

Röntgensugárzás a tudományban

Faigel Gyula, MTA Wigner FK SZFI, 2015

Bevezetés

Röntgensugárzás a - biológiában

- kémiában

- szilárdtestfizikában, anyagtudományban

- archeológiában és művészetekben

Zárszó

Térbeliség

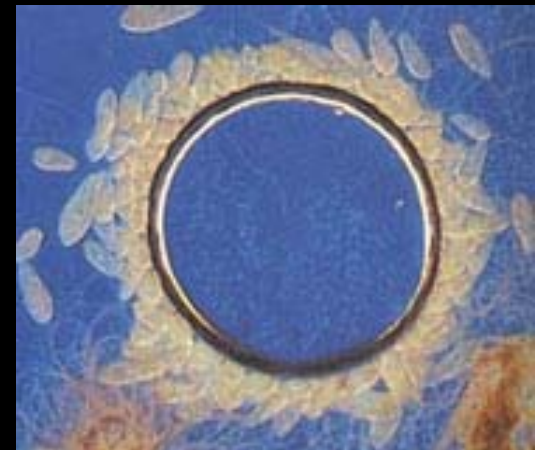


Androméda galaxis

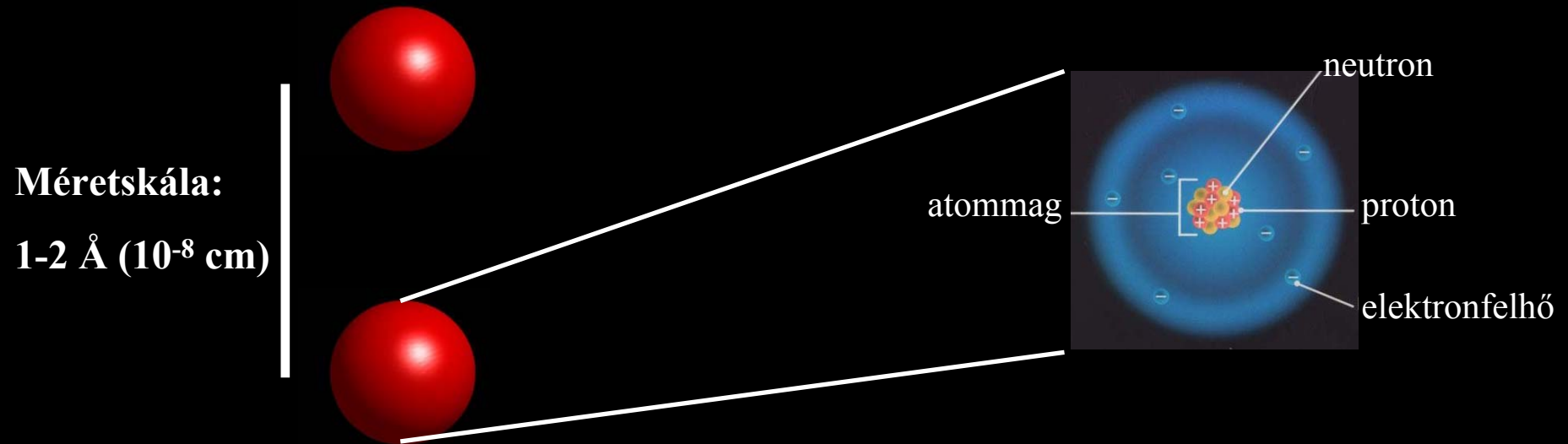


Budapest egy részlete

papucsállatkák



Az atomok



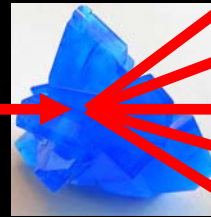
Az atomi szerkezet ismerete kiindulópont a természettudományos kutatásban. Erre támaszkodunk az egyes tulajdonságok és folyamatok értelmezése során.

Röntgen sugárzás és kristályok



Max von Laue

Röntgensugárzás

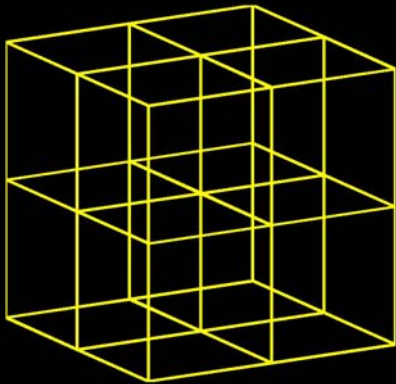


A rézsulfát
kristály

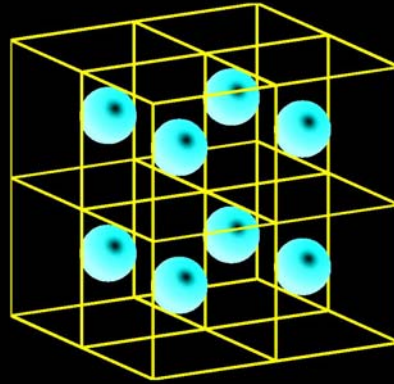
Röntgenérzékeny film

1914 Fizikai Nobel Díj: a röntgensugarak kristályokon való
diffrakciójának felfedezéséért

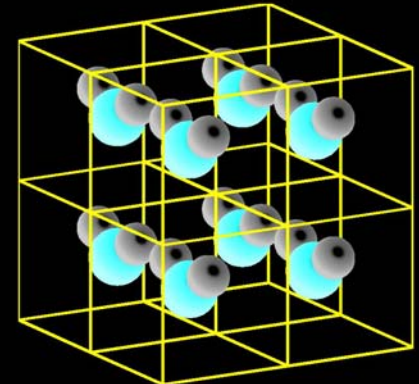
Kristályos rend



kristályrács



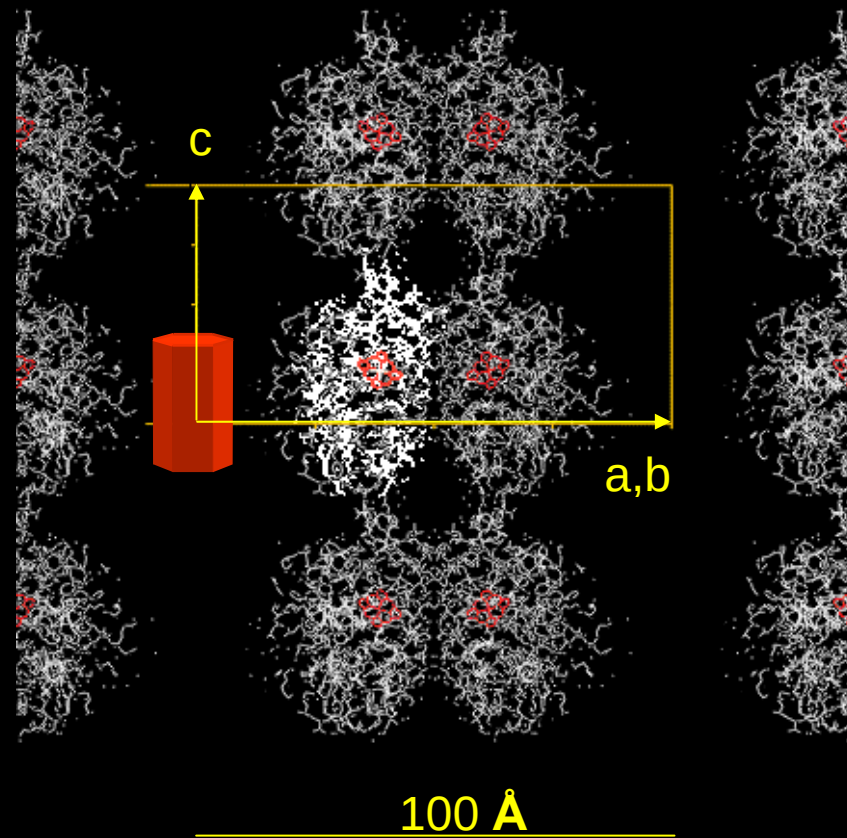
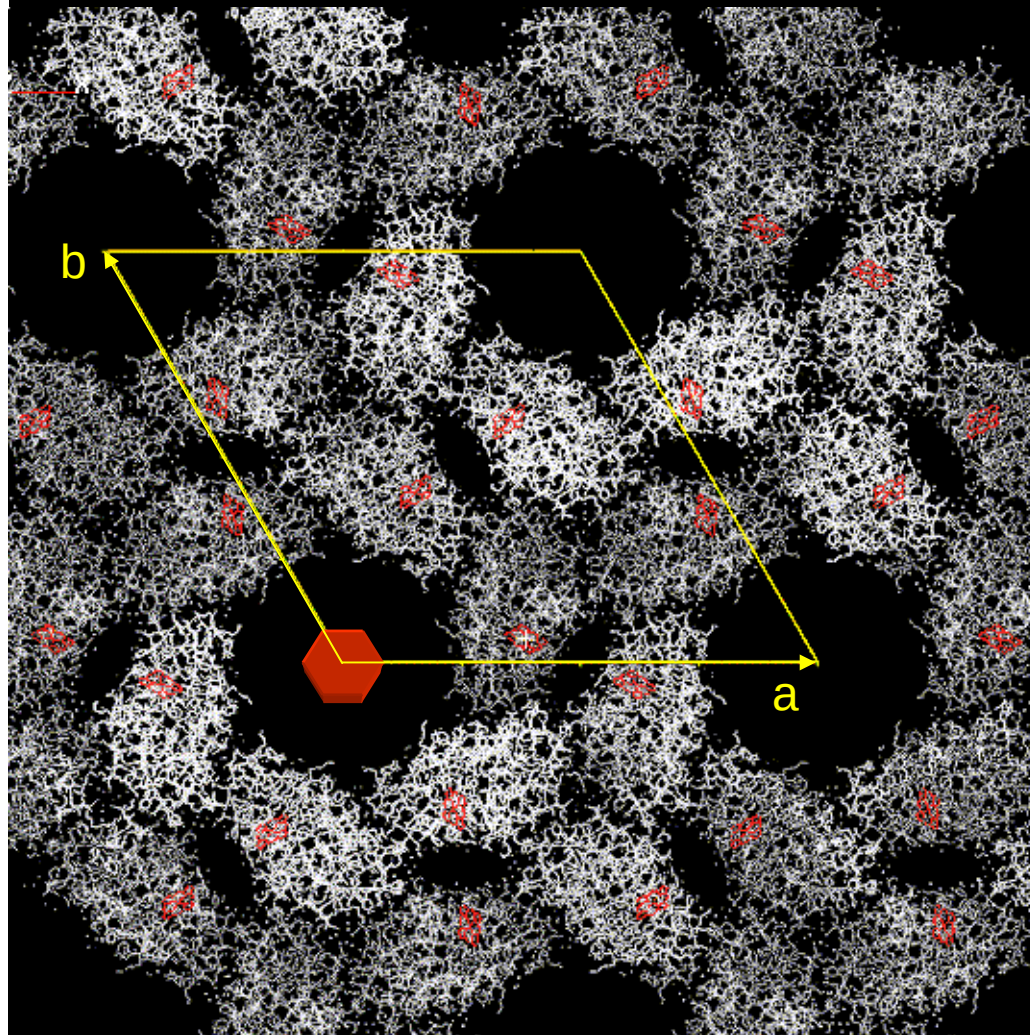
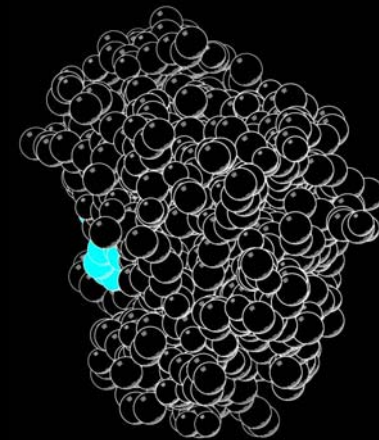
egy atom a cellában



egy molekula a cellában

P6 Myoglobin kristály szerkezete

$\text{C}_{823} \text{H}_{1045} \text{Fe} \text{N}_{222} \text{O}_{221} \text{S}_3$, 2305 atom, 153 aminosav



