HIGGS-Phenomenon

Senkiből is lehet valaki

G. Vesztergombi

HTP2007, Geneva

A DŰNE LEGENDÁI TRILÓGIA

A DŰNE

A BUTLERI DZSIHAD

B. Herbert • K. J. Anderson

– Értem a semmit – szólalt meg a szerzetes furcsa, távolinak tűnő hangon. Serena tudta, hogy a kogitátorok elsőként elfogadott alapelvét hallja, az elmélkedő agyak pedig évszázadokat töltöttek elmélyült töprengéssel, ami tovább fokozta az üresség érzetét.

Évszázadokkal az eredeti Titánok megjelenése előtt, bölcselkedő emberek egy csoportja a filozófia tanulmányozásának és metafizikai kérdések megvitatásának szentelte életét, ám a szellemi gyönyörök élvezetében túl gyakran meggátolta őket a test esendősége és csapongása. Az Óbirodalom dekadens közönyében ezek a tudós filozófusok helyeztették elsőként agyukat létfenntartó rendszerekhez kapcsolt tartályokba. Miután megszabadultak a biológiai kényszerektől, minden idejüket tanulással és gondolkodással töltötték. Minden egyes kogitátor az emberiség teljes bölcseleti rendszerét tanulmányozta, hogy az alkotóelemek egybeillesztése révén megérthessék a világmindenséget. Elefántcsonttornyokban éltek és elmélkedtek, a köznapi világ viszonyairól és eseményeiről pedig jóformán tudomást sem vettek.

– Tlalok a Thalim rendszerben nőtt fel, egy külső gyarmaton, ahol az élet nehéznek számított, ahol a munkavégzés vérrel, verejtékkel és felhólyagosodott tenyérrel járt. Keményen meg kellett küzdenie az állásáért. A földiekből viszont szinte teljességgel kiveszett a lelkesedés és a szellem – *és az emberek ezt észre sem vették!*

Tlalok beszédeket mondott, hátha sikerül magához téríteni, rádöbbenteni őket, mi történik velük. Néhányan érdeklődve figyelték, újdonságnak tekintették. – [redacted] – Ám pusztán kikapcsolódásképp hallgatták szavait. Az unott hallgatóság hamarosan visszatért henye, hedonista üzelmeihez.

Mottó:

Nem az a misztikum, hogy *milyen* a világ, hanem az, hogy *van*. (Wittgenstein)*

*Lábjegyzet: Az idézet John. D. Barrow “A semmi könyve” című művének “A semmivel kapcsolatos filozófiai problémák és megoldások “ fejezetéből való, amely könyv lényegében a cikk megírása utána került kezembe.

Elolvasását mindenkinek ajánlom, akit a témakör más oldalról való megközelítése is érdekel.

Az utóbbi időben számos cikk jelent meg a MaTud-ban a részecskefizikával kapcsolatban (Horváth Dezső, Lévai Péter, Fodor Zoltán cikkei és Hargittai Magdolna megemlékezése Telegdi Bálintról). Mi újat lehet még mondani ebben témával?

Személyes válaszként Freeman Dyson híres könyvéből: Disturbing the Universe-ből idéznék, ahol beszámol egy beszélgetésről, amelyben Szilárd Leó közli Bethe-vel, hogy naplót szándékozik írni :

A naplót nem szándékozom közzé tenni, csak rögzíteni akarom a tényeket Isten számára.

Nem gondolod, hogy Isten úgyis tudja a tényeket?

Igen, valóban tudja a tényeket, de vajon tudatában van-e a tények **ezen** változatának is?

Vagyis én is úgy érzem, hogy az elmondandókkal kapcsolatban nekem is van személyes változatom. Másik lényegesebb szempont az időpont rendkívülisége. A küszöbön áll a világ legnagyobb részecske gyorsítójának a Genfben épülő CERN LHC-nak a beindulása, amelyben az első ütközéseket 2OO7 novemberében tervezik megfigyelni, ha semmi rendkívüli nem jön közbe. A tervek eddig is elég közismertek voltak, de e cikk írása idején gyakorlatilag az összes kulcselemet (köztük az 1232 darab 15 méteres szupravezető dipól mágnest) már legyártották és a zömét már be is szerelték a 27 kilométeres alagútba. Ugyanúgy, ahogy 5OO ével ezelőtt csak nagyon kevesen voltak tisztában azzal Kolumbusz illetve Magellán hajóinak indulásakor, hogy milyen történelmi jelentőségű esemény tanúi, a mai közönség sem igen érti, hogy milyen alapvetően új dolgot jelenthet egy gyorsító beindítása. E cikk célja, hogy ezt az eseményt megpróbálja megfelelő történeti/történelmi látószögbe állítani.

Bevezetésül kezdjük nem éppen a szellemi csúcsokat ostromló gyakran hallható viccel.

Két szőkenő éppen dicsérő szavakat keres egymás intellektuális képességeinek jellemzésére.

Az egyik kijelenti: A te fejedben VÁKUUM van!
Amire a másik így replikázik: A tiédben pedig SEMMI sincs!
A találós kérdés: Melyiknek sikerült jobban megsérteni a másikat?
Mellékkérdés: Melyik a jobb fizikus, illetve melyiknek fizikus a férje?

Tudományos tanulmány esetén gyakran lehet hallanni olyan értékelést, hogy az *semmi*ről sem szól, a jelen esetben azonban vallóban büszkén vállalom, hogy „A” **semmi**ről fogok beszélni. A lényeg éppen abban van, hogy a modern fizika éles különbséget tesz a fizikai vákuum és a filozófiai semmi között.

Ennek az állításnak a tartalmát legkönnyebben valószínüleg rövid történelmi összefoglaló alapján érthetjük meg.

Szokás szerint a görögöknél kellene kezdeni, de nekem csak az arisztotelészi „horror vacui” jut az eszembe.
A természet irtózása a vákuumtól, az ürességtől az ember egyik legtermészetesebb tapasztalatának tűnik.
A kérdéshez való általános hozzáállást jól jellemzi Stephen Hawking: The universe in a Nutshell 2OO1-ben megjelent könyvében idézett XIX. századi Charles Lamb mondása:

Semmi sem okoz nekem nagyobb fejtörést, mint az (üres) tér és idő.
És mégis semmi sem izgat kevésbé, mint a tér és az idő, mivel soha nem gondolok rájuk.

(„Nothing puzzles me like time and space. And yet nothing troubles me *less* than time and space, because I never think of them.”) .

A saját ferdítésembe az *üres* szót azért csempésztem be, hiszen aki pusztán tér-időről beszél, az burkoltan feltételezi, hogy arról van szó, ami akkor marad ott, ha már mindent eltávolítottunk.

Az első matematikai modellt a térre és időre Isaac Newton adta a Principia Mathematica-ban 1687-ben:

Newton modelljében a tér és az idő szolgáltatta a hátteret, az üres színpadot,
amelyen az események történtek, de amelyre azok semmilyen hatással sem voltak.
A tér és idő egymástól teljesen függetlenek voltak.

A színpad és különösen benne a múlt és jövő irányában egyaránt végtelennek feltételezett idő megoldhatatlan filozófiai és matematikai problémákat hordozott magában. (hőhalál, az éjszakai égbolt sötétsége stb.)

