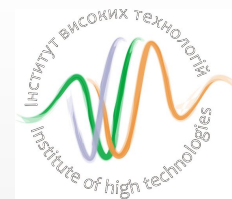




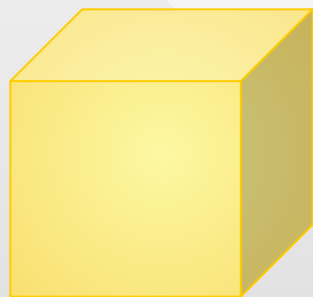
**Київський національний університет ім.Т. Шевченка**  
**Інститут високих технологій**



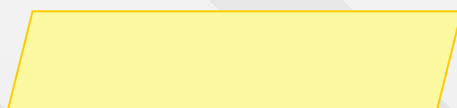
## **ФІЗИКА НИЗЬКОВИМІРНИХ СИСТЕМ**

### **ВСТУП**

## Що таке низьковимірні системи?



**3D**



**2D**



**1D**



**0D**

**Електрон – це нульвимірний об'єкт?**

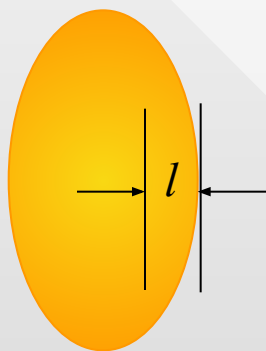
**Definitely – NO!**

**Радіус електрона  $4.5 \cdot 10^{-17}$  м**

**Що ж тоді є низьковимірні системи?**

Якщо в одному або в декількох напрямках лінійні розміри системи є співрозмірні або менші за характерну довжину, що визначає той чи інший ефект – маємо справу з **системою пониженої вимірності**

