

Различные приложения метода спин-эхо малоуглового рассеяния нейтронов для исследований конденсированных сред.

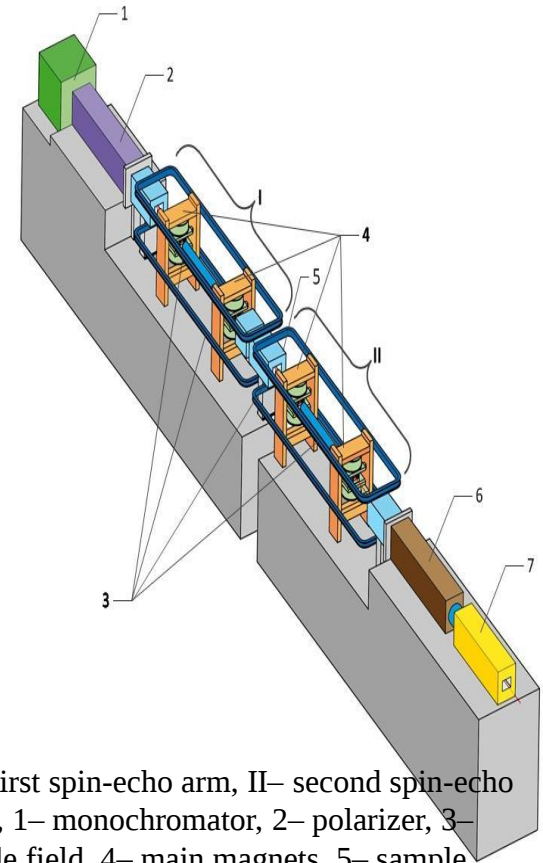
Е.В. Величко, С.В. Григорьев

ФГБУ «ПИЯФ» НИЦ КИ,

СПбГУ

Мотивация

ISSN 1027-4510, Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2014, Vol. 8, No. 5, pp. 1035–1043. © Pleiades Publishing, Ltd., 2014.



I – first spin-echo arm, II– second spin-echo arm, 1– monochromator, 2– polarizer, 3– guide field, 4– main magnets, 5– sample position, 6–analyzer, 7– detector.



Present Status and Prospects for Spin-Echo Small-Angle Neutron Scattering (SESANS) at PIK Neutron Source¹

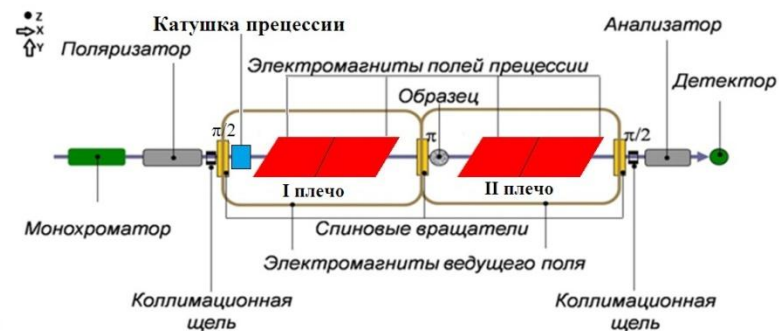
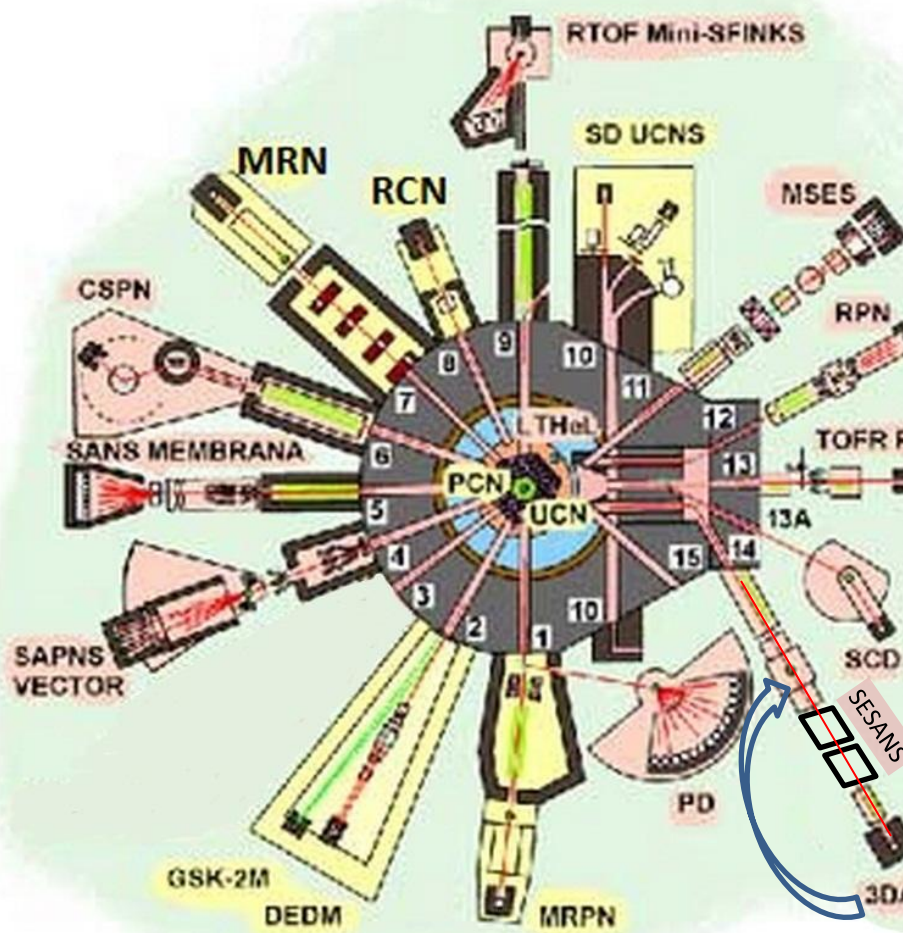
W. H. Kraan^a, L. A. Akselrod^b, Yu. O. Chetverikov^b, S. V. Grigoriev^{b, c}, E. V. Moskwin^b, V. V. Piyadov^b, Kyaw Thu Set^c, A. A. Sumbatyan^b, E. V. Velichko^{b, c}, and V. N. Zabenkin^b

