

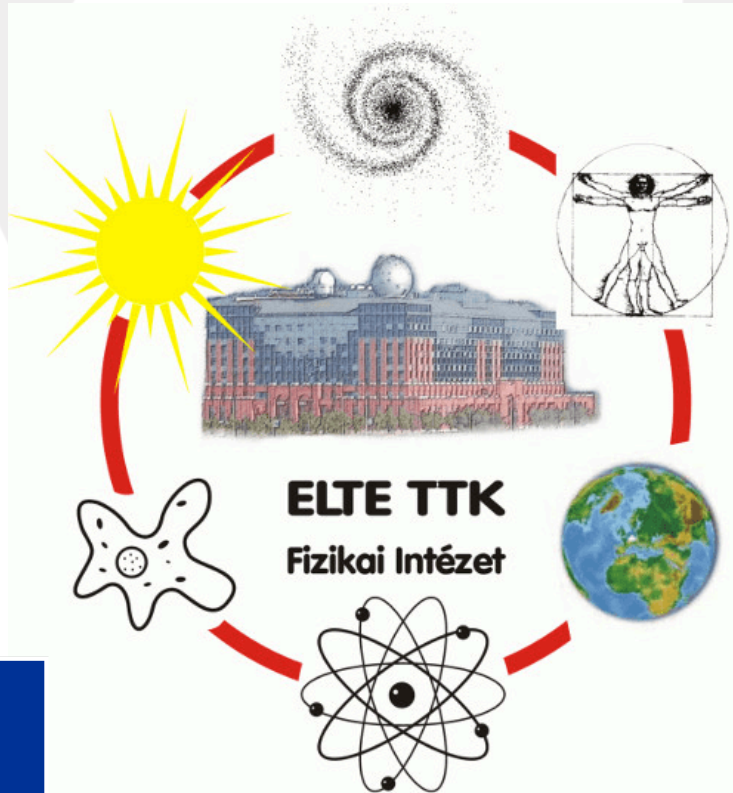
EINSTEINTŐL A HŰTŐMÁGNESIG ÉS TOVÁBB

Avagy mi fán terem a mágnesség?

Tajkov Zoltán

Eötvös Loránd Tudományegyetem

HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont



Centre for
Energy Research



A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**
- **Hangszóró, fejhallgató, fülhallgató, Mikrofon**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**
- **Hangszóró, fejhallgató, fülhallgató, Mikrofon**
- **Elektromos motor** (ventilátorban, mosógépben, porszívóban, akkus fúró)

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**
- **Hangszóró, fejhallgató, fülhallgató, Mikrofon**
- **Elektromos motor** (ventilátorban, mosógépben, porszívóban, akkus fúró)
- **Merevlemez (HDD)**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**
- **Hangszóró, fejhallgató, fülhallgató, Mikrofon**
- **Elektromos motor** (ventilátorban, mosógépben, porszívóban, akkus fúró)
- **Merevlemez (HDD)**
- **MRI gép**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**
- **Hangszóró, fejhallgató, fülhallgató, Mikrofon**
- **Elektromos motor** (ventilátorban, mosógépben, porszívóban, akkus fúró)
- **Merevlemez (HDD)**
- **MRI gép**
- **Transzformátor és induktív töltő**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**
- **Hangszóró, fejhallgató, fülhallgató, Mikrofon**
- **Elektromos motor** (ventilátorban, mosógépben, porszívóban, akkus fúró)
- **Merevlemez (HDD)**
- **MRI gép**
- **Transzformátor és induktív töltő**
- **Elektromos generátor**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**
- **Hangszóró, fejhallgató, fülhallgató, Mikrofon**
- **Elektromos motor** (ventilátorban, mosógépben, porszívóban, akkus fúró)
- **Merevlemez (HDD)**
- **MRI gép**
- **Transzformátor és induktív töltő**
- **Elektromos generátor**
- **Kamera autofókusz**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehértábla**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**
- **Hangszóró, fejhallgató, fülhallgató, Mikrofon**
- **Elektromos motor** (ventilátorban, mosógépben, porszívóban, akkus fúró)
- **Merevlemez (HDD)**
- **MRI gép**
- **Transzformátor és induktív töltő**
- **Elektromos generátor**
- **Kamera autofókusz**
- **Okosóra mágneses töltője**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandó(an) mágneseket használunk

- **Hűtőmágnes**
- **Mágnesesen záródó táskák, pénztárcák, noteszek**
- **Magnetikus fehérta**
- **Mágneses ceruzatartók, irodaszerek**
- **Játékmágnesek**
- **Hangszóró, fejhallgató, fülhallgató, Mikrofon**
- **Elektromos motor** (ventilátorban, mosógépben, porszívóban, akkus fúró)
- **Merevlemez (HDD)**
- **MRI gép**
- **Transzformátor és induktív töltő**
- **Elektromos generátor**
- **Kamera autofókusz**
- **Okosóra mágneses töltője**
- **Laptop fedél szenzor**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- **Szekrényajtó mágneses zárja**

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap
- ABS szenzor

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap
- ABS szenzor
- Elektromos autó motorja

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap
- ABS szenzor
- Elektromos autó motorja
- Maglev (lebegővasút)

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap
- ABS szenzor
- Elektromos autó motorja
- Maglev (lebegővasút)
- Kerékpáros sebességmérő szenzor

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap
- ABS szenzor
- Elektromos autó motorja
- Maglev (lebegővasút)
- Kerékpáros sebességmérő szenzor
- Bankkártya mágnescsík

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap
- ABS szenzor
- Elektromos autó motorja
- Maglev (lebegővasút)
- Kerékpáros sebességmérő szenzor
- Bankkártya mágnescsík
- Hotelszobakártya

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap
- ABS szenzor
- Elektromos autó motorja
- Maglev (lebegővasút)
- Kerékpáros sebességmérő szenzor
- Bankkártya mágnescsík
- Hotelszobakártya
- Tintasugaras nyomtató

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap
- ABS szenzor
- Elektromos autó motorja
- Maglev (lebegővasút)
- Kerékpáros sebességmérő szenzor
- Bankkártya mágnescsík
- Hotelszobakártya
- Tintasugaras nyomtató
- Szemétválogató üzem

A MINDEN ÁTSZÖVŐ MÁGNESSÉG

Állandóan mágneseket használunk

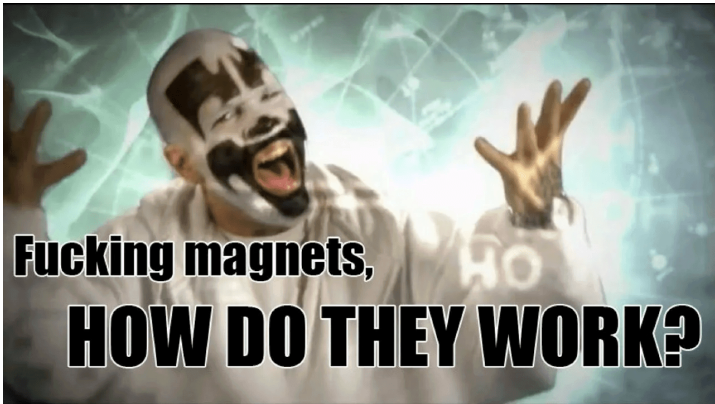
- Szekrényajtó mágneses zárja
- Mágneses függönyök és takarók
- Ajtókilincs visszatartó mágnes
- Biztonsági gyermekzár mágneses kulccsal
- Indukciós főzőlap
- ABS szenzor
- Elektromos autó motorja
- Maglev (lebegővasút)
- Kerékpáros sebességmérő szenzor
- Bankkártya mágnescsík
- Hotelszobakártya
- Tintasugaras nyomtató
- Szemétválogató üzem
- Hűtőmágnes

MINDENKIT FOGLALKOZTAT



MINDENKIT FOGLALKOZTAT

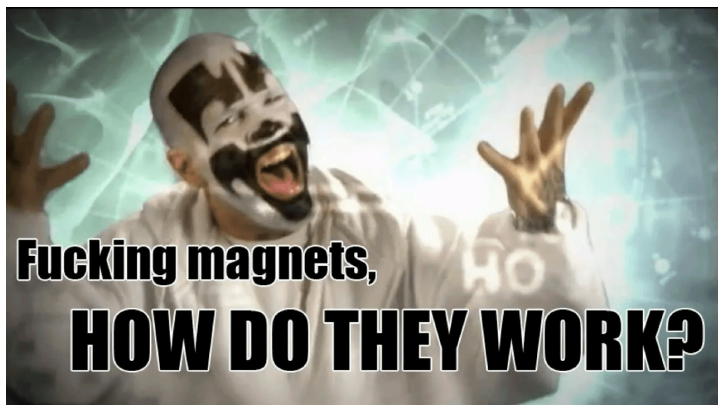
“ *Water, fire, air and dirt*
Fucking magnets, how do they work?
- Insane Clown Posse - Miracles



MINDENKIT FOGLALKOZTAT

“ *Water, fire, air and dirt*
Fucking magnets, how do they work?

- Insane Clown Posse - Miracles

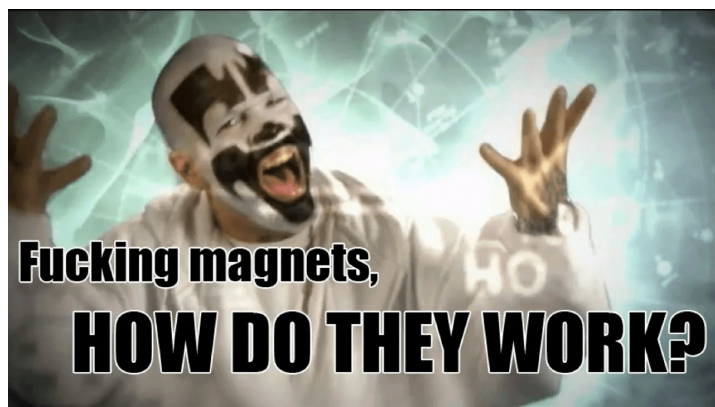


“ *Van egy barátom, mágnes gyűjtő. Vannak ilyen ritkaságai, hogy mind a két fele taszít.*

MINDENKIT FOGLALKOZTAT

“ *Water, fire, air and dirt
Fucking magnets, how do they work?* ”

- Insane Clown Posse - Miracles



Magneto - Marvel karakter



“ *Van egy barátom, mágnes gyűjtő. Vannak ilyen ritkaságai, hogy mind a két fele taszít.* ”

TUDÓS VÁLASZOL

Richard Phillips Feynman (1918-1988)



Fun to Imagine
BBC TV Series (1983)



7:33

Magnets

TUDÓS VÁLASZOL



TUDÓS VÁLASZOL



Derek Alexander Muller



Veritasium

TUDÓS VÁLASZOL



Derek Alexander Muller



Veritasium



Henry Reich



MinutePhysics 6.2

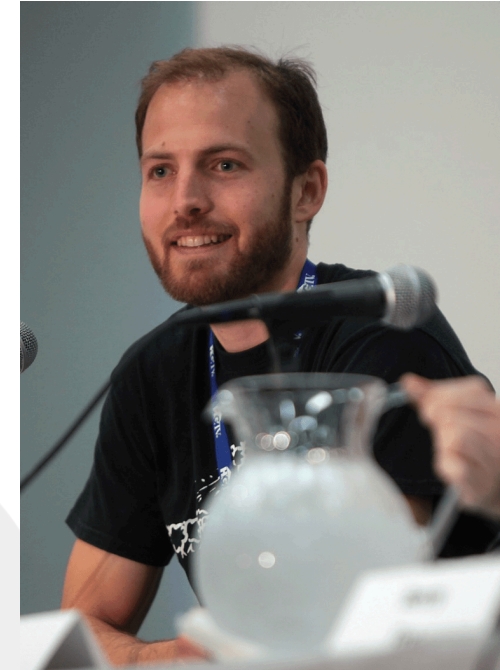
TUDÓS VÁLASZOL



Derek Alexander Muller



Veritasium



Henry Reich



MinutePhysics 6.3

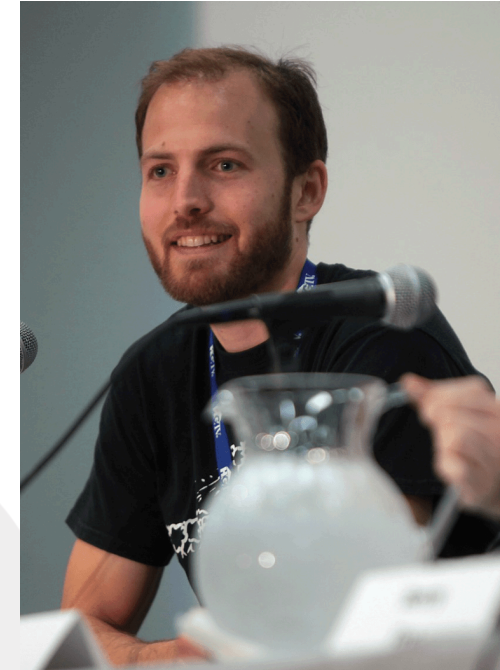
TUDÓS VÁLASZOL



Derek Alexander Muller



Veritasium



Henry Reich



MinutePhysics 6.4

ELEKTROMOSSÁG - ALAPJELENSÉG

https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_all.html

ELEKTROMOSSÁG - ALAPJELENSÉG

Tapasztalat

ELEKTROMOSSÁG - ALAPJELENSÉG

Tapasztalat

- **A töltés az a tulajdonság, ami miatt egy test érzi az elektromos teret.**

ELEKTROMOSSÁG - ALAPJELENSÉG

Tapasztalat

- **A töltés az a tulajdonság, ami miatt egy test érzi az elektromos teret.**
- **Egy test lehet pozitív, negatív vagy semleges.**

ELEKTROMOSSÁG - ALAPJELENSÉG

Tapasztalat

- **A töltés az a tulajdonság, ami miatt egy test érzi az elektromos teret.**
- **Egy test lehet pozitív, negatív vagy semleges.**
- **Az elektromos tér megmutatja, hogy hol milyen erő hatna egy pozitív próbatöltésre.**

ELEKTROMOSSÁG - ALAPJELENSÉG

Tapasztalat

- **A töltés az a tulajdonság, ami miatt egy test érzi az elektromos teret.**
- **Egy test lehet pozitív, negatív vagy semleges.**
- **Az elektromos tér megmutatja, hogy hol milyen erő hatna egy pozitív próbatöltésre.**
- **A testek a töltésük révén kapcsolódnak az elektromos térhez.**

ELEKTROMOSSÁG - ALAPJELENSÉG

Tapasztalat

- **A töltés az a tulajdonság, ami miatt egy test érzi az elektromos teret.**
- **Egy test lehet pozitív, negatív vagy semleges.**
- **Az elektromos tér megmutatja, hogy hol milyen erő hatna egy pozitív próbatöltésre.**
- **A testek a töltésük révén kapcsolódnak az elektromos térhez.**
- **Az azonos töltések taszítják, az ellentétesek vonzzák egymást.**

ELEKTROMOSSÁG - ALAPJELENSÉG

Tapasztalat

- A töltés az a tulajdonság, ami miatt egy test érzi az elektromos teret.
- Egy test lehet pozitív, negatív vagy semleges.
- Az elektromos tér megmutatja, hogy hol milyen erő hatna egy pozitív próbatöltésre.
- A testek a töltésük révén kapcsolódnak az elektromos térhez.
- Az azonos töltések taszítják, az ellentétesek vonzzák egymást.
- A elektromos tér árnyékolható.

