$Fe(CO)_5$ +
CH_4

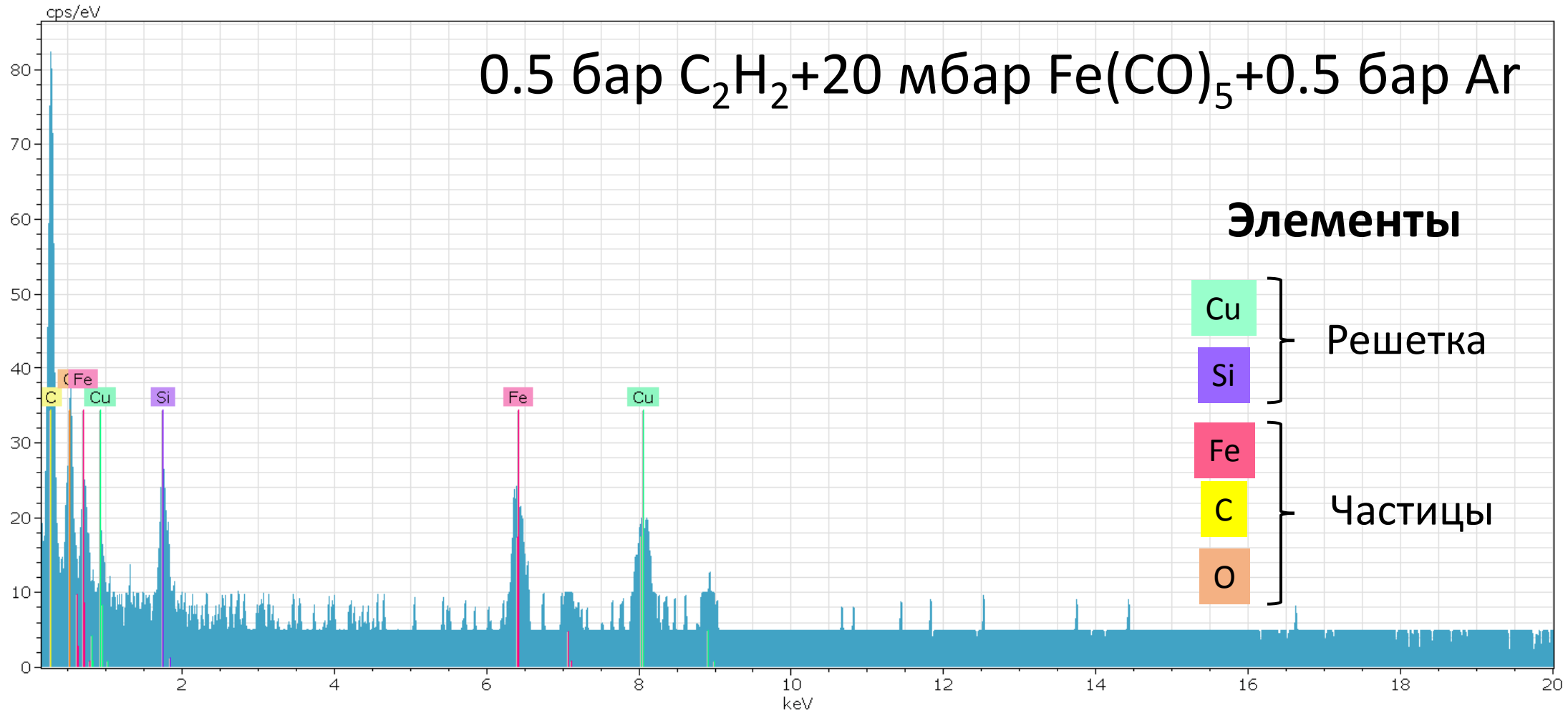


$Fe(CO)_5$ +
C_4H_9OH

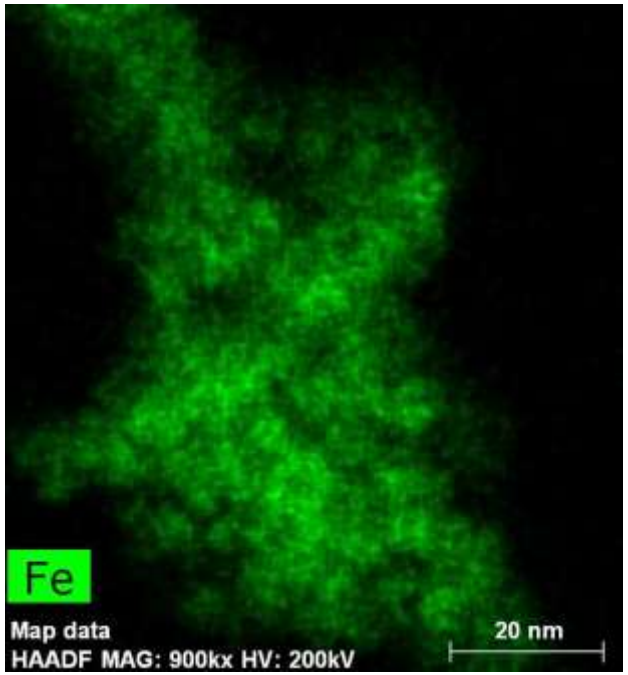


