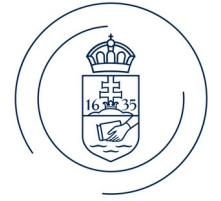




Cserti József

Nem élhetünk kvantummechanika nélkül



ELTE
EÖTVÖS LORÁND
TUDOMÁNYEGYETEM



2025

A kvantummechanika nemzetközi éve

(International Year of Quantum Science and Technology, IYQ)



[Angol oldal](#)

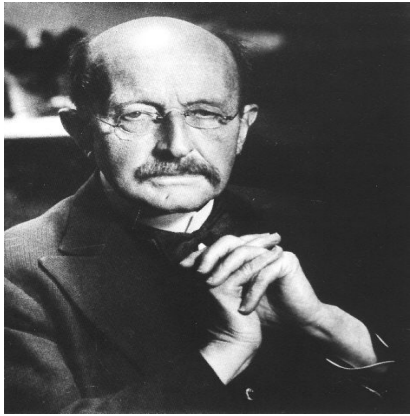


[Magyar oldal](#)

Bár a kvantummechanika kialakulása nem köthető egyetlen határozott eseményhez (az alapvető felfedezések 1900 és 1948 között születtek), a nemzetközi tudományos közösség mégis úgy döntött, hogy ideje megünnepelni a kvantumelmélet centenáriumát.

A kvantummechanika legfontosabb tudományos előrelépéseinek **századik** évfordulójára emlékeznek, így **Schrödinger**, **Heisenberg** és mások munkásságára.

A kvantummechanika kidolgozói



Max Planck
(1858-1947)



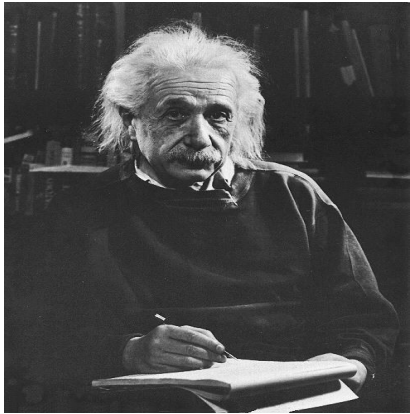
Niels Bohr
(1885-1962)



David Hilbert
(1862-1943)



Louis de Broglie
(1892-1981)



Albert Einstein
(1879-1955)



Erwin Schrödinger
(1887-1961)



Werner Heisenberg
(1901-1976)

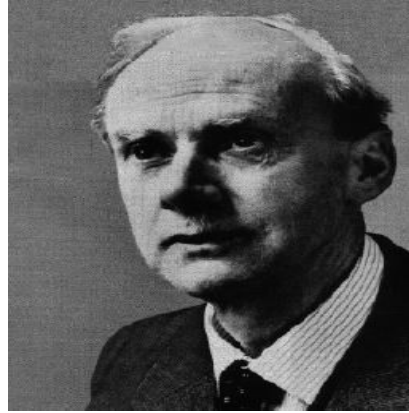


Wigner Jenő
(1902-1995)

A kvantummechanika kidolgozói



Wolfgang Pauli
(1900-1958)



Paul Dirac
(1902-1984)



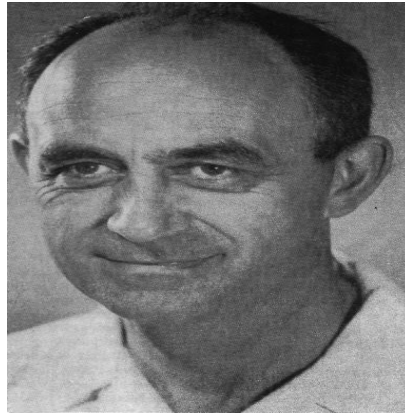
Neumann János
(1903-1957)



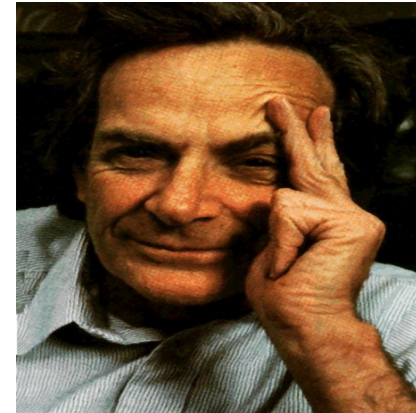
Leon Brillouin
(1889-1969)



Paul Ehrenfest
(1880-1933)



Emerico Fermi
(1901-1954)



Richard Phillips Feynman
(1918-1988)

Schrödinger-egyenlet

1926, Nobel-díj 1933-ban

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}, t)$$



Erwin **Schrödinger**
1887-1961

Schrödinger-egyenlet

1926, Nobel-díj 1933-ban

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}, t)$$



Erwin Schrödinger
1887-1961

Világegyenlet: $U = 0$

Schrödinger-egyenlet

1926, Nobel-díj 1933-ban

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}, t)$$



Erwin Schrödinger
1887-1961

Világegyenlet: $U = 0$, ahol

$$U = \left(\frac{F - ma}{c_1} \right)^2 + \left(\frac{F - \rho_f g V_t}{c_2} \right)^2 + \left(\frac{\mathbf{F} - Q\mathbf{E}}{c_3} \right)^2 + \left(\frac{E - mc^2}{c_4} \right)^2 + \dots$$

Arkhimédész
törvénye: felhajtóerő

Elektromosság

c_1, c_2, \dots megfelelő mértékegységű pozitív számok

A klasszikus mechanika főszereplője:

a helyvektor és az impulzus

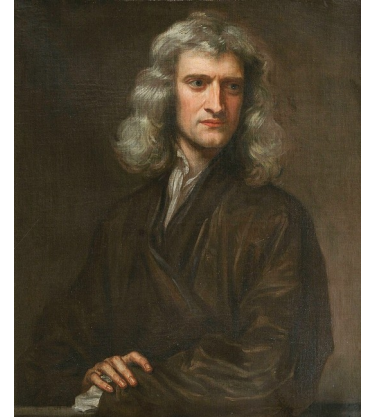
Mozgó részecske **állapota**:

$\mathbf{r} \rightarrow$ helyvektor

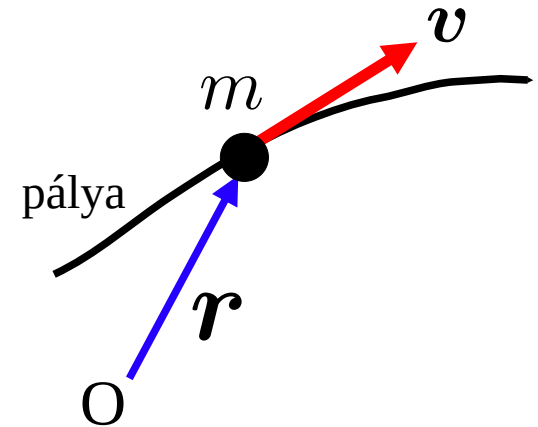
$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \rightarrow$ impulzus

Newton egyenlet: $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$

Kiszámolhatjuk a részecske **pályáját**, az **állapotának időfüggését**.



Sir Isaac Newton
1642-1727



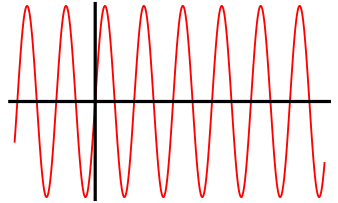
A kvantummechanika főszereplője: a hullámfüggvény

de Broglie-hipotézis:

(1924-ben doktori disszertációjában írta le, 1929-ben Nobel-díjat kapott)

Mozgó részecskéhez hozzárendelt egy hullámfüggvényt:

$$\Psi(\mathbf{r}, t)$$



hullámhossz: $\lambda = \frac{h}{p}$

Planck-állandó $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

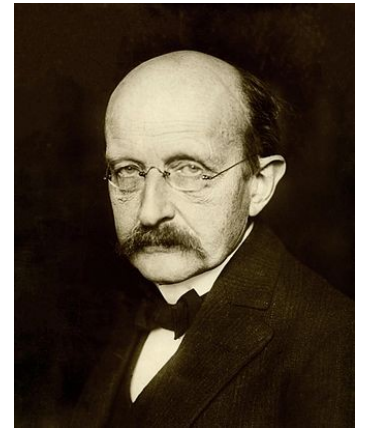
Anyagi részecskék **kettős természete**

Fizikus induló:

“Részecske vagyok, vagy hullám,
Élek-e vagy ez a hullám?
Megmondanám, hogyha tudnám,
De mindent én sem tudhatok.”



Louis-Victor **de Broglie**
1892 - 1987



Max Karl Ernst Ludwig **Planck**
1858-1947

Schrödinger-egyenlet

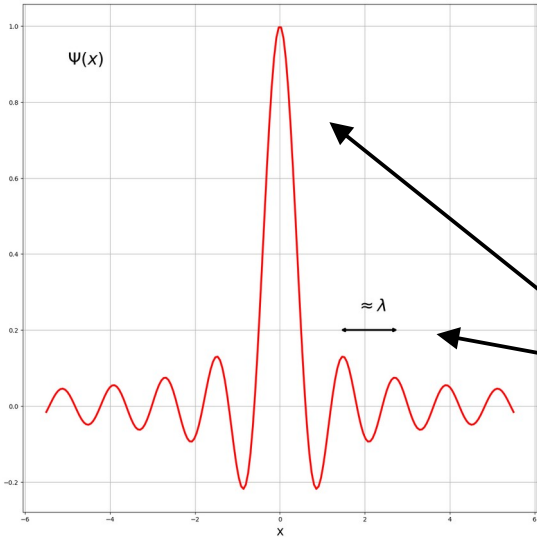
$$i = \sqrt{-1}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}, t)$$

\hat{H} Hamilton-operátor

$\Psi(\mathbf{r}, t)$ hullámfüggvény



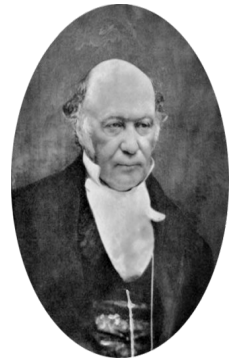
Egyszerre kódolja a részecske **helyzetét** és **impulzusát** (átlagos λ hullámhossz)

Born-szabály:

A részecske (elektron) **megtalálási valószínűsége** r pont körül ΔV térfogatban:



Erwin **Schrödinger**
1887-1961



William Rowan
Hamilton
1805-1865

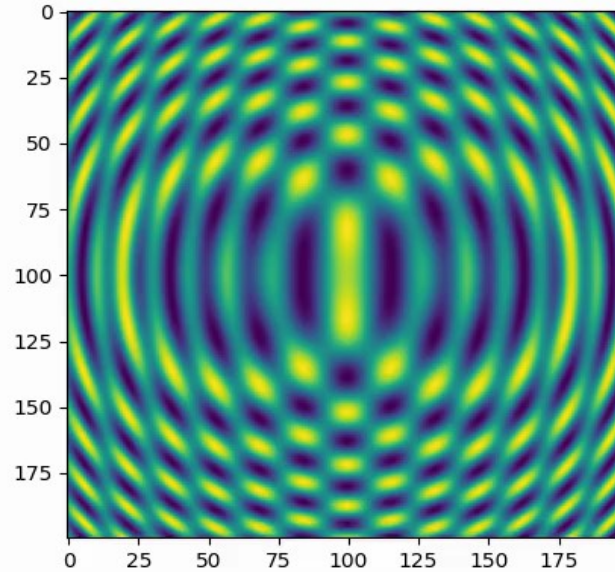


Max **Born**
1882-1970

$$|\Psi(\mathbf{r}, t)|^2 \Delta V$$

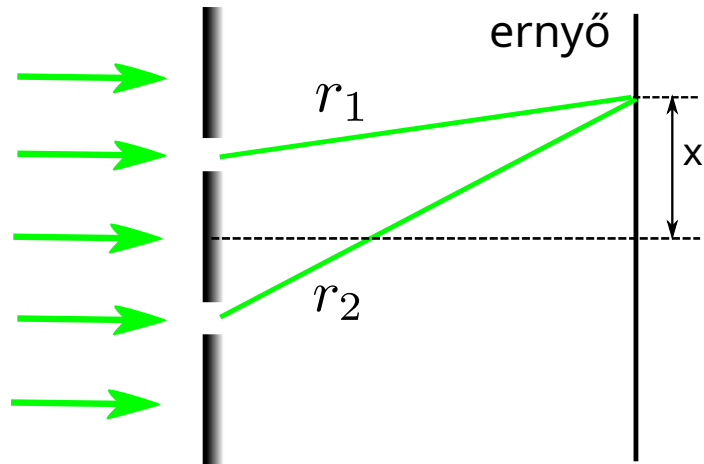
Hullámok interferenciája

Kavicsokat dobunk a tóban



Young-féle interferenciakísérlet

fénnyel



Thomas Young
1773-1829

mindentudó: tanulmányozta pl. a látást, a fényt, az energiát, a nyelvet, a fiziológiát (élettan), a zenei harmóniát, az egyiptomi hieroglifákat, ...

erősítés: $r_2 - r_1 = k\lambda$ k : egész szám

kioltás: $r_2 - r_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$

A rések távolsága összemérhető a fény hullámhosszával!

