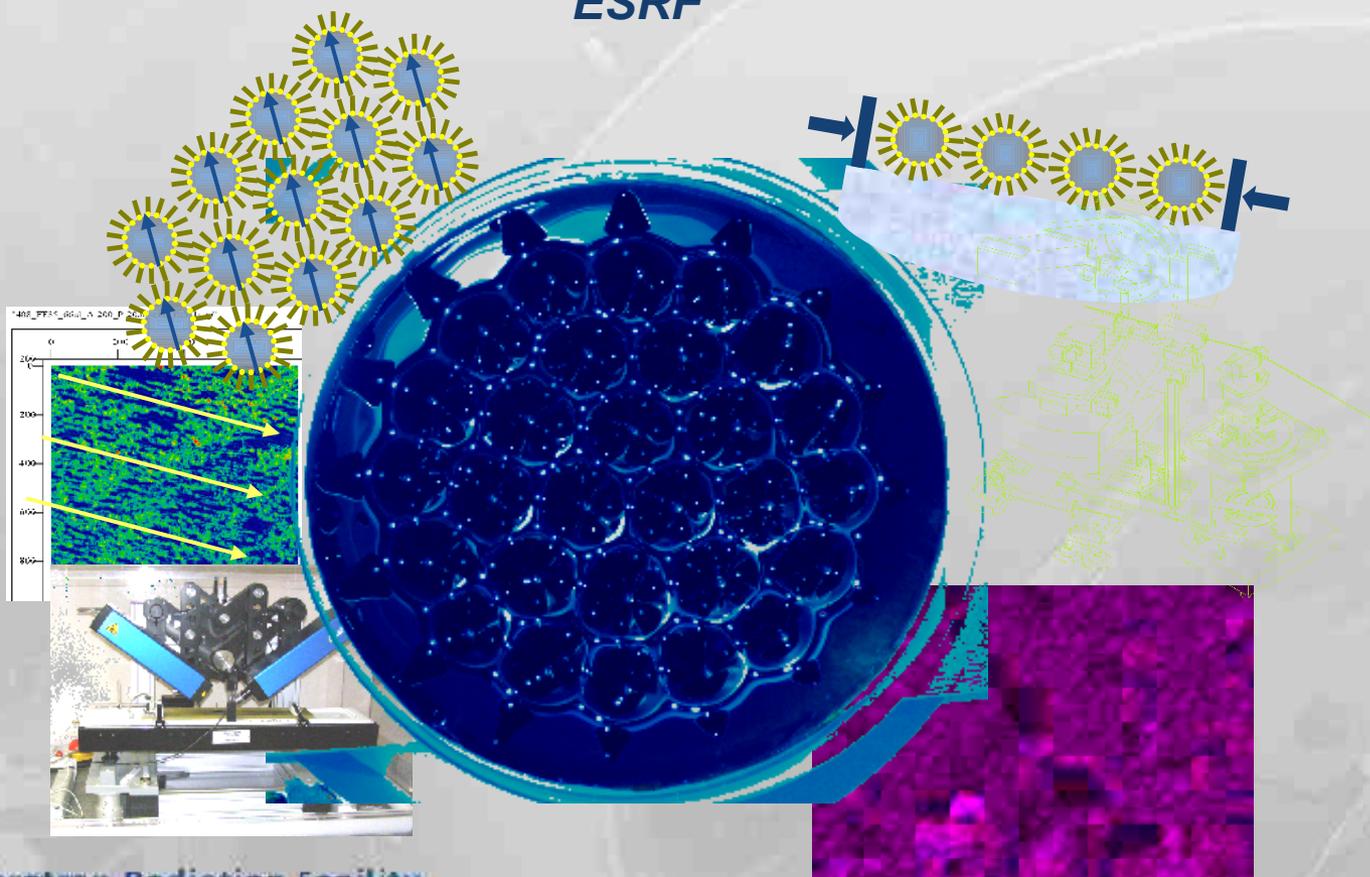


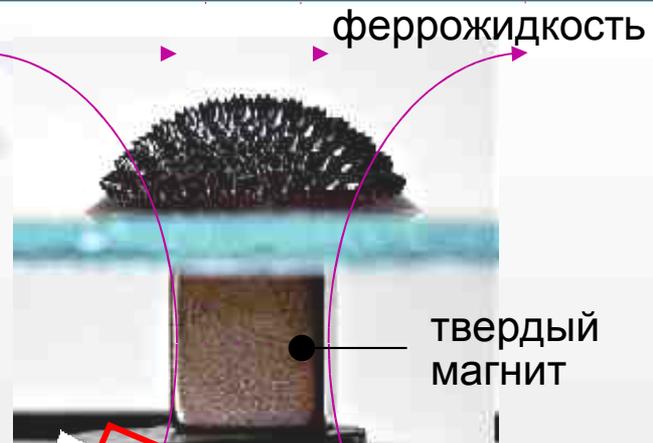
Использование феррожидкостей для производства наноструктурированных магнитных тонких пленок

Алексей Воробьев

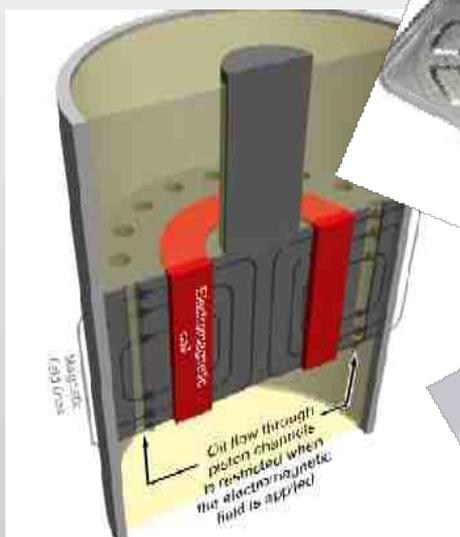
ESRF



ФЕРРОЖИДКОСТЬ (ФЖ) разработана в 1960-х годах по заказу NASA для изучения движения жидкого топлива в условиях невесомости.