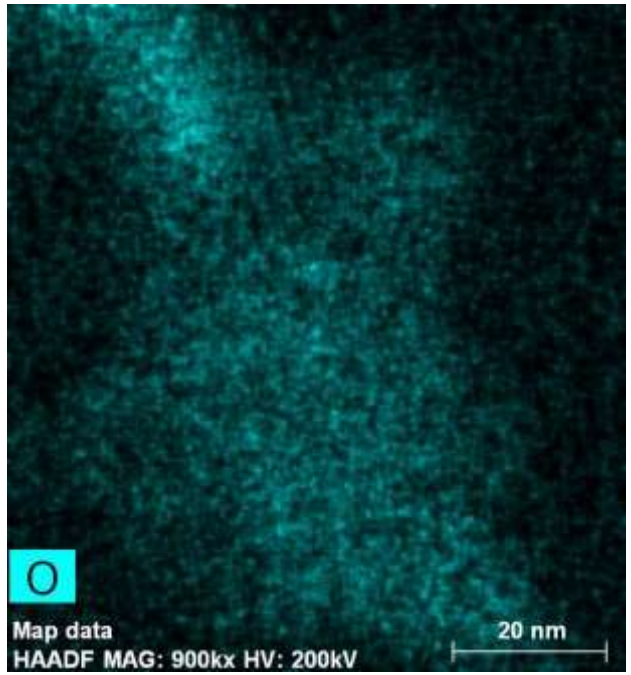
$Fe(CO)_5$ +
C_7H_8

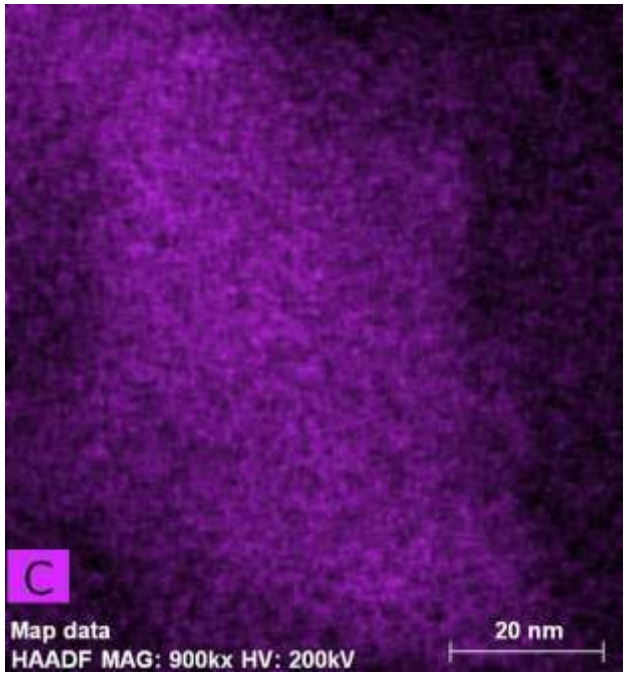
Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия



Пространственное распределение элементов

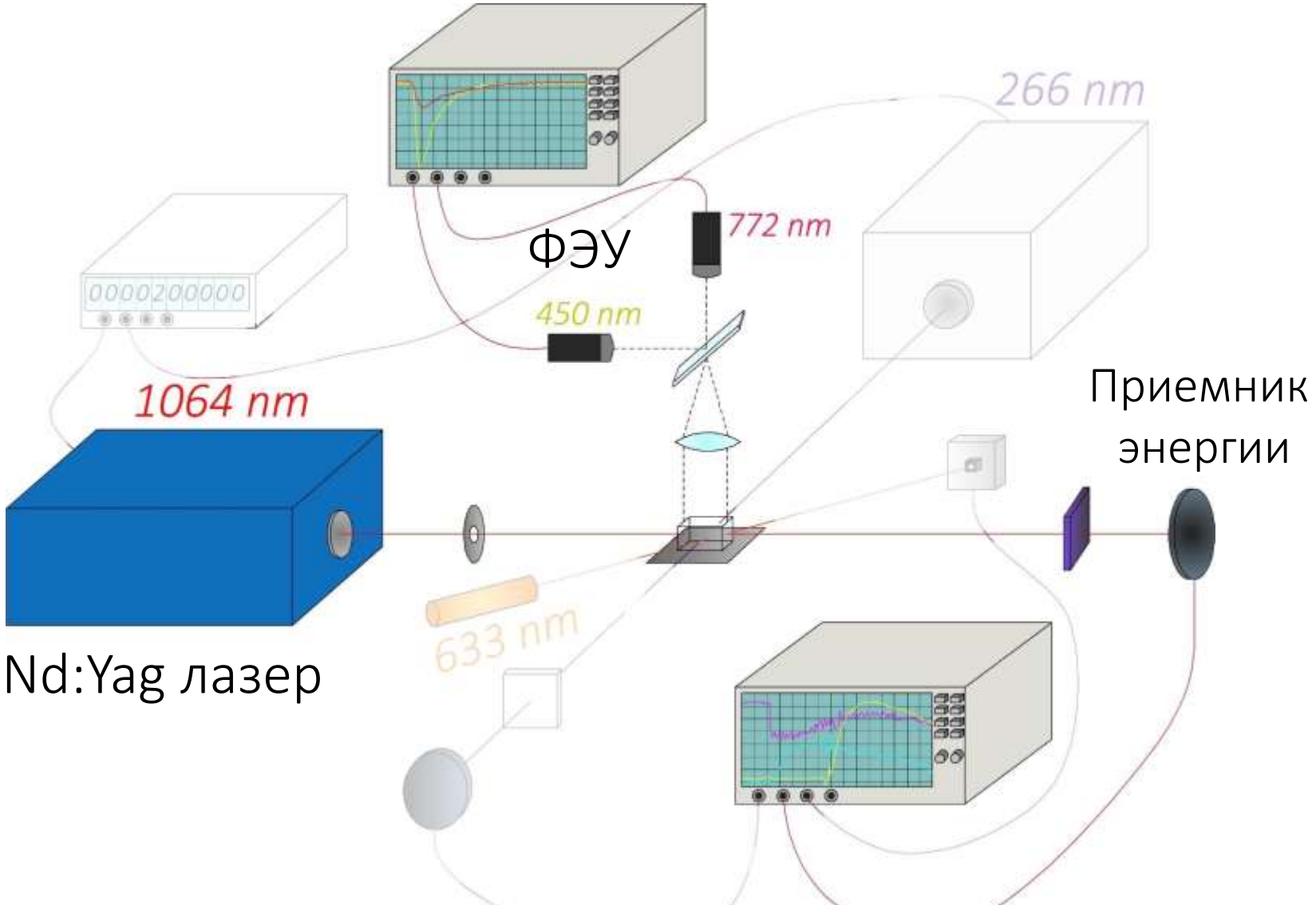






0.5 бар C_2H_2+20 мбар $Fe(CO)_5$+0.5 бар Ar

Лазерно-индуцированная инкандесценция (ЛИИ)

