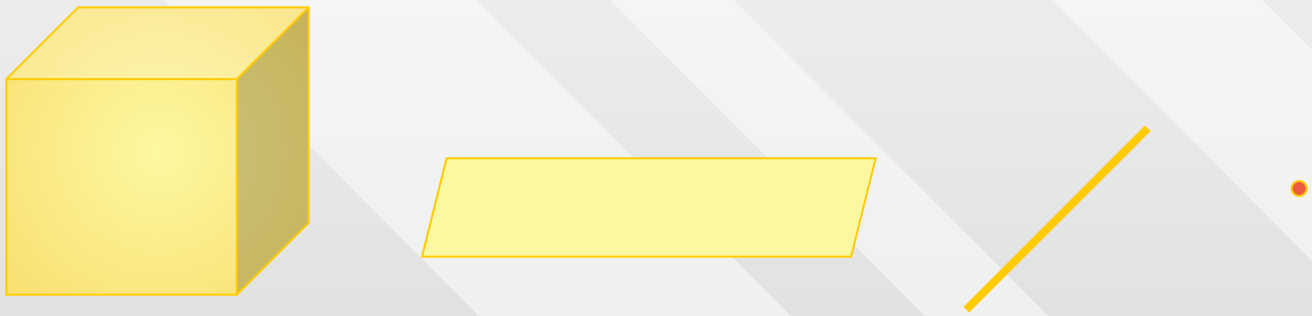
Київський національний університет ім.Т. Шевченка
Інститут високих технологій

ФІЗИКА НИЗЬКОВИМІРНИХ СИСТЕМ

ВСТУП

Що таке низьковимірні системи?



3D 2D 1D 0D

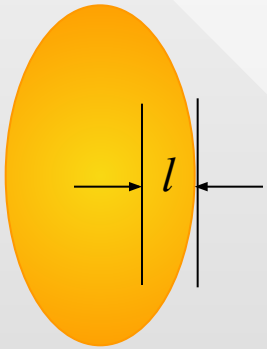
Електрон – це нульвимірний об’єкт?

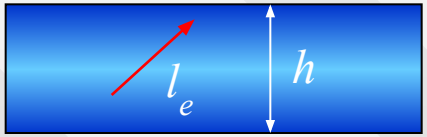
Definitely – NO! **Радіус електрона $4.5 \cdot 10^{-17}$ м**

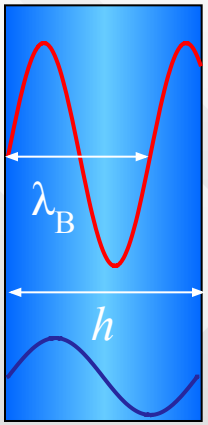
Що ж тоді є низьковимірні системи?

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 **квантоворозмірні ефекти**