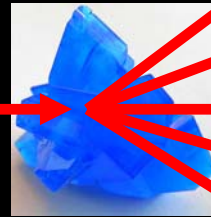
$a = b = 91.20 \text{ Å}$, $c = 45.87 \text{ Å}$, $a = b = 90^\circ$, $\text{gamma} = 120^\circ$

Röntgen sugárzás és kristályok



Max von Laue

Röntgensugárzás



A rézsulfát
kristály

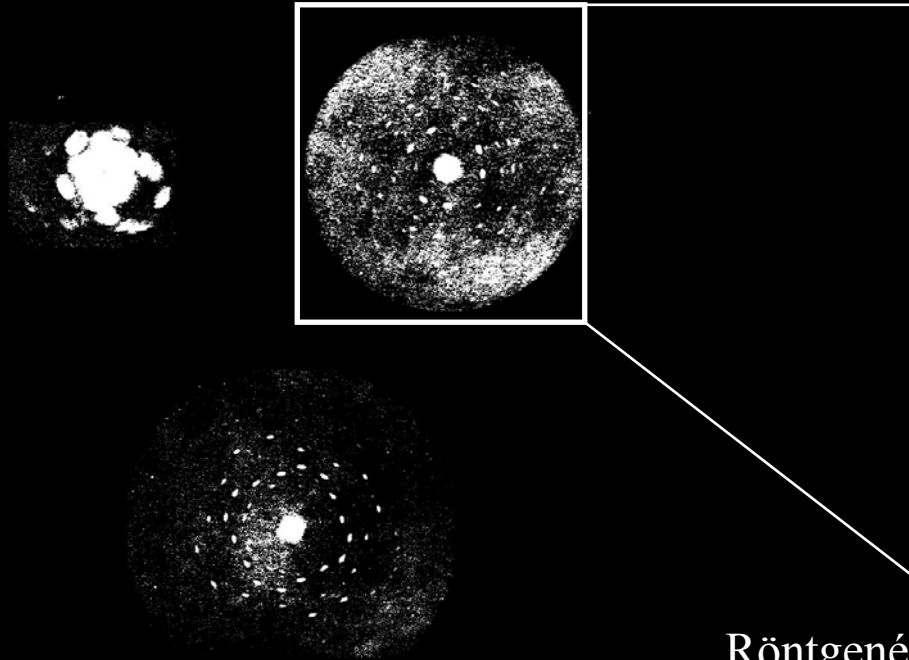
Röntgenérzékeny film

1914 Fizikai Nobel Díj: a röntgensugarak kristályokon való
diffrakciójának felfedezéséért

Röntgen sugárzás és kristályok



Max von Laue



Röntgenérzékeny film

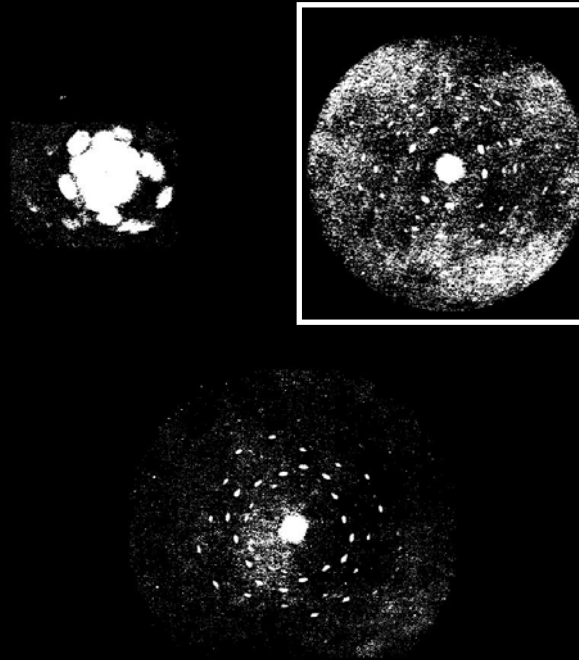
A rézszulfát Laue diffrakciós képe

1914 Fizikai Nobel Díj: a röntgensugarak kristályokon való diffrakciójának felfedezéséért

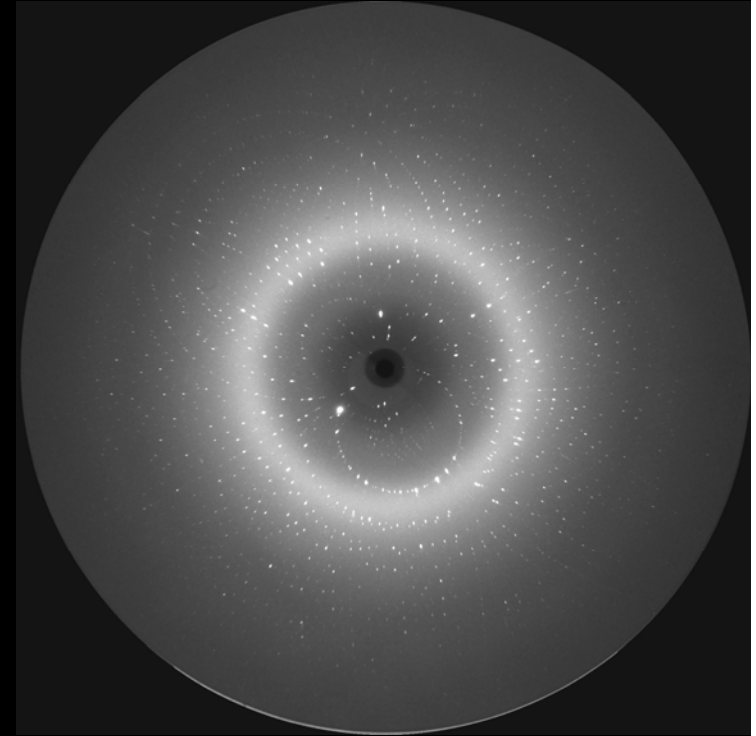
Röntgen sugárzás és kristályok



Max von Laue



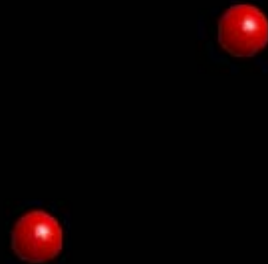
A rézszulfát Laue diffrakciós képe



A Mioglobin Laue diffrakciós képe

1914 Fizikai Nobel Díj: a röntgensugarak kristályokon való diffrakciójának felfedezéséért

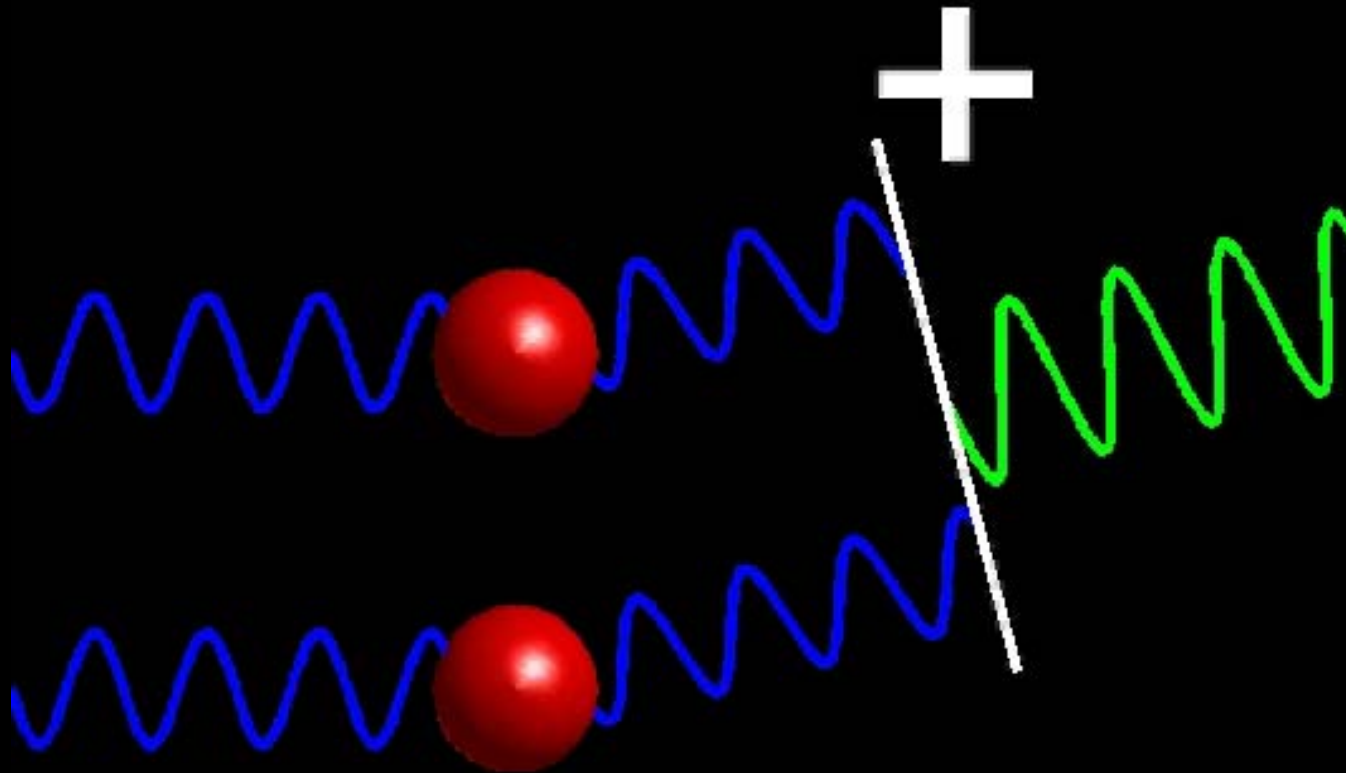
Röntgensugár szóródása két atomon



Röntgensugár szóródása két atomon

Bragg törvény

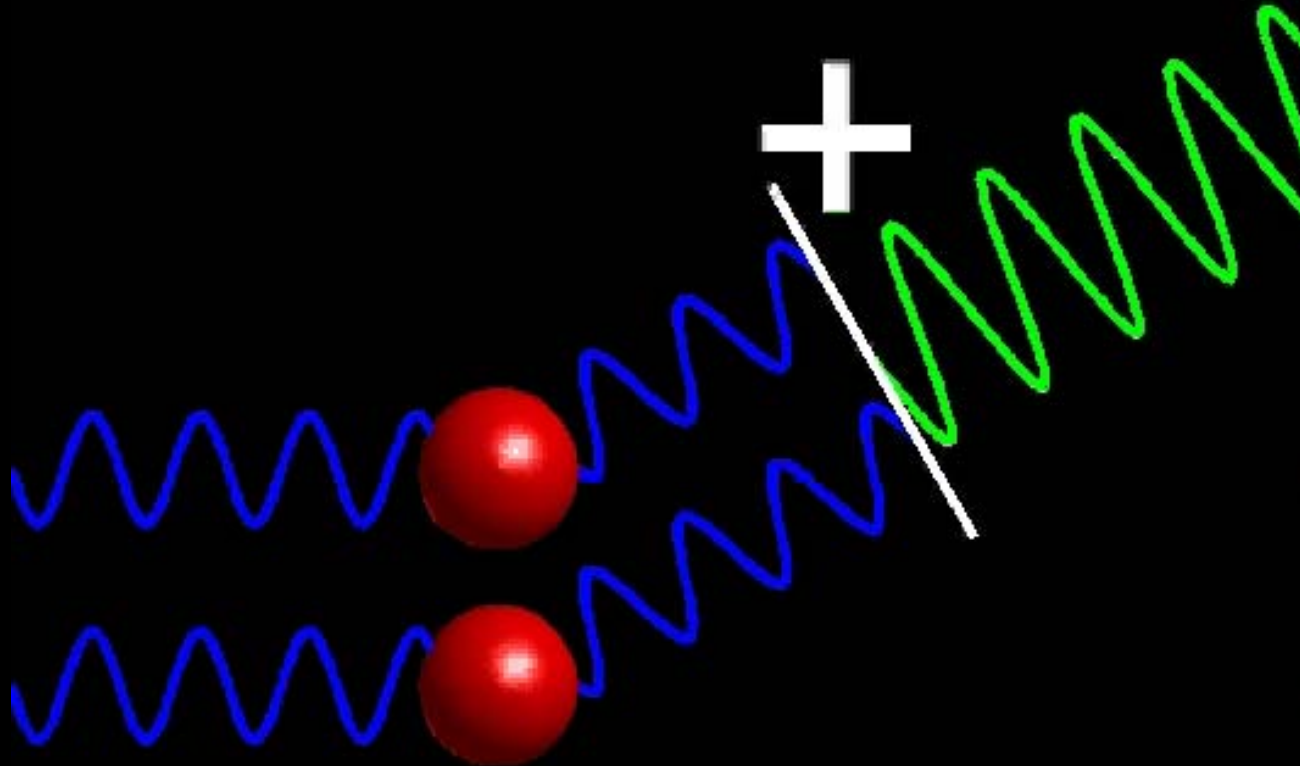
$$\lambda = 2d \sin(\Theta)$$



Röntgensugár szóródása két atomon

Bragg törvény