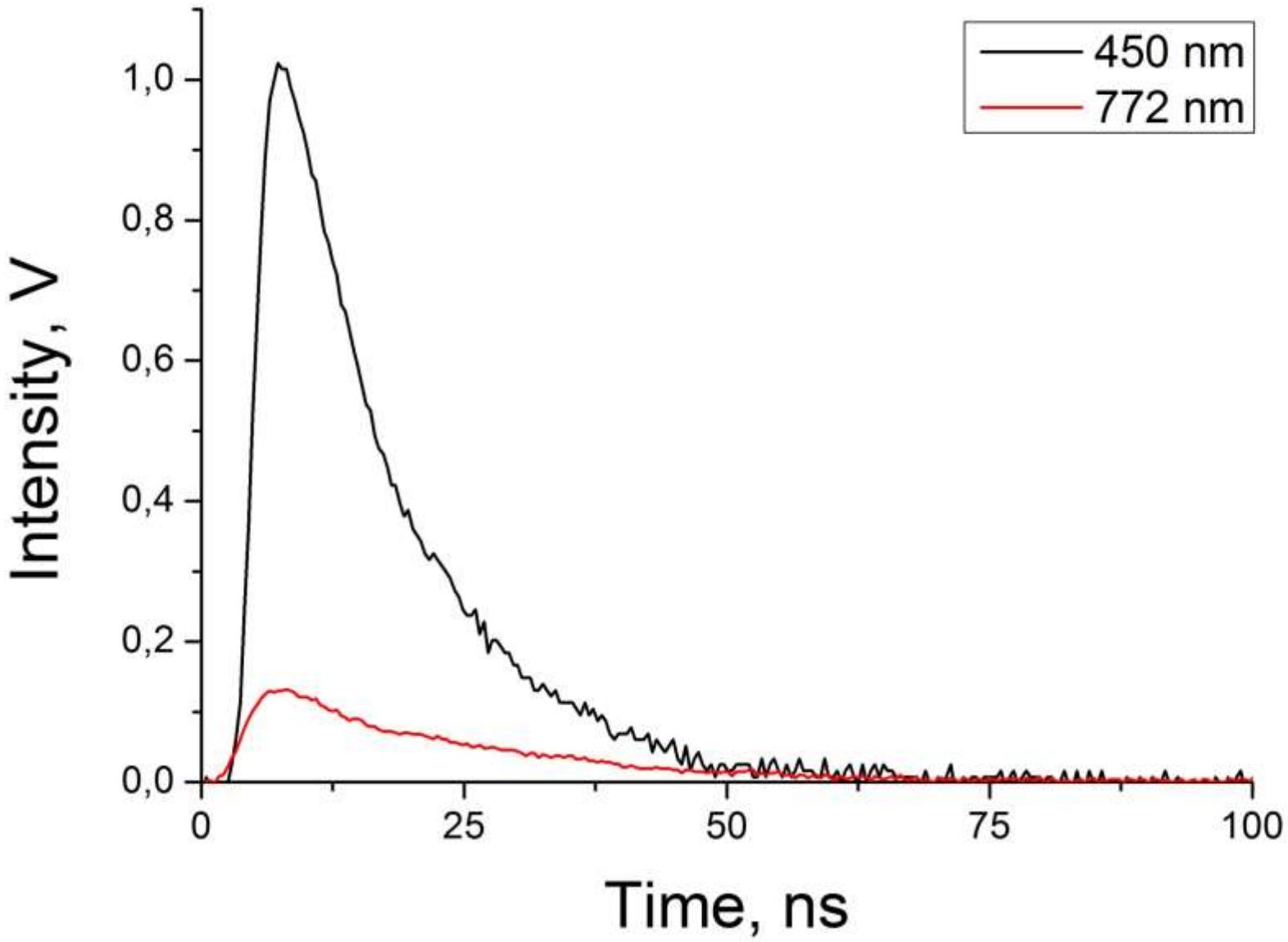


Установка

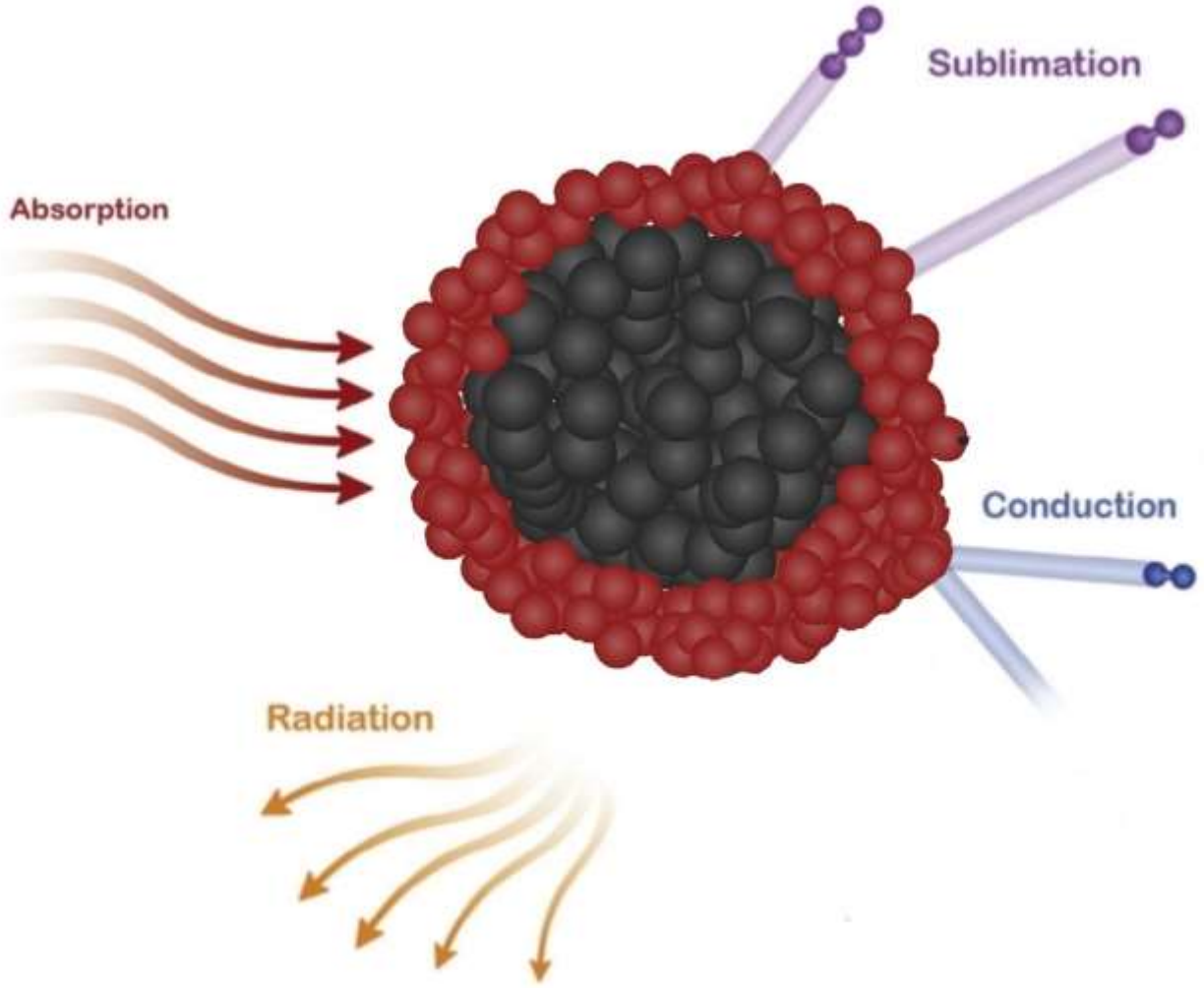
Смесь

20 mbar $Fe(CO)_5$ +
0,5 bar C_2H_2 +