Young-féle interferenciakísérlet trabanttal



$$m = 1000 \text{ kg}$$

$$v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

de Broglie hullámhossz:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \approx 10^{-38} \text{ m} \quad \text{atommag átmérője} \approx 10^{-15} \text{ m}$$

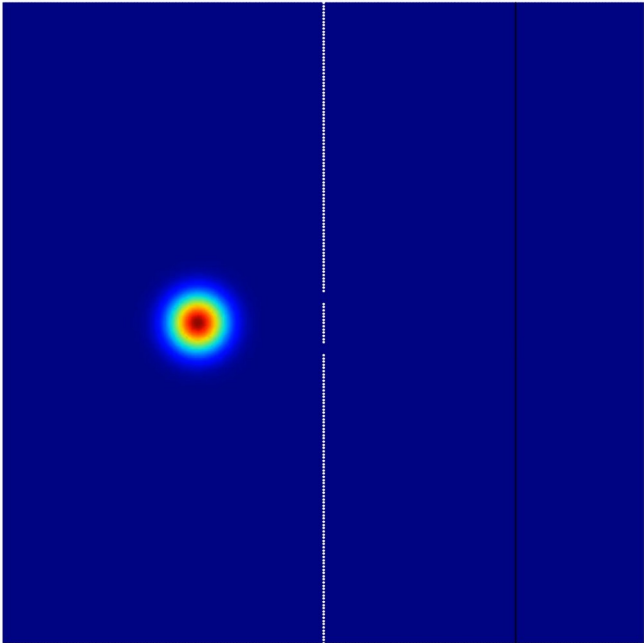
A rések távolsága sokkal **nagyobb** a hullámhossznál

Nincs interferencia

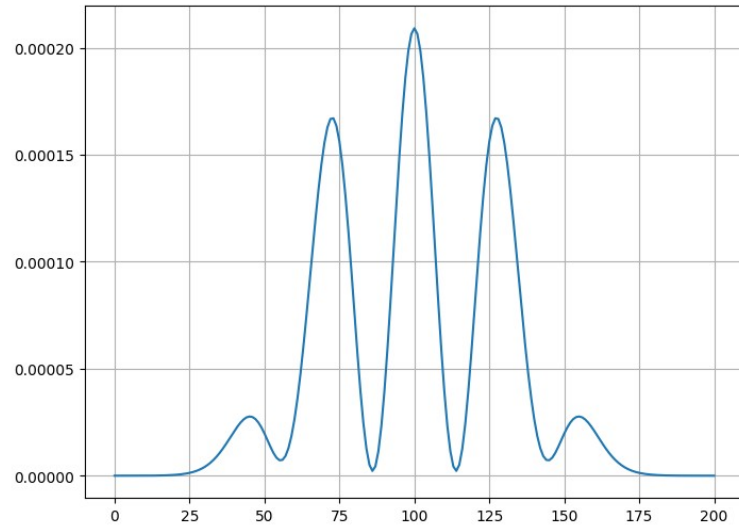
**A klasszikus világunk nem kvantumosan
viselkedik**

Young-féle interferenciakísérlet elektronnal

time: 125 steps: 125 coordinate averages: 66.0616 , 100.0
 $\sum |\psi|^2$: 0.9999999999999528



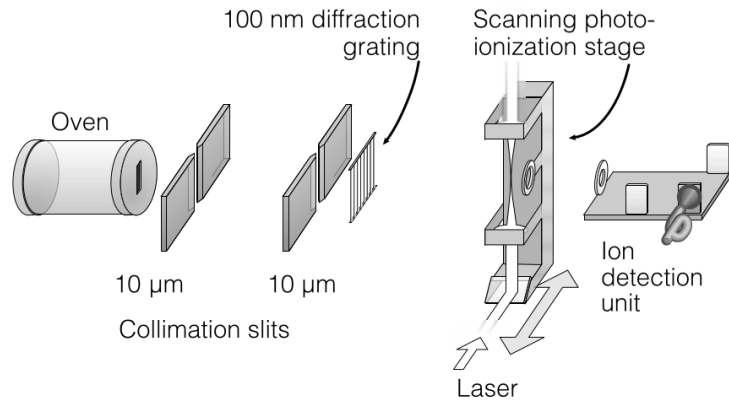
Schrödinger-egyenlet megoldása (saját számolás)



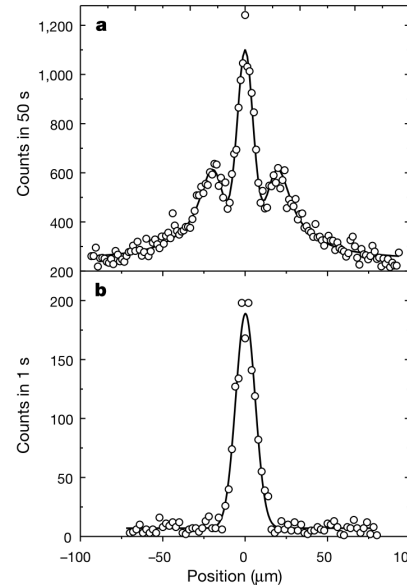
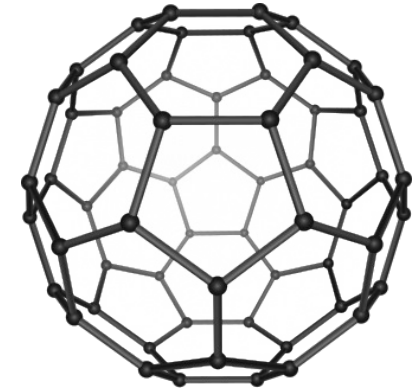
Young-féle interferenciakísérlet fullerénnel

Fullerén (buckyball)

Harold Kroto, Robert Curl és Richard Smalley,
1985-ben fedezték fel, 1996-ban kémiai Nobel-díj

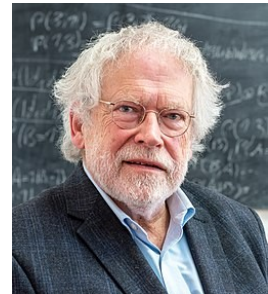


C_{60}
60 szénatom
futball-labda alakú



rácossal

rács nélkül



Anton **Zeilinger**
1945-
Nobel-díj, 2022

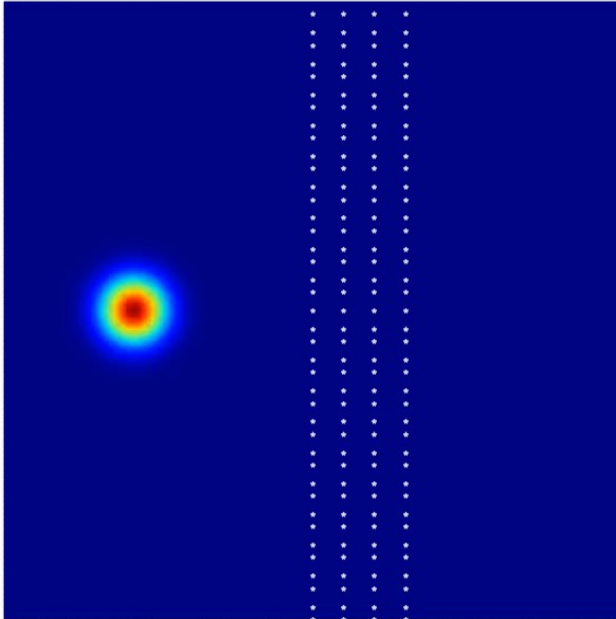
M. Arndt, O. Nairz, J. Vos-Andreae, C. Keller, G. van der Zouw and A. Zeilinger:
Wave-particle duality of C60 molecules, Nature **401**, 680 (1999)

Asbóth János: A „kísérteties távolhatás tettenérése” – a kvantummechanikai összefonódás és a 2022. évi fizikai Nobel-díj, Atomcsill, 2023. 11. 09.

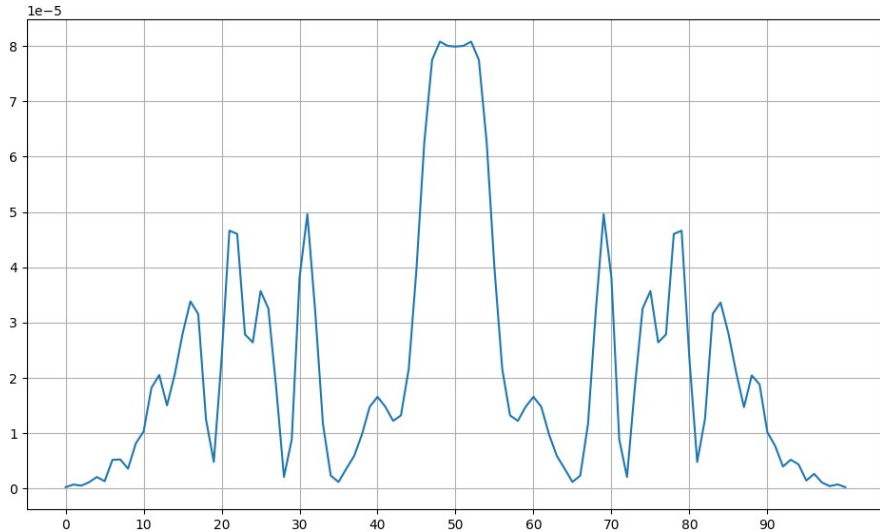
Davisson–Germer-kísérlet (1923–1927)

Elektronok szórása kristályrácson

time: 90 steps: 90
 $\sum |\psi|^2$: 1.0006953168232948

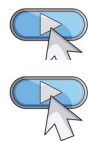


Nikkel kristályon végezték



Schrödinger-egyenlet megoldása
(saját számolás)

Pásztázó elektronmikroszkóp



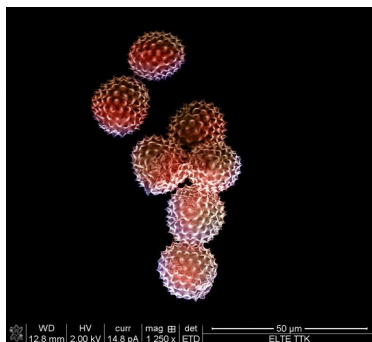
Laboratórium az ELTE-n
Tudomány és esztétika

Felbontás: nano mérettartomány (1 nm – 100 nm)



Vezető: Dankházi Zoltán

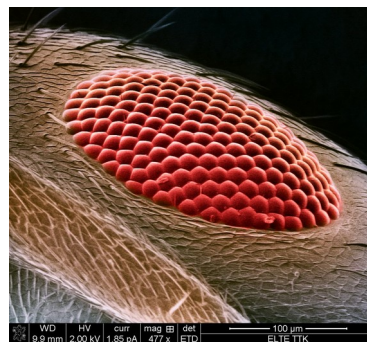
ELTE TTK, Fizikai és
Csillagászati Intézet



Parlagfű
pollenszemcsék



Légy feje



Hangya szeme



Réz egykristályból kialakított
mikro-oszlop (micropillar)

Cs. J.: A nanofizika új eredményei, Atomcsill, 2006. 04. 27.

Dávid Gyula: Kvantumkémek az alagútban, Atomcsill, 2009. 10. 22.

Cs. J.: Az optika — a kvantummechanika előszobája, Atomcsill, 2012. 11. 08.

Dankházi Zoltán: Távcsővel a nanovilágba: SEM az ELTE-n, Atomcsill, 2013. 04. 11.

Pécz Béla: Aberráció-korrigált mikroszkóppal látjuk az egyes atomokat, Atomcsill, 2021.02.11.

A mintát készítette: Dankházi Zoltán és Hegyi Ádám

Fotózta: Ratter Kitti

Színezte: Kaufmann Balázs

Heisenberg-féle határozatlansági reláció (1927)

Hullámcsomag szétfolyása

1925-ben fejlesztette ki a mátrixmechanikát

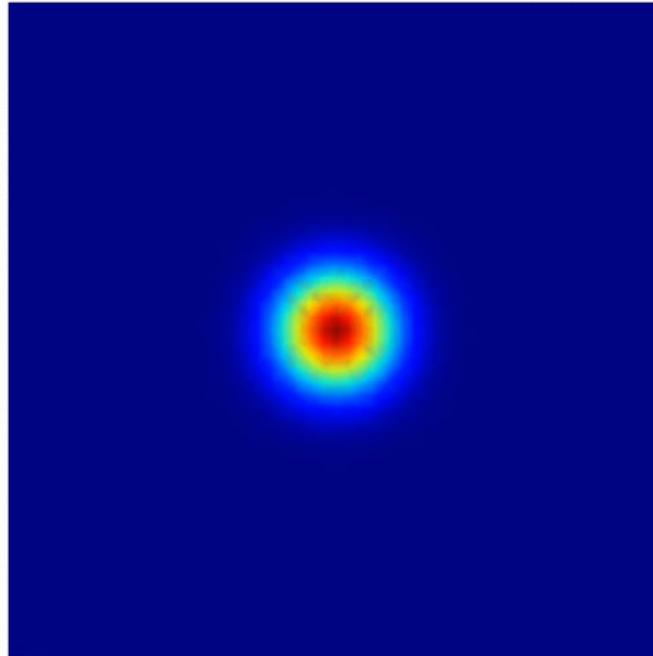
1932-ben Nobel-díjat kapott



Werner Heisenberg
1901-1976

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

time: 200 steps: 200 coordinate averages: 25.0 , 25.0
 $\Sigma|\psi|^2$: 0.9999999999999226



Makroszkopikus testekre a
szétfolyás
(hullámcsomag mérete duplázódik)
ideje trillió év

Makroszkopikus részecske



van pályája

Mikroszkopikus részecske



nincs pályája

Heisenberg-féle határozatlansági reláció (1927)

Dobozba zárt részecske pattogása

1925-ben fejlesztette ki a mátrixmechanikát

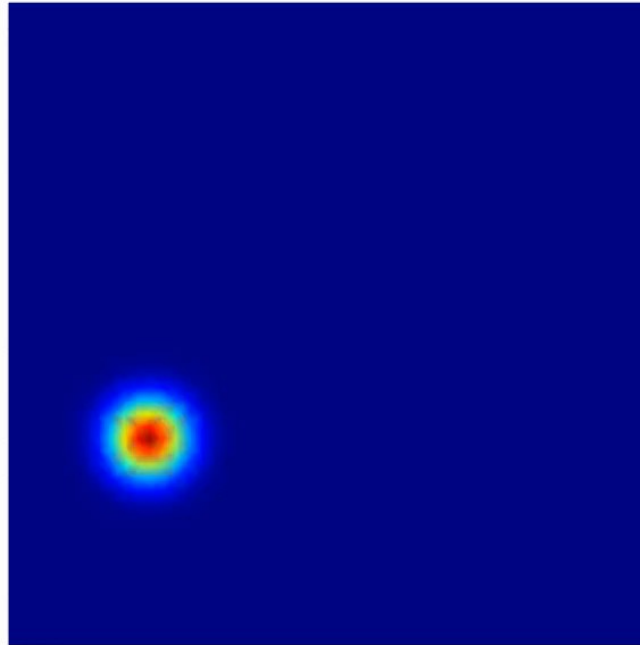
1932-ben Nobel-díjat kapott



Werner Heisenberg
1901-1976

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

time: 100 steps: 100 coordinate averages: 7.2227 , 27.7464
 $\Sigma|\psi|^2$: 1.00000139047708



Makroszkopikus testekre a
szétfolyás
(hullámcsomag mérete duplázódik)
ideje trillió év