	SESANS Delft	SESANS PIK (project)
Neutron source	Reactor TU Delft, 2MW	Reactor PIK, 100 MW
Monochromator	Pyrolytic graphite (PG)	Double crystal PG
λ (nm)	0.209	0.5
B (T)	0... 0.23	0...0.23
L_B (m)	1.33	1.33
Θ_0 (deg.)	5.5	5.5
Range δ (nm)	30–20 000	2-80 000
Scanning δ by	B	B, L
Beam size and length of the setup Z, Y, X (mm)	10 25 ~ 6 500	10 30 ~ 6 500
Detector	He3-tube D=2.5 cm	He3-tube D=2.5 cm

31.10.2014

СЭМУРН: приложения

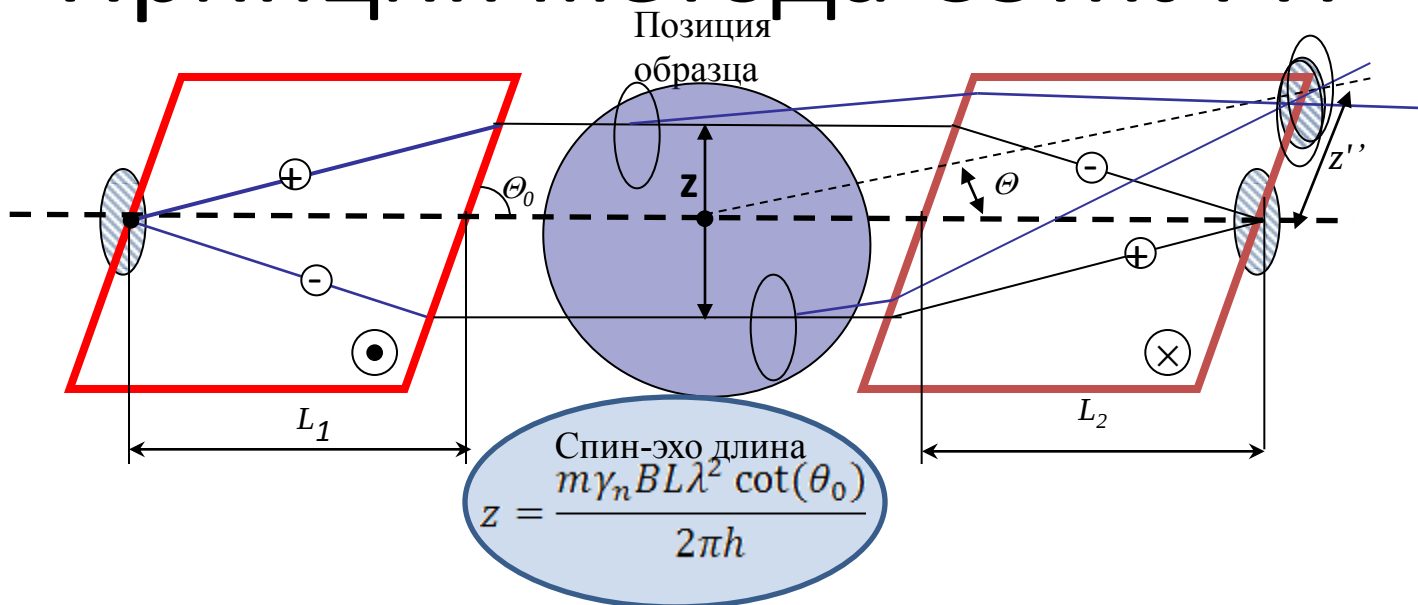
Макет установки СЭМУРН на 14-м пучке реактора ВВР-М