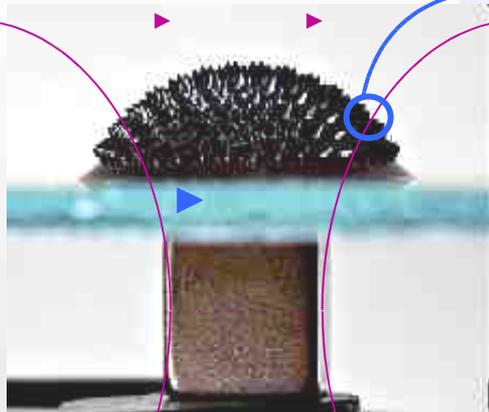


~ 3500 патентов



КАК УСТРОЕНА ФЕРРОЖИДКОСТЬ?

R.E. Rosensweig: Ferrohydrodynamics. University Press, Cambridge (1985)
 E. Blums, A. Cebers, M. M. Maiorov: Magnetic Fluids. de Gruyter, Berlin (1997)

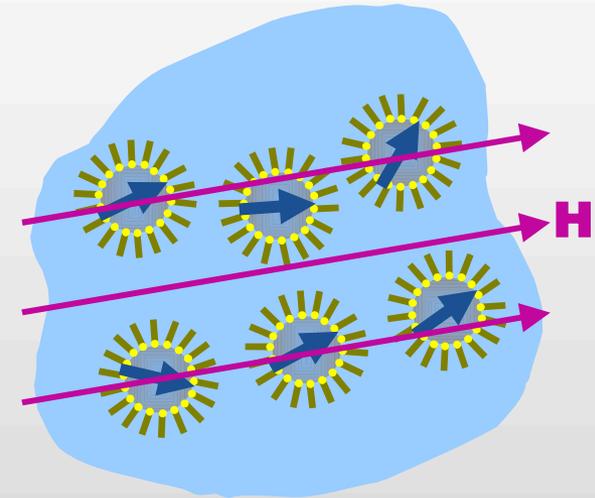


van der Waals
attraction

thermal
motion

steric
repulsion

dipole-dipole
interaction



magnetic
interaction

средний размер частиц порядка 10 нм
(обеспечивает стабильность коллоида)

каждая частица содержит
единственный домен
 $\mu = VM_s = 10^3 \div 10^4 \mu B$
(суперпарамагнетизм)

НОВЫЕ НАЗВАНИЯ:
MAGNETIC NANO-FLUIDS
NANO-MAGNETIC FLUIDS

ЧТО:

создать 2-мерную упорядоченную решетку состоящую из монодоменов, пространственно разделенных немагнитной матрицей. Период решетки 10-20 нм.

КАК:

с минимумом технологических усилий

- ▶ посредством самоорганизации
- ▶ с помощью внешних магнитных полей



Изначально рассматривалось 3 варианта реализации

1) В объеме ФЖ?

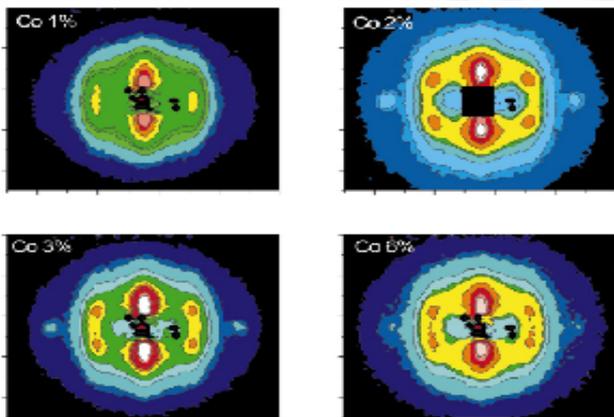
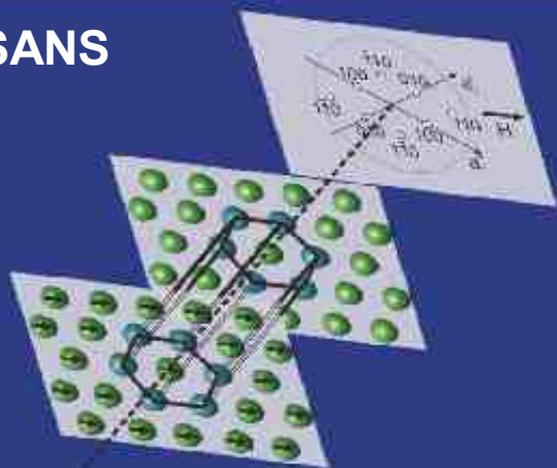


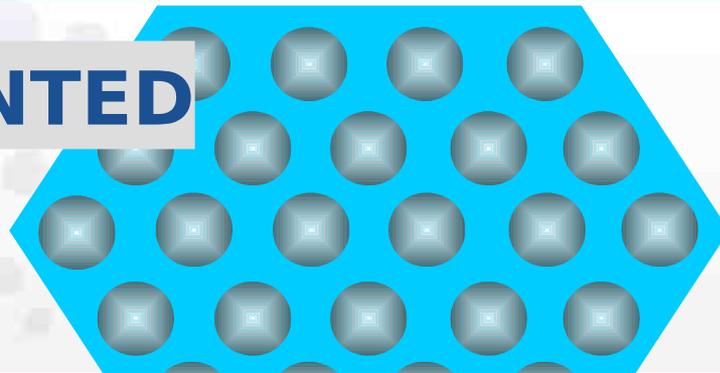
FIG. 1 (Color) 2D isotensity SANS pattern of Co TF samples DS1, DS2, DS3, and DS6 for nonpolarized neutrons measured in a horizontal magnetic field of $H=1.1$ T, applied perpendicular to the