$R \sim l$

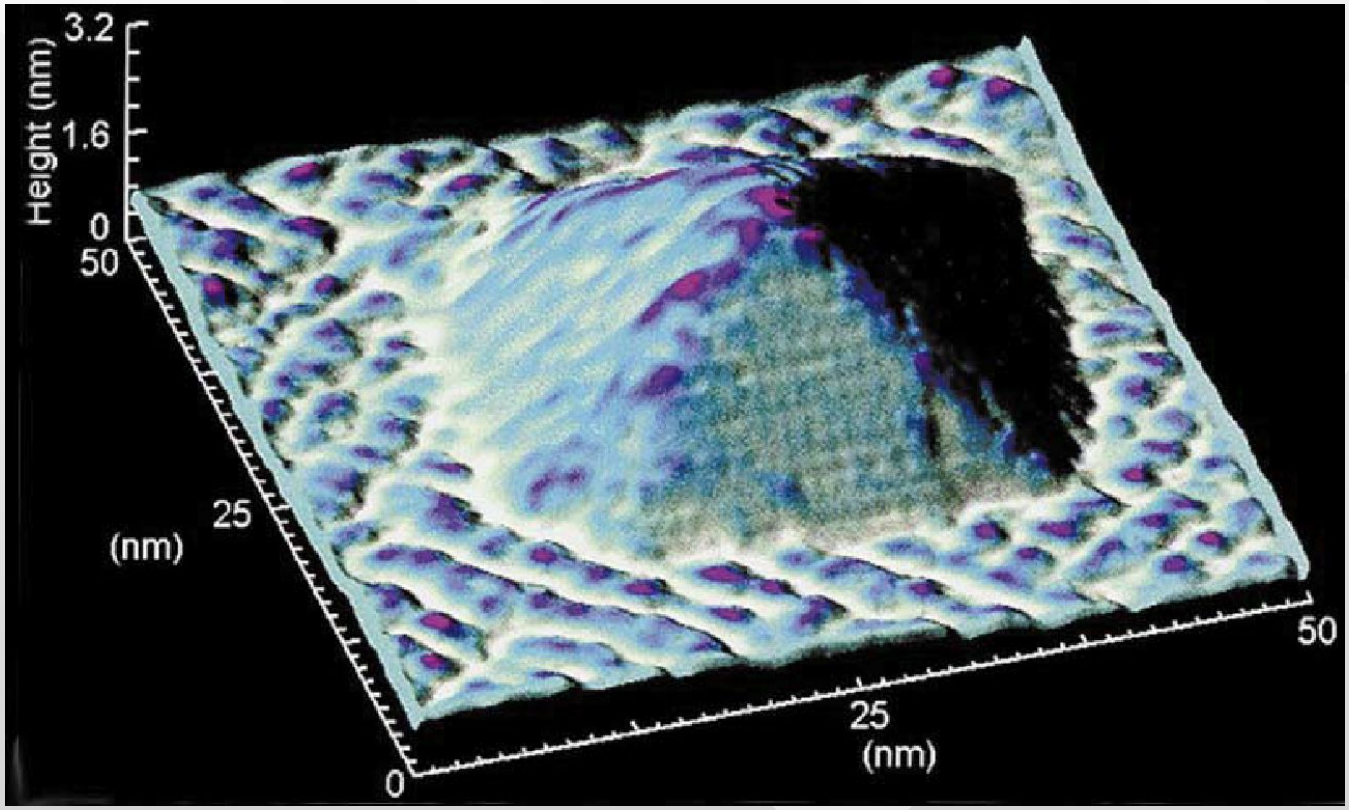
$h \sim l_e$

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

$l_e \sim 10^1 - 10^3\ nm$

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

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



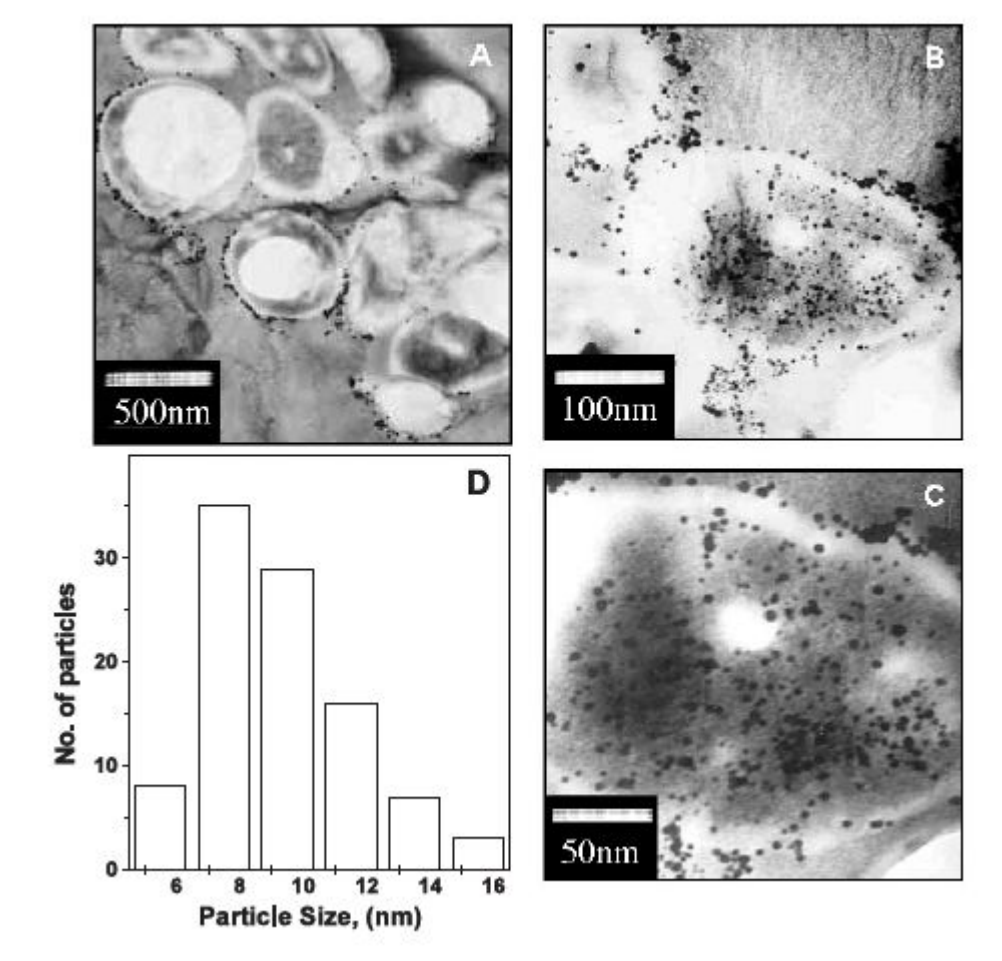
Створення наночасток (квантових точок) стандартним методом МПЕ

