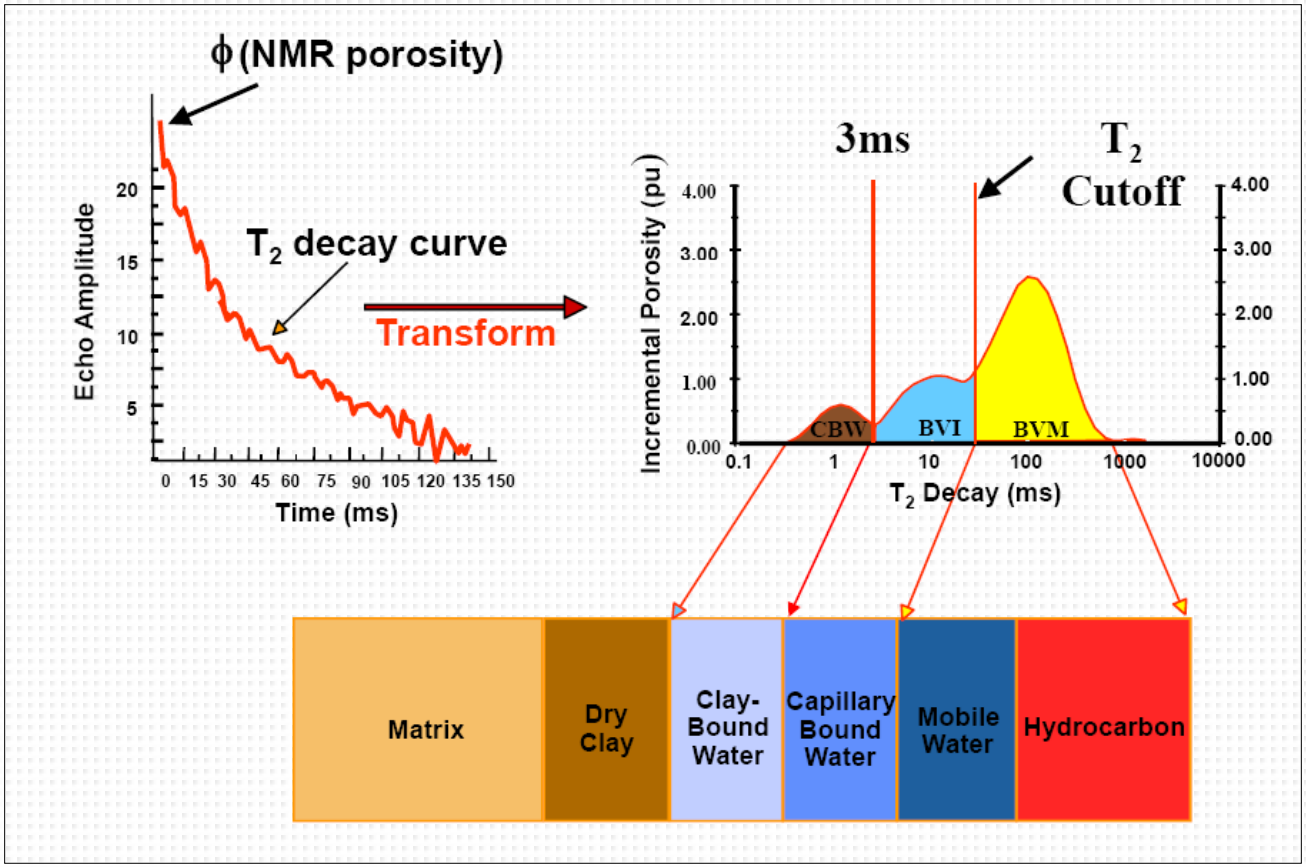
BalticPetroModel
2012

Влияние поверхностных парамагнитных центров на релаксационные характеристики флюида в поровом пространстве