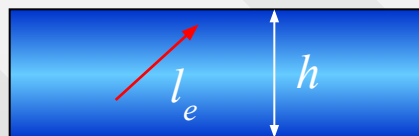
## класичні розмірні ефекти



$$R \sim l$$

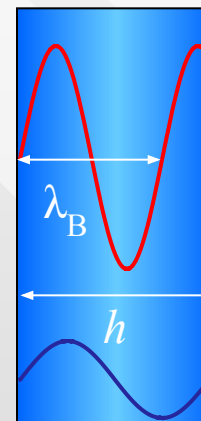
$$l \sim 1-100 \text{ nm}$$

## квантоворозмірні ефекти



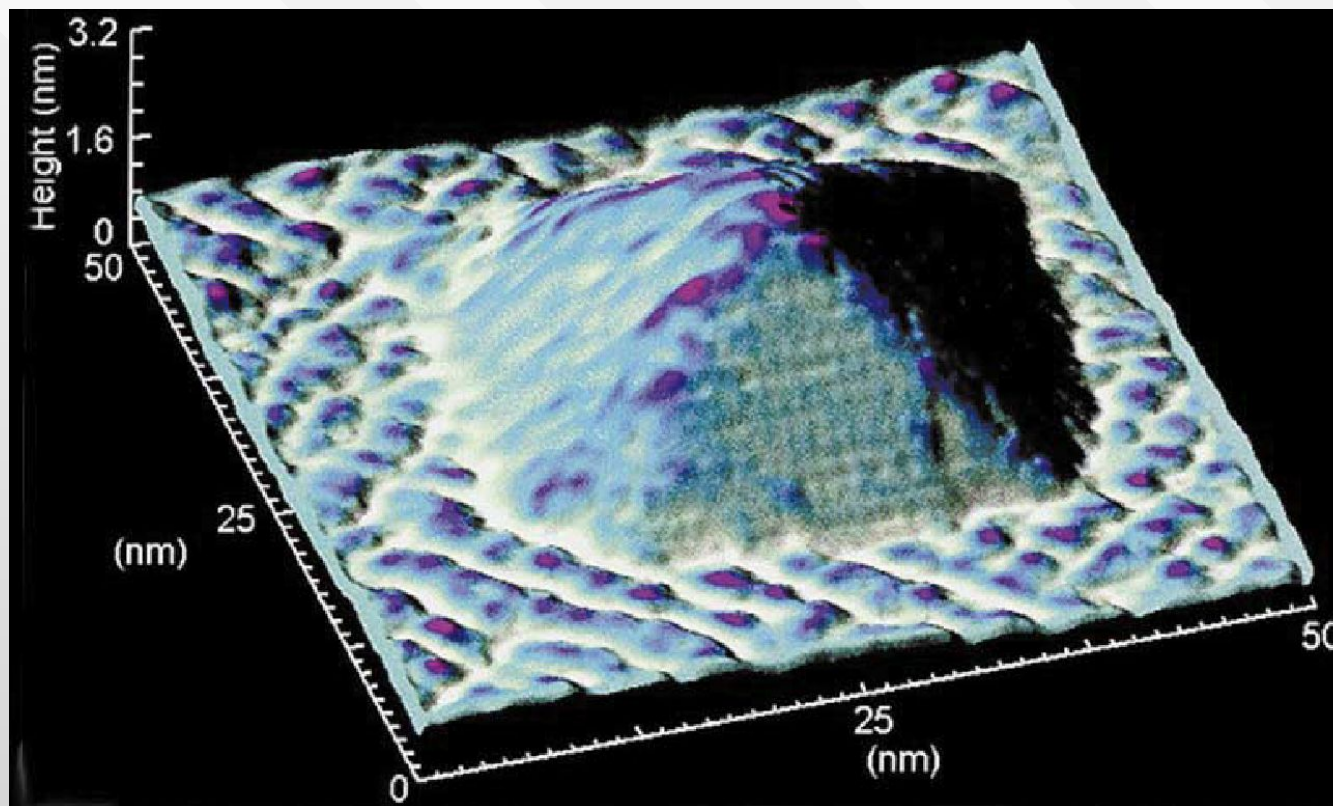
$$h \sim l_e$$

$$l_e \sim 10^1 - 10^3 \text{ nm}$$



$$\lambda_B \sim 10-100 \text{ nm}$$

Квантовна точка, що має форму піраміди вирощена методом МПЕ (МВЕ)



## Створення наночасток (квантових точок) стандартним методом МПЕ



Загальний вигляд установки МПЕ (Інститут Вейцмана, Ізраїль)

## Створення наночасток (квантових точок) за допомогою мікроорганізмів

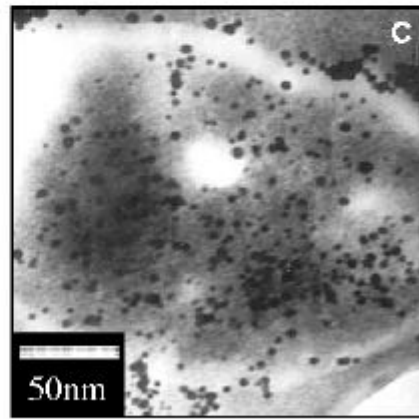
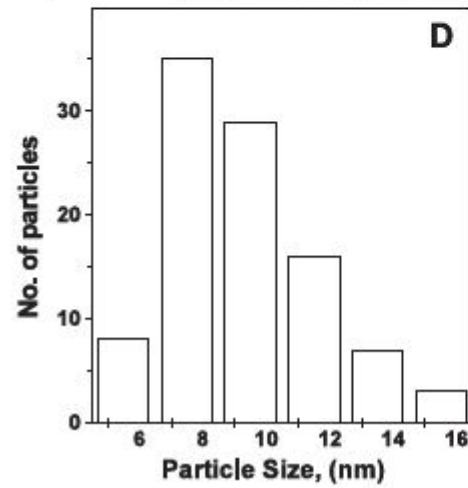
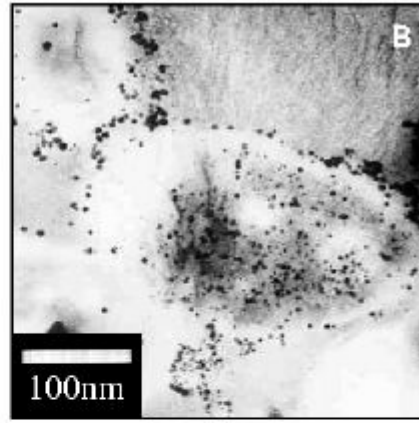
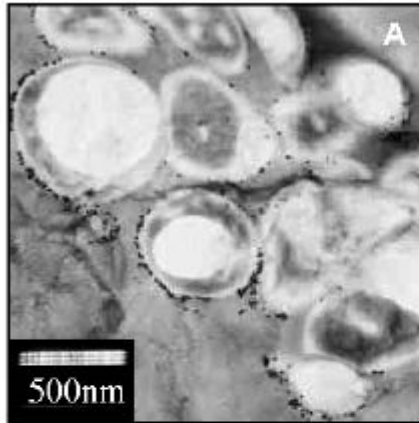


Культура мікроорганізмів *Rhodococcus*, що належать до актиноміцетів – бактерій, які беруть участь в процесах розкладення органічних речовин рослинного походження



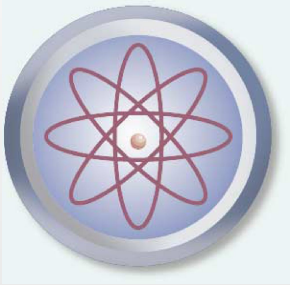
Мікроорганізми *Rhodococcus* після витримки в  $10^{-3}$  М водного розчину  $\text{HAuCl}_4$ . Зміна кольору пов'язана з виникненням наночастинок золота діаметром  $\sim 5-15$  нм. Ці кокки діють як хімічний відновлювач, що перетворюють іони золота в наночастинок