A newtoni elméletben, ahol a tér és idő egymástól függetlenül létezhetett, fel lehetett tenni azt a kérdést: Mit tett Isten mielőtt a világot megteremtette? Szent Ágoston szerint nem szabad erről a témáról viccelődni, mint az olyan ember, aki azt mondja: „A poklot készítette azoknak, akik túl kiváncsiak.”

Hawking egyetértőleg jegyzi meg, hogy a modern gondolatok nem állnak távol attól a szent ágostoni állítástól, hogy a föld és ég teremtése előtt Isten nem tett semmit.

Ez az a pont, ahol eldönthetjük a két szőkenő problémáját, akinek a fejében a SEMMI van, az a valódi filozófiai üresség a mai kifejezéssel élve a Ős-robbanás „előtti” állapotban leledzik és joggal sértődhet meg, mert ennél a szintnél valóban nincs alább, ahol persze fizikai értelemben nincs értelme az „előtti” szónak.

Viszont az, akinek a fejében a fizikai VÁKUUM van, egyenesen büszke lehet, hiszen a következőkben éppen azt próbáljuk bebizonyítani, hogy ez az igazi VALAMI, amelyben a világegyetem lényege van elrejtve. A fizikai vákuum diadalútja az elektromágneses tér felfedezésével kezdődött és reméljük a „mi” közreműködésünkkel jut csúcspontjára.

Mielőtt azonban ennek részleteire rátérnénk, érdemes végig követni azt a meglehetősen kacskaringós utat, amelyen idáig eljutottunk.

A XIX. század végén, *akárcsak napjainkban*, széles körökben elterjedt volt az a nézet, hogy kezünkben van a természet teljes leírása. Azt képzelték, hogy a teret egy bizonyos folytonos közeg tölti ki, amit „éternek” neveztek. A fénysugarak és rádióhullámok úgy terjednek az éterben, ahogy a hanghullámok mint nyomáshullámok a levegőben. Az elmélet teljességéhez csupán ennek az éternek a rugalmassági együtthatóit kellett volna meghatározni. Az tűnt a legszembetűnőbb éter-effektusnak, hogy az éterben mozgó megfigyelőnek a sebességétől függően más más értéket kellene kapni az álló éterben állandó sebességgel haladó fényre.

A híres Michelson-Morley interferencia-kísérlet bebizonyította, hogy a megfigyelt fénysebesség teljesen független volt az interferométer sebességétől vagy irányától.

Nagyon érdekes választ adott a rejtélyre G. FitzGerald és H. Lorentz. A válasz azért érdemel utólagosan külön figyelmet, hiszen itt történik tudomásom szerint először a vákuum anyagának, az éternek a benne mozgó testek tulajdonságaival való összekapcsolása. Nem kevesebbet állítottak ugyanis, hogy az éteren keresztül haladó testek a mozgás irányában *összenyomódnak* (Lorentz-konctrakció) az órák pedig *lelassulnak*. A két effektus eredményeként a mozgó rendszerben is az eredetinek adódik a látszólagos fénysebesség.

Egészen más oldalról ragadta meg a problémát A. Einstein. A fizikai törvényeinek nem szabad attól függeni, hogy álló vagy bármilyen sebességgel mozgó *inercia-rendszerben* végezzük-e a megfigyeléseket, amely végső soron arra az axóimára volt redukálható, hogy bármilyen sebességgel mozogjanak is a megfigyelők, az általuk mért fénysebesség mindig ugyanaz marad.

A két megoldás bármely adott helyzetben azonos mérési eredményeket jósol, lásd Jánossy Lajos részletes analízisét, vagyis a kísérletileg nem lehet a két elmélet között méréssel különbséget tenni. A fizikai tartalomban azonban összebékíthetlennek tűnő ellentét van. A Lorentz-FitzGerald-Jánossy koncepció megőrzi az abszolút tér és a külön abszolút idő fogalmát, csak éppen a természet olyan csalafinta, hogy azt, hogy a sok-sok lehetséges inercia-rendszer közül, melyik az igazi, semmilyen méréssel nem lehet megállapítani a speciális relativitás elméletén belül, vagyis teljes az egyetértés Einsteinnel abban, hogy a mért fénysebesség minden inercia-rendszerben ugyanaz, bár a testek „surlódnak” az éterben. Persze ez surlódás egészen különleges, mert nem jár energiaveszteséggel, hiszen abszolút értelemben továbbra is igaz a Galilei-féle tehetetlenség elve.

Einsteinnek tévesen szokták azt tulajdonítani, hogy bebizonyította, hogy NINCS éter. Einstein ugyanis ennél sokkal ravaszabb volt:

Ő csak annyit állított, hogy nincs *szükség* éterre a jelenségek magyarázatára.

A helyzet tovább bonyolódott az általános relativitás felfedezésével.

Igaz-e továbbra is a fénysebesség állandóságának az elve?
Valóban nincs kitűntett inercia-rendszer?
Hogyan magyarázzuk akkor, hogy csak egy bizonyos rendszerben igaz a világegyetem izotróp tágulása?
Mi az, ami görbül a tömegek között?

Einstein erről megint csak szemérmes hallgatásba burkolódzik. Bizonyos értelemben Einstein besétált ellenfelei csapdájába, hiszen ő is azt állítja, hogy a tér-idő elválaszthatatlan kapcsolatban van a benne levő testekkel, sőt tovább is megy, hogy az anyag-energia tenzor alakítja ki a tér görbületét.

Mielőtt ezen izgalmas kérdések rejtelmeiben elmélyülnénk, maradjunk még egy kis ideig a fényt hordozó elektromágneses klasszikus éternél, mert még ott is vannak felderítetlen titkok.

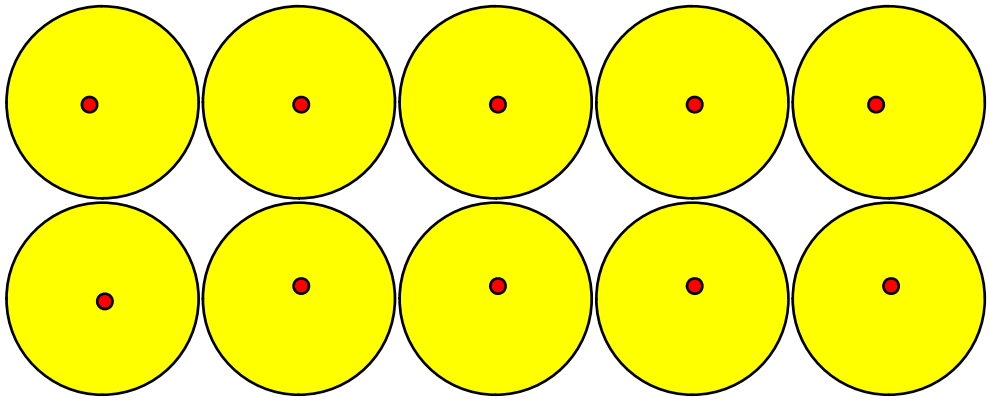
Köznapi életben is feltehetjük a kérdést, hol is találkozhatunk a vákuummal? Továbbiakban általában elhagyjuk a fizikai jelzőt, mivel mindig a semmitől eltérő fizikai vákuummal fogunk foglalkozni. Először lássuk, hogy mi a VALAMI. Itt megint a görögök jutnak az eszünkbe: Demokritosz és az ATOM.
Vajon mennyi vákuum van egy atomban, vegyük a legegyszerűbbet, a hidrogénatomot, amelyet egy kb. 1O-1O m sugarú gömbnek szoktunk elképzelni. Próbáljunk egy kicsit az atom héja mögé nézni!