$$\lambda = 2d \sin(\Theta)$$



A DNS szerkezetének felfedezői



F. H. C. Crick

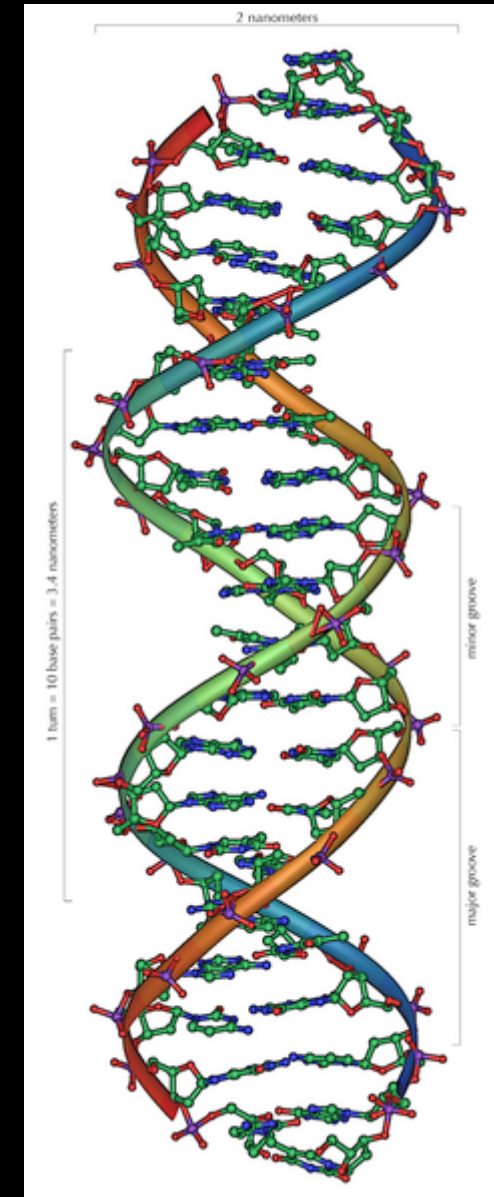


J. D. Watson



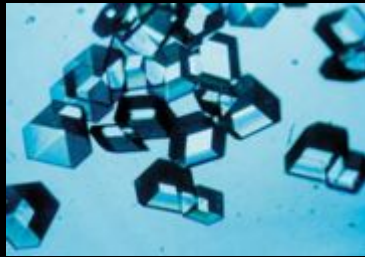
M. H. F. Wilkins

1962 *Orvostudomány Nobel Díj*: a nukleinsavak szerkezetének meghatározásáért és azért, hogy ezen anyagok jelentőségét felismerték az élő anyagban való információ-átadásban.

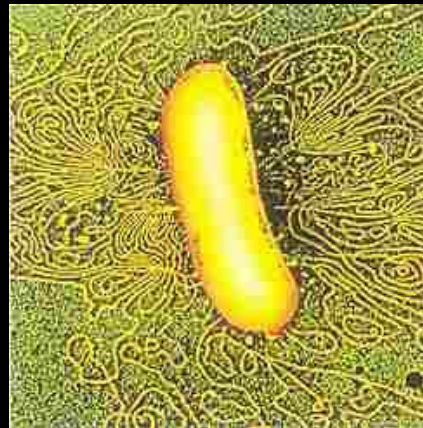


Gyakorlati alkalmazások

Inzulin előállítás: genetikailag módosított
E. Coli baktériummal



Inzulin kristályok

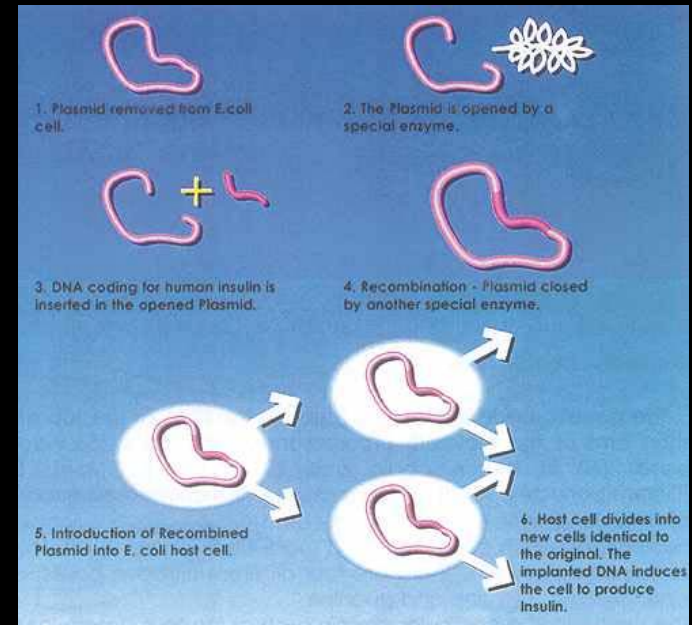


Rekombinációs DNS technika

Cisztás fibrózis, gyakori veleszületett rendellenesség

Megelőzése DNS analízissel

E betegséget két DNS szakasz kódolja



Röntgensugárforrások

Hagyományos röntgen generátor (labor)

Szinkrotron-forrás (nagyberendezés)

Röntgen szabad elektron lézer (nagyberendezés)

Hagyományos röntgengenerátor és diffraktométer

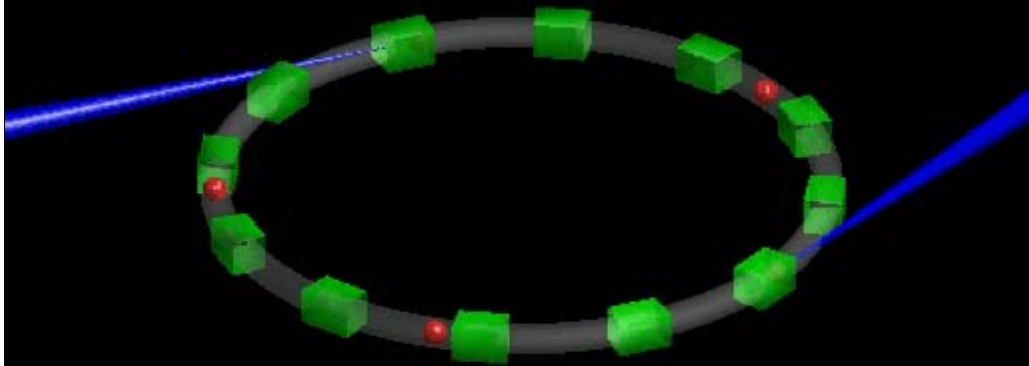


**Agilent Super nova, egykristály diffraktométer
(100-200 MFt)**



Duplaforrás Cu/Mo

Szinkrotron sugárforrás

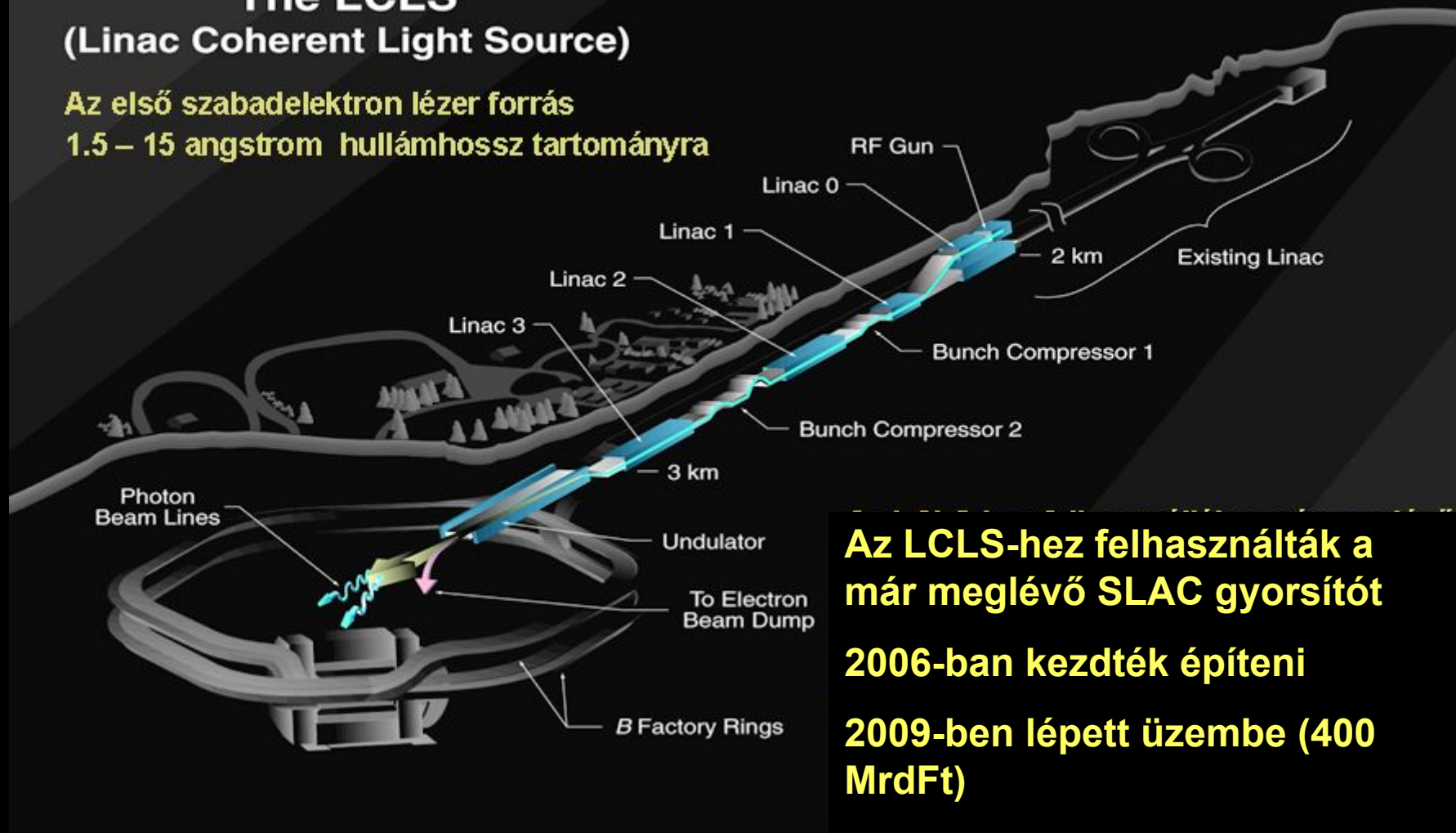


European Synchrotron Radiation Facility
Grenoble (300 Mrd Ft)