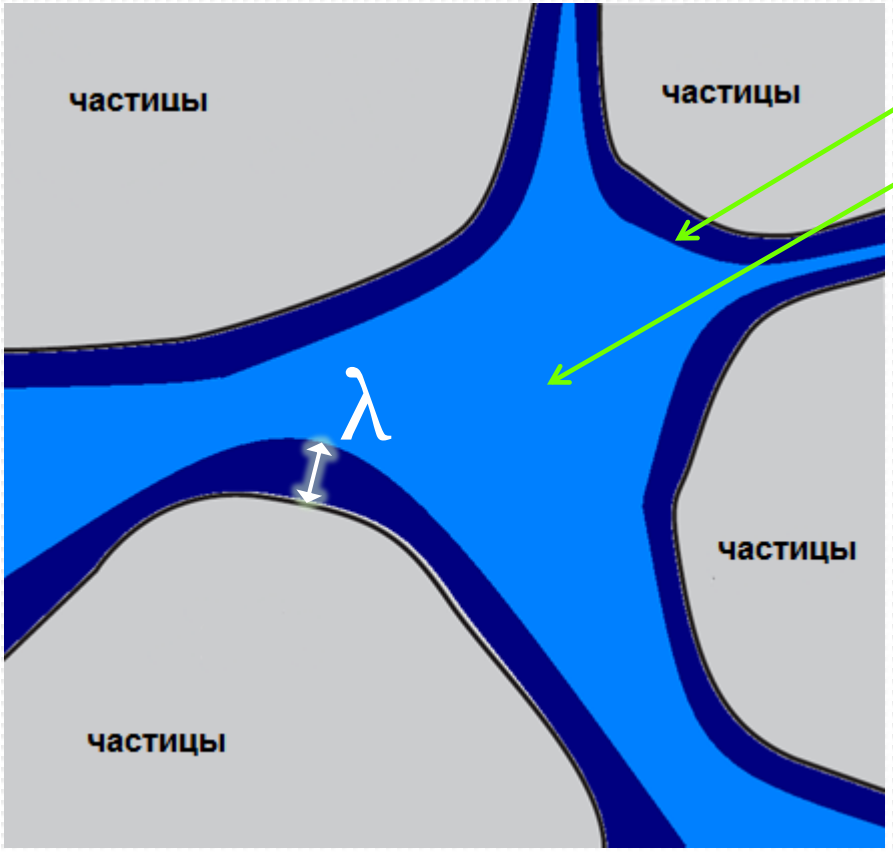
Перепухов А.М., Кишенков О.В., Максимычев А.В., Гуденко С.В.
МФТИ

NMR Logging



***Applications of 2D-NMR Maps and Geometric Pore Scale Modeling for Petrophysical Evaluation of a Gas Well**
Pedro A. Romero, Mikhail Gladkikh and Guillermo Azpiroz

Релаксация флюида в поре



Приповерхностный слой

Объемная жидкость

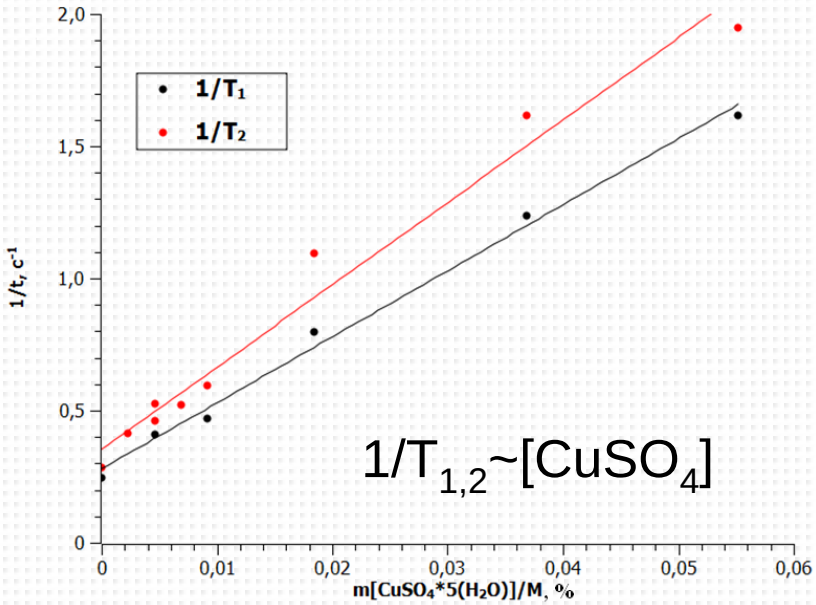
$$\frac{1}{T_{1,2}} = \rho_{1,2}\frac{S}{V}$$

Механизмы релаксации флюида в поре

- Объёмная релаксация
- Релаксация на поверхности поры (без парамагнитных примесей)
- Релаксация на парамагнитных примесях на поверхности поры

Влияние парамагнитных примесей

Зависимости скоростей ЯМР релаксации ядер ^1H воды в растворе медного купороса от концентрации $CuSO_4$