SANS

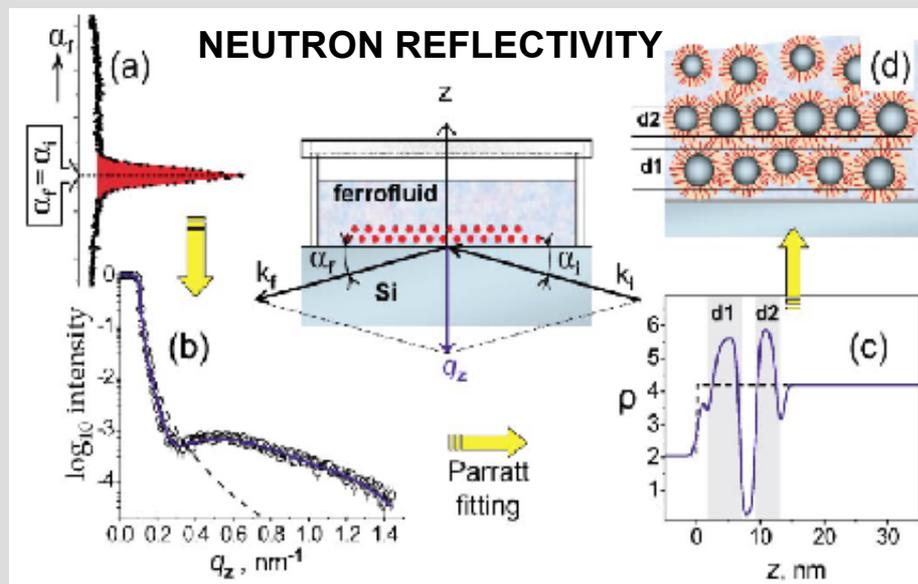


A. Wiedenmann *et al*, PRE 68, 031203 (2003)

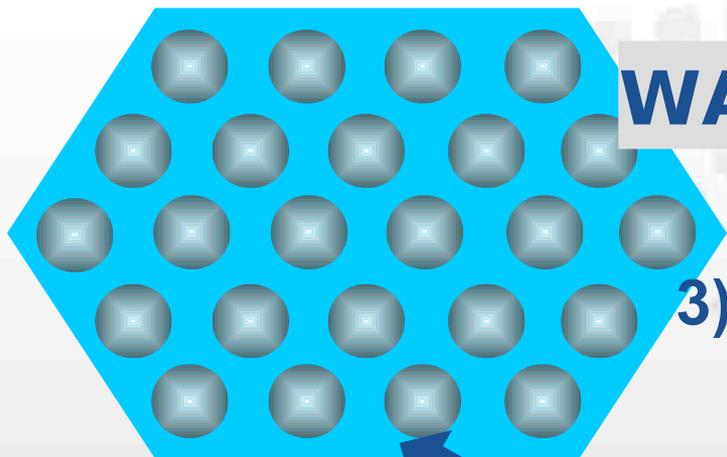
WANTED



2) На границе с твердой подложкой?



A. Vorobiev *et al*, PRL 93, 267203 (2004)



WANTED

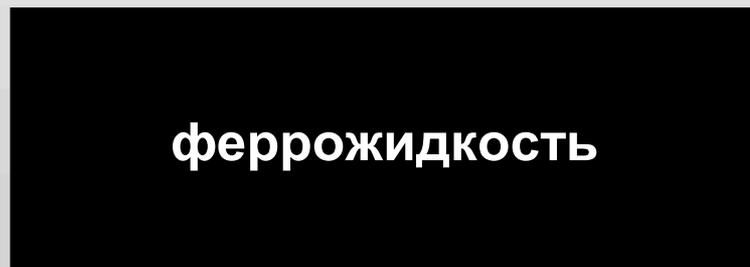
3) На свободной жидкой поверхности

?



подложка

газ (воздух)

