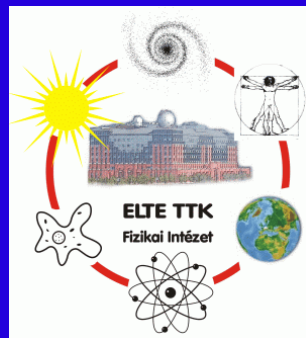
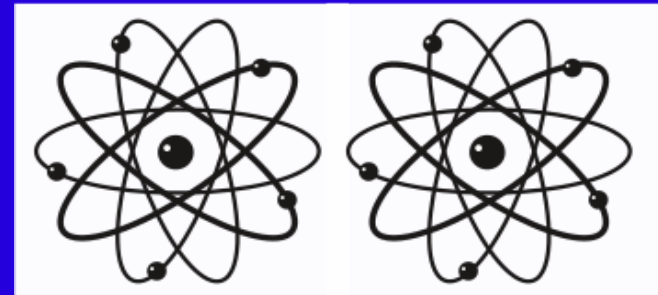
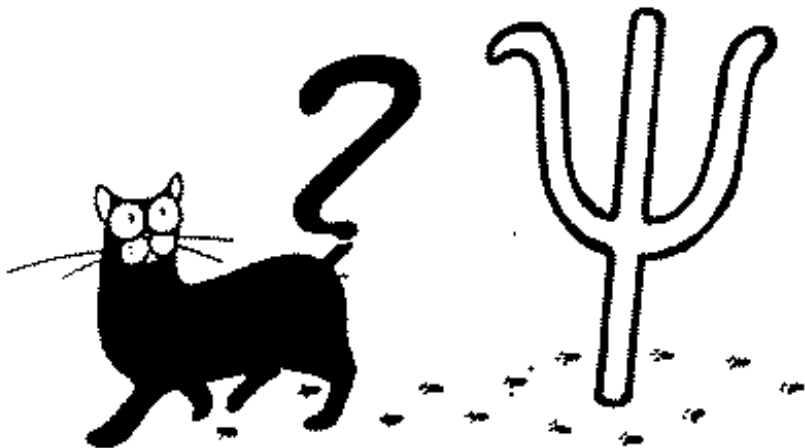


# Schrödinger macskája molekulát barkácsol

$$|\Psi\rangle = (1/\sqrt{2})|\text{smiley cat}\rangle + (i/\sqrt{2})|\text{frowny cat}\rangle$$



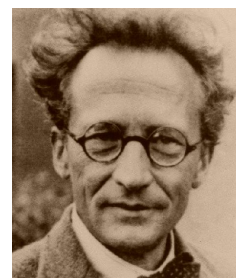
Dávid Gyula  
2019. 12. 12.



$$|\Psi\rangle = (1/\sqrt{2})|\text{alive}\rangle + (i/\sqrt{2})|\text{dead}\rangle$$



SCHRÖDINGER'S CAT IS  
ALIVE



Erwin Schrödinger  
1887–1961



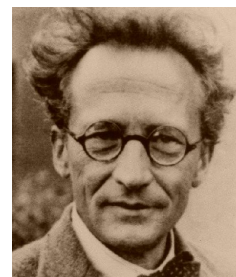
# SCHRÖDINGER'S CAT IS ALIVE



**Schrödinger félig élő, félig holt macskája  
a hamarosan száz éves kvantumelmélet jelképe.**

Schrödinger eredetileg arra találta ki,  
hogy megmutassa a kvantummechanika  
abszurd, a józan észnek ellentmondó mivoltát.

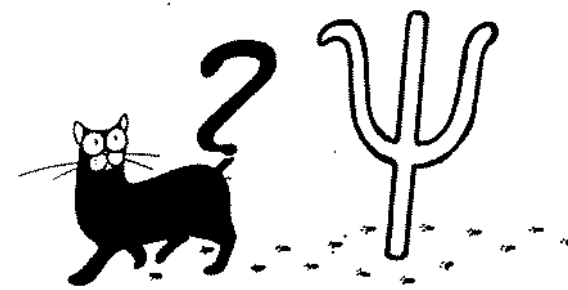
De ma már tudjuk,  
hogy a kvantumelmélet jól működik,  
és nélküle nem tudnánk leírni a világot.



Erwin Schrödinger  
1887–1961

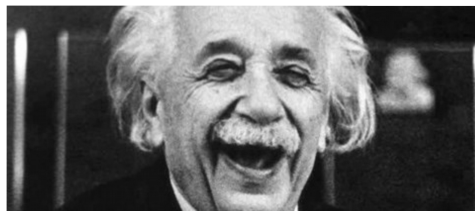
Emellett nélküle nem lenne DNS-szabászat,  
kombinatorikus kémia, számítógép, lézer és mobiltelefon sem.

Schrödinger macskája ma azt jelképezi,  
hogy az absztrakt régiókba kalandozott tudomány  
akkor is működik, ha nem tudjuk felérni a józan eszünkkel.



# Fizikai forradalmak a 20. század elején: a modern fizika születése

## Relativitáselmélet



Albert Einstein  
speciális 1905  
általános 1915

## Kvantumelmélet

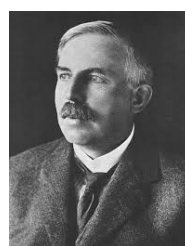
előfutárok:



Max Planck 1900



Einstein  
1905



Rutherford  
1911



Bohr  
1913

alapító atyák:



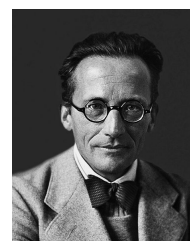
de Broglie  
1923



Heisenberg  
1925



Pauli  
1925



Schrödinger  
1926



Bohr  
1927

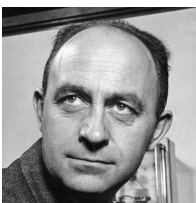


Born  
1927



Dirac  
1929

a mű folytatói:



Fermi  
1926



Wigner Jenő  
1931



Neumann János  
1932



Feynman  
1948

néhány év múlva  
kezdődnek  
a százéves  
ünnepségek

No de mi köze mindennek a kémiához?

**A kémia fogalmai és állításai a fizika szempontjából  
tökéletesen abszurdak és értelmezhetetlenek!**

Mármint a klasszikus fizika szempontjából!

**Klasszikus fizika:** a köznapi józan ész matematizálva

**Józan ész:** a tízéves korunkig belénk rögződött előítéletek rendszere...

**Ezért az udvarias fizikusok a huszadik század elején  
teljesen átépítették a saját tudományukat,  
hogy összhangba kerüljön a kémia furcsa és érthetetlen  
tapasztalati tényeivel.**

**Ez az új fizikai tudomány a KVANTUMELMÉLET.**



# Klasszikus fizika Galileitől Newtonon át Maxwellig és Einsteinig

(ez sem mind közvetlen tapasztalat, pl.: a testek természetes állapota a mozgás...)

Magától értetődőnek tekintett (ezért általában ki sem mondott) előfeltevések:

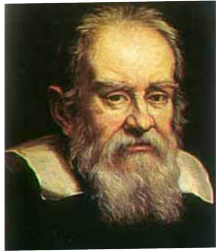
a világban elkülönült testek mozognak  
a testek nem hatolnak át egymáson  
a testek pályája folytonos vonal a térben  
egy testnek minden pillanatban jól meghatározott helye és sebessége van  
a hely és a sebesség (és minden más fizikai mennyiség)  
tetszés szerinti pontossággal bármikor megmérhető

kölcsönhatás: a testek erőt gyakorolnak egymásra  
az erő megváltoztatja a testek mozgását  
az erő a testek távolságától függ (esetleg a relatív sebességüktől)  
az erők minden irányba hatnak  
az erőkhez ellenerő tartozik  
két test közt ható erő nem függ egy harmadik test jelenlététől  
az erők vektoriálisan összeadódnak  
az erők nem „fáradnak el”, nem fogynak el, nem telítődnek

**Ezeket a feltevéseket matematizálva Newton és követői  
sikeresen megmagyarázták a Naprendszert.**



# A klasszikus fizika mintagyereke: a mechanika



Galilei  
kísérletei



Newton szintézise:

a szükséges matematika (kalkulus)  
a mozgások törvényei:  $ma = F$   
az általános tömegvonzás



a Naprendszer  
sikeres leírása

Természetes kiterjesztés:  
folytonos közegek mechanikája

rugalmasságtan, hidrodinamika



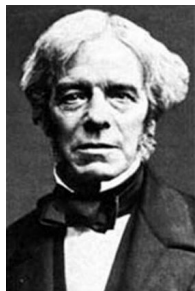
Euler



Gauss

Nem várt sikeres kiterjesztés: a hangjelenségek magyarázata

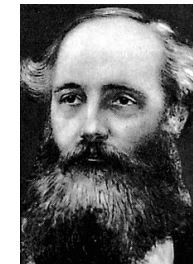
Még nagyobb meglepetés: a hőjelenségek mechanikai elmélete



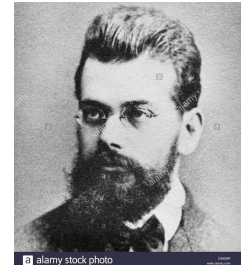
Faraday

Új jelenségkör: **elektromosság és mágnesség**  
Eleinte itt is mechanikai modellekkel próbálkoznak  
Faraday új fogalomalkotása: az **erőtér**