Lineáris gyorsítóra épülő szabad elektron lézer

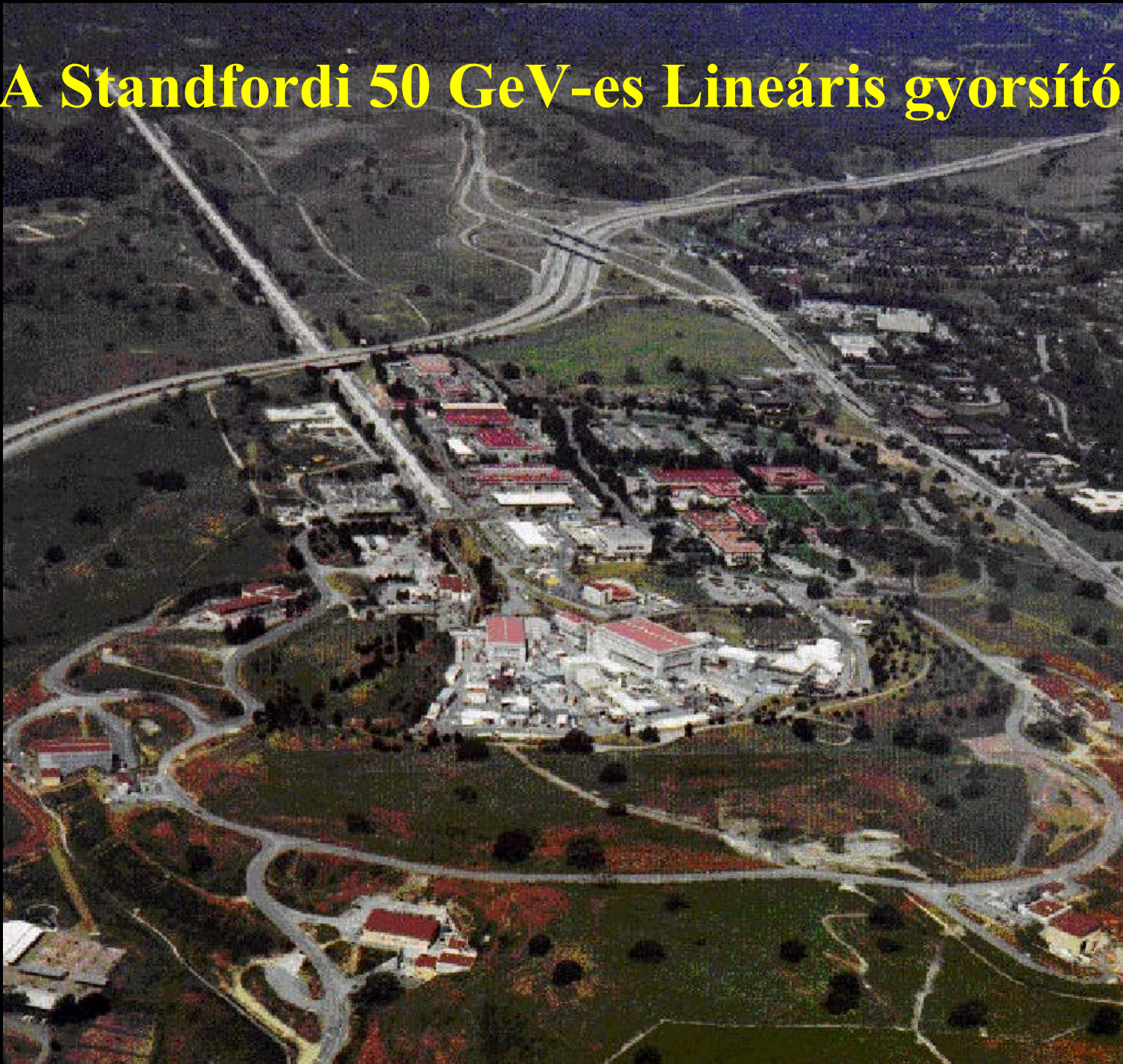
The LCLS (Linac Coherent Light Source)

