

Húrevolúció

A hűreلمélet evolúciója Einsteintől napjainkig

OTDK – dolgozat

Széchenyi István Egyetem

Fizika és Kémia Tanszék

Készítette: Domonkos Márk

Konzulens: Barla Ferenc

Tartalomjegyzék:

<i>Bevezetés</i>	3
Einstein öröksége?	7
A tanárok réme	7
Einstein és a relativitás elmélete	9
Einstein és a kvantummechanika	12
A nagy egyesítés	14
Az elektromágneses kölcsönhatás	14
Gravitációs kölcsönhatás	15
Erős kölcsönhatás	15
Gyenge kölcsönhatás	16
Próbálkozás a nagy egyesítésre	17
A Kaluza – Klein – Elmélet	17
A Yang – Mills mezők	19
A Standard modell	20
GUT azaz a Grand Unified Theory	21
A szupergravitáció	22
A húrelmélet	24
Mi az, hogy húrelméletek?	26
Mi a probléma a húrelmélettel?	28

Felhasznált irodalom

Bevezetés

„A tudós nem azért tanulmányozza a természetet, mert az hasznos, azért tanulmányozza, mert örömét leli benne, és azért leli benne örömét, mert csodálatos. Ha a természet nem volna csodálatos, nem lenne érdemes megismerni, és ha a természetet nem lenne érdemes megismerni, élni sem lenne érdemes.” - Henri Poincaré

Az ókori ember befejezte napi feladatait és este kiült a csillagos ég alá, azon elmélkedni vajon mi mozgathatja azokat a fényes pontokat odafent. Vajon mik lehetnek egyáltalán? Érző lények lehetnek? Ők is néznek bennünket? Az ilyen és hasonló gondolkodású emberekből lettek a gondolkodók vagy más néven filozófusok, majd később a fizikusok. Fizikusok, akiknek nem kevesebbet köszönhetünk, mint mindent, ami körbevesz bennünket. Nekik köszönhetjük a mechanikai gépeket, az elektromosságot, a tranzisztort, a számítógépet és még az internetet is. Ők azok az emberek, akik próbálják megismerni a természetet, úgy ahogy az valójában létezik. George Wald Nobel-díjas biológus így vélekedik erről: „Egy fizikus nem más, mint egy próbálkozás az atom részéről, hogy megismerje önmagát.”

Civilizációnk számos nagy tudományos fordulaton esett már át. Sokat nehezen emésztett meg a köztudat, míg másokat ünnepeltek. Általában a legtöbb ilyen forradalom mögött egy olyan ember állt, aki fel mert illetve fel tudott tenni olyan egyszerű kérdéseket, amit egy kisgyermek is fel tudna tenni, és képesek voltak végig gondolni kérdésük következményeit. Vegyük például a közel háromszáz évvel ezelőtt élt Sir Isaac Newtont, aki a Westminster apátság kertjében sétálva meglátott egy almát leesni a fáról. Így hát feltette a nagy kérdést: ha az alma leesik a fáról, akkor vajon a Hold maga is le fog esni? Elképzelte, hogy egy hatalmas hegy tetején ülve elhajít egy almát. Az alma egy idő után leesik. Elképzelte, hogy ha nagyobb sebességgel dobja el az almát, az tovább repül. Végül elképzelte, mi lenne, ha olyan sebességgel dobná el azt az almát, hogy az ne essen le soha. Ekkor jött rá, hogy a Hold is hasonlóképpen, szabadesésben esik a Föld körül. Bár Newton maga sem volt elégedett a saját gravitációs elméletével, ugyanis tudták, hogy az a misztikus valami, ami a tárgyakat mozgásra kényszeríti (vagy megállítja), csak akkor léphet fel két tárgy között, ha azok kölcsön hatnak. Eddig a pontig minden stimmel, azonban az erő akkor ismert formájában csak és kizárólag nyomó lehetett. Ezzel szemben a gravitáció pedig húzó erőnek

számított. Mikor erről magát Newtont kérdezték, csak annyit felelt, hogy nem tudom, mért van ez, de hipotéziseket nem alkotok.

Az emberi természet nem képes megelégedni a határokkal, minduntalan át akarja lépni azokat, így Newton magyarázata pár embernek nem volt elegendő és később ez vezetett a speciális és általános relativitáselmélethez. Vegyünk példát erre a tulajdonságunkra is. Az ókori görögök azon gondolkodtak, hogy vajon ha egy tárgyat ketté osztok, utána ismét ketté osztom, és ezt a folyamatot ismétlem, vajon el érhetek egy olyan határt, amikor már azt a tárgyat nem tudom tovább osztani. A válaszuk az volt, hogy természetesen kell lennie valamilyen alsó limitnek valami egészen parányi résznek, amit már nem tudok tovább osztani. El is nevezték ezt a részt oszthatatlannak, vagy ahogy a köznyelv ma is ismeri: atomnak. Ne feledjük el, hogy ekkoriban még nem léteztek sem mikroszkópok, se hasonló eszközök, amivel az ehhez hasonló dolgokat le tudták volna ellenőrizni, vagy képet alkothattak volna róluk. Tehát véleményem szerint ez az emberi elme hatalmas teljesítményének már ilyen korai bizonyítékát képezi. Később természetesen, ahogy az lenni szokott felmerült bizonyos emberekben, hogy mi van, ha az oszthatatlan nem is annyira oszthatatlan, mint amennyire azt addig hittek. Már az 1800-as években felmerült, hogy minden atom hidrogén atomokból épül fel, ezt a hipotézist nevezzük Prout-hipotézisnek. Ezt az akkor ismert relatív atomtömegekre alapozva vetette fel William Prout. Ezt a feltevést később megcáfolták a mérések pontosításakor. Mondhatni azonban, hogy ez a gondolkodásmód vezetett később a negatív elektromos töltésű elektron felfedezésére, amit először 1897-ben mutatott ki Joseph John Thomson. Ezt követte a pozitív töltésű proton felfedezése, amit 1917-ben Ernest Rutherford azon bizonyításával ért el, hogy a hidrogén atommag jelen van más elemek atommagjában. Végül pedig 1932-ben James Chadwick felfedezte a semleges neutront is, és azt hihetnénk, hogy a történet e ponton véget is ért. Ez nem igaz, ugyanis beléptünk a kvantummechanika világába és ezzel az úgymond józan észnek ellentmondó tényekkel kellett szembesülnünk. Az elektronnak sohasem tudhatjuk egyidejűleg a pontos helyét és sebességét, mondja a bizonytalansági törvény és még sorolhatnánk. "Akit nem botránkozik meg a kvantumelméleten, az nem is érti."- Niels Bohr véleménye a kvantumelmületről. A kvantumfizika azonban megnyitotta számunkra az utat az atom belsejébe, ahol számos új részecskét fedeztek fel. Igazából annyira sok részecskét fedeztek fel akkortájt, hogy még maga az atombomba egyik alkotója, Enrico Fermi is így vallott erről: „Ha képes lennék emlékezni valamennyi részecske nevére, akkor botanikusnak mentem volna”. Mások úgy

vélekedtek, hogy azokban az években a fizikai Nobel-díjat már valaki olyannak kellene adni, aki abban az évben nem fedeztek fel új részecskét.

A fizika jelenlegi állása szerint úgy tudjuk, hogy az egész világegyetemet négy fő erő irányítja: a gravitációs, a gyenge- és erős magerők és az elektromágneses erő. Ezeket az erőket külön-külön már elég jól ismerjük, azonban ezen erők egyesítésére tett próbálkozások mind a mai napig sikertelennek bizonyultak, vagy nem bizonyíthatónak. Az egyesítéssel még maga Albert Einstein is megpróbálkozott élete utolsó évtizedeiben. Halálakor az újságok tele voltak képekkel a dolgozósobájáról és harsogták, hogy korunk legnagyobb elméje elment még mielőtt befejezhette volna fő művét. Azóta a fizikusok több próbálkozást is tettek a Mindenség Elméletének (TOE – Theory of Everything) megalkotására. Ez már csak azért is nehéz dió, mert ezen erők nagysága nagyon nagy skálán mozog. Vegyük például a gravitációs erőt. Ahogy Newton óta tudjuk a gravitációs erő „húz” a Föld felé, ezért is nem repülünk ki a világűrbe. Én azonban az izmaim erejével könnyedén el tudok emelkedni a Földtől, még ha csak kis ideig is. Továbbá, ha szeretném, mondjuk a kulcscsomómat felemelni a talajról azt is könnyen megtehetem akár egy nem túl erős mágnessel is. Ebből láthatjuk, hogy a gravitációs erő sokkal kisebb, mint az elektromágneses erő. Ezen erők egyesítésén már sok elmélet elvérzett, mint a Kaluza – Klein elmélet, a Grand Unification Theory (GUT) vagy más néven a Nagy Egyesítés Elmélete, a Szupergravitáció elmélete és még sok más elmélet. Jelenleg az egyik legesélyesebb elméletnek a Húrelmélet számít, illetve a húrelmélet egyik tovább fejlesztet változata, az M-elmélet. Természetesen a Húrelmélet ennél sokkal többre is választ adhat. Válaszolhat azokra a kérdésekre, amik az emberiség oldalát fűrik már sok-sok éve. Hogy keletkezett a világegyetem? Miből jött létre? Létezik egy magasztosabb értelem, aki mindezt megteremtette?