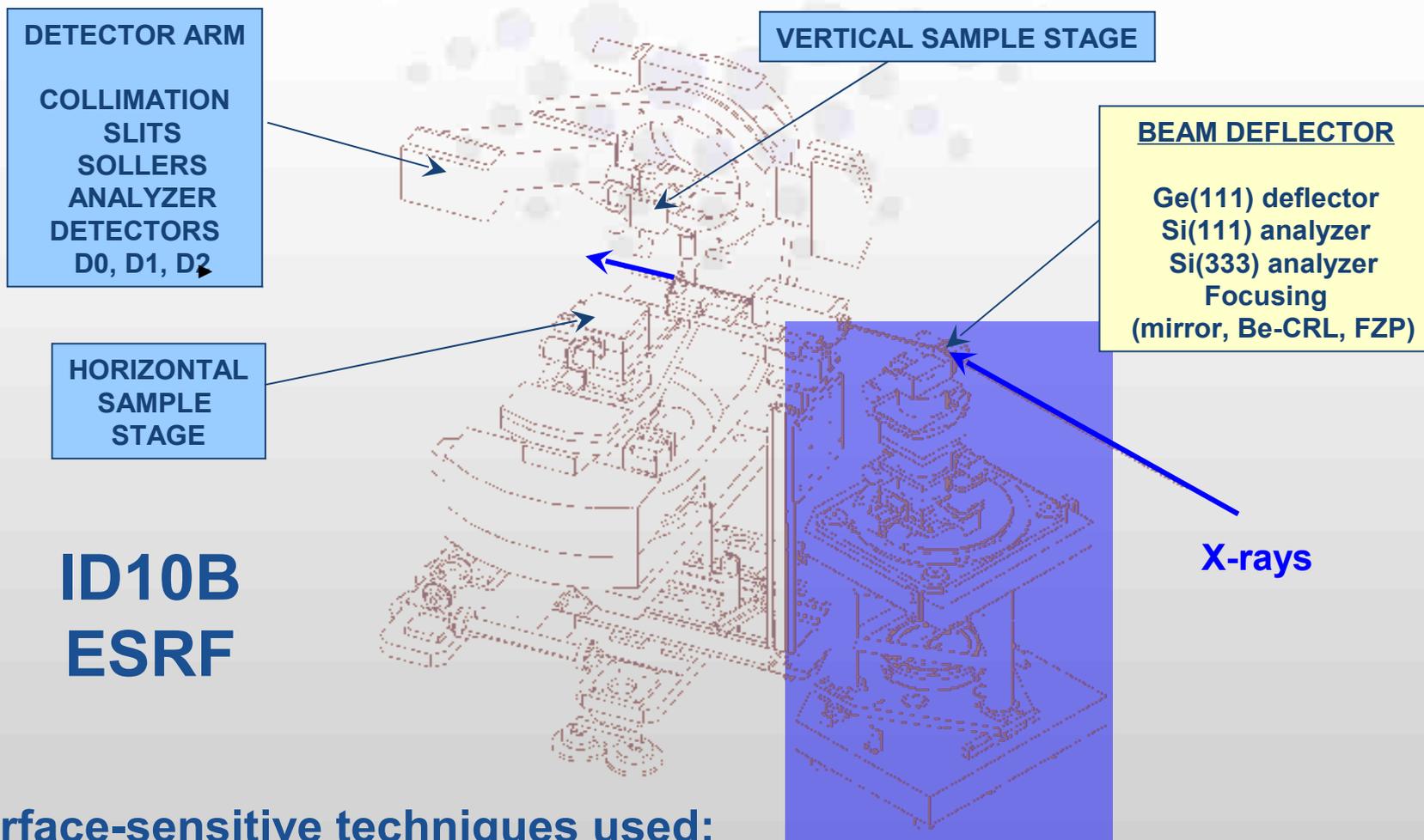


феррожидкость

Langmuir-Schaefer deposition



ID10B DIFFRACTOMETER FOR GRAZING INCIDENCE X-RAY SCATTERING ON LIQUID SURFACES

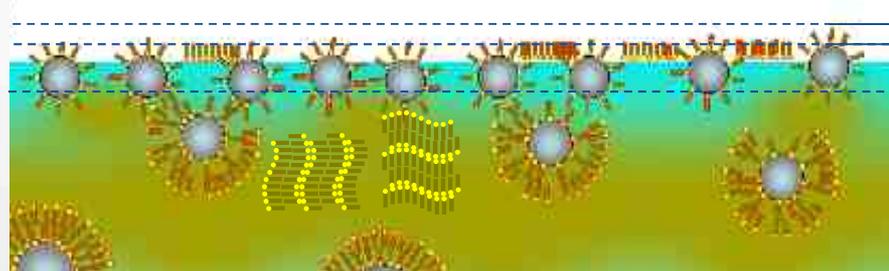


ID10B
ESRF

surface-sensitive techniques used:

- reflectivity (in-depth structure)
- GID, GISAXS (in-plane and 3d structure)

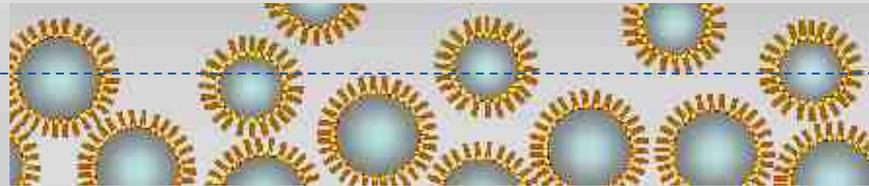
**ВОДНАЯ
ФЕРРОЖИДКОСТЬ**



L_1 20-25 Å
 L_2 30-60 Å
 L_3 100-250 Å

**Необходимо найти другой
метод получения желаемой
структуры**

**МАСЛЯНАЯ
ФЕРРОЖИДКОСТЬ**



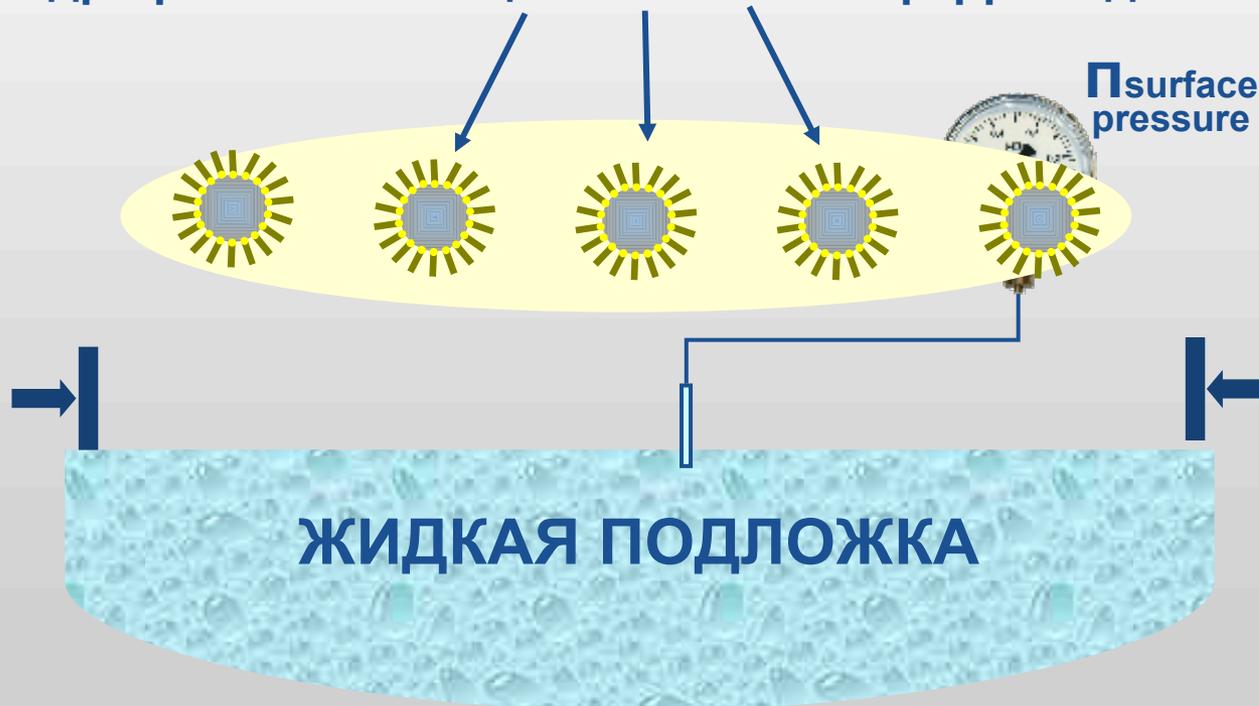
lk
 L_1 30-50 Å
 L_2 ~100 Å
 L_3 300-400 Å
 bulk

