

A sötétanyag és az axionok

Pásztor Attila

Bergische Universität Wuppertal

2018. június 30.

Hogyan működnek a tudományos felfedezések?

- (1) A kísérletiek találnak egy jelenséget, amit eddig senki sem várt
pl.: radioaktivitás
- (2) Az eddigi ismereteink alapján az elméletiek megjósolnak egy jelenséget, amit eddig senki sem látott
pl.: gravitációs hullámok
- (3) Időben kb. egybeesik az elméleti magyarázat és a kísérleti felfedezés
pl.: mikrohullámú háttérsugárzás

Hogyan működnek a tudományos felfedezések?

- (1) A kísérletiek találnak egy jelenséget, amit senki sem várt
pl.: radioaktivitás, **sötét anyag (biztos van, de nem tudjuk mi)**
- (2) Az eddigi ismereteink alapján az elméletek megjósolnak egy jelenséget, amit senki sem látott
pl.: gravitációs hullámok, axion? (jelenleg csak spekuláció)
- (3) Időben kb. egybeesik az elméleti magyarázat és a kísérleti felfedezés
pl.: mikrohullámú háttérsugárzás

Spirális galaxisok

A tejút a földről



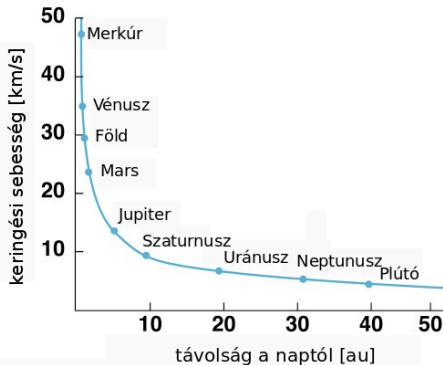
M101 (Hubble űrtávcső)



Galaxisok forgása

Vera Rubin (1975)

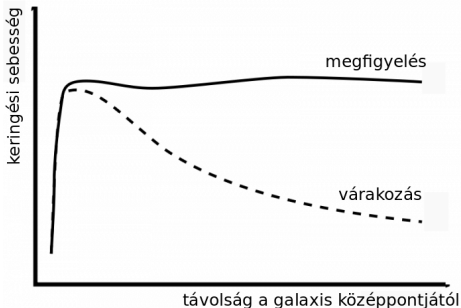
Azt mérte meg, hogy milyen gyorsan keringenek a csillagok galaxisok középpontja körül. A várakozás az volt, hogy a távolabbi csillagok lassabban keringenek, akárcsak a naprendszerben a távolabbi bolygók.



Galaxisok forgása

Vera Rubin (1975)

Azt találta, hogy a középponttól távoli csillagok jóval gyorsabban keringenek a galaxis középpontja körül a vártnál. Nem csökken a sebességük a távolsággal, hanem kb. állandó marad.



Galaxisok forgása

Vera Rubin (1975)

Azt találta galaxisok középpontjától távoli csillagok jóval gyorsabban keringenek a galaxis középpontja körül a vártnál. Nem csökken a sebességük a távolsággal, hanem kb. állandó marad.

Két lehetséges magyarázat:

- (1) A gravitáció nem úgy működik, ahogy gondoljuk
- (2) Sötét anyag

Mindkettőre volt már példa a fizikában:

- (1) Uránusz pályája → Neptunusz
- (2) Merkúr pályája → általános relativitáselmélet



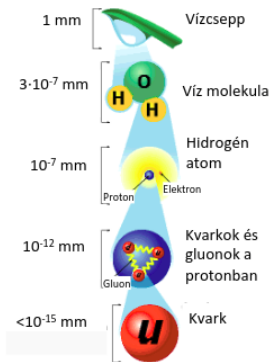
A galaxisok forgása csak a legrégebbi és legegyszerűbb példa, azóta sok más megfigyelés is alátámasztja, hogy:

- (1) vagy a gravitáció nem úgy működik, ahogy gondoljuk
- (2) vagy van az univerzumban sok sötét anyag
- (3) vagy mindkettő

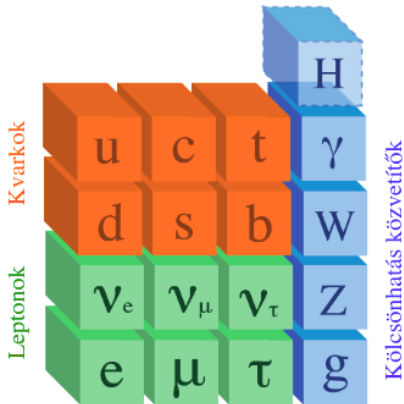
Ez most az egyik legfontosabb megoldatlan probléma a fizikában.

