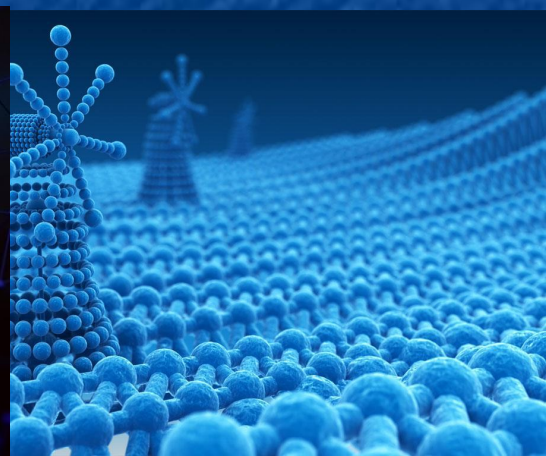


# nano

## ОТ МИКРО К НАНО: НАНОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.т.н, главный научный сотрудник ИХР РАН,  
профессор кафедры нанотехнологий, физики и химии ИВГПУ  
Пророкова Наталия Петровна



Нанотехнология имеет дело, как с отдельными частицами, так и с материалами на их основе, а также с процессами (явлениями) на наноуровне. Нанотехнология работает на атомном, молекулярном и супрамолекулярном уровне и создает материалы с новыми свойствами и функциональными возможностями, благодаря малым – 1...100 нм ( $1\text{нм}=10\text{\AA}=10^{-9}\text{м}$ ) - размерам элементов (наночастицы) и их строго организованной структуре.

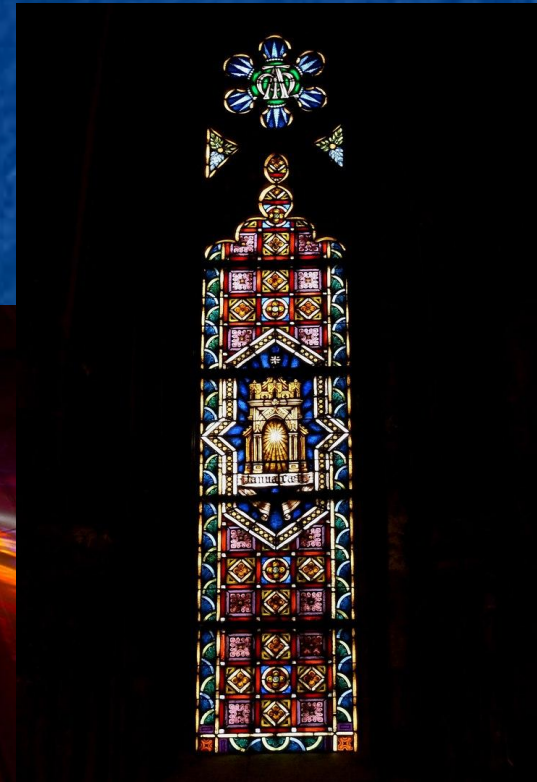
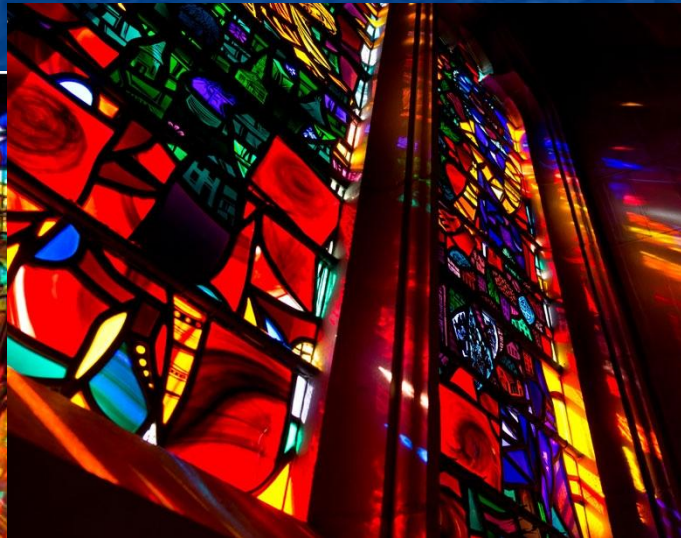


Кубок Ликурга



Кубок Ликурга при  
разном освещении

Средневековые церковные витражи

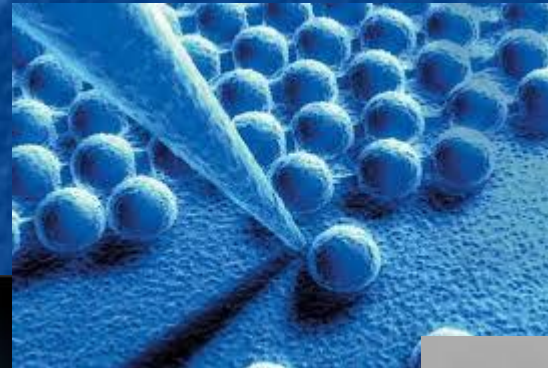
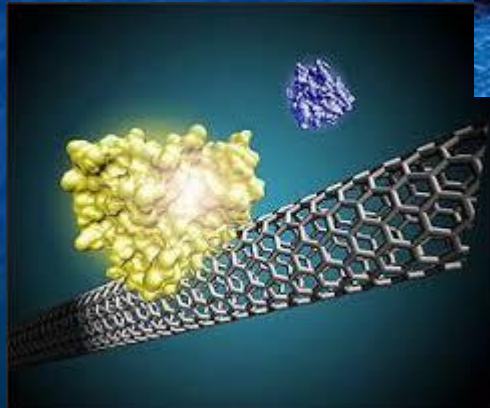
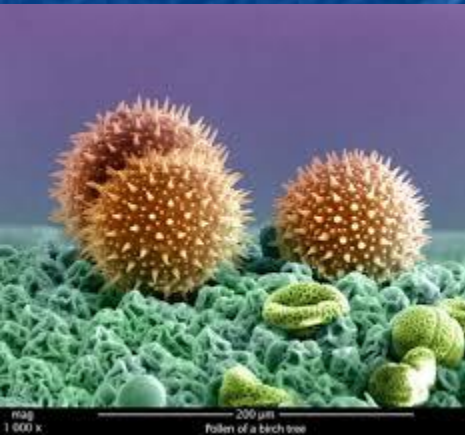