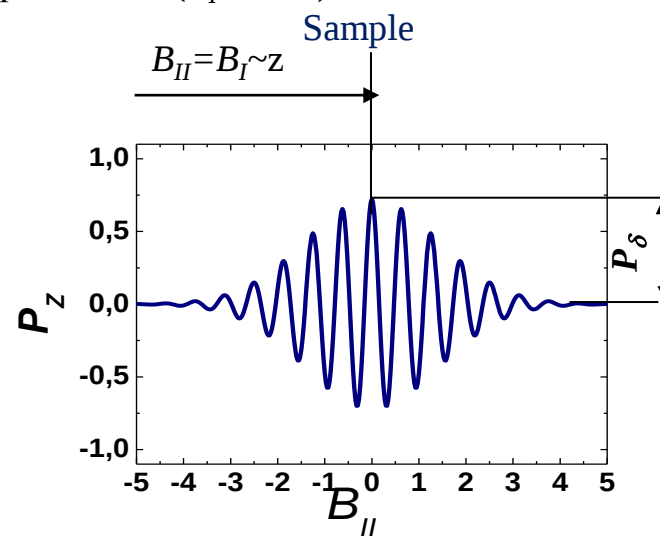
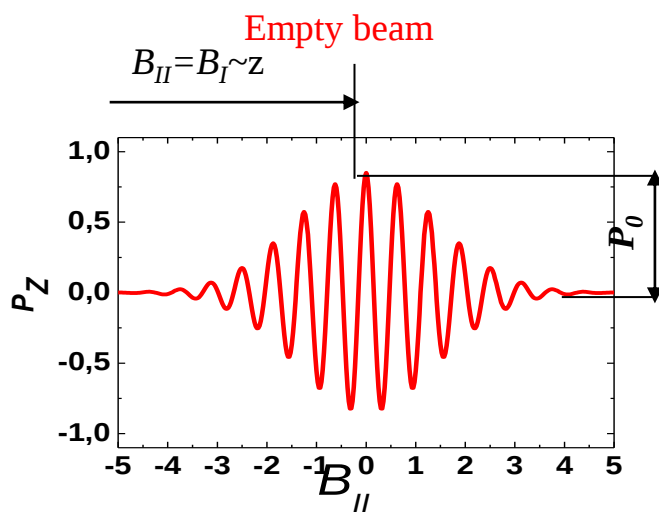
Характеристики макета/установки

	SESANS PNPI	SESANS PNPI upgrade
Monochromator	Ge single crystal	Ge single crystal
λ (nm)	0,23	0,23
B (T)	0... 0,15	0... 0,15
L_B (m)	0,6	1,5
Θ_0 (deg.)	45	5,5
Range δ (nm)	30–500	30-10 000
Scanning δ by	B	B
Beam size and length of the setup Z, Y, X (mm)	5 5 3 500	10 10 ~ 6 500
Detector	He3-tube D=2,5 см	He3-tube D=2,5 см

Принцип метода СЭМУРН

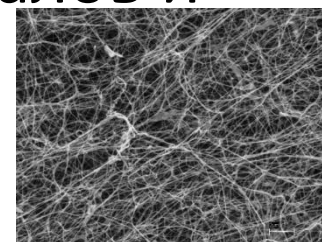
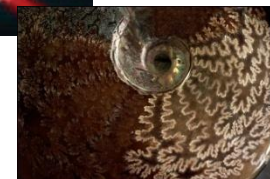
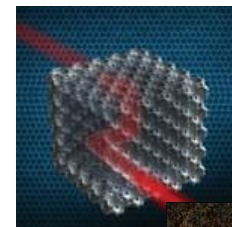


Сканирование по полю B_{II} при $z=\text{const}$ ($B_I=\text{const}$):



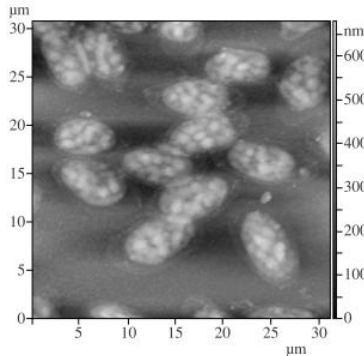
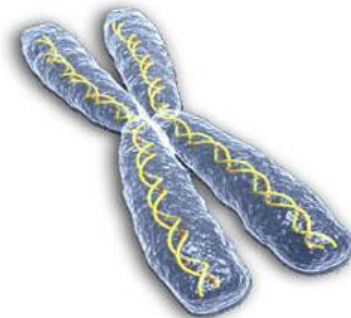
Применение метода SESANS

- Исследование фотонных кристаллов
- ... образцов фрактальной природы
- ... керамических функциональных материалов
- ... полимерных функциональных материалов и
КОМПОЗИТОВ на их основе
- ... биологических объектов (ядра клеток высших
животных)