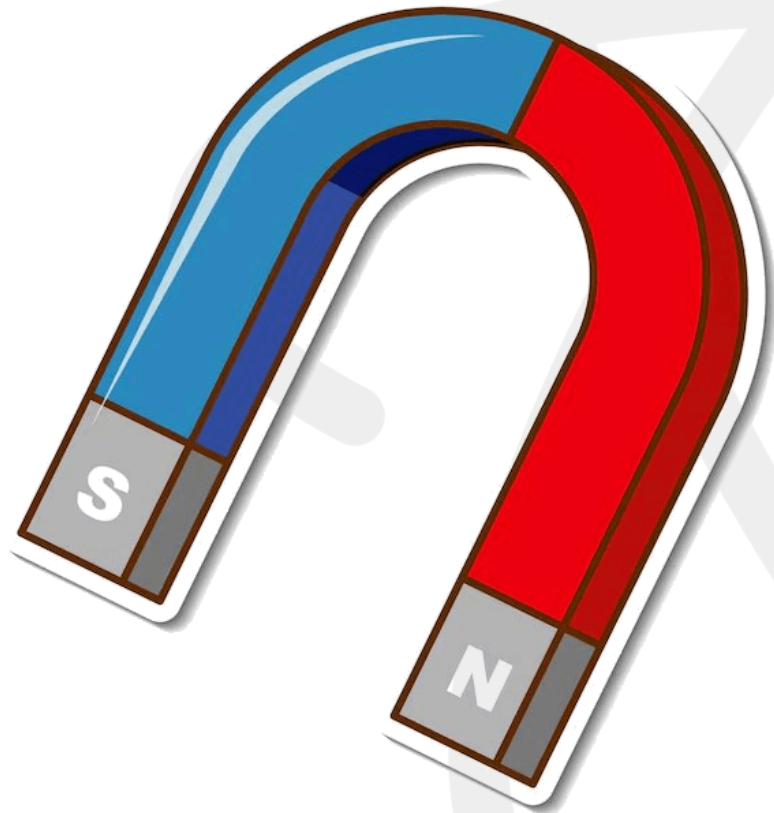
MÁGNESSÉG ÉS VILLAMOSSÁG

Hogy hat a töltött részecskére a mágnes?



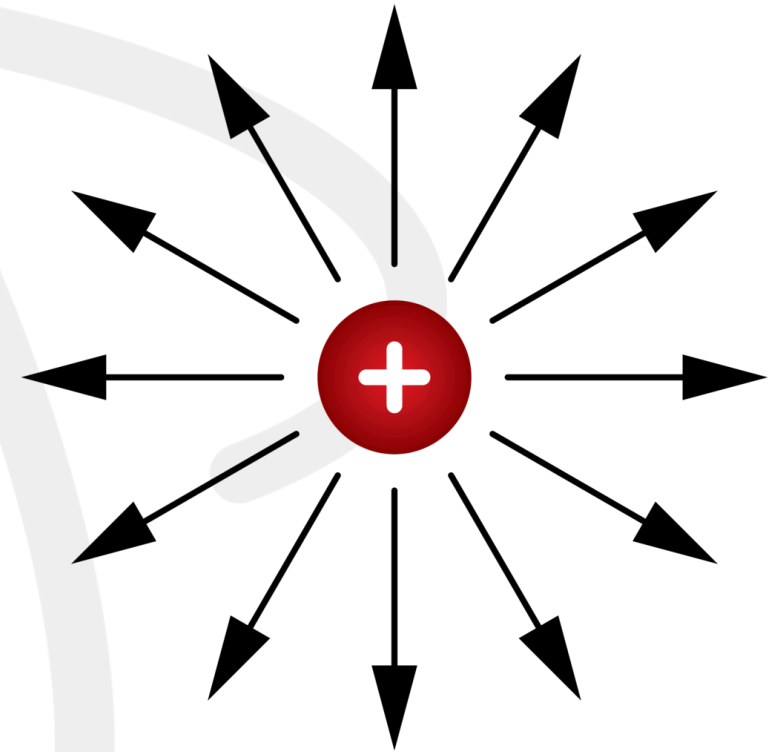
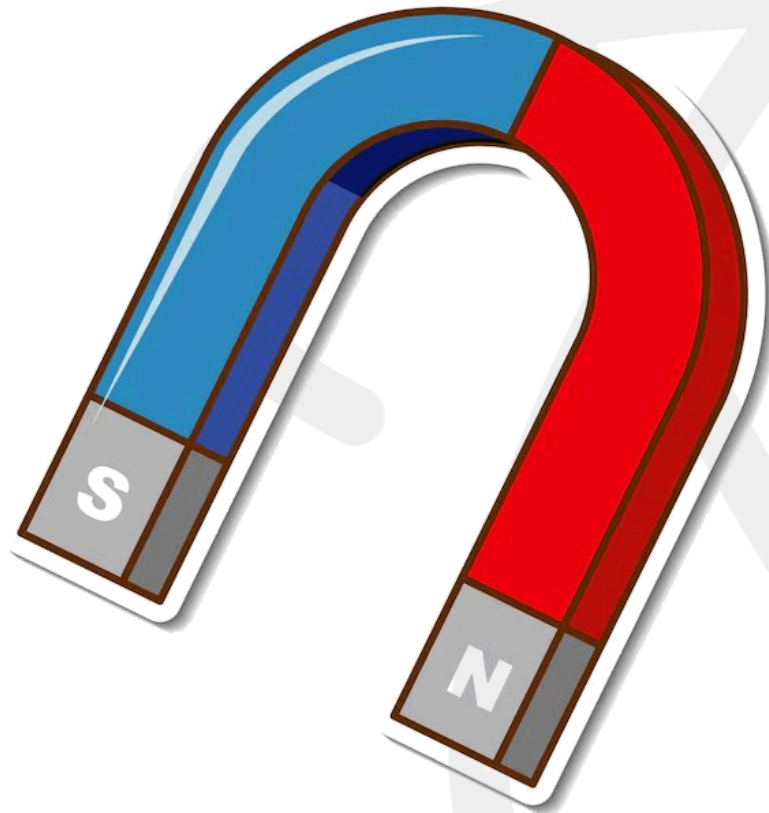
MÁGNESSÉG ÉS VILLAMOSSÁG

Hogy hat a töltött részecskére a mágnes?



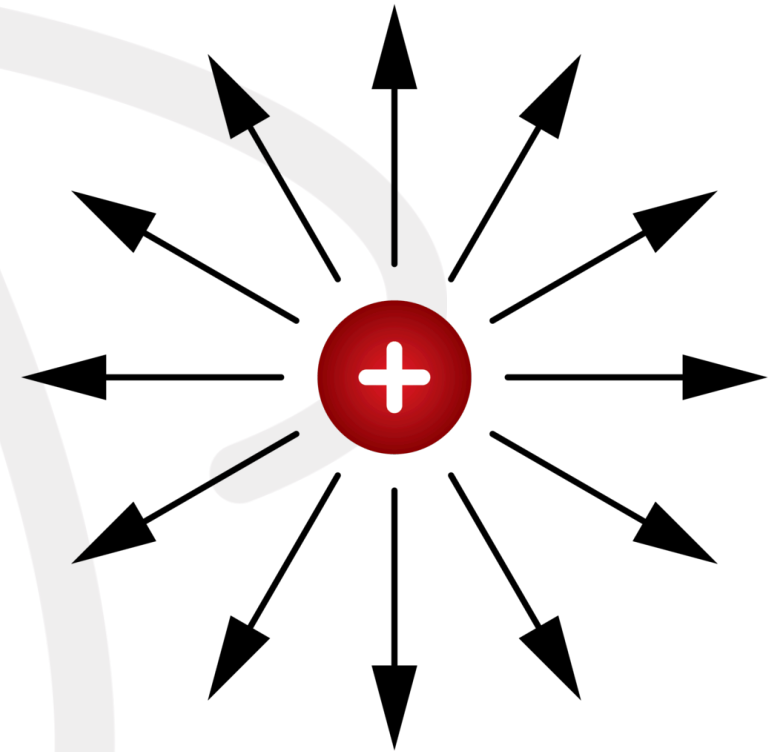
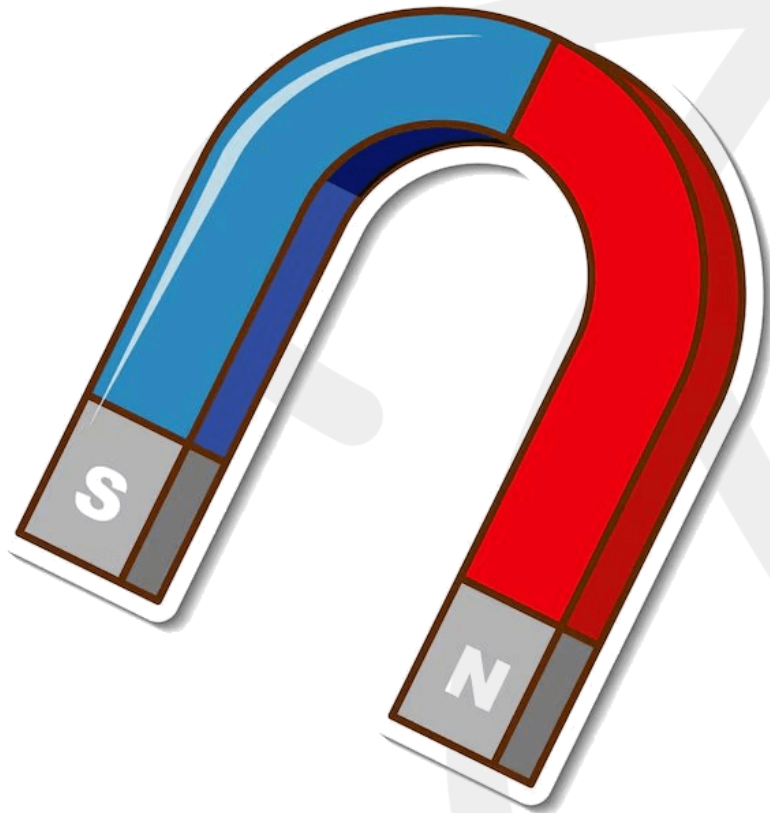
MÁGNESSÉG ÉS VILLAMOSSÁG

Hogy hat a töltött részecskére a mágnes?



MÁGNESSÉG ÉS VILLAMOSSÁG

Hogy hat a töltött részecskére a mágnes?



sehogy.

MÁGNESSÉG ÉS VILLAMOSSÁG

Hogy hat a töltött részecskére a mágnes?

<https://strong-vacherin-fff6ad.netlify.app/>

VILLAMOSSÁG ÉS VILLAMOSSÁG

Hogy hat a töltött részecskére a **mozgó** töltött részecske?



VILLAMOSSÁG ÉS VILLAMOSSÁG

<https://snazzy-beignet-b4a5ee.netlify.app/>

RELATÍV KITÉRŐ

Elmélkedés a dolgok egyidejűségéről



RELATÍV KITÉRŐ

Elmélkedés a dolgok egyidejűségéről



Albert Einstein,
1905, *annus mirabilis*

RELATÍV KITÉRŐ

Elmélkedés a dolgok egyidejűségéről

Mi az, hogy **egyszerre**?



Albert Einstein,
1905, *annus mirabilis*

RELATÍV KITÉRŐ

Elmélkedés a dolgok egyidejűségéről

Mi az, hogy **egyszerre**?

- Két, egymástól távoli esemény lehet, hogy az egyik megfigyelő szerint egyszerre történik.



Albert Einstein,
1905, *annus mirabilis*

RELATÍV KITÉRŐ

Elmélkedés a dolgok egyidejűségéről

Mi az, hogy **egyszerre**?

- Két, egymástól távoli esemény lehet, hogy az egyik megfigyelő szerint egyszerre történik.
- Egy másik, hozzá képest mozgó megfigyelő szerint ugyanez a két esemény nem egyszerre történik.