A húrelmélet egy próbálkozás a mindenség elméletének megalkotására. Egyfajta lehetséges elv, ami egyesítheti a kvantumfizika és a relativitáselmélet nagyon különböző világát. A kvantumfizika a nagyon kicsi világa, a szubatomi részecskék, és a bizonytalansági elv birodalma, míg a relativitáselmélet a nagyon nagy dolgok világa, a bolygók, csillagok és galaxisok mozgását írja le. A húrelmélet egyik nagy előnye, hogy a kvantummechanika egyik buktatóját, mégpedig a szubatomi részecskék pontszerű részecskékkel való helyettesítését megkerülve különböző dimenziószámú hurokat és membránokat használ fel. Minden részecske megfelel a húr egy adott rezgésállapotának. Ha belegondolunk nagyon lírai a gondolat, ugyanis így a világegyetemünk nem más, mint egy grandiózus szimfónia. Minden, ami körülvesz bennünket pedig egy szólam a szimfóniában. Edward Witten a húrelmélet

egyik úttörője úgy vélekedik az elméletről, mint ami valami magasztosabb elmélet előfutára, ami majd a XXI. század vége fele fog megérni.

Hogy jobban megértsük az elmélet lényegét érdemes egy kevés időt szánunk az előzményekre, illetve a mindenség elmélete cím többi várományosára, azok hiányosságaira.

Einstein öröksége?

„Minden tudományos elméletnek, eltekintve a matematikai formalizmustól, olyan egyszerűnek kell lennie, hogy még egy gyermek is megértse.” - Albert Einstein

Ha bárkit megkérnénk az utcán, hogy mondjon egy általa ismert fizikust, elképesztően nagy eséllyel vágná rá az illető, hogy Albert Einstein. De vajon ki is volt ez a fizikus és mi köze van a húrelmélethez?

Albert Einsteint, a legtöbben a szétborzolt hajú, koros tudósként ismerik, ahogy ikonikus pipáját szívja. Sajnos kevesen tudnának ennél többet mondani a tanárok igazi rémétől, a bohókás, szórakozott professzorról, akinek mindig volt egy helyzethez illő poén a tarsolyában, a géniuszról.

Einstein életét és örökségét azért is érdemes megvizsgálni, mert még mind a mai napig vannak Nobel-díjak az ő profetikus jóslatai és munkássága kapcsán, illetve mert öröksége most éli reneszánszát. 1993-ban két fizikus azoknak a gravitációs hullámoknak a közvetett kimutatásáért kapott Nobel-díjat, amit Einstein 1916-ban már megjósolt. 2001-es fizikai Nobel-díjat pedig nem más, mint az a három fizikus kapta, akik bebizonyították, hogy léteznek Boze-Einstein-kondenzátumok. Természetesen olyan tudományos-fantasztikus regényekbe illő dolgokat, mint a feketelyukak, amik Einstein elméletének akkori mumusainak hittek szintén igazolást nyert, nem beszélve még az Einstein-lencséről az, Einstein-gyűrűről és magáról a kozmológiai állandóról, amit Einstein egyik legnagyobb baklövésének tartott. Lássuk tehát, hogyan lett Einstein a század egyik legjelentősebb tudósa és ikonja.

A tanárok réme

A XX. század kétség kívül legnagyobb fizikusa 1879. március 14-én látta meg a napvilágot egy Ulm nevű kisvárosban. Szülei középosztálybeli, vallásukat nem gyakorló zsidók voltak. Nagyapja gabonakereskedőként tett szert vagyonára. Édesanyja volt az egyetlen Einstein családjában, aki műveltségre tett szert, és ő volt az, aki már fiatalon

megszerettette Einsteinnel a hegedűt, ami egész élete során elkísérte. Édesapja, az ágyneműkkel kereskedő Herman Einstein koránt sem volt olyan sikeres, mint apósa. Fivérével beszálltak az elektrokémiai iparba, ami akkor tűnt fellángolni. Azonban ez az ipar eléggé ingatag volt, ami a családot többször is csődbe juttatta és így gyakran kényszerültek költözésre.

A tévhittel ellentétben az ifjú Albert jó tanuló volt azokban a tárgyakban, amik érdekelték, a matematikában és a természettudományokban. Az akkori oktatásrendszer, ami főleg a megoldáson alapult azonban megnehezítette az ifjú géniusz dolgát, aki inkább akadozva és alaposan megválogatva szavait felelt a feltett kérdésekre. Mikor édesapja megkérdezte az osztályfőnökét, a fia lehetséges pályaválasztásáról csak annyit felelt, hogy: „Nem számít. Soha nem lesz sikeres semmiben.”

Már fiatalon is érdekelte a tudomány. Korán megismerkedett a mágnesességgel, amit „élete első csodájának” tartott. Tizenegy évesen elmerült vallása gyakorlásában, ami szinte már a fanatizmus határait súrolta, azonban amilyen gyorsan elkezdődött, olyan gyorsan lett vége ennek a korszaknak is. Amikor jobban elmélyült vallásában, észrevette ugyanis, hogy a vallási dogmák és tanok a tudománnyal nem összeegyeztethetőek. Ekkor lépett fel életében először a tekintélyelvűséggel szemben, ami később a személyisége részévé vált. 1889-től egy szegény lengyel orvos Max Talmud heti egyszer Einsteinéknél kosztolt és tanította a kis Albertet. Talmud így emlékszik erre: „Az évek során egyszer sem láttam, hogy könnyű olvasmányt vett volna a kezébe. Egyszer sem láttam vele egykorú iskolatársai vagy más fiúk társaságába. Egyetlen szórakozása a zene volt, már akkoriban is Mozart és Beethoven szonátáit játszotta, anyja kíséretével.”

A családnak ismét költöznie kellett. Ami odavezetett, hogy Einstein végül Svájcban kötött ki, ahol 5 évig hontalannak számított, majd megkapta az állampolgárságot. Az új környezet hatására Einstein megváltozott és nem volt tovább az a visszahúzódkodó ifjú, hanem társasági és mondhatni bohém életet élt.

16 éves korában tört rá egy felfedezés, ami később az egész fizikát megrengette. „... ha egy fénysugár mellett haladnék c sebességgel, akkor azt látnám, hogy a fénysugár [...] nyugalmi állapotban [van].” Ezt azonban sem a tapasztalat sem a Maxwell egyenletek nem teszik lehetségessé. Tehát a fizika akkori két pillére közül az egyik megingott.

Később felvételizett a Politechnikumba, ahova először nem vették fel, mert megbukott francia nyelvből. Azonban az igazgató megígérte Einsteinnek, hogy a következő évben, tekintettel a matematika, fizika és kémia eredményeire, felvételt nyer a szigorú felvételi nélkül is. Tanulmányai során leginkább a Maxwell egyenletekkel és a fény természetével foglalkozott. Tanárai azonban itt sem kedvelték, az ifjancot, aki gyakran kihagyott órákat, hogy inkább önállóan tanuljon. Sikerült annyira megutáltatnia magát az intézményben, hogy az akkori fizikaprofesszora Heinrich Weber is, aki megígérte neki, hogy a diploma megszerzése után tanársegédi álláshoz juttatja, megvonta tőle támogatását.