Maxwell Newton példája nyomán **differenciálegyenletekkel** írja le  
az **elektromágneses erőteret**



Maxwell



Boltzmann



A klasszikus fizika matematikai varázseszköze:

**a differenciálegyenlet**

Ilyenek Newton és Maxwell egyenletei is!

$$\frac{d}{dt} (\text{jelenlegi állapot}) = F (\text{jelenlegi állapot})$$

Ez egy **evolúciós** (a rendszer fejlődését leíró) egyenlet:

**a rendszer jelenlegi állapota egyértelműen meghatározza a változás trendjét**

ezért a jelenlegi helyzetből és az egyenletből **kiszámítható a jövő** (és a múlt is)



**Laplace démona**

pontosan ismeri a jelent  
van egy végtelen kapacitású komputere



ezért pontosan ismeri  
**a múltat és a jövőt is**

*(hova lett a szabad akarat?)*

Ugyanazok az egyenletek a visszafelé fejlődést is leírják: az idő megfordítható

**A fentiek a klasszikus fizikai világnézet közös elemei.**





## A kémia egészen más fogalmakkal és más filozófiával dolgozott

Az alkímia után kezdett kialakulni a tudományos kémia:

- **elemek és vegyületek fogalma**
- az átalakulások szabályai

Kezdődő matematizálás (mérések alapján):

- gáztörvények
- egyszeres és többszörös súlyviszonyok törvénye

Ezeket foglalja össze **Dalton atomelmélete** (1808)

Ekkor az atomok még csak **szimbólumok**, elszámolási kártyák:

senki sem tudja, léteznek-e valójában, és ha igen, mekkorák

**Szerkezeti kémia:** vegyértékek, kötések, térbeli struktúra, kötésszögek és távolságok:

egyre valószínűbb, hogy az atomok ténylegesen létező objektumok

**Az atomok létének általános elfogadása:** 1900–1910 között

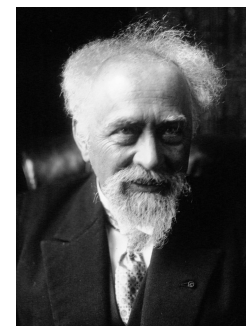
az Avogadro-szám sokszoros független mérése fizikai alapon:



Lavoisier



Dalton



Jean Perrin



## Alapprobléma:

az atom elemi, oszthatatlan (a-tomosz), a molekula összetett

- milyen erő köti össze az atomokat molekulává?
- mi szabja meg, hogy melyik atomok melyik másikkal tudnak kötést létesíteni?

misztikus feltételezett fogalom: „**affinitás**”

ez nem olyan, mint a képletekkel leírható newtoni gravitációs vonzóerő!

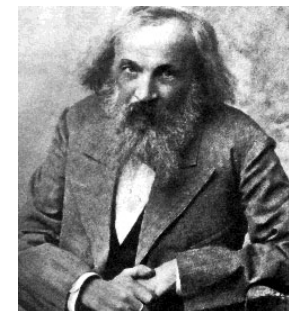
- miért viselkednek egyes elemek hasonlóan (de nem egyformán) a kémiai reakciókban?

újabb ködös fogalom: „**vegyrokonság**”

ez sem mérhető, számszerűsíthető pontosan!

De a vegyrokonság több pusztán véletlennél:  
erre utal a **periódusos rendszer** felfedezése (1869)

**Bolond táblázat, de van benne rendszer!**



Mengyelejev

## A vegyülés furcsa szabályai:

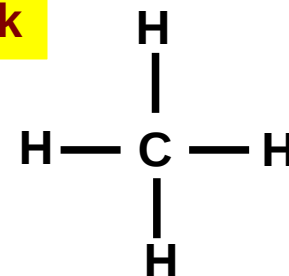
- az ellentétek vonzzák egymást: Na + Cl (későbbi magyarázat: ionok)
- de az egyformák is vonzzák egymást: H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> molekula
- a vonzóerők csak bizonyos irányokba hatnak (vegyértékszögek)
- bizonyos távolságnál nem húzzák közelebb az atomokat (kötéstávolság)



A fizika alapján teljesen érthetetlen tapasztalati fogalom: **a vegyérték**

Miért **pont négy** hidrogénatomot tud magához kötni a szénatom?

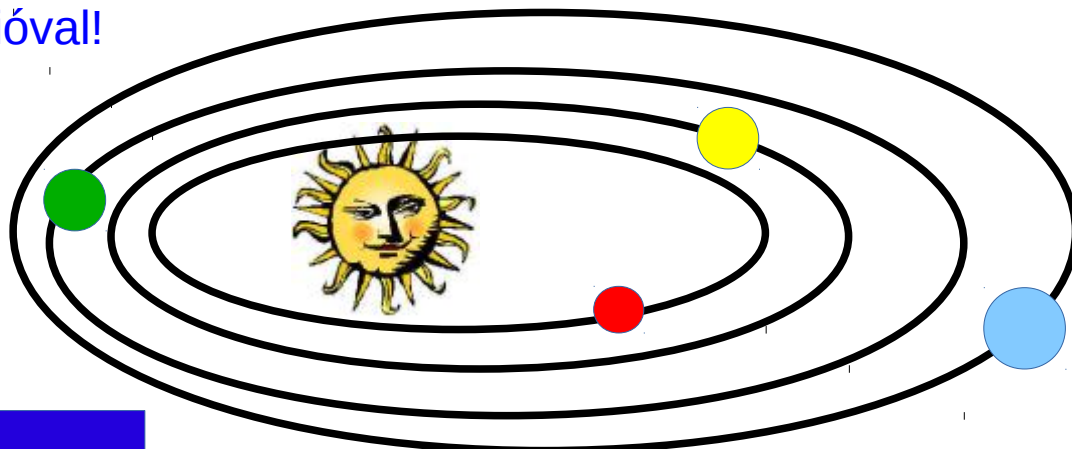
Elfogy a szénatom vonzóereje?



Képzeljük el ugyanezt a gravitációval!

A Nap legfeljebb négy bolygót tud pályán tartani, aztán elfogy a vonzóereje...

Ha újabb bolygó szeretne csatlakozni, nem fogadják be...



Furcsa? Igazából a gravitáció nem gyengül, nem fogy el, nem fárad el

De a szénatom „vonzóereje” pont így viselkedik...

Ráadásul vannak „vegyérték-változtató” atomok is (pl Fe-II, Fe-III). Ezt mi magyarázhatja?



**HA A NAPRENDSZERBE JÖSSZ,  
NEM VEHETED EL A BOLYGÓKTÓL  
A NAP VONZÓEREJÉT!**

**BOLYGÓKÖZI KONZULTÁCIÓ**

## A fizika és a kémia két ígéretes találkozása a 19. században:

### – gáztörvények

Ezek teljesen megmagyarázhatók a statisztikus fizika (kinetikus gázelmélet) alapján

Alapmodell: változatlan golyók (atomok vagy molekulák) száguldoznak, és **ütköznek** egymással vagy az edény falával

### – kémia és elektromosság

Galvánelemek: a fémek elektrokémiai sorbarendezése

Elektrolitok vezetése: Faraday törvényei.

Magyarázat: az oldatban töltött atomok, azaz **ionok** vannak.  
Ezek töltése egy **elemi töltés** egész számú többszöröse.

Ez megmagyarázhatja az ionrácsos anyag szerkezetét, az **ionos kötést**:

a keresett titokzatos vonzóerő egyszerűen az ionok közti **elektromos vonzás!**

De ez nem a végleges megoldás:

Miért adnak le vagy vesznek fel töltést az „oszthatatlan” atomok?

Miért nem érzik jól magukat az eredeti, semleges állapotban?

És az elektromos anyagmodell végképp nem magyarázza meg az egyforma atomokból álló molekulák létezését, a kovalens kötést!

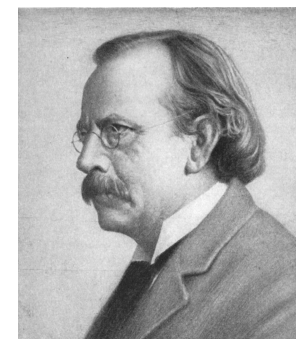


Fordulópont a 19. század végén, az „**atomfizika**” kezdete:

## az elektron felfedezése (1897)

Az elektronok az atomokból szakadnak ki  
(megvan az ionok létezésének magyarázata is)

**ezért az atom nem oszthatatlan (a-tomosz),  
hanem összetett objektum!**



J.J. Thomson

Új probléma:

Eddig azt nem értettük, hogy mi tartja össze az atomokat molekulává.  
Most már azt sem értjük, **mi tartja össze az atom alkotórészeit!**

A válasz látszólag egyszerű: **az elektromos vonzóerők**

Csakhogy a maxwelli elektrodinamika szerint **nem létezik elektromos egyensúly**  
sem sztatikus (nyugvó töltések), sem dinamikus (mozgó töltések, ezek sugároznának)

Hoppá! Már nemcsak az atomokat nem értjük,  
hanem az ugyancsak töltött atomrészekből álló  
**közönséges szilárd anyagot sem!**

A 19. század végének nagy rejtélye:  
a szilárd anyag pusztá léte!