Загальний вигляд установки МПЕ (Інститут Вейцмана, Ізраїль)

Створення наночасток (квантових точок) за допомогою мікроорганізмів

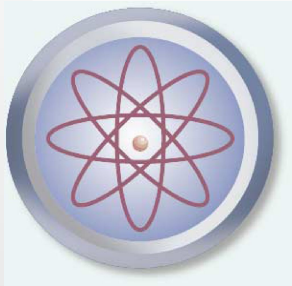
Культура мікроорганизмів *Rhodococcus*, що належать до актиноміцетів – бактерій, які беруть участь в процесах розкладення органічних речовин рослинного походження

Мікроорганизми *Rhodococcus* після витримки в 10^{-3} М водного розчину $HAuCl_4$. Зміна кольору пов'язана з виникненням наночастинок золота діаметром ~ 5-15 нм. Ці кокки діють як хімічний відновлювач, що перетворюють іони золота в наночастинки

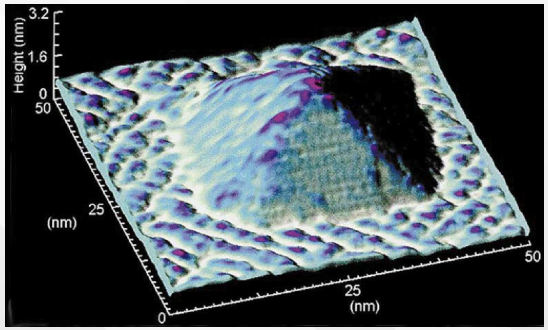


ТЕМ клітин *Rhodococcus* sp. з наночастинками золота

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



$$H\Psi = E\Psi$$

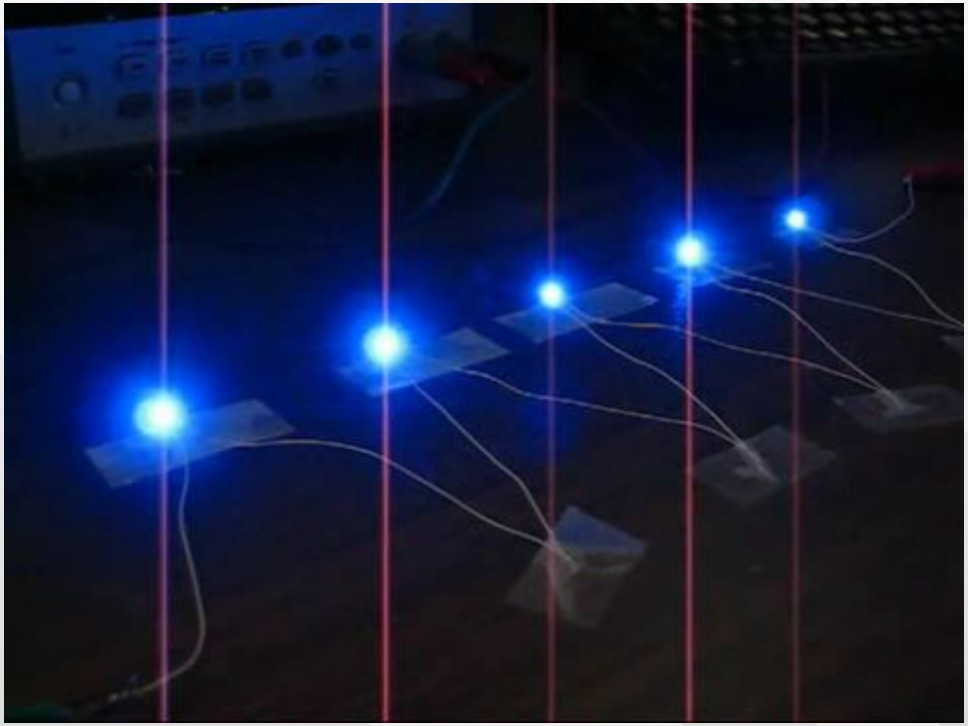


$$E_n = -\frac{mZ^2e^4}{2n^2\hbar^2},$$

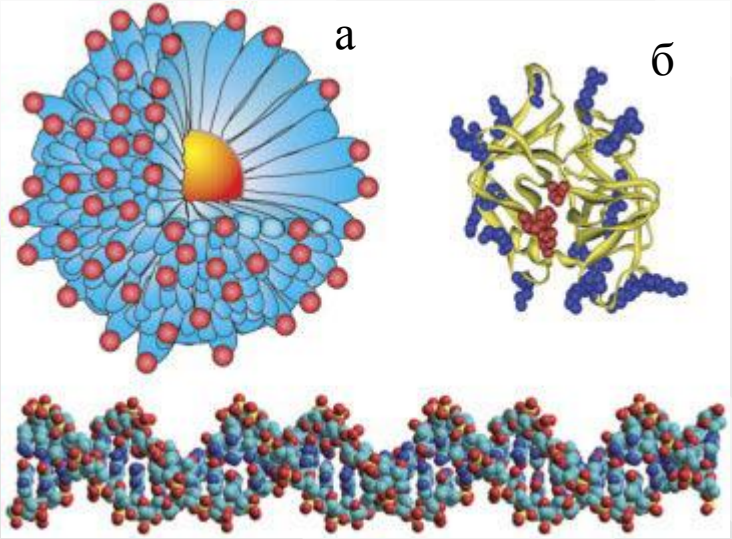
$$E_{n_1n_2n_3} = \frac{\hbar^2\pi^2}{2m^*}\left(\frac{n_1^2}{L_x^2} + \frac{n_2^2}{L_y^2} + \frac{n_3^2}{L_z^2}\right)$$