A részecskefizika Standard Modellje

Az anyag felépítése



Elemi részecskék



A részecskefizikában nagyon fontosak a szimmetriák.

szimmetria $\approx$ transzformáció, melyre a természet törvényei érzéketlenek

- kvantumtérelméletben ha tudjuk a szimmetriákat $\rightarrow$ tudjuk a kölcsönhatásokat

Ez a szimmetriákon alapuló módszer nagyon sikeres. Pl.:

- az elektron energiája mágneses térben egy kicsit megváltozik
 $g_e = 2.00231930436182 \pm 0.00000000000052$
- A SM jósolta meg a Z bozont, W bozont és a Higgs bozont is.
Amikor megszületett az elmélet még senki sem látta egyiket sem.

De vannak benne furcsaságok.

Tértükrözés



Az elemi részecskék saját perdülete a mozgás irányához képest lehet bal- illetve jobbkezes. A tértükrözés a kettőt felcseréli.

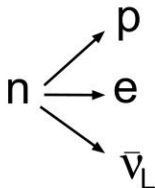
Left



Right

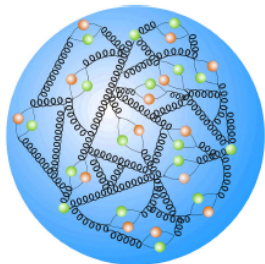


A β -bomlás sérti a tértükrözés szimmetriát: nincs jobbkezes neutrino



Az erős CP probléma

Kísérlet:



- a neutron töltéseloszlása szimmetrikus
- nincs elektromos dipólmomentuma
- tértükrözésre invariáns

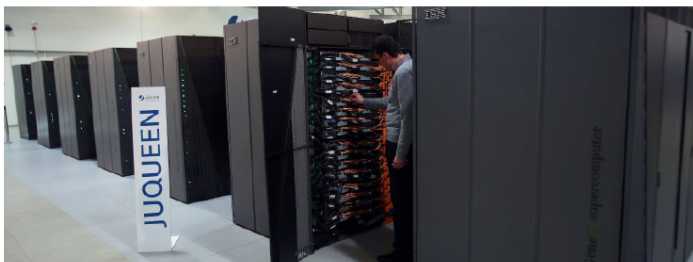
Erős CP probléma

- Ha a természetnek nem szimmetriája a tértükrözés, akkor az erős kölcsönhatásnak miért az?
- Ha az elmélet tartalmaz egy tértükrözést sértő ún. θQ kölcsönhatást az miért ilyen gyenge $\theta < 10^{-10}$?

Az axion

- Egy lehetséges megoldás, a θ a helyett, hogy egy paraméter, legyen egy mező (Peccei, Quinn '77)
- Ehhez a mezőhöz tartozó részecske az axion
- Megmutatható, hogy ekkor a θ mező a nulla körül fog ingadozni, és az átlagos értéke 0, ezzel megoldva az erős CP problémát
- Ha szerencsénk van, akkor az axion lehet a sötét anyag is
- Ha feltételezzük, hogy az axion a sötét anyag, akkor a tömegét ki tudjuk számolni számítógépes szimulációkkal

Rácstérelméleti szimulációk



- JUQUEEN szuperszámítógép (Forschungszentrum Juelich)
- kb. fél millió processzormag

Az axion tömege

- Ehhez arra van szükség, hogy rácsszimulációkkal kiszámoljuk különböző hőmérsékleteken a tértükrözés sértő Q értékeket
- Ennek ismeretében le tudjuk követni, hogy ahogy a korai univerzum tágult, hogyan változott az axion tömege, illetve hogyan változott a θ értéke
- Feltéve, hogy az axion adja az összes sötét anyagot, meg lehet mondani, hogy az axion tömege: $m_A \approx 28\mu eV$
- Ez azért fontos, mert a kísérletek csak kis tartományban tudják észrevenni az axiont, ezért tudniuk kell, hogy hol keressék



Letter | Published: 02 November 2016

Calculation of the axion mass based on high-temperature lattice quantum chromodynamics

S. Borsanyi, Z. Fodor, J. Guenther, K.-H. Kampert, S. D. Katz, T. Kawanai, T. G. Kovacs, S. W. Mages, A. Pasztor, F. Pittler, J. Redondo, A. Ringwald & K. K. Szabo

Az axionok sűrűsége

Köszönöm a figyelmet!



Egy jegyet kérnék a Tejútig, csak oda.