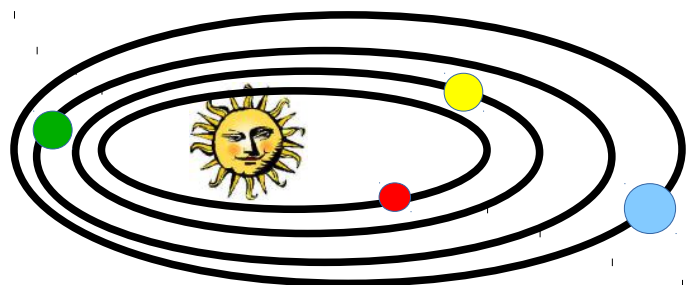


Az atom összetett voltának felfedezésével még egy új rejtély született:

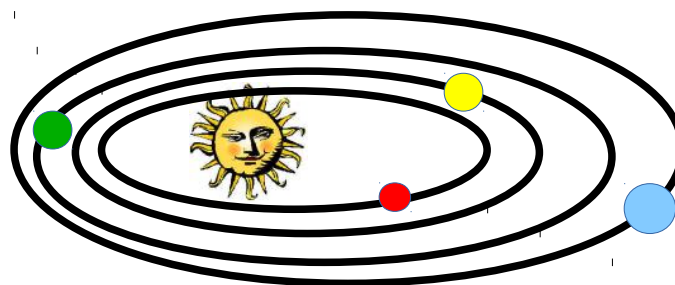
## Miért egyforma minden hidrogénatom?

Ugyanazon alkatrészekből összetett struktúra sokféleképp létezhet (a LEGO alapelve)!

Ez itt a mi Naprendszerünk:

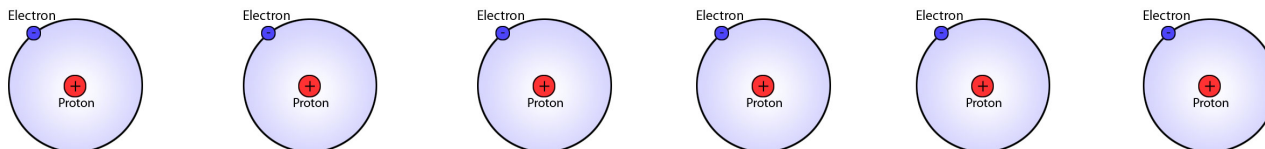


Ez meg a szomszéd csillag bolygórendszere:



feladata különös  
új világok felfedezése...

Nagyon csodálkoznánk...



Ezek itt teljesen egyforma hidrogénatomok...

Most miért nem csodálkozunk?



## A helyzet a 20. század elején:

már tudják, hogy az atomok összetettek  
belső elektromos struktúrájuk van

ennek valami köze lehet az elemek különbözőségéhez, eltérő kémiai viselkedéséhez  
ez az elektromos struktúra megvan a szilárd testekben is,  
erre utal pl. az elektromos vezetés jelensége is

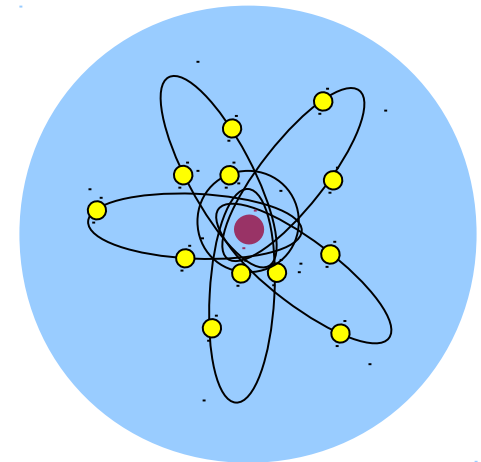
ugyanakkor az elektromágnesség fizikai elmélete határozottan tagadja  
ilyen tartós, stabil elektromos struktúrák létezésének lehetőségét  
nem látszik, hogy a kémia kvalitatív fogalmait (affinitás, vegyrokonság, vegyérték stb.)  
hogyan lehetne megmagyarázni az elektromos belső szerkezet alapján,  
ezek a fizika számára továbbra is megfoghatatlan, abszurd fogalmak

### Kétségbeesett magyarázat-kísérlet: az atomok Bohr-modellje (1913)

Alapja a klasszikus mechanika,  
**extra**, de a klasszikus fizika szellemétől  
**idegen szabályokkal** kiegészítve

Ráadásul **ellentmond** a maxwelli elektrodinamikának is!

És továbbra **sem tudja értelmezni** a kovalens kötést...



Az udvarias fizikusok az 1920-as években teljesen átépítették a saját tudományukat, hogy összhangba kerüljön a kémia furcsa és érthetetlen tapasztalati tényeivel.

**Ez az új fizikai tudomány a KVANTUMELMÉLET.**

A kölcsönhatás (pl. elektromos) ugyanaz, mint korábban, de más a dinamika, a lehetséges állapotok, mozgások és mérések leírása.

## KLASSZIKUS FIZIKA

Az objektumoknak mindig határozott helyük és sebességük van

Determinisztikus leírás

Folytonosan változó értékek

Egy rendszer energiája tetszőleges lehet

## KVANTUMFIZIKA

Határozatlansági reláció:  
Az objektumok helye és sebessége **nem mérhető egyszerre**  
(„ez vagy valami, vagy megy valahová”)

Valószínűségi leírás

Bizonyos fizikai mennyiségek csak diszkrét értékeket vehetnek fel  
(„kvantáltság”)

Létezik egy legkisebb energiájú állapot  
(„alapállapot”)

A két elmélet matematikája nagyon különbözik. A kvantumelméleté könnyebb!  
**Működik, leírja a valóságot, de nem értjük: nem látjuk át....**



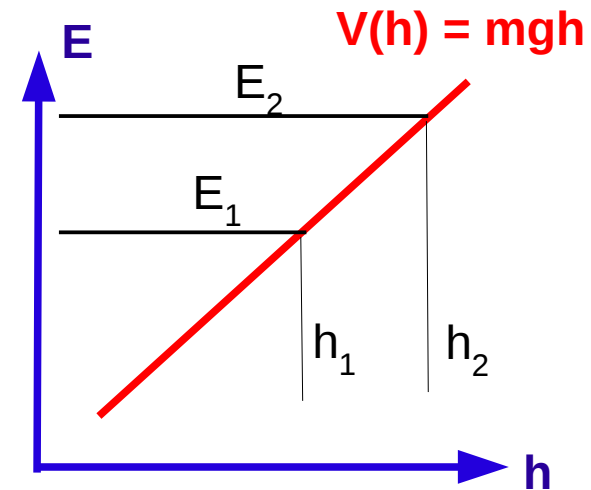


# Kötött állapotok klasszikus fizikai leírása: potenciálgödör

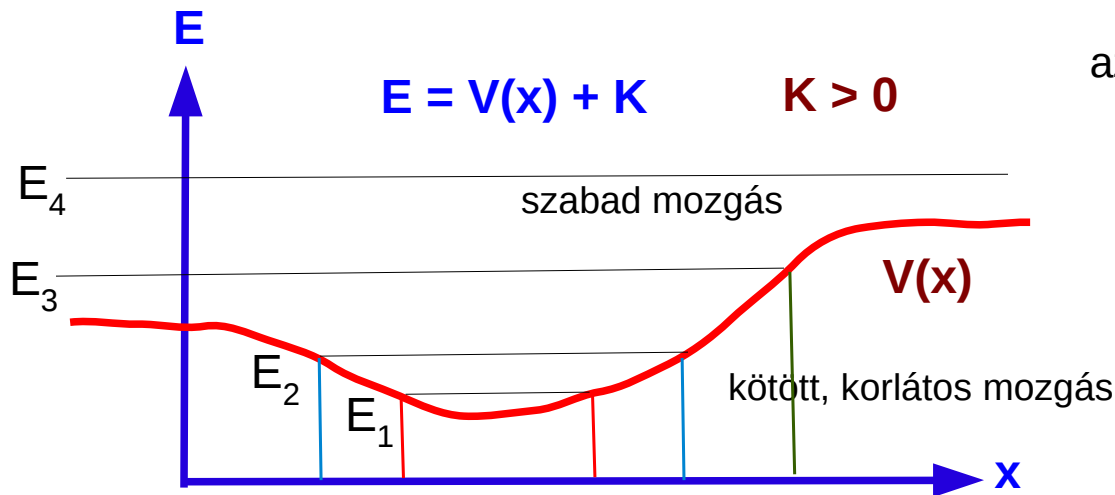
Dobjunk fel egy követ: megáll és visszaesik

