

# ВЪЛНИТЕ НА ДЕ БРОЙЛ

## ВЪЛНОВА ФУНКЦИЯ И ВЪЛНОВИ СВОЙСТВА НА ЧАСТИЦИТЕ

### КВАНТОВАТА МЕХАНИКА – НАУКА ЗА МИКРОМИРА

1923-27



1980-

ВЕЛИКИЯТ ФУНДАМЕНТ

ТЕХНОЛОГИЧНАТА

РЕВОЛЮЦИЯ ВЪВ

ФИЗИКАТА НА

КОНДЕНЗИРАНАТА

МАТЕРИЯ



# 1900-1927 – великите фундаментални

## открития

ПРЕДИСТОРИЯТА: корпускулярна и вълнова теория за същността на светлината

Нютон – светлината се състои от частици с различни размери, които дават физиологично усещане за различен цвят.

Хюйгенс, Френел.....- светлината е вълна.

Планк, 1900 – светлината се излъчва на енергетични кванти.

Минават 23 години до:

Comptes rendus, Vol. 177, pp. 507-510 (1923).

SÉANCE DU 10 SEPTEMBRE 1923. 507

RADIATIONS. — *Ondes et quanta* (1). **Note de M. LOUIS DE BROGLIE**, présentée par M. Jean Perrin.

Considérons un mobile matériel de masse propre se mouvant par rapport à un observateur fixe avec une vitesse  $v$ . D'après le principe de l'inertie de l'énergie, il doit posséder une énergie interne égale à  $\frac{1}{2}mv^2$ . D'autre part, le principe des quanta conduit à attribuer cette énergie interne à un phénomène périodique simple de fréquence telle que.....

# Relativity

$$E = mc^2 = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

Kinetic energy term      Rest mass energy term

rest mass = 0

Momentum of a photon

$$p = \frac{E}{c}$$

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c}$$

Wavelength-energy relation

$$\lambda = \frac{h}{p} \text{ for photon}$$

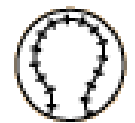
The de Broglie Hypothesis

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \text{ for electron?}$$

Photoelectric effect

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Does this relationship apply to all particles? Consider a pitched baseball:



$$v = 40 \text{ m/s} \approx 90 \text{ mi/hr}$$

$$m = 0.15 \text{ kg} \quad \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{(0.15 \text{ kg})(40 \text{ m/s})} = 1.1 \times 10^{-34} \text{ m}$$

For an electron accelerated through 100 volts:  $v = 5.9 \times 10^6 \text{ m/s}$

Электрон

$$\lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(5.9 \times 10^6 \text{ m/s})} = 1.2 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.12 \text{ nm}$$

Atomic diameter	$10^{-10} \text{ m}$
Nuclear diameter	$10^{-14} \text{ m}$

This is on the order of atomic dimensions and is much shorter than the shortest visible light wavelength of about 390 nm.

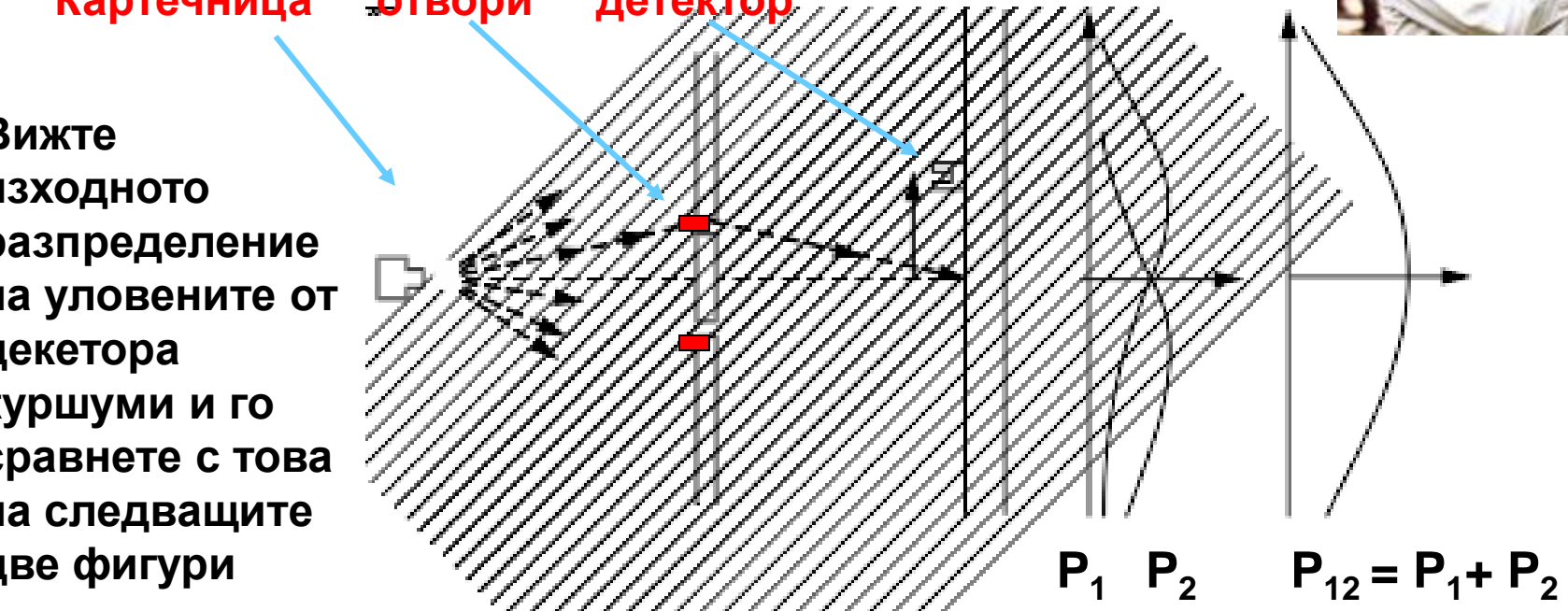
Квантовата механика – наука за микромира. Малки  
размери на обектите, ниски температури  
дължини на вълните, съизмерими с атомите и молекулите  
Експериментално потвърждение:

Томсън (Ирландия); Дейвисън и Джърмър (Бел, САЩ), 1927 –  
изследване на кристал от никел с електрони – дифракция, аналогична  
на дифракцията с рентгенови лъчи.