Makroszkopikus részecske



van pályája

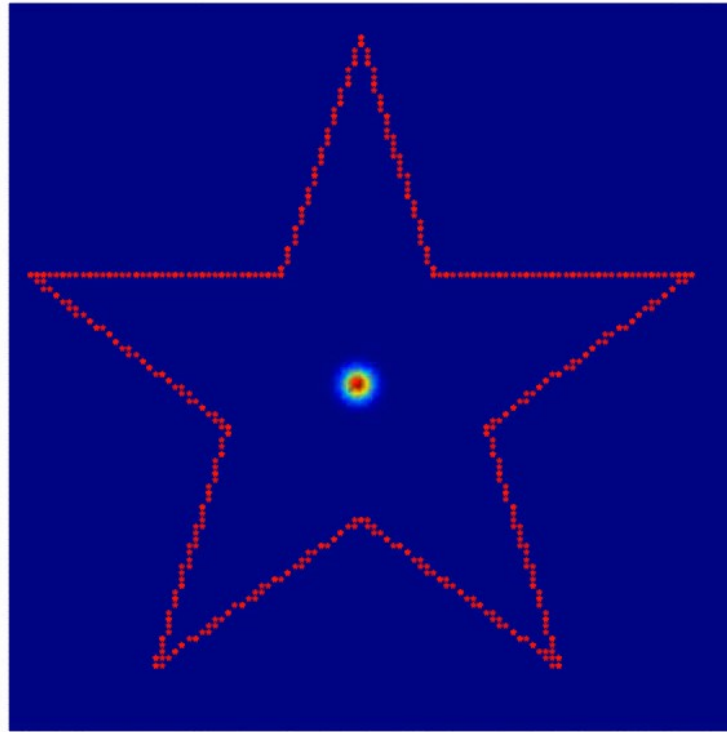
Mikroszkopikus részecske



nincs pályája

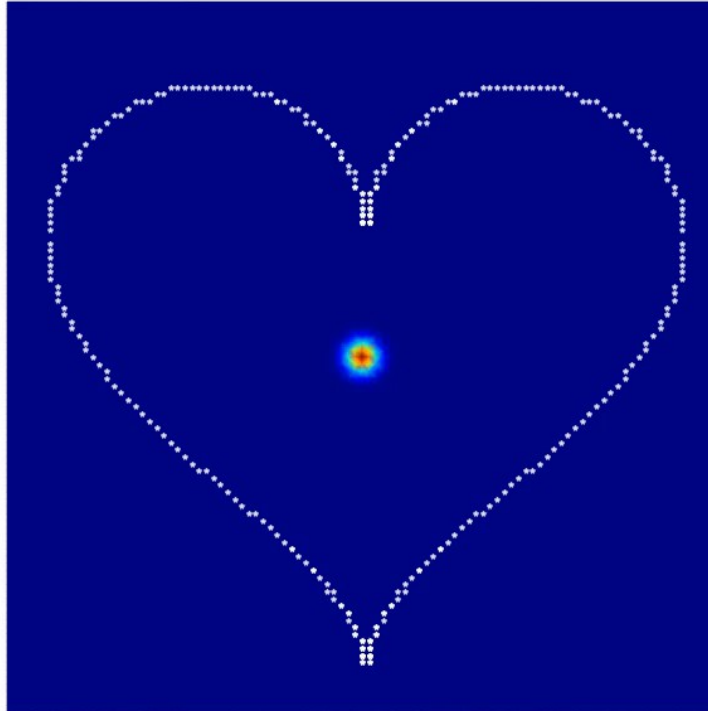
Vöröscsillagba zárt elektron

time: 170 steps: 170
 $\Sigma|\psi|^2: 1.0000859037675744$

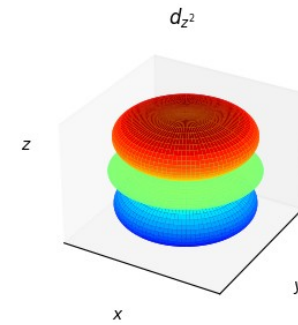
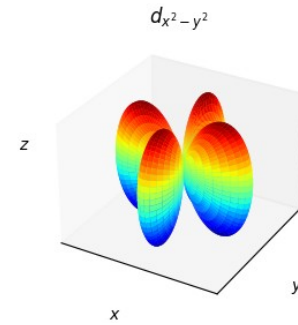
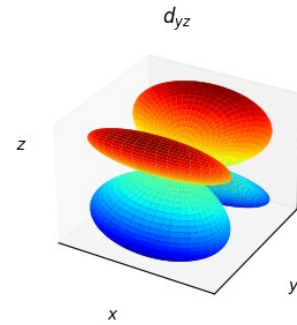
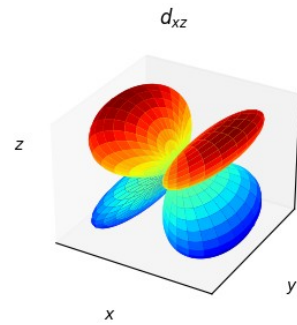
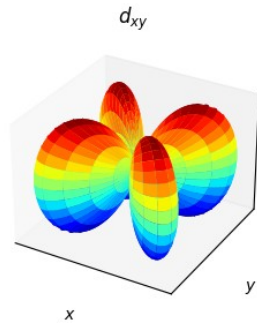
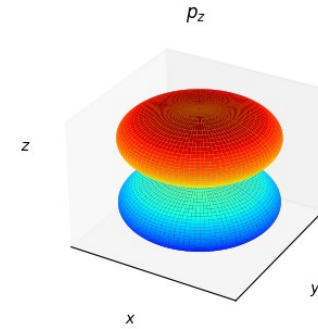
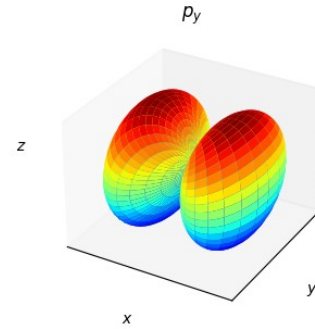
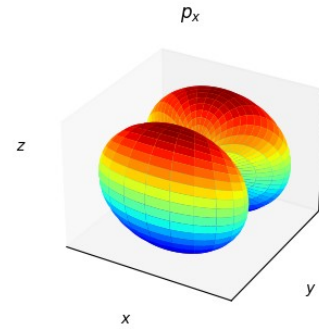
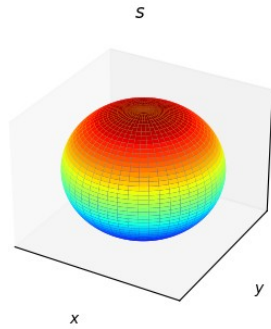


Szívbe zárt elektron

time: 150 steps: 150
 $\sum |\psi|^2$: 1.0000762675704737

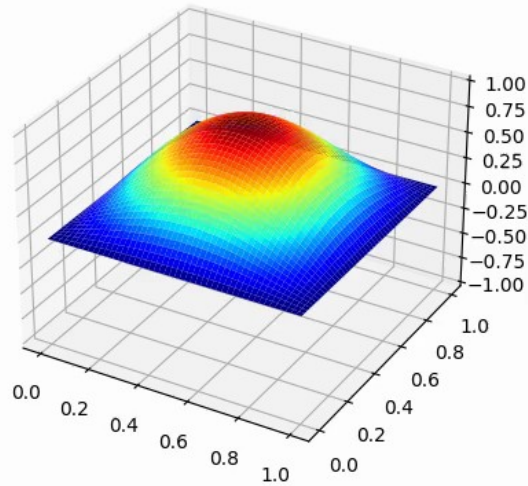


Hidrogénatom pályái

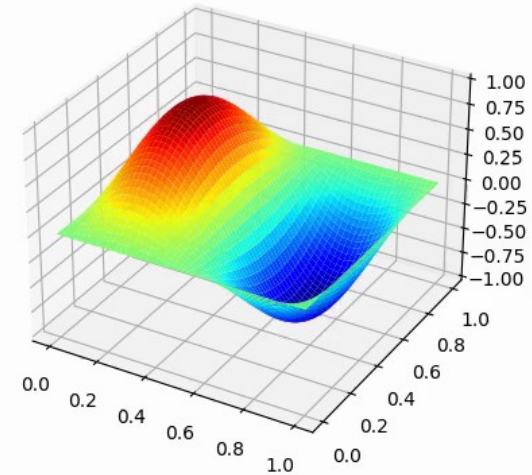


„Négyzet” alakú atom pályái

$$m = 1, n = 1$$

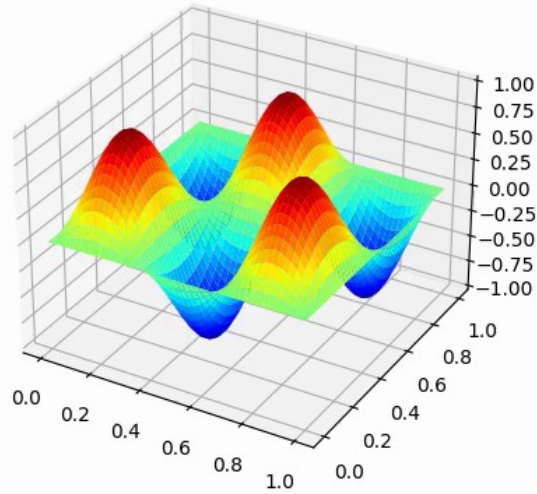


$$m = 2, n = 1$$

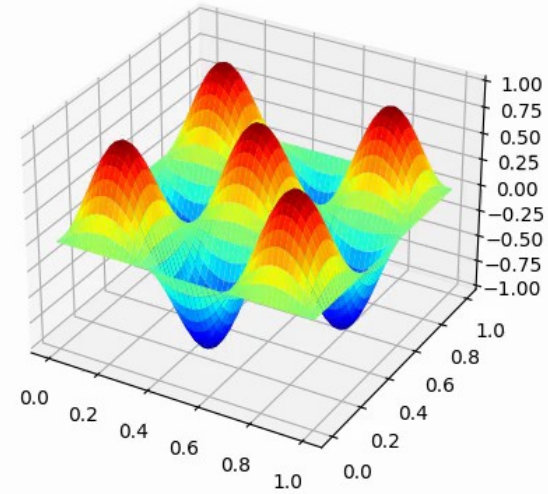


„Négyzet” alakú atom pályái

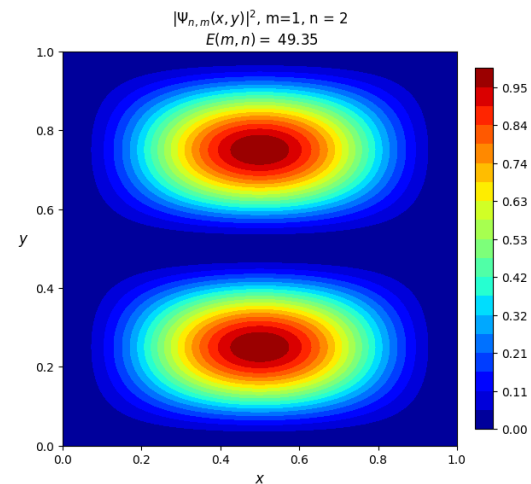
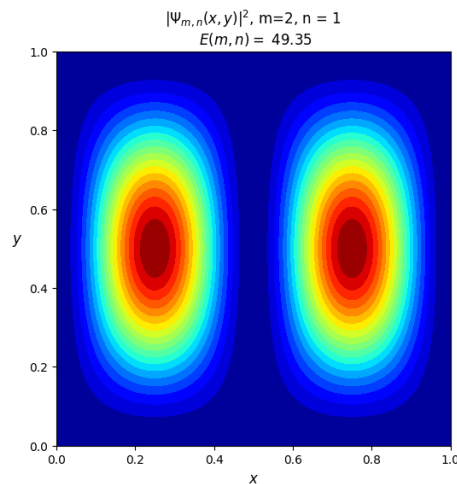
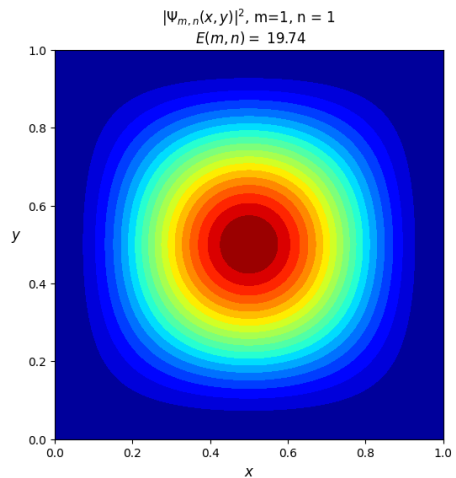
$$m = 3, n = 2$$



$$m = 3, n = 3$$

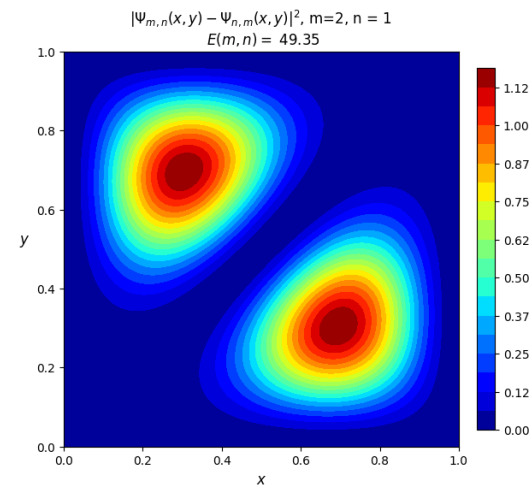
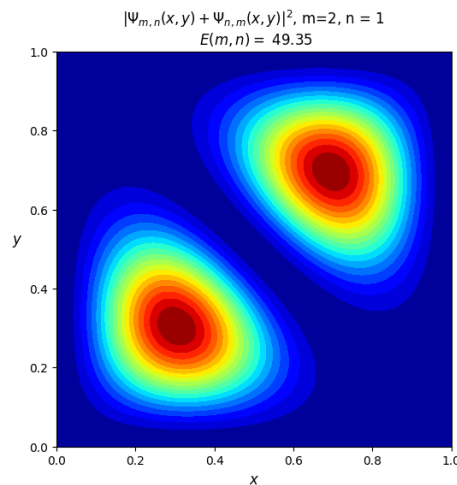