A XX. század talán legnagyobb forradalma éppen ebben a „piciny dióhéjon" belül játszódott le, ugyanis abban bújt el az egész KVANTUMMECHANIKA. Az atom térfogatának a zömét - a $1O^{-15}$ m sugarú mag 15 nagyságrenddel kisebb térfogatától eltekintve - az elektronhéj foglalja el, amely állapotát a hullámfüggvény írja le. A hullámfüggvény természetéről máig megoszlik a közvélekedés, bár a KVANTUM-TÉRELMÉLET megalkotása után igazából eldöntöttnek tekinthető a kérdés. A Born-féle valószínűségi értelmezés szerint a hullámfüggvény abszolút értéke annak a valószínűségét adja meg, hogy a pontszerű elektront az adott helyen találjuk. Vagyis az elektronhéj mint valami folytonos közeg nem létezik, mivel csak valószínűségi amplitudót jelent arra, hogy van-e ott valami. Mivel a mérések szerint az elektron minden mérésben pontszerűnek bizonyult, ezért az elektron által ténylegesen elfoglalt térfogat valójában NULLA. Az atom csak egy olyan térfogatot jelöl, amelyben valahol bármelyik pillanatban feltűnhet egy pontszerű elektron, de aktuálisan nincs ott „semmi". (*Vigyázat itt nem véletlen az idézőjel, mert ez a stilisztikai semmi, éppen az üres teret a fizikai vákuumot akarja jelenteni*.)
A jelenség klasszikusan is modellezhető. Tegyük fel, hogy van egy kis 1 cm átmérőjű mogyorónk mindentől távol a világűrben egy 1OOO km átmérőjű gömb közepén és a gömbhéjon belül egy parányi napelemes meghajtású szúnyog röpdös, amelynek tömege a mogyoróénál 2OOO-szer kisebb, pontos nagyságát nem tudjuk, mert nincs olyan műszerünk, amellyel ilyen kis méreteket ki lehetne mutatni. A szúnyog helye teljesen véletlenszerű lehet, hiszen odarepül ahová akar. Ugye abban egyetérthetünk, hogy ez az 1OOO km-es gömb teljesen üres?

DÖBBENJÜNK rá arra a puszta tényre, hogy még a keménynek és sűrűnek képzelt anyagdarabok is valójában teljesen üresek. Az a fizika csodája, hogy ez valószínűségi értelmű hullámfüggvény ilyen szilárd képződménynek tud látszani. Képzeljük el, hogy amikor a széken ülünk, akkor valójában a protonoknak megfelelő parányi kis tűkre támaszkodunk, és *bár kellenne*, de nem csodálkozunk, hogy nem szúrja a fenekünket, mert az is hasonló szerkezetű. Az a jelenség, hogy diszkrét dolgok folytonosság látszatát keltik, persze teljesen általános. Gyerekkorom egyik sokkoló felimerése volt, amikor nagyítóval megnézve rájöttem, hogy az újságokban megjelenő képek egyedi pontokból vannak összerakva.

Az üres atom

Mennyi a valami?



Az elektron pontszerű részecske: az elektronhéj az üres(!!)

Az atommagban pontszerű kvarkok vannak, de pontosan mérhető a sugara.

Az atom és mag sugarának aránya: 1OO OOO.

A valami aránya a semmihez: O.OOO OOO OOO OOO OO1.

Bár talán a szükségesnél nagyobb feneket kerítettem neki, de ezt mégis elkerülhetetlen tartottam, hiszen a következőkben éppen itt az atom belsejében szeretnénk az igazi, modern *elektromágneses éter* tulajdonságait közvetlenül megfigyelhetővé, sőt MÉRHETŐVÉ tenni.

A történetet egy személyes kitérővel szeretném kiegészíteni, megragadva az alkalmat, hogy a néhány hónapja elhunyt híres magyar származású fizikusról is megemlékezzek.

Telegdi Bálinttal 197O-től kezdve véletlenszerűen, de rendszeresen kapcsolatba hozott a sors. A személyes találkozásokon túlmenően rám a legnagyobb benyomást a Mind over Matter, The Intellectual Content of Experimental Physics című rövid esszéje tette, amelyben mint a nagy nemzedék Szilárd, Fermi, Wigner... egyik utolsó mohikánja leteszi a voksát az elméleti fizikusok által háttérbe szorított kísérletezők teljesítményének reálisabb értékelése érdekében.

Példaként említi a Lamb-kísérletet, amely eredménye ugyan a legszélesebb körben ismert, de magáról a kísérletről általában még a fizikus professzoroknak sincs halvány fogalmuk sem. A dolog szíven ütött, mert már én is évek óta tanítottam kísérleti részecskefizikát, de ez nem volt része az előadásomnak, sőt magam se hallottam róla a részleteket egyetemi tanulmányaim során.

A CERN-ben gyakran összefutottunk a kávézó környékén, egyszer rákérdeztem, miért is olyan zseniális a Lamb-kísérlet. Szavamon fogott és másnapra berendelt az irodájába, hogy beavasson a kísérlet rejtelmeibe, amit magától személyesen Lamb-től tudott meg. Sajnos nem volt nálam magnó, ezért a két órás előadás finomabb részletei gyenge memóriám áldozatául estek.

Itt most csak a technikai részletek ismertetésére szorítkozhatom, hogy megértsük egy zseninek, milyen egyszerű a világ *egyik* legrejtélyesebb összetevőjének, az éternek a nyomait kimutatni. Lamb trükkje az volt, hogy a spektroszkópiai problémát gyakorlatilag részecsefizikai módszerrel oldotta meg egyedi atomok állapotát vizsgálva.