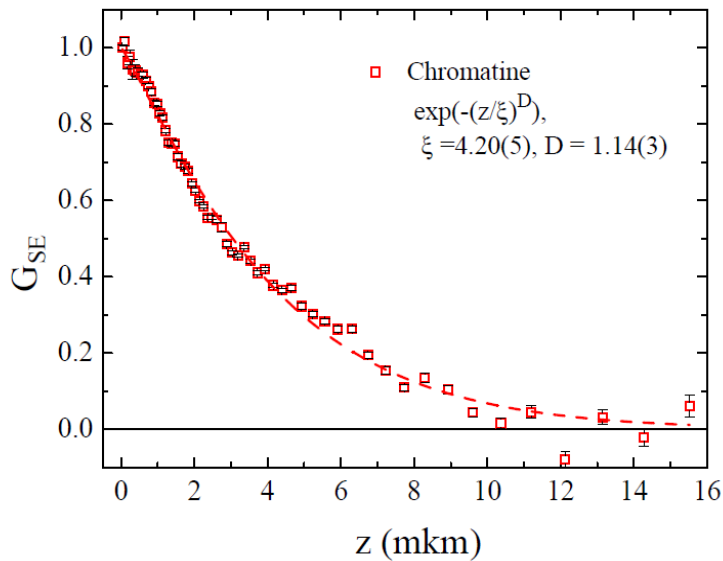


Биологические объекты

- Исследования носят фундаментальный научный характер;
- Возможно применение результатов в биотехнологии и биоинженерии;
- Результаты могут быть полезны для медицины и фармацевтики.



Результаты исследований ядер биологических клеток



$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(Q) = \frac{1}{\left(Q^2 + \left(\frac{1}{\zeta}\right)^2\right)^{\Delta/2}}$$

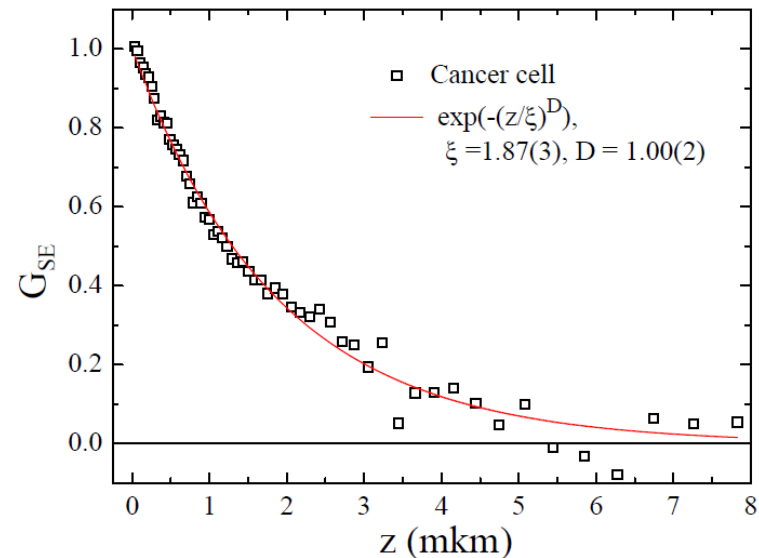
$$G_{SE} = \exp\left(-(z/\zeta)^D\right)$$

$$\Delta = 2 \cdot D + 1$$

$$\frac{P_m(l, z)}{P_0} = \exp\left\{-l\sigma\left[1 - \frac{1}{\sigma k_0^2} \int \cos(zQ_z) \frac{d\sigma}{d\Omega}(Q) dQ_y dQ_z\right]\right\}$$

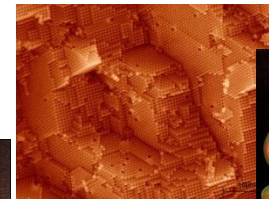
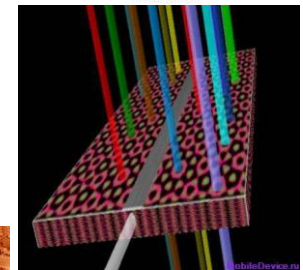
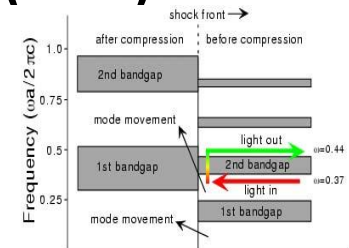
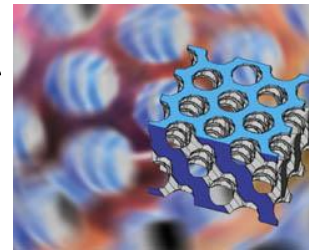
$$G(z) = \frac{1}{k_0^2} \int \cos(zQ_z) \frac{d\sigma}{d\Omega}(Q) dQ_y dQ_z$$