ТЕМ клітин *Rhodococcus* sp.  
з наночастинками золота

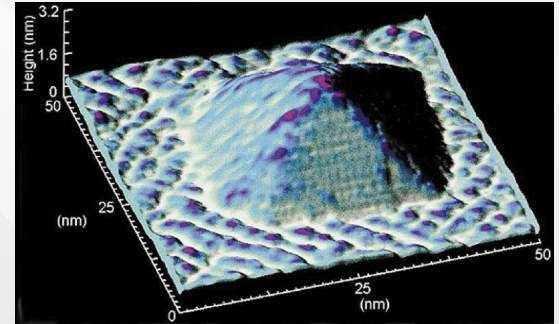




# Квантові точки. Застосування в фізиці, хімії, біології та медицині



$$H\Psi = E\Psi$$

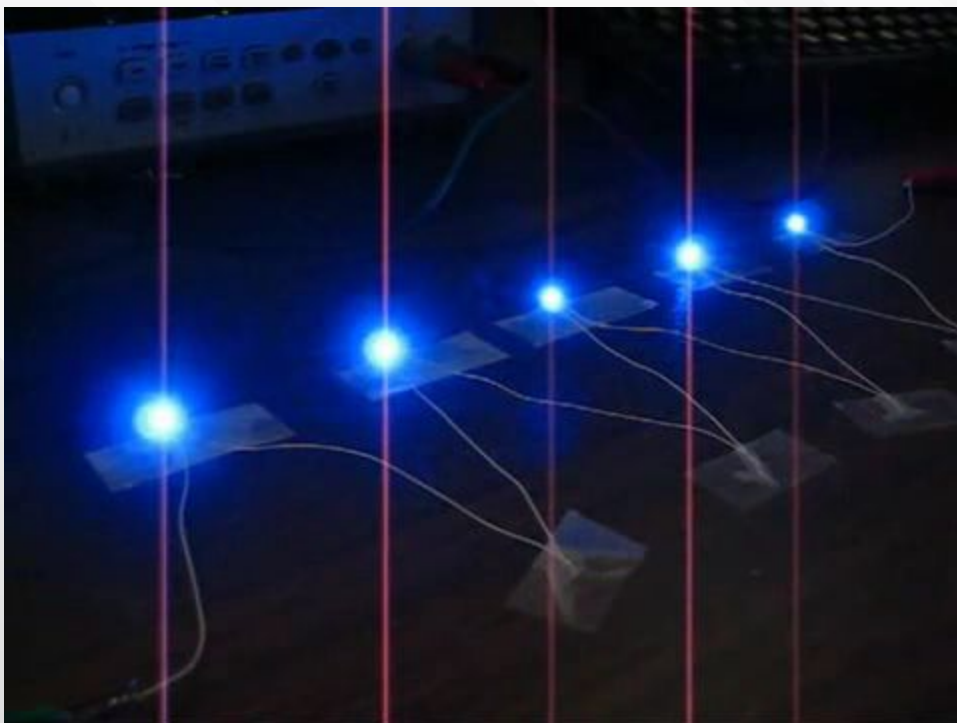


$$E_n = -\frac{mZ^2e^4}{2n^2\hbar^2},$$

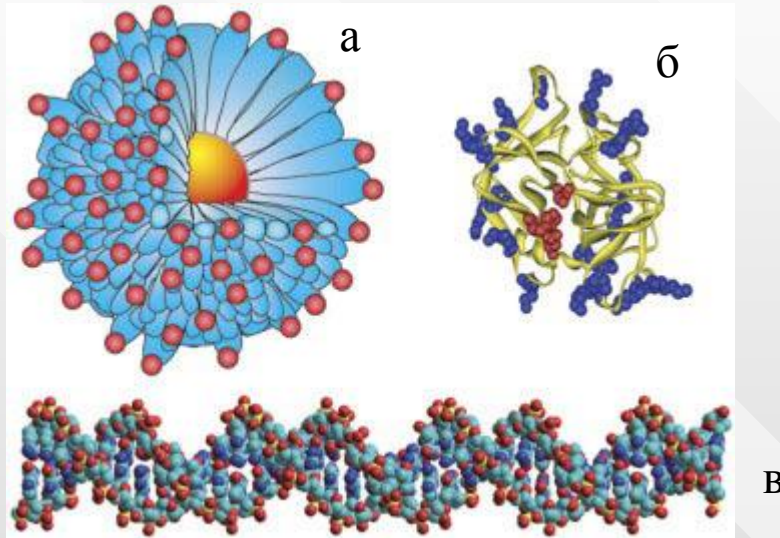
$$n = 1, 2, \dots$$

$$E_{n_1n_2n_3} = \frac{\hbar^2\pi^2}{2m^*} \left( \frac{n_1^2}{L_x^2} + \frac{n_2^2}{L_y^2} + \frac{n_3^2}{L_z^2} \right)$$