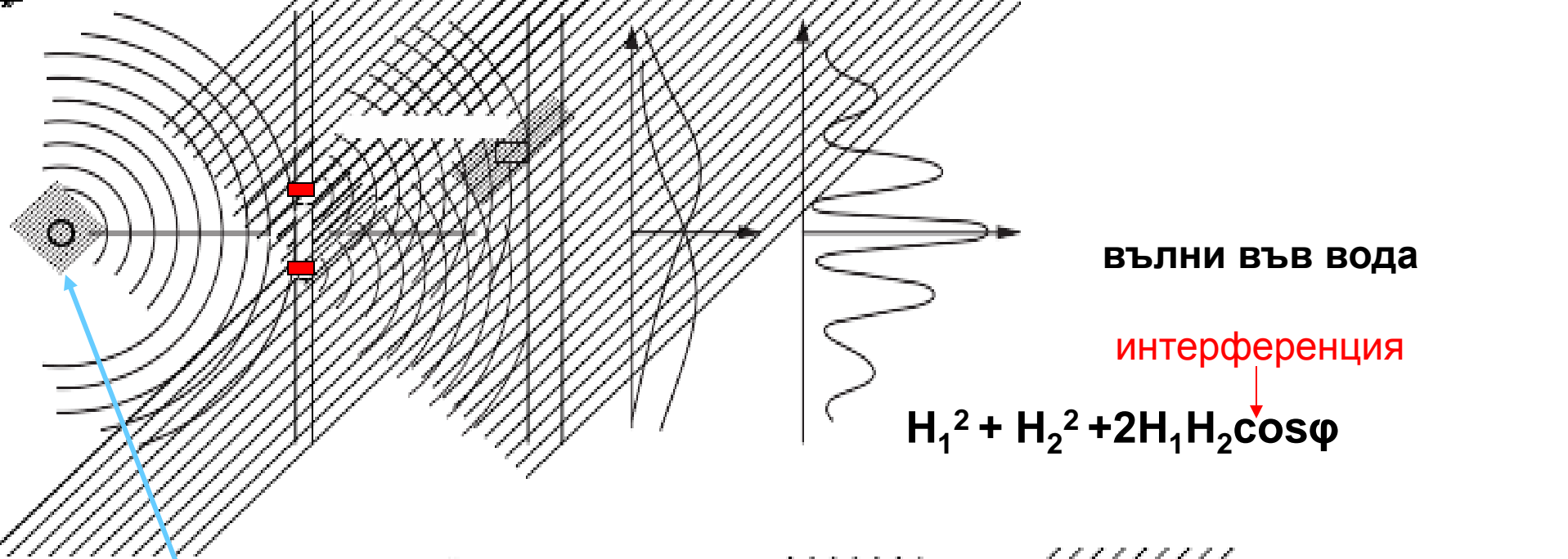
Сравнителен експеримент, описан от Ричард Файнман:

(“другият велик ум след Айнщайн”)

Картенцица    отвори    детектор



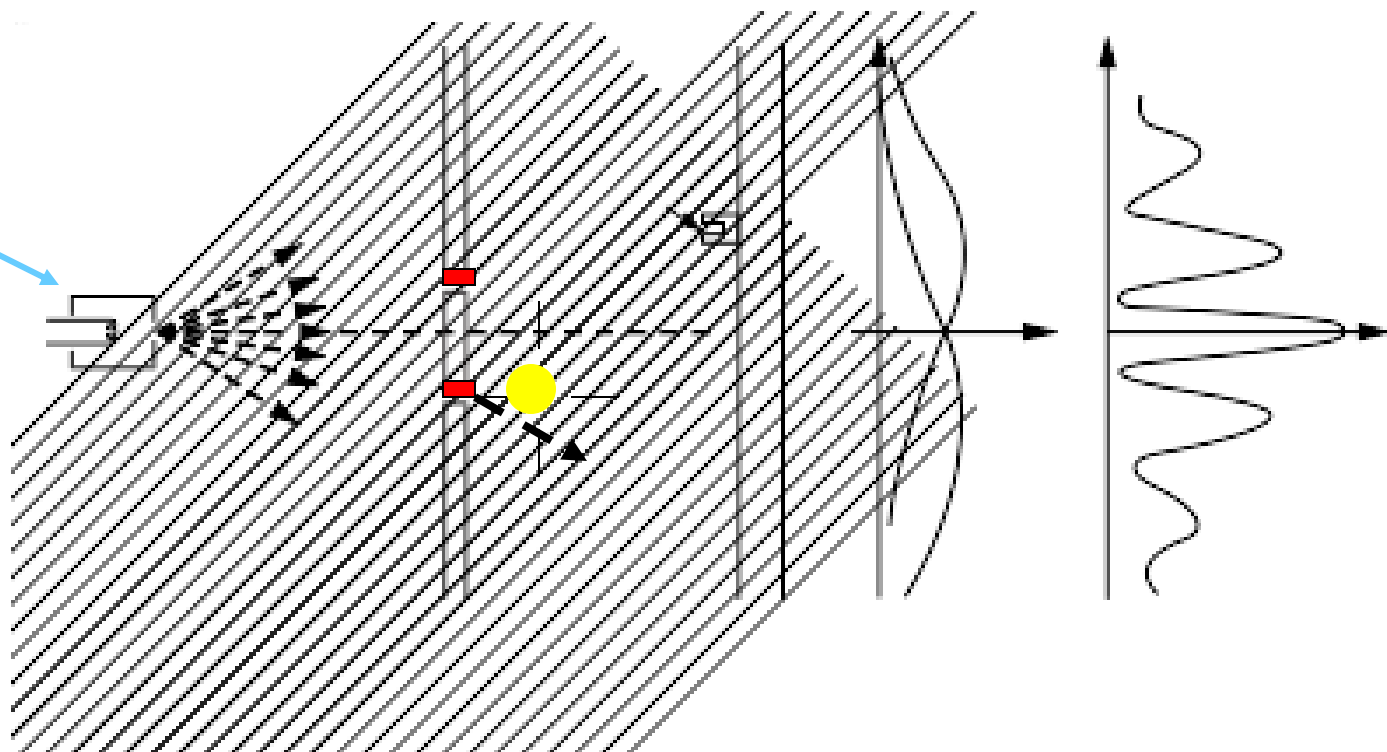
Вижте  
изходното  
разпределение  
на уловените от  
детектора  
куршуми и го  
сравнете с това  
на следващите  
две фигури