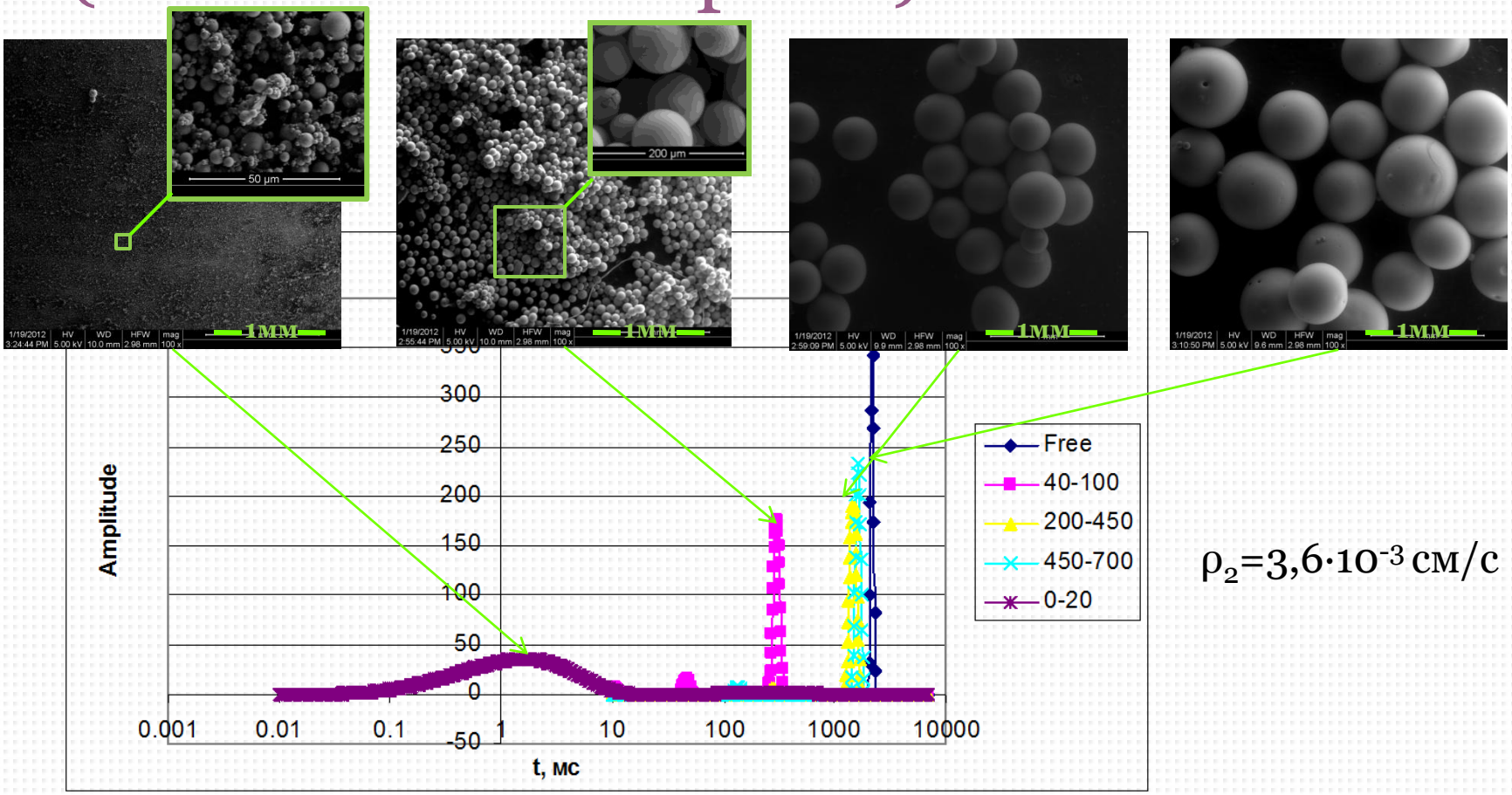
Коэффициенты релаксации

Песчаник	$\rho_1=3\cdot10^{-3}$ см/с *
Песчаник	$\rho_2=2{,}3\cdot10^{-3}$ см/с **
Доломит	$\rho_2=5{,}35\cdot10^{-4}$ см/с **
Известняк	$\rho_2=3{,}16\cdot10^{-4}$ см/с **
Стеклянные шарики	$\rho_2=3{,}6\cdot10^{-3}$ см/с
Пористое стекло Vycor	$\rho_1=4.6\cdot10^{-7}$ см/с *

* R.L. Kleinberg, W.E. Kenyon, P.P. Mitra, *Mechanism of NMR Relaxation of Fluids in Rock, Volume 108, Issue 2, June 1994, Pages 206–214*