$n = 1, 2, \ldots$

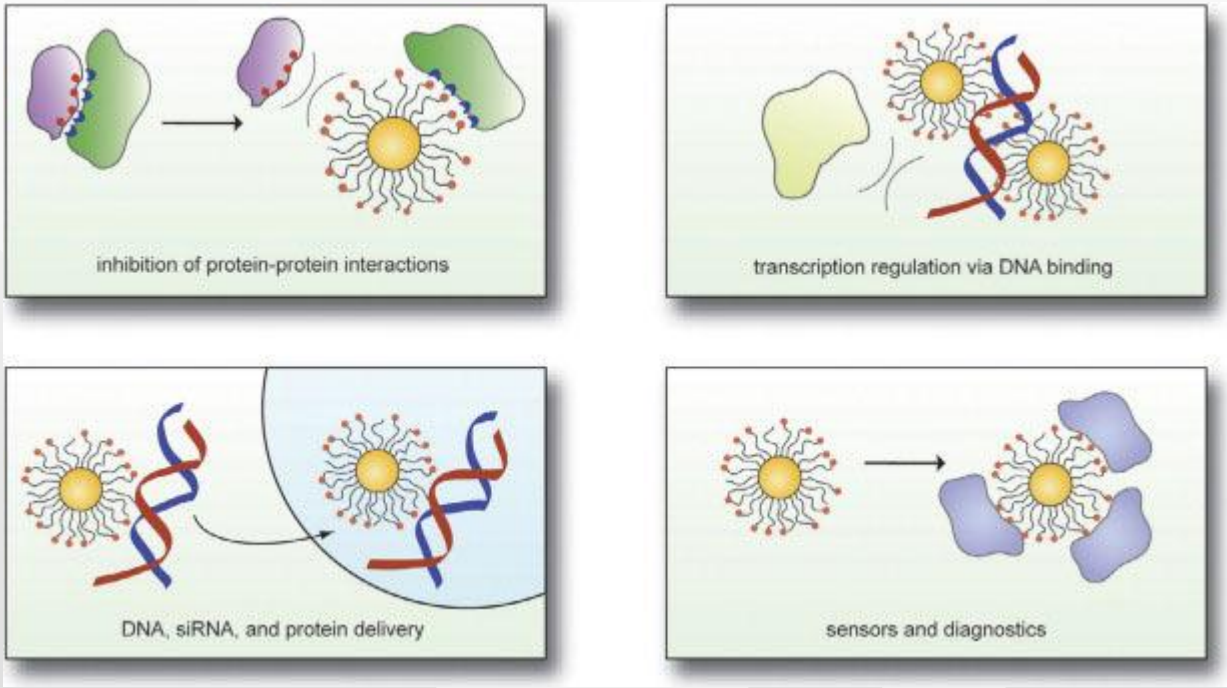
$n_1, n_2, n_3 = 1, 2, 3, \ldots$



Застосування квантових точок в біології



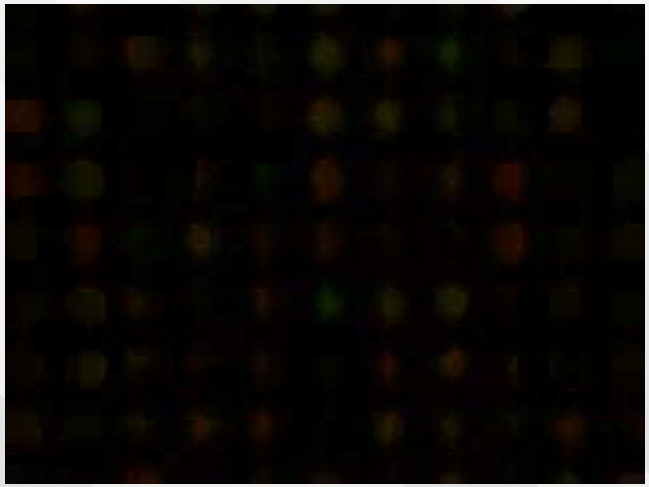
Порівняння розмірів: «а» - 2 нм наночастинка золота, що вкрита моношаром 11-меркаптоундеканової кислоти; «б» - молекула α-хімотрипсина; «в» - подвійна спіраль ДНК.



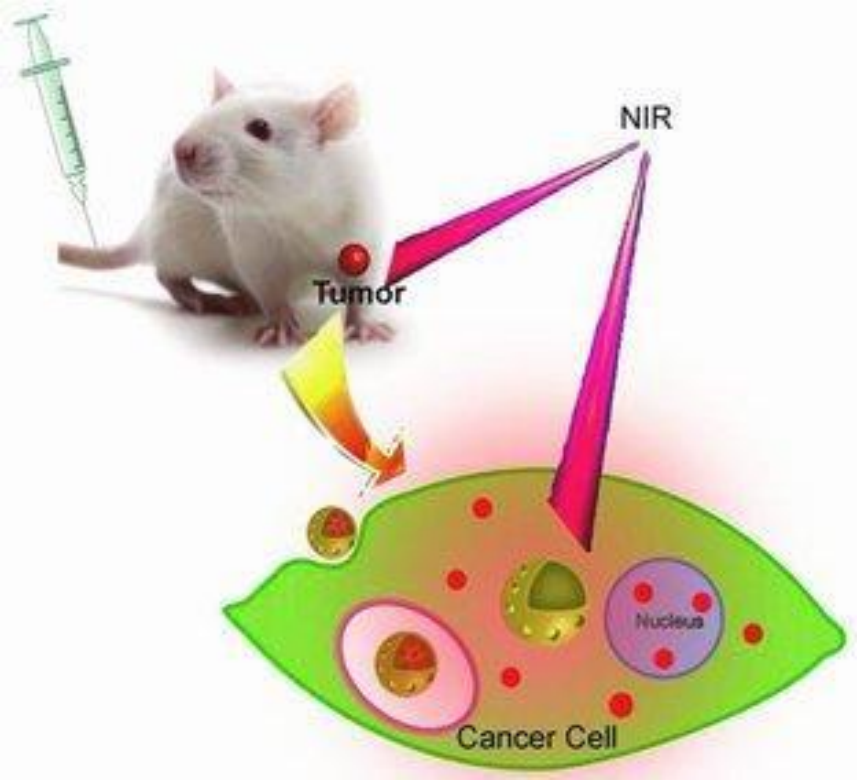
Області застосування взаємодії біомолекул з наночастинками: пригнічення взаємодії білок-білок, регулювання транскрипції через зв’язування ДНК, доставка ДНК, siРНК та білка до клітини, датчики та діагностика