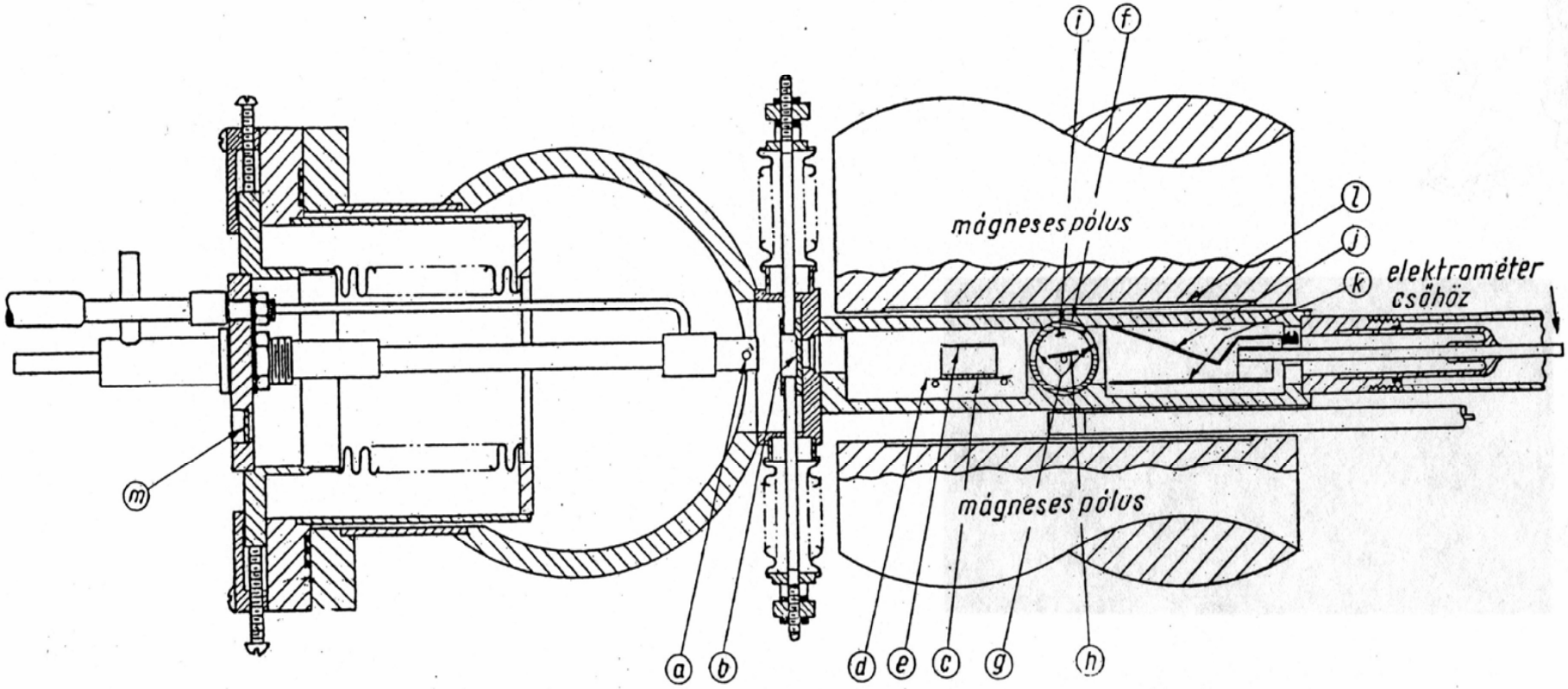
Szerencséje is volt, hogy elméleti fizikus létére a második világháború alatt, mint tehetséges fizikust a radarfejlesztésekhez hívták be katonának. Így a kisujjában volt a mikrohullámú technika, amely kezében varázs-vesszőnek bizonyult, amikor újra visszavonulhatott a tudományos kutatások területére.

Az már a háború előtt végzett spektroszkópiai vizsgálatok alapján köztudott volt, hogy valami gubanc van a 2S1/2 és 2P1/2 állapotok körül. Dirac fantasztikus pontosságú egyenlete a hidrogén színképvonalak legfinomabb részleteit is halálos pontossággal megadta. Egyértelmű volt az elméleti jóslat, hogy ennek a két energia nívónak pontosan egybe kell esnie, viszont a kapott eredmények nem voltak ezzel összhangba hozhatók.

Lamb realizálta, hogy ennek a kérdésnek fundamentális jelentősége van, hiszen a két nívó közötti eltérést csak valami egészen új kölcsönhatás okozhatja, amely túlmutathat a kvantummechanikán.

Valóban így is lett, Lamb mérése egy új, a máig legsikeresebb elméletnek a kvantum-térelmélet alapkövévé vált. Később azt is meg fogjuk érteni, hogy mi köze ennek a vákuumhoz, de gondolom mindenkinek felcsigáztam annyira az érdeklődését, hogy minél előbb szeretné megismerni a kísérlet részleteit.

Az igazi tudomány művészet. Telegdi szellemében magát a mérőeszközt egy Stradivari hegedűhöz lehet hasonlítani, a mérést pedig ahhoz, ahogy Paganini eljátssza ezen a hegedűn egyik szerzeményét.
A kísérleti berendezés nem igazán nagy szabású, elfért az iróasztal sarkában. Az ábrán láthatók a főbb alkotóelemei, amelyeket a mérés gondolatmenetének megfelelő sorrendben mutatunk be.



A készülék keresztmetszete: *a)* Wolfram kályha a hidrogén disszociálásához; *b)* mozgatható nyílás; *c)* az elektronágyú katódja; *d)* rács; *e)* anód; *f)* hullámvezető; *g)* nyílások, melyeken keresztül a metastabil atomok átmennek a nagyfrekvenciás kölcsönhatási téren; *h)* egy lapocska, mely a hullámvezető középponti vezetékéhez van erősítve; *i)* elektródák; *j)* felfogó a metastabil atomok felfogására; *k)* kollektor a felfogóból kijövő elektronok számára; *l)* a mágnes pólus felülete; *m)* a wolframkályha hőmérsékletének megfigyelésére szolgáló ablak

Az első lépésben a molekuláris hidrogénból atomi hidrogént kell előállítani.

Ezt szolgálja az a) jelzésű wolfram-kályha, melyből a molekulák termikus disszociációja után a b) jelzésű nyiláson hidrogén atomnyaláb lép a c)-d)-e) jelzésű tartományba,

ahol az áthaladó atomokat keresztirányú elektronok gerjesztik úgy, hogy minden 1OO millió H atom közül egy azaz EGY (!) kerül a mágikus 2S1/2 állapotba. Breit, Teller számításai szerint ez az állapot 1/7 másodpercig él, amely gyakorlatilag metastabil hosszú élettartamot jelent, persze csak akkor, ha nem esik egybe a 2P1/2 nívóval, amely csak 1.6 nanomásodpercig él.

Ha ugyanis egybeesnének, vagy nagyon közel lennének egymáshoz, akkor a környező tér elektromos zaja Stark-effektus lévén rögtön átvinné a P állapotba. Keletkezik persze minden más állapot is , de azok is gyorsan bomlanak.

Így a detektor végén levő j) jelű detektor lemezig vagy alapállapotú vagy 2S1/2 állapotú H-atomok jutnak el. A legnagyobb csel az, hogyan válasszuk ki a metastabil H-kat a többi közül.