$$\frac{P_m(l, z)}{P_0} \equiv P(z) = e^{l\sigma(G(z)-1)}$$



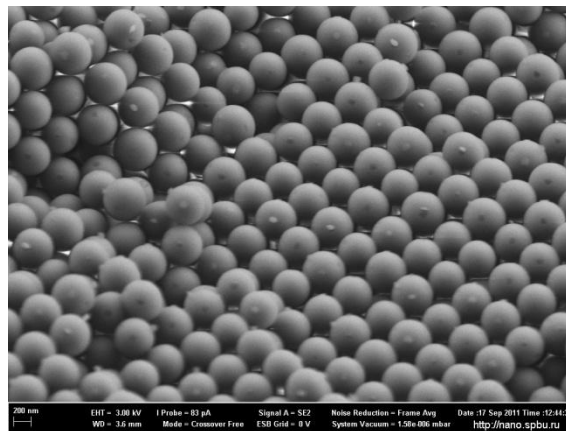
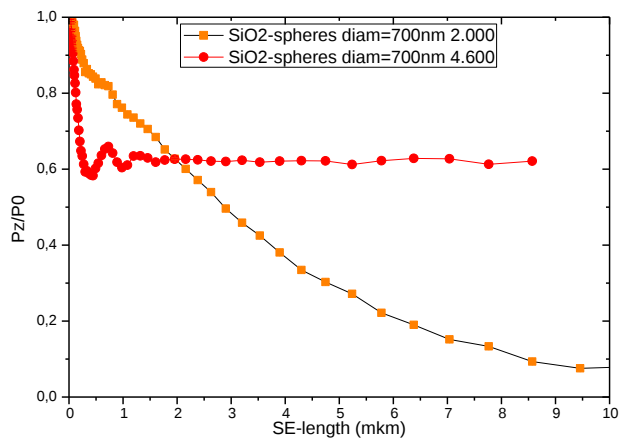
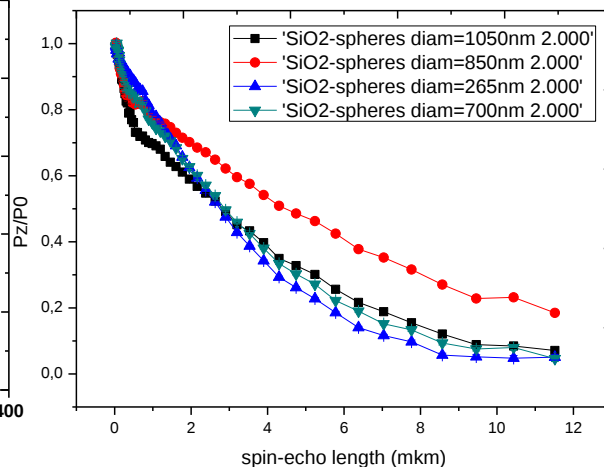
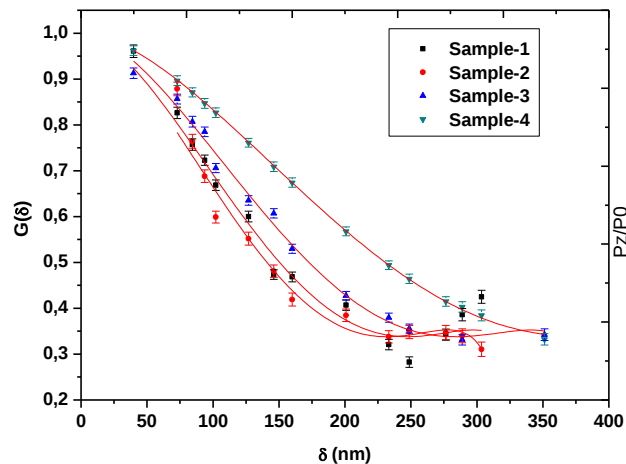
Фотонные кристаллы. Применение

- Лазеры с фотонными кристаллами (ФК)
- Волноводы на основе ФК
- Суперлинзы на основе ФК
- Дисплеи на основе ФК
- Запоминающие устройства на ФК
- Фотонные сверхпроводники



http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB

Фотонные кристаллы.

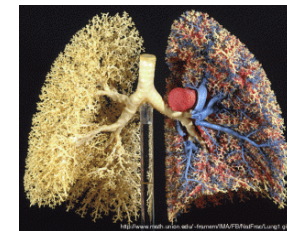


1. Метод SESANS дает интегральную информацию по всему засвеченному объему образца;
2. Метод позволяет определить средние размеры составляющих кристалл сфер и степень их полидисперсности;
3. Позволяет исследовать массивные образцы (легко учитывается многократное рассеяние), неdestructивный.