A. Vorobiev *et al.*, PRE 79, 031403 (2009)

НЕ ВЫДЕЛЯТЬ ДВУМЕРНУЮ СТРУКТУРУ ИЗ ТРЕХМЕРНОЙ, А НЕПОСРЕДСТВЕННО СОБРАТЬ ЕЕ

ЛАНГМЮРОВСКАЯ ТЕХНИКА

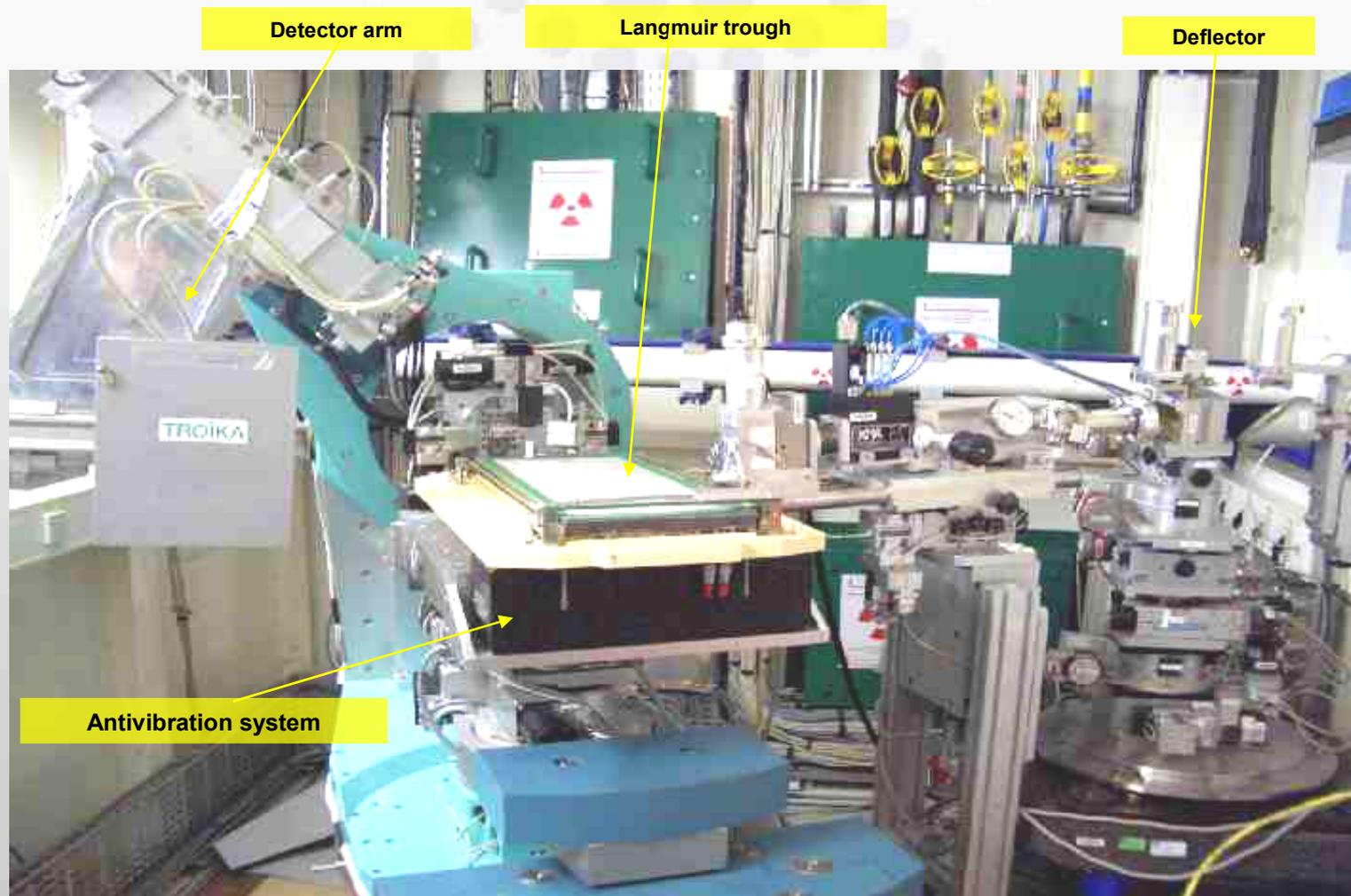
гидрофобные частицы из масляной феррожидкости

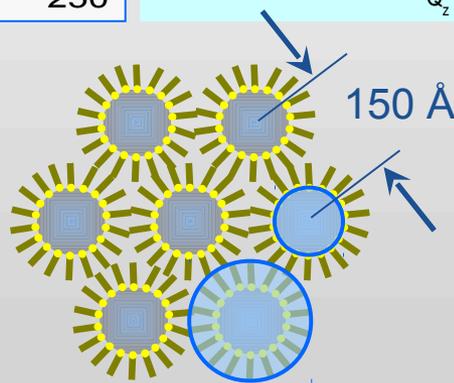
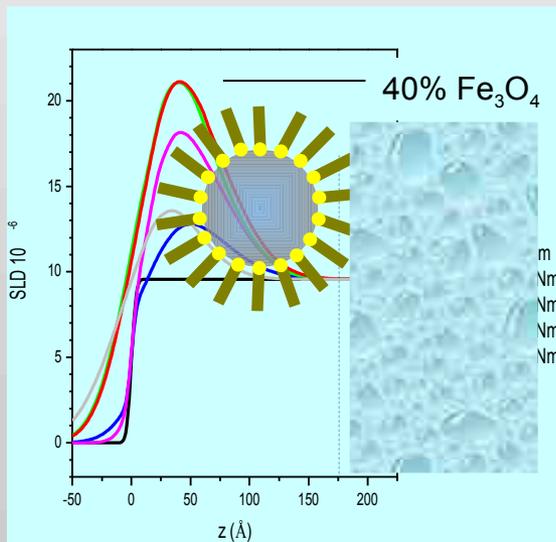
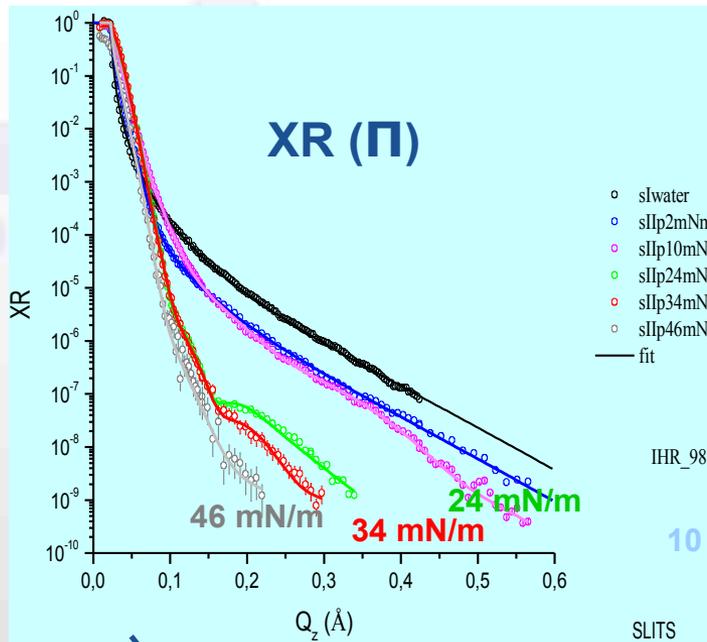
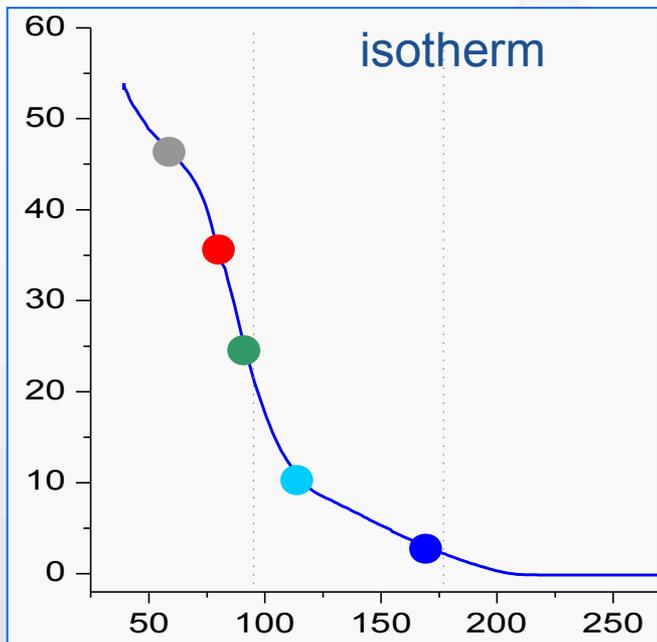