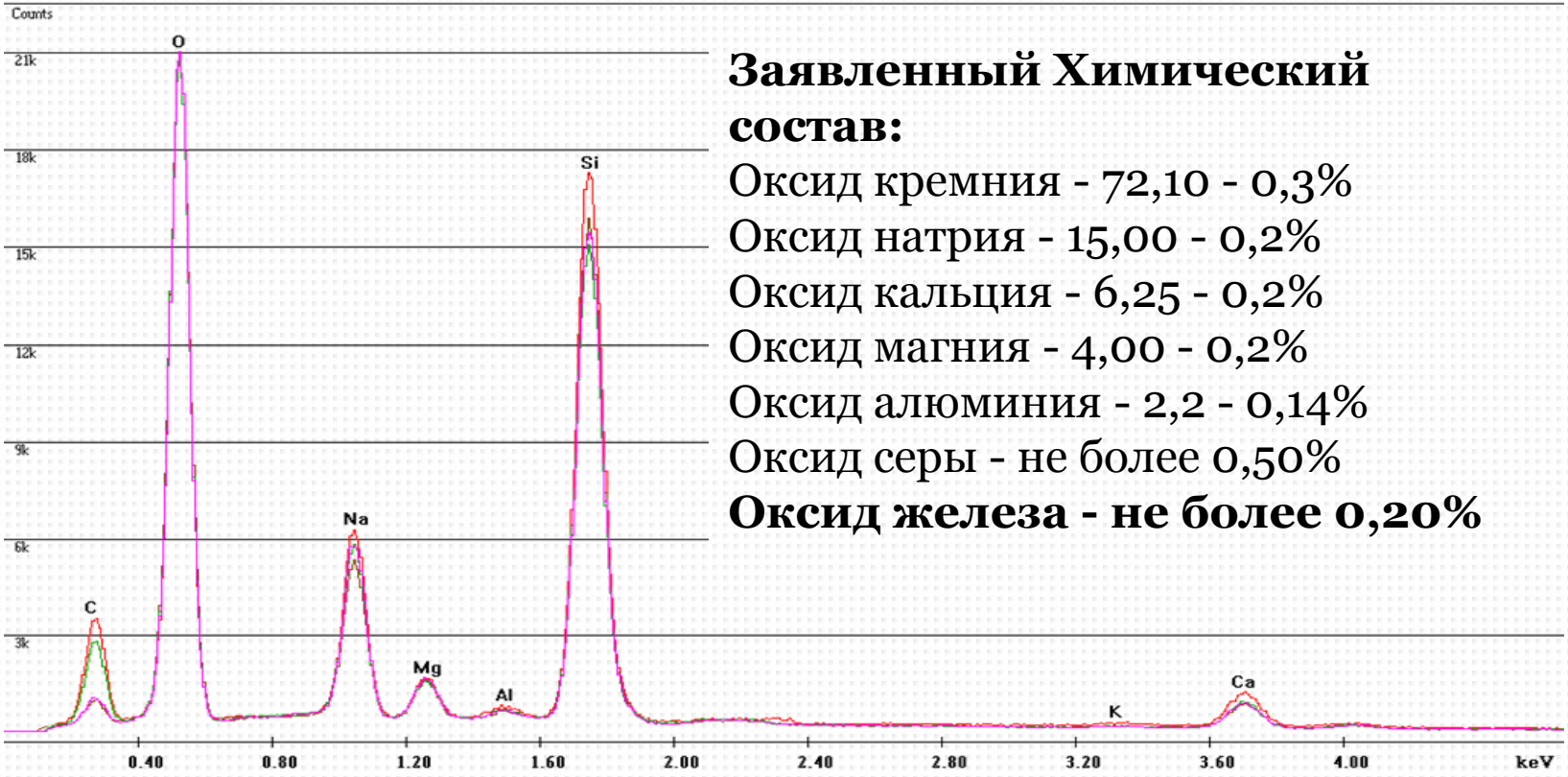
** George R. Coates, Lizhi Xiao, and Manfred G. Prammer, *NMR Logging Principles and Applications, Halliburton Energy Services, Houston, 1999, 48*

Модельные пористые среды (стеклянные шарики)



$\rho_2 = 3{,}6 \cdot 10^{-3}$ см/с

Элементный состав стеклянных шаров



Заявленный Химический состав:

Оксид кремния - 72,10 - 0,3%

Оксид натрия - 15,00 - 0,2%

Оксид кальция - 6,25 - 0,2%

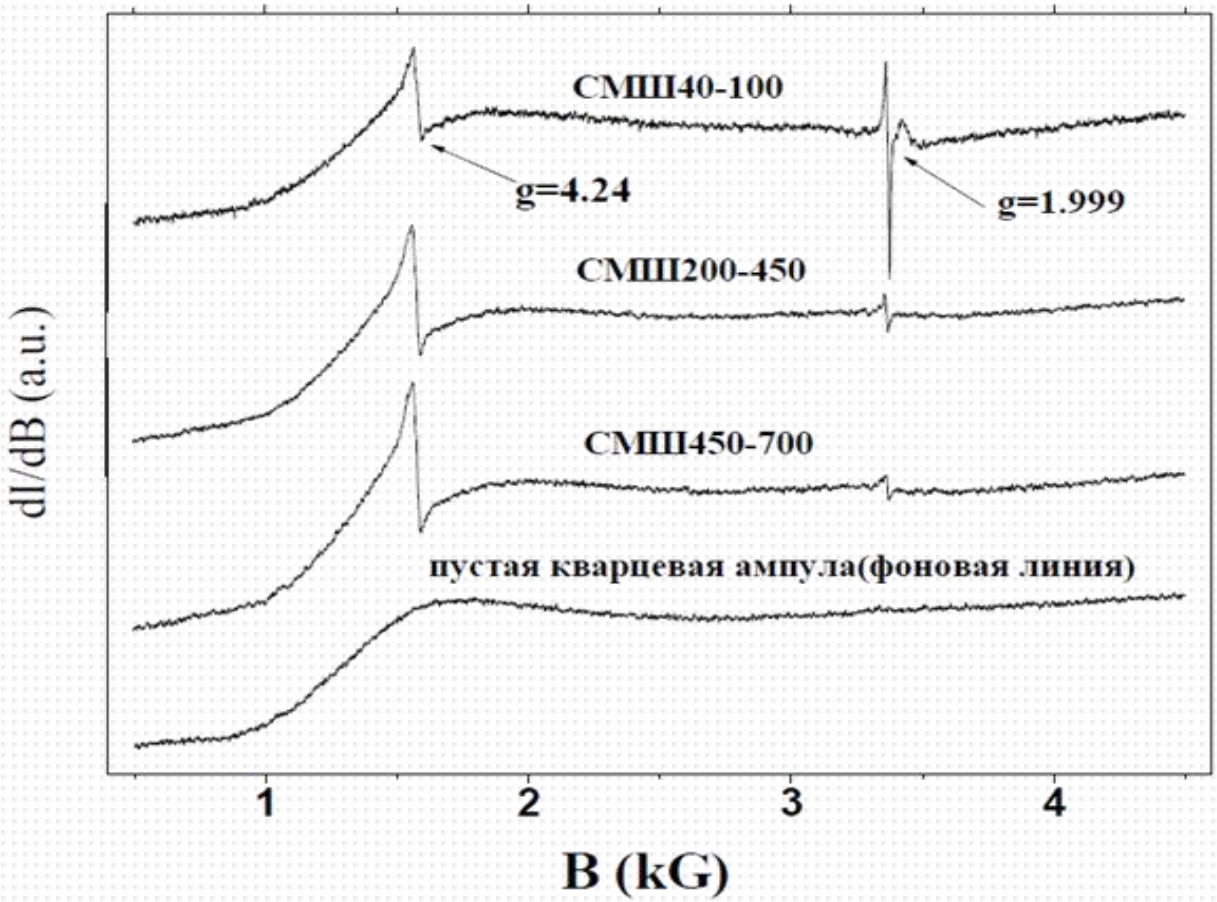
Оксид магния - 4,00 - 0,2%

Оксид алюминия - 2,2 - 0,14%

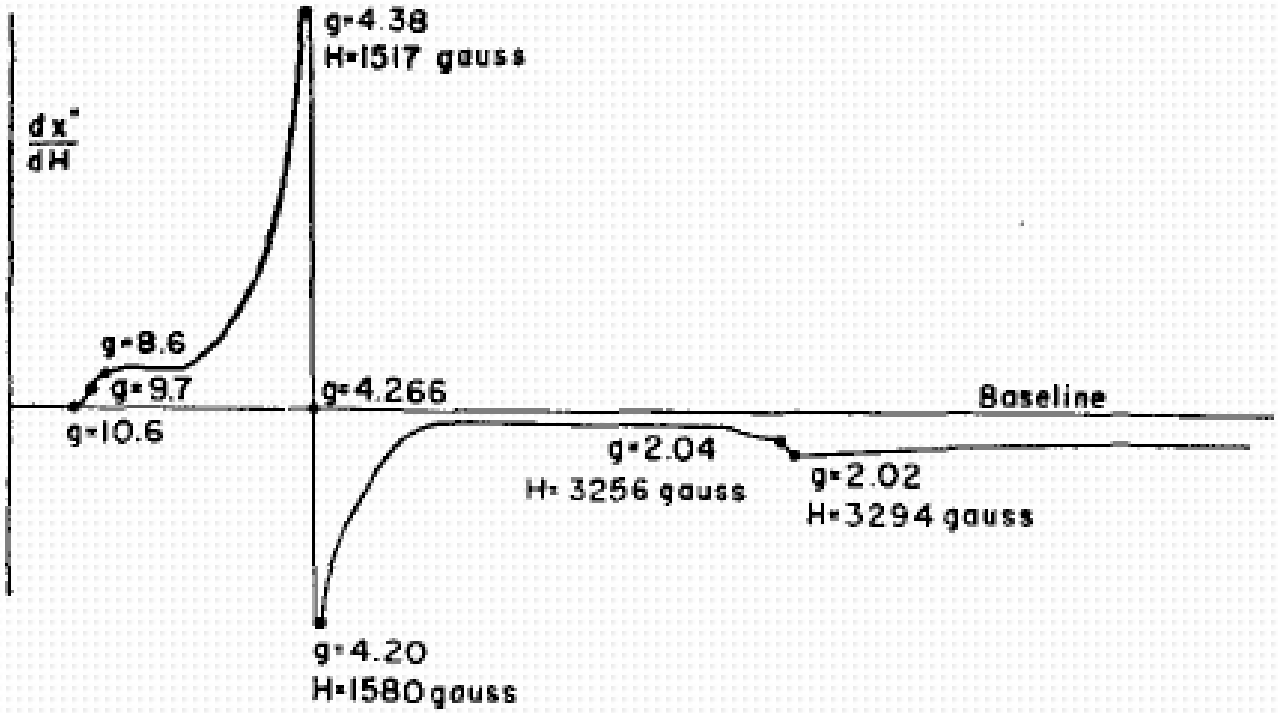
Оксид серы - не более 0,50%