ИЗТОЧНИК

електрони

През кой отвор  
минава електронът?



# Принцип за неопределеността – Хайзенберг 1927

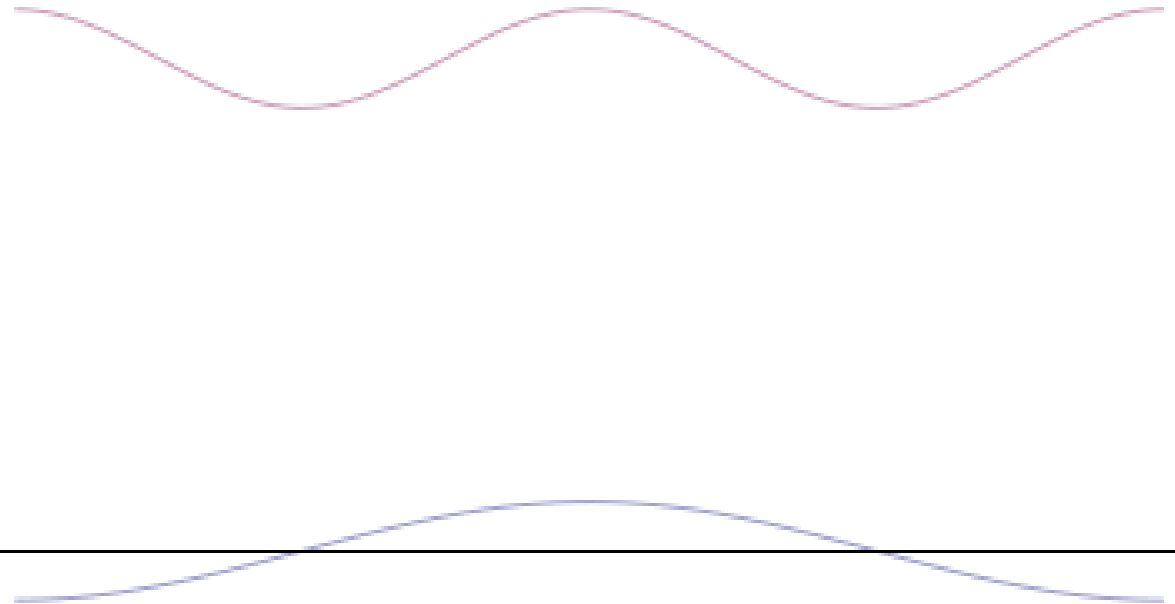
а) от предишния експеримент – не можем да знаем през кой процеп е минал даден електрон; ако се опитаме да го проследим чрез осветяване със светлина, взаимодействието с фотона го смущава и той “загубва” вълновите си свойства. Дифракцията идва само от електроните, които не виждаме, а само чуваме в детектора.

б) от свойствата на вълновите пакети – колкото по-точно познаваме пространственото разположение на частицата (по-тесен е вълновият ѝ пакет), толкова по-широк става Фурие-спектърът ѝ, т. е. нараства неопределеността в честотата на вълната ѝ.

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$p = \hbar k = \hbar \omega / v$$

Принципът за  
неопределеност и  
квантуването на  
енергията





**Величие** на коя степен?

## Нобеловите лауреати по физика след големите открития



1929

—

[Prince Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie](#)

France



1930

—

[Chandrasekhara Venkata Raman](#)

India

1931



1932

—

[Werner Heisenberg](#)

Germany



1933

—

[Erwin Schrödinger](#)

Austria



Де Бройл  $\longrightarrow$  Дебай (щом частицата е и вълна, тя трябва да удовлетворява някакво уравнение, аналог на вълното уравнение в класическата физика)  $\longrightarrow$

Шрьодингер:

$$E\Psi(\mathbf{r}) = \left[ \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\mathbf{r}) \right] \Psi(\mathbf{r})$$

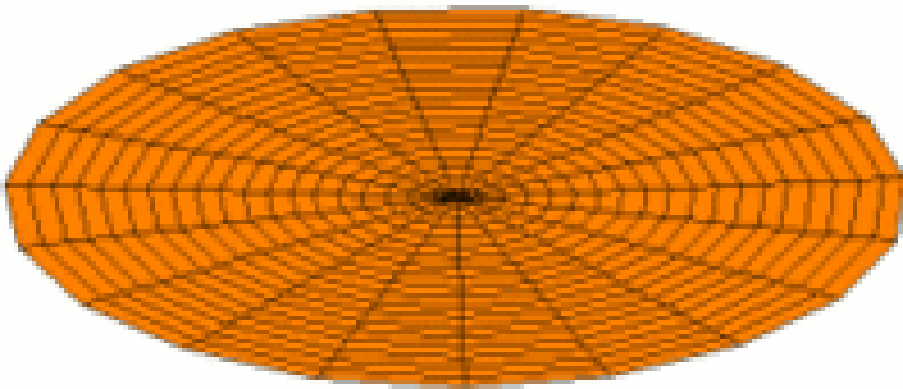
Вълнова функция  $\psi(x,t)$  - в общия случай комплексна.  
Смисъл на модула и фазата