„Négyzet” alakú atom pályái



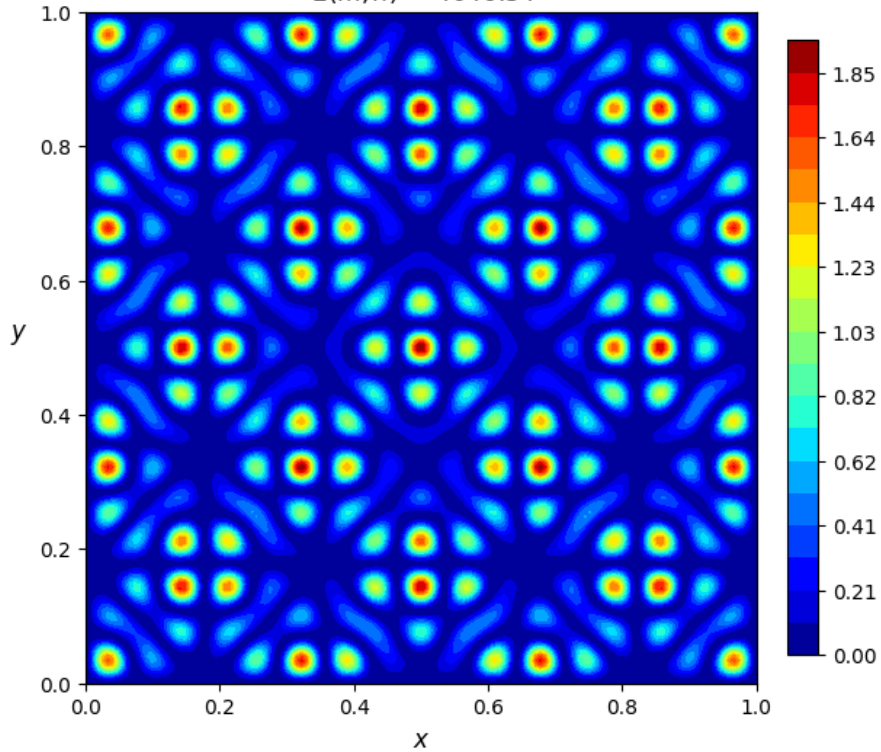
azonos energiájú
állapotok
(degenerált állapotok)

A szimmetriák szerepe

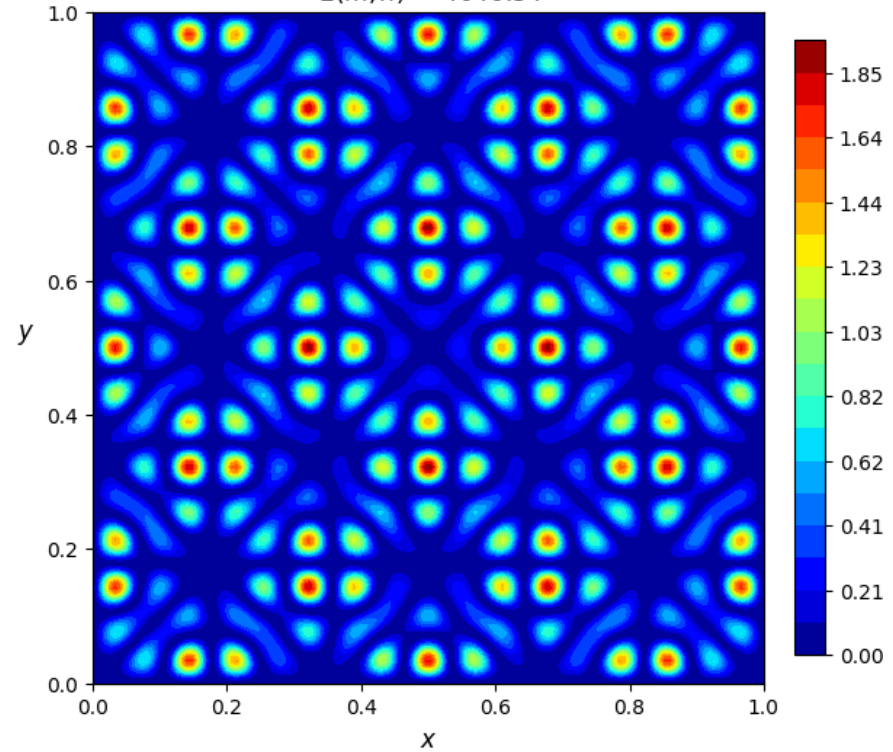


„Négyzet” alakú atom pályái

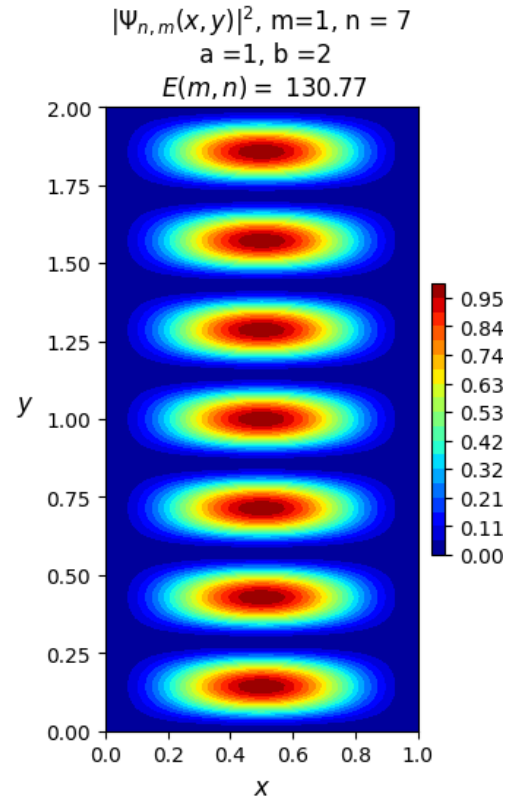
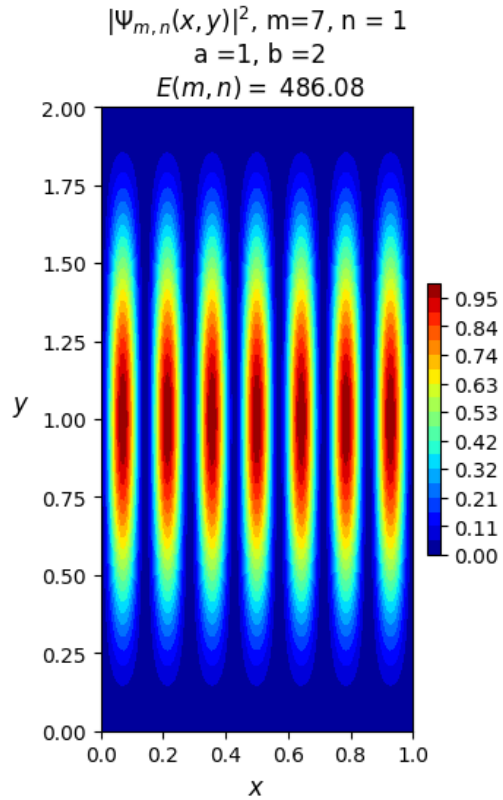
$$|\Psi_{m,n}(x,y) + \Psi_{n,m}(x,y)|^2, m=17, n=11$$
$$E(m,n) = 4046.54$$



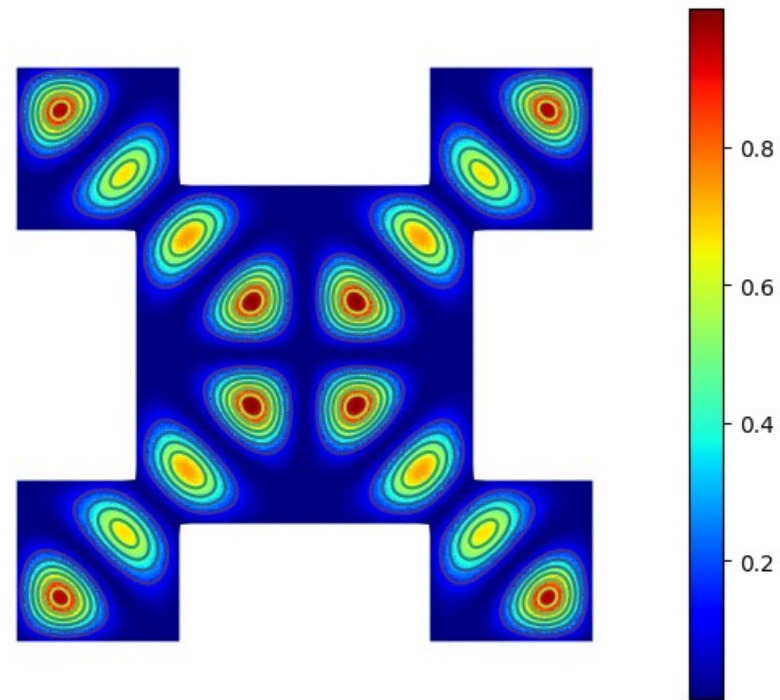
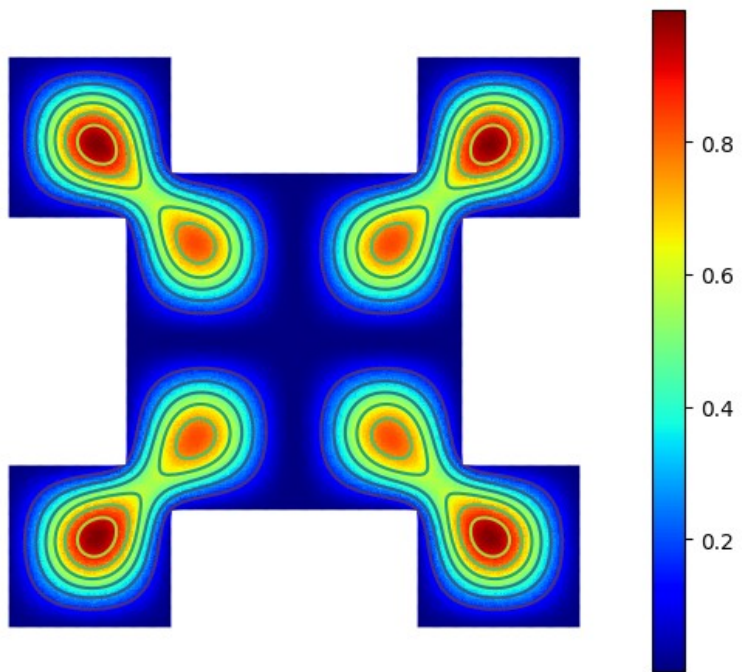
$$|\Psi_{m,n}(x,y) - \Psi_{n,m}(x,y)|^2, m=17, n=11$$
$$E(m,n) = 4046.54$$



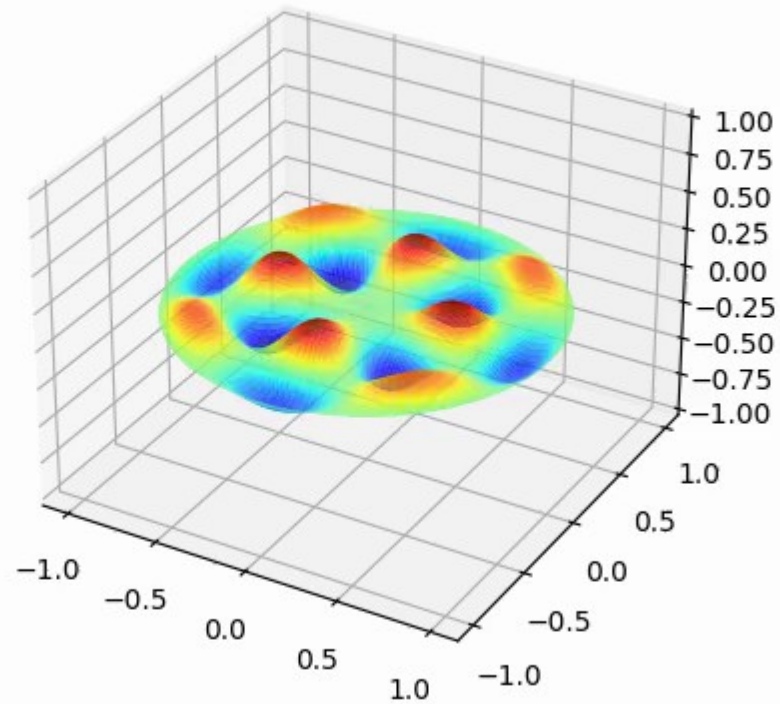
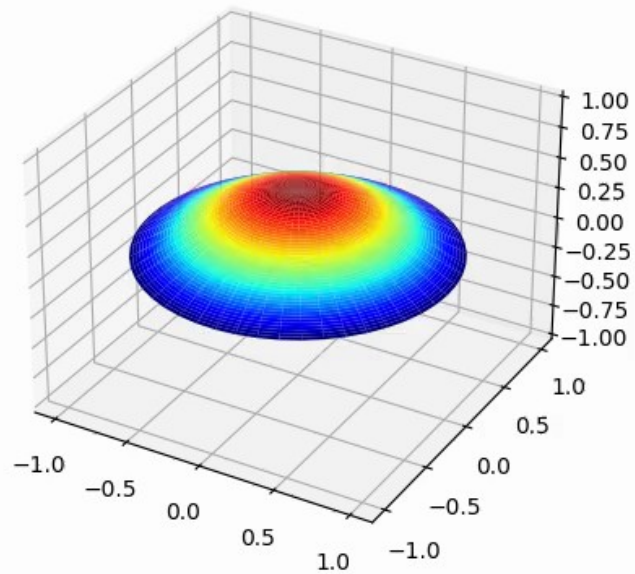
„Téglalap” atom pályái energiaszintek fehasadása