Оксид железа - не более 0,20%

ЭПР спектры стеклянных шаров

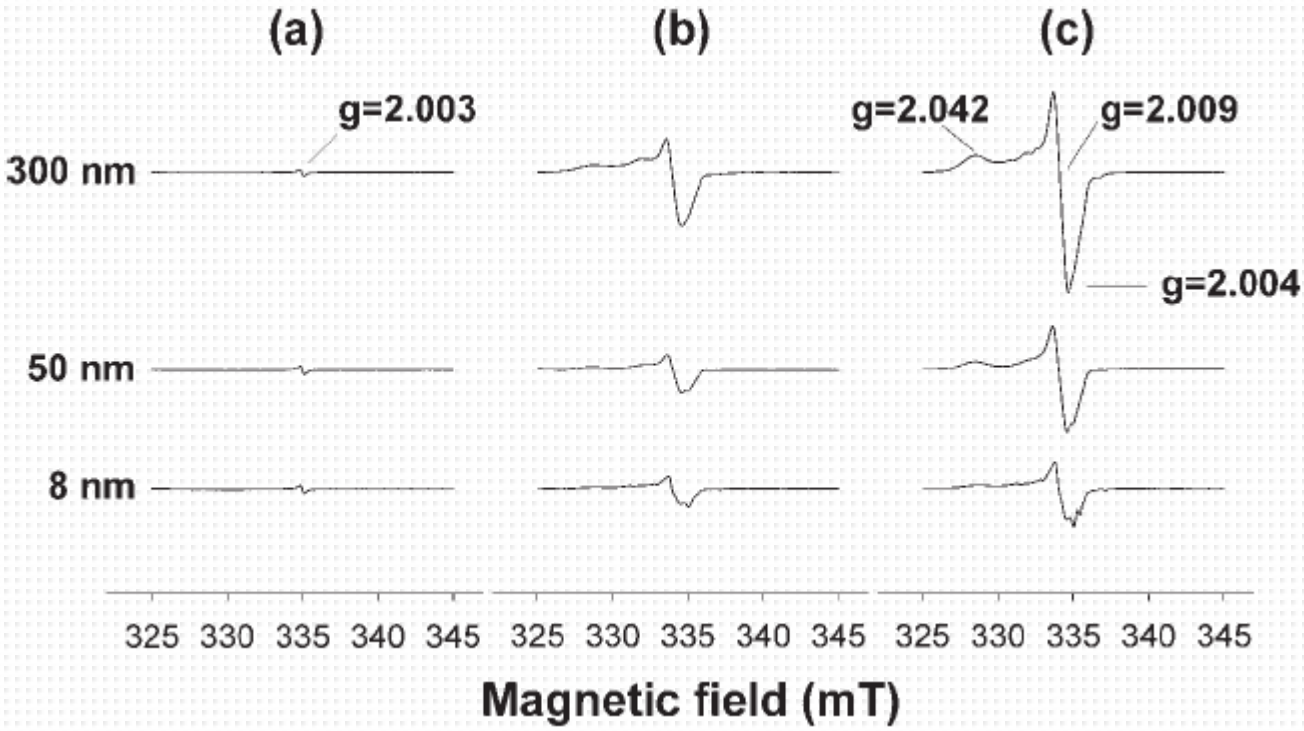


ЭПР спектр ионов Fe^{+++} в стекле



*** Note on the Paramagnetic Resonance of Iron in Glass. T. Castner, G. S. Newell, W. C. Holton, C. P. Slichter. J. Chem. Phys. 32, 668 (1960)**