Brewster Angle Microscope

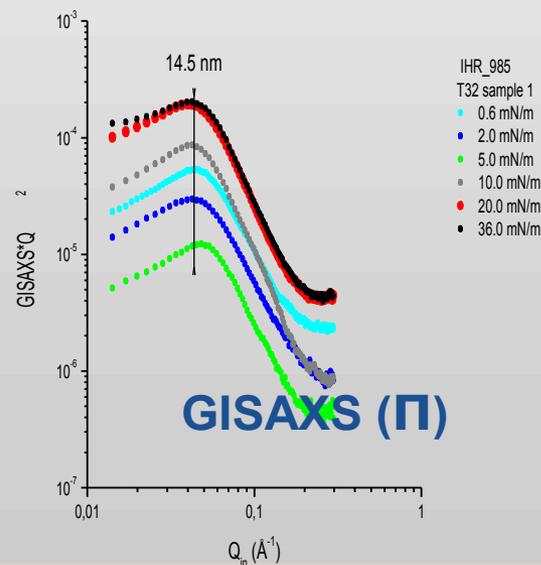


General view of ID10B experimental hutch with setup for reflectivity and grazing incidence diffraction on liquid surface. Full length of the ID10B experimental hutch along the X-ray beam is ~ 2.5 m (0.9 m from the sample position to the led wall).

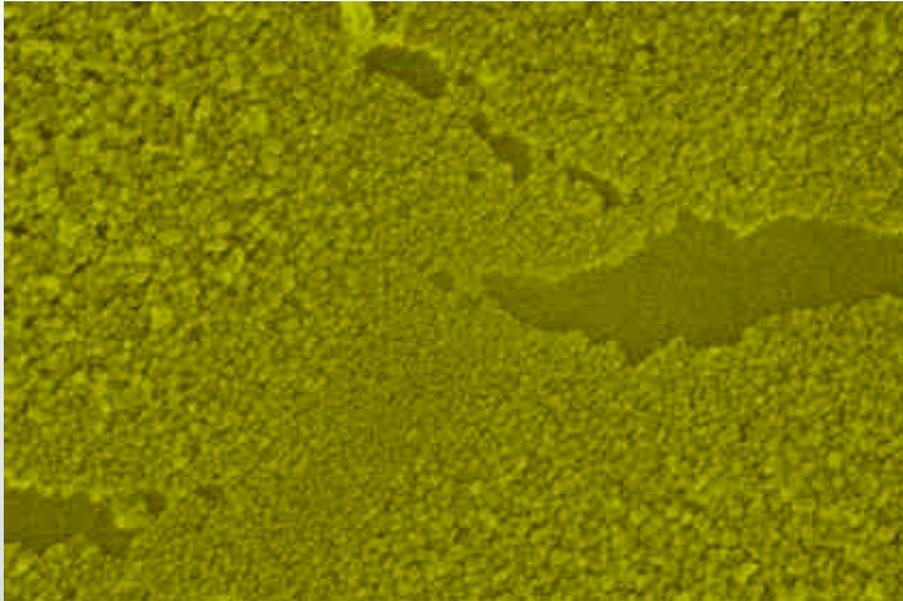




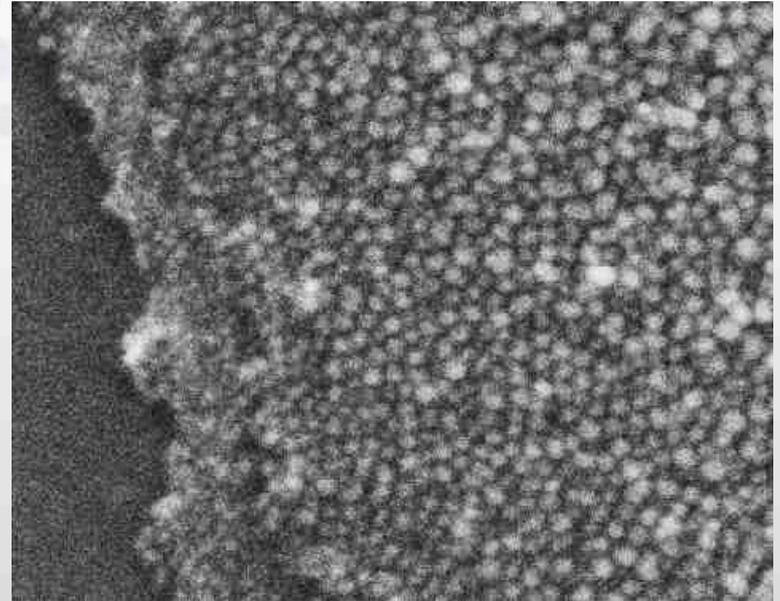
46% Fe₃O₄
if no deformation
of the shells