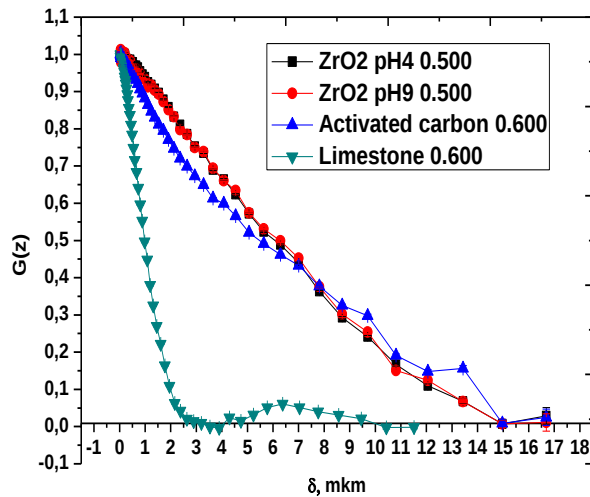
Образец	265	320	400	500	700	850	1050
Средний D, нм	260±5	328±5	405±5	506±5	700±10	860±10	1050±10

Фракталы в народном хозяйстве:

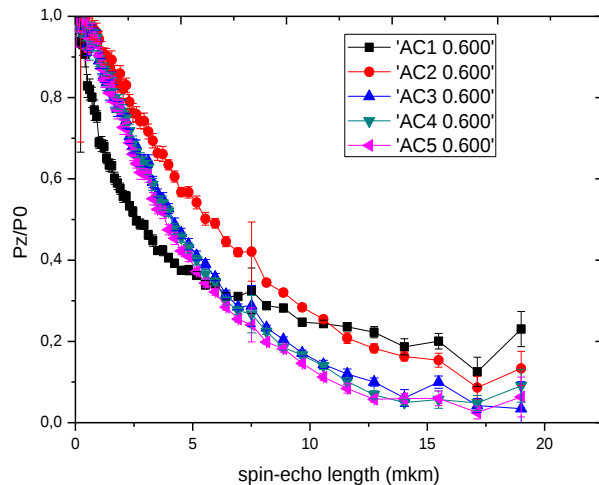
- Вещества с высоко развитой внутренней (объемные фракталы) или внешней (поверхностные фракталы) поверхностью.
- Используются как
- сорбенты (абсорбция и адсорбция);
- газовые фильтры
- катализаторы.



Фракталы.



Sample	SANS	SESANS $30\text{nm} \leq \delta \leq 20\mu\text{m}$ $1.6 \cdot 10^{-5} \leq q \leq 0.01 \text{ \AA}^{-1}$
ZrO2, pH=4	$\Delta = 3.97 \pm 0.04$ $2 \cdot 10^{-3} \leq q \leq 0.25 \text{ \AA}^{-1}$	$\Delta = 3.88 \pm 0.04$
ZrO2, pH=9	$\Delta = 3.4 \pm 0.04$ $2 \cdot 10^{-3} \leq q \leq 0.25 \text{ \AA}^{-1}$	$\Delta = 3.49 \pm 0.04$
Act. carb	$\Delta = 3.0 \pm 0.1$ $3 \cdot 10^{-3} \leq q \leq 0.1 \text{ \AA}^{-1}$	$\Delta = 2.88 \pm 0.14$
Limestone	Predicted: $\Delta = 4$	$\Delta = 4.3 \pm 0.06$



Образцы:

№1 исходный антрацит, тщательно перетертый в ступке;

№2 исходный антрацит, дробленный;