В атомната физика:

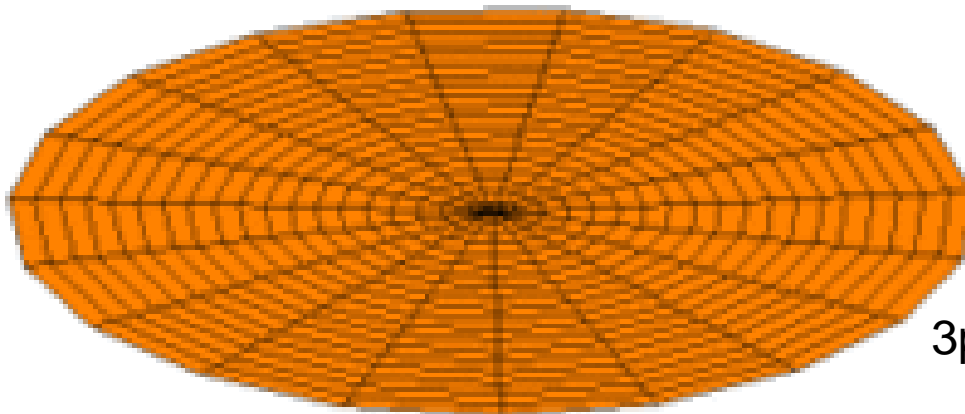
$$\psi(r, \theta, \varphi) = R(r) \Theta(\theta) \Phi(\varphi).$$

$|\psi(r)|^2$  – плътност на вероятността за

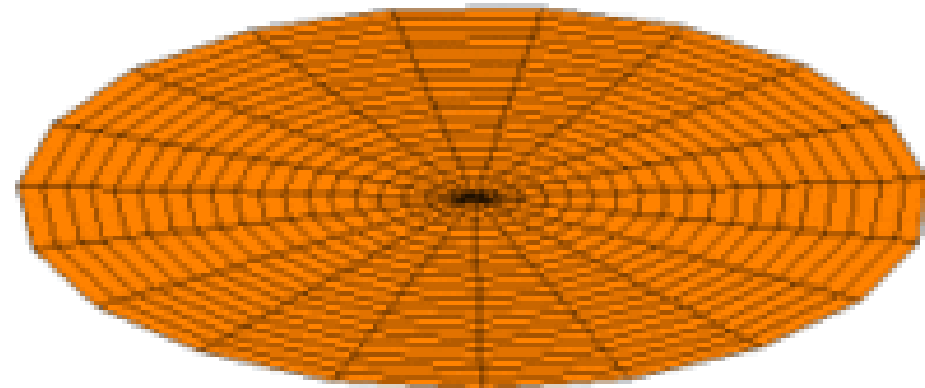
намиране на електрона в дадена точка



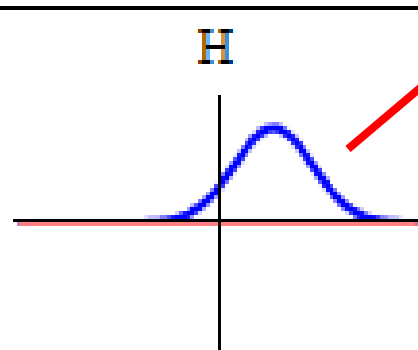
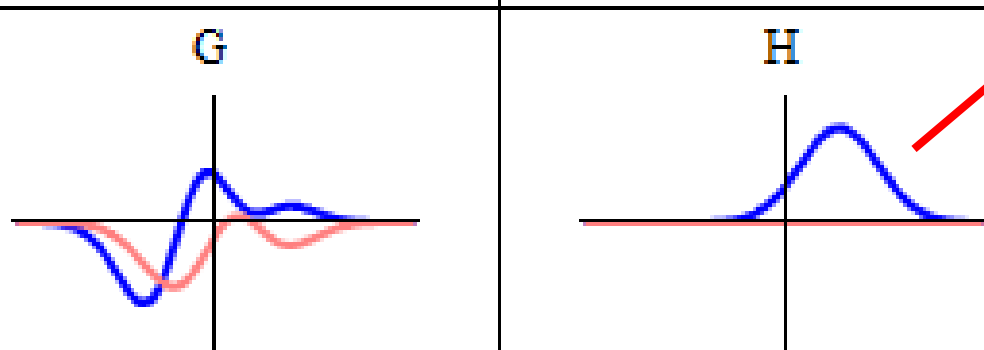
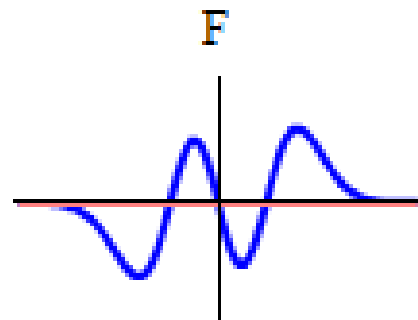
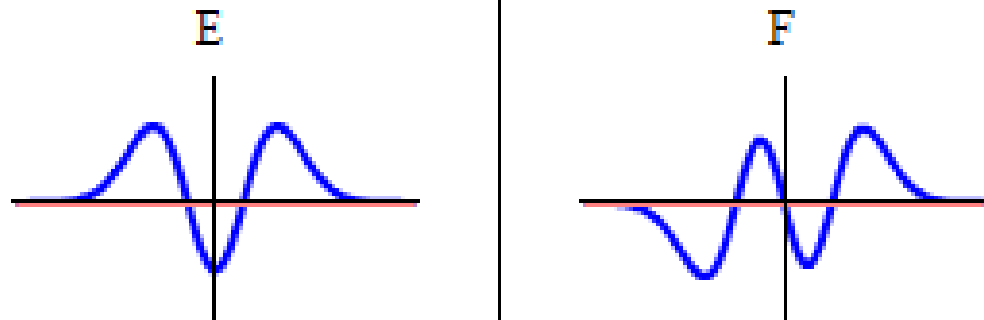
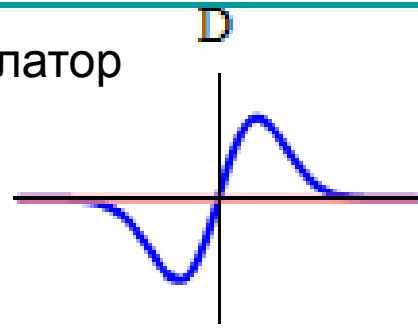
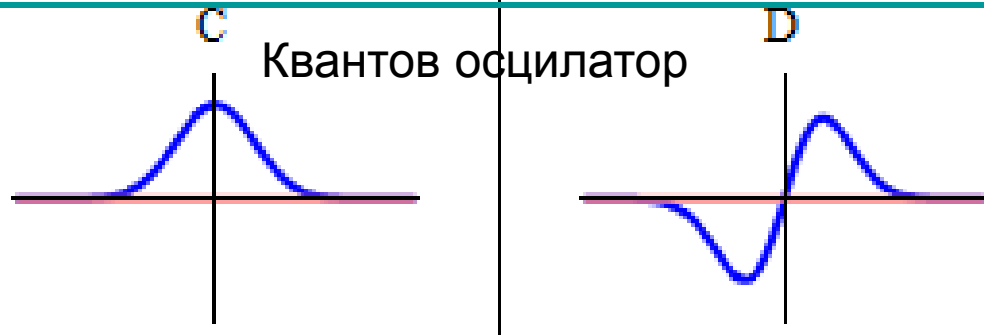
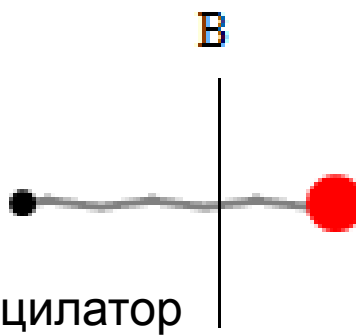
2p orbital