0,5 bar Ar

Сигнал ЛИИ



Теория ЛИИ

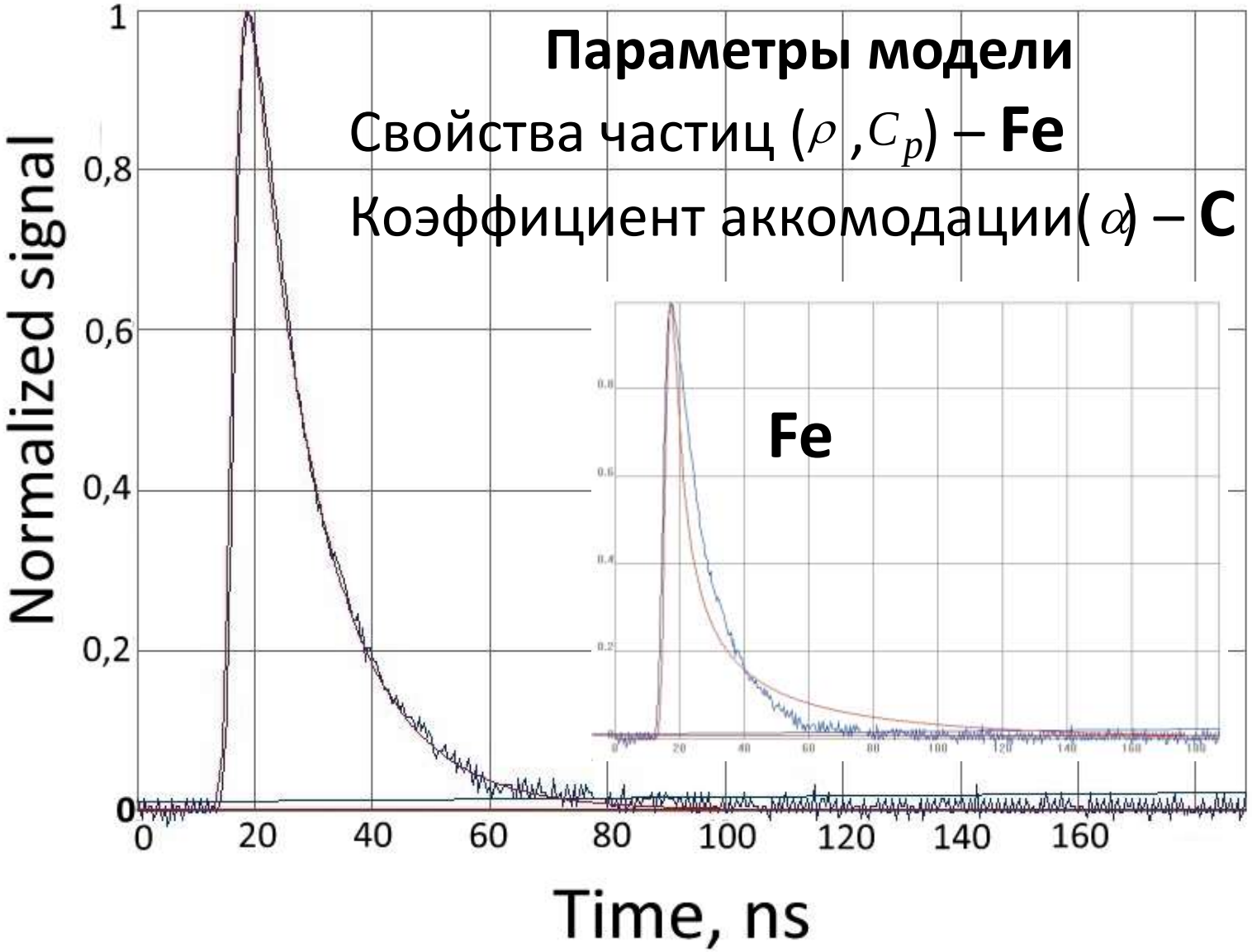


Уравнения сохранения энергии и массы