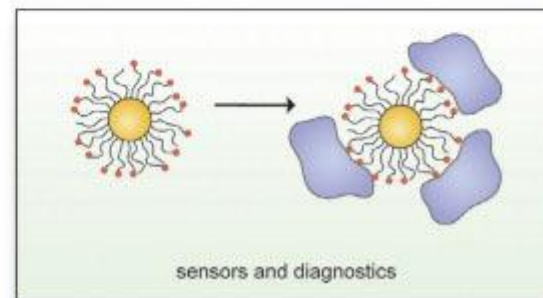
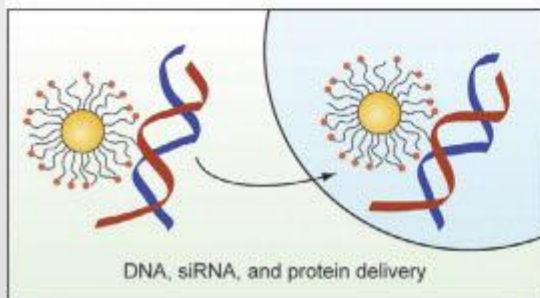
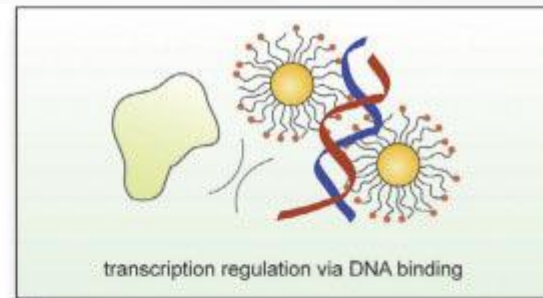
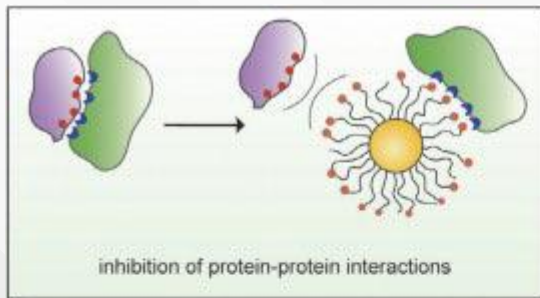
$$n_1, n_2, n_3 = 1, 2, 3, \dots$$



## Застосування квантових точок в біології



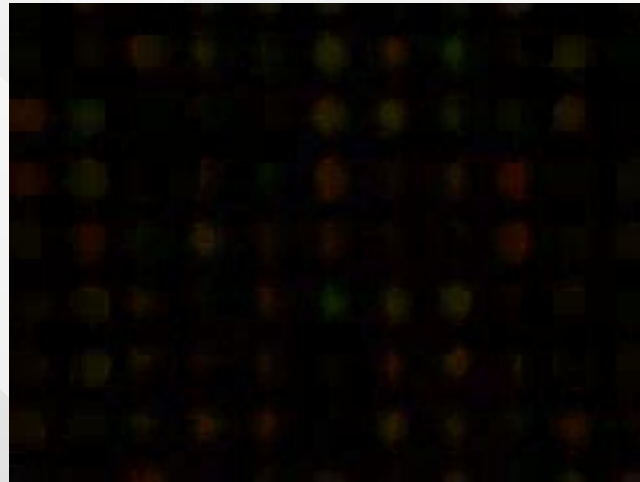
Порівняння розмірів: «а» - 2 нм наночастинка золота, що вкрита моношаром 11-меркаптоундеканової кислоти; «б» - молекула  $\alpha$ -хімотрипсина; «в» - подвійна спіраль ДНК.



Області застосування взаємодії біомолекул з наночастинками: пригнічення взаємодії білок-білок, регулювання транскрипції через зв'язування ДНК, доставка ДНК, siRNA та білка до клітини, датчики та діагностика