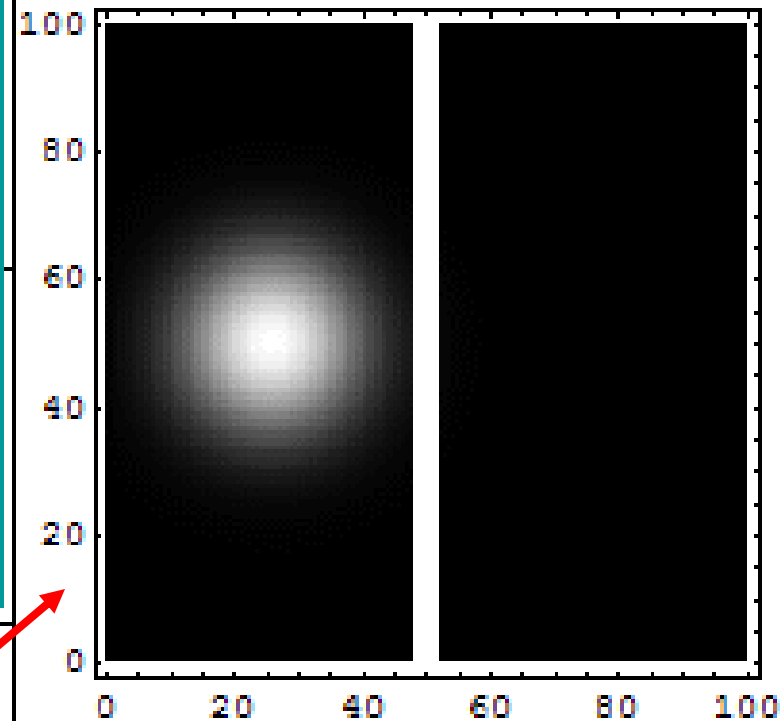
3p orbital



4p orbital

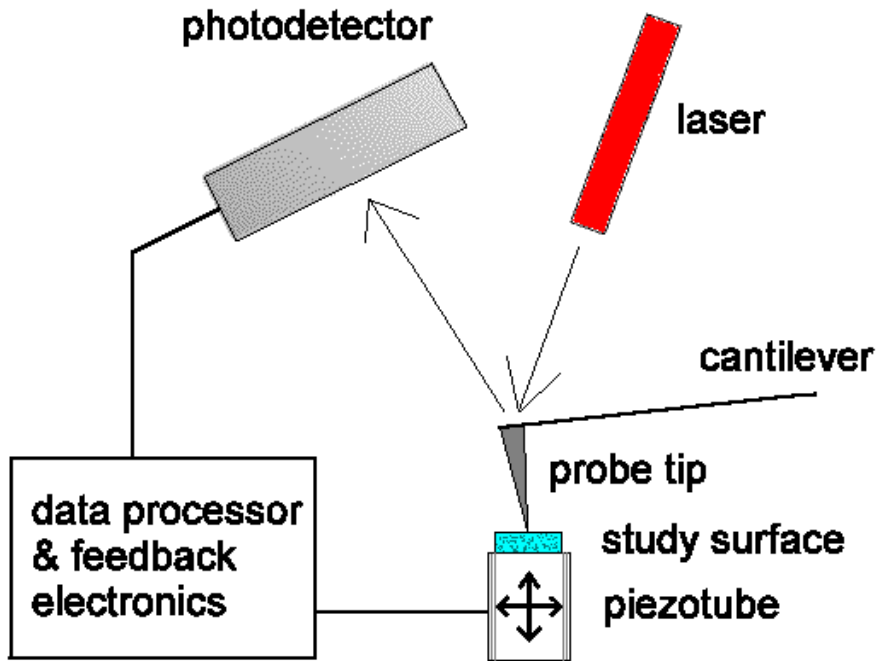


Ефект тунел през преграда – най-илюстративният пример за вълновите свойства на електрона. Вижте надиплянето поради появата на стоящи вълни след отражението.