A diploma megszerzése után Einsteintől elpártolt a szerencse. Nem kapott állást tanársegédként, így többnyire alkalmi munkákból kereste kenyerét, egészen addig, amíg magyar származású barátja, Grossmann Marcell, elintézte neki egy állást a Berni Szabadalmi Hivatalban. Innen indult útjára az a tudományos felfedezés, ami megváltoztatta az egész világról alkotott képünket.

Einstein és a relativitás elmélete

Einstein előtt a fizikusok rengeteget foglalkoztak az elektromágnesességgel és a fény természetével. Ekkor már a majdnem két évszázada ismert Newton törvényekben úgy tűnt valami hiba van. Természetesen a hiba észrevétele és a korrekció között nem sok idő telt el, sőt mindkettőt maga Albert Einstein fedezte fel. A korrekció pedig nem volt más, mint a speciális relativitás-elmélet. A probléma Newton második axiómájánál található, ami azt mondja ki, hogy ahhoz hogy egy m tömegű testet a gyorsulásra tudjunk gyorsítani, ahhoz F erőre van szükségünk. Az axióma azonban a tömeget állandónak veszi, itt vehetjük észre a hibát.

$$\vec{F} = \frac{d(\vec{v} \cdot m)}{dt}$$

Ide beírva a korrekciót megkapjuk a helyes összefüggést.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

A relativitás elvét először Newton mondta ki azonban később a Maxwell-egyenletek látszólag nem követték, ugyanis Maxwell szerint a fény minden vonatkoztatási rendszerben ugyanolyan sebességgel halad. Einstein a Szabadalmi hivatalban szabadidejében, ezen gondolkozva maga elé képzelt egy képet. Tegyük fel ismét, hogy versenyt futunk a fénysugárral, most azonban van egy megfigyelőnk is. Newton szerint, ha elég gyorsan futunk, bármit utolérhetünk, tehát a megfigyelő azt fogja látni, hogy utolérjük a fénysugarat. Mikor azonban ezt elmondja nekünk, mi bolondnak fogjuk tartani, hisz a saját szemünkkel láttuk, nem hogy utolérnénk, de egy kicsit se közelítettük meg. Einstein egyszer hazafele menet, felszállt egy villamosra, amikor meglátta a város jelképét, a híres óratornyot. Elképzelte mi történne, ha a villamos fénysebességgel haladna. Az ő szemszögéből az óra megállna, mert a fény nem tudná utolérni őt, azonban a saját órája a megszokott ütemben ketyegne tovább. Ekkor jött rá, hogy az idő nem egyformán telik annak, aki áll és annak, aki mozog. Ebből a következtetésből láthatjuk, hogy az előző példánkban a futó számára az idő lelassul. Az ebből írt dolgozat, ami „A mozgó testek elektrodinamikájáról” címet viselte csupán 31 kézírásos oldal volt, de megváltoztatta az egész fizika akkori nézeteit. (Ez és még 2 munkája Einsteinnek az Annalen der Physik 17. kötetében jelent meg, ami mind más területtel foglalkozik, és ma remekműveknek tartják. Egy 1994-es aukción ez a kötet 15 ezer dollárért kelt el.) Ezután 1905 végén egy rövid tanulmányt írt, amiben bebizonyította, hogy a sebesség miatt minden torzul, amit mérőruddal vagy órával mérünk, illetve, hogy az energia és a test tömege egymásba alakulhat. Továbbá bebizonyította, hogy a tárgyak tömege a sebességük függvénye is. Innen kapjuk meg minden idők legünnepeltebb egyenletét, a híres $E=mc^2$ –et.

Einstein azonban nem volt elégedett a speciális relativitás elméletével. Elméletén ugyanis tátongott két hatalmas lyuk. Az első, hogy csak az egyenes vonalú, egyenletes mozgások esetére terjedt ki, ami hihetetlenül ritka a természetben. A másik, hogy semmit sem mond a gravitációról. Einstein tehát nekilátott, hogy egy újabb, nagyratörőbb elméletet dolgozzon ki, az általános relativitás elméletét. Max Planck, amikor Einstein beszámolt neki terveiről csak ennyit mondott: „Mint régi barátja, azt kell tanácsolnom, ne vágjon bele ebbe a tervébe, elsősorban azért, mert nem fog sikerrel járni, másodsorban pedig azért, mert ha sikerrel jár is, senki nem fog hinni önnek. Ha azonban mégis, akkor ön lesz a következő

Kopernikusz.” Einstein először az ekvivalencia-elvét fedezte fel, ami azt mondja ki, hogy a gravitációs tömeg és a tehetetlenségi tömeg azonos. Tehát ha egy liftben állunk és elszakad a lift kötele, mivel a lift és mi magunk is azonos sebességgel fogunk zuhanni, ezért a jelenséget úgy fogjuk észlelni, mintha súlytalanok lennénk. Ebből a tényből levezethető még a gravitációs fényelhajlás is, aminek bizonyítása, nem egy álmatlan éjszakát okozott az akkori csillagászoknak és magának Einsteinnak is. Hosszú gondolkodást követően rájött, hogy az egész terünkkel és időnkkel kapcsolatos nézeteinket át kell fogalmaznunk. Ehhez a felismeréshez az Ehrenfest-paradoxon segítette hozzá (a paradoxonra jó példa a Földünk két átmérőjének, észak-déli és kelet-nyugati, különbözősége), hogy egy teljesen új geometriát kell venni, ami nem más, mint a Riemann – Bolyai féle görbült terek geometriája. Szemléltetésképen képzeljük el, hogy egy asztal keretre ráhúzunk egy nyúlékony anyagot feszesen, majd egy nehéz golyót rakunk a közepébe. A golyó le fog süppedni az anyaggal. Ezután gurítsunk el a golyó közelében egy kisebb golyót. A kisebb golyó nem fog egyenesen haladni, hanem letér az egyenes pályáról. (Nagyon jó szemléltetés még Richard Feynman leckéiben a görbült tereken, gömbön stb. mozgó bogarak. 1912-re ki is dolgozta az elméletet a Ricci-görbületből kiindulva, azonban mivel azt hitte, hogy az ellent mond a Mach-elvnek ki is dobta, és Grossmannal egy kevésbé nagyratörő elmélettel (csak forgásokkal) foglalkoztak. 1915 novemberében visszatért a Ricci-görbülethez és észrevette, hol követte el a hibát. A kész elméletet letesztelte a Merkúr perihélium-eltolódásán. Ezt előtte 43,5 ívmásodpercnek mérték 100 évente. Einstein eredménye pedig 42,9 ívmásodperc lett, ami bőven a hibahatáron belül volt és le volt nyűgözve. Ez ugyanis egy bizonyíték volt elmélete helyességére.

Érdeemes még utólag az iker-paradoxont, mint érdekességet megemlíteni. A paradoxon lényege, hogy két teljesen egy időben született iker közül az egyik egy rakétára ül és a Föld körül kering nagy sebességgel, majd visszatér a Földre. Vajon melyik iker az idősebb ilyenkor? Aki nem értette meg teljesen a relativitás-elméletet mondhatná, hogy mindkettő öregebb a szimmetriák miatt, ez azonban nem igaz. A fiatalabb testvér az lesz, akinek gyorsulást kellett elszenvedje.

Természetesen amint befejezte az általános relativitás elméletét, egyből egy sokkal nagyobb cél lebegett a szeme előtt. Az egyesített térelmélet. Ezzel csupán az a gond volt, hogy míg Einstein mindent a geometriára szeretett volna visszavezetni, amit ő a márványhoz hasonlított, addig a szubatomi részecskék világában minden kiszámíthatatlan volt, ezt a fa göcsörtös szerkezetéhez hasonlította. Einstein tehát azt szerette volna bizonyítani, hogy a fa is valójában márvány. Azonban nem állt előtte semmilyen kép, mint az eddigi elméletek során. Sőt annyira megelőzte a korát, hogy ekkor még nem volt ismert sem a gyenge- sem az erős magerők. Einstein maga a kvantumelméletről 1912-ben így nyilatkozott: „Minél sikeresebb lesz a kvantumelmélet, számomra az egész annál nagyobb hülyeségnek tűnik.”