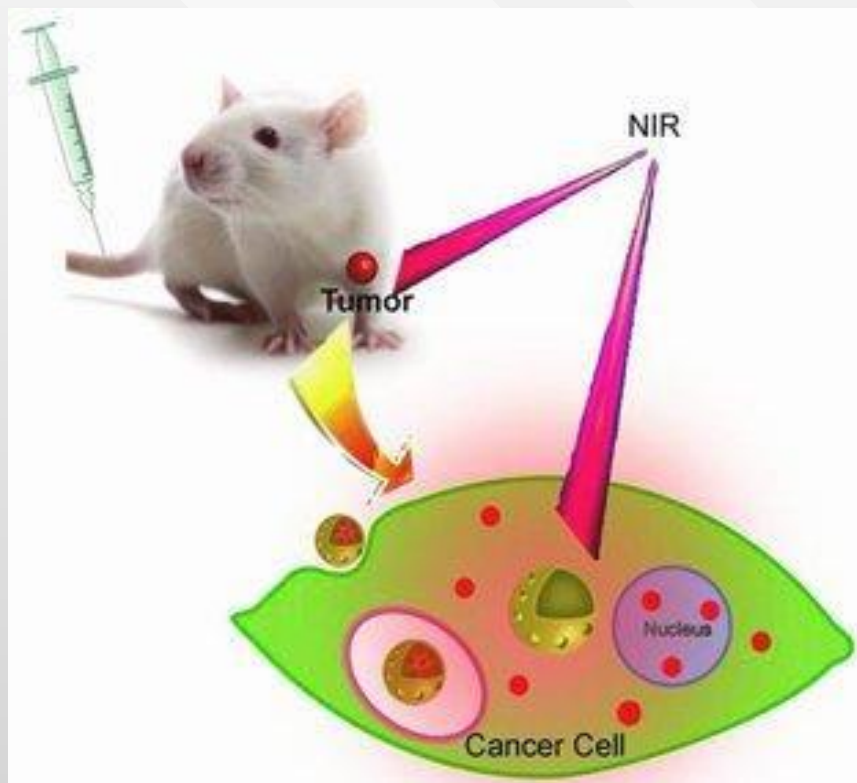
## Квантові точки в онкології

Плазмонна фототермальна терапія онкозахворювань



# Плазмонна фототермальна терапія раку (Plasmon Photothermal Therapy of Tumor - PPTT)

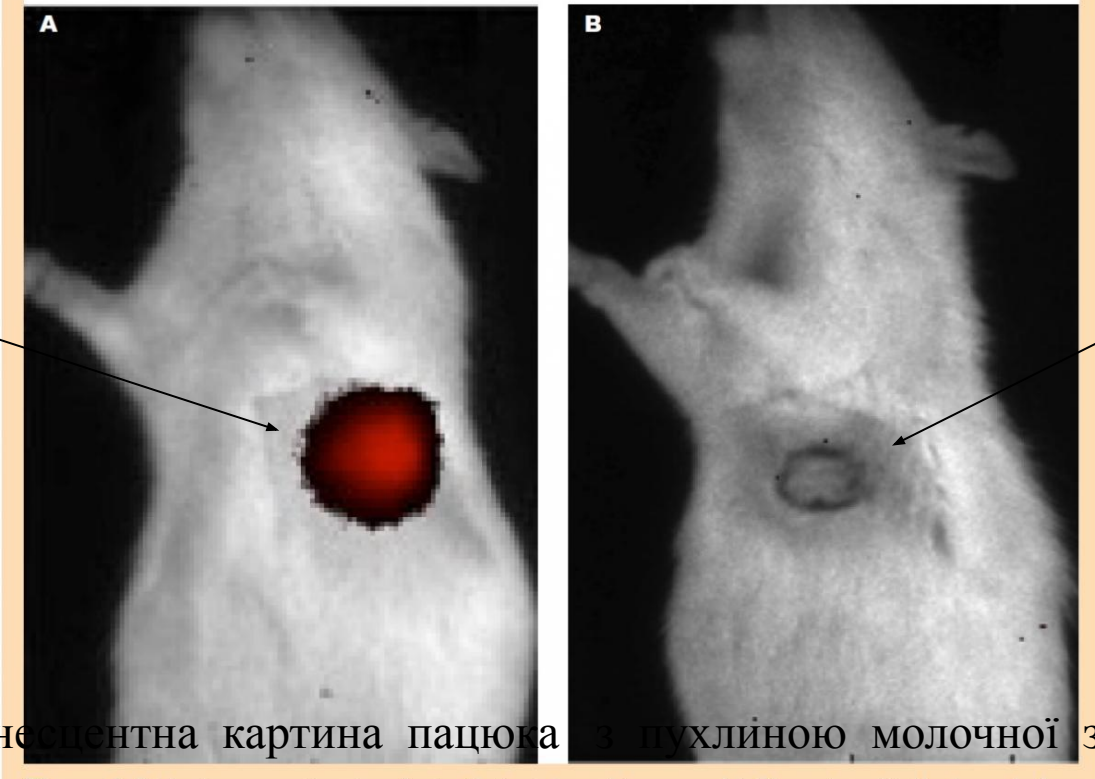
## Ідея



Наночастинки поглинають світло у мільйони разів сильніше ніж молекули органічних барвників. Майже вся енергія світла перетворюється в тепло. Наночастинки, що попали в пухлину опромінюються світлом інфрачервоного діапазону. При цьому таке опромінення повинно попадати у біологічне вікно прозорості та відповідати резонансному поглинанню світла наночастинкою.

Під дією опромінення наночастинки нагріваються. Коли температура онкоклітини перевищить  $45^{\circ}\text{C}$ , онкоклітини руйнуються

пухлина  
перед РРТТ



після РРТТ

Біоломінесцентна картина пацюка з пухлиною молочної залози.

Пухлина

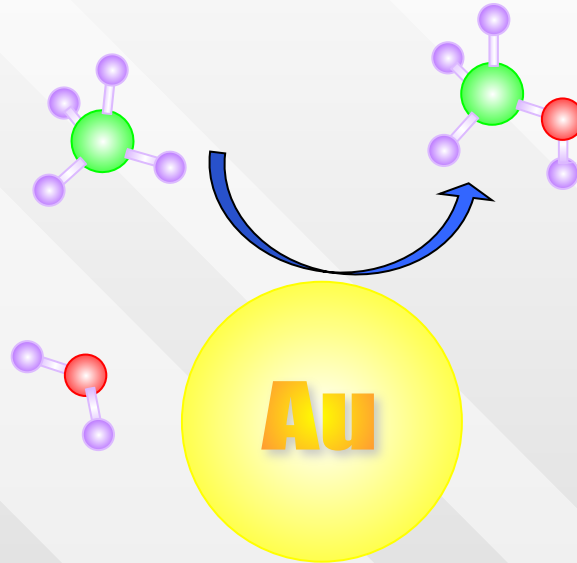
виглядає як червона пляма перед введенням препарату золотих наночастинок

циліндричної форми (концентрація 1011 шт/мл). Після опромінення тварини

лазером з довжиною хвилі 808 nm та інтенсивністю 1.5 Вт протягом 5 хвилин

пухлина зникає. Праворуч показано відсутність флуоресцентного сигналу через 1 день після РРТТ

## Гетерогенний каталіз



Реакція гетерогенного каталізу на наночастинці золота за якої сілан ( $\text{SiH}_4$ ) у воді перетворюється на сіланол ( $\text{SiH}_3\text{OH}$ )