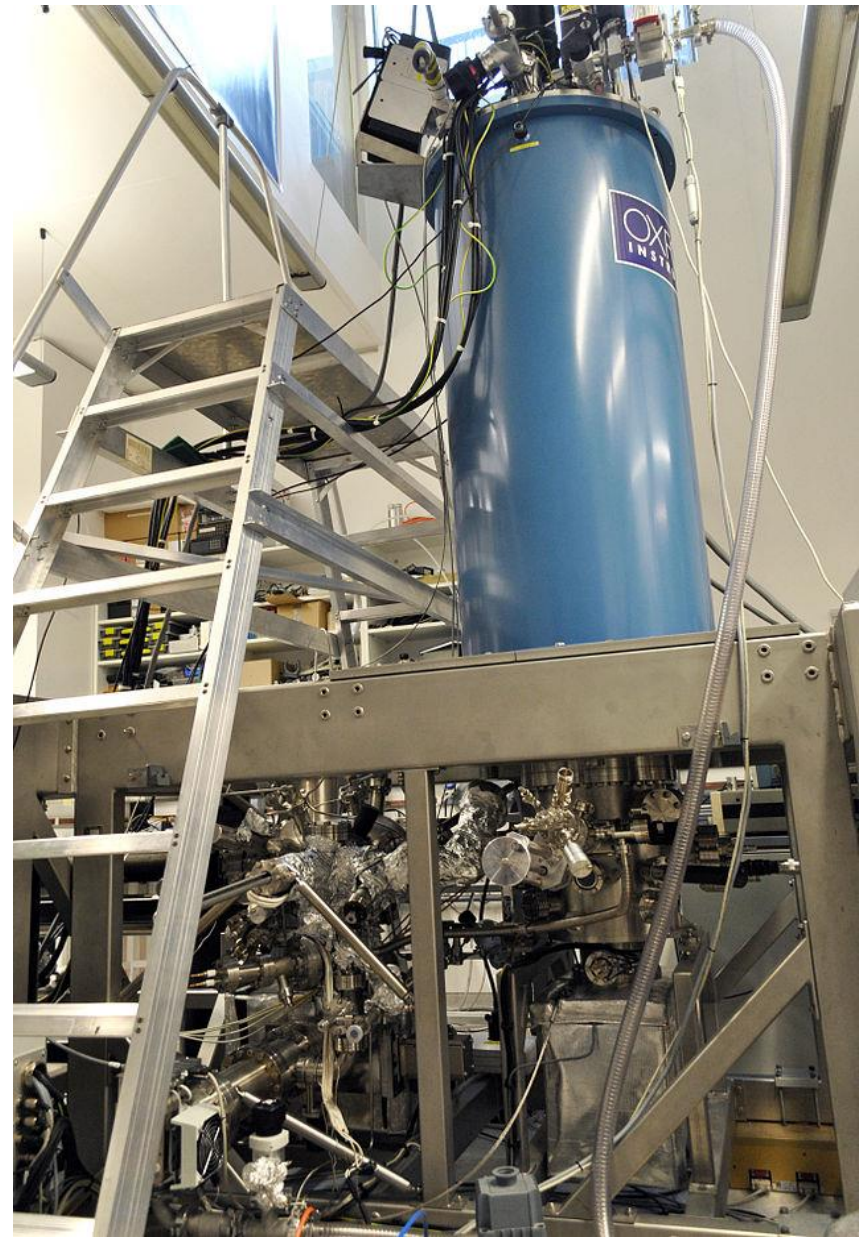


Синя линия – реалната част на вълновата функция, червена – имагинерната част.

Сканиращи микроскопи – тунелен, атомно-силон и др. Работят с острие, закрепено на конзола, което сканира повърхността на изследвания обект. Индикация за разстоянието до повърхността е тунелният ток или силата на взаимодействие. При поддържането им константа получаваме профила на повърхността с точност, определена от размера на върха на стрието (един атом). Така навлизаме и във вълновите функции на електроните.