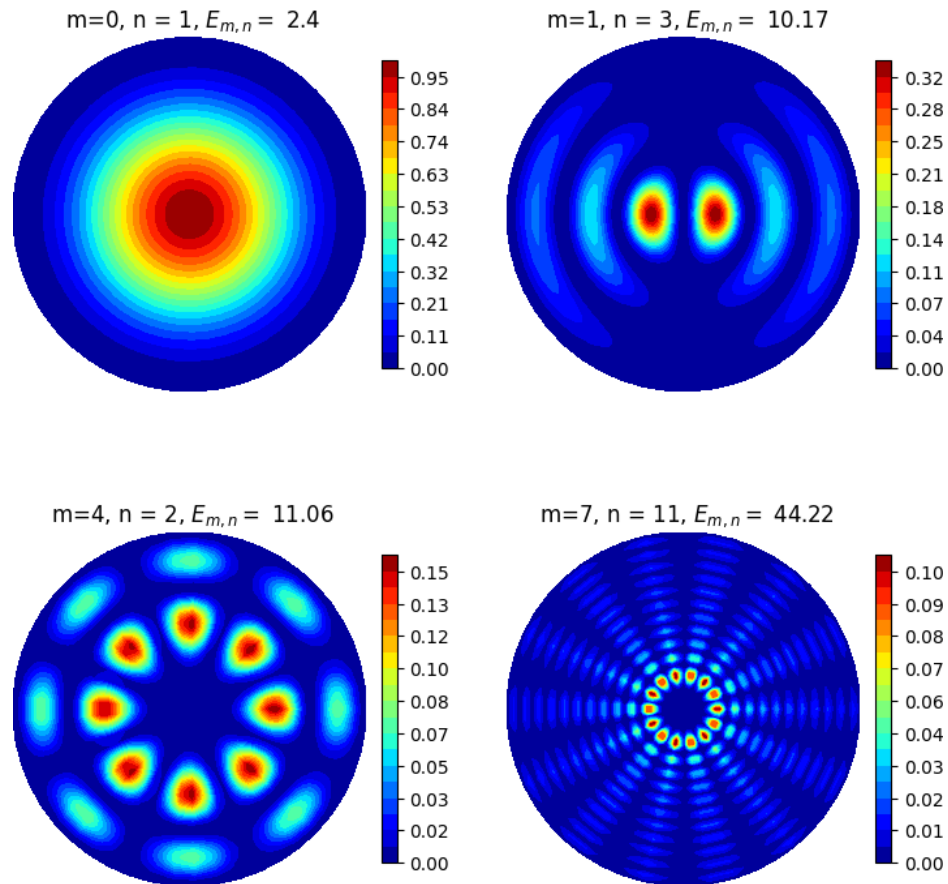
„Négyzet csápokkal” atom pályái



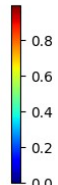
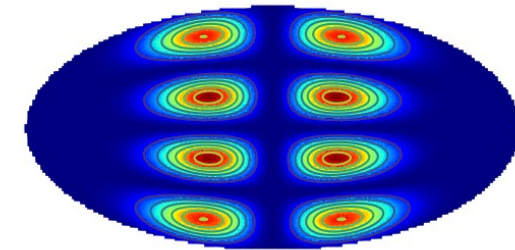
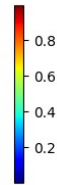
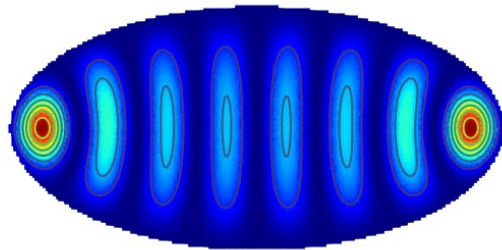
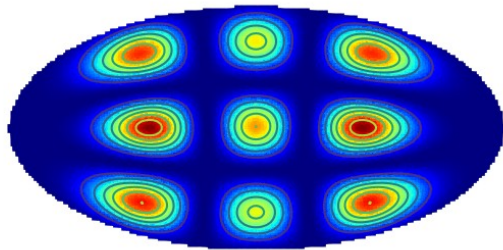
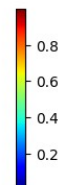
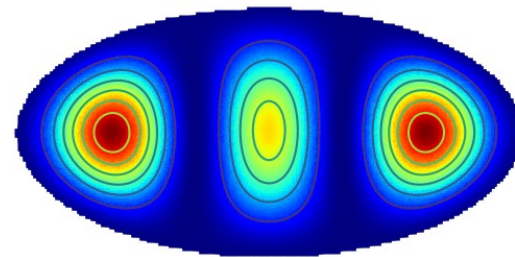
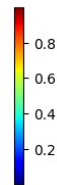
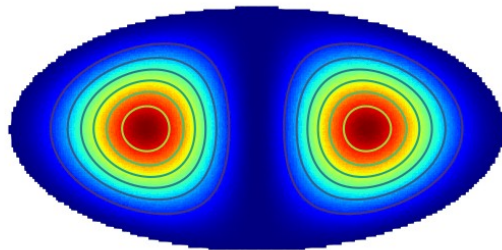
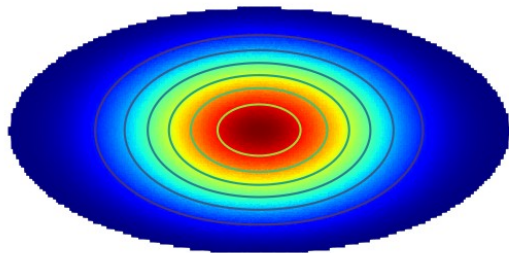
„Kör” alakú atom pályái



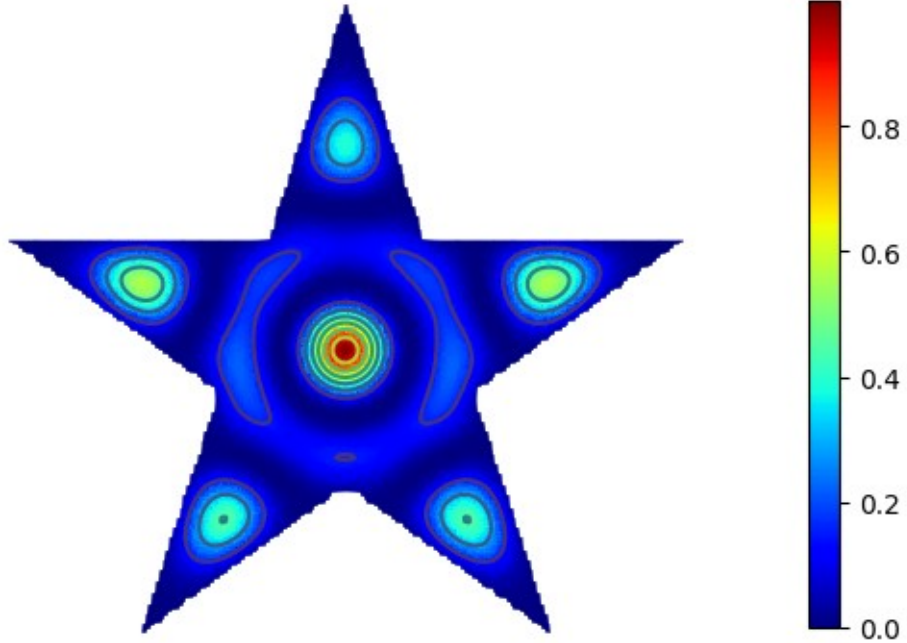
„Kör” alakú atom pályái



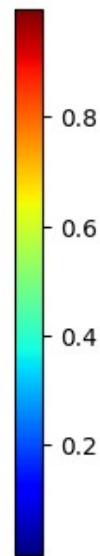
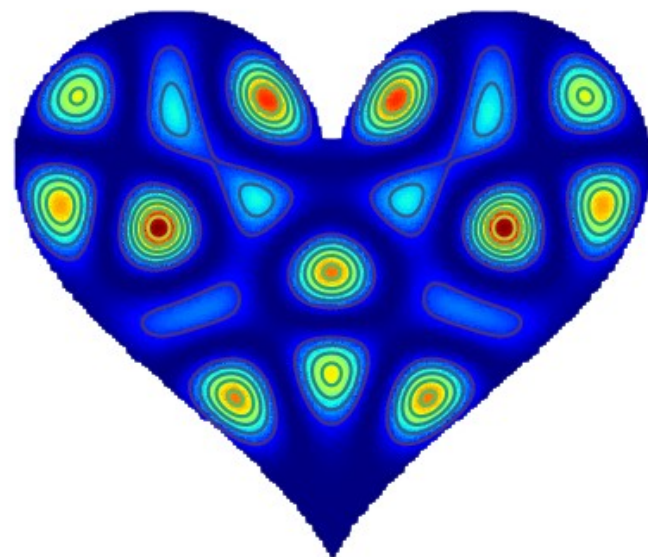
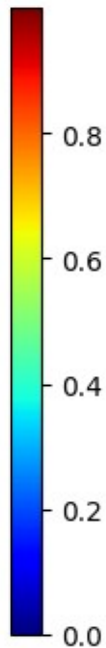
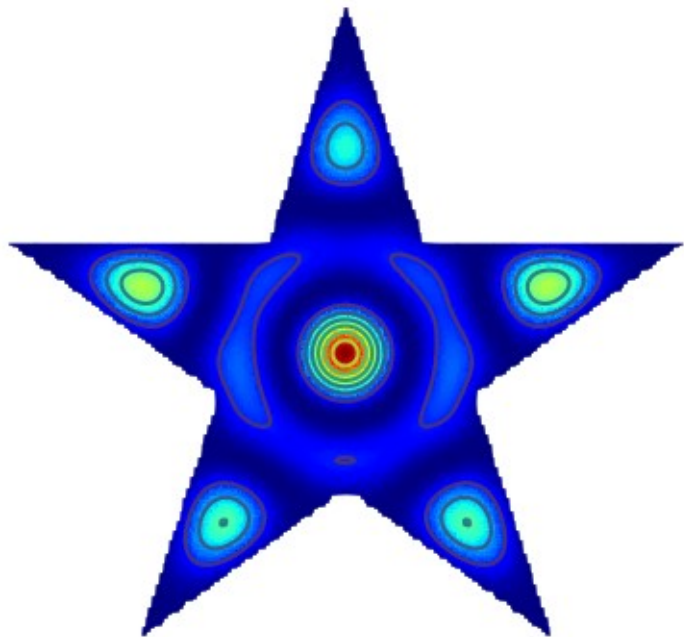
„Ellipszis” atom pályái



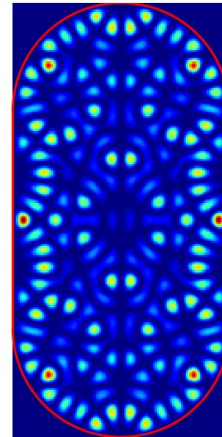
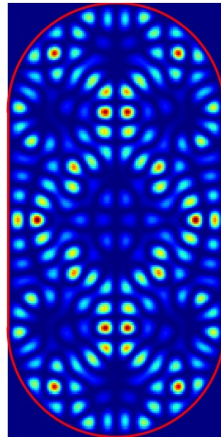
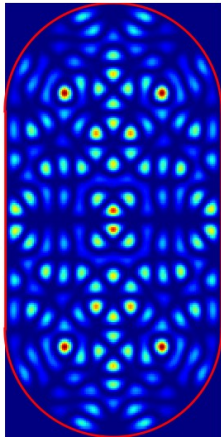
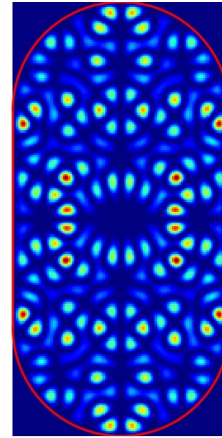
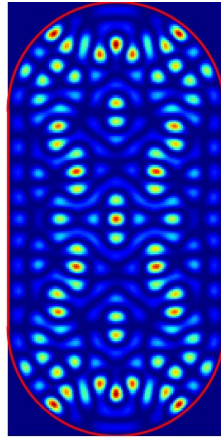
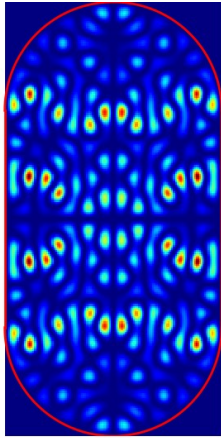
„Ötágú csillag” atom pályái



„Ötágú csillag” és a „szív” atom pályái

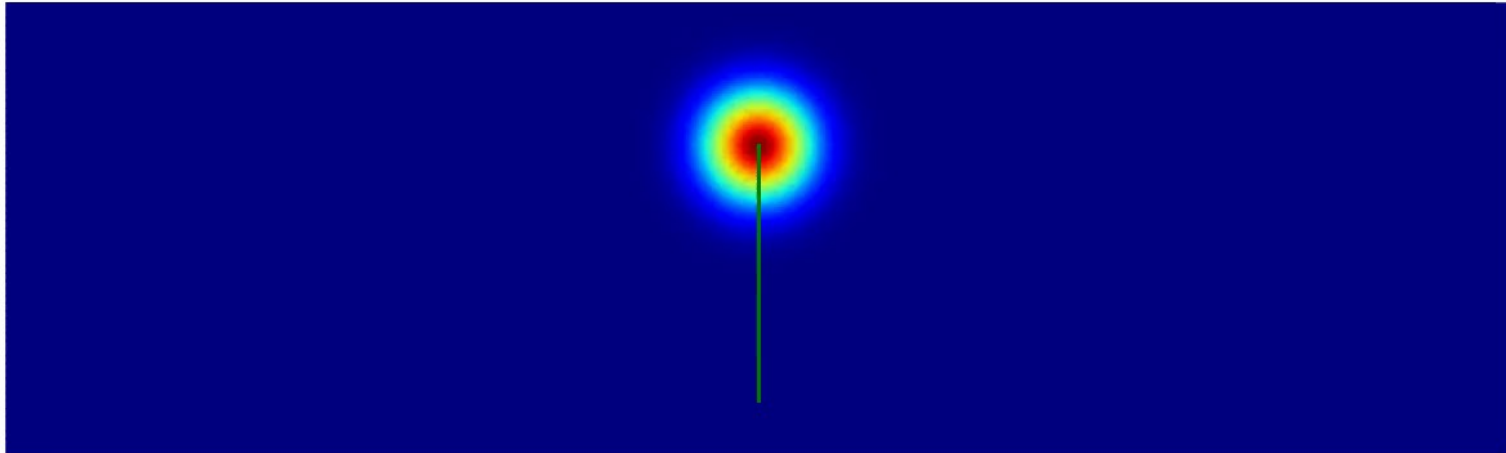


„Stadion” atom pályái



Pattógó labda

time: 300 steps: 300 coordinate averages: 100.0 , 14.4015
 $\Sigma|\text{psi}|^2$: 1.0000000000000069