A Boze-Einstein kondenzátumokról készült munkája alapján egy 1909-es előadásában bizonyította, hogy a fény kettős természetű, ami akkoriban eretnekségnek számított. Ennek kapcsán pedig de Broglie herceg 1923-ban bizonyította az anyag hullám természetét. 1925 telén pedig Erwin Schrödinger megalkotta a kvantummechanika legünnepeltebb egyenletét, a Schrödinger-féle hullámegyenletet. Tehát Einstein keresztapaként állt az új kvantummechanika mellett. A kvantumelmélet sikeressége ellenére a fizikusoknak szembe kellett nézniük a nehéz kérdéssel: ha az anyag hullám, akkor mi hullámszik? A megoldást 1926-ban Max Born vetette fel, amikor azt mondta, hogy a hullámegyenlet nem az elektront, hanem annak helyének valószínűségét írja le. Ez azt is jelentette, hogy az elektron helyét nem tudjuk pontosan megmérni, ami pedig a határozatlansági elvvel lett megoldva. Einstein elárulva érezte magát azzal, hogy a fizikába bevezették a valószínűséget. A fizikusok lassan két táborba széledtek, egyik élén Einsteinnel a másik élén pedig Niels Bohrral. A döntő ütközetre a hatodik Solvay-konferencián került sor.

Bohr bár megingott Einstein szünet nélküli szapulása súlya alatt, ám végül mindig helyt állt. Utolsó csapásként Einstein kitalált egy gondolatkísérletet, amellyel elpusztíthatta volna a „démont”. Vegyünk egy dobozt, amiből egy fotont lövünk ki. A kilövés pillanatát pontosan meg tudjuk határozni és mivel az anyag és energia egymásba alakítható a dobozban maradt energia megmérhető. Tehát a határozatlansági-elv hamis. Bohr egész este próbálta cáfolni Einstein igazát, majd egy átdolgozott éjszaka után Einstein saját fegyverével, a relativitás-elmélettel győzte le. Később Erwin Schrödinger is próbálkozott egy gondolatkísérlettel ezt hívjuk ma Schrödinger macskájának. A paradoxon megoldásához

Einstein csak annyit fűzött hozzá, hogy: „Vajon a Hold azért létezik, mert egy egér figyel?”.

Később Einstein ugyan kidolgozott még egy kísérletet tanítványaival ami EPR-kísérletnek neveznek, azonban ez sem cáfolta az elméletet, sőt inkább megmutatta micsoda furcsa világba tévedtünk bele mi halandók.

A Nagy Egyesítés

Mint már említettük, a világot jelen ismereteink szerint négy fő erő irányítja. Ezek a gravitációs erő, az elektromágneses erő, gyenge magerő és az erős magerő. Ezek közül a két utóbbit a múlt században fedeztek fel. Az elektromágneses erőt a Maxwell egyenletek írják le, amelyek a 19. században kerültek felírásra. A sok évszázadon keresztül ismert gravitációs erőt a 20. század elején módosították. Jelenleg a négy erő közül hármat sikerült egy elméletbe rendezni, ami annyira pontosan írja le a kísérleti eredményeket, hogy azt nem kisebb névvel illették a fizikusok, mint maga a Standard modell. A gravitáció azonban sajnos sehogy sem illeszthető bele ebbe a modellbe, sőt amint azt látni fogjuk szinte az összes eddig felállított modellel valami gubanc volt.

Most vegyük kicsit tüzetesebben szemügyre ezeket az erőket.

Az elektromágneses kölcsönhatás

Már az ókori görögök is ismerték az általuk elektronnak (borostyánkő) nevezett kő érdekes tulajdonságát, miszerint ha megdörzsöljük ezt a követ, akkor szikrát pattinthatunk ki belőle. Egészen a 18. – 19. századig azonban mondhatni szinte semmit sem tudtak ezekről a jelenségekről, legtöbbnyire, mint látványosságot mutogatták. A 19. század végére azonban mondhatni minden lepel lekerült a jelenségről. Az elektromágneses erőnek köszönhetjük a világítást, az elektromos gépeket, és a számítógépet. Ezen felül maga a fény is egy elektromágneses hullám. A Standard modellben az elektromágnesességet a QED vagy Quantum electrodynamics azaz a kvantum elektrodinamika írja le. Ez kísérletileg tízmilliomod rész pontosságra igazolt, ami az egyik legpontosabb elmélet ma.

Ez és a gravitációs erő hat két töltött részecskére például egy proton és egy elektron között. Az elektromágneses erő azonban jócskán nagyon (kb. 10^{40} - szerese) a gravitációs erőnél ezért a gravitációs erőt el szokták hanyagolni az ilyen számításokba. Tulajdonképpen ez az erő képes kötött vagy szórás állapotot is létrehozni.

Gravitációs kölcsönhatás

Már a 17. században Newton felismerte a testek között ható erő, illetve annak törvényszerűségeit, amit matematikai formulába is öntött. Később, mint már taglaltuk Einstein volt az, aki lényegesen finomított az elméleten az általános relativitáselmélettel. A kölcsönhatások közül ez a leggyengébb. A kölcsönhatásban az egész test vesz részt, minden részecske, tehát ez mondhatni egy univerzális kölcsönhatás. Az új elméletek szerint ezt a kölcsönhatást is egy részecske, az úgynevezett graviton közvetíti.

Erős kölcsönhatás

A gravitáció és az elektromágnesesség megismerése után a fizikusok azt hitték, hogy végre mindent megismertünk. Kiderült, hogy tévedtek, ugyanis 1930 körül felfedezték, hogy az atommagot nem tarthatja össze sem a gravitáció sem az elektromágneses erő.

Ez az erő nagyon erős innen is kapta a nevét (az elektromágneses kölcsönhatástól gyakran százszor, de néha akár még ezerszer is erősebb). A kölcsönhatás fontos tulajdonsága, hogy nagyon kis távolságon érvényesül (csupán kb. 10^{-15} m távolságig utána elhanyagolhatóan kicsivé válik). Ez is létrehozhat kötött állapotot ilyenek például az atommagok.

Továbbá a Standard modellben egyes részecskék, mint például a pozitív proton, kvarkokból állnak. A kvarkok nagy változatosságban ismeretesek, három színben és hat ízben. Természetesen ezeknek a tulajdonságuknak semmi közük az ízhez és színhez. Továbbá minden kvarknak megvan az antikvark párja. Tehát összesen $3 \times 6 \times 2$ azaz 36 kvarkot ismerünk. A kvarkokat pedig aprócska energia csomagok, úgynevezett gluonok tartják össze, amit a Yang-Mills mezők írnak le. A Standard modell ezzel foglalkozó része a QCD, Quantum Chromodynamics azaz kvantum színdinamika.

Gyenge kölcsönhatás

A gyenge erő az úgynevezett leptonok az elektron a tau-mezon, müon és az ezekhez tartozó neutrínók tulajdonságait meghatározó részecskék kölcsönhatását határozza meg. Ezeket szintén a Yang-Mills mezők írják le. A gyenge magerő is kvantumok cseréjével jön létre, ami esetünkben a W- és Z- bozon.

Ez a kölcsönhatás az erős és az elektromágneses kölcsönhatáshoz képest sokkal gyengébb, innen a gyenge jelző, bár a gravitációtól így is jócskán erősebb kölcsönhatásnak minősül. A hatótávolsága kisebb, mint az erős kölcsönhatásé (még az atommagok méretét sem éri el). A világunkban nincs semmi (se kicsi, se nagy) olyan, amit a gyenge kölcsönhatás tartana össze, ezért csak a bomlási vagy szórási folyamatok megfigyelésekor tudjuk tanulmányozni.

Próbálkozás a nagy egyesítésre

„A fizika világának van egy tulajdonsága, ami annyira nyilvánvaló, hogy a legtöbb ember nem is tépelődik rajta: ez pedig az a tény, hogy a tér háromdimenziós.” – Heinz Pagels

Ebben a fejezetben szeretném röviden ismertetni a húrelméletet megelőző elméleteket, illetve azokat az elméleteket, amik hozzájárultak a húrelmélet kialakulásához és természetesen nem hagyhatok ki néhány vetélytársat sem.

A Kaluza – Klein – Elmélet

Az általános relativitáselmélet megalkotása után nem sokkal Einstein egy levelet kapott egy akkor ismeretlen Königsbergi matematikustól, Theodor Kleintől, aki levelében az Ő elméletének kiterjesztését ajánlotta. Einstein sokkolva volt az olvasottaktól, ugyanis Klein azt taglalta, hogy ha az Einstein féle általános relativitáselméletet kiterjesztjük ötdimenzióssá, azaz négy tér és egy idő dimenzióssá, akkor az egyenleteket megfelelő rendezése után, az extra dimenzióban megkaphatjuk a Maxwell – egyenleteket. Ez nagyon érdekes ötletnek számított, ami ahogy maga is bevallotta, Einsteinnek sosem jutott volna eszébe.