«Селеновый рубин»

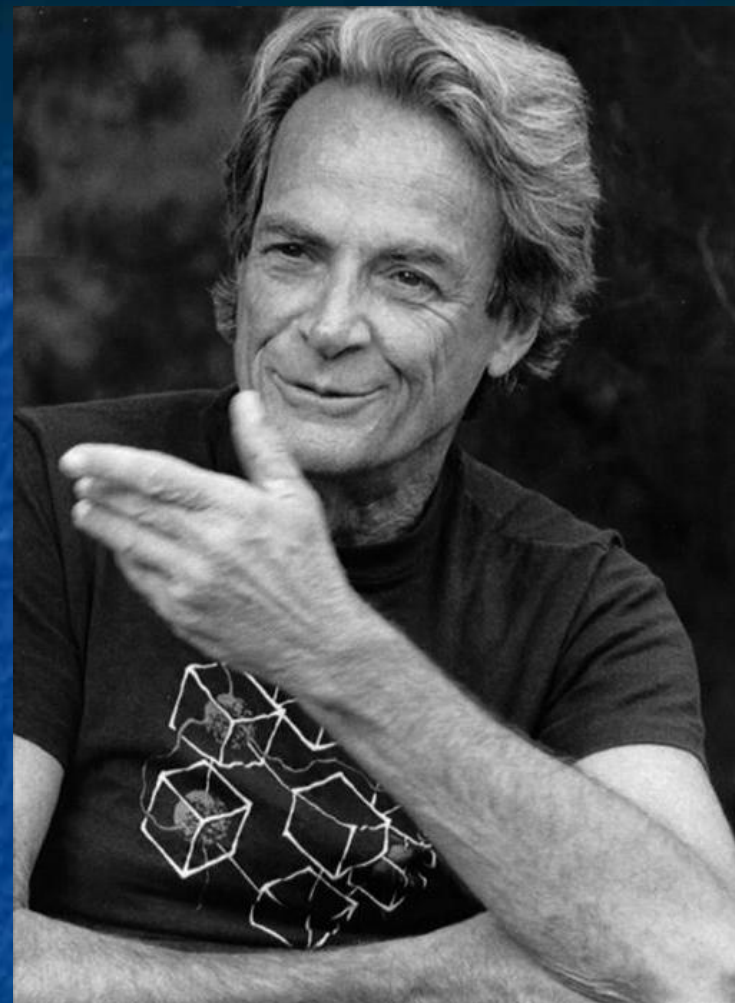
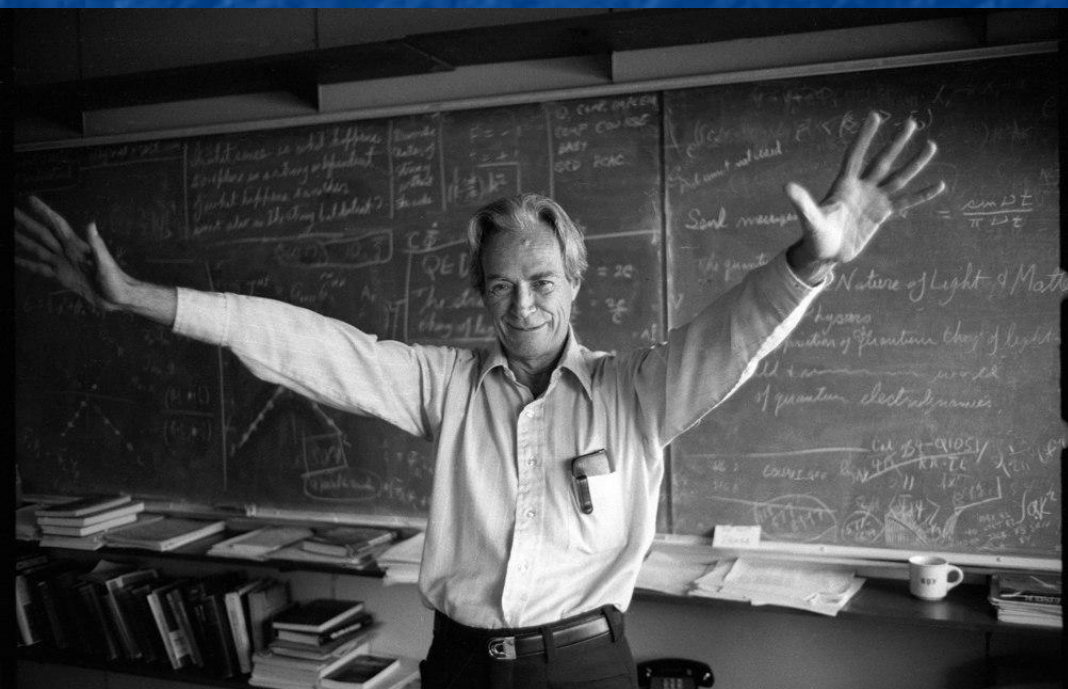


