

# Gravitonok nyugalmi tömege

Gravitációs-hullám asztrofizika

Előadás, ELTE-TTK

Maksa Zsolt; Budapest, 2010. 05. 07.

# Áttekintés

- Fontos elvi kérdésekre kaphatnánk választ, ha sikerülne kísérletileg megállapítani, hogy mekkora sebességgel terjednek a gravitációs hullámok...
- Jó lehetőség lenne egy gamma kitörés szimultán megfigyelése EM- és grav-hullámok szerint...
- Lehetőség nyílik egyéb gravitációval foglalkozó elméletek, ill. az áltrel. egy új módszerrel történő tesztelésére...

# A polarizációról...

- A grav-hullámok transzverzális, kvadrupolmomentum tulajdonsága az áltrel. „tenzoros jellegéből” következik, mely megfelel a gravitonok spin-kettes polarizációjának. E mellett pedig még az az állítás, hogy 0 nyugalmi tömegűek.
- Sérülhetnek-e ezek a tulajdonságok, pl. nem 0 nyug. tömeg és / vagy spin 0 -komponens (skalármező) megjelenése?
- Több, különböző irányítottságú detektor mérései és a forrás irányának meghatározása \* = polarizáció mérése.

# A tömegük mérése

- 1) ha sikerülne észlelni egy kitörésszerű jelet produkáló eseményt EM-eszközökkel,
- 2) és a vöröseltolódásából megtudnánk a forrás távolságát,
- 3) továbbá a grav-hullám detektorokkal is észlelni lehetne a kitörés szerű jelet,



mind a 3 pont teljesülése esetén, a kapott időkülönbségből egyértelműen adódna a jel sebessége \*\*\*

# A tömegük mérése (folytatás)

- A gravitációs hullám terjedési sebességének, és energiájának ismeretében becslés adható a gravitonok nyugalmi tömegére.
- A nem nulla graviton-nyugalmitömeg érdekes „jelenségeket” okozhat:
  - Yukava-potenciál: gyakorlatilag megszűnik a grav. -kcs. a graviton Compton-hullámhosszánál nagyobb távolságok esetén ( $\lambda_g = h / m_g c$ ).
  - Ha ez a Compton-hullámhossz a látható Univerzum méretével összemérhető, az ebből származó graviton-tömeg magyarázat lehetne a „sötét energiára” is.
  - A gravitációs hullámoknak lenne egy extra szabadsági fokuk, vagyis frekvenciafüggő terjedési sebességük lenne. → Tesztelési lehetőség

# Az áltrel. lesz-e a gravitáció végső elmélete?

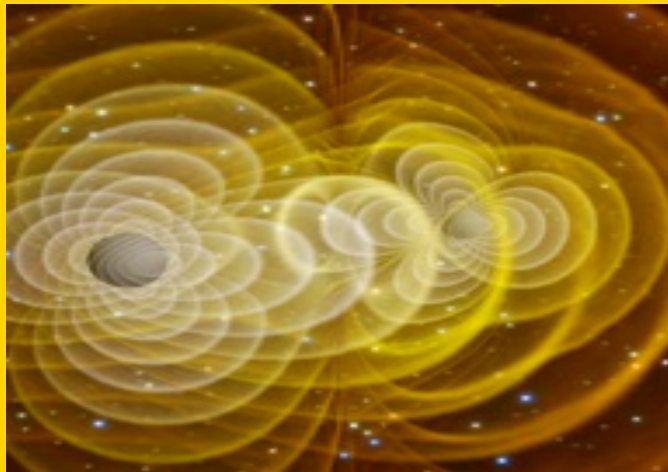
- Más, alternatív, ill. kiterjesztő jellegű gravitáció-elméletek is léteznek.
- Ezek megpróbálják egyesíteni a fizikai kölcsönhatásokat. Pl. húr elmélet, vagy hurok-kvantumgravitáció,
- vagy a sötét anyag /sötét energia –problémát szeretnék megoldani, az áltrel nagy méretskálákon történő módosításával.