$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & M1 \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & M2 \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & M3 \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & M4 \\ M1 & M2 & M3 & M4 & k \end{pmatrix}$$

Az elmélet eredmény tenzora, ahol a g-s tagok a relativitáselmélet tagjai az M-es tagok pedig a Maxwell – egyenletek eredményei, a k csupán egy konstans.

Ha az elméletről akarunk olvasni, az általában a fizikatörténettel foglalkozó könyvekben csak úgy van megemlítve, mint ami csak hirtelen odapottyant volna a semmiből, ha egyáltalán van róla szó. Az elmélet alapötlete azonban egyáltalán nem volt új, mivel abban az időben sokan foglalkoztak a felsőbb dimenziókkal, még ha nem is fizikai vagy matematikai szemszögből. Kitűnő példa erre Salvador Dali festménye a Jesus Hypercube, ami Jézust ábrázolja a kereszten, a kereszt azonban egy hiperkocka (azaz jelen esetben egy négydimenziós kocka háromdimenziós vetülete). Továbbá Picasso híres portréi is hasonlatosak ehhez, hiszen ő maga is úgy festett, ha megnézünk egy képet, hogy az alany mint szemből, mint oldalról látható. Az avantgard művészetén kívül természetesen voltak más vonzatai is ennek az elvnek, ezeket azonban távol esnek tárgyunktól, ezért ezeket itt nem tárgyaljuk.

Azonban hogyan lehetne elképzelni a magasabb dimenziókat? Milyen tulajdonságuk lenne a magasabb dimenziókban élő lényeknek. Sajnos agyunk úgy van programozva, hogy nem érzékelhetjük a felsőbb dimenziókat, illetve nem is tudjuk elképzelni a magasabb dimenziós tárgyakat. Egy matematikus azonban kidolgozott különböző módszereket arra, hogy az emberek képesek legyenek „látni” ezeket a felsőbb dimenziós tárgyakat, például kockákat. Innen kapták a nevüket a híres Hinton – kockák. Az már talán egy kicsivel egyszerűbb elképzelni, hogy milyen tulajdonságokkal bírhatnak az ilyen lények. A szemléltetés kedvéért képzeljünk el egy világot, ami csak kétdimenziós, tehát mondjuk egy „papírlap világot. A papíron élő lények, ha mondjuk rosszat tesznek, akkor ugyanúgy, ahogy a mi világunkban is, börtönbe kerülnek, ami jelentse azt, hogy egy körvonallal körbe kerítjük őket, tehát nem tudnak a kör belsejéből kilépni. Egy háromdimenziós egyén foghatná a gonosztevőt és egyszerűen leszedve a papírról majd áthelyezve egy másik helyre, kiszabadíthatná. A papíron élők között pánik törne ki, mert csak annyit észlelnének, hogy az egyén eltűnt nyom nélkül, majd újból megjelent egy másik helyen. Tehát mondhatni istenként tekintenének ezekre a teremtményekre.

A kor értelmisége két részre szakadt, azokra, akik hittek az új dimenzióban és a kételkedőkre. Erről a korról szóló nagyon jó kritikát Edwin Abbot írta meg a Síkföld című novellában. A történet röviden arról szól, hogy a Síkföldiek, akik háromszögek, kockák, és a ranglétrán legfeljebb elhelyezkedő körök nem hisznek a felsőbb dimenziókban. Köztük is Kocka úr az egyik lehangosabb ellenzője a magasabb dimenzióknak. Kocka úr azonban egyszer egy furcsa jelenséggel találja szembe magát. Egy olyan körrel találkozik, aki képes változtatni a nagyságát. Mikor közelebből megismerkednek, a kör elmondja, hogy ő

valójában egy gömb. Sőt magával viszi Kocka urat egy útra, miután Kocka úr teljesen megváltozik és hinni kezd a magasabb dimenziókban. Természetesen senki sem hisz neki.

A Kaluza–Klein elméletet később Oskar Klein általánosította. Az elmélet további bővítésével ma már tudjuk, hogy megkapjuk a Yang–Mills mezőket, ami pedig a részecskefizikában vesz fontos szerepet. Az elmélet azonban rengeteg kérdést vetett fel, többet, mint amennyit megválaszolt. Ha létezik magasabb dimenzió, akkor az hol van? A válasz erre az volt, hogy valószínűleg az ötödik dimenzió fel van csavarodva egy nagyon apró méretű kör köré. Ennek a körnek kisebbnek kellett lennie az atomnál a klórgázos kísérletek alapján. Ugyanis ha klórgázt juttatunk egy zárt térbe, akkor sehol sem tapasztaljuk, hogy egy atom eltűnt volna, hanem a gáz egyenletesen eloszlik a térben. Sajnos az elméletet mivel nem lehetett ellenőrizni az az 1930-as évekre mondhatni halott volt, a kétkedő tudományos társaság miatt.

A Yang–Mills mezők

A kvantummechanika kezdeti sikerei mindenkit meggyőztek az elmélet helyességéről, azonban a 60-as évekre az elméletből kifogyott a lendület. Ekkor épültek a hatalmas atom ütköztetők, amik az eredmények áradatával segítette a kvantumfizikusok munkáját. Míg Einstein pusztán képzelőerejével dolgozott, addig a kvantummechanikán dolgozó fizikusok fuldokoltak az eredményekben. Természetesen ennek az eredménye az volt, hogy tömkelegével ontották a tudósok magukból a hibás elméleteket. Ez annyira általános volt, hogy akkortájt a tudósok azon viccelődtek, hogy egy elmélet felezési ideje két év.

Visszatekintve ezekre a vakvágányokra és tévedésekre a tudós és a bolha története juthat eszünkbe. A történet arról szól, hogy a tudós betanít egy bolhát, hogy az ugorjon, amikor a tudós csenget. A tudós csenget, a bolha ugrik. Egy mikroszkóp segítségével a tudós kitepi a bolha egyik lábát, majd ismét csenget. A bolha ismételtén ugrik. A tudós ezt addig folytatja, amíg a bolhának nem marad egy lába sem és ekkor megdöbbenve konstatálja, hogy a bolha nem ugrik. A tudós ebből meg is írja a tudományos kísérlettel alátámasztott tanulmányát, miszerint a bolhák a lábukkal hallanak.

A Yang–Mills mezőket C. N. Yang és diákja R. L. Mills vezették be 1954-ben, mint a Maxwell–mező kiterjesztését, ennek azonban több tagja és elektromos töltése is lehet. Az elméletben a gyenge erőnek megfelelő Yang–Mills - kvantum a W-bozon, aminek ± 1 és 0 lehet az elektromos töltése. Az erős kölcsönhatásban ugyanezt gluonnak nevezték el. Az elmélet nagyon tetszetős volt ám volt egy hatalmas hibája ugyanis nem volt „renormalizálható”, tehát nem adott véges, értelmezhető eredményt az egyszerű kölcsönhatások esetében. Az elméletet később, az után, hogy Yang és Mills publikálta, egy Gerard 't Hooft nevű doktorandusz tisztázta, ami segítségével kimutatható, jól értelmezhető eredményeket kapunk. Később alkalmazták az erős kölcsön hatásra is. Kiderült, hogy a nukleáris anyag minden titka tulajdonképpen megfejtethető az elv segítségével.

A Standard modell

Jelenleg a kvantumvilágot leíró modell nem más, mint a Standard Modell. Bár ez a modell képes a három alapvető erőt egyesíteni, még maguk a megalkotói sem hiszik, hogy ez lenne a végső elmélet. A Standard Modell szintén a szimmetriákon alapul, vegyük például egy hópehely szimmetriáját. Ha elforgatom, bizonyos fokban a középpont körül akkor ugyanazt a hópehelyt kapom meg. Ezt a szimmetriát használta fel Einstein is az speciális relativitáselméletben a tér és idő forgatására.

Egy másik szimmetria, ha például az itt a piros hol a piros játékot játszunk. Ennek az adott szimmetriának a matematikusok az S_3 szimmetria nevet adták. Ennek megfelelője a Standard Modellben az $SU(3)$, ami azt jelenti, hogy ha a három színben lévő kvarkokat cserélgetem, akkor az egyenlet ugyanolyan alakban marad.