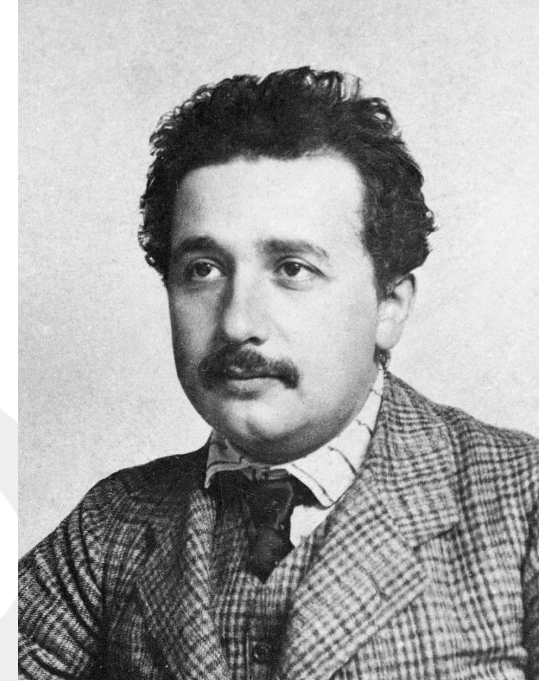
Albert Einstein,
1905, *annus mirabilis*

RELATÍV KITÉRŐ

Elmélkedés a dolgok egyidejűségéről

Mi az, hogy **egyszerre**?

- Két, egymástól távoli esemény lehet, hogy az egyik megfigyelő szerint egyszerre történik.
- Egy másik, hozzá képest mozgó megfigyelő szerint ugyanez a két esemény nem egyszerre történik.
- Minél nagyobb a relatív sebesség, annál nagyobb lehet az eltérés abban, hogy ki mit tekint „ugyanannak a pillanatnak”.



Albert Einstein,
1905, *annus mirabilis*

RELATÍV KITÉRŐ

Elmélkedés a dolgok egyidejűségéről

Mi az, hogy **egyszerre**?

- Két, egymástól távoli esemény lehet, hogy az egyik megfigyelő szerint egyszerre történik.
- Egy másik, hozzá képest mozgó megfigyelő szerint ugyanez a két esemény nem egyszerre történik.
- Minél nagyobb a relatív sebesség, annál nagyobb lehet az eltérés abban, hogy ki mit tekint „ugyanannak a pillanatnak”.



Albert Einstein,
1905, *annus mirabilis*

WOULD YOU LIKE TO KNOW MORE?

Relativisztikus paradoxonok 

Dávid Gyula (ELTE TTK, Atomfizikai Tanszék)

#51, relativitáselmélet

Időpont: 2009.01.15. (17:00 -)



KATT IDE

RELATÍV KITÉRŐ

<https://monumental-narwhal-2a8189.netlify.app/>

VILLAMOSSÁG ÉS VILLAMOSSÁG

<https://warm-unicorn-3d2314.netlify.app/>

VILLAMOSSÁG ÉS VILLAMOSSÁG

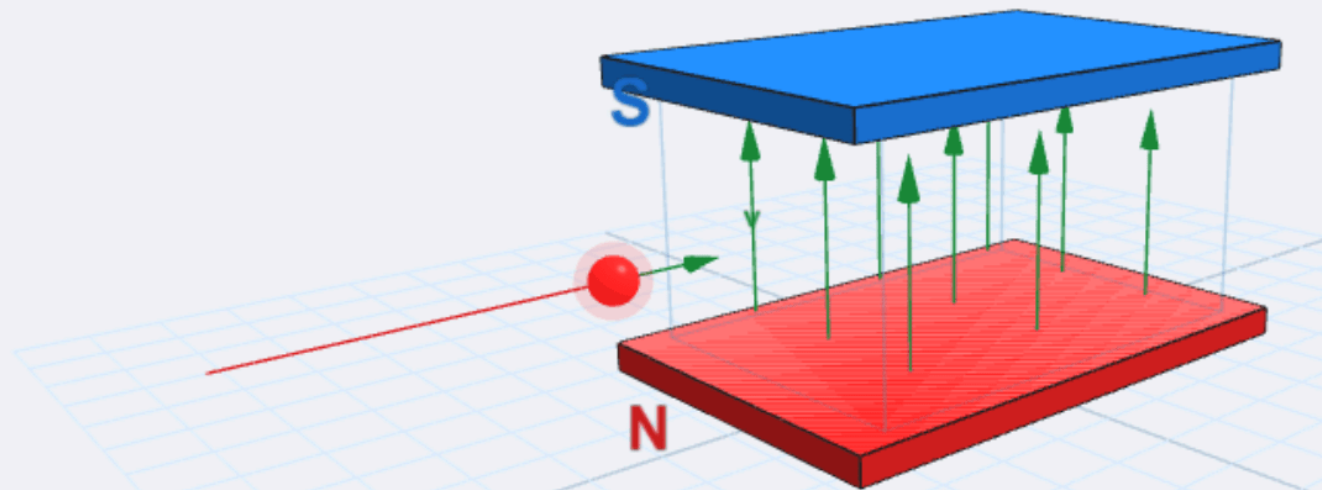
Az egyidejűség relativitása mágneses kölcsönhatást okoz

<https://warm-unicorn-3d2314.netlify.app/>

HOL AZ ÁRAM?

LORENTZ-ERŐ – TÖLTÖTT RÉSZECSCKE
MÁGNESES TÉRBEN

$$F = q \cdot v \times B \quad | \quad v \rightarrow (\text{x-irány}) \times B \uparrow (\text{y-irány}) = F (\text{z-irány})$$



🖱️ Húzd az egérrel a forgatáshoz

▶ INDÍT

⏸ PAUSE

↺ ÚJRA

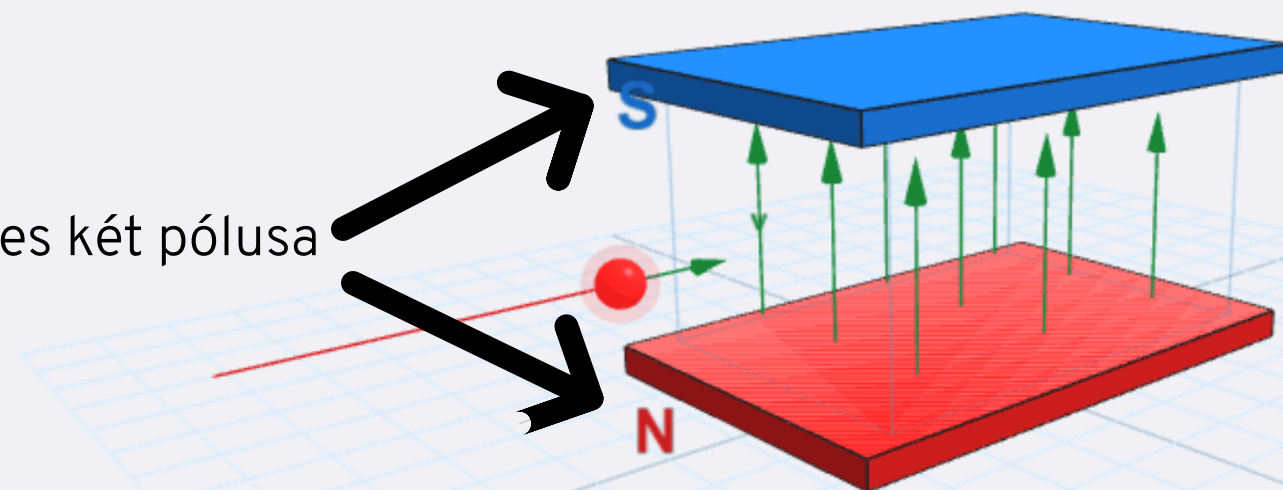
HOL AZ ÁRAM?

LORENTZ-ERŐ – TÖLTÖTT RÉSZECSCKE
MÁGNESES TÉRBEN

$$F = q \cdot v \times B \quad | \quad v \rightarrow (\text{x-irány}) \times B \uparrow (\text{y-irány}) = F (\text{z-irány})$$

Permanens mágnes két pólusa

Hol folyik itt áram?



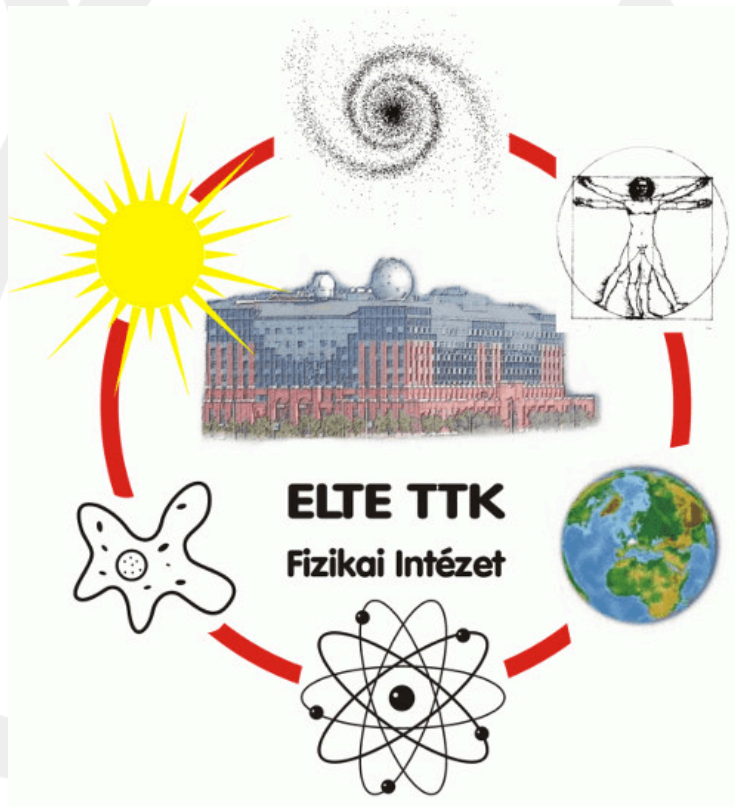
Húzd az egérrel a forgatáshoz

▶ INDÍT

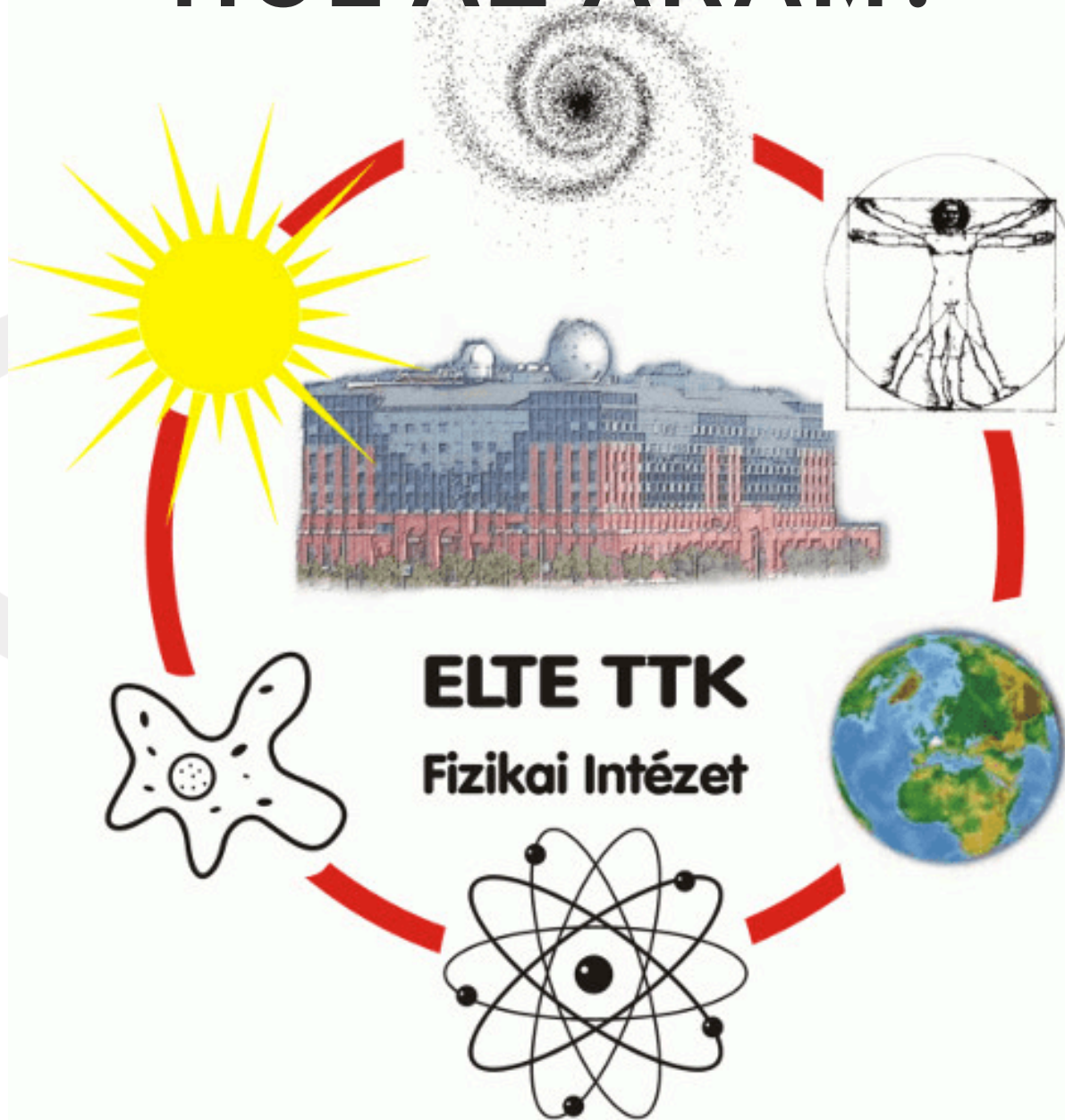
|| PAUSE

↺ ÚJRA

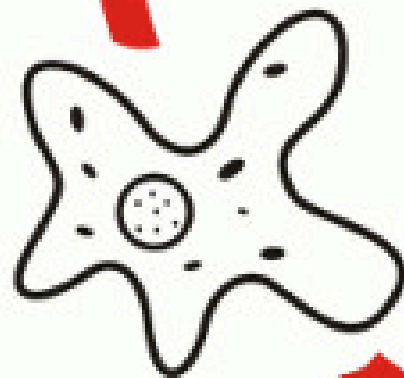
HOL AZ ÁRAM?