Oka: az energia megmaradása:  
mozgási + helyzeti energia = teljes energia

$$\left(\frac{1}{2}\right) m v^2 + m g h = E = \text{állandó}$$



Általánosabb esetben a  $V(x)$  potenciál bonyolultabb függvénye lehet a helynek

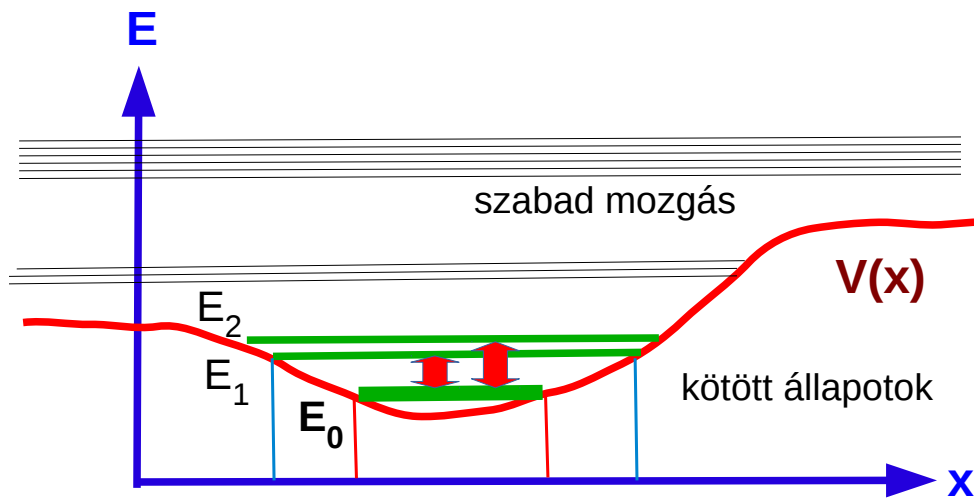


Az  $E$  energia értéke tetszőleges, azt a kezdeti feltételek határozzák meg

A mozgás megengedett tartománya:  
ahol  $E > V(x)$

**Kötött állapot:  
véges mozgás  
két fordulópont között**

# Kötött állapotok kvantumfizikai leírása: kvantumállapotok potenciálgödörben



A kötött állapotok között a rendszer véges  $\Delta E$  energia elnyelésével vagy kibocsátásával közlekedhet.

Az atomfizikában ezt az energiát általában egy foton (fénykvantum) hozza vagy viszi.

A szabad mozgás  $E$  energiájának értéke továbbra is tetszőleges, azt a végtelenben megadott kezdeti feltételek határozzák meg

**Kötött állapotok viszont csak bizonyos *diszkrét*  $E$  energiáknál valósulhatnak meg.**  
Ezek között van egy legkisebb  $E_0$  energiájú **alapállapot**

A mozgás nincs korlátozva a klasszikusan megengedett tartományra, ahol  $E > V(x)$

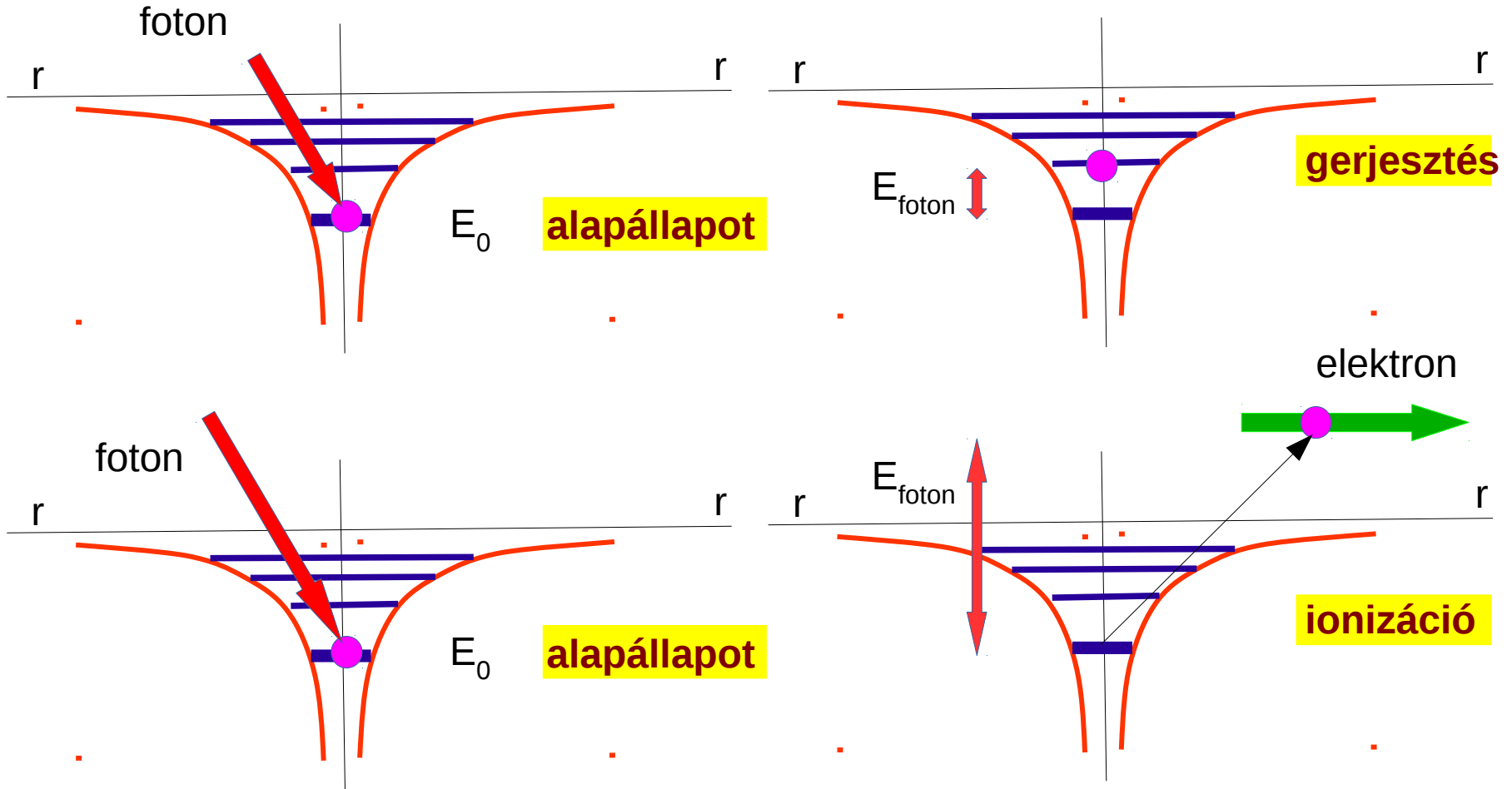
A részecske behatolhat a klasszikusan tiltott tartományba is, ahol  $E < V(x)$

Sőt át is kelhet a klasszikusan tiltott tartományon, ez az **alagúteffektus**



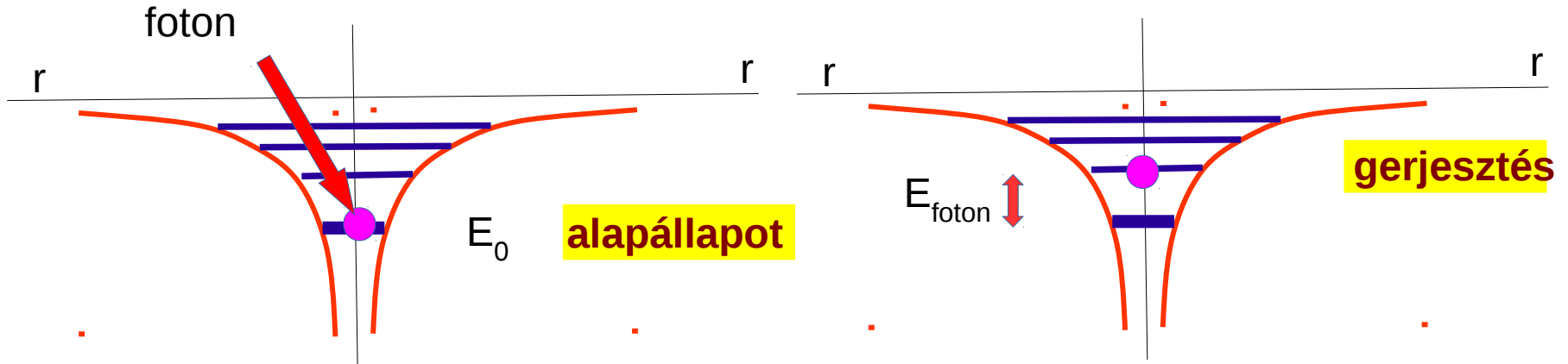
# A hidrogénatom esete:

az elektron az atommag (proton)  $V(r) = -1/r$  potenciáljában mozog



## A hidrogénatom esete:

az elektron az atommag (proton)  $V(r) = -1/r$  potenciáljában mozog



Kötött állapotok csak bizonyos **diszkrét**  $E$  energiáknál valósulhatnak meg.

Ezek között van egy legkisebb  $E_0$  energiájú **alapállapot**

A  $\Delta E$  energiát a rendszer szerkezete határozza meg.