Az első szabadelektron lézer forrás
1.5 – 15 angstrom hullámhossz tartományra



**Az LCLS-hez felhasználták a
már meglévő SLAC gyorsítót
2006-ban kezdték építeni
2009-ben lépett üzembe (400
MrdFt)**

A Stanfordi 50 GeV-es Lineáris gyorsító



Az Európai Szabad Elektron lézer

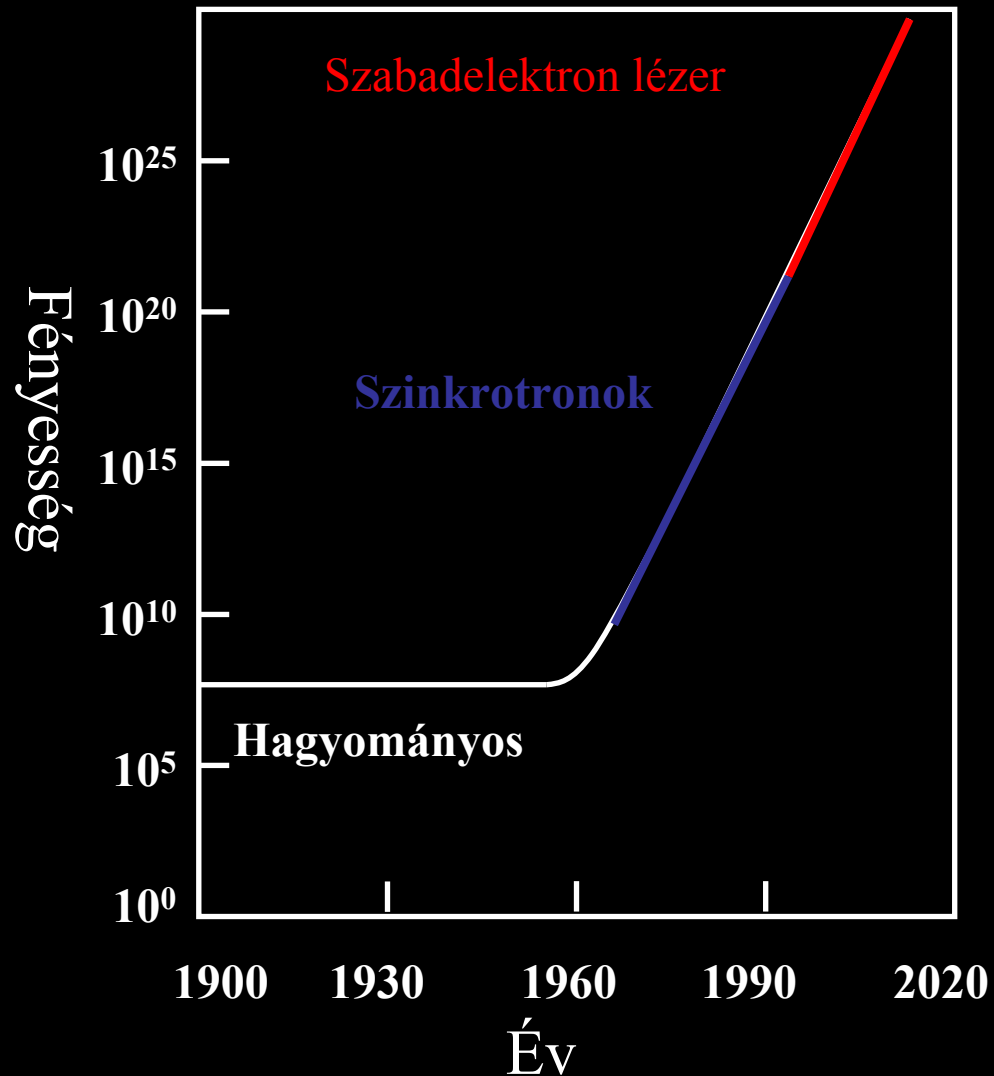


Az Európai Szabad Elektron lézer

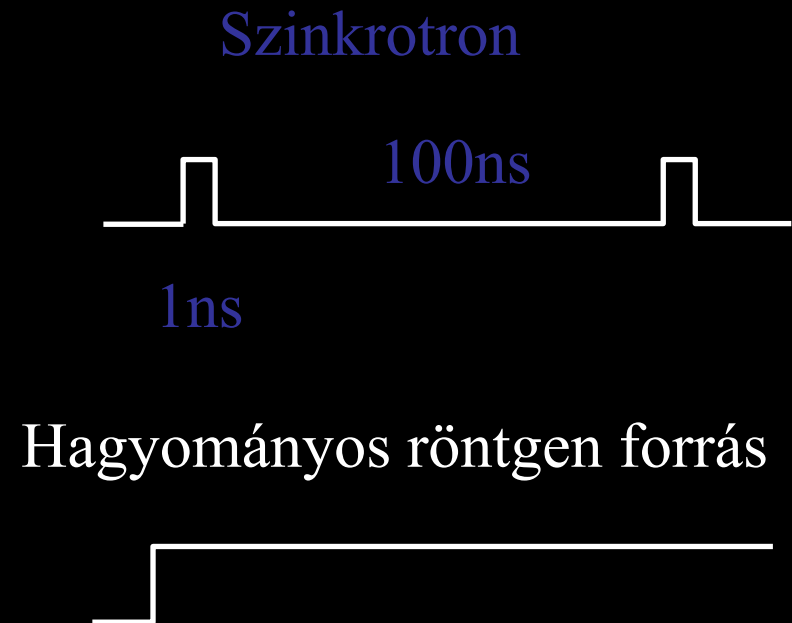


Sugárforrások összehasonlítása

A források fényessége

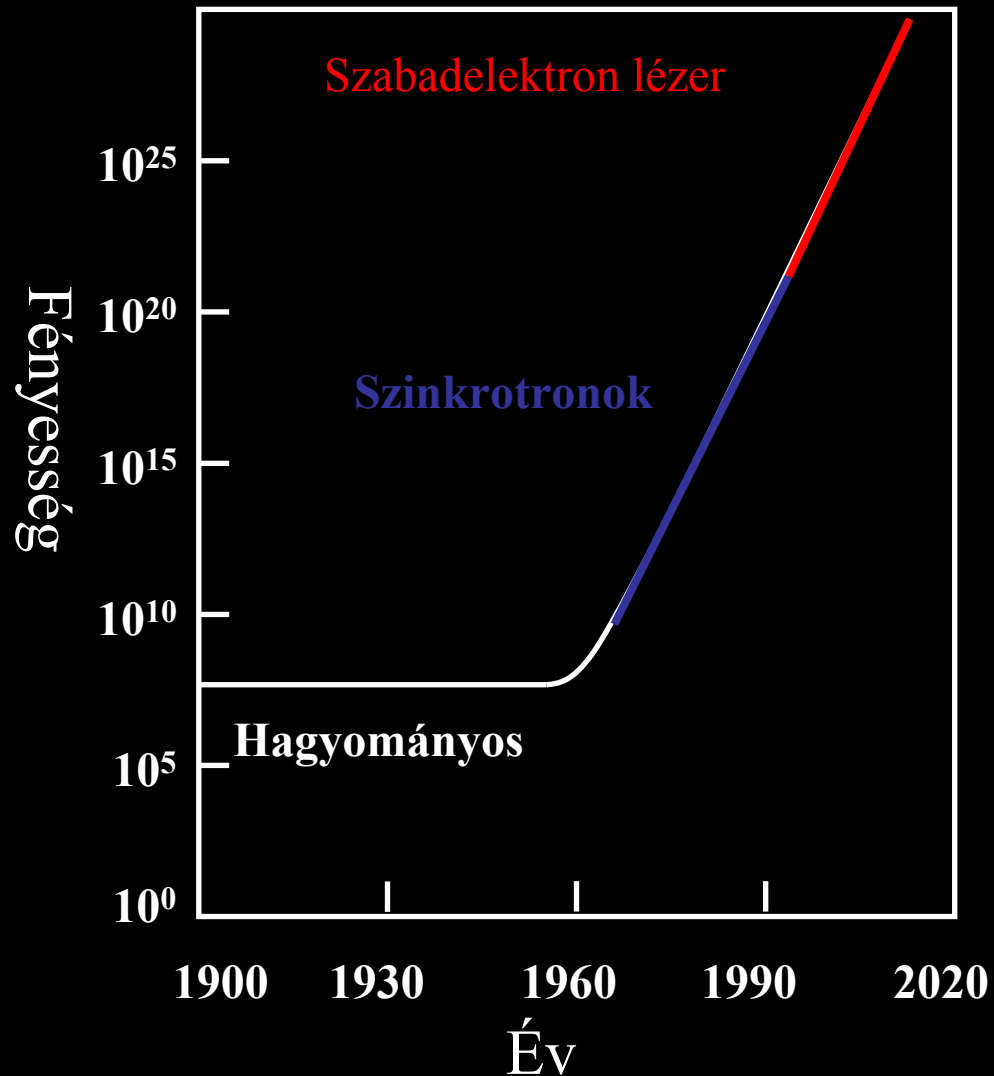


Időbeli lefutás



Sugárforrások összehasonlítása

A források fényessége



Időbeli lefutás

Szabadelektron lézer

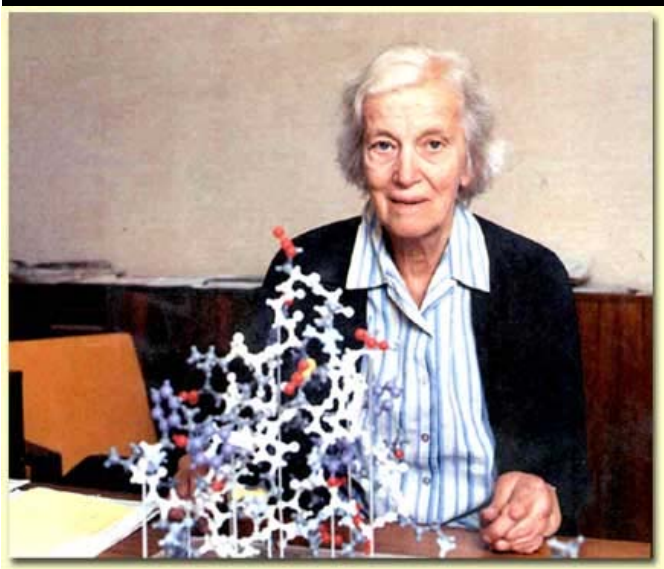


100fs

Hagyományos röntgen forrás

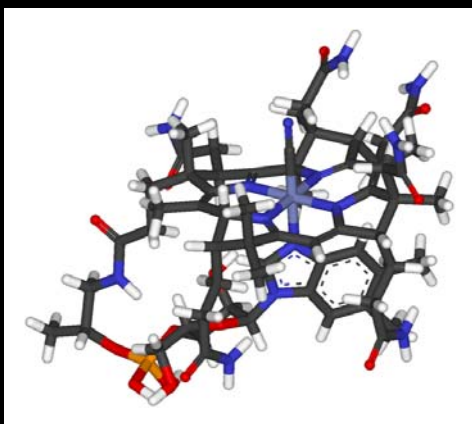


Gyógyszerkémia

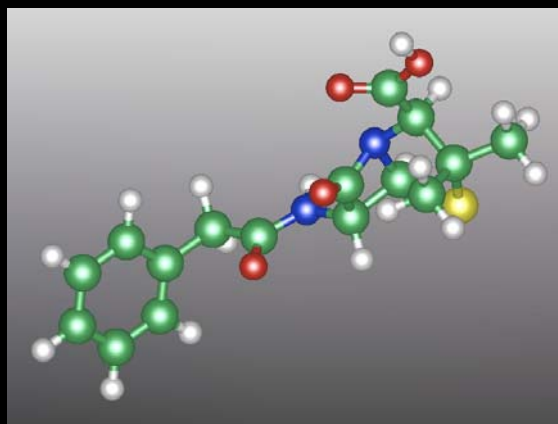


Dorothy Mary Crowfoot Hodgkin

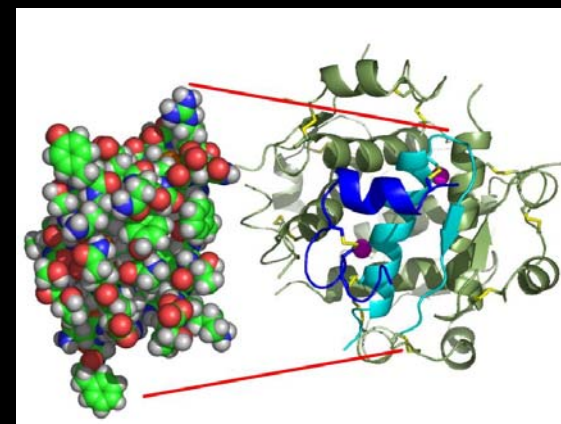
1969 Kémiai Nobel Díj: a penicillin, inzulin és B12 vitamin atomi szerkezetének röntgen diffrakcióval való meghatározásáért.



B12 vitamin



benzylpenicillin



inzulin

Szén atomok alkotta szerkezetek

Gyémánt



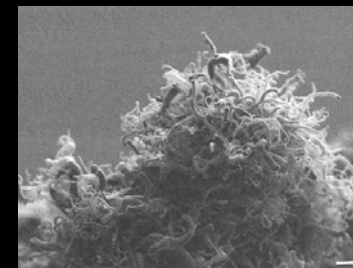
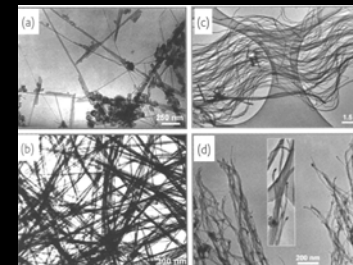
grafit



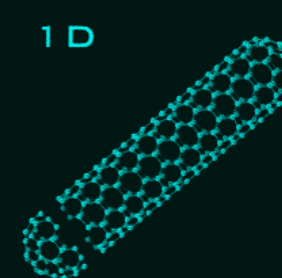
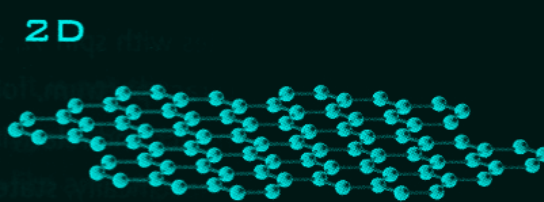
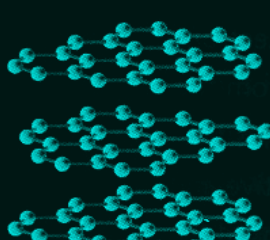
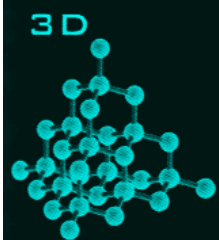
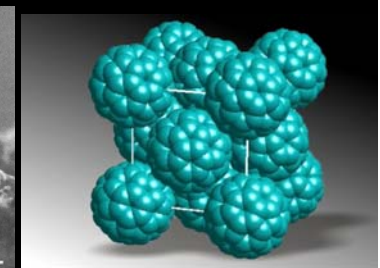
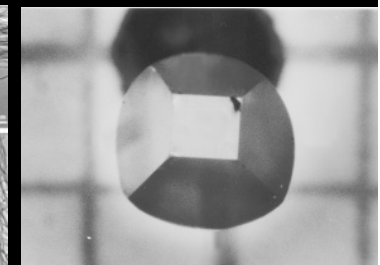
grafén



szénnanocső

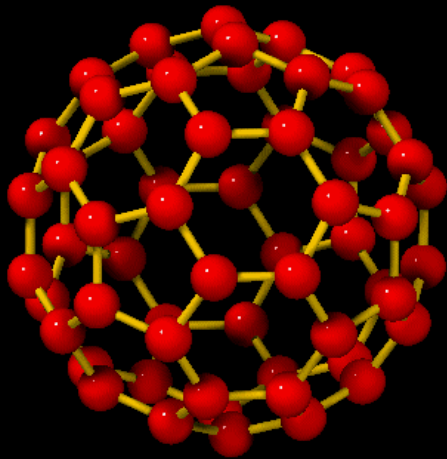


fullerének

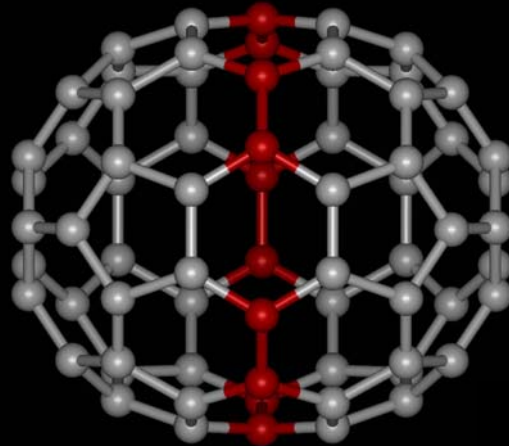


Fullerén molekulák

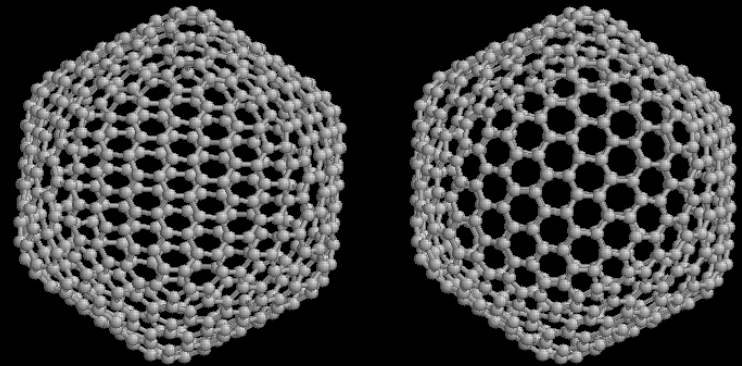
C_{60}



C_{70}



C_{540}

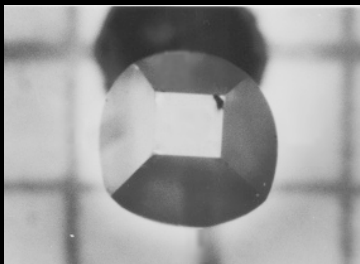
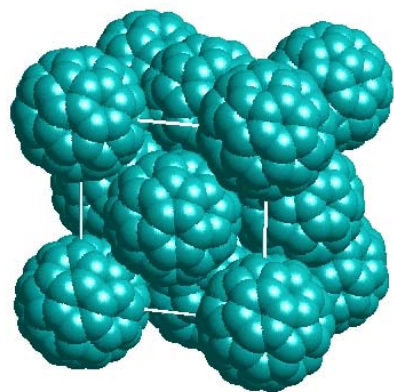