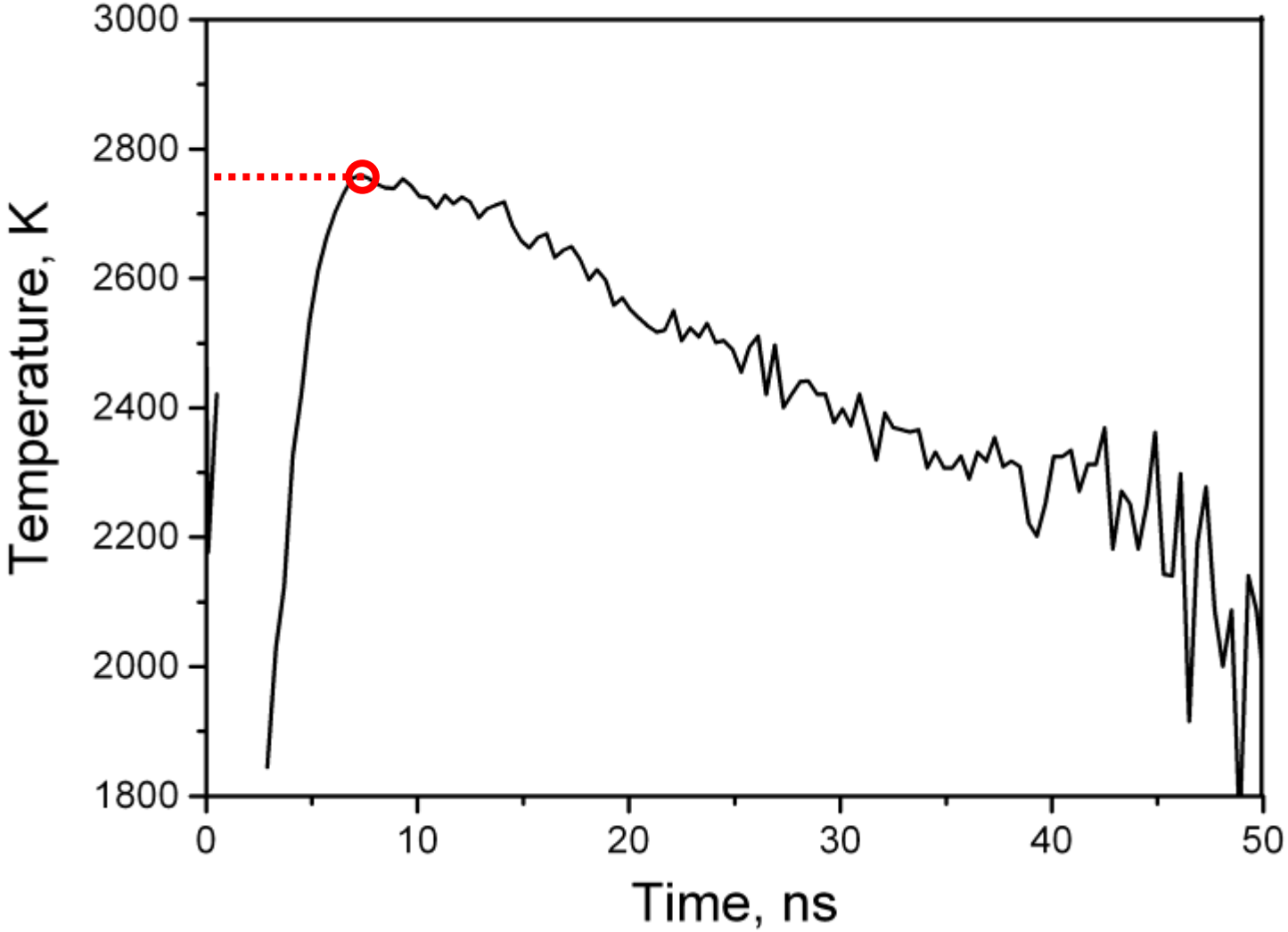
$$\frac{dU_{\text{int}}}{dt} = \dot{Q}_{abs} + \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{sub}$$

