

Téridő modellek és a Gravitáció

Szondy György
2000. december 2.
2.7 változat

“Az energia és az anyag csupán a tér görbületének különböző fajtái.”
William Kingdon Clifford (1845-1879)

Bevezető

Az Einstein féle általános relativitás elmélet nagy hatással volt a XX. századi fizikára. Erre alapoz a részecskefizika, a modern kozmológia és a mai fizika sok más ága. Manapság is az új elméletek ellenőrzésének egyik módszere, hogy összevetik az Einstein féle modell eredményeivel. Teszik ezt annak ellenére, hogy Brans és Dicke [7] már 1961-ben rámutatott, hogy a mérési eredmények csupán a gyenge ekvivalencia elvét támasztják alá, vagyis nem zárják ki azt az esetet, hogy a részecskék nyugalmi tömege a téridő különböző pontjain eltérő legyen. Sőt ha a gravitációs tömegdefektusra, vagy a gravitációs vörös-eltolódásra gondolunk, éppen ez az eset nyer megerősítést.

Márpedig az Einsteini egyenlet és a laboratóriumi vagy akár kozmológiai méréseink is többek között éppen a részecskék tömegének és méretének állandóságát feltételezi.

Miért van szükség egy új elméletre?

Az egyik közismert probléma a fekete lyuk, mely a szingularitásával önmagában is eléggé furcsa, sőt ellentmondásos [5] ahhoz, hogy felvessük ezt a kérdést. Gondoljunk csak a Hawking-sugárzásra [3, 4], mely ellentétben áll a fekete lyukról alkotott eredeti elképzelésekkel és szokásos jellemzésével. Sokan foglalkoznak azzal, mi is van a mögött a bizonyos esemény horizont mögött ahonnan még a fény és így információ sem juthat ki, pedig még abban sem lehetünk biztosak, hogy létezik egyáltalán esemény horizont. A fizikusok régóta keresik az egyesített elmélet, a GUT felé vivő utat, de azt már nagyjából mindenki belátja, hogy az Einstein-féle relativitás elv jelen formájában nem vezet oda.

Miért nem váltotta fel még az Einstein-féle Relativitás elvet egy jobb modell?

Sajnos pillanatnyilag nincs olyan elmélet, ami egyértelműen átvehetné a szerepét.

Az Általános Relativitás Elmélet önmagában egy csodálatos, matematikailag szinte teljesen ellentmondásmentes elmélet. A mai méréseink pontosságával aligha van lehetőségünk arra, hogy helyességéről, vagy helytelenségéről egyértelműen megbizonyosodjunk. Ráadásul, köszönhetően a fizikus társadalom több mint nyolc évtizedes kitartó munkájának, az elmélet szinte az utolsó szögig ki van dolgozva. Sőt, a tudós társadalom arra is képes volt, hogy újabb elméletekkel kiegészítve, körülbástyázva olyan kérdésekre is választ csikarjon ki ebből az elmélet-rendszerből, melyre az Einstein féle általános relativitáselmélet önmagában már nem adna.

Ahhoz, hogy egy újabb elmélet kidolgozottsága hasonló nagyságrendbe kerüljön, elég sok fizikusnak kell egymással karöltve nekilátnia. Erre pedig csak egy olyan elméletnek van esélye, mely még teljes kidolgozása előtt képes meggyőzni a fizikustársadalmat arról, hogy képes kiváltani az Einsteini elméletet.

Gravitáció változó nyugalmi tömeg esetén

Brans és Dicke már 1961-ben felvetette, hogy a gravitációs kölcsönhatás a téridő különböző pontjain eltérő lehet. Nem hittek az anyagi részecskék nyugalmi tömegének állandóságában, hiszen erre nincs is bizonyíték. Ezt a megkötést az Einsteini elmélet önkényesen, az idő definíciójával vezette be. Brans és Dicke a nyugalmi tömeg helyfüggését egy skaláris mezővel adták meg, amely egy új mozgásegyenlethez vezetett.

$$(d/ds)(\mu_i) - 1/2m g_{jk,i} u^j u^k - m_{,i} = 0$$

ahol

$$m = m_0 F(x)$$

Meg kell jegyezni, hogy ez a függvény különböző részecskék esetén nem feltétlenül azonos.

Brans és Dicke [7] ezt a helyfüggést a gravitációs állandóba kívánta integrálni, és csak egy - gyenge mező esetén

használható - közelítést adtak. Ezzel a közelítéssel számolt bolygópályáknak a mért értékektől való eltérése nagyobb volt, mint az Einsteiné, így az elmélet nem hódíthatta meg a világot.