Квантові точки в онкології

Плазмонна фототермальна терапія онкозахворювань



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

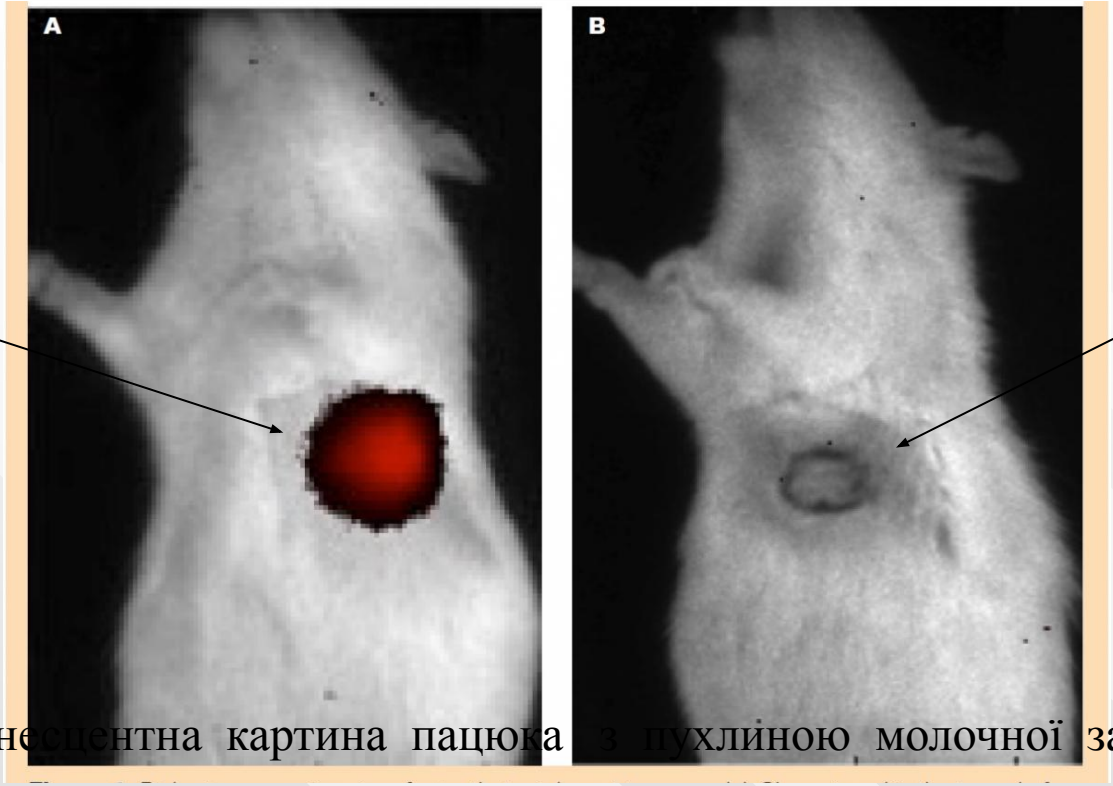


Ідея

Наночастинки поглинають світло у мілліони 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 онкотканини перевіщить 45^0 С, онкоклітини руйнуються