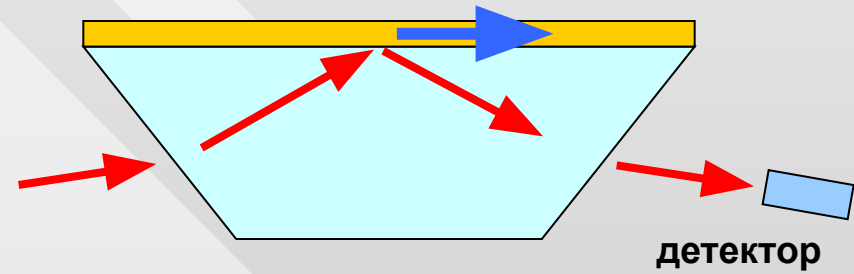
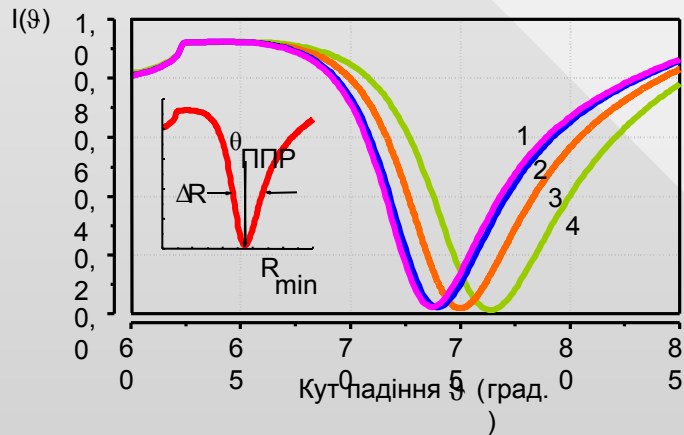
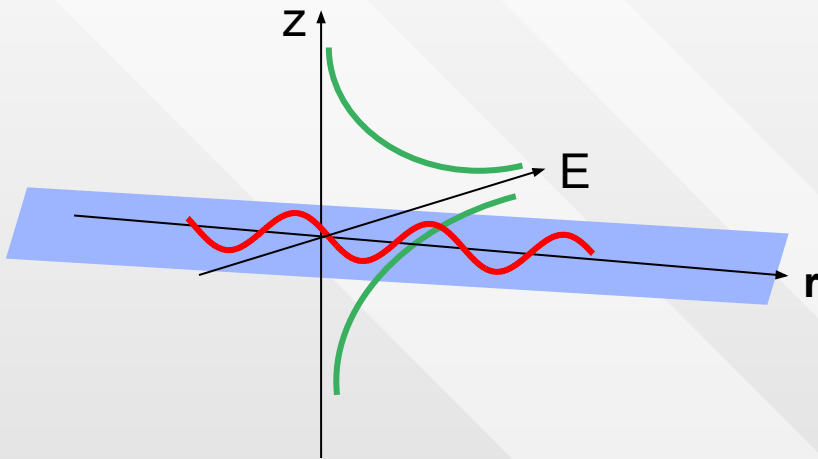


## Нанотехнології в Україні.

Датчик органічних молекул на основі поверхневого плазмон-поляритонного резонансу



# Поверхневий плазмон-поляритон



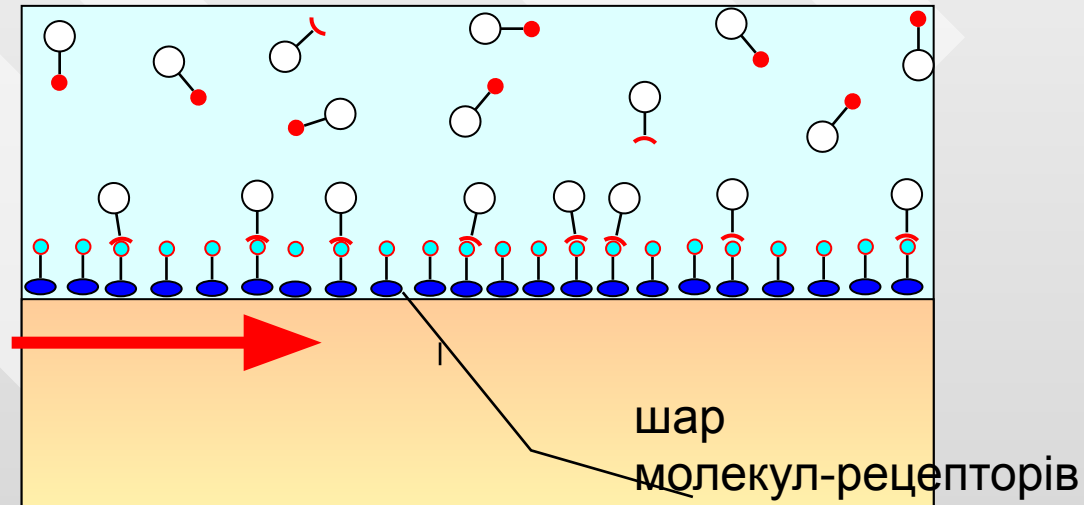
Часто виникає потреба визначення невеликих концентрацій органічних речовин у розчинах, наприклад провести аналіз крові. У лікарнях звертаються до послуг біохімічних лабораторій.