Звезды Кремля

**Нанотехнология – это совокупность технологических методов и приемов, используемых при изучении, проектировании и производстве материалов, устройств и систем, включающих целенаправленный контроль и управление строением, химическим составом и взаимодействием составляющих их отдельных наномасштабных элементов (с размерами порядка 100 нм и меньше как минимум по одному из измерений), которые приводят к улучшению, либо появлению дополнительных эксплуатационных и/или потребительских характеристик и свойств получаемых продуктов.**



“There is plenty of room at the bottom”



*Richard Phillips Feynman*

1918-1988

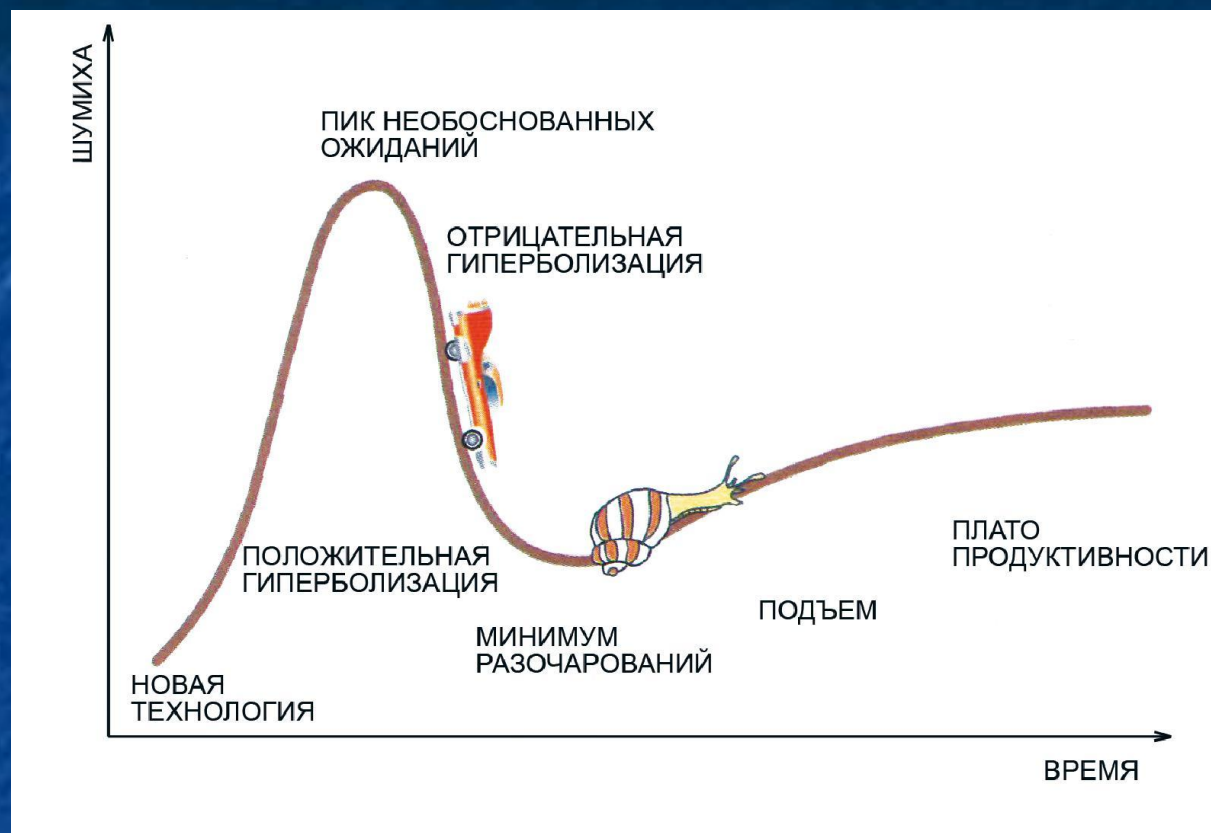


«По прогнозам большинства экспертов именно развитие нанотехнологий определит облик XXI столетия подобно тому, как открытие атомной энергии, изобретение лазера и транзистора сформировали лицо XX – века».

Ж.И. Алферов



Академик Третьяков  
Юрий Дмитриевич



Типичная реакция общества на появление новых технологий (из лекции академика Третьякова Ю.Д. для сотрудников «РоснаноТех»)



**БИОМИМЕТИКА** - заимствование идей у природы и использование их для решения задач, стоящих перед человечеством .



Гусеницы тутового шелкопряда

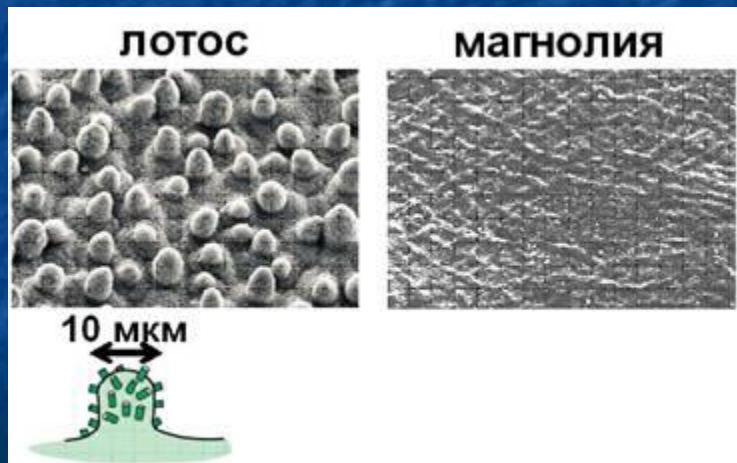
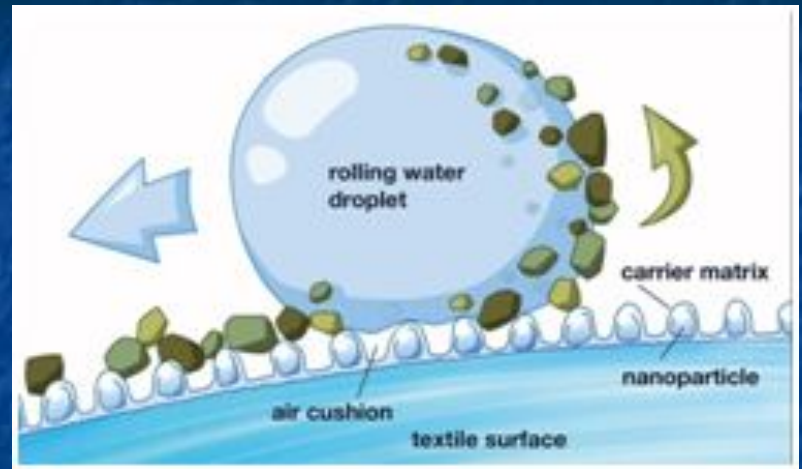


