

A részecskefizika oktatása a CERN sajátkezüleg honlappal

Horváth Árpád
Budapesti Műszaki Főiskola
e-mail: horvath.arpad@szgti.bmf.hu

2004. augusztus 24.

A részecskefizika egy olyan érdekes részét képezi a fizikának, melyben gyakran hallhatunk újabb és újabb, gyakran meglepő eredményekről. A Nobel-díjak közül sok erről a területről kerül ki. Előkerülhetnek alaposabb tárgyalása során a XX. századi fizika eredményei: a tömeg-energia ekvivalencia, a relativisztikus tömegnövekedés, de az Ősrobbanás elmélete is. A részecskefizika standard modellje rendkívüli pontossággal írja le a részecskék világát, maga a modell viszont bonyolult matematikai háttérrel rendelkezik. Ahhoz, hogy a diákokhoz közelhozzuk a részecskék világát, segíthet, ha megmutatjuk nekik, hogyan történik a részecskék vizsgálata. Erre egy nagyszerű lehetőség az immár magyarul is elérhető *CERN sajátkezüleg* honlap, amellyel vázlatos ismereteket kaphatnak a részecskék világról, belekóstolhatnak a CERN-nek, a nagy európai mag- és részecskefizikai kutatóközpontnak a nagy elektron–pozitron ütköztetőgyűrűjén, a LEP-en dolgozó tudósok munkájába, és megmérhetik a részecskék világát leíró *standard modell* egyik alapvető állandóját, az erős kölcsönhatás csatolását. További ismeretek szerzésére pedig felhasználhatják az egyre bővülő nyomtatott és internetes irodalmat, melynek felkutatásához a honlap szintén segítséget nyújt. Jelen írásban az alapfogalmak tisztázása után megismerkedünk a CERN sajátkezüleg honlappal.

Az alapvető kölcsönhatások és a standard modell

Négyféle alapvető kölcsönhatást ismerünk, az erős, az elektromágneses, a gyenge és a gravitációs erőt. Ezek az elemi részek között hatnak közvetítő részecskék kicserélésével. Az elemi részek standard modellje szerint összesen 12 féle elemi (tovább nem bontható) részecske, 6 lepton és 6 kvark van, továbbá minden részecskének létezik az antirészecskéje is. A standard modellről a Fizikai Szemle

1. táblázat. Az alapvető kölcsönhatások, és közvetítő részecskék

kölcsönhatás	közvetítő	tömeg (GeV/c ²)
erős	gluonok	0
elektromágneses	foton	0
gyenge	W ⁺ , W ⁻ , Z ⁰	80, 80, 91
gravitáció	graviton	0

2. táblázat. Az elemi részecskék három családja

1.	2.	3.
<i>u</i>	<i>c</i>	<i>t</i>
<i>d</i>	<i>s</i>	<i>b</i>
<i>e</i>	<i>μ</i>	<i>τ</i>
<i>ν_e</i>	<i>ν_μ</i>	<i>ν_τ</i>

2003 áprilisi számában és a Természet Világa 2000-es Mikrovilág különszámában is részletesen volt szó, ezért itt csak a továbbiakhoz szükséges elemeit emelem ki.

A 2. táblázatban találhatóak, az elemi részecskék, melyeket három családba sorolhatunk. A fenti két sorban találhatóak a kvarkok, az alsó kettőben a leptonok. Az egyes sorokban jobbfelé egyre nehezebb részecskék találhatóak. A hat kvark közül a legkönnyebb kettő, az *u* és a *d* gyakori a természetben, mert ezek építik fel a protont és a neutronot. Kvarkok szabadon nem léteznek, kötött állapotokat hadronoknak nevezzük. A leptonokhoz tartozik az elektron, az elektron két nehezebb társa a müon (*μ*) és a tau-részecske (*τ*), valamint a háromféle neutrínó.

Az erős kölcsönhatás csak a kvarkokra és a belőlük felépülő hadronokra hat, és a gluonok közvetítik (angolul glue = ragasztó). A kölcsönhatás erősségét egy számmal jellemezzük az *erős kölcsönhatás csatolásával*. (Gyakran ezt csatolási állandónak nevezik, de erősen függ a kölcsönható részecskék energiájától, ezért mi a csatolás elnevezést használjuk.)

Kiderült, hogy az elektromágneses és a gyenge kölcsönhatás egységes elmélettel írható le. A gyenge kölcsönhatás csak azért megy végbe ritkábban, mert a közvetítőrészecskéknek tömege van, méghozzá elég nagy. A kölcsönhatást, mely magában foglalja a két kölcsönhatást elektromágneses kölcsönhatásnak nevezzük.