Majd két évtizeddel később, 1977-ben Bekenstein [8] a részecske mozgásegyenletébe a tömeg helyfüggését skaláris függvény helyett egy dimenzió nélküli "tömeg tenzorral" írta le.

Sajnos ezen megközelítések minden esetben új ismeretlent vezettek be; a függvények meghatározására analitikus módszer nem áll rendelkezésre, tapasztalati meghatározásuk pedig a szükséges pontossággal még manapság sem lehetséges.

Kvantum oszcillátor

Mi itt arra vállalkozunk, hogy elfogadva Brans és Dicke kétségeit, egy elméleti részecske-modell felállításával és vizsgálatával közelebb lépünk az általuk keresett skaláris függvény analitikus meghatározásához.

Az Einstein egyenlet Schwarzschild féle megoldása egyike volt az elsőnek. A megoldás eredménye egy statikus, gömbszimmetrikus fekete lyuk, melyet mi is vizsgálódásunk alapjának fogunk tekinteni.

Mivel ezen írás lényege éppen egy az Einstein féle gravitációelmélettől eltérő alternatíva leírása, ezt a megoldást sem alkalmazzuk kritika nélkül. Az esemény horizont-közeli, és az azon túli területekkel kapcsolatban már nem tartjuk mérvadónak azt.

A Schwarzschild féle feketelyuk jellegzetessége, többek között a középponttól R_S távolságra lévő eseményhorizont, melyen belülről már a fény sem képes kiszabadulni.

A lyuk másik tulajdonsága, hogy a középponttól $3/2 R_S$ távolságra a fény elhajlása már akkora, hogy éppen körpályára kényszerül [1]. A fentebb említett pálya labilis, hiszen bármilyen kis pozitív hiba hatására a foton "elszabadul", míg negatív hiba esetén feltartóztatlanul a középpontba zuhan. (Megjegyezzük, hogy ezen a távolságon a megoldást még jellegében elfogadjuk, míg kvantitatív eredményeit csak nagyságrendileg tételezzük fel helyesnek.)

Abban az esetben azonban, ha a fekete lyuk (BH) elég kicsi és a körülötte keringő elektromágneses hullám (L) által képviselt energia, illetve tömeg összemérhető a fekete lyuk saját tömegével, akkor a fénynek valahol a $3/2R_{S(BH)}$ és a $3/2R_{S(BH+L)}$ közötti tartományban kell keringenie. (Itt $R_{S(BH)}$ a fekete lyuk Schwarzschild sugara fény nélkül, míg $R_{S(BH+L)}$ a fény tömegével együtt számítva.) Minél nagyobb ez a sáv, annál stabilabb a képződményünk. [6] Természetesen a gömbszimmetria megőrzése érdekében itt nem egy, hanem 3, esetleg több, de véges számú szférikus hullámban kell gondolkodnunk. Határesetben $R_{S(BH)}=0$, ekkor a teljes tömeget a fény adja.

Minél nagyobb a hullám energiája vagyis a frekvenciája, annál nagyobb lesz az $R_{S(BH)}$ értéke, vagyis az oszcillátor mérete. Ezzel együtt csökken a hullámhossz.

Ahhoz, hogy etalonnak használhassuk ezt az elméleti oszcillátort, egy gömb felületen stabil állóhullámot kell létrehozunk. Ez persze csak olyan esetben áll fenn, ha a gömb kerülete a hullámhossz egész számú többszöröse. Euklideszi térre szuperponálva diszkrét megoldásokat találunk: minden N egész számhoz egy bizonyos frekvencia tartozik.

A fent leírt képződmény egy teoretikus, de ideális kvantum-oszcillátor, mely alkalmas lehet az ilyen jellegű oszcillátorok lehetséges viselkedésének vizsgálatára.

A kvantum-oszcillátor tulajdonságai

Érdekes kérdés, mi történik akkor, ha a kvantum-oszcillátort hordozó tér nem sík? Az állóhullámokból alkotott fekete-lyukunkat áthelyezve egy állandó görbületű térbe az egyensúlyi állapot megszűnik. A saját tömeg okozta és a hordozó tér együttes görbülete nagyobb a szükségesnél, vagyis az egyensúlyhoz kisebb energia, így kisebb frekvencia vagyis nagyobb hullámhossz tartozik. Így az N számhoz tartozó stabil részecskének mind a tömege, mind pedig a saját frekvenciája kisebb lesz.

Fekete-lyuk referenciánk tehát pozitív görbületű térben elhangolódik: mérete nő, míg frekvenciája és tömege ezzel fordított arányban csökken.

Elméleti oszcillátorok összehasonlítása

Vegyünk két oszcillátort, melyek közül az A jelű sík, míg a B jelű görbült térre szuperponálódik. Tartozzon

mindkettőhöz azonos N hullámszám.