A fotonok energiáját viszont a környezet hőmérséklete:  $E=kT$

A H-atom elektronja első két energiaszintje közti távolság (gap) **10,2 eV**

Szobahőmérsékleten a fotonok átlagos energiája csak **0,03 eV**

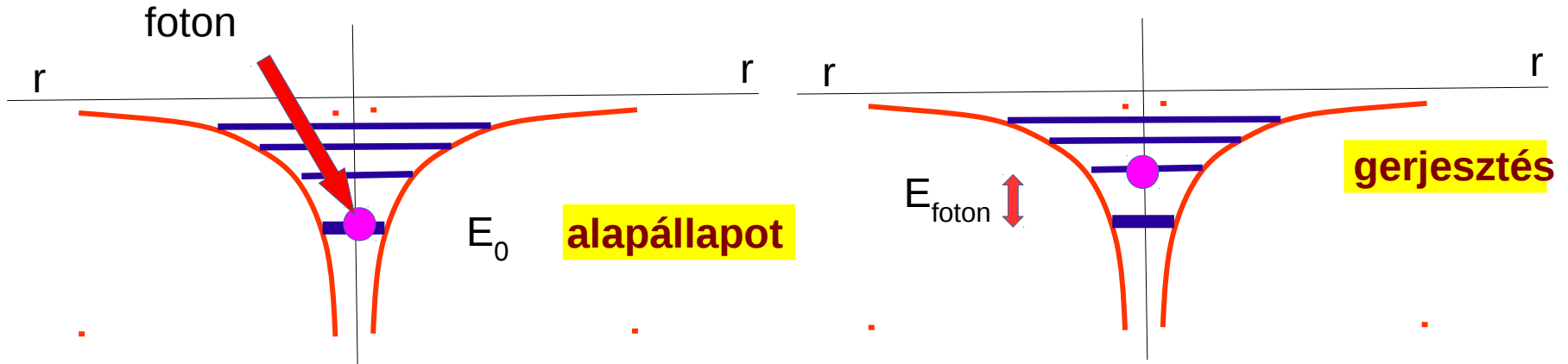
Ez nem elegendő a gerjesztéshez.

**Így gyakorlatilag minden hidrogénatom alapállapotban van.**

**EZÉRT EGYFORMA MINDEN HIDROGÉNATOM!**

## A hidrogénatom esete:

az elektron az atommag (proton)  $V(r) = -1/r$  potenciáljában mozog



### Klasszikus rendszerben

a kötött állapotok energiája folytonos értékeket vehet fel.

**Tetszőlegesen kis energiabefektetéssel**

meg lehet változtatni az állapotot.

Ezért a pillanatnyi állapot a rendszer történetétől, múltjától, a véletlentől függ.

**Ezért nincs két egyforma naprendszer.**

A H-atom elektronja első két energiaszintje közti távolság (gap) **10,2 eV**

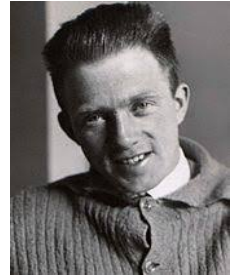
Szobahőmérsékleten a fotonok átlagos energiája csak **0,03 eV**

Ez nem elegendő a gerjesztéshez.

**Így gyakorlatilag minden hidrogénatom alapállapotban van.**

**EZÉRT EGYFORMA MINDEN HIDROGÉNATOM!**

Durva becslés a H-atom energiájára és méretére a **Heisenberg-féle határozatlansági reláció** alapján



W. Heisenberg

Az elektron energiája:

$$E = K + V(r) = \frac{m v^2}{2} - \frac{e^2}{r}$$

$$\Delta x \Delta p > \hbar$$

$$p = mv$$

$$\Delta x = r \quad \Delta p = \hbar / \Delta x = \hbar / r \quad v = \Delta p / m = \hbar / r m$$

$$\text{Ezért } E(r) = m (\hbar / r m)^2 / 2 - e^2 / r = (\hbar^2 / 2m) / r^2 - e^2 / r$$

$$\text{Ennek szélsőértéke (minimuma) van, ha } r = r_0 = \hbar^2 / m e^2 = 10^{-10} \text{ m}$$

Valóban ez az atomok tipikus mérete!

Az ehhez tartozó energia

$$E_0 = - m e^4 / 2 \hbar^2 = - 13,6 \text{ eV} = 2,18 \text{ aJ} = 2,18 * 10^{-18} \text{ J}$$

Valóban ez a H-atom ionizációs energiája!

Tegyünk be egy atommagot (protont) a  $r_0$  méretű kockába!

A kapott sűrűség

$$\rho = m_p / r_0^3 = 10^{-27} \text{ kg} / (10^{-10} \text{ m})^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3 \quad \text{ez épp a víz sűrűsége!}$$



A kvantumelmélet következő struktúraépítő tényezője:

## a Pauli-elv

Egy kvantumállapotban csak egyetlen fermion (feles spinű részecske) lehet

Ezért nincs egy többelektronos rendszer minden elektronja alapállapotban!

Ilyen rendszer egy **sokelektronos atom**, vagy egy **szilárdtest**.

Az újabb elektronokat magasabb energiaszintre kell pakolni, az egész rendszernek jellegzetes belső struktúrája és nagy energiája (**Fermi-energia**) lesz

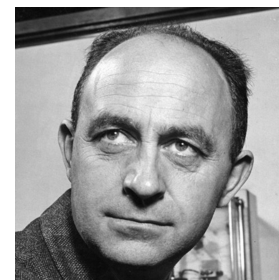
A környezettel **csak a legfelső szinteken** levő elektronok tudnak energiát cserélni, a lejjebbieknek ehhez túl sok energia kellene

Ha a legfelső szinteken hasonló elektronstruktúra alakul ki, a környezet hasonlóképp reagál a két rendszerrel

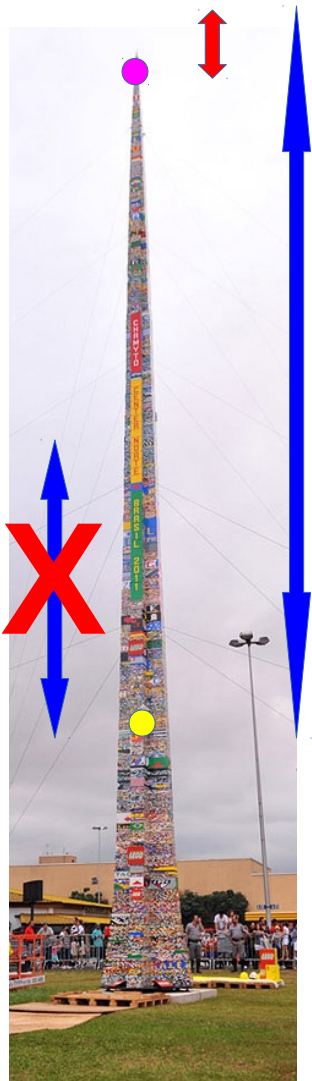
Ez a „**vegyrokonság**” és a **periódusos rendszer** alapja.



W. Pauli  
1925, 1940



E. Fermi  
1926



# Schrödinger hullámfüggvénye a potenciálgödörben

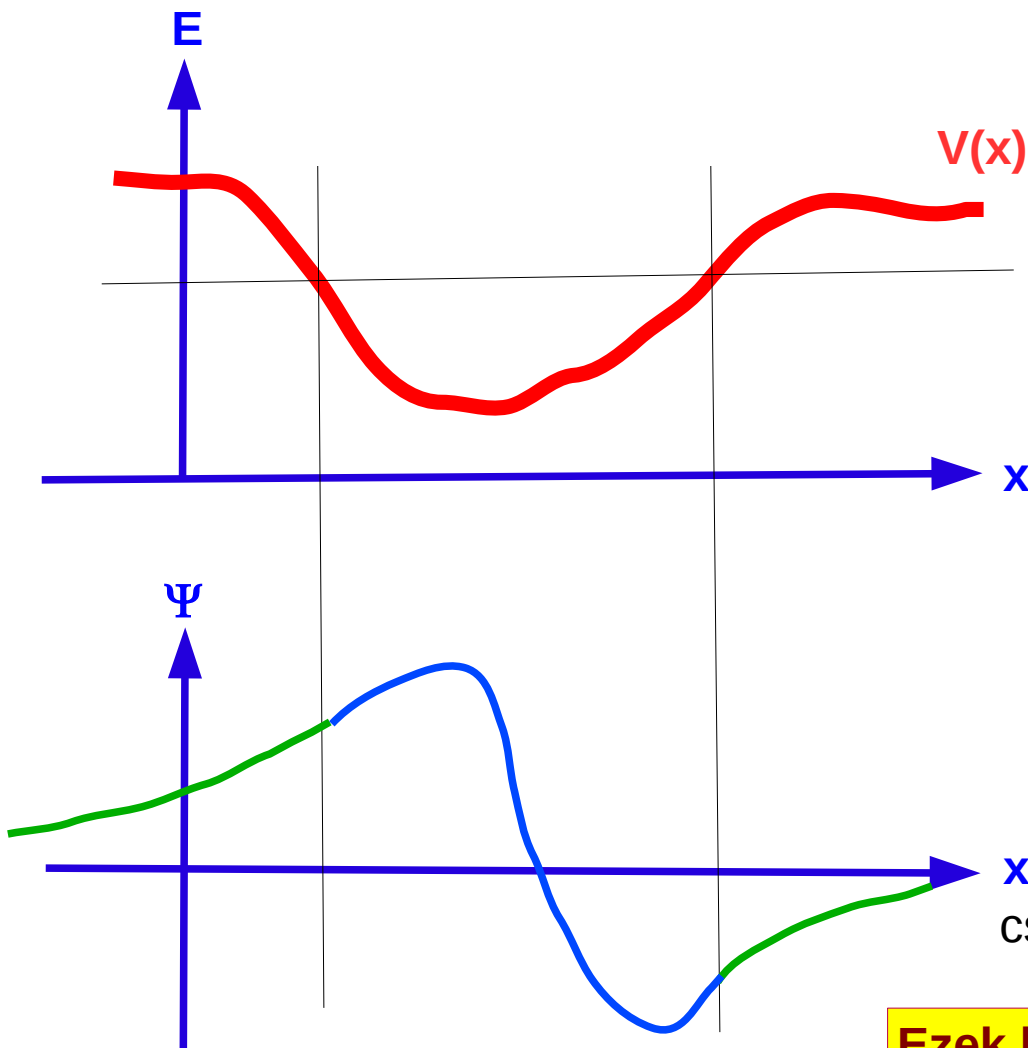
Hogyan lehet megmagyarázni a diszkrét energiaszinteket?