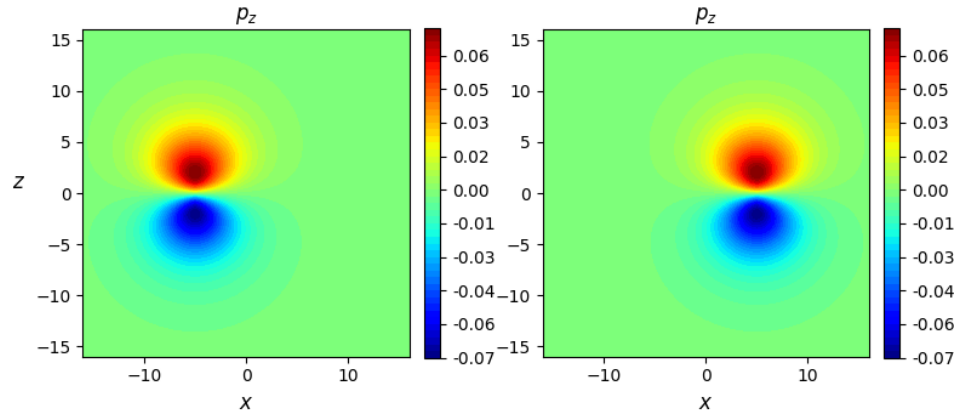


Két atom együttes pályája

A kémia alapjai, a molekulák kvantummechanikája

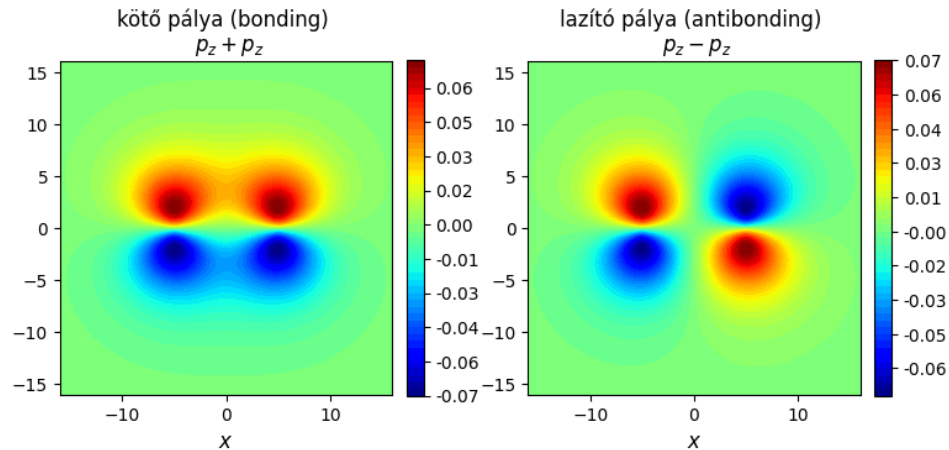
Két atom külön

p_z pályák



Két atom közel

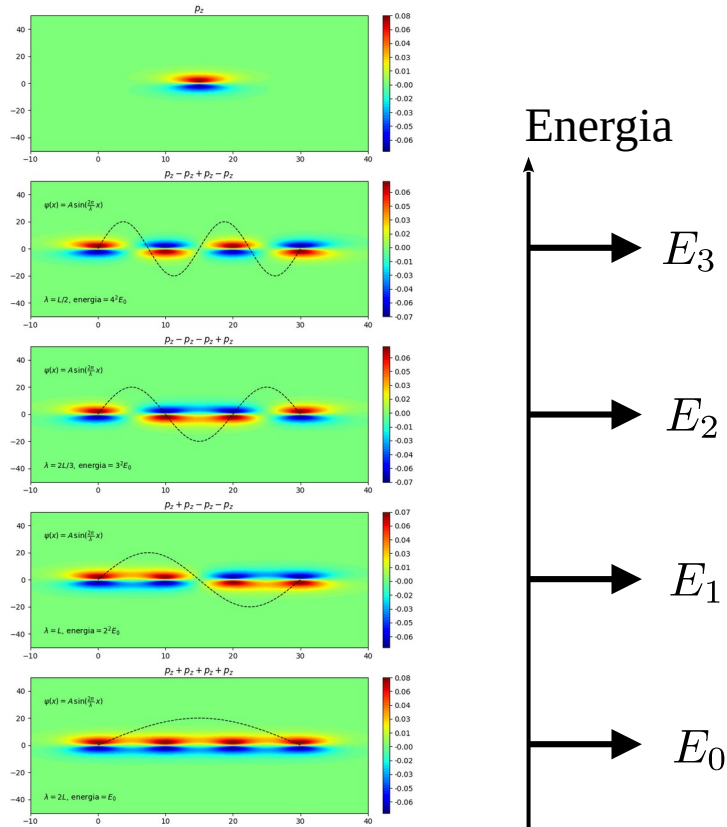
kötő/lazító pályák



kovalens kötés

Miért zöld a fű?

Hosszú molekulák energiaszintjei



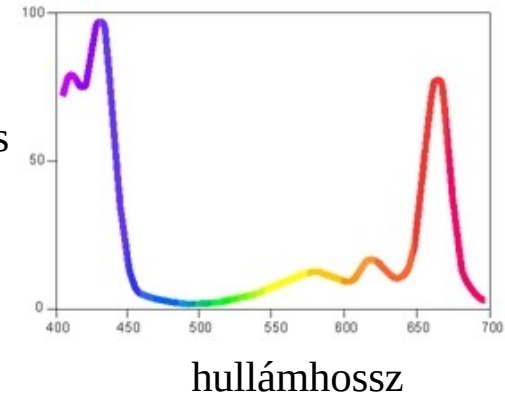
Az elektron hosszú „futópályája”, hosszú szénlác

Paradicsom, likopin molekula, piros (zöldet elnyeli)

Sárgarépa, karotin molekula, narancssárga (kéket elnyeli)

Klorofill zöld (kéket és a vöröst elnyeli)

fényelnyelés



Alagúteffektus

Régen így vasaltak



Cs. J.: A nanofizika új eredményei, Atomcsill, 2006. 04. 27.

Dávid Gyula: Kvantumkémek az alagútban, Atomcsill, 2009. 10. 22.

Cs. J.: Az optika — a kvantummechanika előszobája, Atomcsill, 2012. 11. 08.

Alagúteffektus

Régen így vasaltak



Ma így vasalunk



- Cs. J.: A nanofizika új eredményei, Atomcsill, 2006. 04. 27.
Dávid Gyula: Kvantumképek az alagútban, Atomcsill, 2009. 10. 22.
Cs. J.: Az optika — a kvantummechanika előszobája, Atomcsill, 2012. 11. 08.

Alagúteffektus

Régen így vasaltak



Ma így vasalunk



A villásdugó és a konnektor között nem tökéletes a kontaktus (oxid réteg)

Az elektron egy **potenciálgátat** "érez"

Az elektronnak ezen a potenciálgáton kell áthaladnia: ez az **alagúteffektus**

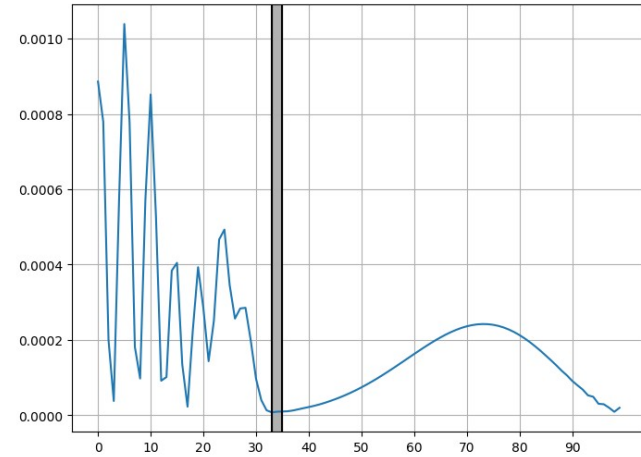
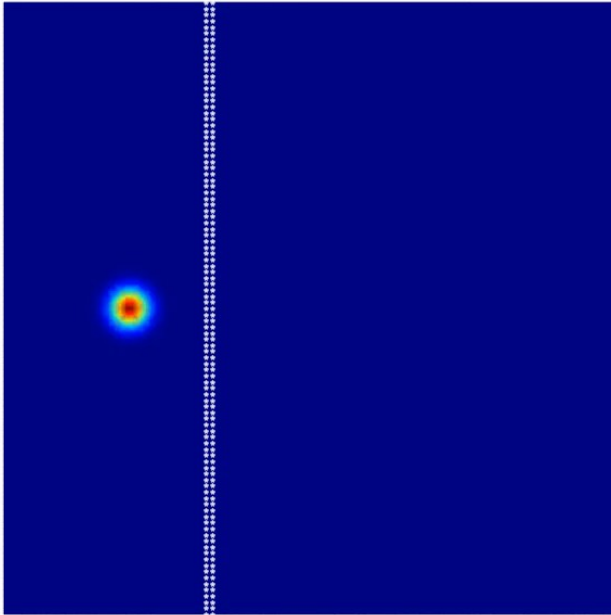
Cs. J.: A nanofizika új eredményei, Atomcsill, 2006. 04. 27.

Dávid Gyula: Kvantumképek az alagútban, Atomcsill, 2009. 10. 22.

Cs. J.: Az optika — a kvantummechanika előszobája, Atomcsill, 2012. 11. 08.

Alagúteffektus

time: 80 steps: 80
 $\sum |\psi|^2$: 1.0000000000000582

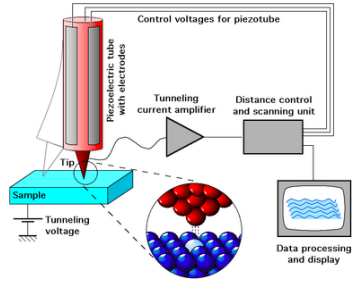


Cs. J.: A nanofizika új eredményei, Atomcsill, 2006. 04. 27.

Dávid Gyula: Kvantumképek az alagútban, Atomcsill, 2009. 10. 22.

Cs. J.: Az optika — a kvantummechanika előszobája, Atomcsill, 2012. 11. 08.

Alagúteffektus: egy Nobel-díjas alkalmazás a pásztázó alagútmikroszkóp



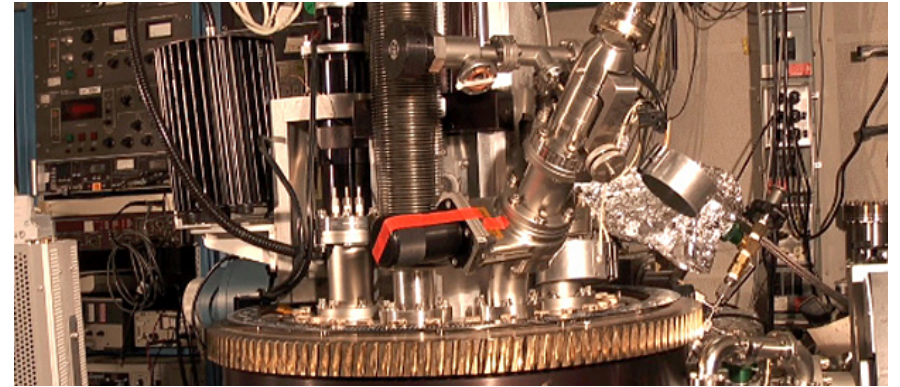
A minta fölött egy nagyon hegyes tűt mozgatnak,
az elektronok alagúteffektussal jutnak át a mintáról a tűre.

$$1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$$

Ha a Nap – Föld = **1 m** → futballpálya = **1 nm**

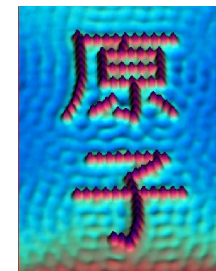
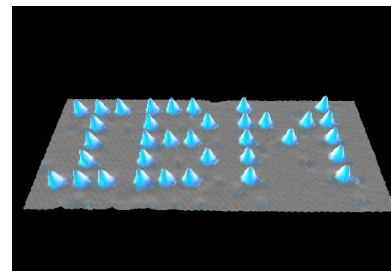
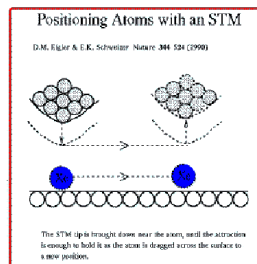
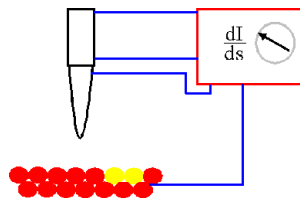
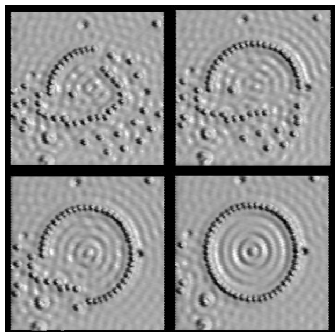
Felbontás: nm tört része,
egyedi atomok és molekulák megfigyelése,
és egyes atomok mozgatása a felületen.

Gerd **Binnig** és Heinrich **Rohrer**, 1981 (Nobel díj 1986).

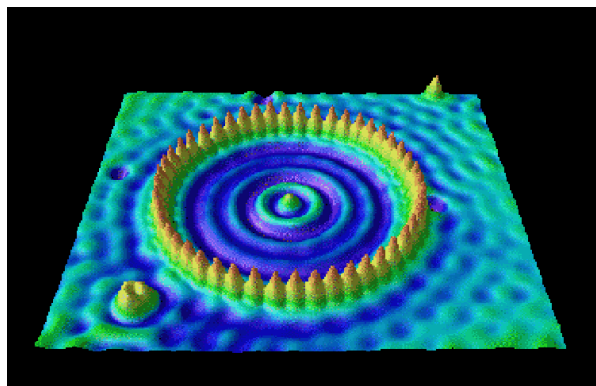


- Cs. J.: A nanofizika új eredményei, Atomcsill, 2006. 04. 27.
Dávid Gyula: Kvantumképek az alagútban, Atomcsill, 2009. 10. 22.
Cs. J.: Az optika — a kvantummechanika előszobája, Atomcsill, 2012. 11. 08.