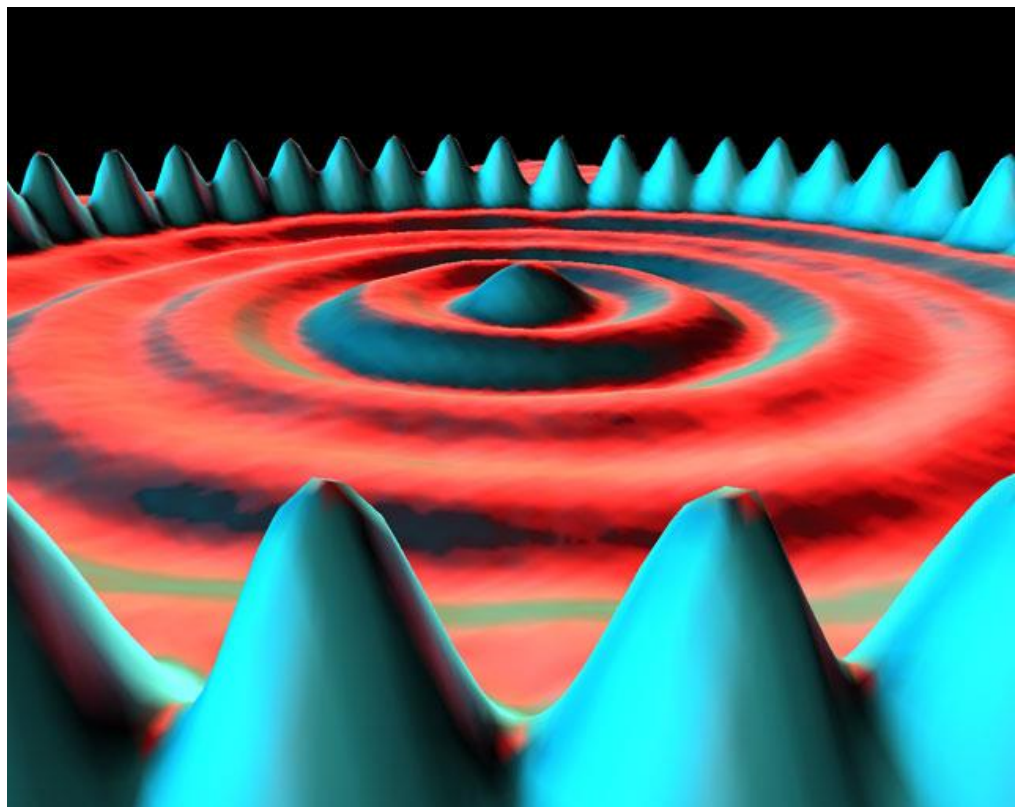
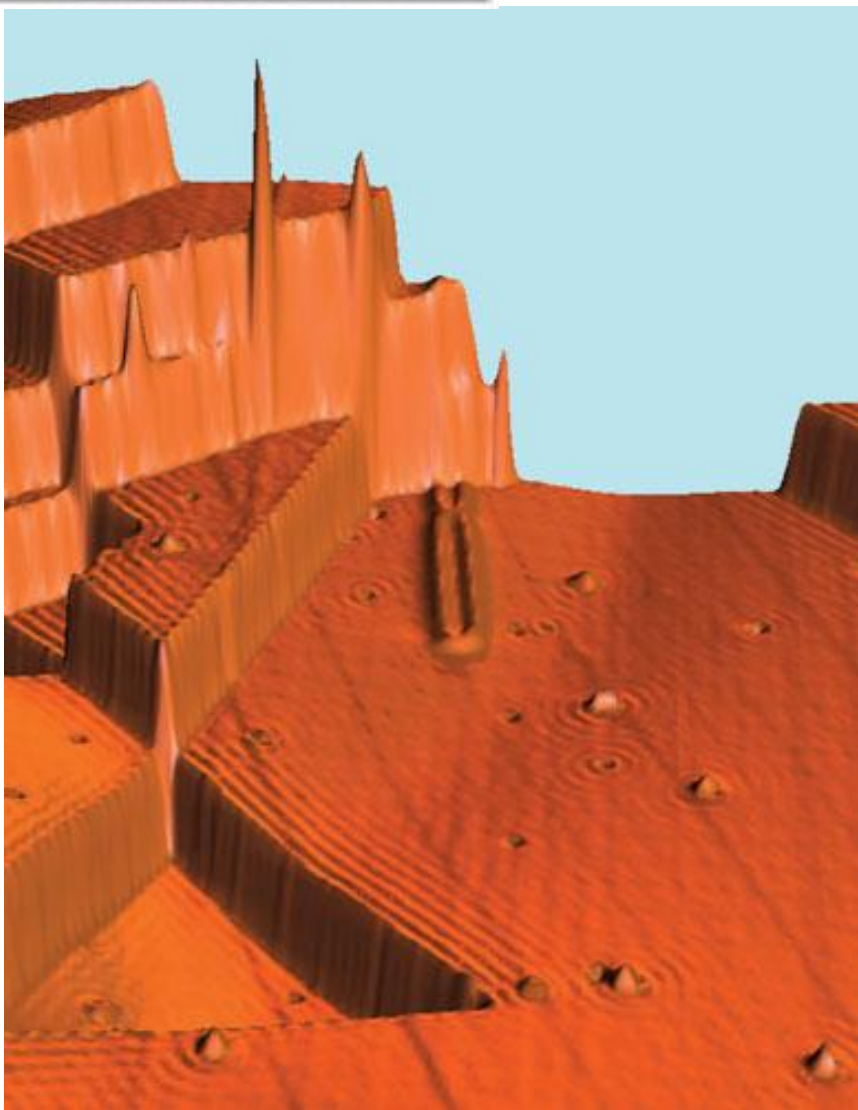