Schrödinger négy egyszerű szabálya:

- 1/ a klasszikusan **megengedett** tartományban ahol  $E > V(x)$ , a függvény **az x-tengely felé** görbül
- 2/ a klasszikusan **tiltott** tartományban, ahol  $E < V(x)$ , a függvény **az x-tengelytől elfelé** görbül
- 3/ a végtelenben a függvény **nullához tart**
- 4/ a görbület pontos értéke az energiától függ (képlet van rá)

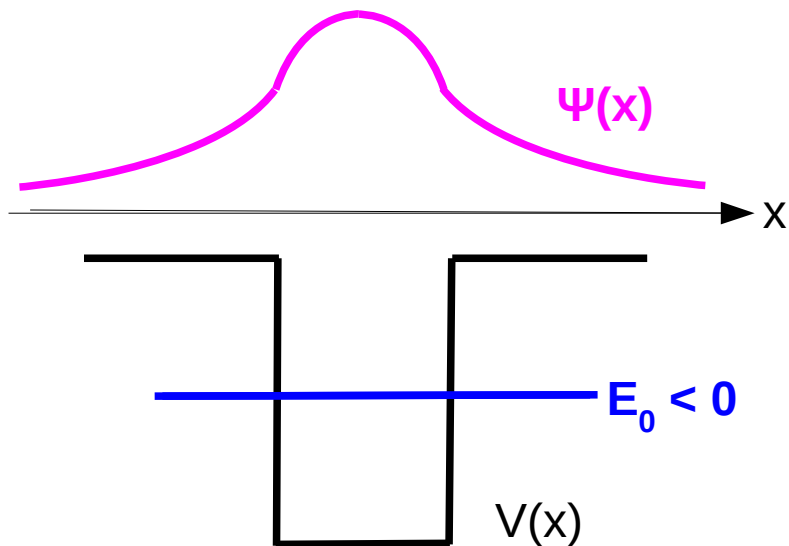
x Kiderül, hogy az 1–3 szabályok csak bizonyos energiáknál teljesíthetők