Robert Curl, Sir Harold Kroto, Richard Smalley

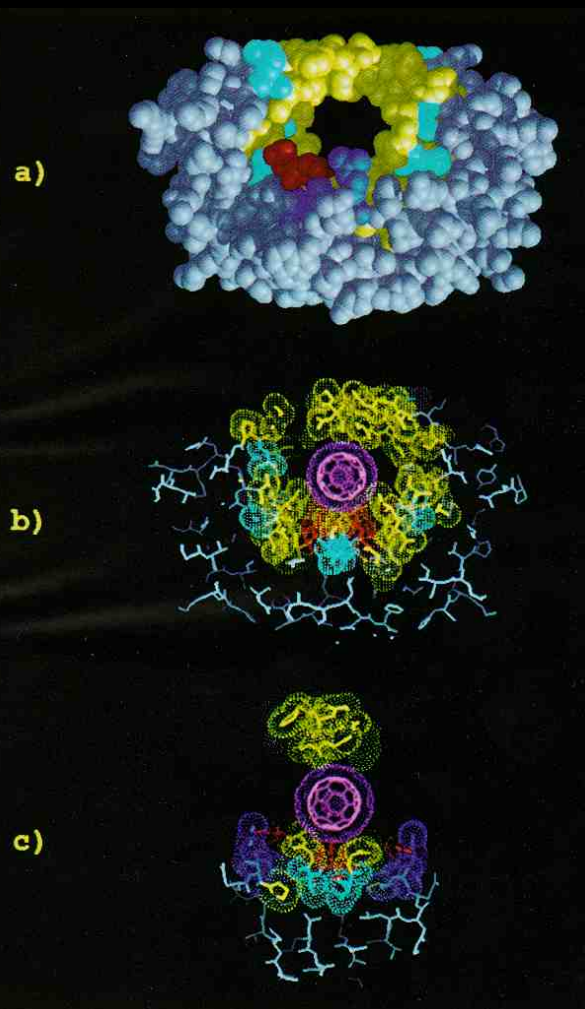
1996 kémiai Nobel Díj: a Fullerén molekulák felfedezéséért

Fullerén alkalmazások

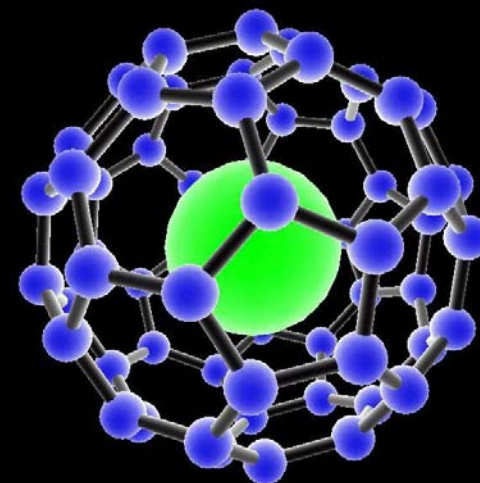
Kenőanyag



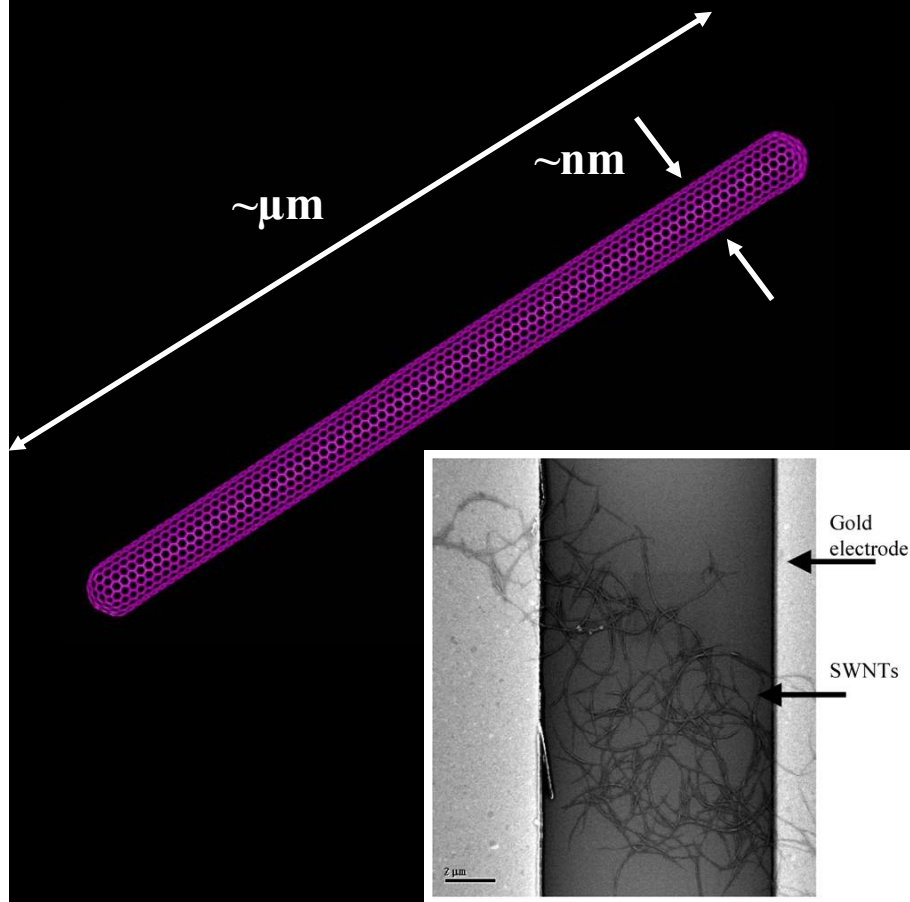
HIV vírus blokkoló



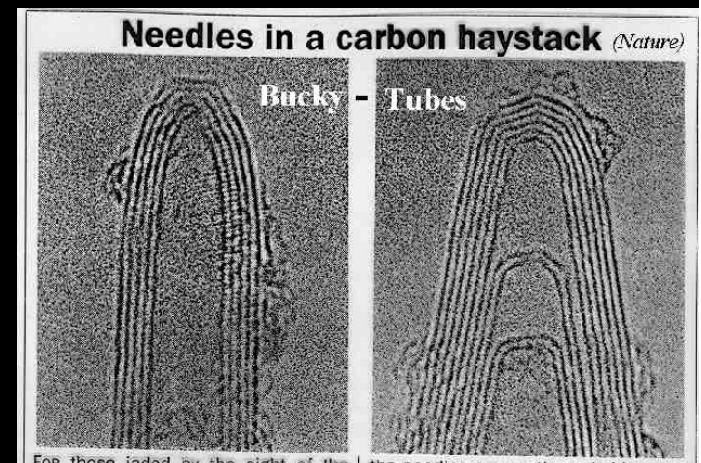
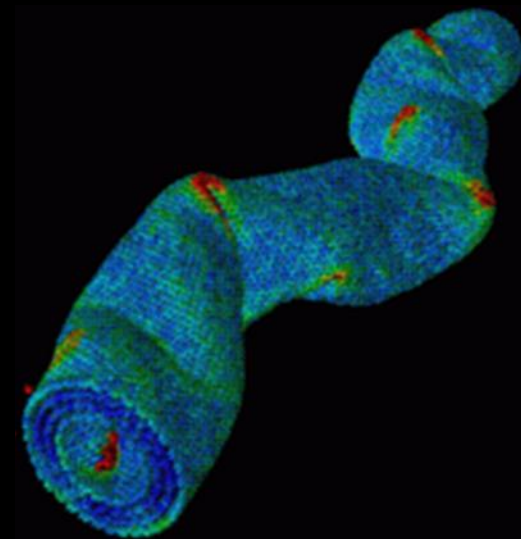
nano orvosságkapszula



Szén nanocsövek



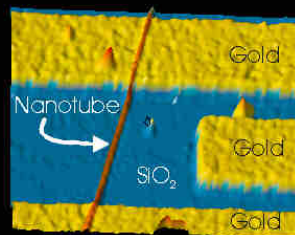
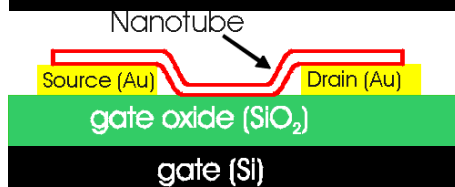
Egyfalú nanocső



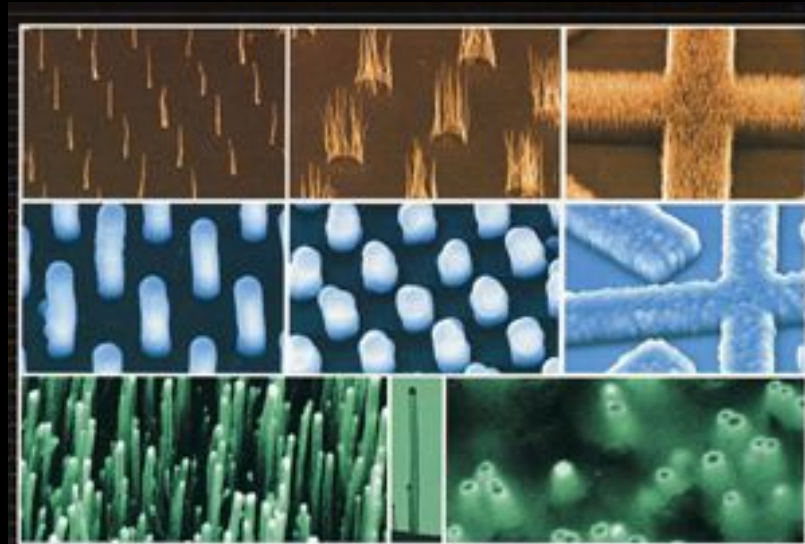
Többsfalú nanocső

Szénnanocső elektronikai alkalmazások

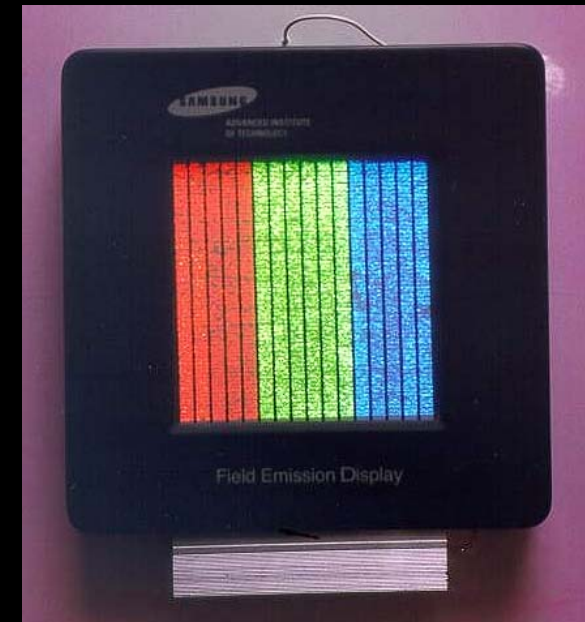
Elektronika: adattárolás, molekuláris elektronika, biomimetikus számítógép architektúra, gáz-érzékelők, nanocsatlakozók, sík képcsöves kijelzők, mesterséges látáshoz optikai érzékelő, stb.