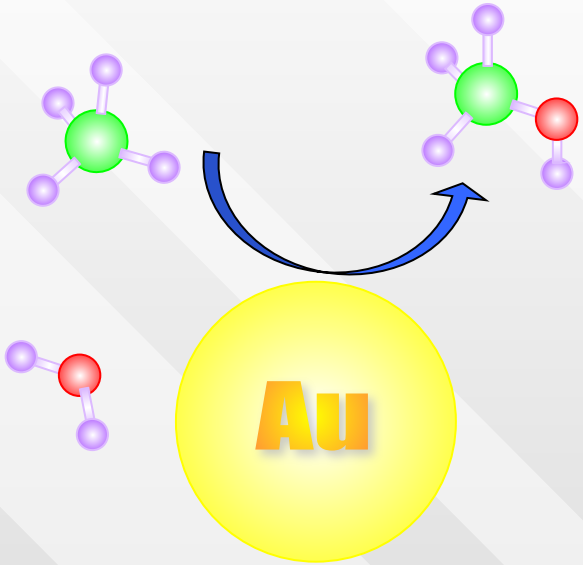
пухлина перед РРТТ



після РРТТ

Біолюмінесцентна 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

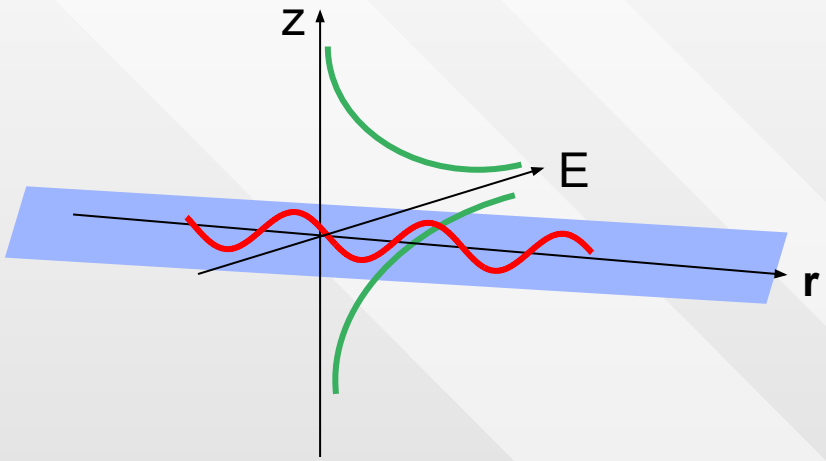


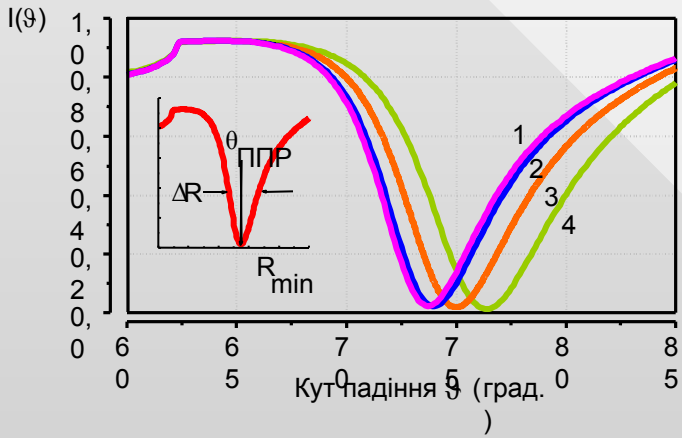
Реакція гетерогенного каталізу на наночастинці золота за якої сілан (SiH_4) у воді перетворюється на сіланол (SiH_3OH)

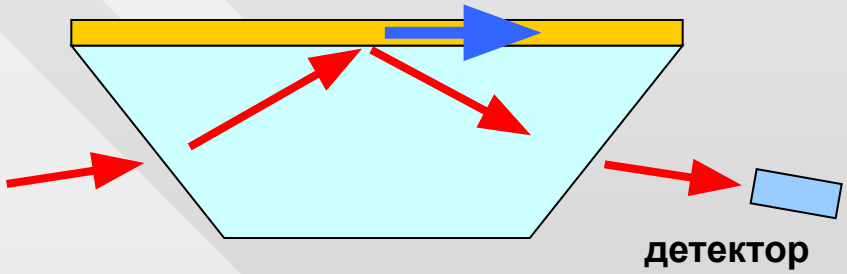