A gyenge erőket is egy hasonló szimmetria írja le, ez pedig az $SU(2)$, ez tulajdonképpen az elektron és a neutrínó egymásba való átforgatását jelenti. Végül pedig az elektromágneses erő az $U(1)$ szimmetriával rendelkezik.

Ezek a szimmetriák nagyon látványosak, azonban a Standard Modell egyik legvitatottabb jellemvonása, hogy ezt a három szimmetriát egymásmellé helyezve hozza létre az egyesítést. Ami tulajdonképpen olyan, mintha három állatot szeretnénk keresztezni. Az

eredményezett szimmetria elnevezése pedig: $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ ami tulajdonképpen az erők szorzatát írja le.

A modell hívei joggal állítják, hogy az valamennyi kísérleti eredményt alátámasztja, és nem ismert olyan eredmény, ami a modellnek ellent mond, azonban vannak súlyos hátrányai is. A gravitációval nem renormalizálható, továbbá az egyenlet csak afféle összefércelt egységet alkot. Ez abból is látszik, hogy a következő dolgokra van szükségünk a modellhez:

- 1, Harminchat kvarkra van szükség.
- 2, Nyolc Yang – Mills mezőre a gluonok leírására.
- 3, Négy Yang – Mills mező az elektromágneses és a gyenge erők leírására.
- 4, Hat féle lepton típus a gyenge kölcsönhatások leírására.
- 5, Nagyszámú Higgs-bozonra, miknek létezése csak nemrég lett bizonyítva.
- 6, Legalább 19 mesterségesen bevitt konstans, amelyeket kézzel kell beírni, és nem lehet őket semmilyen módon meghatározni.

Látható tehát, hogy az elmélet cseppet sem mondható túl szépnek, nincs meg benne egységbe foglaló szimmetria, se nem felel meg annak a követelménynek, miszerint a kísérleti adatokat a leggazdaságosabb matematikai eszköztárral tudja magyarázni.

GUT azaz a Grand Unified Theory

A Grand Unified Theory-t is érdemes megemlíteni a versenyben, mivel az szintén hozzájárult a mai fizikához. A Standard Modell mesterkéltisége miatt rengeteg kísérlet volt a felülmúlására. Az elmélet a Standard Modelltől nagyobb szimmetriacsoportot keresve próbálta az egyesítést véghezvinni. A szimmetria családok között volt az $SU(5)$, ami hasonlatos az $SU(3)$ -hoz, csak itt 5 elem képes egymásba alakulni, $O(10)$, és $E(6)$. Az elmélet lényege hogy az helyett, hogy csak összeragasztaná a szimmetriacsoportokat, megpróbált keresni egy nagyobb szimmetriát, amihez kevesebb önkényes konstans kell. Ezek közül a

legegyszerűbb GUT az SU(5)-t használta. Itt a kvarkokon kívül még az elektron és a neutrínó is helyet kapott a szimmetriában.

Az elméletet eleinte sok ellenzés fogadta, mert hihetetlen nagy energiatartományban működik, de később megbékéltek vele, ugyanis rájöttek, hogy előrevetít egy dolgot, még hozzá a protonok bomlását. Ebből az következett, hogy az addig teljesen stabilnak hitt proton mégsem volt annyira stabil (bár meg kell jegyezni, hogy a bomlást kb. 10^{31} évre számították). Az országok tehát nekiláttak rengeteg pénz költeni arra, hogy a történelmi esemény szemtanúja lehessenek. Az eredmény azonban nem jött és így a GUT iránt eleinte tanúsított nagy érdeklődés alább hagyott. Természetesen lehet, hogy a proton mégis lebomlik, de az elmélettel kapcsolatosan a legtöbben már szerényebb hangnemben beszélnek a végső elmélet kapcsán.

Észrevehetjük, hogy az elmélet szintén nem tesz említést a gravitációról, akárcsak a Standard Modell és szintén értelmezhetetlen eredményeket reprodukál, ha a gravitációt is bele szeretnénk helyezni. Ez már csak azért is rendkívül aggasztó, mert azon az energiatartományon, ahol az elmélet érvényes minden bizonnyal kijelenthető, hogy a gravitáció is fontos szerepet játszik.

A szupergravitáció

Hosszú szunnyadás utána Kaluza – Klein elmélet ismét életre kelt. Végső elkeseredettségükben fizikusok a nagy egyesítés elérése céljából már elkezdtek elővenni a régebbi elméleteket és ekkor a Kaluza – Klein elmélet felfedett egy újabb titkot magáról. Ha az elméletet kiterjesztjük $4 + N$ dimenzióra akkor az N dimenzióban visszakapjuk a Yang – Mills mezőket. Tehát innentől fogva a következő lépés nem volt más, mint az hogy a fát megalkossuk márványból, azaz geometriából. Ez a lépés pedig a szupergravitációnak nevezet elmélet volt.

A fa márvánnyá alakítása közben azonban iszonyatos problémába ütköztek a tudósok. A kvantummechanikában a részecskéknél spinjük van. Vannak a $\frac{1}{2}$ -es spinnel rendelkező kvarkok, a félegészes fermionok és az erőket közvetítő egész spinű részecskék. A kvantummechanika teljesen külön kezeli a fermionokat és a bozonokat, és bizony ezzel a ténnyel meg kell küzdenie a végső elméletnek. Ezért jelentett nagy előrelépést, amikor felfedezték az új szimmetriát, a szuperszimmetriát. Az ilyen szuperszimmetrikus egyenletek ugyanis megengedik a fermionok és a bozonok kölcsönös cseréjét. Ezáltal az egész univerzum összes részecskéje bevezethető egy multipletbe.

A szuperszimmetria egy újfajta számrendszeren alapul, ahol a szorzás és osztás művelete nem működik rendesen. Az elméletben minden részecskének van egy szuperszimmetrikus társa, amit s-részecskének (sparticle) neveznek.

Ha az anyagot is szeretnénk belefoglalni az elméletbe, akkor 11 térdimenzióban írjuk fel a Kaluza–Klein elméletet. Ezáltal a Riemann-tenzor szuper Riemann-tenzorá alakul és elegendő helyünk lesz az anyag számára is. Így a fa összeolvad a márvánnyal egy szupermárványt alkotva.

A problémák azonban halmozódtak a kritikusok szemében. Az s-részecskéket ugyanis sehol sem találták, noha hatalmas erővel kutattak utánuk. Továbbá az elmélet szintén tele volt értelmezhetetlen eredményekkel valahányszor számszerű értéket akartak kicsikarni belőle (ugyan kevesebb alkalommal fordult ez elő, mint a Kaluza – Klein elméletnél). Úgy tűnt, hogy a szupergravitációs elmélet csupán egy újabb lépés volt a végső elmélet felé. Azonban akkor, amikor ez az elmélet hanyatlani kezdett egy új elmélet volt születőben, a szuperhúrelmélet.

A húrelmélet

„A húrelmélet a XXI. század fizikája, amely csak véletlenül került a XX. századba.” —
Edward Witten

A húrelmélet talán egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy képes magyarázatot adni, mind az anyag, mind a téridő természetére – azaz a fa és a márvány természetére. Rengeteg rejtélyes kérdésre képes válaszolni a részecskéket illetően, amiket eddig egyik elmélet sem volt képes. Egyik ilyen kérdés, hogy mi is tulajdonképpen a részecske és miért van olyan sokféle belőle.

A kérdésre a húrelmélet egy érdekes és új választ ad. Ha képesek lennénk felnagyítani egy részecskét akkor furcsa mód nem egy pontszerű objektumot látnánk, ahogy azt a kvantummechanika elképzei, hanem egy aprócska húrt ami egy adott frekvencián képes rezegni. Így a világ összes szubatomi részecskéje megfelel a húr egy pontosan megkülönböztethető rezonanciájának. Ezért mondhatjuk, hogy nincs elemi részecske, az elektron nem elemibb, mint a neutrínó. Természetesen az elmélet nem csak a részecske, de a téridő természetét is képes magyarázni. Egy húr képes bonyolult mozgásokra, képes kettészakadni és ütközni egymással, azonban kérdéses az elv renormalizálhatósága. A fizika világában ez az első olyan elmélet, ami végre véges értéket ad (mint már említettük az eddigi elméletek általában itt buktak el).