Коконь тутового шелкопряда



Гусеница шелкопряда – это маленький заводик (фабрика) по синтезу волокнообразующего полимера и прядению шелка. Устройство на выходе головки гусеницы – прототип фильеры для производства химических волокон. Образуется комплексная, сдвоенная фиброиновая шелковая нить с адгезивным (белковым) покрытием - серицином.

# Супергидрофобные самоочищающиеся поверхности



## **Что означает термин «умный» текстиль, «умные» волокнистые материалы?**



**«Умным» можно назвать текстильный материал, который способен чувствовать воздействия окружающей среды, реагировать на них и адаптироваться к ним путем интеграции функционального потенциала в текстильной структуре. Стимул, а также ответ может иметь электрическое, тепловое, химическое, магнитное, световое или иное происхождение. Современные материалы, такие как паропроницаемые мембраны, огнестойкие или ультрапрочные ткани нельзя назвать умными, какими бы высокотехнологичными они не были.**

По степени интеллектуальности материалы можно разделить на три подгруппы:

- пассивный «умный» текстиль – может только чувствовать окружающую среду (функция датчиков);
- активный «умный» текстиль – может ощутить воздействия окружающей среды и реагировать на них (помимо функции датчика, обладает функцией привода);
- наконец, очень «умный» текстиль - адаптирует свое поведение к обстоятельствам.



# Passive smart textiles



“Astroskin” by “Carre Technologies”



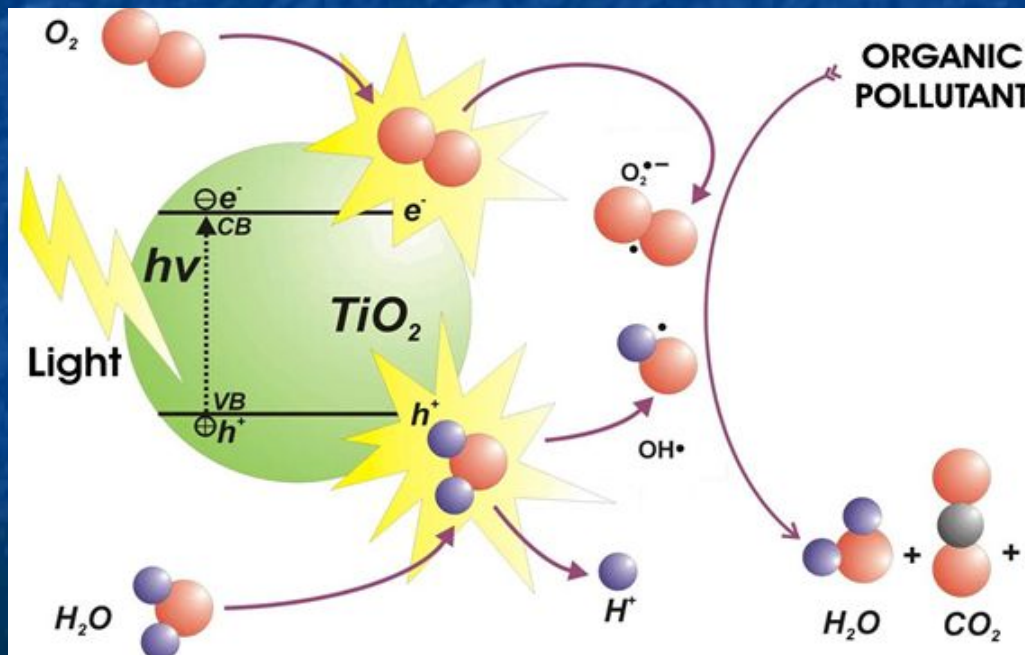
“hWear by “HealthWatch”

# Active smart textiles



“Oricalco” by Mauro Taliani (Corpo Nove)

# Modification of the polyester fabric with using of nanosized titanium dioxide to impart the ability of decomposing the adsorbed contaminants under irradiation