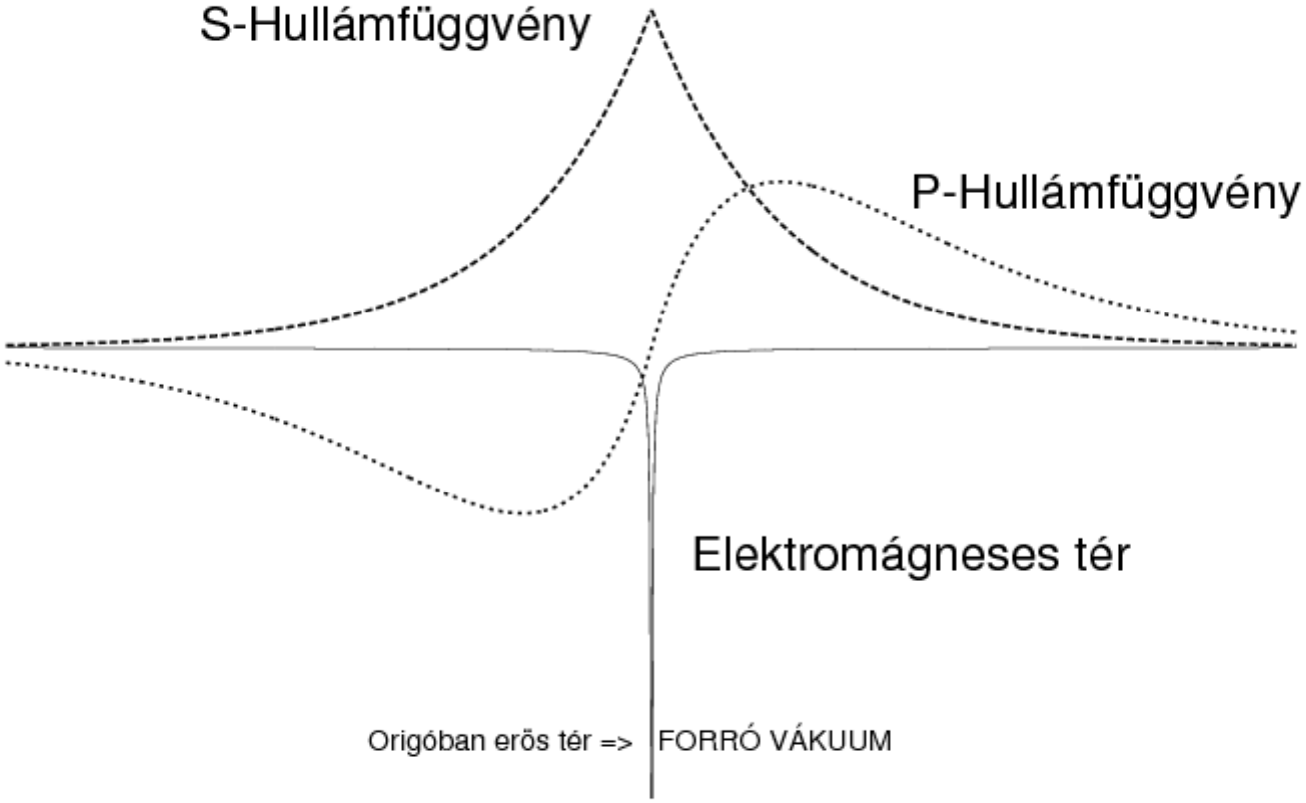
Az ötlet Einstein Nobel-díjas foto-effektusára emlékeztető jelenségre vezethető vissza. A detektor végén levő j) jelű elektródába csapódó H atomok csendesen elnyelődnek, ha alapállapotban vannak, de a gerjesztett 2S1/2 állapotú atomok becsapódáskor a benne levő gerjesztési plusz-energia elég ahhoz, hogy egy elektron foto-effektusszerűen kirepüljön és elérje a k) jelű anódot.

Mivel a wolfram-kályhából folyamatosan jönnek a H atomok, ezért amíg van gerjesztés, addig folyamatosan egy ici-pici áramot tudunk megfigyelni az elektrométeren. Ez felel meg a Stradivari hegedű A-hangra való behangolásának.

Ezután lép elő Lamb-ből a hegedűvirtuóz.
A vonó két részből áll a mikrohullámú f) becsatlakozó és a l)mágnes. A játék lényege, hogy a két nívó között gyors átmenetet tudunk létrehozni, ha mikrohullámú fotonok energiája éppen megegyezik az energia különbséggel.

A mágneses tér szerepe az, hogy ezen nívók helyét a spin és pályamomentumok szerint a Zeeman-effektusnak megfelelően hegedűvirtuózként variálja, ahogy a hegedűs megfelelő pontokra helyezve az ujját a húrokon változtatja a hangmagasságot.

A dallam pedig annak felel meg, hogy hogyan változik a nyugalmi állapothoz képest az elektrométer árama.
Lamb pontosan megmérte az S és P nívók közötti energia-különbséget valamint a mágneses tér és mikrohullám frekvenciájának kombinálásával feltárta az egyes nívók komplett spin és pályamomentum szerkezetét.
Bár a Dirac-elmélet pontosan azonos energiát ad, ugyanakkor pontosan leírja a két energiaszint közötti alapvető különbséget is a hullámfüggvényekben. Az S állapotban az elektron a legnagyobb valószínűséggel az origó közelében helyezkedik el, míg a P állapotban ott éppen zérus ez a valószínűség (2. ábra).
Így az a különleges helyzet áll elő, hogy az elektron mintegy hőmérő működik, és az S-pálya magasabb energiája azt jelzi, hogy a proton közvetlen közelében az 1/r2 törvény következtében igen erős elektromágnes tér miatt „felforr”a vákuum. Ez az a bizonyos **ÚJ jelenség**, amelyet a Dirac-egyenlet nem vett figyelembe, csak a kvantum-térelmélet, amely nemcsak a részecskéket, hanem magát a köztük levő teret is kvantálja, ahol erős a *klasszikus értelemben* vett tér, ott *kvantum értelemben* virtuális fotonok és részecske-antirészecske párok keltése folyik. Ezért szokás ezt második kvantálásnak is nevezni. A virtuális részecskék jelenlétét bizonyítja a Lamb-kísérlet, mint az **első mérés a fizikai vákuum létére** vonatkozóan.


S-Hullámfüggvény
P-Hullámfüggvény
Elektromágneses tér
Origóban erős tér =>
FORRÓ VÁKUUM

Most már Lamb után értjük, hogy van valami a vákuumban, de továbbra is nyitva az a kérdés, hogy mi ez a valami, illetve hozzáférhető-e annak „anyaga” közvetlen kísérletek számára?

Próbáljuk számba venni, hogy egyáltalán milyen alapvető anyagfajtákat ismerünk és mióta?

Természetesen itt az anyag végső alapfajtái érdekelnek, amelyeket mai nyelven leptonoknak, hadronoknak és közvetítő vektor-bozonoknak hívnak.

Meglepő, de az elmúlt több, mint 1OO év alatt mindössze a Becquerel-ék klasszikus a (atommag), b (elektron) és g (foton) sugaraihoz hasonló részecskéket fedeztük fel, és feltártuk részletes tulajdonságaikat.
Ma már tudjuk, hogy az atommagokban a nukleonok (protonok és neutronok) kvarkokból állnak, amelyeket ma pontszerű elemi építőköveknek tekintünk. A kvarkokból álló részecskéket összefoglalóan *hadronoknak* nevezzük.
Az ugyancsak pontszerű elektron társait (neutrinók, müon, tau) is felderítettük, és összefoglalóan *leptonoknak* nevezzük.
Az utóbbi évtizedek legfontosabb részecskefizikai fejleménye a foton partnereinek a Z és W bozonoknak a felfedezése volt. Az elektromágneses és gyenge kölcsonhatásokat egyesítő Weinberg-Salam modell által jósolt részecskéket a CERN-ben Carlo Rubbia kezdeményezésére találták meg.
A Weinberg-Salam modellben azonban ennél több is van! ***Megjósolja a vákuum anyagát!*** A vákuumot egy bizonyos skalár-bozon tér tölti ki, amelynek az elemi állapotai a Higgs-részecskék.