FET tranzisztor



nanocsatlakozók



színes lapos kijelzők

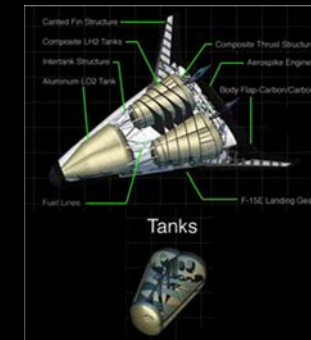
Szénnanocső mechanikai alkalmazások

Nagy mechanikai terhelést elviselő rendszerek kialakítása: „nanocső kötél”, kompozit anyagok

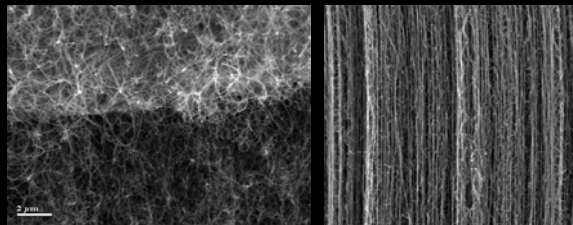
tenisz ütő, golf ütő

Autóalkatrészek

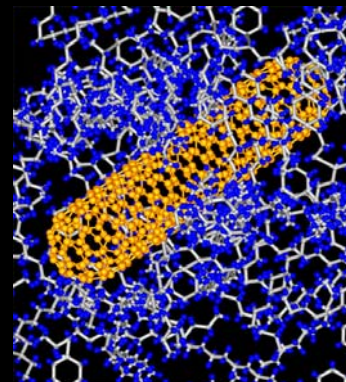
űrhajó alkatrészek



Önjavító hőszigetelő tartály



Nanocsőszövet



Nanokompozit



Grafén alkalmazások

Ballisztikus FET tranzisztor

Szupravezető FET

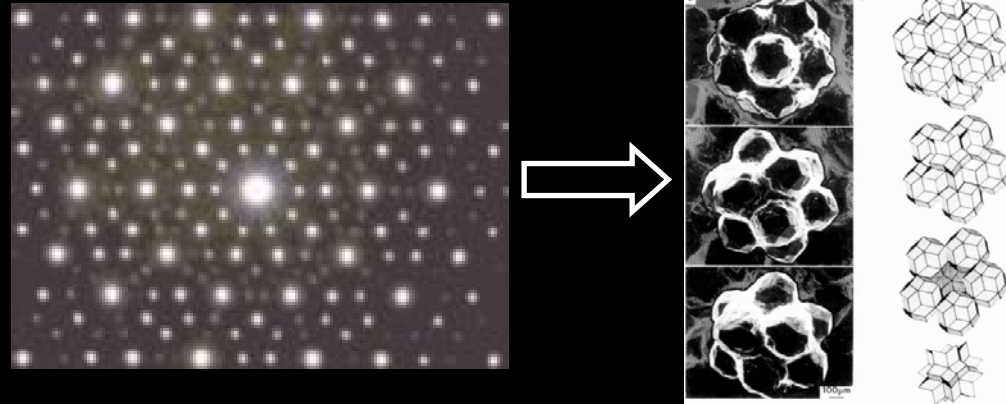
Gáz szenzor

???

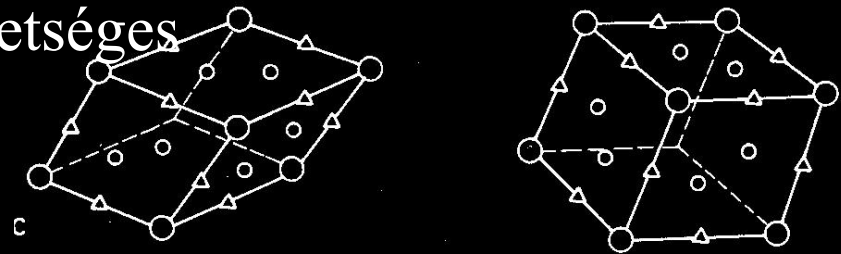
Atomi elrendeződés kvázi kristályokban

- Diffrakcióval nem kapunk képet a kvázi kristályok atomi rendjéről

Fázis tisztaságot és kristály minőséget is nehéz tartani



- Több lehetséges atomi dekoráció is lehetséges



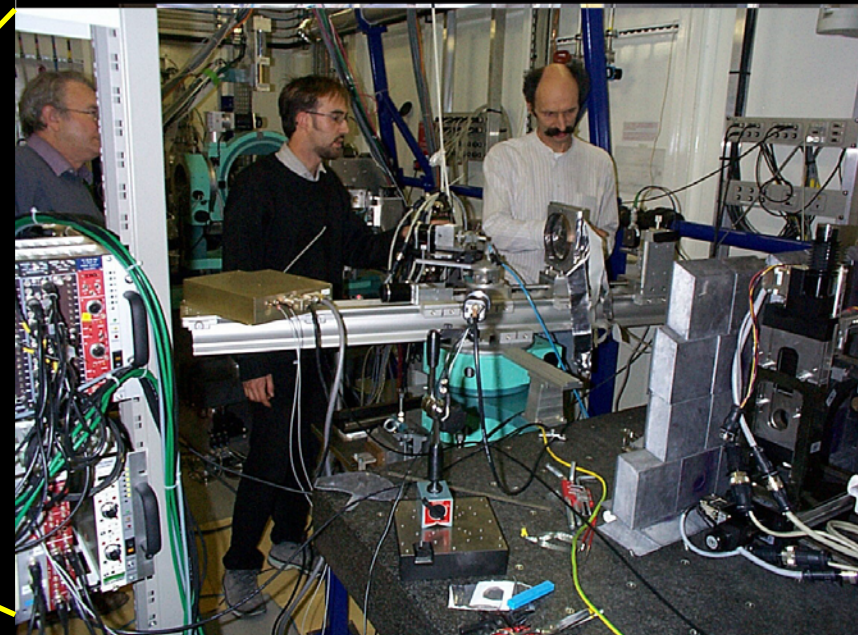
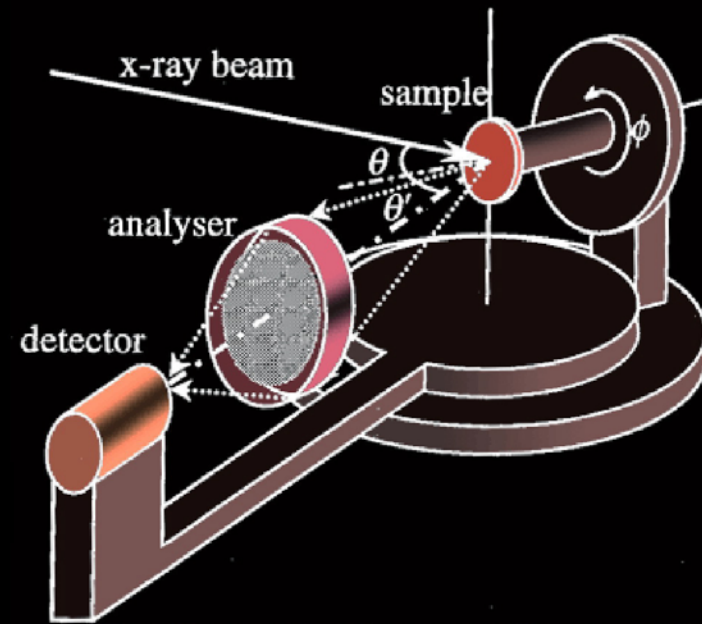
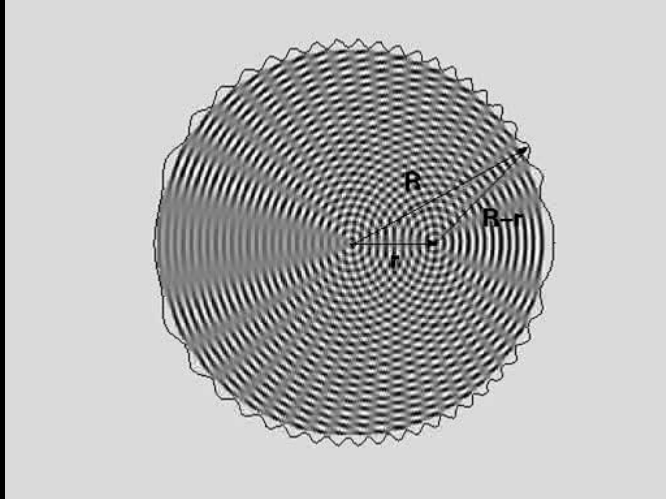
- A modellépítés alapja

Kémiai megkötések

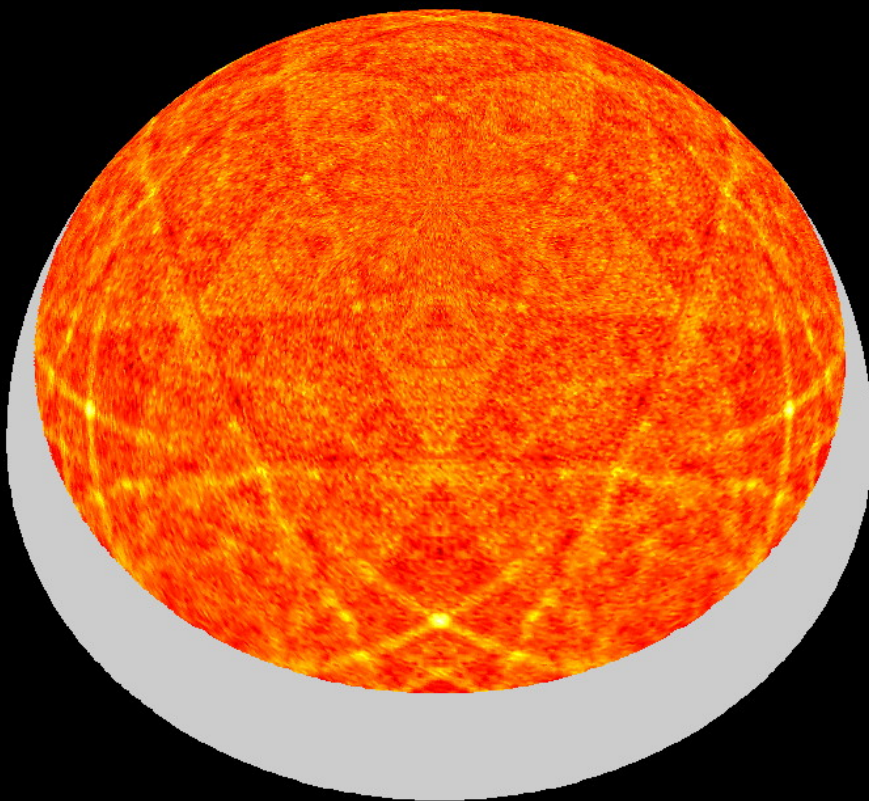
Közelítő kristályos szerkezetek

- Hogyan igazolhatjuk a modelleket?