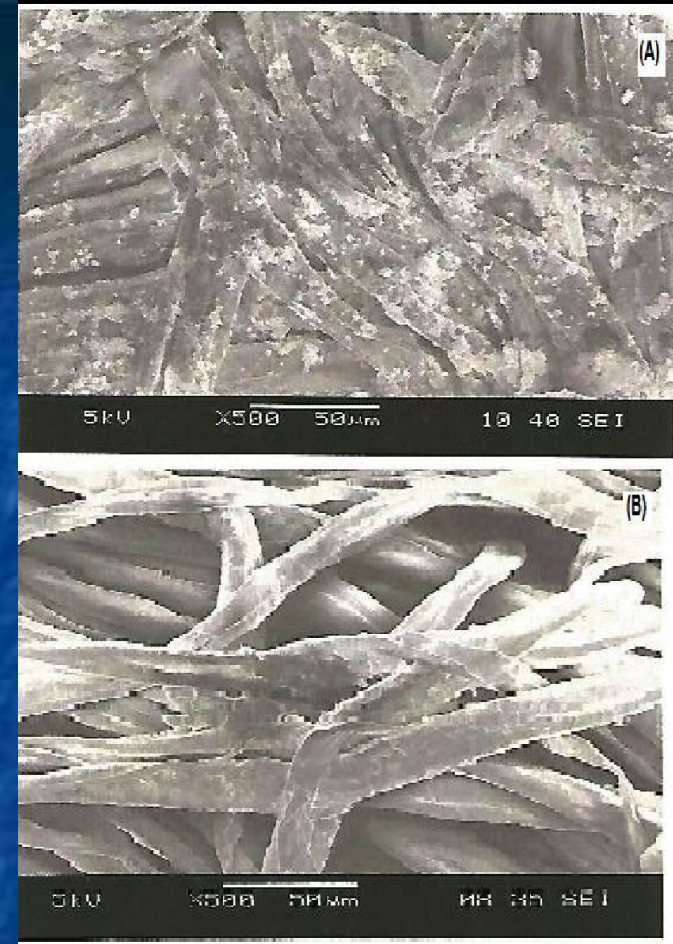
## Obstacles that need to be overcome to solve the problem:

1. The nanostructured coating needs to be firmly attached on the surface of each fiber of PEF.

**Difficulties:** the number of carboxyl and hydroxyl functional groups in poly(ethylene terephthalate)-based fibers is small, so titanium dioxide cannot be attached on the fiber surface. Besides, PEF fiber surface have a high smoothness.

2. The modified fiber material is supposed to retain its consumer-oriented characteristics such as softness and drape ability. This cannot be achieved when an excessive amount of titanium dioxide is applied to fabrics.

**Difficulties:** a significant amount of  $\text{TiO}_2$  is applied to fiber materials in order to impart them high photocatalytic properties. A thick coating is formed on the surface and is deposited in the interfiber space (by analogy with modifying glasses and construction materials).



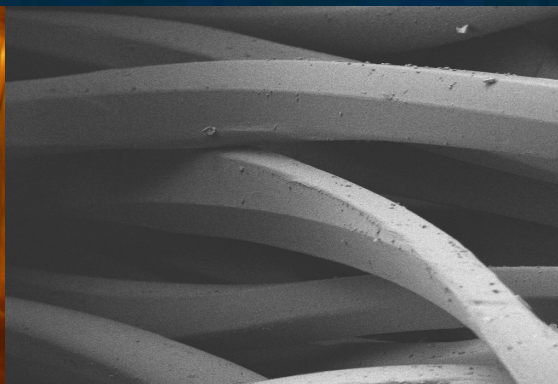
*Kumar, B. Senthil. Self-Cleaning Finish on Cotton Textile Using Sol-Gel Derived  $\text{TiO}_2$  Nano Finish // IOSR Journ. of Polym. and Text. Eng.- V.2.- Is.1.- PP. 1-5.*



1a

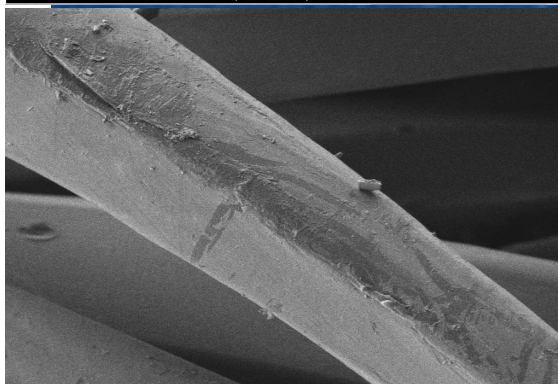
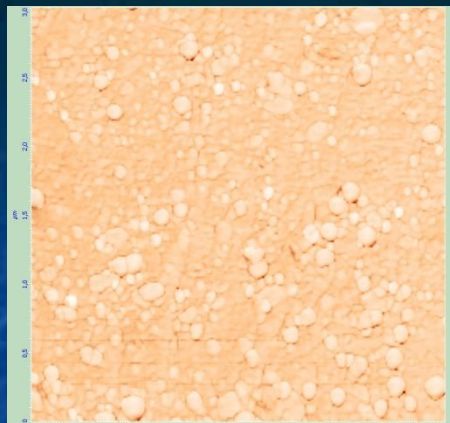


1b

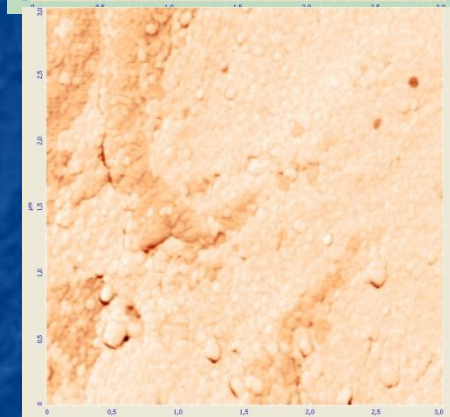


Mag = 2.00 K X  
 NVision 40-38-50  
 Date = 20 Nov 2015  
 Photo No. = 1601  
 WD = 2.9 mm  
 System Vacuum = 2.07e-008 mbar  
 Aperture Size = 30.00 µm  
 EHT = 1.00 kV  
 Signal A = SE2  
 Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry

1c



Mag = 5.00 K X  
 NVision 40-38-50  
 Date = 20 Nov 2015  
 Photo No. = 1715  
 WD = 2.8 mm  
 System Vacuum = 1.65e-008 mbar  
 Aperture Size = 30.00 µm  
 EHT = 1.00 kV  
 Signal A = SE2  
 Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry



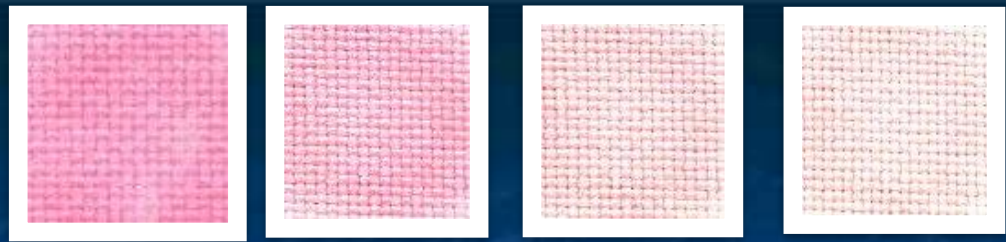
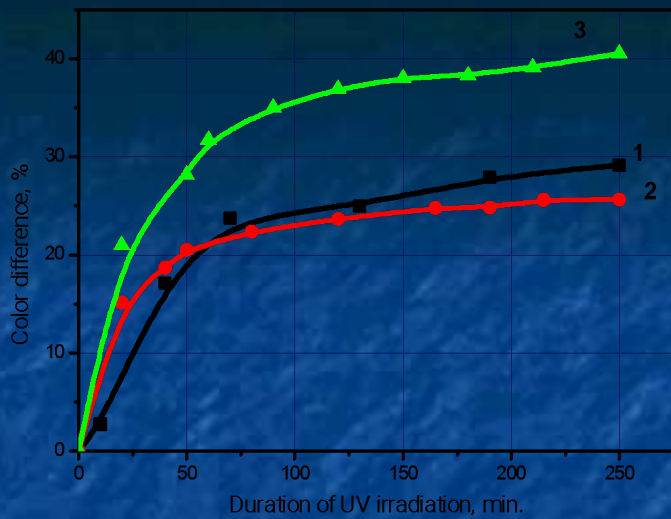
2a

2b

2c

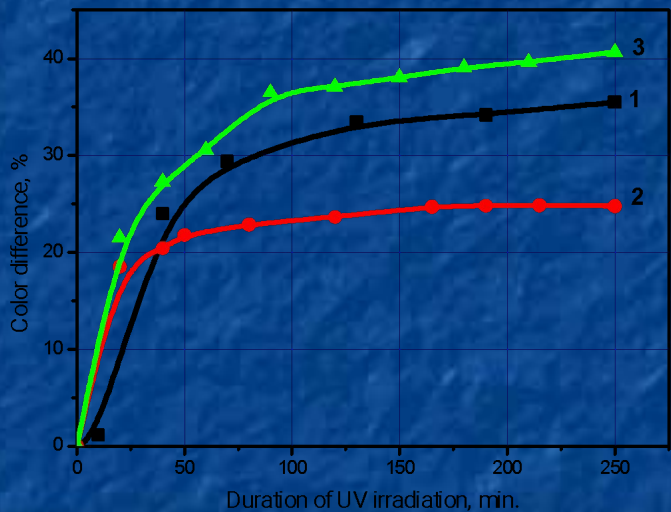
**Morphology of the PEF fabric surface: untreated (1) and modified  $\text{TiO}_2$  (2) after activation by NaOH solution, visualized by optical (a), scanning electron (b) and atomic force (c) microscopy**

*(Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Agafonov A.V., Ivanov V.K. Modification of Polyester Fabrics with Nanosized Titanium Dioxide to Impart Photoactivity // Inorganic Materials: Applied Research. – 2017. - Vol. 8, No. 5. - P. 696 – 703)*

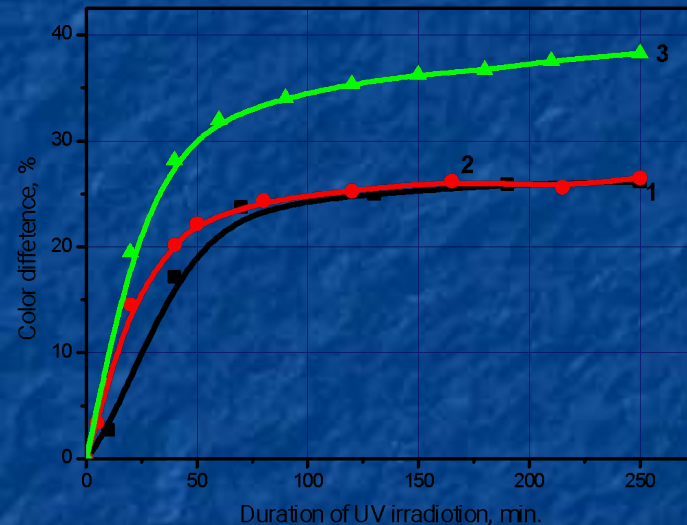


a b c d

TiO<sub>2</sub>-modified PEF fabric with applied eosin droplet: (a) not exposed under UV radiation; (b-d) after exposure under UV radiation for (b) 20 min.; (c) 40 min.; (d) 60 min.