DREAM-ка: якби на поверхню попадали тільки потрібні молекули

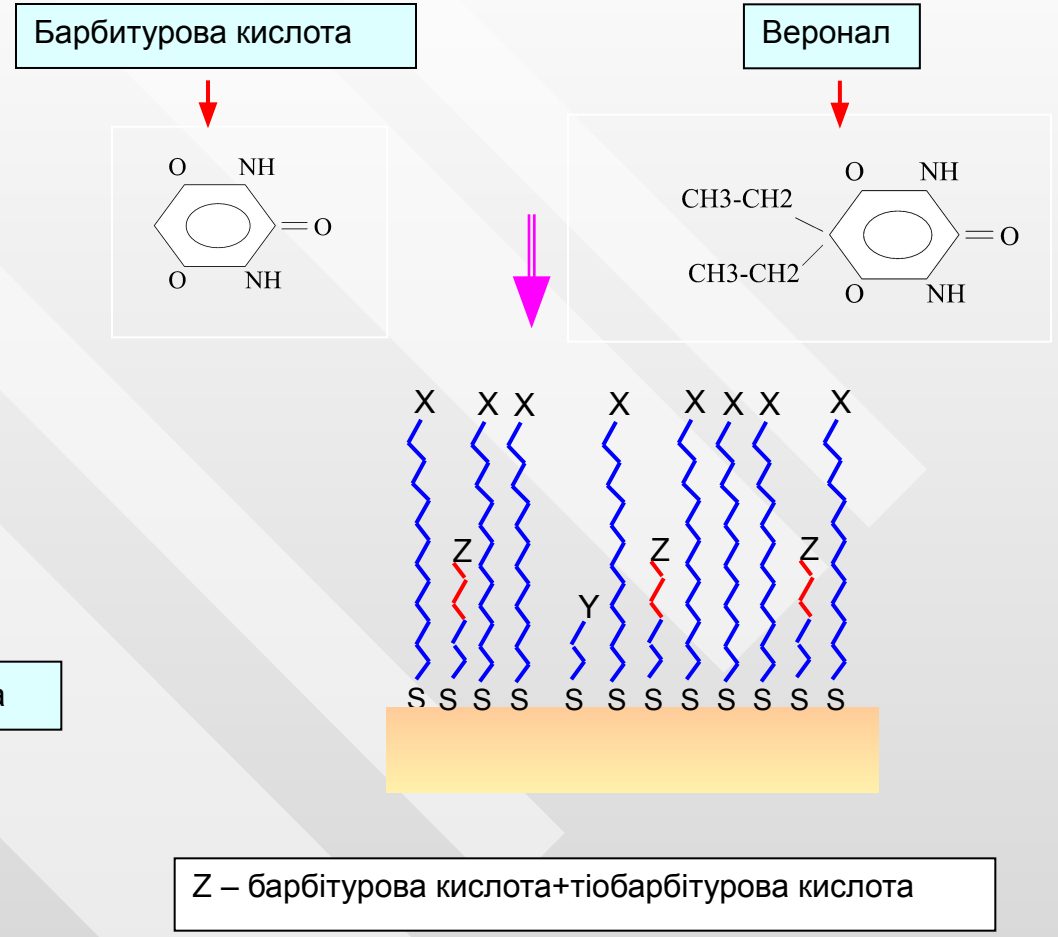
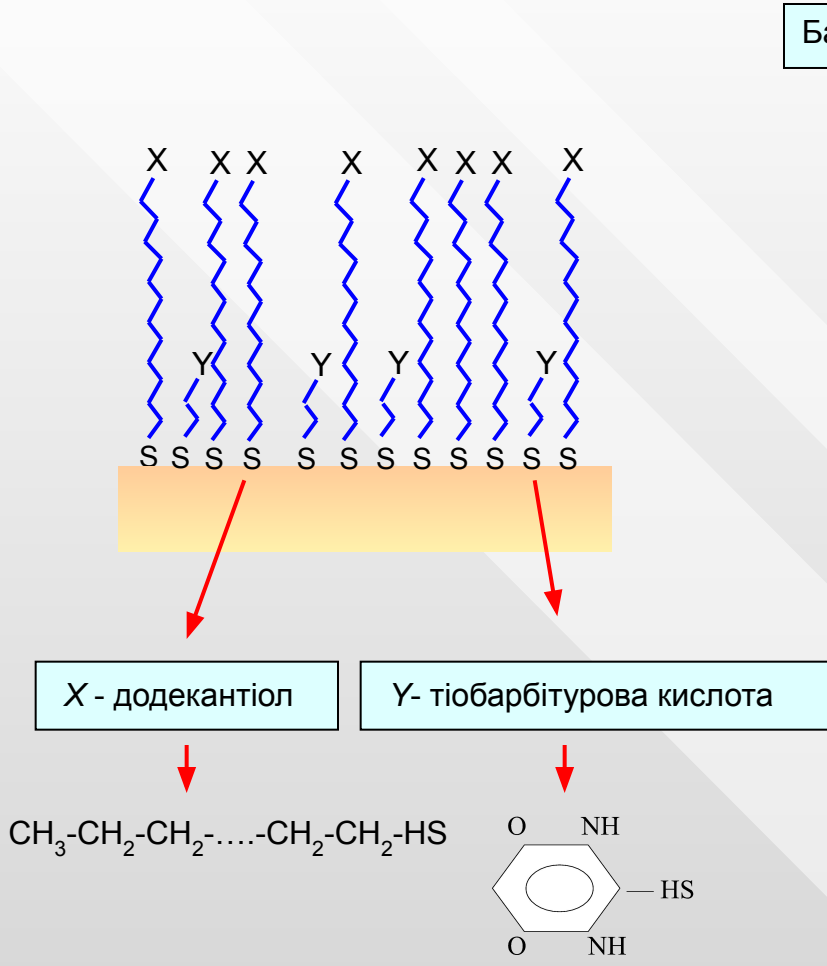