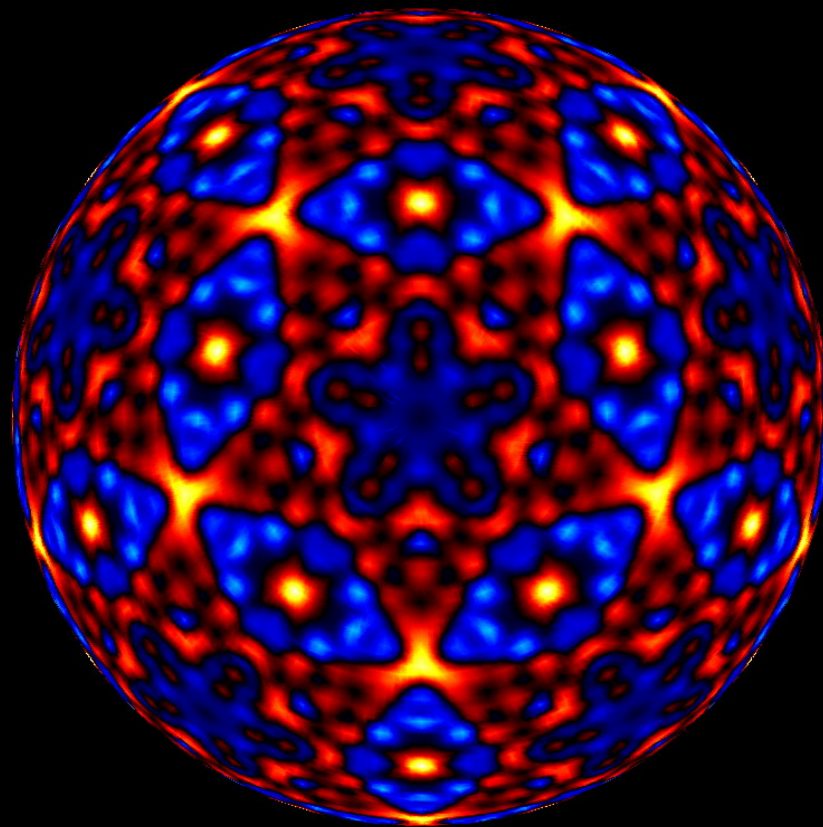
Az ESRF-nél felépített röntgen holografikus kísérleti berendezésünk



**$\text{Al}_{70.4}\text{Pd}_{21}\text{Mn}_{8.6}$ kvázi kristály
hologramja $E = 16 \text{ keV}$ energián**



Háttérlevonás utáni nyers adat



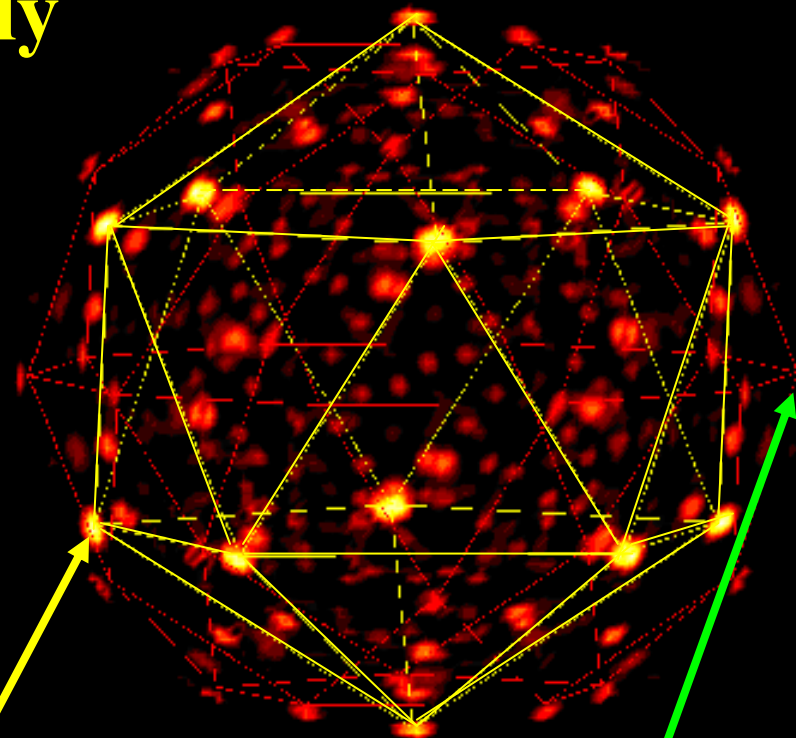
Szimmetrizált hologram

$\text{Al}_{70.4}\text{Pd}_{21}\text{Mn}_{8.6}$ kvázi kristály

S. Marchesini, F. Schmithüsen, M. Tegze, G. Faigel, Y. Calvayrac, M. Belakhovsky, J. Chevrier, and A. S. Simionovici
Phys. Rev. Lett. **85** (2000) 4723

Atomi szerkezet modellje

M. Boudard *et al.*,
J. Phys. Condens. Matter **4** (1992)
10149

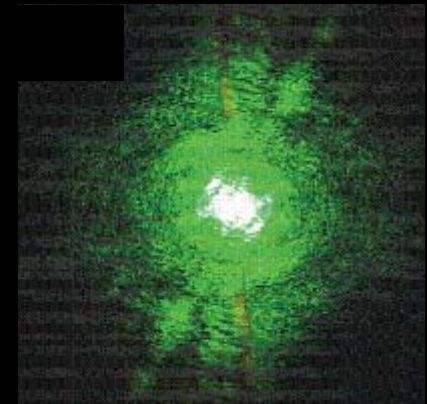
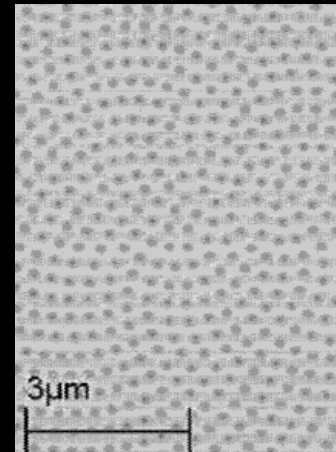


koordinációs héj	atomok száma	távolság [Å]	Atom fajta	Holografikus súly
1	20	2.57	$\text{Al}_1 + \text{Pd}_1$	4.98
2	12	2.82	Pd_2	0.18
3	30	2.96	$\text{Al}_2 + \text{Pd}_3$	2.12
4	20	4.15	Pd_4	2.48
5	12	4.56	$\text{Al}_3 + \text{Mn}_1 + \text{Pd}_5$	20.53
6	30	4.80	$\text{Al}_4 + \text{Mn}_2 + \text{Pd}_6$	18.78
7	60	5.44	Al_5	1.04
8	60	5.64	Al_6	0.16
9	12	5.64	Al_7	0.013
10	60	6.62	$\text{Al}_8 + \text{Mn}_3 + \text{Pd}_7$	10.24

Kvázi kristályok alkalmazásai



Tulajdonságok: nagy mechanikai ellenálló képesség, jó hőszigetelés, alacsony súrlódás



Atomi szerkezet a régészetben és a művészetekben

Hogyan épültek a piramisok?



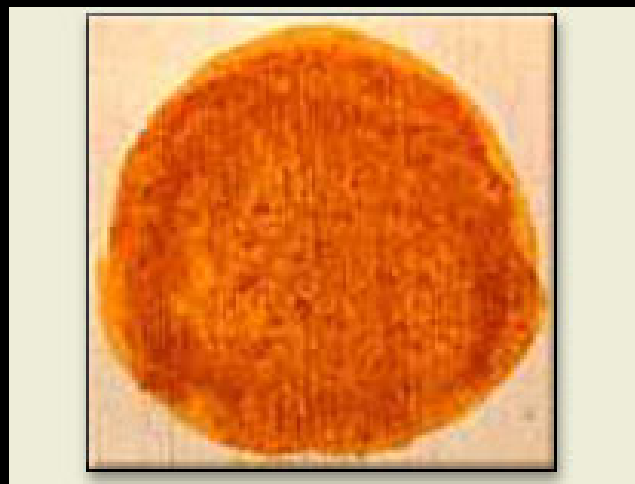
Giza piramis

Atomi szerkezet a régészetben és a művészetekben

Honnan és milyen időből származnak bizonyos festmények?



J. Vermeer: a tejesasszony



Nápolyi sárga



bindheimit $\text{Pb}(\text{SbO}_3)_2/\text{Pb}_3(\text{Sb}_3\text{O}_4)_2$



Hans von Meiergeren

Christ at Emmaus

Röntgensugárzás a régészetben és a művészetekben

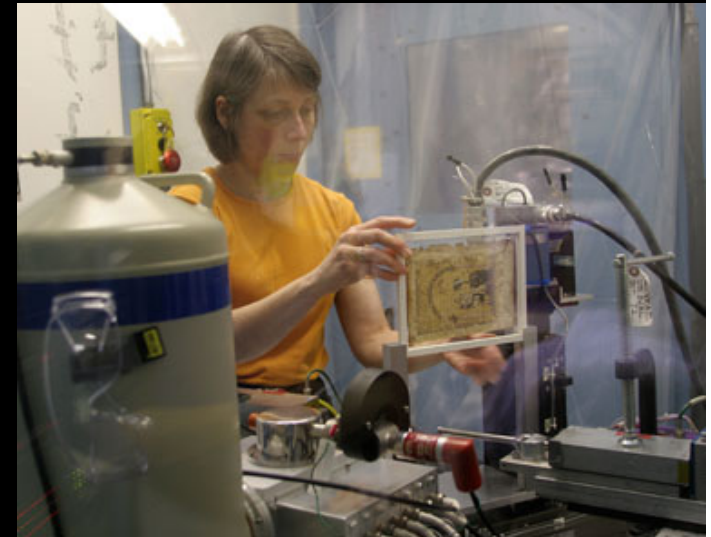
Mi van a felszín alatt?



**Bizánci vallásos kép
egy kecske bőrön**



Archimédész munkái



Zárszó

A tudomány sokat adhat az emberiségnek, ha megfelelően oktatjuk, használjuk és támogatjuk.

A különböző tudomány területek fejlődése szervesen összekapcsolódik.

Divatnak, egyéni vagy lobbierészeknek nem szabad eltorzítani a tudományágak közötti egészséges arányokat.

Törekedjünk arra, hogy a tudományterületek közötti finom egyensúlyt ne borítsuk fel hirtelen és drasztikusan.

A legjobb ha a tudományos gondolkodásmódot, a természet megismerésének szépségét már egészen fiatal korban megtanulják az emberek.