# Az áltrel. lesz-e a gravitáció végső elmélete?

- Az eddigi mérési tapasztalatok, megegyeznek az Einstein-féle elmélet jóslataival
- A grav-hullámok új lehetőséget nyitnak az elmélet(ek) tesztelésére
- Bespiráló kettősök jele a lassú mozgások fázisában, tökéletes pontossággal leírható a jelenlegi elmélet szerint, főként a grav-hullám jel fázisváltozása, ami nagyon pontosan számolható... [Arun et al, 2006]

# Érvényes marad-e az áltrel. extrém körülmények között?

- Összeolvadó feketelyukak esetében a „chirp-jel” hullámformája ismeretes az elmélet alapján, (egy bizonyos határig)



- Mérési eredményekkel összehasonlítva a számolt hullámformát, nagy tömegek esetének tesztelése lesz lehetséges.



# Elméletek a gravitonok „kimutathatóságáról”

- Nagy tömegű égitestek → kis rezgésszám (10Hz – 10kHz) → energiakvantumként észlelni kizárt,
- Egy másik lehetőség: a Bose-Einstein statisztika alapján bizonyítani a kvantáltságot: u. abból a forrásból érkező gravitonok korreláltak (fotonok esetén Hanburry-Brown és Twiss fedezték fel).

Lehet-e ezt a kimutatásra használni?

# Elméletek a gravitonok „kimutathatóságáról”

- Sajnos nem, a grav-hullám detektorok ugyanis, csak a teljesen koherens állapotokra érzékenyek.
- Ez pedig olyan szuperpozíciója a graviton-egyrészecske állapotoknak, amely sajátfüggvénye az abszorpciós operátornak, vagyis egy kondenzátum állapotot ír le.  
Ami nagyon hasonlít egy klasszikus hullámhoz.
- Teljesen korrelált esetben nincs a H-B T -effektus sem.

# Elméletek a gravitonok „kimutathatóságáról”

- Az EM -sugárzásnak létezik olyan, ún. „préselt” állapota, amely csak akkor valósul meg, ha az EM -tér kvantált.
- A "préselt" állapotot az jelenti, hogy a kvantumzaj nem egyenletesen oszlik el a hullám mentén, hanem össze van "préselve" a hullám valamely tartományára.
- A kvantumfluktuációk összepréselése elvileg kizárt az olyan rendszereknél, amelyek nem kvantumosak.
- Fontos körülmény, hogy a „préselt” állapot teljesen koherens.

# Elméletek a gravitonok „kimutathatóságáról”

- Erős gravitáció esetén, az Einstein-egyenletek nem-lineáris jellegéből következően, gravitációs hullámokat nemcsak a  $T$  energiainpulzus tenzorral leírt anyag bocsájthat ki, hanem maga az erősen meggörbült tér is, ott is, ahol egyáltalán nincs anyag, azaz  $T=0$ .
- Pl. két feketelyuk összeolvadásakor
- A nem-linearitás révén keletkezett gravitációs hullámokról megmutatható, hogy ha kvantáltak, akkor préselt állapotban keletkeznek.

# Összefoglalva

- Úgy tűnik, hogy a grav-hullámok kvantáltságát azzal lesz legegyszerűbb bizonyítani, hogy megfigyeljük a hullámok fázisa és a kvantumfluktuációk közötti korrelációt.
- Ez egyelőre beláthatatlanul nehéz feladat.
- A gravitonok létezésének bizonyítéka eldöntheti az egyesítési elméletek közötti vitákat.
- A gravitonok nyugalmi tömegét meghatározva magyarázatunk lehet a „sötét energia” problémára, esetleg a gravitáció nagy skálás tulajdonságának módosítására.

# Hivatkozások

- [157] H. van Dam and M. Veltman, “Massive and Massless Yang-Mills and Gravitational Fields,” Nucl. Phys. B 22, 397-411 (1970).
- [158] V. I. Zakharov, “Linearized Gravitation Theory and the Graviton Mass,” JETP Lett. 12, 312-314. [ZhETF Pis. Rad. 12, 447-449 (1970).]
- Kvantáltak-e a gravitációs hullámok? (Lovas István)
- Probing Gravity and Cosmology with Ground-based Gravitational Wave Detectors By S.E. Whitcomb,<sup>1</sup> S. Rowan,<sup>2</sup> B.S. Sathyaprakash,<sup>3</sup> and K.S. Thorne<sup>4</sup>
- [Arun et al, 2006] K.G. Arun, et al. Phys.Rev.D74:024006, 20

# Vége

- Kérdések helye....
- Köszönöm a figyelmet!