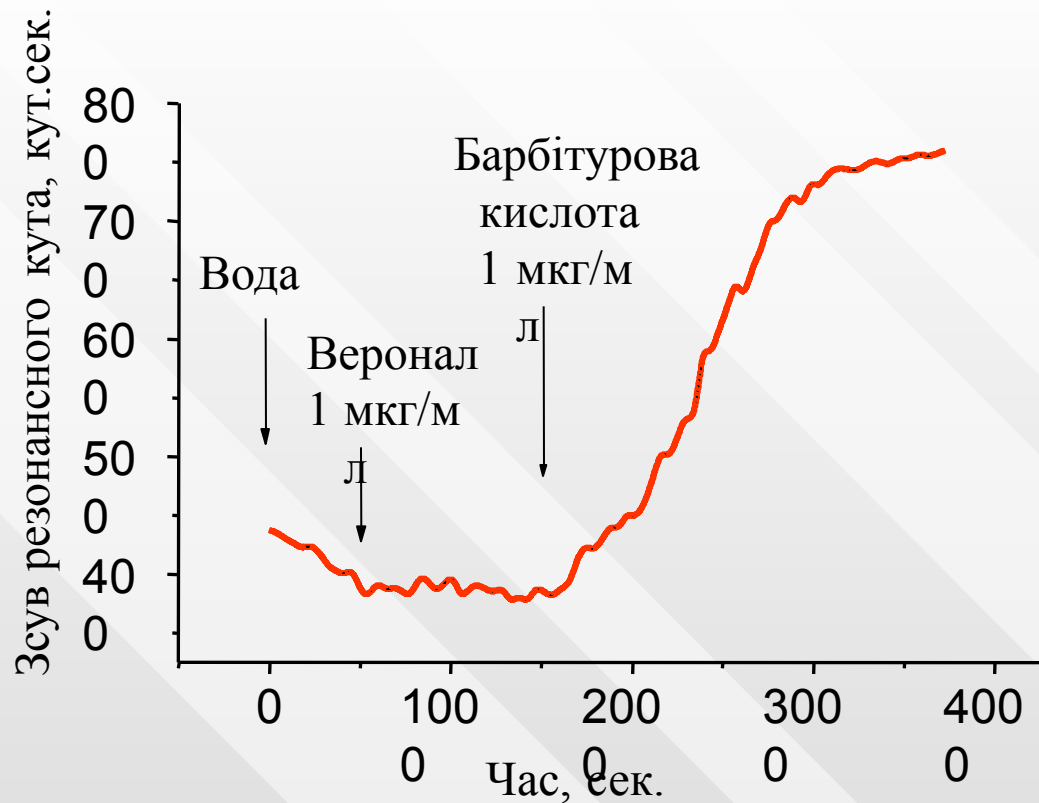
philipmartin.info

розчин біо-матеріалу



Підкладинка вздовж поверхні якої розповсюджується плазмон-поляритон





Сенсограма взаємодії веронала (1мкг/мл) та барбітурової кислоти (1мкг/мл) з органічною матрицею.

## Перелік рекомендованої літератури

### Основна:

1. V.Mitin, V.Kochelap, M.Strasio, "Quantum Heterostructures/ Microelectronics and Optoelectronics", Univ.Press., Cambridge, 1998
2. J.Davies, "The Physics of Low-Dimensional Semiconductors. An Introduction", Univ.Press., Cambridge, 1998
3. О.В.Третяк, В.З.Лозовський, Основи фізики напівпровідників. Том 2. /ВПЦ "Київський університет", 2009. ( розділ 16)
4. . О.В.Третяк, В.З.Лозовський, Фізика низьковимірних систем/ ВПЦ "Київський університет", 2013

### Додаткова:

1. O.Keller, Physics of local field // Phys. Rep.-1996.- v. 268, N2/3.
2. Girard C., Joachim C., Gauthier S. The physics of the near-field.// Rep.Prog.Phys.- 2000.-Vol.63.- P.893-938.

# Фізика низьковимірних систем

## I. Класичні ефекти в низьковимірних системах

1. Електропровідність тонких плівок
2. Оптика наносистем
3. Фізика ближнього поля

## II. Ефекти в системах з просторовим квантуванням

1. Квантові ями, квантові точки, квантові голки
2. Поперечний та повздовжний транспорт в квантових ямах
3. Надгратки
4. Квантовий транспорт
5. Квантовий ефект Холла
6. “Екзотичні” системи – фулерени, графени, вуглецеві трубки

## III. Системи зниженої розмірності (поверхневі ефекти)

1. Поверхневі плазмон-поляритони
2. Поверхневий плазмон-поляритонний резонанс

*To be continued*