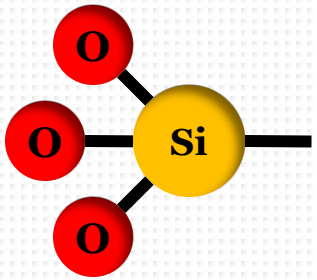
ЭПР спектры парамагнитных центров стекла



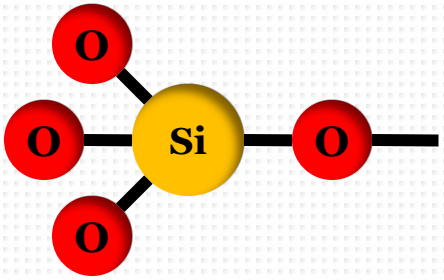
*** Irradiation of controlled pore glasses with 10 MEV Electrons. S. Le Caer, P. Rotureau, G. Vigneron, G. Blian. Rev. Adv. Mater. Sci 10, 161 (2005)**

Парамагнитные центры стекла

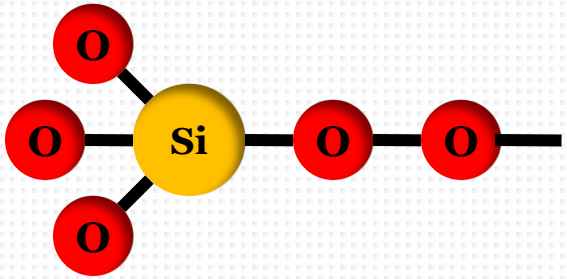
E’ – center



“wet” oxygen hole center

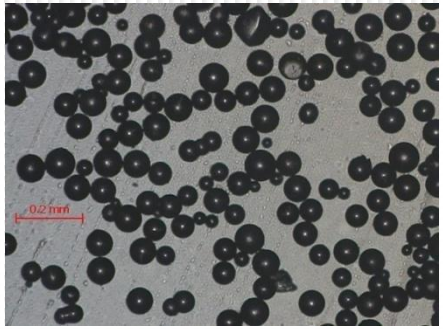