Нанотехнології в Україні.

Датчик органічних молекул на основі поверхневого плазмон-поляритонного резонансу

Поверхневий плазмон-поляритон

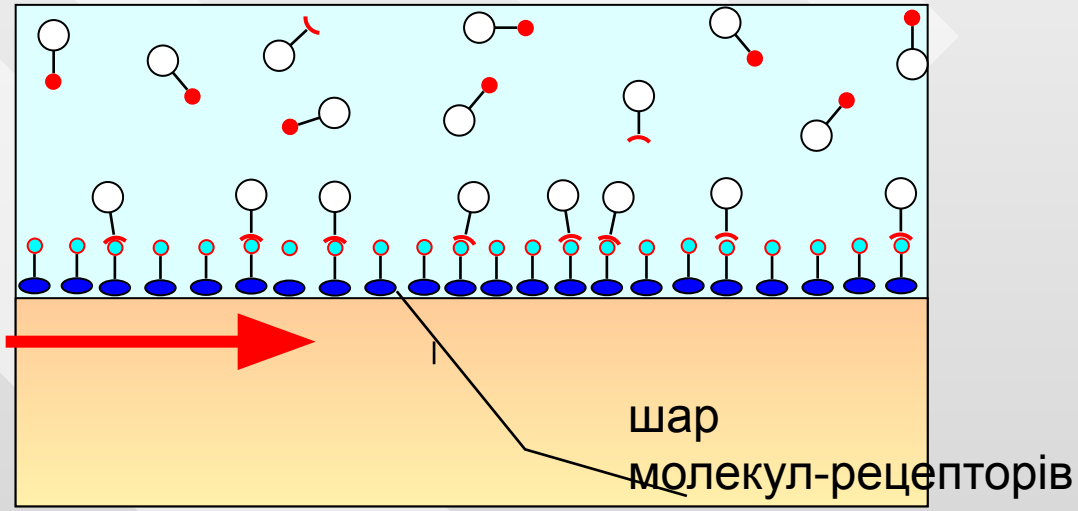




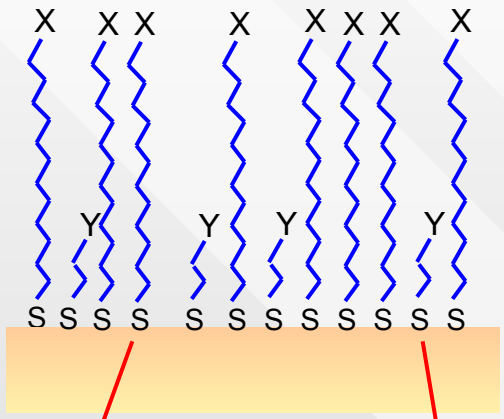


Часто виникає потреба визначення невеликих концентрацій органічних речовин у розчинах, наприклад провести аналіз крові. У лікарнях звертаються до послуг біохімічних лабораторій.