Ezen Higgs-bozonoknak is nevezett részecskék nélkül a Weinberg-Salam elméletet magába foglaló Standard Modell össszeomlana, mert ezek biztosítják, hogy a részecskéknek legyen tömege. Tömeg nélkül nem létezhetnénk, mert akkor minden részecskének állandóan fénysebességgel kellene haladnia

A VÁKUUM ANYAGA

A természetes rádióaktivitás felfedezése óta nem fedeztünk fel semmiféle új anyagfajtát

α - sugárzás: He atommag kvarkokból

β - sugárzás: Elektron nyaláb

γ - sugárzás: Foton nyaláb

HIGGS-BOZON tölti ki az egész teret

Ha nem lenne Higgs, akkor nem lenne tömeg

Hogyan lehet az, hogy - a Lamb-eltolódástól eltekintve - eddig ezt a fizikai vákuumot nem vettük észre?

A valóságban persze ilyen eset még ennél nyilvánvalóbb jelenségek esetén is előfordulhat. Körülbelül ugyan az a helyzet, mint a levegő esetén, ahogy azt a Magyar Tudomány 2OO5. áprilisi számában Mészáros Ernő a „Hogyan fedezték föl a levegőt?” című cikkében részletesen leírja.

„A döntő lépés megtétele a szicíliai Empedoklész (i. e. 484-424) nevéhez fűződik, aki először bizonyította tudományos egzaktsággal, hogy a levegő, ez a láthatatlan anyag, valóban létezik.”

„Empedoklész fejtette ki először azt is, hogy az anyagok négy elemből, levegőből, víz-vízből, földből és tűzből állnak. Ezt a gondolatot az időszámításunk előtti negyedik évszázadban Az égbolt, Meteorológia és A keletkezés és pusztulás című műveiben Arisztotelész (i. e. 384-322) is magáévá tette.”

Ha egy kicsit csavarunk ezen az értelmezésen, akkor azt mondhatjuk, hogy a földet a hadronokkal (a tömeget hordozó az atommagokkal), a vizet a leptonokkal (az atomhéjjal, mint a formálható látható anyaggal) és a tüzet a fotonokkal azonosítjuk, akkor mi most 25OO évvel később, a három látható anyagfajtához keressük a mi LEVEGŐNKET.

Miként a levegő, a Higgs-anyag is csak mélyebb megfontolások alapján válhat számunkra átélhető szemléletes valósággá.
Talán közelebb visz a megértéshez, ha levegő helyett Higgs-óceánról beszélünk, amelyben úgy élünk, mint a hal a vízben.(*Vigyázat, ez csak egy újabb metafora, és nem keverendő össze a fenti víz-lepton metaforával.*)

Valószínűleg a halak számára sem tűnik fel a víz jelenléte, hiszen uszkálás közben nem igazán kell vele törődniük. A halak áramvonalas teste lehetővé teszi, hogy minimális turbulenciát kifejtve látszólag erőlködés mentesen ússzanak. Így ezen kis surlódástól eltekintve azt mondhatjuk, hogy amikor a hal egyenletesen úszik, akkor a fejével széttúrja a vizet, amihez persze energia kell, de amelyet visszanyer, amikor a farka körül visszasimítja a vizet. Így csak ahhoz kell egyszer energiát befektetnie, hogy ezt a fejétől farkáig terjedő áramlást létrehozza. Ez a gyorsuláskor befektett energia persze kis hal esetén kicsi, nagy hal esetén nagy, mivel több vizet kell mozgásba hozni. Azt mondhatjuk, hogy a gyorsítással szembeni erőkifejtés a hal nagyságától függ, így a newtoni értelemben vett tehetetlen tömegnek a mozgásba hozott víz menyisége felel meg.

Hasonló jelenség játszódik le akkor is, amikor az egyes részecskék a Higgs-óceánban mozognak, csak itt a vákuum anyagát kell a mozgásnak megfelelően átrendezni. Vagyis a részecskék tömege itt is a közeggel való kölcsönhatásban realizálódik. A müonnak nagyobb a tömege, mint az elektronnak, mivel jobban belekavar a Higgs-óceánba.

A hasonlat valóban tetszetős, de vissza lehet kérdezni, hogy jó, de csak akkor hiszem el, ha a körülvevő közeget, akkor is meg tudom figyelni közvetlenül, ha nincsen ott másvalami. A vízből ki lehet kanalazni egy adagot, a levegőt cseppfolyósítani lehet és palackba zárni. Úgy tűnik, hogy a Higgs-óceán esetén most jött el a pillanat, amikor az „egy csepp tenger” valósággá válik. A CERN-LHC gyosítónál épített hatalmas CMS és ATLAS detektorok ilyen markoló kanál szerepét játszák, amikor a fizikai vákuum egy darabkáját kicsippentve megpróbálják a Higgs-részecskét kimutatni.

Ha a Lamb-kísérletet a hegedűszólóhoz hasonlítottuk, akkor Higgs-bozon keresésére olyan nagyzenekarra van szükség, amely képes Haendel Teremtés-oratóriumát vagy Beethoven IX. Szimfóniáját eljátszani.

Valóban a szükséges apparátus méretei lenyűgözőek. A forrásként szolgáló LHC gyorsító 27 km-es alagútjával minden szempontból csúcsteljesítményt jelent.

Az ellentétek dialektikus egységeként foghatjuk fel azt a tényt, hogy ez egyszerre lesz a Világegyetem leghidegebb és legmelegebb helye ugyanis az egész szupravezető gyorsító rendszer hőmérséklete 1,8 Kelvin lesz, még a világűré 2,7. (Persze lehet mikroKelvineket is elérni *köbcentikben*, de itt többezer *köbméteres* rendszerről van szó.) Ugyanakkor az ütközés pillanatában olyan hatalmas energiasűrűség lép fel, amelynek megfelelőjét csak az Ősrobbanás legkezdetibb pillanataiban lehetett volna megfigyelni, vagyis azóta nem volt még ilyen meleg a világ egyetlen pontján sem.

Hogy Lamb óta mennyit fejlődött a kísérleti technika az jól mérhető azon, hogy neki mégcsak 100 * 1 000 000 atom közül kellett az S állapotú H atomot kiválasztani, itt viszont

1016 = 1 0 000 * 1 000 000 * 1 000 000

proton-proton ütközés közül kell egy-egy Higgs-bozont kiválasztani.

Az ATLAS és CMS detektorok részleteinek leírásától itt most eltekintünk, csak néhány jellegzetes vonást szeretnék kiemelni. Az informatika központi szerepet játszik abban, hogy egyáltalán valamit láthassunk, hiszen átlagban majdnem minden nanomásodpercben történik egy ütközés. Mivel a detektorok sugara 1O méter nagyságrendű, ezért csak ahhoz több mint 3O nanomásodpercre van szükség, hogy az egyes ütközésekből kirepülő müonok elérjék a detektor szélét (a többi részecske a detektor belsejében elnyelődik). A kísérletek hatalmas térfogata a helytől függő sűrűséggel detektorcellák millióival van kitöltve. A CMS-ben az aktív cellák száma megközelíti a százmilliót, amelyeket másodpercenként legalább egy milliószor meg kell „nézni”, azaz kiolvasni és eldönteni, hogy szükségünk van-e vagy sem az adott ismeretre. Nagyon szigorú válogatásra (ún. triggerre) van szükség, mivel az adatok kis töredékét tárolva is évenként több PetaByte információ gyűlik össze.