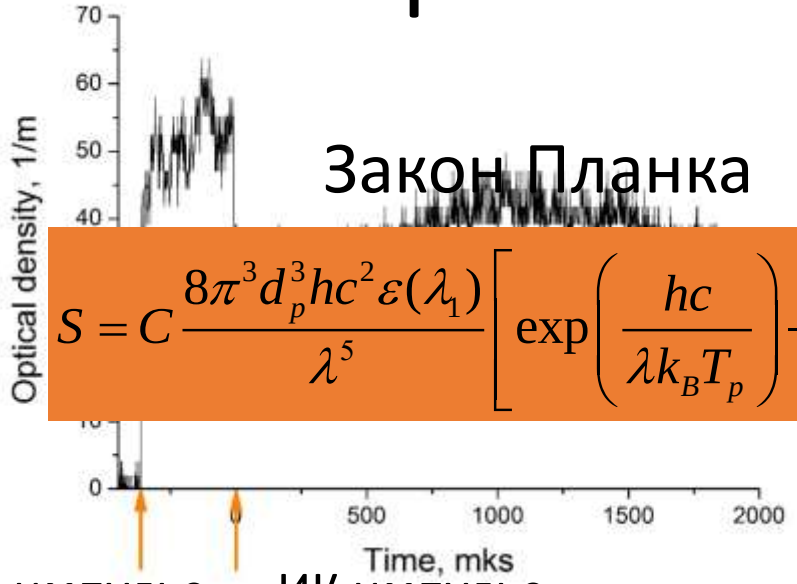
$$\frac{dM}{dt} = \left(\frac{dM}{dt}\right)_{sub}$$

Аппроксимация ЛИИ сигнала



Температура нагрева частиц

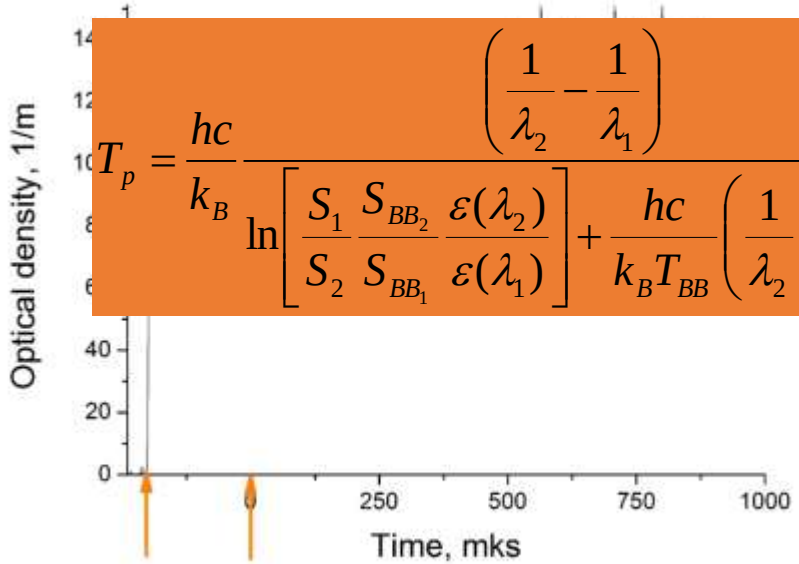




Закон Планка

$$S = C\frac{8\pi^3 d_p^3 hc^2 \varepsilon(\lambda_1)}{\lambda^5}\left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T_p}\right)-1\right]^{-1}$$