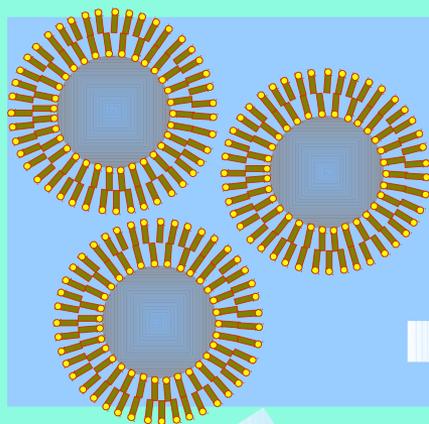
Данные СЭМ после переноса пленки на Si подложку



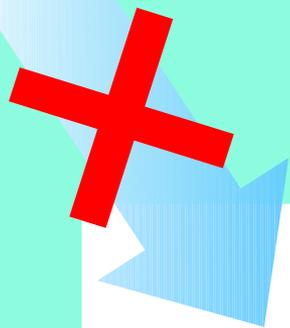
**разделение частиц по
размеру в монослое
(при 10 мН/м)**



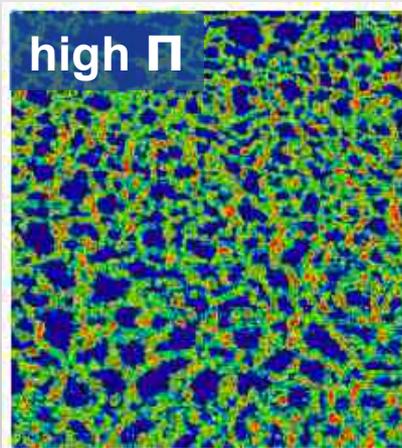
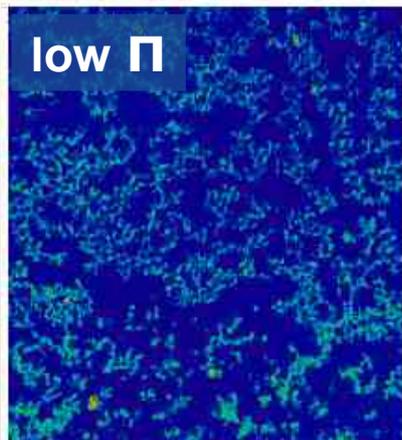
**бислой
(при 40 мН/м)**



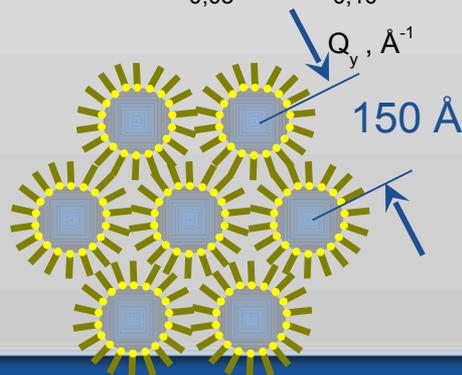
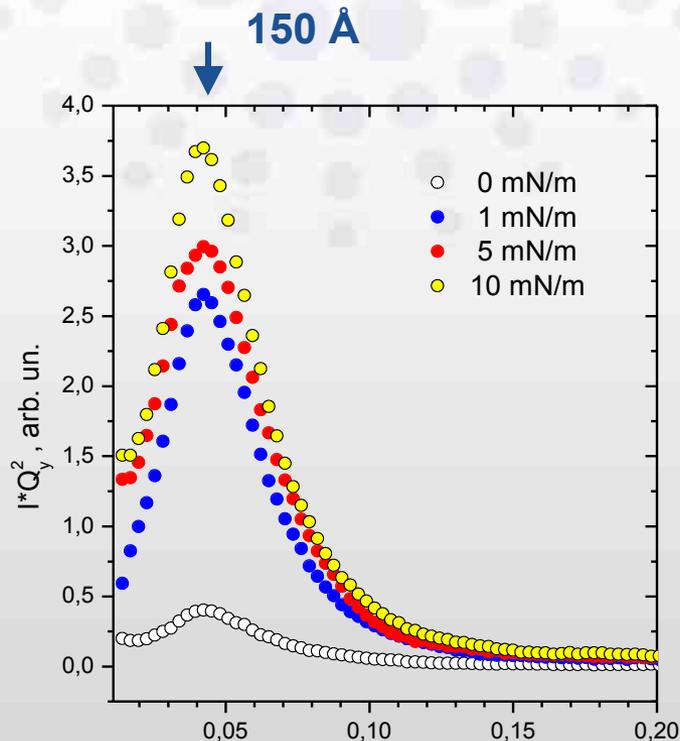
ВОДНАЯ ФЖ
~ 5 % vol.



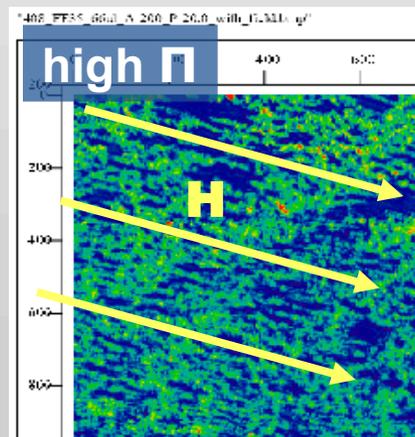
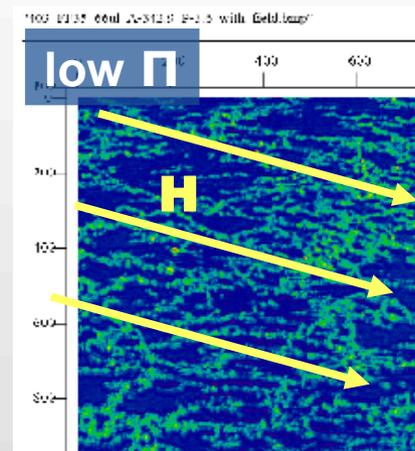
BAM images



GISAXS (Π)