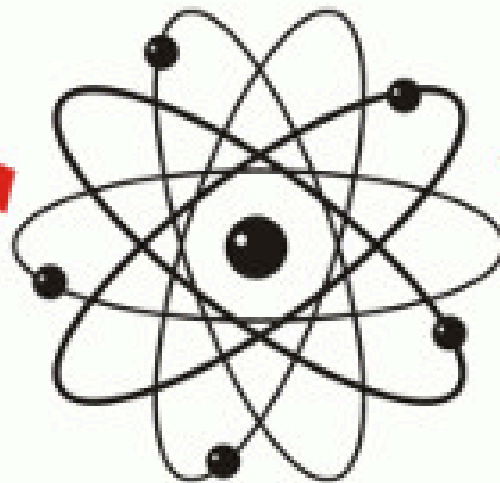
HOL AZ ÁRAM?



HOL AZ ÁRAM?



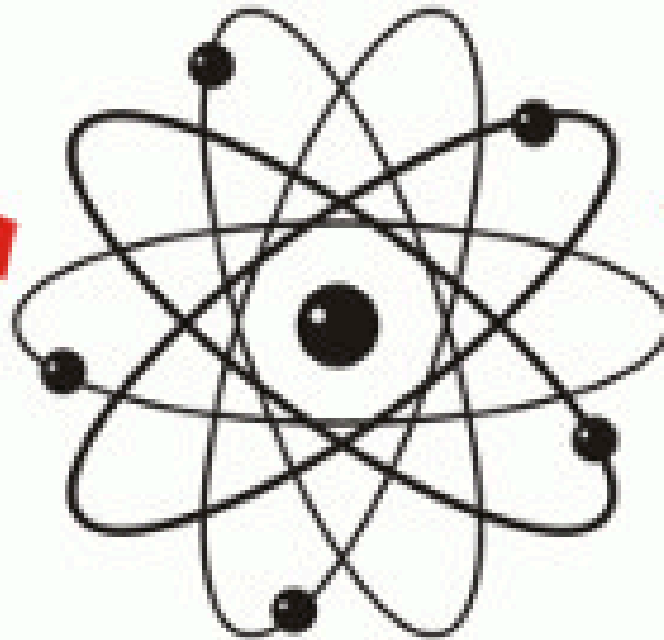
ELTE TTK
Fizikai Intézet



HOL AZ ÁRAM?

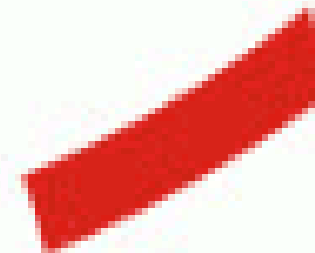
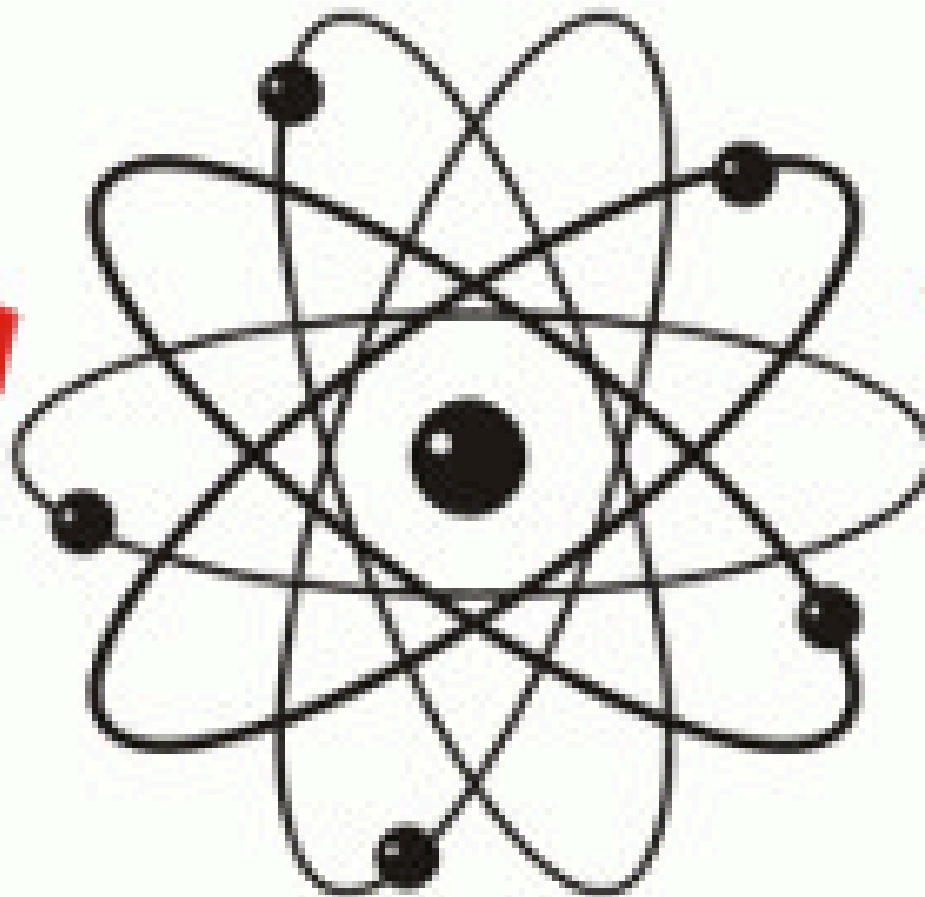
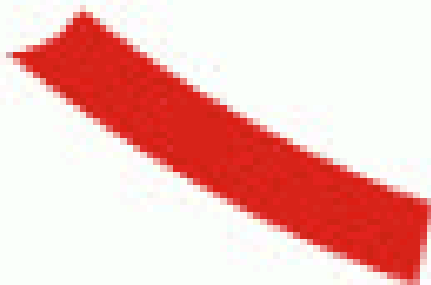
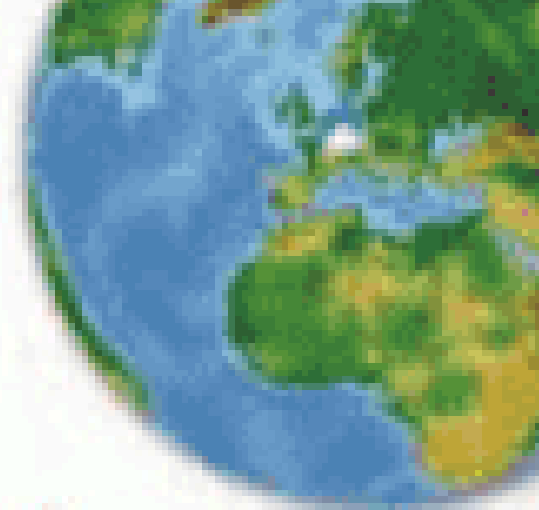
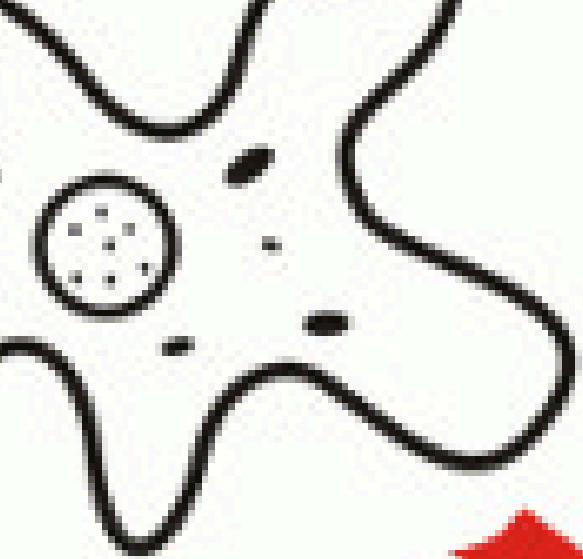


ELTE TTK
Fizikai Intézet

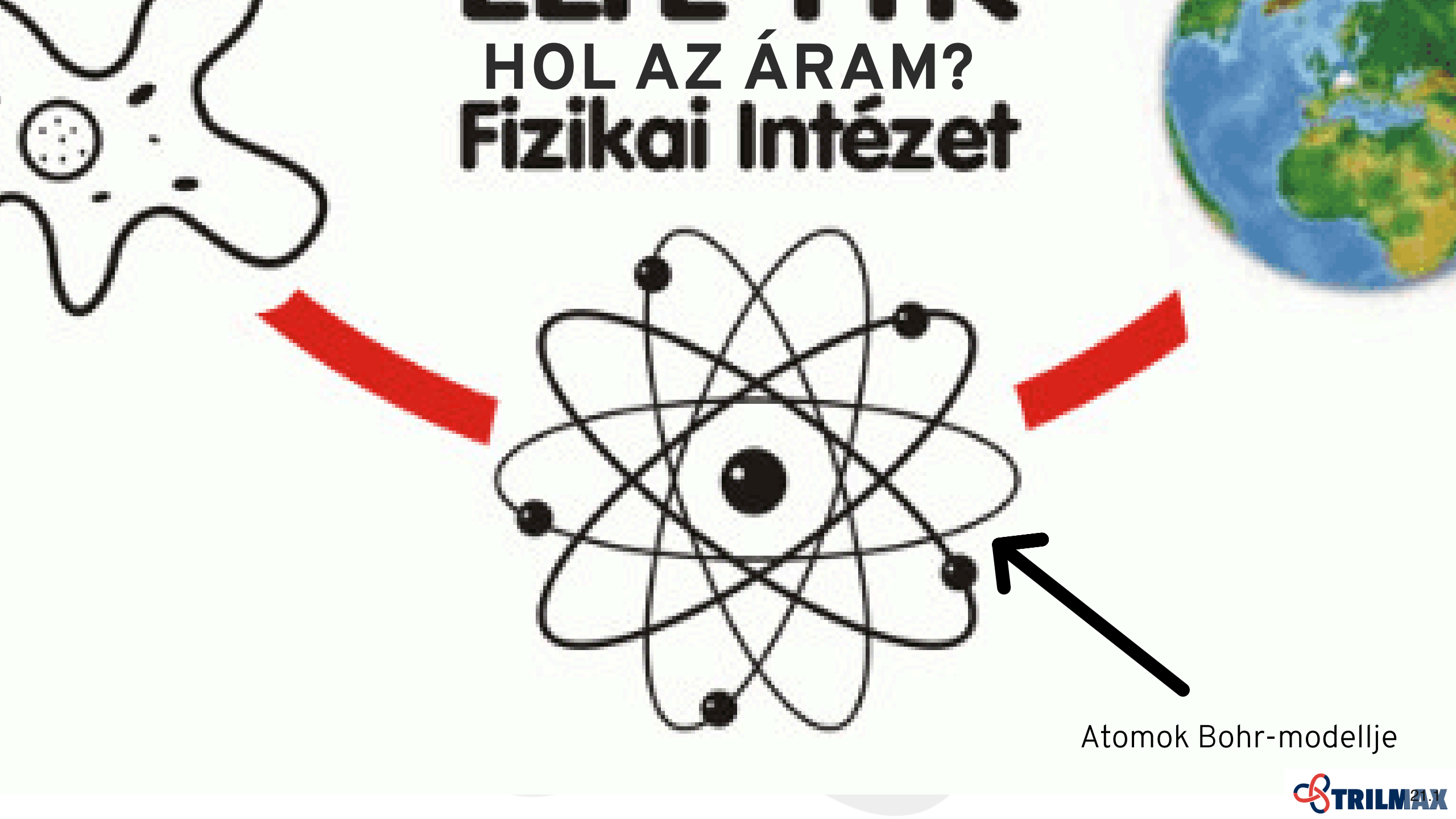


HOL AZ ÁRAM?

Fizikai Intézet



HOL AZ ÁRAM? Fizikai Intézet



Atomok Bohr-modellje

HOL AZ ÁRAM?

<https://musical-sorbet-c46b95.netlify.app/>

BOHR-FÉLE MODELL NEM ELÉG

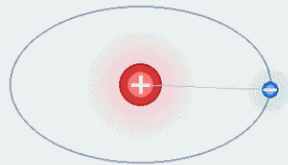


BOHR-FÉLE MODELL NEM ELÉG

Egy
keringő
elektron
töltés klasszikusan
sugározna.

- Akkor energiát veszítene és az atom nem lenne stabil.
- Bohr ezt posztulátummal mentette meg: „bizonyos pályákon mégsem sugároz”.

Bohr-modell — Keringő elektron energiát sugároz ki
sugárzás → energiavesztés → befelé spirálozás



• atommag (+)
• elektron (-)
— kisugárzott hullámok
— befelé spirál

klasszikus kép: ezért lenne instabil az atom

Elektron körpályán

BOHR-FÉLE MODELL NEM ELÉG

Egy

keringő

elektron töltés klasszikusan sugározna.

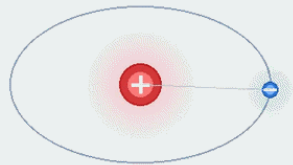
- Akkor energiát veszítene és az atom nem lenne stabil.
- Bohr ezt posztulátummal mentette meg: „bizonyos pályákon mégsem sugároz”.

Spektroszkópia:

túl sok a minta

- A tisztán orbitális kép egyszerű Zeeman-hasadást vár.
- A valóságban sok vonal anomális Zeeman-hasadást mutat.
- A magyarázathoz új hozzájárulás kell

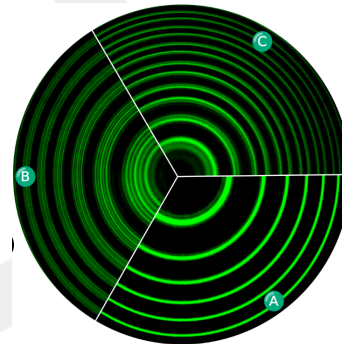
Bohr-modell — Keringő elektron energiát sugároz ki
sugárzás → energiavesztés → befelé spirálozás



• atommag (+)
• elektron (-)
— kisugárzott hullámok
— befelé spirál

klasszikus kép: ezért lenne instabil az atom

Elektron körpályán



BOHR-FÉLE MODELL NEM ELÉG

Egy

keringő

elektron töltés klasszikusan sugározna.