DREAM-ка: якби на поверхню попадали тільки потрібні молекули



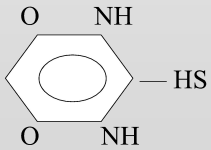
Підкладинка вздовж поверхні якої розповсюджується плазмон-поляритон



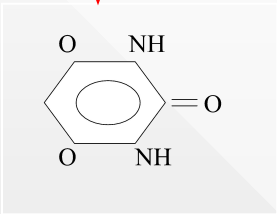
X - додекантіол

CH_3-CH_2-CH_2-….-CH_2-CH_2-HS

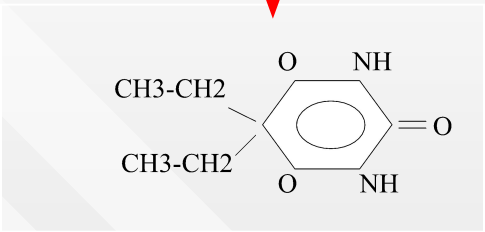
Y- тіобарбітурова кислота

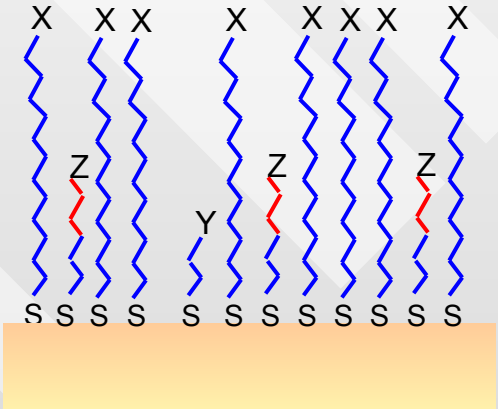


Барбитурова кислота

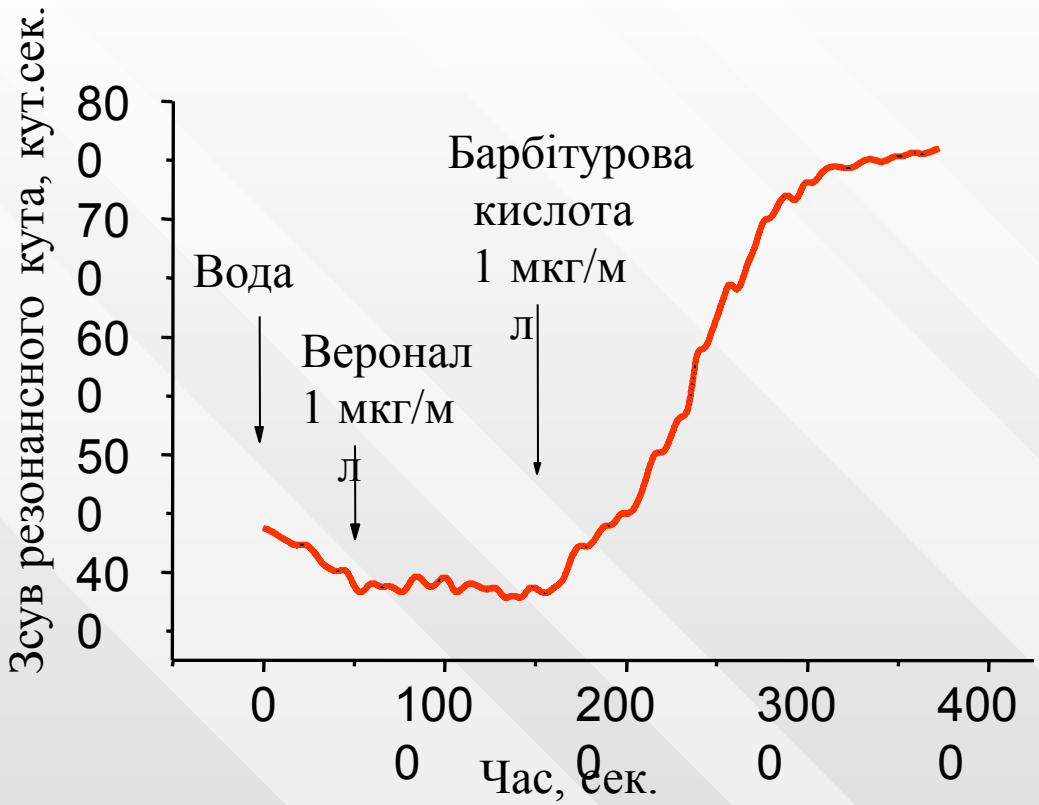


Веронал





Z – барбітурова кислота+тіобарбітурова кислота



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