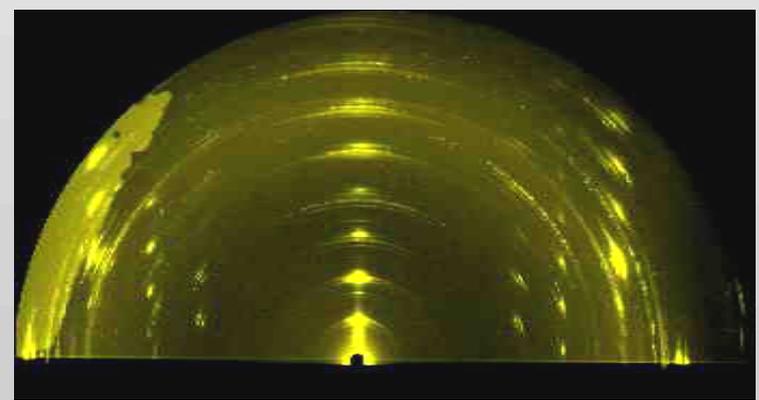
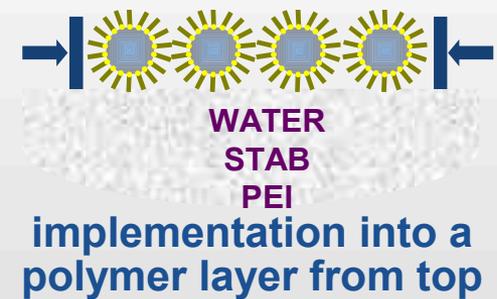
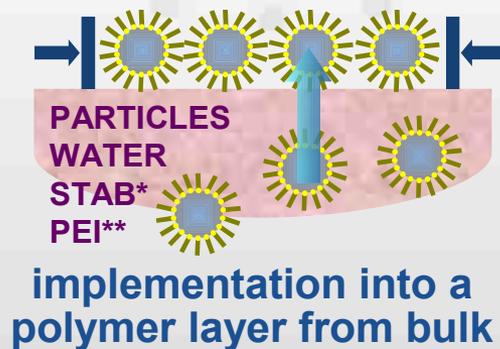


magnetic field effect

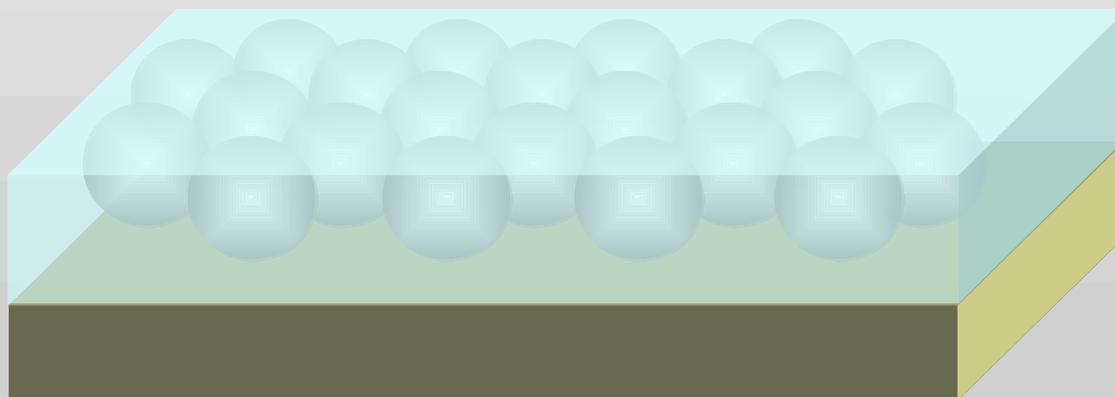
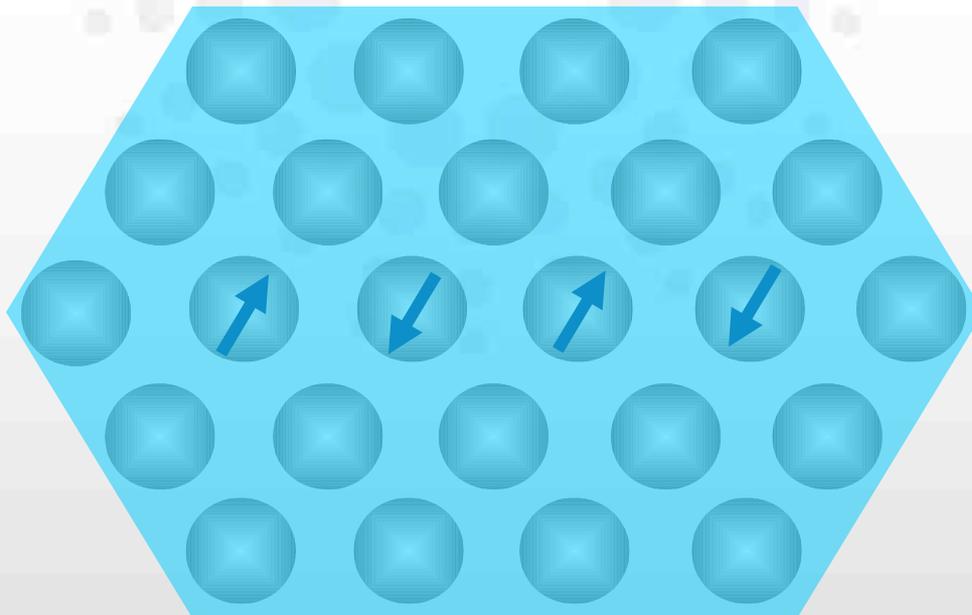


- ❖ создание двумерных наноструктурированных магнитных слоев возможно посредством Лангмюровской техники, примененной к обычным феррожидкостям со стейическим способом стабилизации
- ❖ различные виды структурирования могут быть получены в зависимости от свойств феррожидкости, а также от внешних магнитных полей

- *солидификация псевдо-жидких слоев частиц*
- *перенос на твердую подложку*
- *магнитные свойства таких систем*



*STAB – Hexadecyltrimethylammonium bromide
**PEI – Poly(ethyleneimine) water solution (50 %)



слой жесткого или мягкого магнетика

ID10B

О. Коновалов

A. Singh

J. Novak

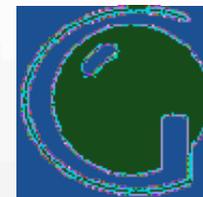
K. Lhost

P. Feder



M. Mattenet

И. Снигирева



PNPI

Г. Гордеев

Д. Орлова



K. Edler

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!