Természetesen ennek ára is van, ami nem más, mint hogy ha ezeknek a húroknak a mozgását akarjuk vizsgálni, akkor azoknak egy sok nagyon szigorú feltételnek kell megfelelniük. Tehát például a húr nem képes bármilyen téridőben önkonzisztensen mozogni. Azonban az első vizsgálatok során egy megdöbentő dolog tárult a tudósok szeme elé. A vizsgálat során Einstein egyenletei emelkedtek ki. Tehát sokan vélekedhetnek úgy, hogy ha Einstein nem fedezte volna fel a relativitás elméletét, akkor azt később, mint a húrelmélet egyik eredményeként megkaphattuk volna.

A feltételek azonban tényleg nagyon szigorúak. Megtiltják, például a hurok mozgását három vagy négy dimenzióban, ellenben a 10 és 26 dimenzióban nem. Az elméletben ilyen dimenzió szám mellett elegendő hely van ahhoz, hogy az magyarázatot adjon a természet

alaptörvényeire. Levezethető belőle Einstein elmélete, a Kaluza – Klein elmélet, a Standard Modell, a GUT és még a szupergravitáció elve is.

Sokan vélekednek úgy a húrelméletről, mint amit csak véletlenül fedeztek fel a XX. században. Tény, hogy ez az elmélet egy kicsit másképpen alakult ki, mint azt megszokhattuk. Mikor Einstein a relativitáselméleten dolgozott, először megkereste azt a háttérben lévő elvet, ami az egészet mozgatja, majd ezt matematikával ruházta fel és végül megkapta a kész elméletet. A húrelmélet fejlődése pontosan ellentétes. A mai napig nem tudjuk, mi a háttérben megbújó fizikai elv. Az elméletet 1968-ban fedezték fel mondhatni teljesen véletlenül. Két fiatal elméleti fizikus Gabriel Veneziano és Mahiko Suzuki külön-külön talált rá a Leonhard Euler féle béta függvényre, amikor az erős kölcsönhatást leíró függvények után kutattak. Meglepve látták, hogy majdnem mindegyik részecskére, amely az erős kölcsönhatásnál szerepet játszik, ráillik a függvény. A modellt Veneziano – Suzuki modell névre keresztelték. A modell sértett azonban egy alapvető fizikai elvet, az unitaritást, azaz a valószínűség megmaradását. Ezt kiküszöbölendő három fizikus Keiji Kikkawa, Bunji Sakita és Miguel A. Virasoro előállt egy csökkenő értékű sorral (ami a perturbációszámításon alapult), amelyet a modellhez adva helyreállt a rend. Később a modellt körülvevő rejtély egy része tisztázódott, amikor Yoichiro Nambu és Tetsu Goto felfedezte, hogy minden mögött egy rezgő húr áll. 1970-re Michio Kaku és Loh-ping Yu sikeresen kiszámították az akkor ismeretes összes hurokdiagram pontos értékét. A következő lépés az a gigászi feladat volt, ami a hurok mezőelméletének felírását foglalta magába.

A hurok mezőelméletén szintén Michio Kaku és Keiji Kikkawa dolgozott. Szinte el is készültek vele 1974-re, be is fejezték a munkát, ami Faraday régi módszerének, a mezőelméletnek, alkalmazásával. Az elmélet azonban nem volt teljes és ekkor jött a nagy csapás. Abban az évben ugyanis felfedezték, hogy a bozonikus hurok csak és kizárólag 26 dimenzióban tudnak létezni, a szuperhúr pedig csak 10 dimenzióban létezhet. A húrelméleti kutatások zsákutcába jutottak és a legtöbb kutató elhagyta a területet. Csupán néhányan maradtak szépítgetni az elméletet. Tízévnyi hibernálás után az elmélet azonban ismét életre kelt, amikor Brian Green és Schwarz bebizonyították, hogy a kvantumgravitáció egyetlen önkonzisztens elmélete a szuperhúrelmélet. 1985-ben pedig Edward Witten ért el jelentős haladást a mezőelmélet terén, amivel kimutatta, hogy a Kaku és Kikkawa által kitalált mezőelmélet teljesen relativisztikus formába írható. Így felszínre került a mezőelmélet igazi eleganciája. Azonban itt jött szembe a következő gond, az elméletet senki sem volt képes megoldani, ugyan rengeteg megoldás született, azonban senki sem tudta mi alapján lehetne

kiválasztani a megfelelőt. Megkapták millió és millió világ leírását, ezek többségében nem is indulhatott volna meg az élet, a megfelelő megoldáshoz ugyanis nem perturbatív technikát kell használni, ami nagyon nehéz. Mondhatni, a húrelmélet belecsöppent a XX. századba, mint a XXI. század fizikája, azonban a XXI. század matematikája még nem volt kész.

Ha arra a kérdésre szeretnénk választ adni, hogy miért pont 10 vagy 26 dimenziós a világunk, sajnos az a válasz, hogy nem tudjuk. A válaszhoz talán egy kicsit közelebb jutunk, ha a tragikus sorsú matematikus Srínivásza Ramanudzsán munkájába kicsit belepillantunk. Az általa felírt függvény annyira fontos, hogy a tiszteletére Ramanudzsán-függvénynek nevezték el. Ez a függvény rengeteg helyen előjön, a moduláris függvényektől kezdve a húrelméletig. Ez a függvény tartalmaz egy 24-es hatványra emelt tagot. A húrelméletben ez a 24-es szám a húrok fizikai rezgéseinek felel meg. A tudósok hozzáadtak még 2 dimenziót, a relativisztikus elméletre való kiterjesztés érdekében és így megkaptuk a 26 dimenziót. A függvény általánosítása utána 24-es szám helyére 8-as került, amivel pedig megkaphatjuk a 10 dimenziókat. Eddig tulajdonképpen azt állítottuk, hogy a fizika törvényei magasabb számú dimenzióban egyszerűsödnek, azonban ez nem teljesen igaz, a helyes megfogalmazás a következő: a fizika törvényei egyszerűsödnek magasabb dimenziókban, ha önkonzisztensen fejezzük ki őket.

Mi az, hogy húrelméletek?

Az 1990-es évekre a húrelméleti kutatások ismét egy kis zökkenőhöz jutottak. A fizikusok ugyanis azt fedezték fel, hogy nem csak egy, hanem egyenesen öt húrelmélet verseng a Mindenség elmélete címért. Ott volt az I típus, a IIA és IIB típusú húrelméletek és persze a Heterotikus – O és Heterotikus – E típusok. Nemrégiben derült fény arra, hogy ezek a típusok egymással duális párokat alkotnak. Az elméletek megegyeztek abban, hogy húrokat használtak, azonban például a matematikai részleteik különböztek. A fizikusoknak nem kevés fejtörést okozott, hogy megoldják ezeket a problémákat. Végül egy 1995-ös konferencián az egészről alkotott kép ismét megváltozott.

Azon a bizonyos 1995-ös konferencián, amit a University of Southern California-n rendeztek Edward Witten előadása új perspektívába helyezte az adott problémát. Witten azt mondta, hogy igazából ezek az elméletek egy magasabb szintű elmélet részei. Mintha egy adott tárgy többféle visszatükröződését látnánk. Eddig az elméletek az általunk ismert egy idő és három térdimenzió mellett hat „feltekeredett” tér dimenziót is használtak, Witten azonban hozzáadott még egy extra dimenziót, így az elmélet az immár 11 dimenziós M-elmélet néven lett hírhedt, ami magába foglalta mind az öt húrelméletet. Ez az egy extra dimenzió megengedi a hűroknak, hogy nyúljanak, (létrehozva ezzel a membránokat) akár egészen akkorára, mint a mi Univerzumunk. Tehát a mi Univerzumunk lehet, hogy nem is teljesen egyedülálló és lehet, hogy mi is egy ilyen membrán felületén élünk. Ez magyarázatot adhatna arra, hogy a gravitációt miért érezzük olyan kicsinek a többihez képest. Valójában lehet, hogy a gravitációs kölcsönhatás is ugyanolyan erős, mint a többi, csupán azért érezzük sokkal kisebbnek, mert míg az anyagot és egyéb kölcsönhatásokat képviselő hűrok két végpontja hozzá van „tapadva” a mi háromdimenziós membránunkra, addig a gravitont reprezentáló hűr képes lehet szabadon mozogni, ezáltal érezhetjük gyengébbnek.