- Akkor energiát veszítene és az atom nem lenne stabil.
- Bohr ezt posztulátummal mentette meg: „bizonyos pályákon mégsem sugároz”.

Spektroszkópia:

túl sok a minta

- A tisztán orbitális kép egyszerű Zeeman-hasadást vár.
- A valóságban sok vonal anomális Zeeman-hasadást mutat.
- A magyarázathoz új hozzájárulás kell

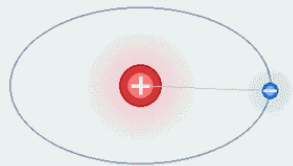
Közvetlen

mágneses Stern-Gerlach: ezüstnél

nyomok két nyáláb jön ki; ez nem csak „kvantáltság”, hanem annak jele, hogy a mágneses momentum nem írható le pusztán orbitális képpel.

- **Einstein-de Haas:** a mért giromágneses arány nem a tisztán orbitális klasszikus értéket adja, hanem kb. kétszer akkora nagyságrendet.

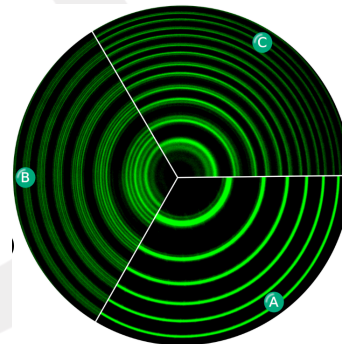
Bohr-modell — Keringő elektron energiát sugároz ki
sugárzás → energiavesztés → befelé spirálozás



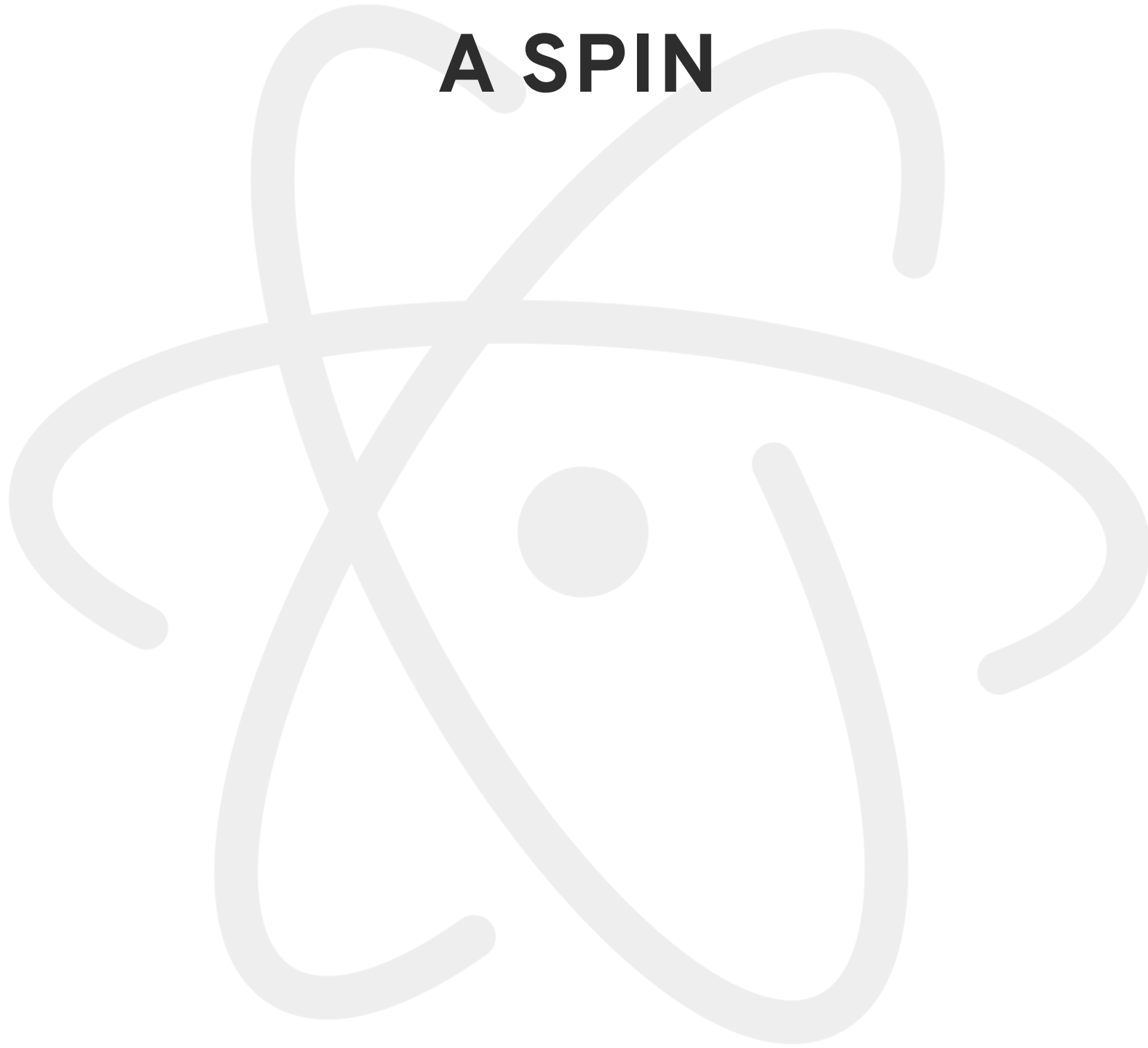
• atommag (+)
• elektron (-)
• kisugárzott hullámok
• befelé spirál

klasszikus kép: ezért lenne instabil az atom

Elektron körpályán



A SPIN



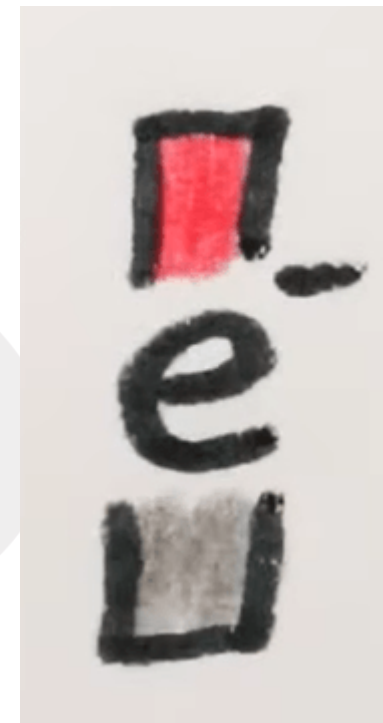
A SPIN



ALAPVETŐ RÉSZECSKÉK KVANTUMTULAJDONSÁGAI

A Standard Modell részecskéi – az elektron kiemelve

Részecske	Töltés (e)	Kicsi Mágnes ✦	Tömeg	Élettartam	Szín-töltés
◊ Leptonok					
Elektron (e^-) ★	-1	$\frac{1}{2}$	0,511 MeV/c ²	Stabil ∞	–
Myon (μ^-)	-1	$\frac{1}{2}$	105,7 MeV/c ²	2,2 μ s	–
Tau (τ^-)	-1	$\frac{1}{2}$	1 776,9 MeV/c ²	290 fs	–
Elektron-neutrínó (ν_e)	0	$\frac{1}{2}$	< 2 eV/c ²	Stabil	–
Myon-neutrínó (ν_μ)	0	$\frac{1}{2}$	< 170 keV/c ²	Stabil	–
◊ Quarkok					
Up quark (u)	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	2,2 MeV/c ²	Stabil (kötött)	r / g / b
Down quark (d)	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	4,7 MeV/c ²	Stabil (kötött)	r / g / b
Strange quark (s)	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	93 MeV/c ²	$\sim 10^{-8}$ s	r / g / b
Charm quark (c)	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	1 270 MeV/c ²	$\sim 10^{-12}$ s	r / g / b
Bottom quark (b)	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	4 180 MeV/c ²	$\sim 10^{-12}$ s	r / g / b
Top quark (t)	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	172 900 MeV/c ²	$\sim 5 \times 10^{-25}$ s	r / g / b
◊ Bozonok (erőhordozók)					
Foton (γ)	0	1	0	Stabil ∞	–
W ⁺ / W ⁻ bozon	+1 / -1	1	80 377 MeV/c ²	$\sim 3 \times 10^{-25}$ s	–
Z ⁰ bozon	0	1	91 188 MeV/c ²	$\sim 3 \times 10^{-25}$ s	–
Gluon (g)	0	1	0	Stabil (kötött)	8 féle
Higgs-bozon (H ⁰)	0	0	125 250 MeV/c ²	$\sim 1,6 \times 10^{-22}$ s	–



MÁGNESÉG



MÁGNESSÉG



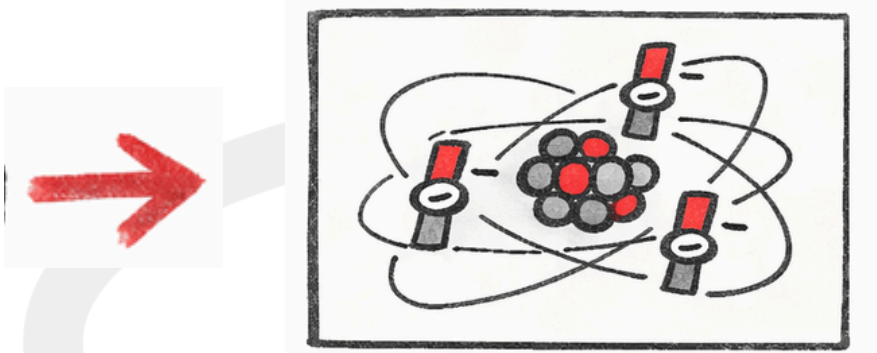
egyetlen elektron

MÁGNESSÉG

elektronok az atomban



egyetlen elektron



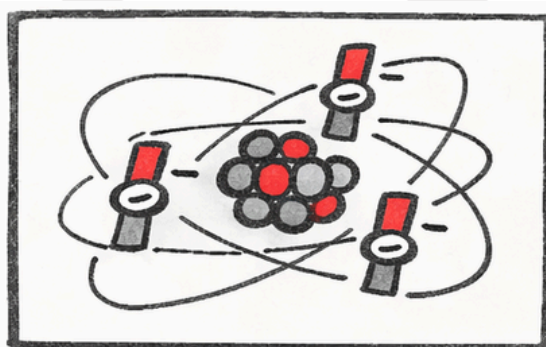
MÁGNESSÉG



egyetlen elektron



elektronok az atomban



Egy atom, vagy atomok
kollekciója rendeződik



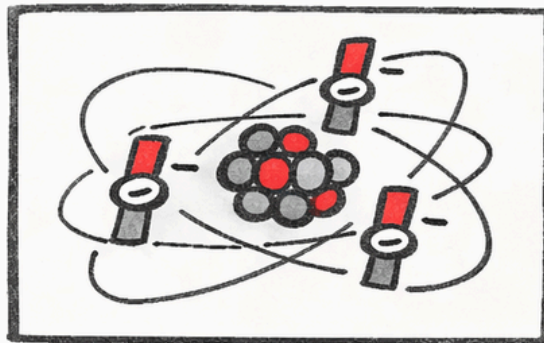
MÁGNESSÉG



egyetlen elektron



elektronok az atomban



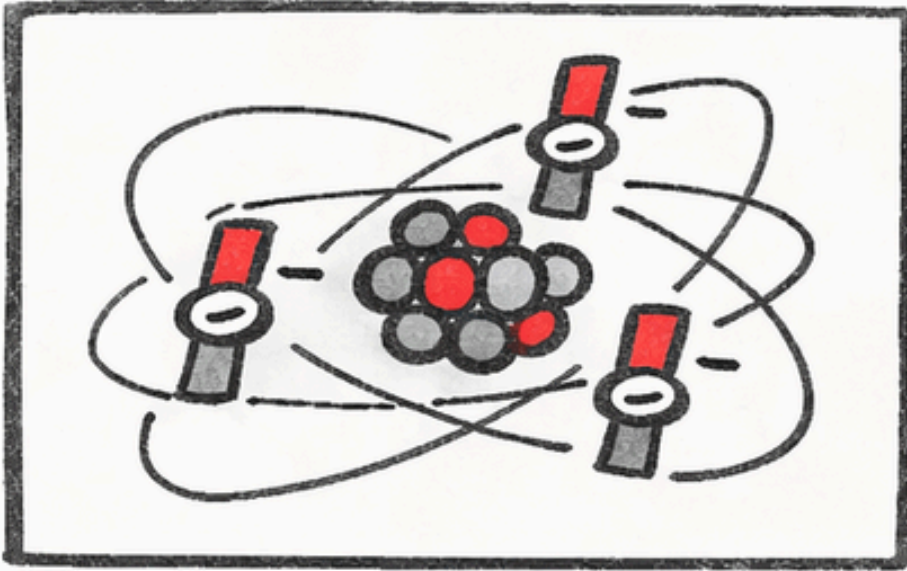
Egy atom, vagy atomok
kollekciója rendeződik



Kollekciók kollekciója rendeződik
egy stabil struktúrába: mágnes



MÁGNESSÉG

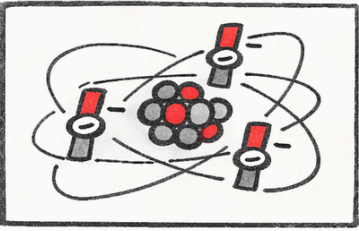


- Az elektronok egy atomban párokban állnak
- Szükség van párosítatlan elektronokra ahhoz, hogy legyen netto mágnesség
- Legyen lokalizált!

Hol vannak ilyenek?