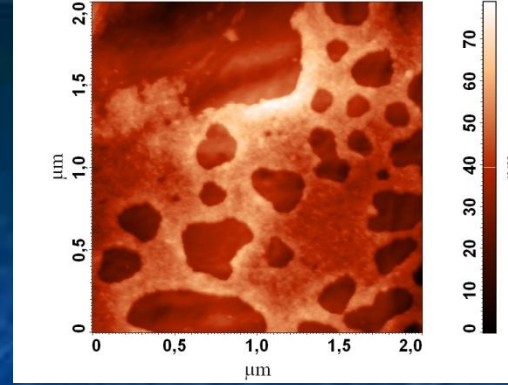
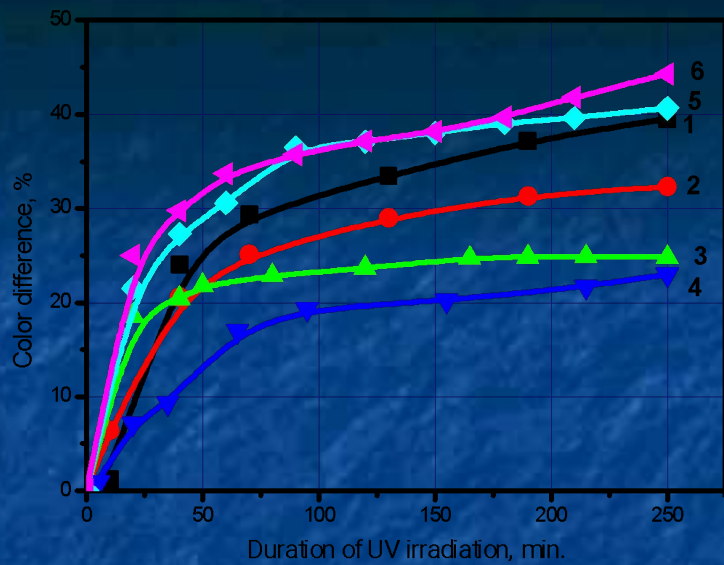


b

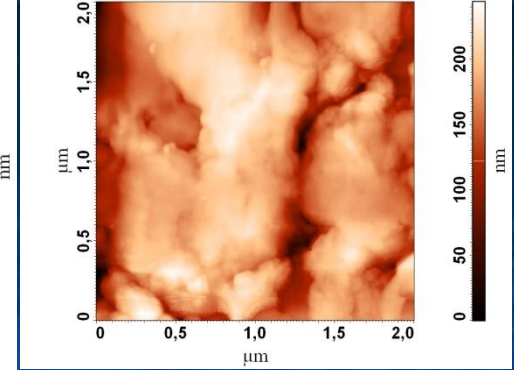


c

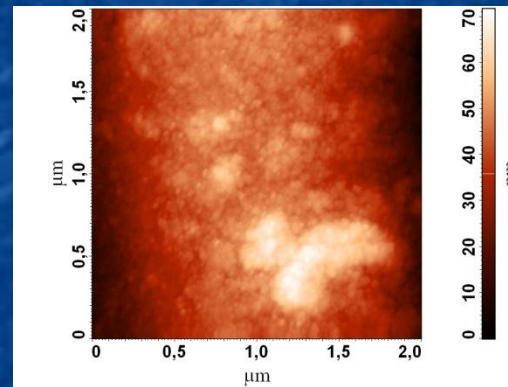
Differences in eosin color for the (a) unactivated PEF fabric, activated with (b) 0,375 mol/L NaOH solution, and activated with (c) SBD plasma for 5 s after modification with: (1) undoped TiO<sub>2</sub>, (2) TiO<sub>2</sub>/Fe, (3) TiO<sub>2</sub>/Ag.



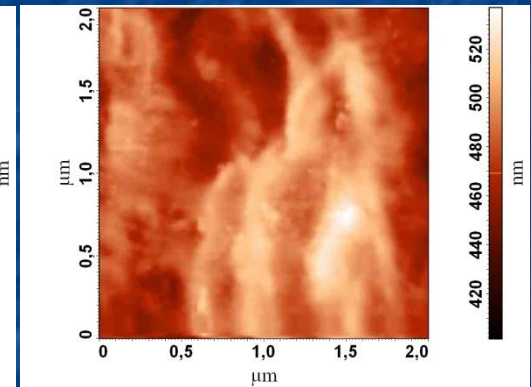
a



b



c

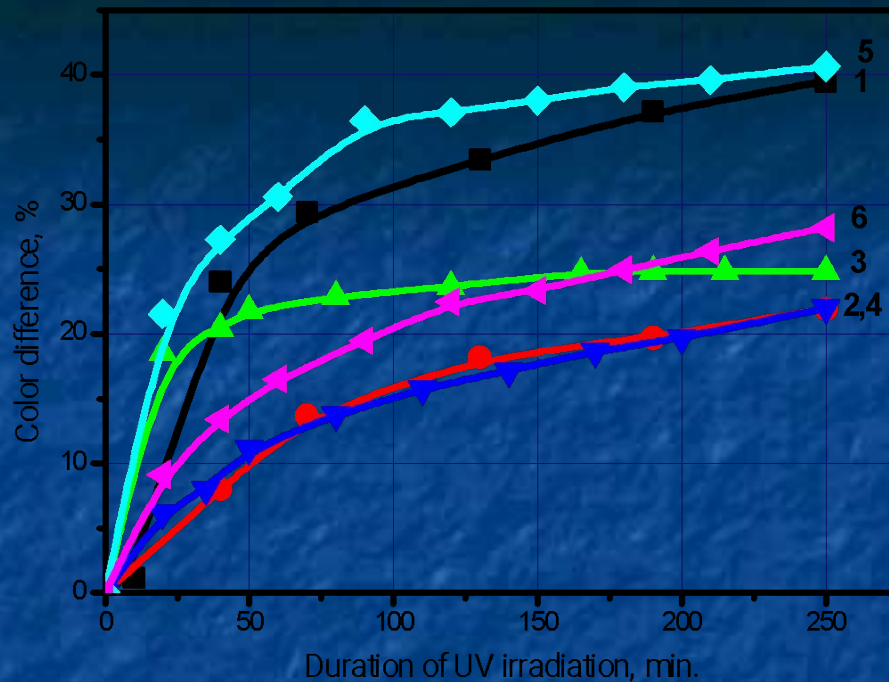


d

**Effect of dry friction on the photochemical activity of the PEF fabric activated with NaOH and treated by a modifier on the base of  $\text{TiO}_2$ :**