**Ezek lesznek a kötött állapotok energiái!**



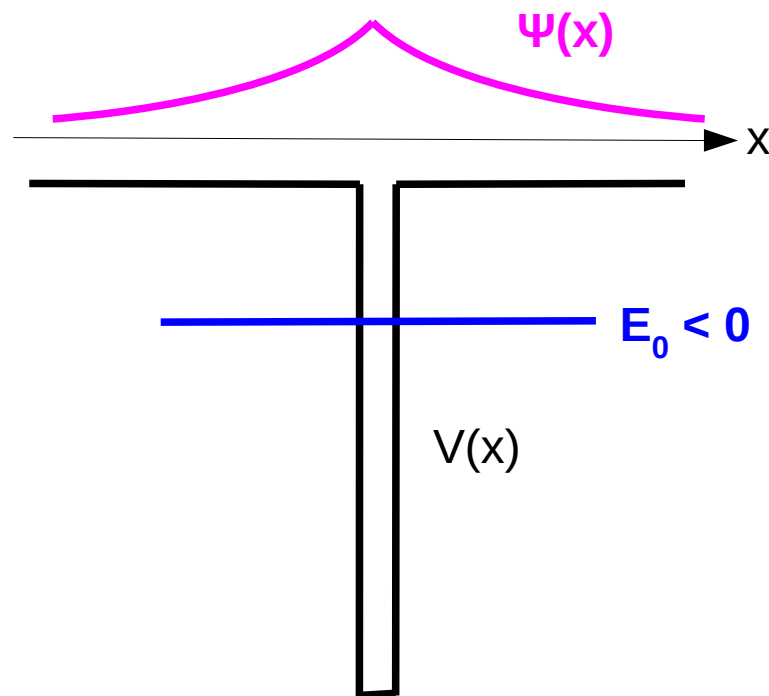


## Derékszögű potenciálgödör



Így néz ki Schrödinger hullámfüggvénye az alapállapotban

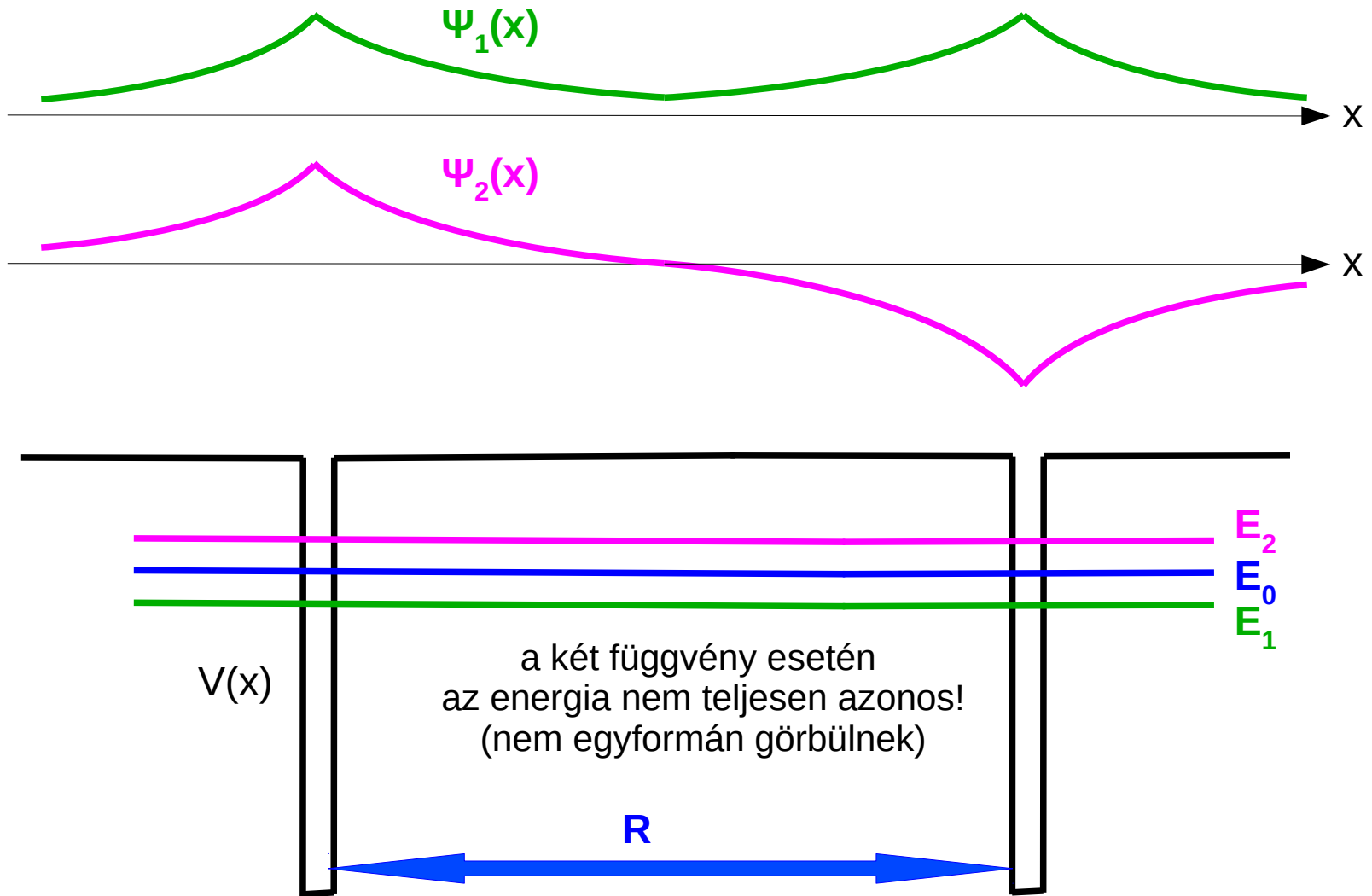
keskeny és mély gödör



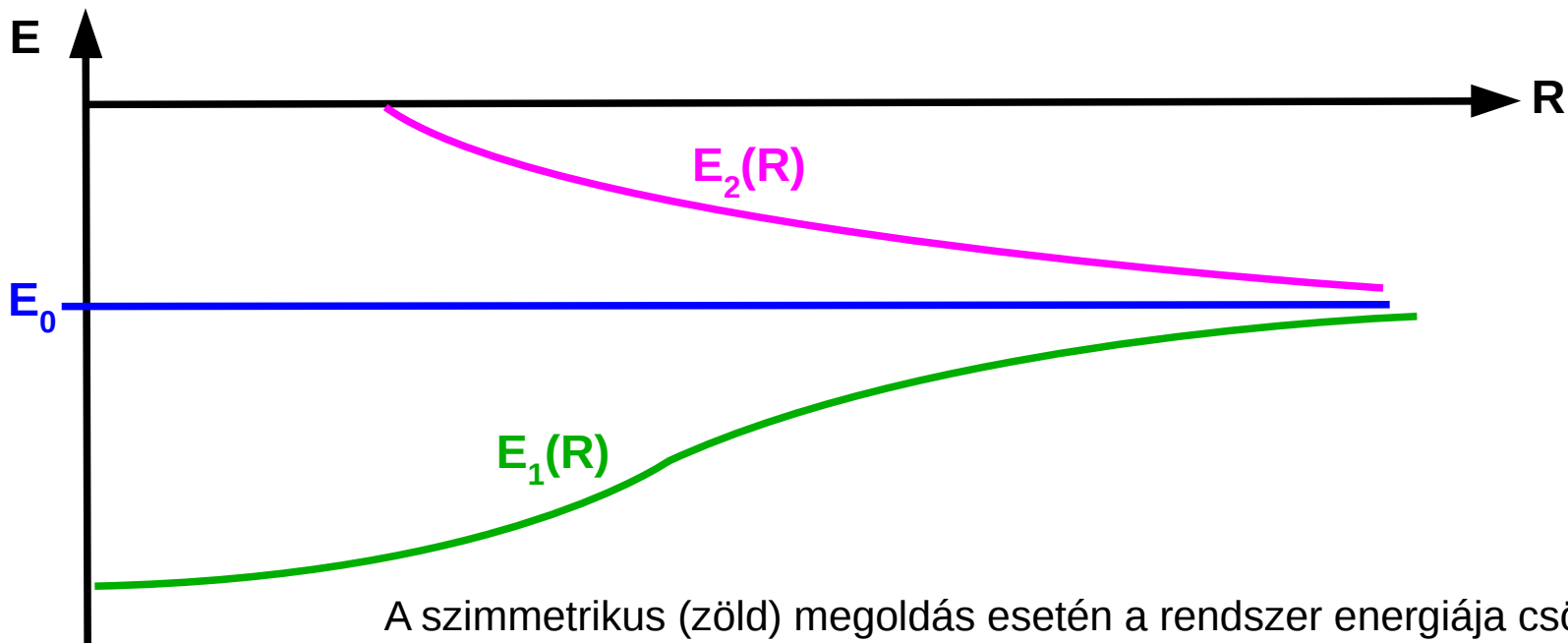
egy ilyen gödörben csak egyetlen kötött állapot van: az alapállapot



Két távoli gödör esetén a hullámfüggvényeket kétféleképp lehet összeilleszteni



Ábrázoljuk a két hullámfüggvény energiáját a gödrök  $R$  távolságának függvényében!



A szimmetrikus (zöld) megoldás esetén a rendszer energiája csökken, ha a két gödör közeledik egymáshoz. Ez energetikailag kedvezőbb, ezért ha a gödrök mozgathatók, akkor valóban közeledni fognak.

**A két gödörhöz kötődő hullámfüggvény vonzóerőt ébresztett a két gödör között.**

**Ez a kovalens kötés.**

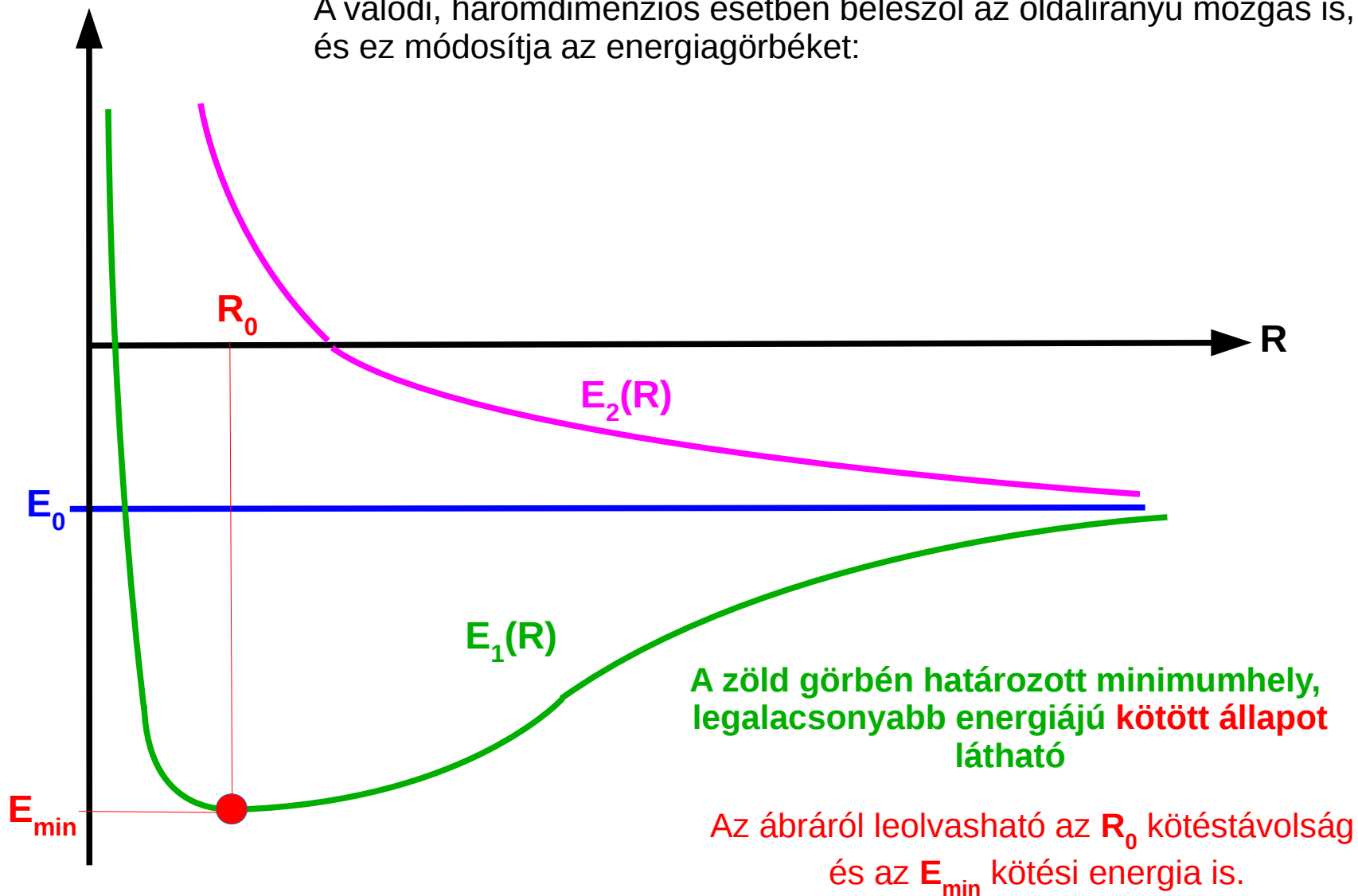
**Szótár:** két gödör: két proton  
hullámfüggvény: az elektron hullámfüggvénye  
a rendszer: **hidrogén-molekula-ion** ( $2p + 1 e$ )

**szimmetrikus (zöld) függvény:**  
**kötő elektronpálya**

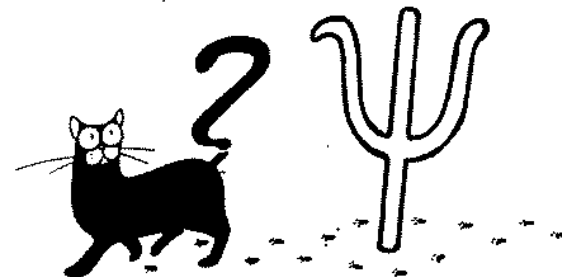
**antiszimmetrikus (lila) függvény:**  
**lazító elektronpálya**



Ez egy egyszerű, egydimenziós modell volt.  
A valódi, háromdimenziós esetben beleszól az oldalirányú mozgás is,  
és ez módosítja az energiagörbéket:



## Összefoglalás



Schrödinger félig élő, félig holt macskája végül sikeresen összebarkácsolta a hidrogén-molekulát.

A kvantumelmélet furcsa szabályai ellentmondanak a „józan észnek” (a fiatal korunkban belénk rögződött elképzeléseknek), ezért nem lehet őket „**érteni**”.

De meg lehet **tanulni** őket, és a hozzájuk tartozó matematikát – utána pedig használni!

Ez a matek pedig **működik**, és helyesen adja vissza a mérési adatokat.

Emellett megmagyarázza a kémia korábban misztikus fogalmait (kovalens kötés, vegyrokonság, vegyérték stb). És persze sok minden mást is.