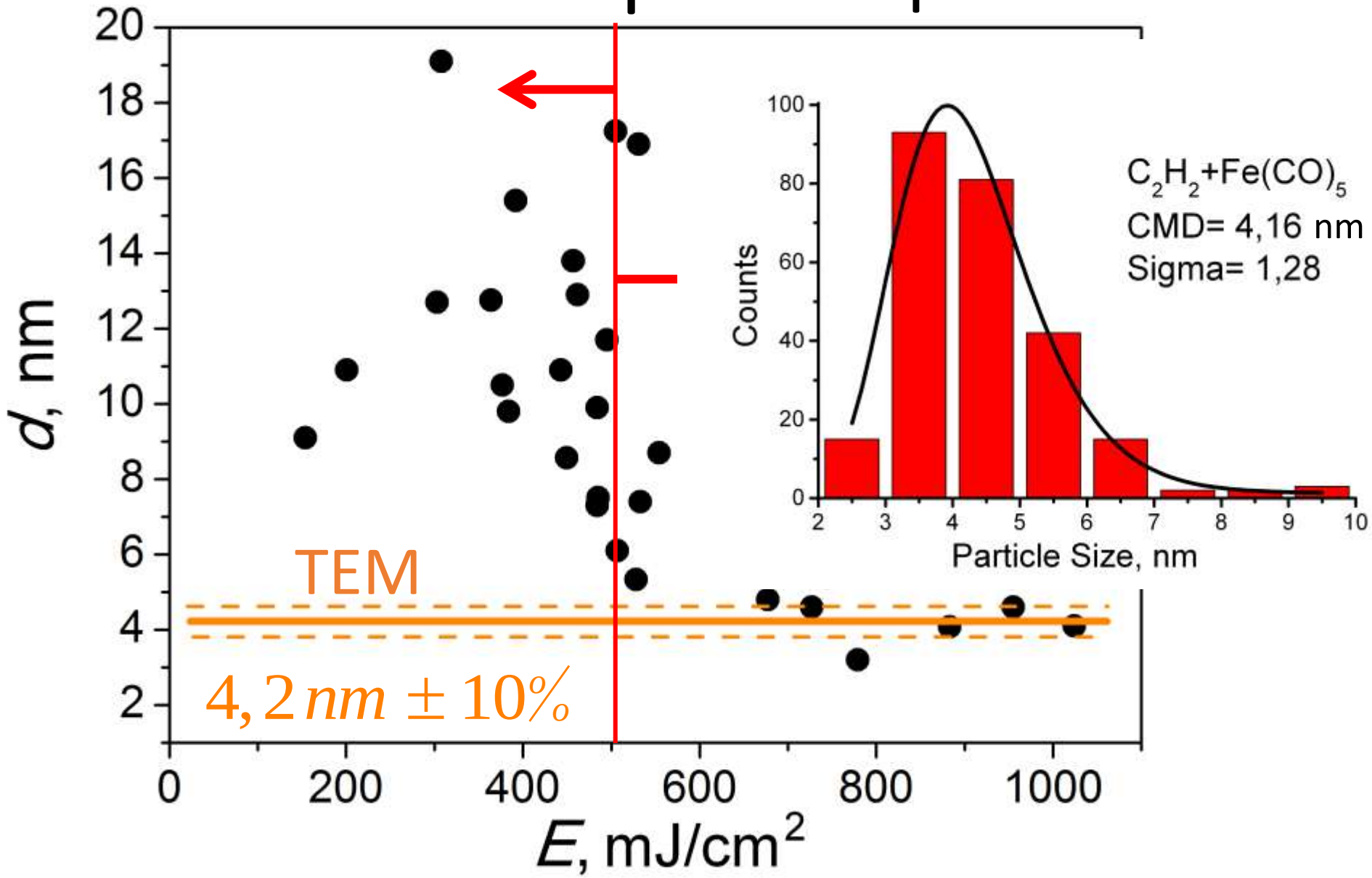
УФ импульс ИК импульс



$$T_p = \frac{hc}{k_B}\frac{\left(\frac{1}{\lambda_2}-\frac{1}{\lambda_1}\right)}{\ln\left[\frac{S_1}{S_2}\frac{S_{BB_2}}{S_{BB_1}}\frac{\varepsilon(\lambda_2)}{\varepsilon(\lambda_1)}\right]+\frac{hc}{k_B T_{BB}}\left(\frac{1}{\lambda_2}-\frac{1}{\lambda_1}\right)}$$

УФ импульс ИК импульс

Размер частиц



Выводы

- Исследован процесс УФ фотодиссоциации смесей $Fe(CO)_5$ с различными углеводородами (C_2H_2, C_6H_6, CH_4, C_4H_9OH, C_7H_8) при комнатной температуре
- Обнаружены железо-углеродные наночастицы в смесях с C_2H_2, C_6H_6
- Впервые применен метод ЛИИ для определения размеров бинарных железо-углеродных наночастиц
- В области энергий нагревающего частицы лазера >500 мДж/см^2 размеры полученные методом ЛИИ хорошо согласуются с данными электронной микроскопии
- При плотностях энергий <500 мДж/см^2 метод ЛИИ приводит к измерению размера агломератов наночастиц

Анализ образцов электронным микроскопом был проведен в центре коллективного пользования «Структурный анализ материалов» института кристаллографии РАН им. А.В.Шубникова

Данная работа проведена при поддержке РНФ (проект №14-50-00124)