Az elmélet érdekesen viszonyul a Nagy Bumm elméletéhez is. A Nagy Bumm elmélete azt mondja ki, hogy az Univerzumunk egy elképesztően parányi és forró golyóból (ezzel az a probléma, hogy a fizika törvényei itt felbomlanak) növekedett és hűlt le a mai méretére, egy hatalmas robbanás következményeképpen. Az elmélet azonban nem mond semmit arról, hogy miért következett be ez a robbanás. Tehát, ha megkérdezzük egy Nagy Bumm elmélettel foglalkozó fizikust, hogy honnan keletkezett az a rengeteg energia és anyag, vagy, hogy mi okozta a robbanást, hogy ez megsértheti az anyagenergia megmaradásának törvényét, a fizikus csak annyit fog mondani, hogy ez bizony egy problémás kérdés. Az elmélet szinte minden hasonló kérdésre azzal a kibúvóval próbál válaszolni, hogy a kérdés vagy értelmetlen, mert a tér és az idő a robbanás pillanatában keletkezett. Emiatt nincs értelme a Nagy Bumm előtti időről beszélni, mert az egyszerűen nem létezett. Az M – elméletnek azonban ezen kérdésekre is rendelkezik válasszal. A válasz nem más, minthogy vannak más Univerzumok is az általunk hipertérnek nevezett térben, amik szintén membránokon léteznek és ezek „lebegnek” ebben a térben. Nem nehéz belátni, hogy ezek a membránok így képesek egymásba ütközni, vagy kettéválni. Itt lép be a Nagy Bumm elmélet az M – elméletbe, ugyanis az M – elmélet szerint egy ilyen ütközés az, amit mi a Nagy Bumnak nevezünk. Az ütközés során keletkező energiának ugyanis valahova át kell adódnia és ez maga a robbanás, ami felhevíti a részecskéket. Természetesen egy ilyen esemény a hipertérben nem túl ritka,

tehát rengetegszer születtek már új Univerzumok és még valószínű, hogy fognak is. Ez az a pont, ahova a húrelmélet nagyjából napjainkig jutott.

Természetesen a bírálatok igyekeznek ott megfogni az elméletet, ahol az a leggyengébb: a tesztelhetőségén.

Mi a probléma a húrelmélettel?

„Jobb dolog vitatkozni egy kérdésről megegyezés nélkül, mint megegyezni vita nélkül.” - Joseph Joubert

A húrelmélet ellenzők egyik legnagyobb támadási pontja, annak ellenére, hogy az elmélet gyönyörűen fogalmazza meg az Univerzum elméletét, nem más, mint az hogy az elméletet nem tudjuk közvetlenül tesztelni. Az elmélet ugyanis kimondja, hogy az a négy alapvető erőhatás, amit ismerünk csak a Planck-energia környékén képes ismét egyesülni. Ennek a ténynek az a negatív vonzata a húrelmélet felé, hogy a jelenlegi technikákkal ennek az energiaszintnek még csak a közelében sem járunk. Csak összehasonlítás képen, a Planck-energia 10^{19} Giga elektronvolt, az LHC azaz a Nagy Hadronütköztető legnagyobb teljesítménye $7 \cdot 10^3$ Giga elektronvolt, ami vajlunk be a Planck-energiához képest tényleg elenyészően parányinak hat. Sajnos emiatt a hatalmas különbség miatt ma úgy tűnik, hogy a belátható jövőn belül nem is leszünk képesek ennek az energiaszintnek a megközelítésére.

A fizikusok között éppen emiatt vannak akik, ezt a területet csak „színházi fizikának” vagy „szabadidős matematikának” tartják. Sőt egyes tudósok még ennél is messzebb menve az AIDS-el hozzák párhuzamba az elméletet, és nem értik, hogy engedhetik, hogy a korunk legkifinomultabb elméi ezen a dolgon munkálkodjanak. Az a vita, hogy vajon elegendő a szépség, vagy mindenképpen szükséges a közvetlen bizonyítás, még egy darabig minden bizonnyal el fog húzódni.

David Hume, 18. századi angol filozófus, akinek az empirizmus gondolatát köszönhetjük, azaz, hogy minden elméletnek kísérleti bizonyításon kell nyugodnia, is

gondolkodott már azon, hogy vajon magát a Teremtést lehet-e bizonyítani. Arra az eredményre jutott, hogy mivel a Teremtés a definíciójából eredően nem megismételhető ezért sehogyan sem lehet magyarázatot adni rá. A világon bármire lehet magyarázatot adni kivéve erre a problémára. Az akkori probléma mai változatával a húrelmélet kapcsán kerülünk szembe. Tény, hogy közvetlen bizonyítékot jelenleg, nem vagyunk képesek szolgáltatni. Azonban van néhány közvetlen bizonyíték, amivel ugyan az elmélet teljesen nem igazolható, azonban a szkeptikusok egy részét lecsendesíthetné. Egy ilyen a szuperszimmetrikus részecskék felfedezése lenne. Sajnos az erre a célra építendő ütköztető építését, amit az USA-ban építettek volna fel, lefűjték. Egy másik kutatási lehetőség ezzel kapcsolatban a kozmikus sugárzások megfigyelése. Ezek ugyanis sokkal, nagyobb energiával rendelkeznek. Azonban ennek a módszernek is van egy hatalmas hátránya. A két módszer olyan mintha a tüzet egy fecskendővel vagy azzal, hogy várjuk az esőt, próbáljuk eloltani. Jelen esetben az eső a kozmikus sugárzásnak felel meg, ugyanis a kozmikus sugárzás teljesen kiszámíthatatlan. Sem a pontos helyét, sem az erejét nem tudjuk befolyásolni. Az eddigi legerősebb sugárzás, amit mértek 10^{20} elektronvolt nagyságú volt és az elkövetkezendő száz évben nem is nagyon számíthatunk hasonlóra (és még ez is 100milliószor kevesebb, mint ahol az elméletet bizonyíthatnánk). Talán a Feketelyukak vizsgálata során sikerülhet találni a Planck-energiához mérhető energiamennyiséget.

A történelem során sok mindenről állították már, hogy az tesztelhetetlen. Ilyen volt a csillagok vizsgálata, amihez ugyan ma sem áll elegendő energia a rendelkezésünkre, azonban van egy közvetett módszer, amivel meghatározhatjuk az összetételüket. Hasonló volt a helyzet az atommal is vagy a neutrínóval. A tanulság, hogy néha, ugyan ha nem is vagyunk képesek magát az objektumot lefényképezni, elegendő lehet számunkra, ha az árnyékát képesek leszünk. A 10 dimenziós kutatásoknak is talán ez lehet az egyik nyitja. Mindazonáltal még az is lehetséges, hogy valaki hamarosan lesz olyan okos, hogy elvesse vagy igazolja a 10 dimenziós elméletet a húrok mezőelméletével vagy valami másfajta nem perturbatív módszer felhasználásával. Tehát az is lehet, hogy a probléma sokkal inkább elméleti.

Felhasznált irodalom

Michio Kaku : Hipertér; Akkord kiadó, 2006

Michio Kaku : Einstein kozmosza; HVG kiadói Rt., 2013

Michio Kaku : Párhuzamos világok; Akkord kiadó, 2009

Werner Heisenberg : A rész és az egész; Gondolat kiadó, 1978

Brian Greene : Az elegáns univerzum; Akkord kiadó, 2008

Brian Greene : A kozmosz szövedéke; Akkord kiadó, 2011

Stephen Hawking, Roger Penrose : A tér és az idő természete; Tálatum kiadó, 1999

Stephen Hawking : A mindenség elmélete; Kossuth kiadó, 2009

Richard P. Feynman : Hat majdnem könnyű előadás; Akkord kiadó, 2004

Simonyi Károly : A fizika kultúrtörténete; Akadémiai kiadó, 2011

Holics László: Fizika; Akadémiai kiadó, 2009

Albert Einstein - Infeld: Hogyan lett a fizika nagyhatalom?, Lux kiadó, é.n.

Albert Einstein: A speciális és általános relativitás elmélete; Gondolat kiadó, 1973.

Simon Singh: A Nagy Bumm; Park Könyvkiadó; 2013.

Csáki Csaba: Extra dimenziók: kicsi, nagy, vagy végtelen nagy?; Természet világa III. különszám.