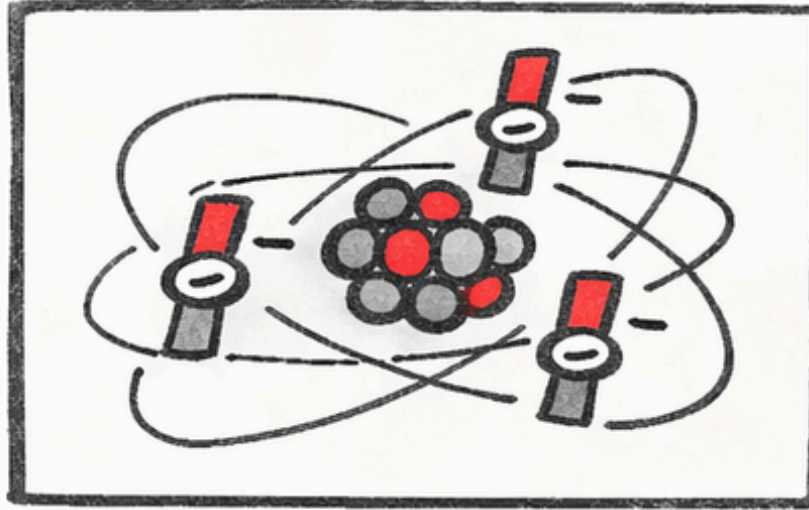
MÁGNESSÉG

Hol vannak ilyenek?

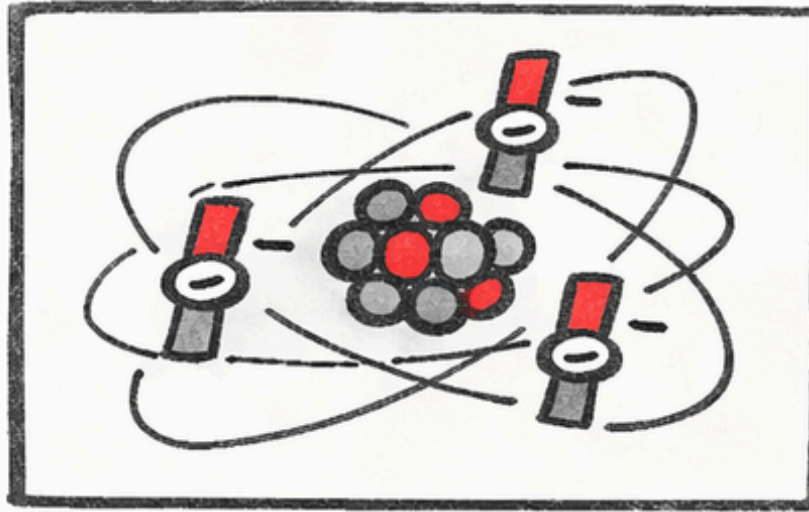


<https://jazzy-cupcake-1a2c41.netlify.app/>

MÁGNES

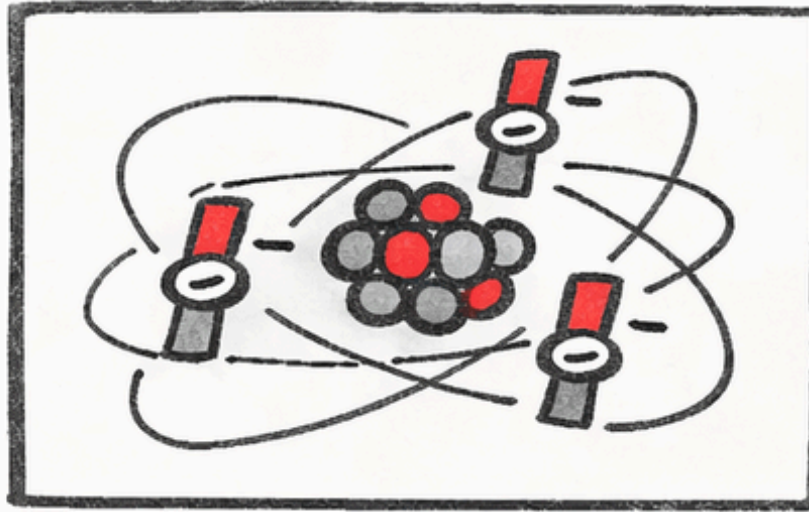


MÁGNESSÉG



A vas, vagy a nikkell állandó mágnes...

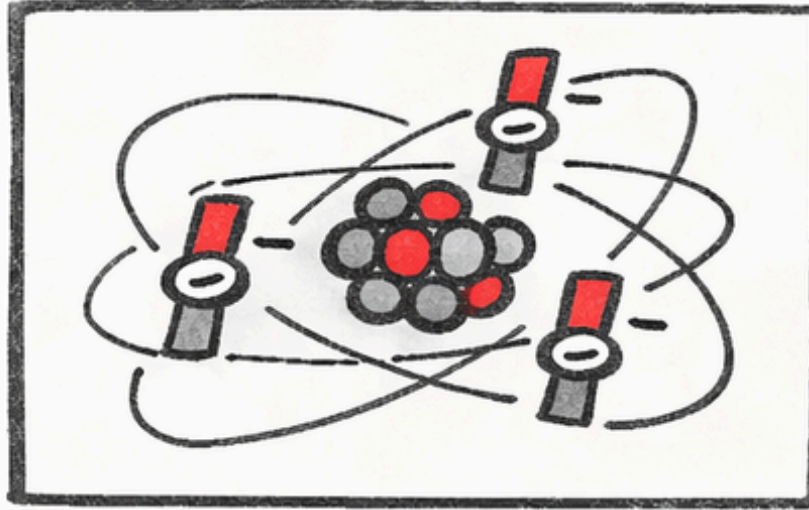
MÁGNESSÉG



A vas, vagy a nikkel állandó mágnes...

...de a króm nem.

MÁGNESSÉG



A vas, vagy a nikkel állandó mágnes...

...de a króm nem.

Miért?

MÁGNESÉG

Meg kell oldani a Schrödinger-egyenletet...



MÁGNESSÉG

Meg kell oldani a Schrödinger-egyenletet...

$$\hat{H} |\Psi\rangle = E |\Psi\rangle$$

MÁGNESÉG

Meg kell oldani a Schrödinger-egyenletet...

$$\hat{H} |\Psi\rangle = E |\Psi\rangle$$

$$\hat{H}_{\text{el}} = - \sum_{i=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \sum_{i=1}^N \sum_{A=1}^M \frac{Z_A e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{iA}} + \sum_{i<j} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \sum_{A<B} \frac{Z_A Z_B e^2}{4\pi\epsilon_0 R_{AB}}.$$

MÁGNESSÉG

Meg kell oldani a Schrödinger-egyenletet...

$$\hat{H} |\Psi\rangle = E |\Psi\rangle$$

$$\hat{H}_{\text{el}} = - \sum_{i=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \sum_{i=1}^N \sum_{A=1}^M \frac{Z_A e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{iA}} + \sum_{i<j} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \sum_{A<B} \frac{Z_A Z_B e^2}{4\pi\epsilon_0 R_{AB}}.$$

A szerény hélium molekula:

MÁGNESSÉG

Meg kell oldani a Schrödinger-egyenletet...

$$\hat{H} |\Psi\rangle = E |\Psi\rangle$$

$$\hat{H}_{\text{el}} = - \sum_{i=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \sum_{i=1}^N \sum_{A=1}^M \frac{Z_A e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{iA}} + \sum_{i<j} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \sum_{A<B} \frac{Z_A Z_B e^2}{4\pi\epsilon_0 R_{AB}}.$$

A szerény hélium molekula:

$$\hat{H}_{\text{el}} = -\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_1^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_2^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_3^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_4^2$$

MÁGNESSÉG

Meg kell oldani a Schrödinger-egyenletet...

$$\hat{H} |\Psi\rangle = E |\Psi\rangle$$

$$\hat{H}_{\text{el}} = - \sum_{i=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \sum_{i=1}^N \sum_{A=1}^M \frac{Z_A e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{iA}} + \sum_{i<j} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \sum_{A<B} \frac{Z_A Z_B e^2}{4\pi\epsilon_0 R_{AB}}.$$

A szerény hélium molekula:

$$\begin{aligned} \hat{H}_{\text{el}} = & -\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_1^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_2^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_3^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_4^2 \\ & - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{1A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{1B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{2A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{2B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{3A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{3B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{4A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{4B}} \end{aligned}$$

MÁGNESSÉG

Meg kell oldani a Schrödinger-egyenletet...

$$\hat{H} |\Psi\rangle = E |\Psi\rangle$$

$$\hat{H}_{\text{el}} = - \sum_{i=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \sum_{i=1}^N \sum_{A=1}^M \frac{Z_A e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{iA}} + \sum_{i<j} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \sum_{A<B} \frac{Z_A Z_B e^2}{4\pi\epsilon_0 R_{AB}}.$$

A szerény hélium molekula:

$$\begin{aligned} \hat{H}_{\text{el}} = & -\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_1^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_2^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_3^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_4^2 \\ & - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{1A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{1B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{2A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{2B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{3A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{3B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{4A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{4B}} \\ & + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{13}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{14}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{23}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{24}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{34}} \end{aligned}$$

MÁGNESSÉG

Meg kell oldani a Schrödinger-egyenletet...

$$\hat{H} |\Psi\rangle = E |\Psi\rangle$$

$$\hat{H}_{\text{el}} = - \sum_{i=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \sum_{i=1}^N \sum_{A=1}^M \frac{Z_A e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{iA}} + \sum_{i<j} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \sum_{A<B} \frac{Z_A Z_B e^2}{4\pi\epsilon_0 R_{AB}}.$$

A szerény hélium molekula:

$$\begin{aligned} \hat{H}_{\text{el}} = & -\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_1^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_2^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_3^2 - \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_4^2 \\ & - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{1A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{1B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{2A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{2B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{3A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{3B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{4A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{4B}} \\ & + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{13}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{14}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{23}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{24}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{34}} \end{aligned}$$

... de azt képtelenség.

MÁGNESSÉG

Meg kell oldani a Schrödinger-egyenletet...

$$\hat{H}_{\text{el}} = - \sum_{i=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \sum_{A < B} \frac{Z_A Z_B e^2}{4\pi\epsilon_0 R_{AB}}.$$

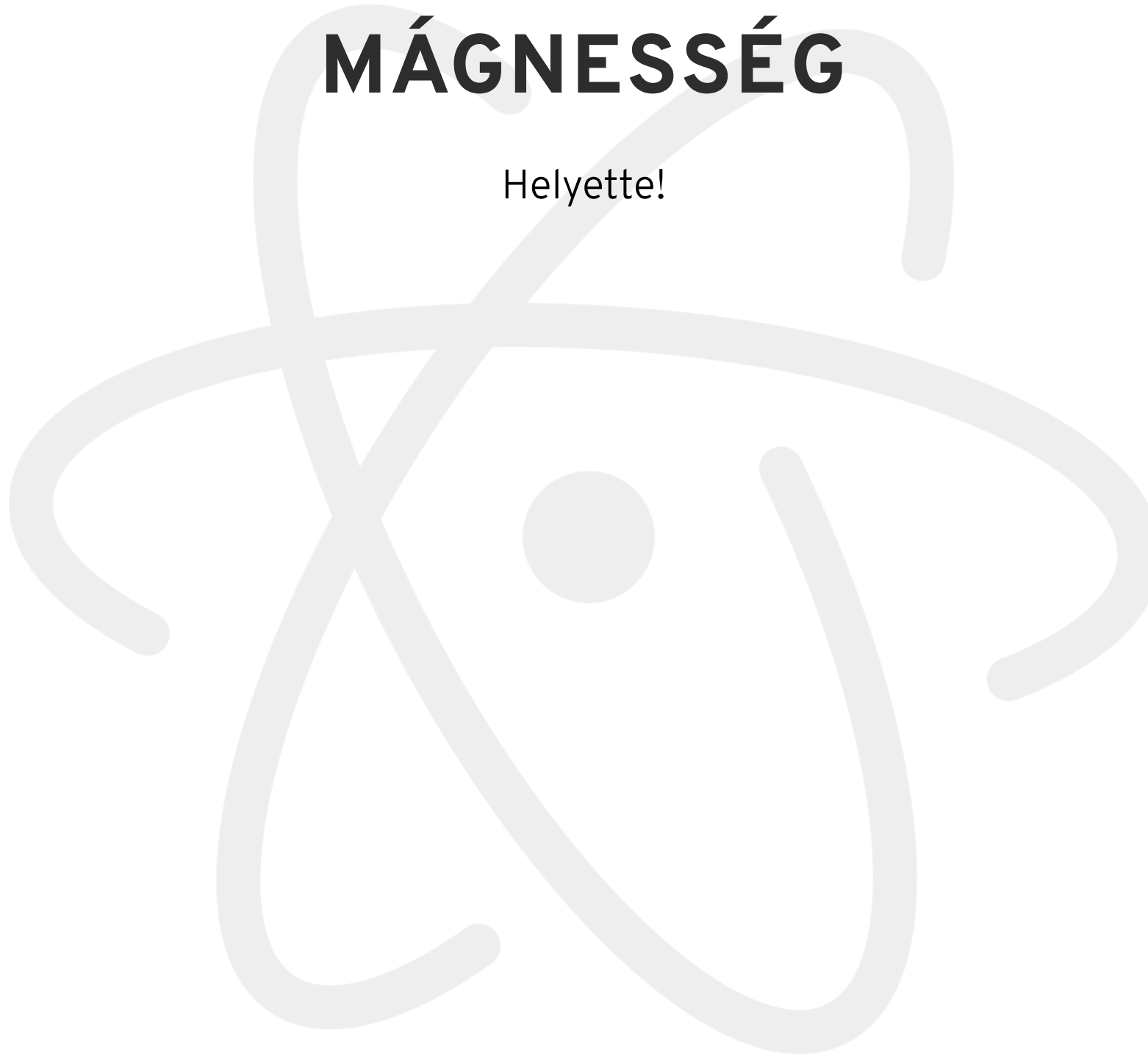
A szerény hélium molekula:

$$\begin{aligned} \hat{H}_{\text{el}} = & - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{1A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{1B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{2A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{2B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{3A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{3B}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{4A}} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{4B}} \\ & + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{13}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{14}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{23}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{24}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{34}} \end{aligned}$$

... de azt képtelenség.