Tételezzünk fel, hogy a B részecske a saját frekvenciájával megegyező jelet küld az A fele. Az A részecske a tapasztalni fogja, hogy a fényjel, ami az N hullámszámú részecske frekvenciájával indult, megérkezve alacsonyabb frekvenciájú: vagyis vörös-eltolódást szenvedett.

Valós oszcillátorok viselkedése

A fentebb leírt oszcillátor létezése elméletileg az Einsteini modellben is lehetséges és az Einstein egyenlet megoldásaként meg is kapható, bár mint fentebb említettük, nem stabil.

Lehetséges-e, hogy az anyag is hasonló tulajdonságokkal bír? Hogy mindazt, amit vörös-eltolódásnak hittünk, csupán a részecske oszcillátoraink a tér skaláris görbülete miatti elhangolódása?

A jelen tanulmány éppen erre a lehetőségre kívánja felhívni a figyelmet.

Minderről -, vagyis, hogy a tér skaláris görbülete zérus, vagy ténylegesen összefüggésben áll a gravitációs potenciállal, - mérések segítségével elméletileg megbizonyosodhatnánk: a LISA nevű, műholdakból álló, mérőrendszer [9] még egy műholddal kiegészítve alkalmas eszköz lenne erre a feladatra. Természetesen hasznos lenne más gravitációs potenciálon végzett kontroll mérések elvégzése is, ami a közeljövőben még kevésbé várható.

Másik lehetőség annak a felvetésnek az ellenőrzése, hogy a különböző részecskék tömegének potenciálfüggése eltérő lehet. Így az elektron-proton tömegarány esetleges változása megerősítené ezt a feltételezést.

Összefoglalás

Eme tanulmány egy olyan a relativisztikus gravitációs elmélet leírása, amelyben a részecskék nyugalmi tömege helyfüggő. Az elmélet elődökön túlmutató erényének tudható be, hogy a nyugalmi tömeg helyfüggését megadó skaláris függvény származtatására konkrét javaslatot tesz: A jelen elmélet a fent leírt kvantum-oszcillátor segítségével a gravitációs potenciált létrehozó skaláris mezőt a tér skaláris görbületével hozza összefüggésbe.

Mivel azonban ez a kvantum-oszcillátor modell első lépésben az Einstein-egyenlet Schwarzschild-féle megoldására épül, melyet viszont kis távolság esetén már nem fogad el jó közelítésnek, az elmélettől jelen formája nem várhatunk a jelenleginél pontosabb számszerű eredményeket.

Amit viszont várhatunk tőle, az az eddigi idő, távolság és sebességméréseink felülvizsgálata és ártértékelése. Az eddigi méréseinkhez használt etalonok ugyanis változó nyugalmi tömeg esetén nem tekinthetők egymással kompatibilisnek. Szükséges tehát kidolgozni a referenciák összehasonlításának rendszerét, és alkalmazni mérések kiértékelése esetén. Nem tudhatjuk biztosan pl. Hubble vörös-eltolódás mennyiben tükrözi az univerzumunk tényleges dinamikáját, és mennyiben referenciáink folyamatos elhangolódását.

Mindezek után hangsúlyozzuk: a tanulmány célja mindössze az általános relativitás-elmélettel és a gravitációval kapcsolatban az elmúlt évtizedek során felmerült kétségek és a GUT megalkotását hátráltató problémák okait bemutatni, valamint a gravitáció interpretációjának egy olyan érdekes, alternatív modelljét megismertetni, amely megfelelő kidolgozottság mellett esetleg közelebb visz az Einstein-féle elmélet szerepét egyszer majd átvevő egyesített elmélet megalkotásához.

Irodalom

- [1] Landau-Lifsic: Elméleti Fizika II
- [2] Stefan Waner: "Introduction to Differential Geometry and General Relativity"
http://www.hofstra.edu/~matscw/diff_geom/tc.html
- [3] Hawking: Az Idő rövid története
- [4] Hawking-Penrose: A Tér és az Idő természete
- [5] György Szondy: About Black Holes: can we reach the Horizon
http://www.geocities.com/gyorgy_szondy/evhoriz.html
- [6] Szondy György: Elektromos töltésű anyagi részecskék - mágneses fekete lyukak (Fizikai Szemle 2000/1)

[7] Brans-Dicke: Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation
Physical Review 124.925 (1961)

[8] Bekenstein: Are particle rest masses variable? Theory and constraints from solar system experiments
Physical Review D 15.1485 (1977)

[9] Perjés Zoltán: Gravitációs hullámok (előadás 2000.10.11 ELTE)