- 1- undoped  $\text{TiO}_2$ ;
- 2 - undoped  $\text{TiO}_2$  + friction;
- 3 -  $\text{TiO}_2/\text{Fe}$ ;
- 4 -  $\text{TiO}_2/\text{Fe}$  + friction;
- 5 -  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ ;
- 6 -  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  + friction.

**Effect of dry friction on morphology of the PEF fabric treated by a modifier on the base of  $\text{TiO}_2$ : a -  $\text{TiO}_2/\text{Fe}$ ; b -  $\text{TiO}_2/\text{Fe}$  + friction; c -  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ ; d -  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  + friction. AFM method. Scanning area  $2 \times 2 \mu\text{m}$**



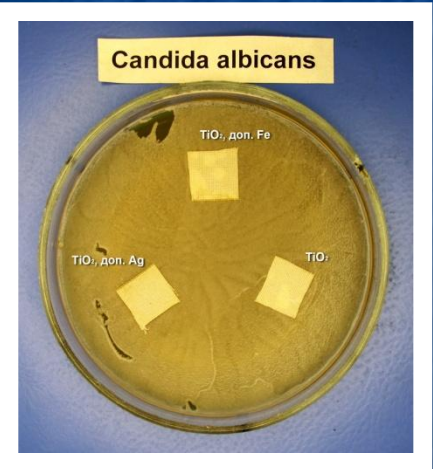
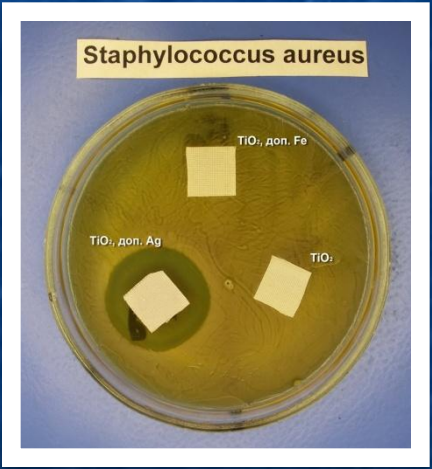
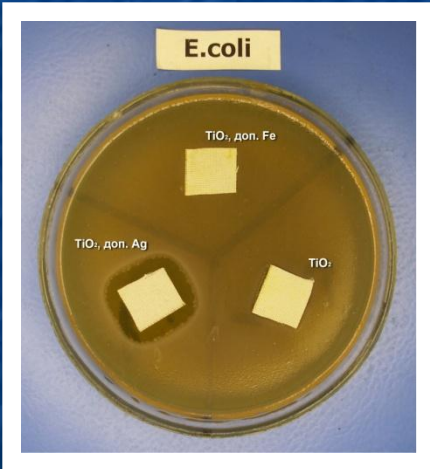
**Effect of washing on the photochemical activity of the PEF fabric activated with NaOH and treated by a modifier:**

**1 - undoped TiO<sub>2</sub>; 2 - undoped TiO<sub>2</sub> + washing; 3 - TiO<sub>2</sub>/Fe; 4 - TiO<sub>2</sub>/Fe + washing; 5 - TiO<sub>2</sub>/Ag; 6 - TiO<sub>2</sub>/Ag + washing.**

*Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Gerasimova T.V., Agafonov A.V. Effect of the Structure of Fe-Doped Titania-Based Nanocomposites on the Photocatalytic Activity of Polyester Fabrics Modified by Them // Inorganic Materials. – 2017. - Vol. 53, № 12. - P. 1336–1342*

# The ability of a TiO<sub>2</sub>-coated PEF fabric to inhibit the vital activity of pathogenic bacteria

Composition of the coating of a modified polyester fabric	Growth (+) or inhibition (-) of pathogenic cultures, %		
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>C. albicans</i>
TiO <sub>2</sub> nanoparticles	+ 31	+ 63	+ 83
Iron-doped TiO <sub>2</sub> nanoparticles	- 27	+ 53	+ 61
Silver-doped TiO <sub>2</sub> nanoparticles	- 50	+ 35	+ 8



Petri dishes with samples of a PEF fabric modified by undoped and iron- and silver-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles placed in nutrient media with inoculated pathogenic microorganisms

# Physicomechanical characteristics of the PEF fabric modified with TiO<sub>2</sub> under various conditions

Type of treatment of PEF fabric	Relative strength at break, cN / tex	Relative elongation at break, %
Untreated	154.9 ± 5.1	26.7 ± 4.0
Activated with 0.375 mol / L NaOH	144.8 ± 5.1	25.6 ± 1.2
Untreated, exposed to UV radiation for 250 мин.	151.8 ± 7.4	27.0 ± 1.6
Modified with TiO <sub>2</sub> after activation with 0.375 mol / L NaOH	165.6 ± 7.0	23.8 ± 1.2
Modified with TiO <sub>2</sub> after activation with 0.375 mol / L NaOH , exposed to UV radiation for 250 min.	160.5 ± 6.3	23.8 ± 1.6

Thank you for attention!