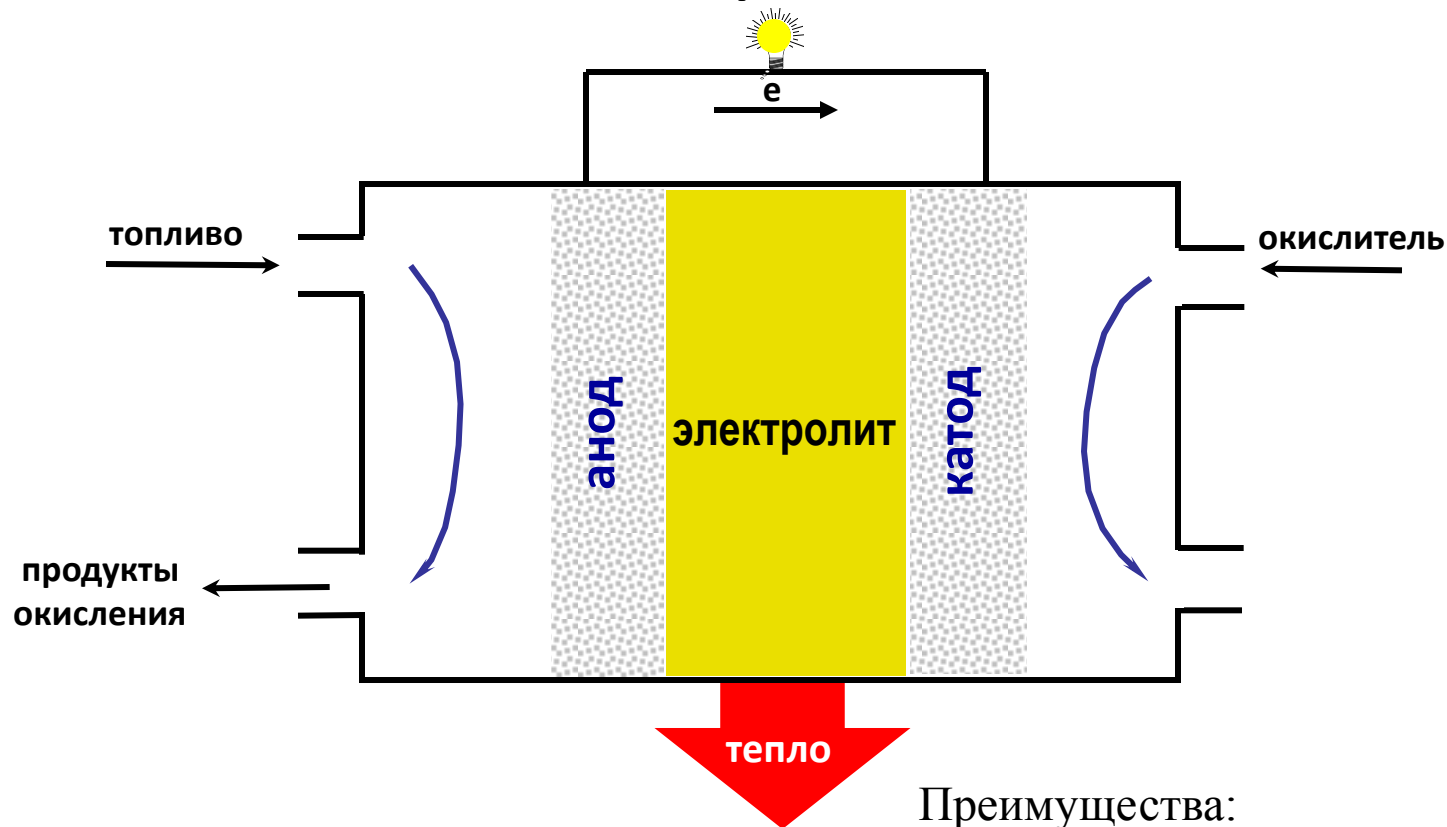
№3 низкотемпературно активированный антрацит

№4 высокотемпературно активированный антрацит, время активации 2 часа

№5 ..., время активации 5 часов

Образец	D_s	D , mkm
№1	2.15	3 0.3
№2	2.58	15 1
№3	2.38	15 1
№4	2.35	15 1
№5	2.22	15 1

Керамические функциональные материалы



Преимущества:

1. высокая эффективность (70-80%);
2. экологичность;
3. Большое время службы.

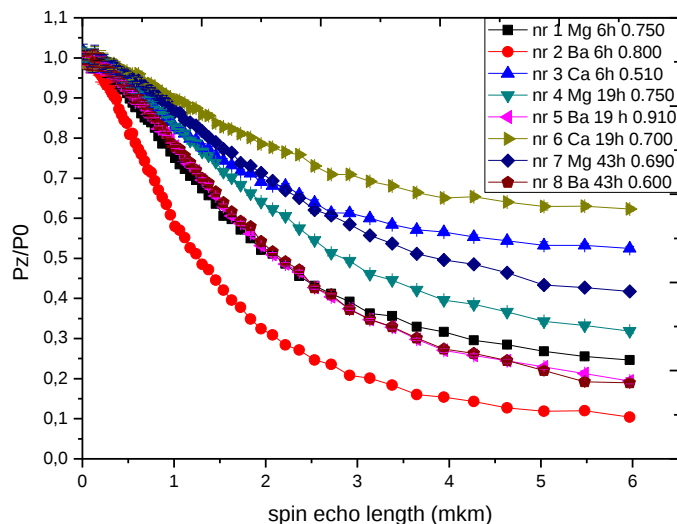
- 1) Sung Ho Park, Young Duk Lee, Kook Young Ahn. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 39, Issue 4, 22 January 2014, Pages 1799-1810
- 2) Shin'ya Obara, Jorge Morel. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 39, Issue 5, 4 February 2014, Pages 2297-2312

Керамические функциональные материалы

Исследовали твердый электролит для твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ)

состава $\text{Bi}_{12.8}\text{ME}_{0.2}\text{Mo}_5\text{O}_{34}$, где $\text{ME}=\text{Ba}, \text{Sr}, \text{Mg}$.