MÁGNESÉG

Helyette!



MÁGNESSÉG

Helyette!

$$\left[-\frac{1}{2} \nabla^2 + v_{\text{ext}}(\mathbf{r}) + v_{\text{H}}(\mathbf{r}) + v_{\text{xc},\sigma}(\mathbf{r}) \right] \phi_{i\sigma}(\mathbf{r}) = \varepsilon_{i\sigma} \phi_{i\sigma}(\mathbf{r}) \quad (\sigma = \uparrow, \downarrow)$$

ahol:

$$v_{\text{H}}(\mathbf{r}) = \int \frac{n(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} d^3 r' \quad v_{\text{xc},\sigma}(\mathbf{r}) = \frac{\delta E_{\text{xc}}[n_{\uparrow}, n_{\downarrow}]}{\delta n_{\sigma}(\mathbf{r})}.$$

MÁRÉG

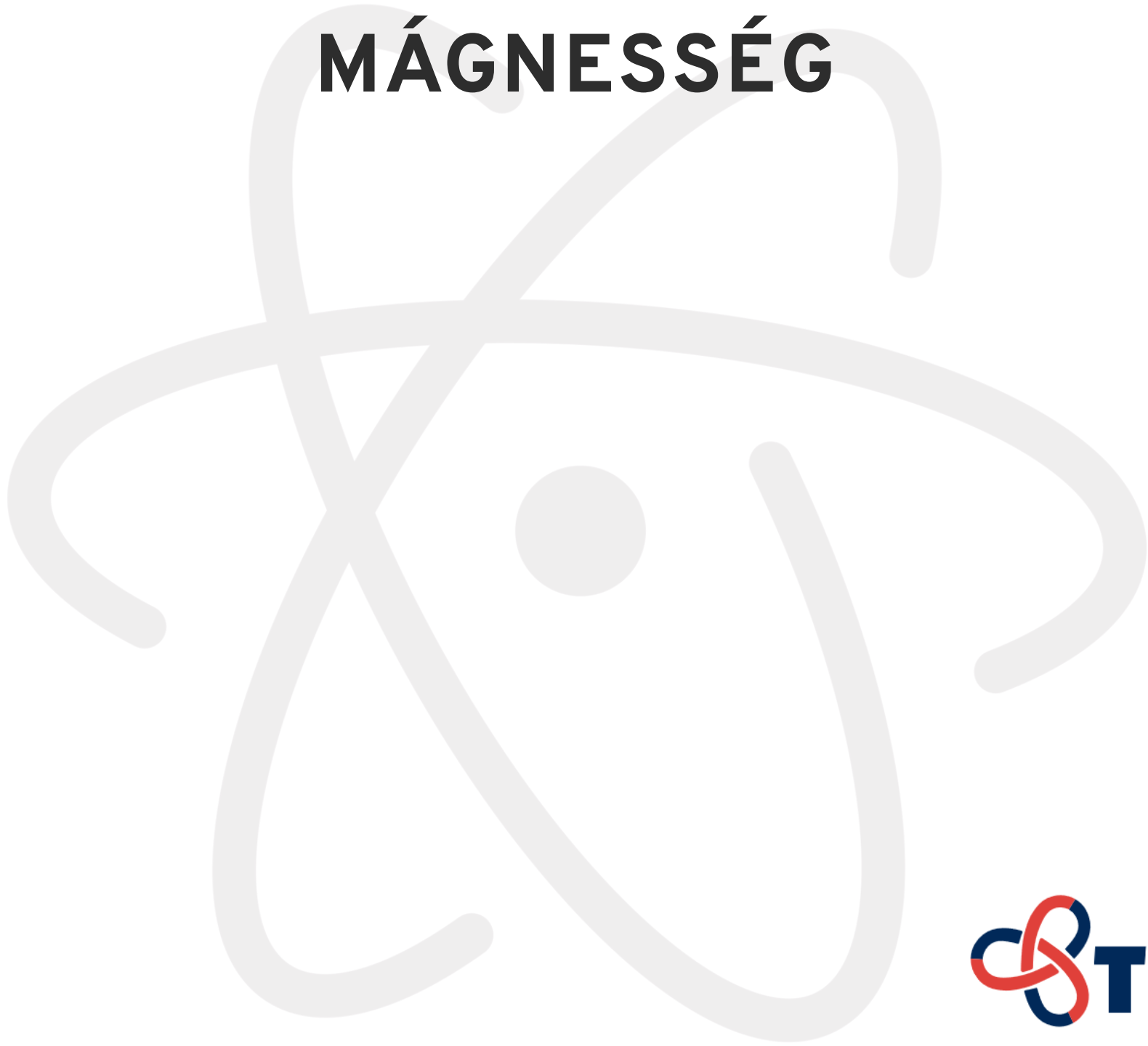
$$\left[-\frac{1}{2} \nabla^2 + v_{\text{ext}}(\mathbf{r}) + v_{\text{H}}(\mathbf{r}) + \right.$$

$$\frac{c[n_{\uparrow}, n_{\downarrow}]}{v_{\sigma}(\mathbf{r})}.$$



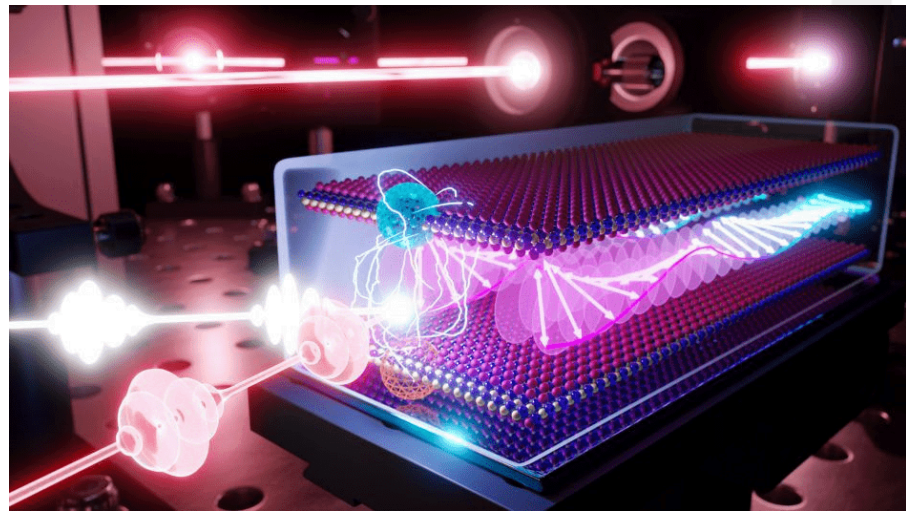
MÁGNESÉG

És ami kimaradt:



MÁGNESSÉG

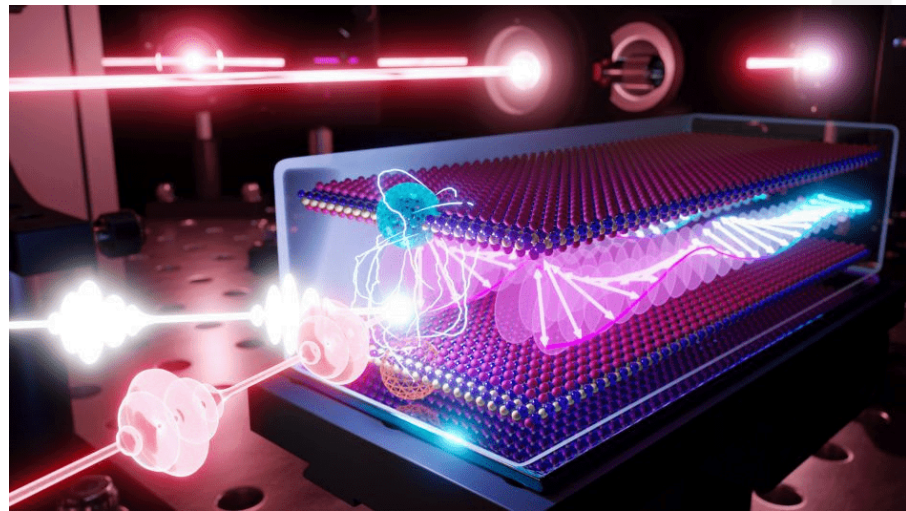
És ami kimaradt:



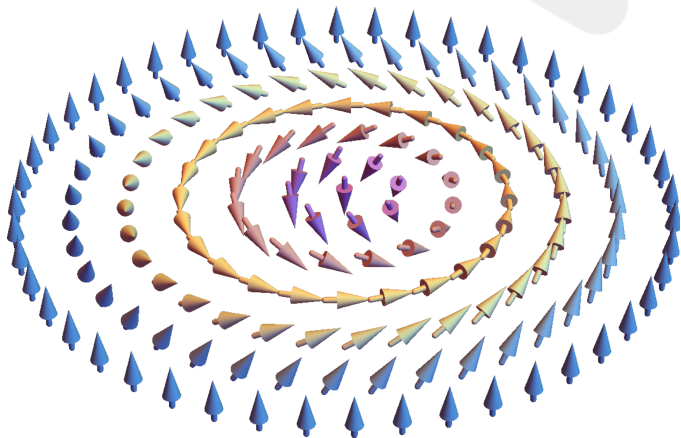
2D mágnesség

MÁGNESSÉG

És ami kimaradt:



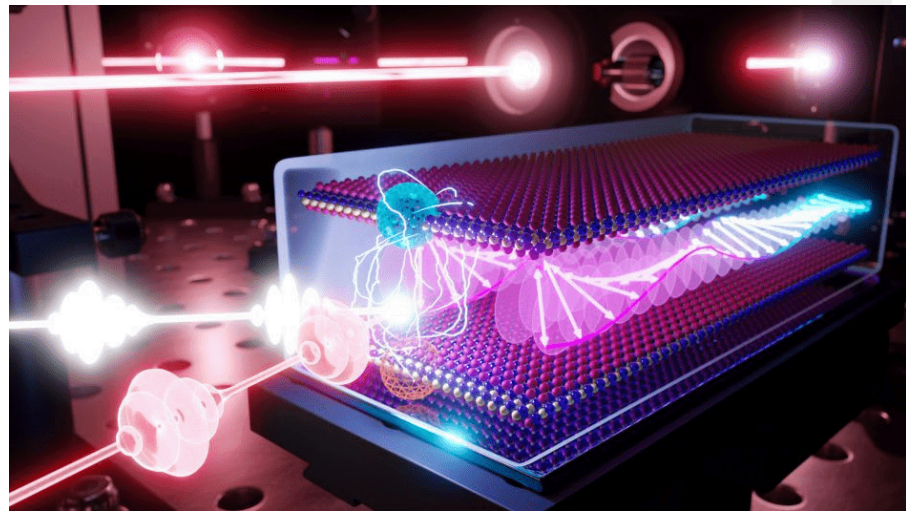
2D mágnesség



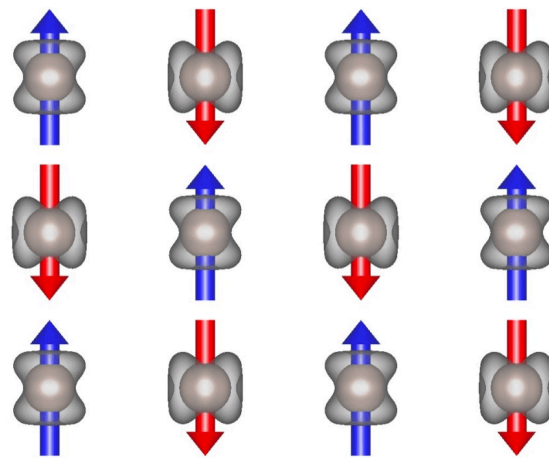
Skyrmionok

MÁGNESSÉG

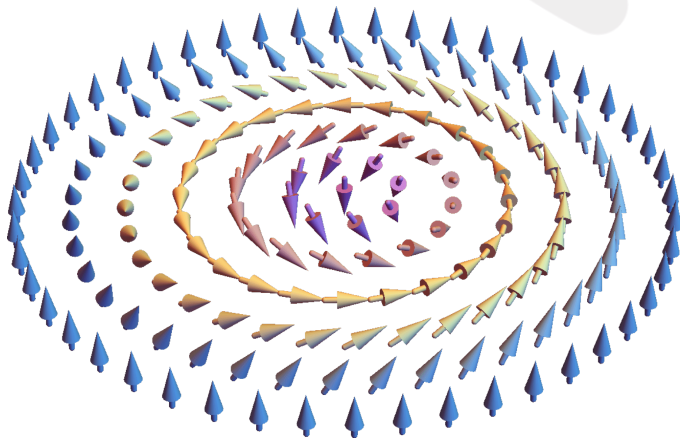
És ami kimaradt:



2D mágnesség



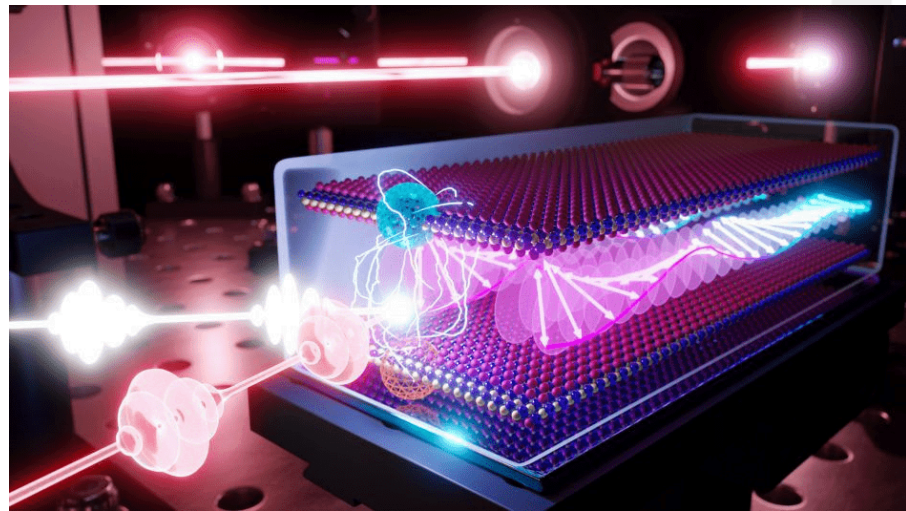
Altermágnesek



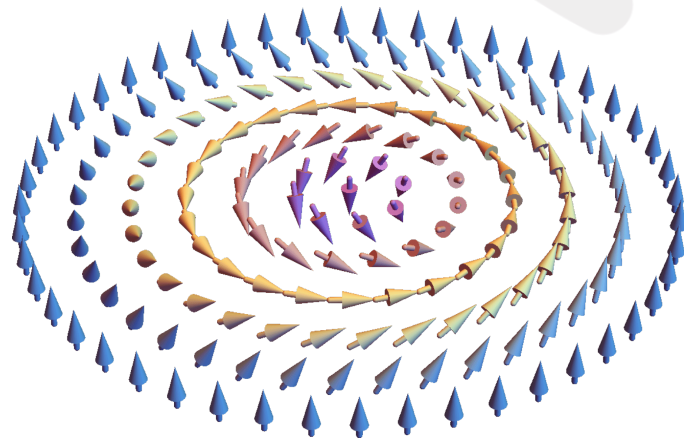
Skyrmionok

MÁGNESSÉG

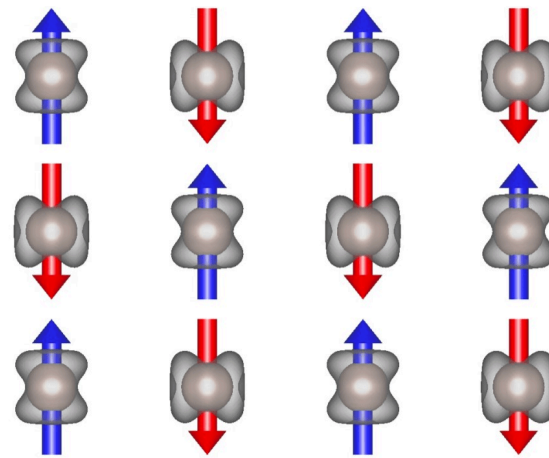
És ami kimaradt:



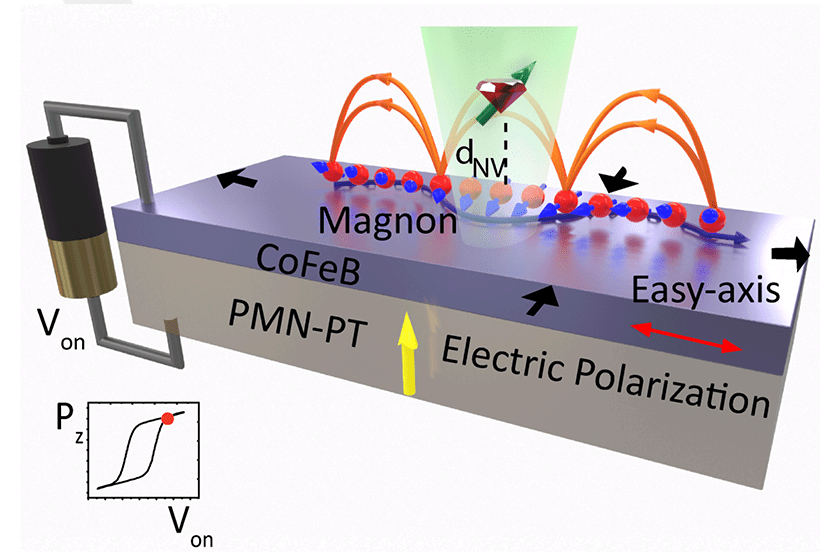
2D mágnesség



Skyrmionok



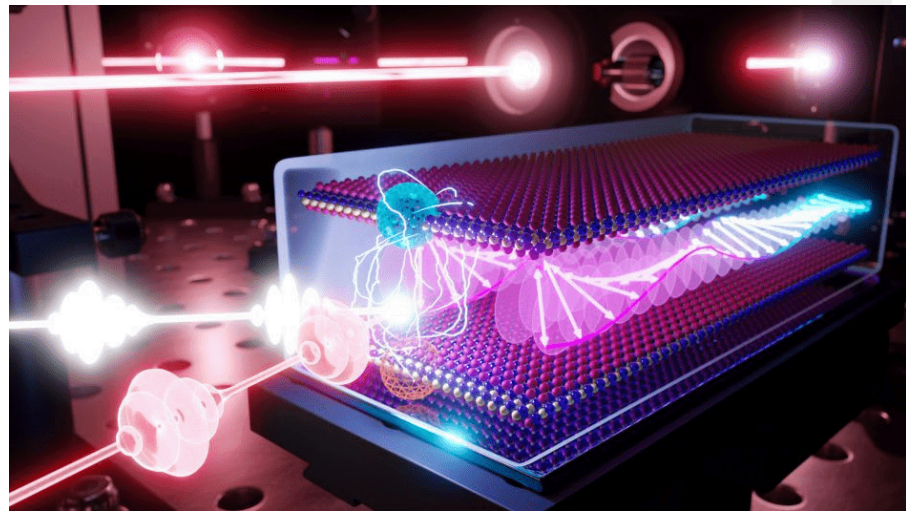
Altermágnesek



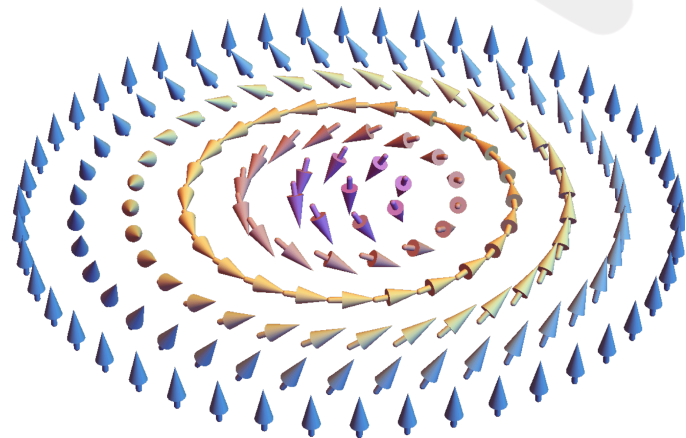
Magnonok

MÁGNESSÉG

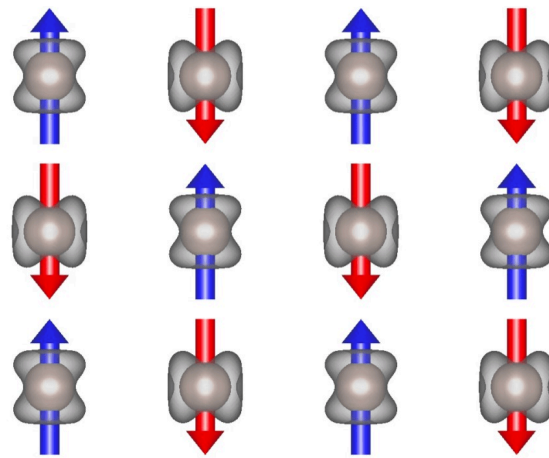
És ami kimaradt:



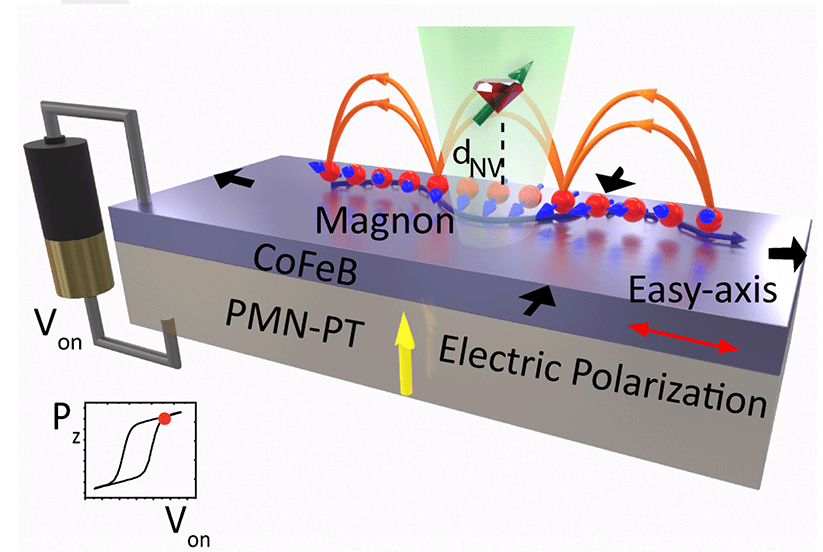
2D mágnesség



Skyrmionok



Altermágnesek

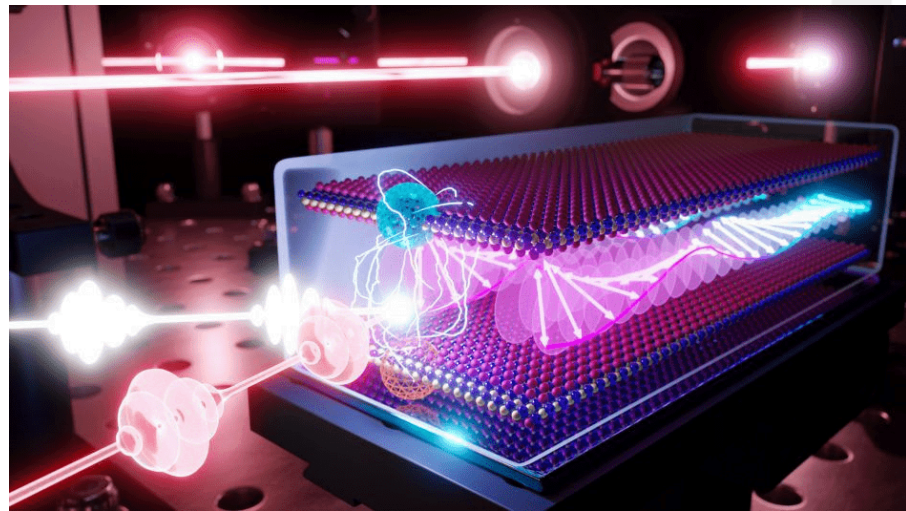


Magnonok

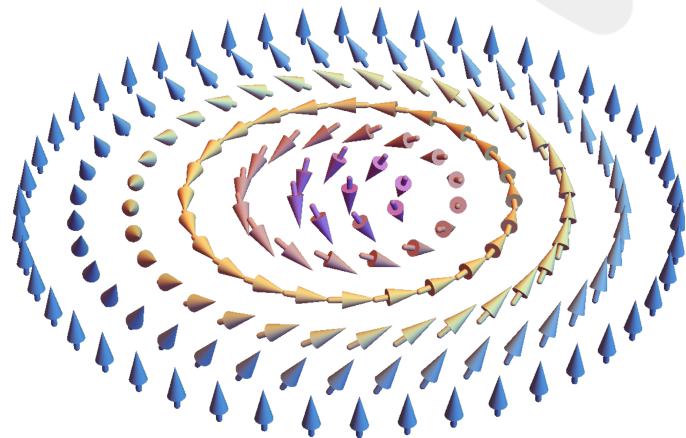
És sok-sok minden más!
Talán majd legközelebb.

MÁGNESSÉG

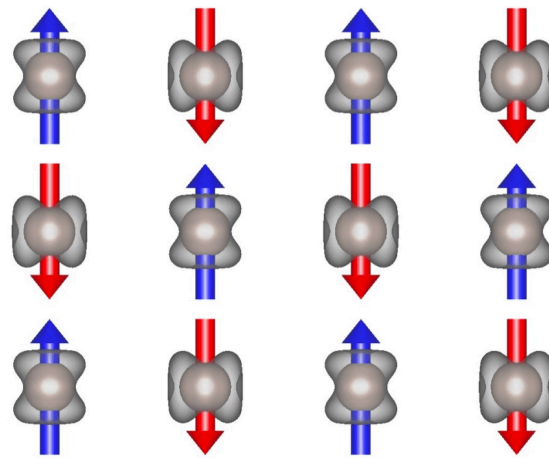
És ami kimaradt:



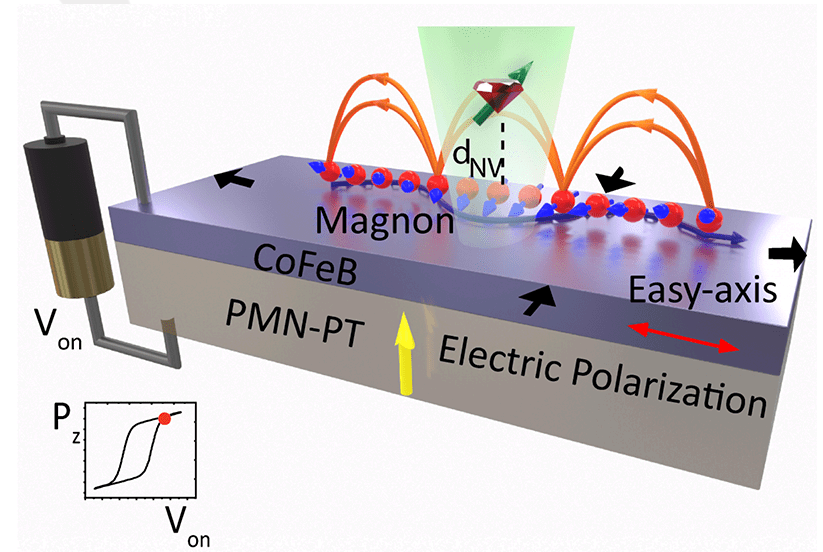
2D mágnesség



Skyrmionok



Altermágnesek



Magnonok

És sok-sok minden más!
Talán majd legközelebb.

Köszönöm a figyelmet!