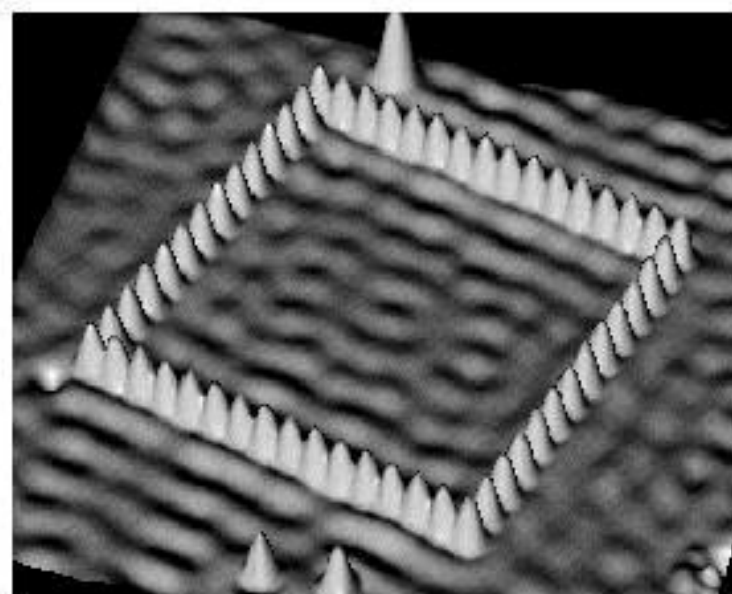
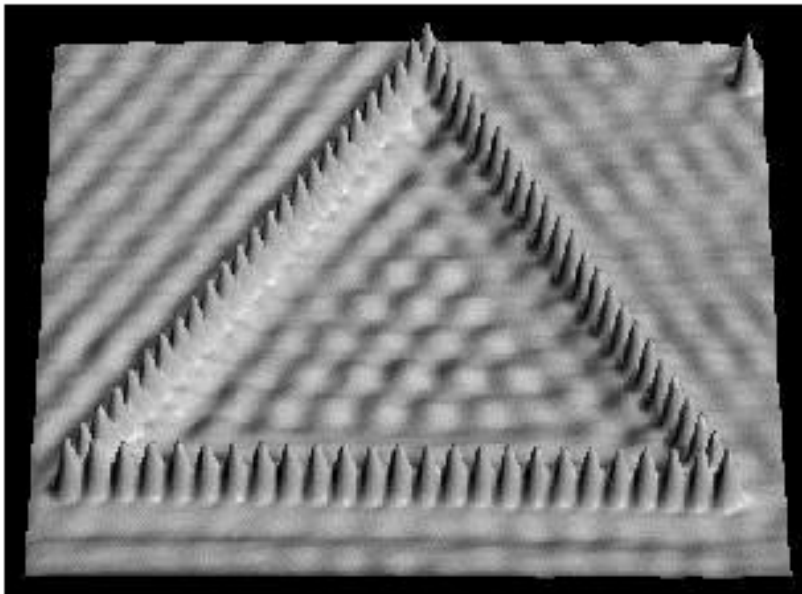
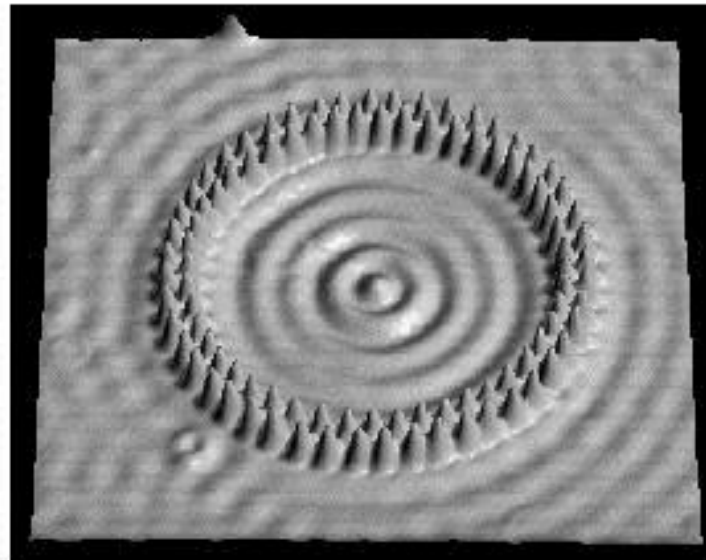
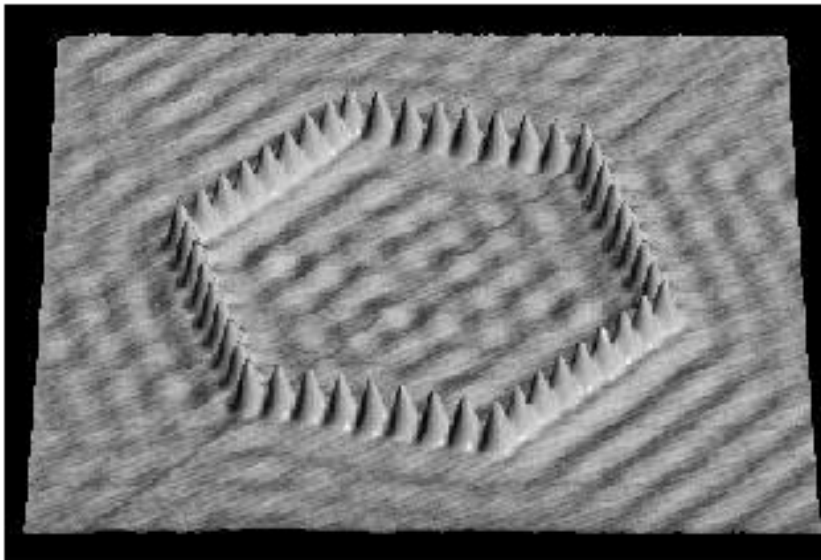
A large scanning tunneling microscope, in the labs of the London Centre for Nanotechnology





Сканирацията микроскоп (STM, AFM...) може да се използва не само за визуализация, но и за преместване (поставяне) на атоми. Вляво – Дон Ийглер, 1989 г., 35 хенонови атома изписават името на неговата компания. Снимките, които виждате долу, са върху медна повърхност. Квантовият корал вдясно е получен с поставяне на 48 железни атома. Виждате стоящите вълни на електроните на повърхността, получени в резултат на взаимодействието.





Други форми на железните атомни образувания върху медна повърхност и ефектът върху вълните на електроните.

Два основни аспекта на високите технологии, свързани с квантовата механика:

- Наблюдението на вълните на електроните; проверка на хипотезите.
- Създаване на прибори на микроелектрониката от ново поколение.

На базата на тунелния ефект са разработени тунелни диоди с отрицателно съпротивление и тунелни транзистори с извънредно високи честоти (2000 GHz), както и полеви транзистори с един електрон (изкуствен атом).

Върху хетеропреходи и свръхрешетки (редуване на тънки слоеве от полупроводници с близка ширина на забранената зона) се реализират съвременните транзистори с висока подвижност на носителите на заряд, както и твърдотелни лазери.

Наночастици с различни размери и форма (пръчки, сфери, тертраподи) се използват като силно адсорбиращи елементи в химическите газови сензори и като агенти в медицината. Силен ефект върху чувствителността и разделителната способност.

.....

“There’s plenty of room at the bottom.” (има достатъчно място на дъното)

Richard Feynman, 1959