Kérdés az, hogy ilyen hatalmas szénakazalban, hogyan ismerjük fel a különlegesen ritka Higgs-tűt?

A főproblémát az jelenti, hogy a Higgs-bozon hihetetlenül rövid ideig él, ezért csak a bomlás termékeiből tudunk a jelenlétére visszakövetkeztetni.

Különösen nehezíti a helyzetet, hogy leginkább kvarkokra szeret bomlani, amelyek azonban szintén nem figyelhetők meg közvetlenül és a másodlagosan keletkező termékek teljesen beleolvadnak a háttérbe, bár itt egy kis segítséget jelent, hogy szeret *b*-kvarkot tartalmazó részecskékre bomlani, amelyek már néhány száz mikronnyi távolságra képesek elrepülni.

Fizikusok hada dolgozik a megfelelő azonosítási módszerek kidolgozásán, de reméljük, hogy az alternatív módszererek előbb eredményre vezetnek.

Ezek azon alapulnak, hogy ritkán, de előfordulnak a Higgs-nek olyan bomlásai is, amikor két foton vagy két Z-bozon repül ki.

A Z-bozonok persze tovább bomlanak, de ha mind a kettő müonokra bomlik, akkor egy különlegesen jellegzetes négy müonos végállapot jön létre, amely a kísérleti fizikusok álma, mert ennél tisztább állapotot nagyon nehéz elképzelni. Úgyis nevezik ezt a bomlási módot, hogy bearanyozott (*gold-plated*).

A CMS kísérlet alapötlete éppen az volt, hogy olyan detektort építsünk, amelyik erre van optimalizálva.

Mivel a müonok akkor ugranak ki a háttérből, ha minden más részecskét megölünk abszorber segítségével, amelyen csak a münok képesek átjutni, ezért minél tömörebb, sűrűbb detektort terveztünk. Innen az elnevezés: Compact Muon Solenoid. Ugyanakkor az óvatosság azt kívánta, hogy több vasat is tartsunk a tűzben, ezért az absorber előtt a világ legpreciziósabb foton detektorát helyeztük el 8O ezer ólomwolfranát egykristályból.

A kétfotonos bomlás akkor válik rendkívül fontossá, ha a Higgs-tömege kisebb, mint két Z-tömeg, ugyanis akkor az energia-megmaradás miatt nem lehetséges a bearanyozott bomlási csatorna. Amilyen szerencsénk van, minden jel arra mutat, hogy valóban ez a helyzet. A legvalószínűbb érték 12O GeV-nél van. Ez bizonyos értelemben még pikánsabbá teszi a helyzetet.

Felmerül ugyanis a kérdés, valóban csak az LHC-n lehet a Higgs-t felfedezni. Vagy esetleg már a LEP-en is megvolt erre a lehetőség? Esetleg befut a FERMILAB, a Chicago melletti FNAL, mint a sötét ló? Kis tömegű Higgs-bozon keltésére elegendő a 2 TeV energiájú gyorsító, ami nekik van, csak az a kérdés, hogy mekkora a keltési hatáskeresztmetszet, vagyis mennyi ideig kell mérni, hogy észlelhető jelet kapjunk. A mérések már több mint 3 éve folynak, de egyelőre nincs eredmény. Viszont amíg az LHC-ból eredmény várható lesz, ez újabb 3 éves előnyt ad számukra.

Megismétlődhet a történelmi helyzet, hogy bár Amerikát a vikingek (FNAL) is felfedezhették, de csak Kolumbusz (LHC) útjáról vannak (lesznek) hiteles adataink. Ugyanis, ha az FNAL-ban sikerülne is kimutatni a Higgs-bozonra utaló eseményeket, az csak elvi jelentőségű lenne, mivel a részletes tanulmányozására mégis csak az LHC-n lesz lehetőség.

Eddig szándékosan csak a fizikai vákuum anyagára, a Higgs-bozonra összpontosítottam, mert az egyszerre jelenti a „standard fizika” betetőzését, csúcspontját. Sarkosan úgy szoktam fogalmazni hogy a Higgs-bozon az SM katedrális kupolájának a sarokköve, záróköve, amely nélkül az egész építmény romba dőlne.

Ugyanakkor ez valami gyökeresen újnak is a kezdete, hiszen egy alapvetően új anyagfajta tárul fel előttünk annak potenciálisan megszámlalhatatlan új lehetőségeivel. Ez csak a jéghegy csúcsa.

Első kérdés: Ha van egy Higgs-bozon, van-e több is? A SM legnépszerűbb kiterjesztése a *Minimálisan Szuperszimmetrikus Standard Modell* (MSSM) elmélet, amely elvileg biztosabb alapokon nyugszik legalább 5 új Higgs-bozont jósol.
Második kérdés: Ha az MSSM igaz, akkor hol vannak az ismert részecskék szuperszimmetrikus párjai? Felfedezésük még izgalmasabb lépést jelentene, mint az anti-részecskék felfedezése, mivel ez úgy kettőzné meg a világot, hogy minden fermionhoz hozzárendelne egy új bozont és fordítva.
Harmadik kérdés: Igazából hány dimenziós a vákuum? Mi a kapcsolat az elemi részecskék kvantummechanikája és a gravitáció között?

Kő András említi Edisonról szóló cikkében:

„Azt tartják, ami létező, azt meg kell mérni, ami mérhetetlen, azt el kell hinni, s ami hihetetlen, azt el kell képzelni.”