Alagúteffektus: Atomok elhelyezése egy felületen



Kvantum karám



35 Xenon atom nickel felületen 2,17 K hőmérsékleten
IBM Zürich Research Laboratory 1990

A hullámfüggvény „mérése” $|\Psi(\mathbf{r})|^2$

Cu lapon 48 Fe atom
egy $R = 7,18$ nm sugarú kör mentén

M.F. **Crommie**, C.P. **Lutz**, D.M. **Eigler**: Confinement of electrons to quantum corrals on a metal surface, *Science* **262**, 218-220 (1993).

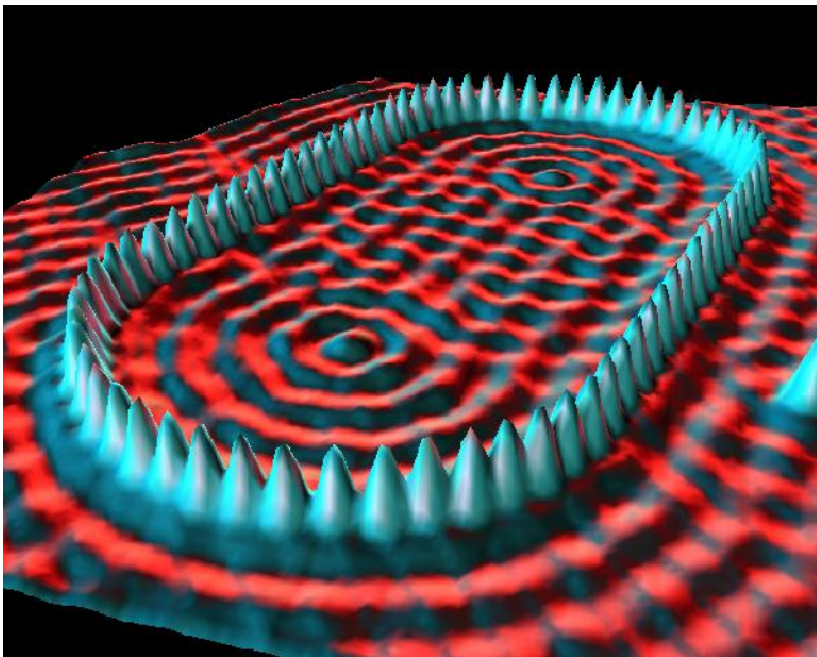
Cs. J.: A nanofizika új eredményei, *Atomcsill*, 2006. 04. 27.

Dávid Gyula: Kvantumkémek az alagútban, *Atomcsill*, 2009. 10. 22.

Cs. J.: Az optika — a kvantummechanika előszobája, *Atomcsill*, 2012. 11. 08.

Stadion

újra



$$|\Psi(\mathbf{r})|^2$$

M.F. Crommie, C.P. Lutz, D.M. Eigler, E.J. Heller:
Waves on a metal surface and quantum corrals.
Surface Review and Letters **2**, 127-137 (1995).

Kvantumbiliárdok

A biliárd mérete: néhány **száz nm**

Az elektron sebessége kb. **270** $\frac{\text{km}}{\text{s}} \approx 976000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Cs. J.: A nanofizika új eredményei, Atomcsill, 2006. 04. 27.

Dávid Gyula: Kvantumkémek az alagútban, Atomcsill, 2009. 10. 22.

Cs. J.: Az optika — a kvantummechanika előszobája, Atomcsill, 2012. 11. 08.

Cs. J.: A Chladni-féle porábráktól a nanofizikáig, KÖMAL, 54. évfolyam (április), 236-242. oldal (2004)

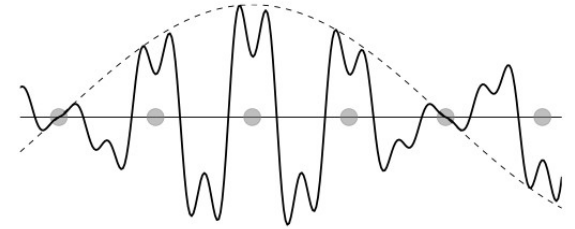
Szilárdtestek kvantummechanikája

Az egész mintára kiterjedő hullámfüggvény (Bloch-elektron állapot)

Fémek, szigetelők, félvezetők

Alkalmazások:

- diódák – egyenirányítók
- tranzistorok – modern elektronika alapja
- mobil telefon, okosóra, számítógép, stb.

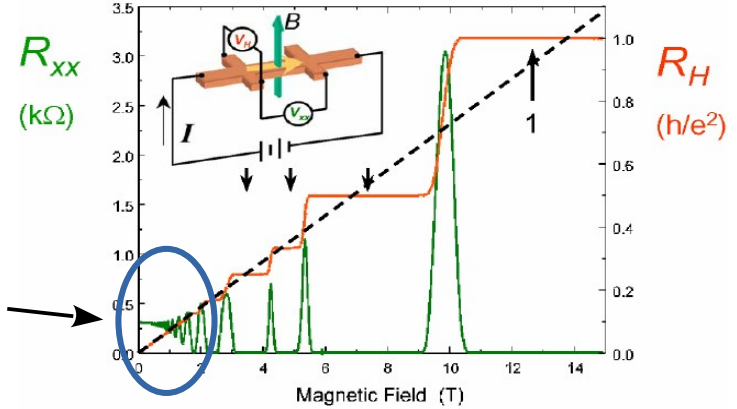


Klasszikus Hall-jelenség

Hall-ellenállás: $R_H = \frac{V}{I} \sim B$

Edwin Herbert Hall, 1879
(doktoriján dolgozott)

Klasszikus
Hall-effektus
 $B < 1$ T



Kvantumos Hall-jelenség

Hall-ellenállás: $R_H = \frac{V}{I} \sim B$

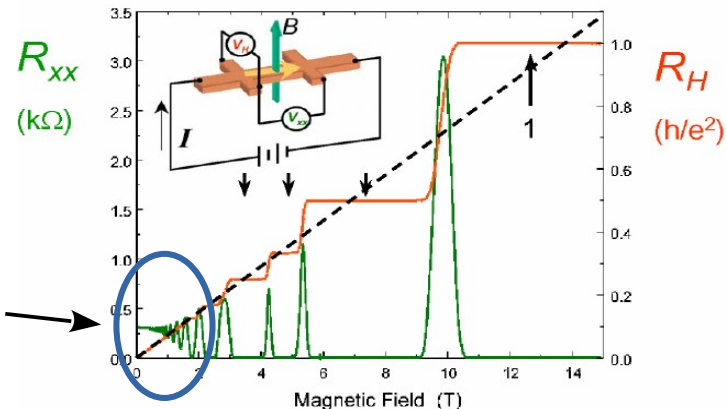
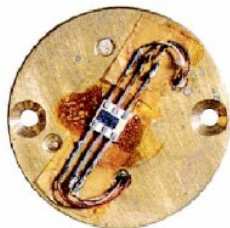
Edwin Herbert Hall, 1879
(doktoriján dolgozott)

Növelve a mágneses teret:

$$R_H = \frac{V}{I} = \frac{R_K}{\nu}, \quad \text{ahol } \nu = 1, 2, 3, \dots$$



Klaus von Klitzing
1943 -
Nobel-díj 1985



Kvantumos Hall-jelenség

Hall-ellenállás: $R_H = \frac{V}{I} \sim B$

Edwin Herbert Hall, 1879
(doktoriján dolgozott)

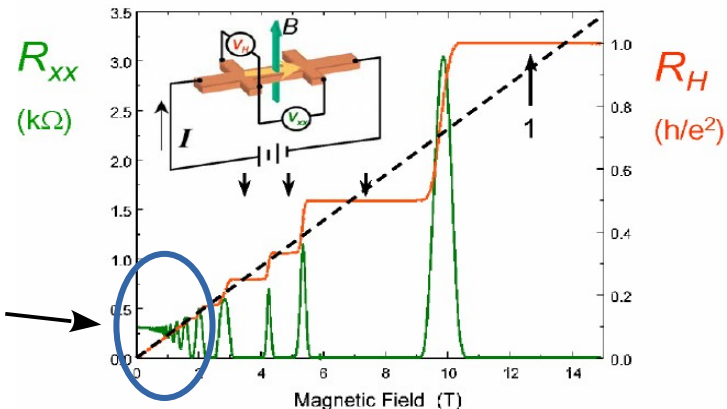
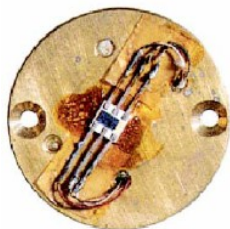
Növelve a mágneses teret:

$$R_H = \frac{V}{I} = \frac{R_K}{\nu}, \quad \text{ahol } \nu = 1, 2, 3, \dots$$

$$R_K = \frac{h}{e^2} = 25812,80745 \, \Omega \approx 25,9 \, \text{k}\Omega$$



Klaus von Klitzing
1943 -
Nobel-díj 1985



A kvantummechanika makroszkopikus megnyilvánulása

Kvantumos Hall-jelenség

Hall-ellenállás: $R_H = \frac{V}{I} \sim B$

Edwin Herbert Hall, 1879
(doktoriján dolgozott)

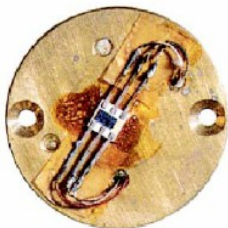
Növelve a mágneses teret:

$$R_H = \frac{V}{I} = \frac{R_K}{\nu}, \quad \text{ahol } \nu = 1, 2, 3, \dots$$

$$R_K = \frac{h}{e^2} = 25812,80745 \Omega \approx 25,9 \text{ k}\Omega$$



Klaus von Klitzing
1943 -
Nobel-díj 1985

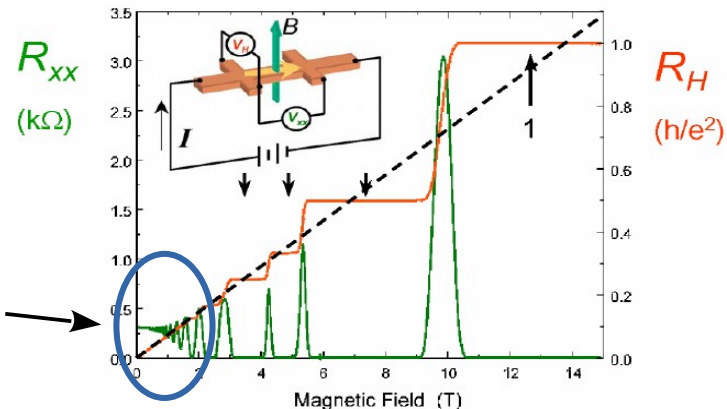


A kvantummechanika makroszkopikus megnyilvánulása

Még nagyobb mágneses térnél ($B \sim 15 - 30 \text{ T}$):

$$\nu = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{2}{5}, \frac{3}{7}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \dots, \frac{5}{2}, \dots$$

tört kvantum Hall-effektus

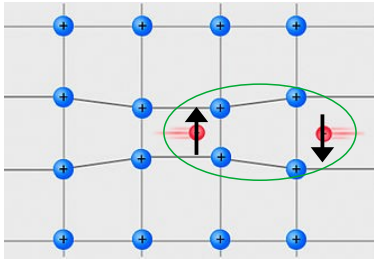


Klasszikus
Hall-effektus
 $B < 1 \text{ T}$

Szupravezetés

(Heike Kamerlingh Onnes, 1911)

Higany elektromos ellenállása 4,19 K hőmérséklet alatt zérus lesz.



Elektronok a rács torzulása miatt vonzzák egymást, párokba rendeződnek

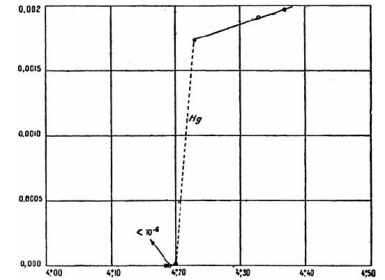
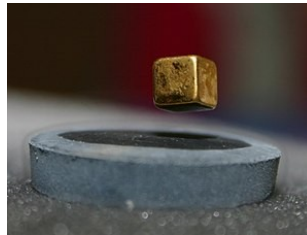
Cooper-párok, speciális hullámfüggvény

Ellentétes impulzusú és ellentétes spinű párok

A Cooper-párok már ellenállás nélkül mozognak

A kvantummechanika makroszkopikus megnyilvánulása

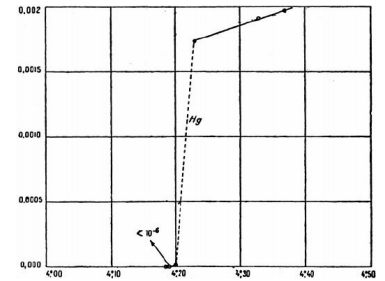
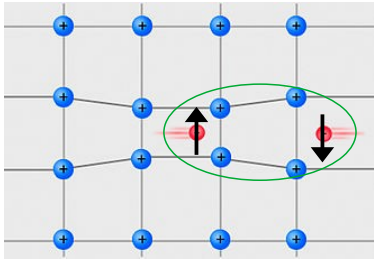
Szupravezető felett lebegő mágnes



Szupravezetés

(Heike Kamerlingh Onnes, 1911)

Higany elektromos ellenállása 4,19 K hőmérséklet alatt zérus lesz.



Elektronok a rács torzulása miatt vonzzák egymást, párokba rendeződnek

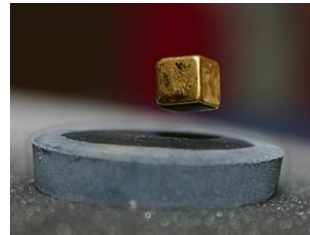
Cooper-párok, speciális hullámfüggvény

Ellentétes impulzusú és ellentétes spinű párok

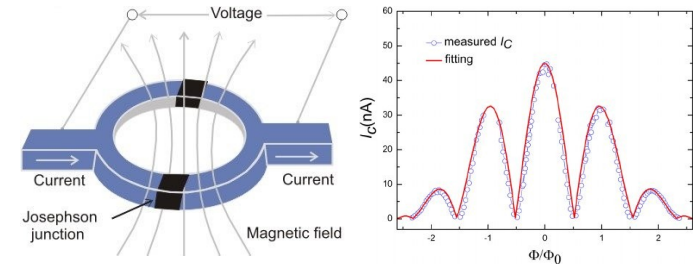
A Cooper-párok már ellenállás nélkül mozognak

A kvantummechanika makroszkopikus megnyilvánulása

Szupravezető felett lebegő mágnes



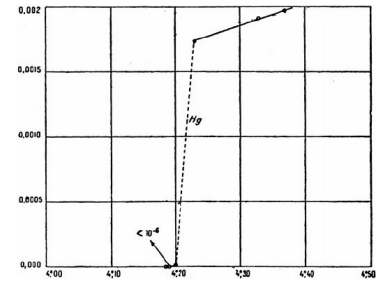
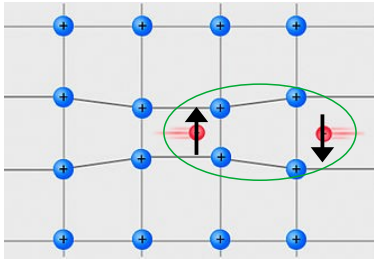
Josephson-átmenet



Szupravezetés

(Heike Kamerlingh Onnes, 1911)

Higany elektromos ellenállása 4,19 K hőmérséklet alatt zérus lesz.