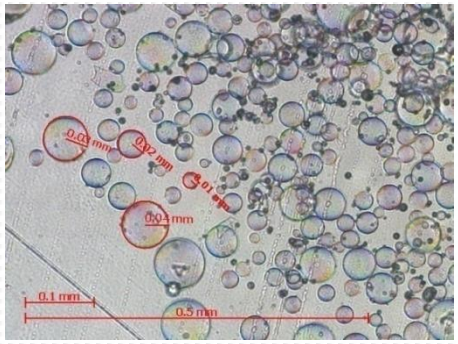
“dry” oxygen hole center

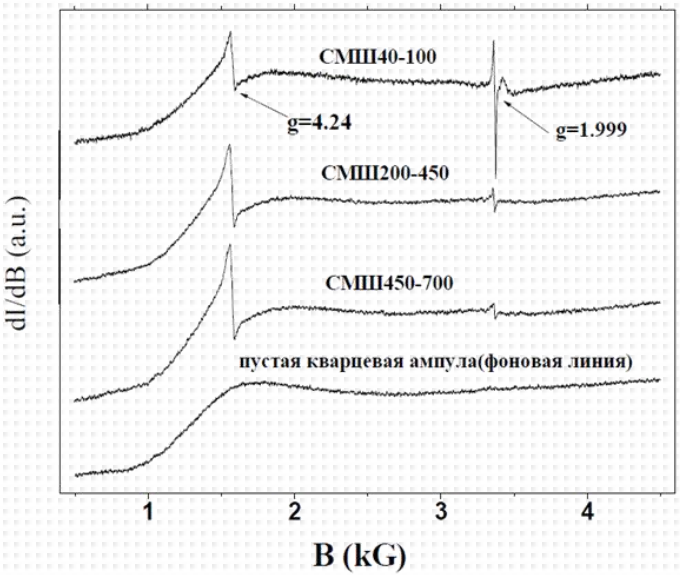


$$g \approx 2{,}00$$

ЭПР спектры стеклянных шаров и стеклянных сфер

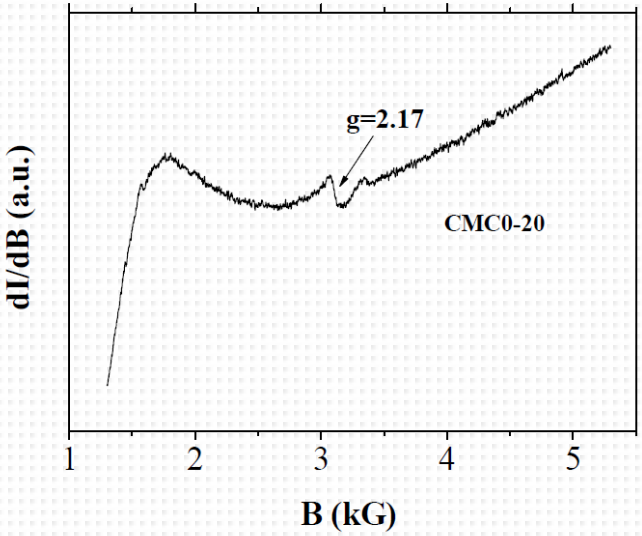




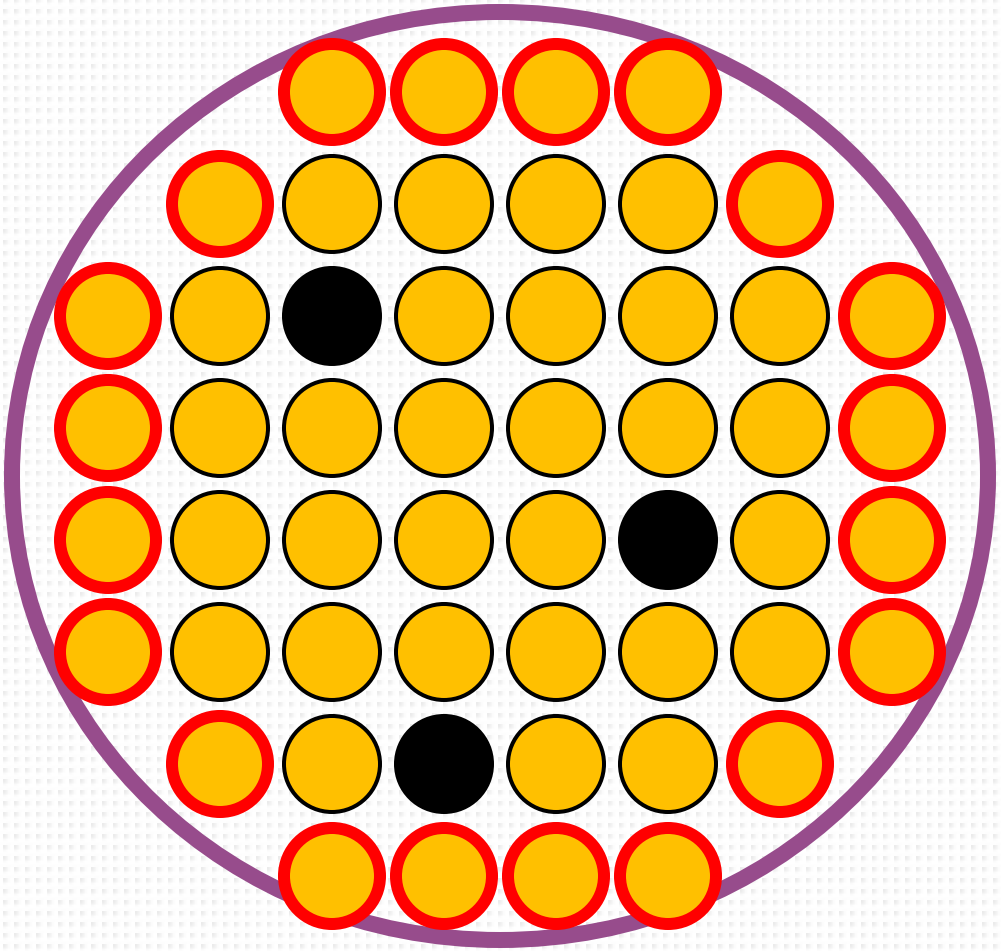


$\alpha_{Fe} \sim 10^{-4}$

$\alpha_{Si*} \sim 10^{-6}$-$10^{-7}$



Парамагнитные центры на поверхности стекла



SiO_2

Fe^{+++}

SiO_2^*