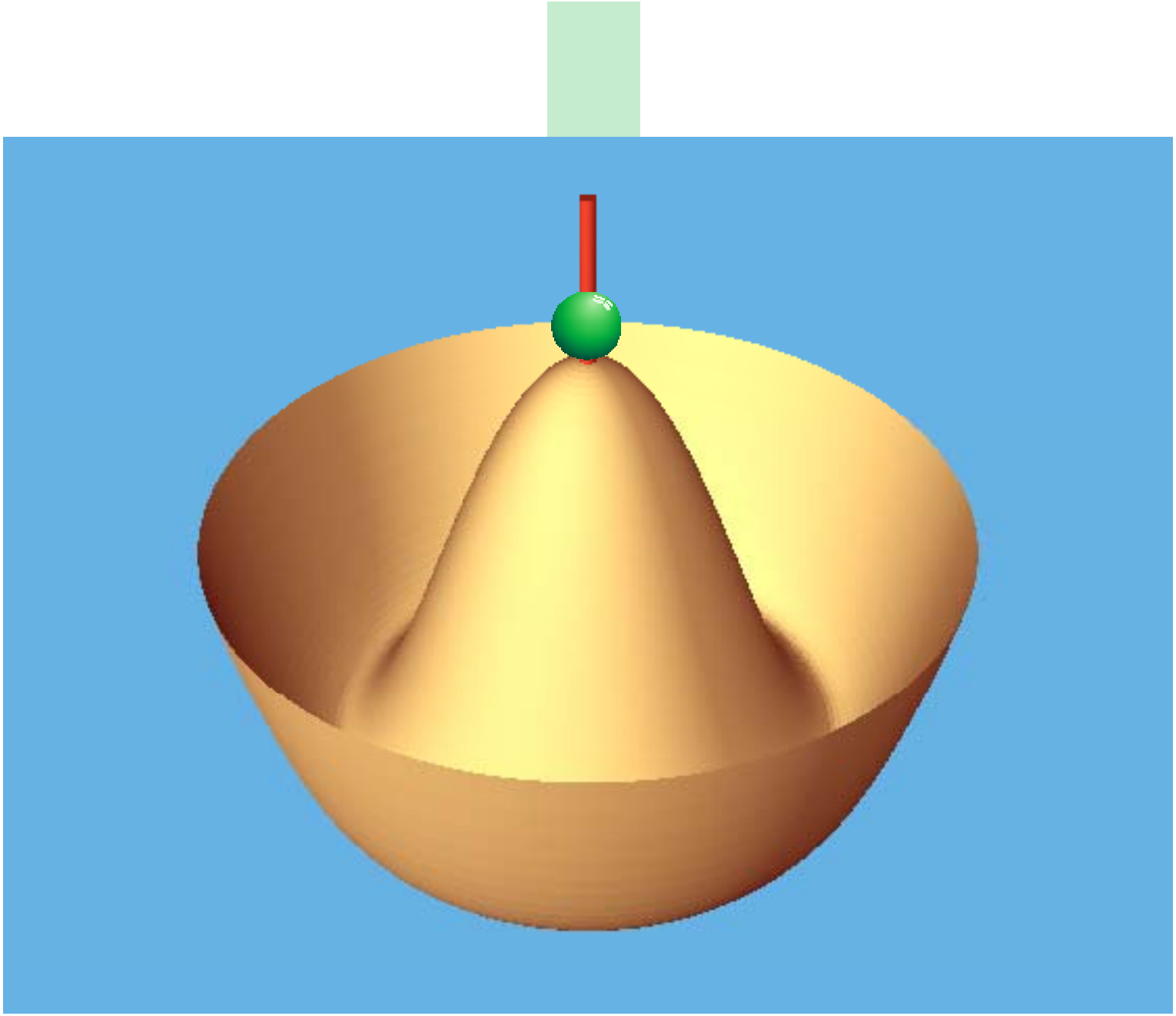
A vákuum anyagának izgalmas történetében talán végre eljutottunk a mérhetőség állapotába, de a további lépésekhez valószínűleg szükség lesz minden képzelőerőnkre.

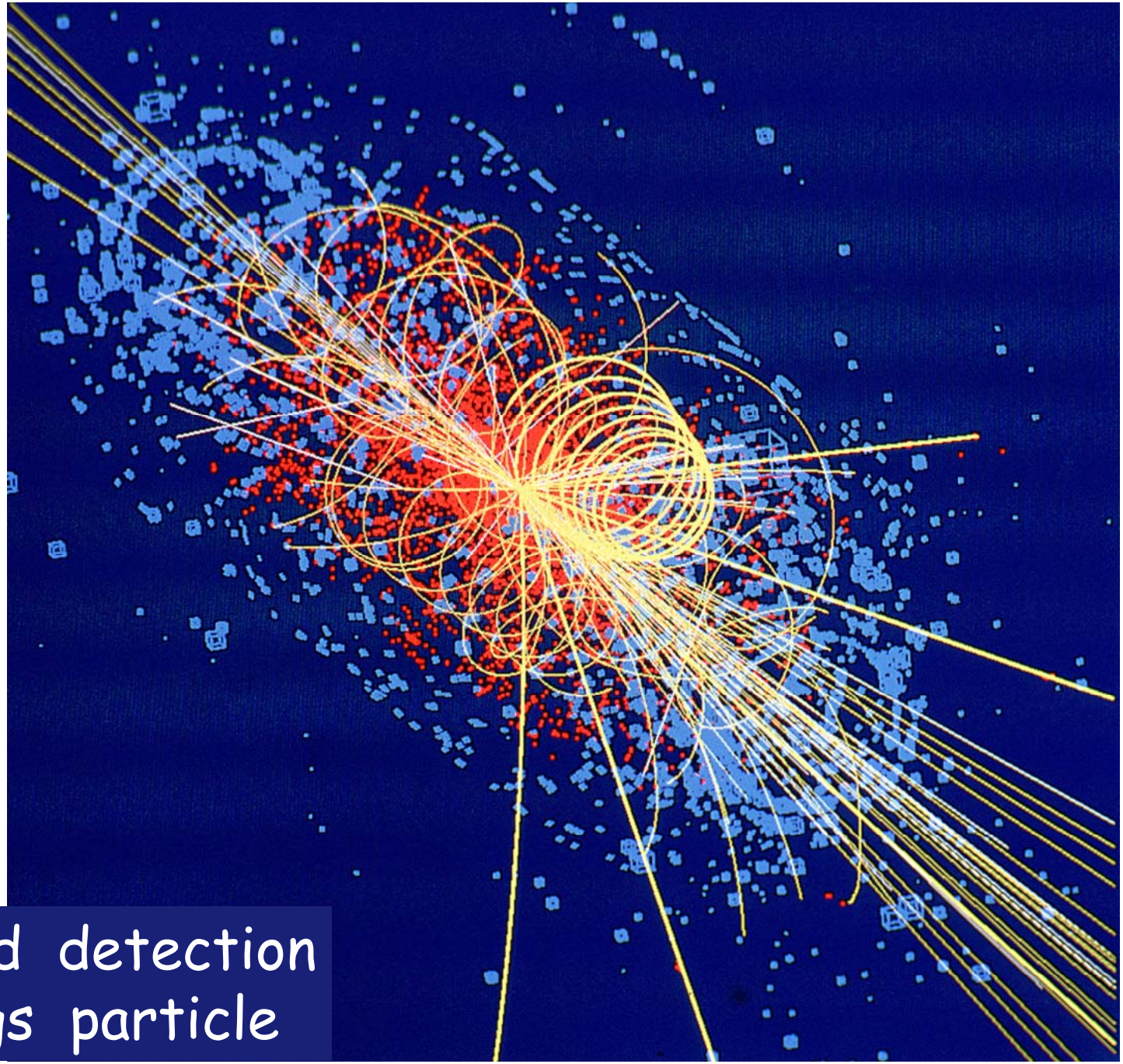
Bár végig azt a benyomást igyekeztem kelti, hogy legalábbis rövid távon nagyon tudjuk, hogy mit akarunk, mi a célunk, de soha sem feledjük, hogy csak „alvajárók” vagyunk, ahogy azt A. Koestler megmutatta Kopernikusz, Kepler és Galilei emblematikus alakjain keresztül.

Minden határozottságunk ellenére Goethe-vel kell egyetértenünk:

„Nie kommt man so weit, wie dann, wenn man nicht weiss, wohin man geht.”

(Az ember akkor juthat a legmesszebbre, amikor nem tudja, hogy hová megy.)





Simulated detection of Higgs particle

the STANDARD MODEL

It describes all fundamental particles of our Universe

As far as we know them at present …

They are controlled by UNIVERSAL laws of physics …

There are (at least) 26 constants of Nature

12 masses, 3 coupling strengths, 11 mixing parameters

Some of these are left – right asymmetric !

And we know that this theory is incomplete …

Why is the universe constructed with this range of seemingly random numbers?

Why do the elementary particles have just the right properties to allow nuclear process to happen, stars to light up, planets to form around stars, and on at least one such planet, life to exist?

In string theory, particle properties are determined by string vibrational patterns.