Elektronok a rács torzulása miatt vonzzák egymást, párokba rendeződnek

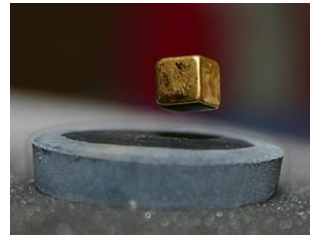
Cooper-párok, speciális hullámfüggvény

Ellentétes impulzusú és ellentétes spinű párok

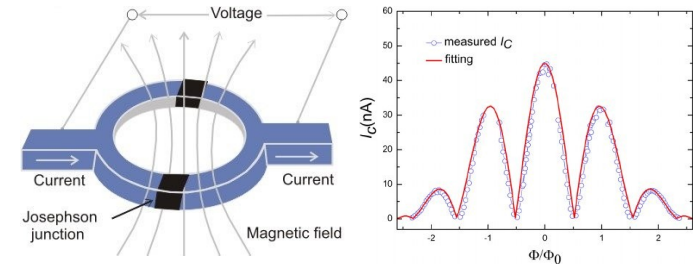
A Cooper-párok már ellenállás nélkül mozognak

A kvantummechanika makroszkopikus megnyilvánulása

Szupravezető felett lebegő mágnes

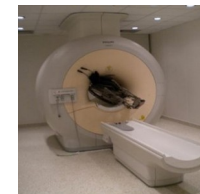


Josephson-átmenet



Alkalmazások:

- Nagy mágneses tér, részecskegyorsítókban, CERN
- Vonatok mágneses lebegtetése
- Szupravezető Josephson-átmenet, SQUID (szupravezető kvantum-interferenciás eszközök), a legérzékenyebb magnetométer, szívverést lehet vele kimutatni
- MRI (magnetic resonance imaging, mágneses rezonanciás képalkotás, 1975 - 1977)



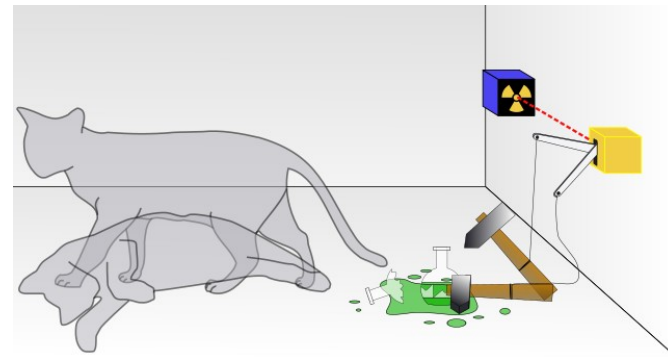
Sólyom Jenő: Szupravezetés, Atomcsill, 2007. 12. 06.

Kürti Jenő: Mágneses rezonancia módszerek: spinek tánca mágneses térben, Atomcsill, 2008. 11. 06.

Kvantummechanika 2.0

- Schrödinger macskája
- Spin
- kvantum-összefonódás
- kvantum-teleportálás

- kvantumszámítógép, kvantuminformatika



[Pozsgay Balázs](#): Sejtautomaták – játékos modellektől a kvantumszámítógépekig, Atomcsill, 2024. 04. 11.

[Vukics András](#): A mindent mérő óra, ami kincset keres, és még az utat is megmutatja, Atomcsill, 2024.01.11.

[Takács Gábor](#): Értjük-e a kvantummechanikát?, Atomcsill, 2022. 11. 24.

[Asbóth János](#): A „kísérteties távolhatás tettenérése” – a kvantummechanikai összefonódás és a 2022. évi fizikai Nobel-díj, Atomcsill, 2023.11.09.

[Zimborás Zoltán](#): Fénnyel szőtt számítások: optikával működő (kvantum)számítógépek, Atomcsill, 2022. 02. 24.

[Asbóth János](#): Így védj meg a kvantumbitjeidet! A topologikus kvantumszámítógép, Atomcsill, 2020. 11. 12.

[Széchenyi Gábor](#): Kvantumszámítógép — a munkára fogott kvantummechanika, Atomcsill, 2019. 04. 25.

Köszönet

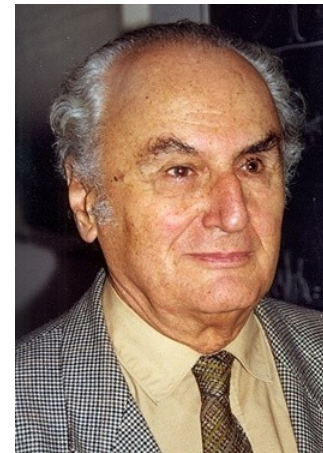
Az egyetemi tanulmányaim során a kvantummechanika alapjait

Marx Györgytől

és

Dávid Gyulától

tanultam.



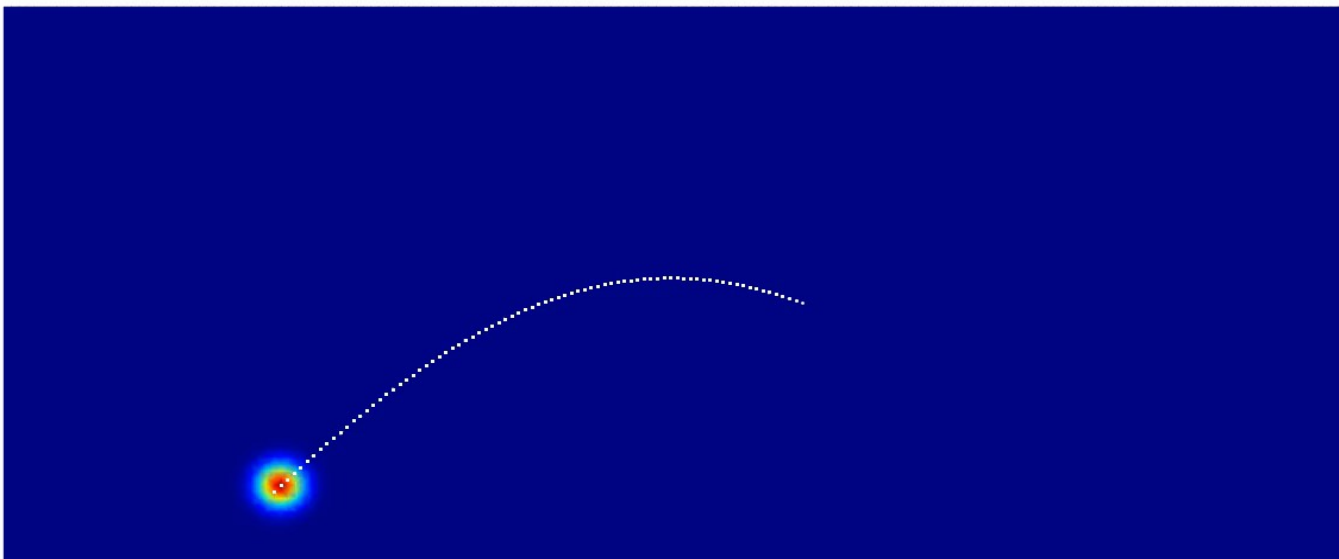
Marx György

1927-2002

Pattogó labda

A góllövés „tudománya”

time: 80 steps: 80 coordinate averages: 106.5057 , 37.2511
 $\Sigma|\text{psi}|^2$: 0.999999999999914



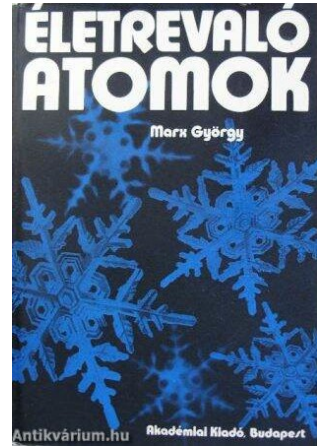
Korábbi Atomcsill előadások a kvantummechanikáról

- Széchenyi Gábor: Hű, mennyi elektron! – avagy szilárdtest-fizika mindenkinek, 2024. 12. 12.
- Dombi Péter: Részecske vagy hullám? – A fény kettős természete lézeres kísérletekben, 2024. 11. 28.
- Pozsgay Balázs: Sejtautomaták – játékos modellektől a kvantumszámítógépekig, 2024. 04. 11.
- Csordás András: A kvantummechanika hőskora, 2024. 02. 22.
- Asbóth János: A „kísérteties távolhatás tettenérése” – a kvantummechanikai összefonódás és a 2022. évi fizikai Nobel-díj, 2023. 11. 09.
- Takács Gábor: Értjük-e a kvantummechanikát?, 2022. 11. 24.
- Domokos Péter: Részecskék lebegtetése lézerfényvel: hogyan működik?, 2022. 09. 22.
- Zimborás Zoltán: Fénnyel szőtt számítások: optikával működő (kvantum)számítógépek, 2022. 02. 24.
- Asbóth János: Így védj meg a kvantumbitjeidet! A topologikus kvantumszámítógép, 2020. 11. 12.
- Dávid Gyula: Schrödinger macskája molekulát barkácsol, 2019. 12. 12.
- Széchenyi Gábor: Kvantumszámítógép — a munkára fogott kvantummechanika, 2019. 04. 25.
- Jakovác Antal: A kvantumvilág, 2018. 12. 13.
- Zimborás Zoltán: Kvantumszámítógépek — elméletben és gyakorlatban, 2018. 04. 26.
- Bajnok Zoltán: Holográfia a részecskefizikában, 2017. 10. 12.
- Asbóth János: Kísérteties távolhatás, ami a kvantumtechnológia alapja: a kvantumos összefonódás, 2017. 09. 28.
- Koltai János: Kvantumradír-kísérlet, 2017. 03. 09.
- Kiss Tamás: Mit tanít nekünk a fény az igazi véletlenről?, 2015. 12. 17.
- Dávid Gyula: A fekete fény, 2015. 09. 10.
- Penc Karlo: Amikor a sok felbontja az egészet, 2013. 11. 28.
- Domokos Péter: Zsonglörködés kvantumrészecskékkel, 2013. 10. 10.
- Cserti József: Az optika — a kvantummechanika előszobája, 2012. 11. 08.
- Dávid Gyula: A tömeg eredete és a Higgs-mező, 2012. 09. 13.
- Koniorczyk Mátyás: A rész és a másik rész — kvantumos párok távkapcsolatai, 2012. 04. 12.
- Sasvári László: A kvantumfolyadékok csodái — a szuperfolyékony hélium, 2012. 03.01.
- Szirmai Gergely: Kvantumszimulátorok, 2011. 12. 08.
- Csordás András: Hideg atomok csapdában, 2010. 01. 28.
- Takács Gábor: Erő a vákuumból: a Casimir effektus, 2009. 11. 12.
- Dávid Gyula: Kvantumképek az alagútban, 2009. 10. 22.
- Bajnok Zoltán: Részecske vagy hullám: térelmélet az asztalon, 2009. 10. 08.
- Kürti Jenő: Mágneses rezonancia módszerek: spinek tánca mágneses térben, 2008. 11. 06.
- Domokos Péter: Hideg atomok, 2008. 02. 28.
- Csótó Attila: Alapvető fizikai állandók, és lehetséges változásuk, 2008. 02. 14.
- Geszti Tamás: A szép és hasznos kvantummechanika, 2007. 11. 22.

Nanofizika
Részecskefizika

Marx György: Életrevaló atomok

(Akadémiai Kiadó, 1978)



Marx György: **Életrevaló atomok**

(Akadémiai Kiadó, 1978)

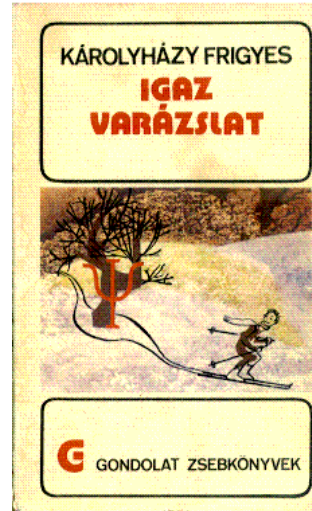
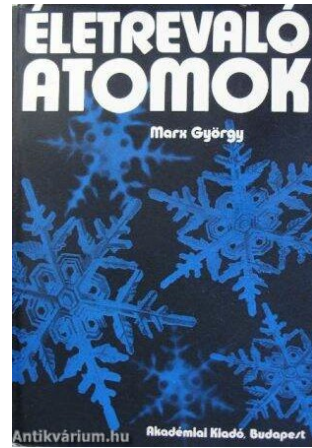
Károlyházy Frigyes: **Igaz varázslat**

(Gondolat, Budapest, 1976)

„A kvantummechanikáról szólni száz oldalon olyan feladat, mint egy induló vonat ablakából szerelmet vallani.”



(Budapest, 1929-2012)



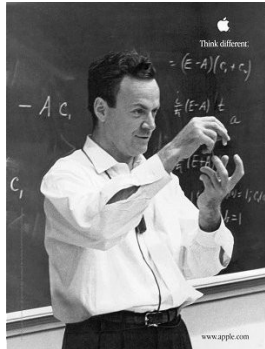
Marx György: **Életrevaló atomok**

(Akadémiai Kiadó, 1978)

Károlyházy Frigyes: **Igaz varázslat**

(Gondolat, Budapest, 1976)

„A kvantummechanikáról szólni száz oldalon olyan feladat, mint egy induló vonat ablakából szerelmet vallani.”



Richard P. Feynman

1918-1988

Richard Feynman:

“I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics.”



(Budapest, 1929-2012)