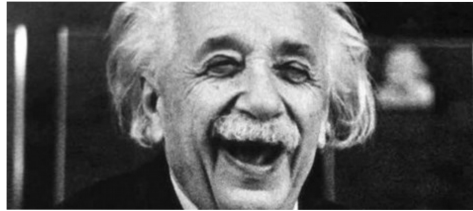
**A kvantumelmélet a valóság helyes és sikeres leírása!**

**Nem a kvantumelmélet furcsa és idegen,  
hanem a valóság furcsább és bonyolultabb annál,  
mint azt korábban gondoltuk.**



# Fizikai forradalmak a 20. század elején: a modern fizika születése

## Relativitáselmélet



Albert Einstein  
speciális 1905  
általános 1915

## Kvantumelmélet

előfutárok:



Max Planck 1900



Einstein  
1905



Rutherford  
1911



Bohr  
1913

alapító atyák:



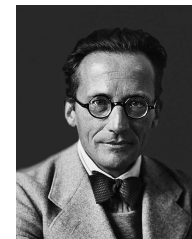
de Broglie  
1923



Heisenberg  
1925



Pauli  
1925



Schrödinger  
1926



Bohr  
1927

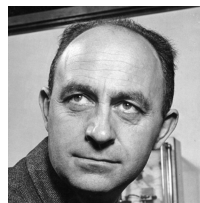


Born  
1927



Dirac  
1929

a mű folytatói:



Fermi  
1926



Wigner Jenő  
1931

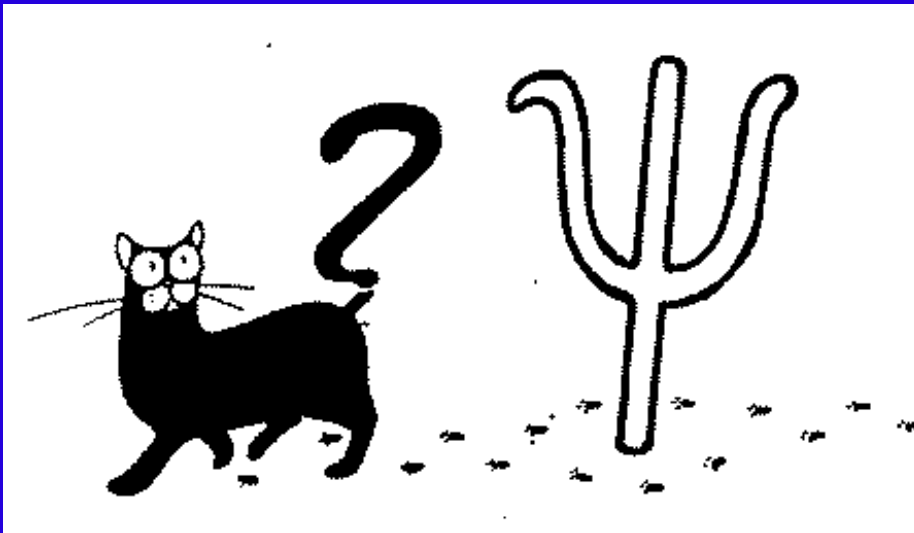


Neumann János  
1932



Feynman  
1948

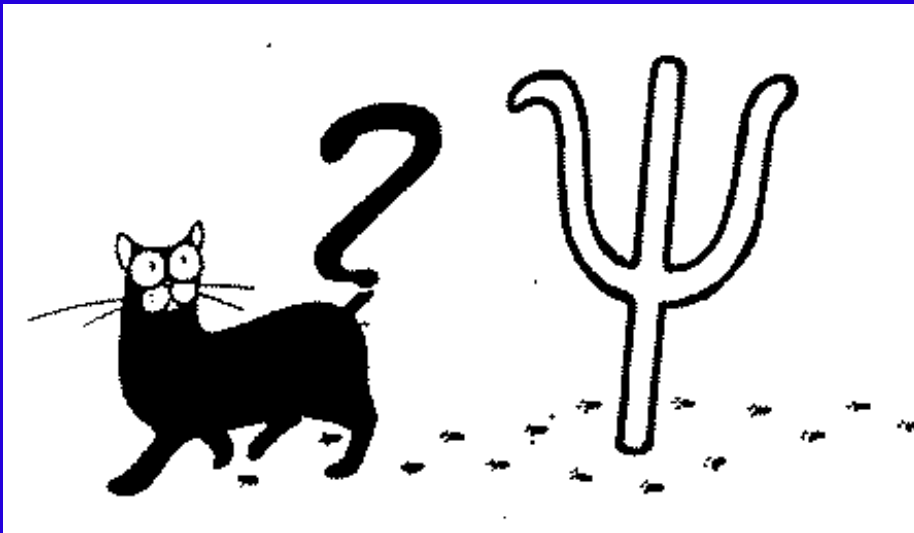
**A vegyészek is  
megünnepelehetik  
a kvantumelmélet  
százéves  
születésnapját!**



Schrödinger  
macskája  
molekulát  
barkácsol

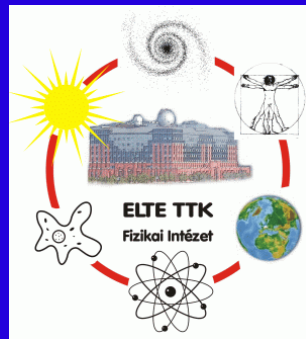
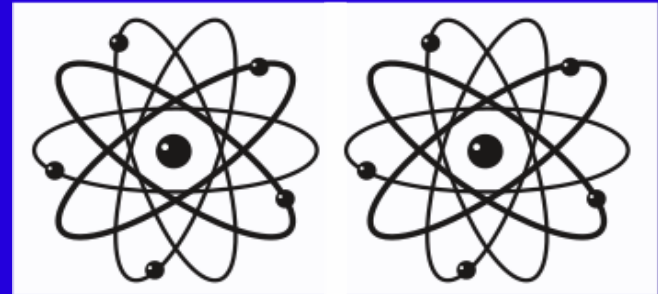
Köszönöm a figyelmet!

Dávid Gyula  
2019. 12. 12.



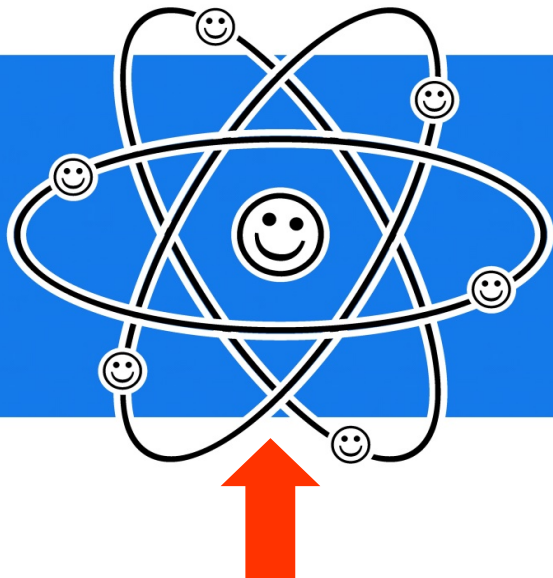
# Schrödinger macskája molekulát barkácsol

$$|\Psi\rangle = (1/\sqrt{2})|\text{smiley cat}\rangle + (i/\sqrt{2})|\text{frowny cat}\rangle$$



Dávid Gyula  
2019. 12. 12.





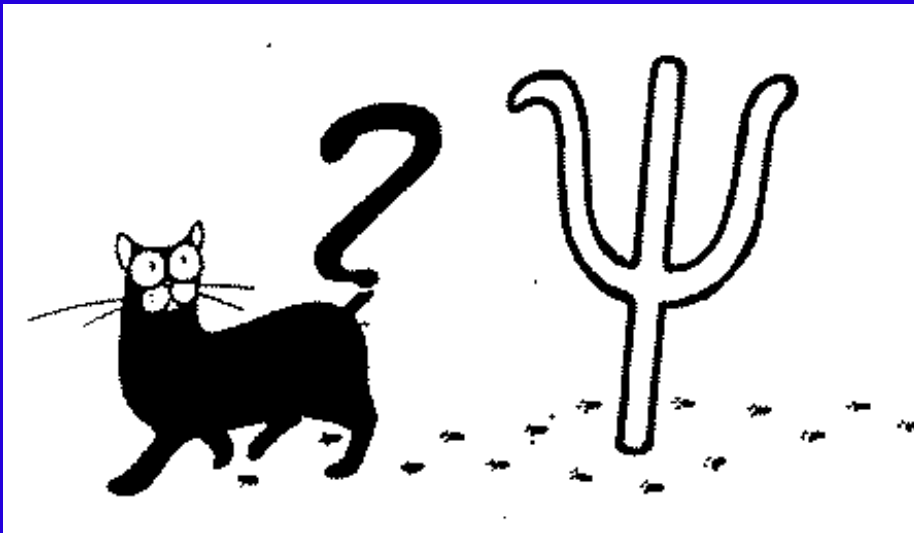
# A fizika mindenké

## BONUSKÉRDÉS

Az ábrán az Élethez nélkülözhetetlen,  
az Univerzumban Mindenütt  
megtalálható **struktúra**, a  
 **$^{12}\text{C}$**   
atom látható

**Kérdés:** **Hány elemi fermionból  
(kvarkból és elektronból)  
áll a  $^{12}\text{C}$  atom?**





Schrödinger  
macskája  
molekulát  
barkácsol

Köszönöm a figyelmet!

Dávid Gyula  
2019. 12. 12.