Образцы приготовлены по стандартной керамической технологии, спрессованы на гидравлическом прессе и отжигались при T близкой к $T_{\text{melt}} \sim 850$ в течение разного времени (6, 19 и 43 часа)

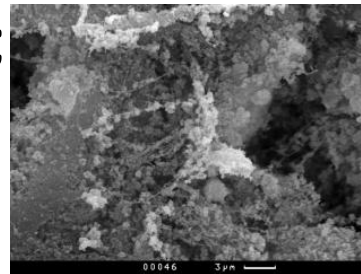
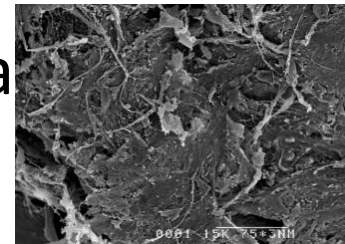
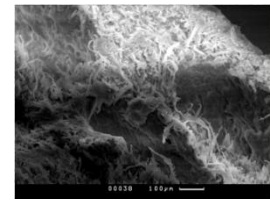


- Диаметры пор не превышают 10 мкм.
- Поры сферической формы, отдельно стоящие, не образуют агломераций и каналов.
- Объемная доля пор не превышает 5%.
- С увеличением времени отжига образцов средний диаметр пор снижается. Однако, отжиг свыше 19 часов не вносит существенного вклада.

Полимерные функциональные материалы и композиты

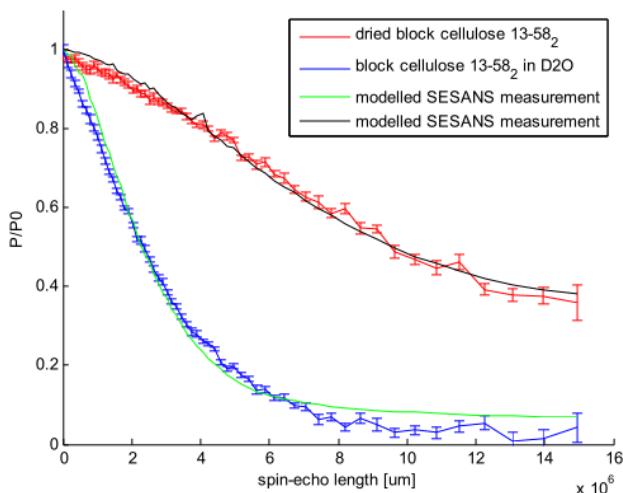
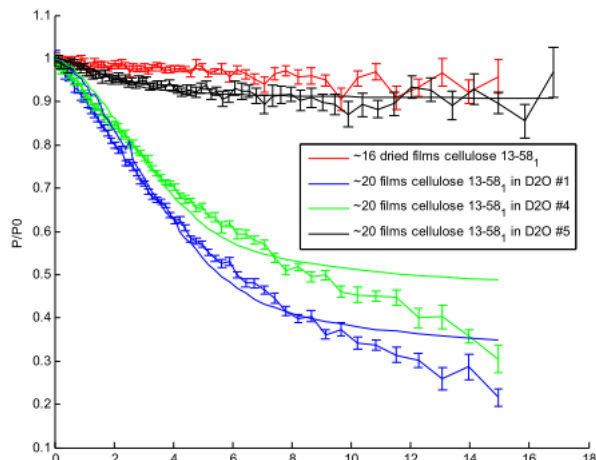
Бактериальная целлюлоза (БЦ) – типичный представитель ПФМ. Она и композиты на ее основе находят широкое применение в современном мире:

- Медицина – диализаторы для искусственных почек, имплантаты, пластыри/вата/бинты;
- В пищевой промышленности – основа диетического питания;
- И многое другое...



Cite this: Chem. Soc. Rev., 2011, 40, 3941–3994

Полимерные функциональные материалы и композиты



Образцы:

- 1) нано-гель-пленка бактериальной целлюлозы *Acetobacter Xilynum*;
- 2) Композиционный материал на основе бактериальной целлюлозы *Acetobacter Xilynum* (75%) с добавкой гидроксиапатита (25%)

- В нано-гель-пленке БЦ скручивается в гауссовы клубки со средними диаметрами 2 мкм;
- При погружении в тяжелую воду, в пленке образуются каналы, описываемые моделью полубесконечных цилиндров с диаметрами порядка 6 мкм;
- В композите на основе БЦ наблюдаются агломерации гидроксиапатита круглой формы и диаметрами порядка 20 мкм



Ю.О. Четвериков,
н.с. ПИЯФ



Л.А. Аксельрод,
с.н.с. ПИЯФ



С.В. Григорьев,
зав. ОИКС ПИЯФ



К.А. Павлов,
аспирант
СПбГУ



В.Н. Забенкин,
н.с. ПИЯФ



Е.В. Величко,
аспирант СПбГУ



Е.Г. Яшина,
магистрант
СПбГУ



Wim Bouwman
Associate professor at
the Technische
Universiteit Delft



Chris Duif
SESANS responsible
at Technische
Universiteit Delft



Wicher Kraan
Retired from Technische
Universiteit Delft

Благодарности

- За образцы:
- В.М. Масалову и Г.А. Емельченку (ИФТТ РАН)
- Г.П. Копица, Н.Н. Губанов (ПИЯФ НИЦ КИ)
- А.В. Бервено (ИХТТИМ СО РАН)
- З.А. Михайловской и Е.С. Буяновой (УрФУ)
- Р.Ю. Смыслову (ИВС)
- Д.В. Лебедеву и М.В. Филатову (ПИЯФ НИЦ КИ)