1983-ban a CERN proton–antiproton ütköztetőgyűrűjében fedezték fel a gyenge kölcsönhatás közvetítő részecskéit, a W[±] és Z⁰ bozonokat, amiért *Carlo Rubbia* olasz, és *Simon van der Meer* holland fizikus 1984-ben fizikai Nobel-díjat kapott. A W részecskék tömege 80,4 GeV/c² (80,4 milliárd elektronvolt ener-

gia/fénysebesség négyzet, $E = mc^2$ alapján), a Z részecskéé 91,2 GeV/c², annyi mint a cirkónium atom tömege. Ezek létezését és tömegüket egész pontosan előre megjósolta az elektroyenge kölcsönhatás elmélete.

A nagy elektron–pozitron ütközőgyűrű és a jövő ütköztetői

A nagy elektron–pozitron ütközőgyűrű (LEP = Large Electron–Positron Collider) a CERN legfőbb gyorsítója volt 1989-től 2000-ig, 11 éven keresztül. Egymással szemben gyorsított elektron- és pozitronnyalábokat. Ezek energiáit kezdetben úgy állították be, hogy a gyenge kölcsönhatást közvetítő Z⁰-bozon tömegének megfelelő összenergiával 91 GeV-vel rendelkezzen az ütköző elektron és pozitron. Ezen az energián úgynevezett rezonancia jön létre, jelentősen megnövekedik a Z⁰ keletkezésének valószínűsége. Ennek a bomlástermékeit figyelhetjük meg a LEP detektoraiban. Később az energiát folyamatosan növelték, lehetővé vált a W-pár (W⁻ és W⁺, 161 GeV) majd a Z⁰-pár keltése (184 GeV). Ezek tanulmányozása már nehezebb, mint az egy-Z eseményeké.

A LEP-ben egymással szemben keringenek elektron- és pozitronnyalábok ugyanabban a csőben kicsit eltérő pályán. A LEP gyorsító négy pontján található egy-egy detektor, ahol az egymással szemben keringő elektron- és pozitronnyalábok pályája metszi egymást. Itt van esély rá, hogy elektron és pozitron ütközzék.

Érdemes megemlíteni, hogy töltött részecskék körkörös gyorsításakor elektromágneses sugárzás, úgynevezett szinkrotron sugárzás lép fel. Azonos energián kisebb tömegű részecskék esetén ez sokkal nagyobb veszteséget okoz (a tömegarány negyedik hatványával fordítottan arányosan). A LEP-en elektron gyorsítása esetén körönként 1 GeV veszett el ily módon. Sokkal nagyobb energiák érhetőek el protonok ütköztetésével, az elektron–pozitron ütközés viszont sokkal tisztább folyamat, mint a hadronoké (protoné, antiprotoné), ugyanis a protonban három kvark mellett ott vannak az őket összetartó gluonok valamint rövid időtartamokra megjelenő (úgynevezett virtuális) kvark–antikvark párok, az elektron (pozitron) pedig elemi részecske, nem összetett. Emiatt a hadronütközések elemzése sokkal nehezebb, méréskor általában pontatlanabb értékeket kapunk. A LEP-nél lényegesen nagyobb energiájú körkörös elektronyorsító építése gyakorlatilag lehetetlen a nagy energiaveszteségek miatt. A nagyobb energiák eléréséhez óriási lineáris gyorsítót kell építeni, amely nemzetközi összefogással lehetséges.

Jelenleg a nagy hadronütköztető-gyűrű (LHC = Large Hadron Collider) épül a LEP alagútjában, amely protonokat ütköztet majd protonokkal 7 TeV=7000 GeV energiával protononként.

Az ütközés során keletkező részecskék észlelésére szolgáló detektorok több

rétegből állnak. A belső rétegek vizsgálják a töltött részecskék pályáját. Bennük ismert nagyságú mágneses teret hoznak létre, amelyben az elektromágneses töltéssel rendelkező mozgó részecskékre Lorentz-féle erő hat, amelynek hatására a részecskék pályája az egyenestől eltér. A pálya görbületéből megállapítható az itt áthaladó részecskék lendülete. Ezen kívül található két réteg, amely a részecskék összenergiáját hivatott mérni. Az elektromágneses kaloriméter az elektronokét, pozitronokét és fotonokét, a hadronkaloriméter a kvarkokból felépülő hadronokét. A legkülső réteg fogja fel a müonokat. A keletkezett neutrínók nem hagynak nyomot sehol, rájuk a hiányzó lendületből és energiából következtethetünk.

A CERN sajátkezűleg honlap

A *CERN sajátkezűleg* honlap a *Hands on CERN* honlap angol változatának magyarítása. A fordítás óta az eredeti honlap jelentősen frissült és bővült, több hasznos ábrával és animációval gazdagodott.

A honlap központi része az a JAVA program, amellyel a LEP eseményeit tudjuk vizsgálni: forgatni, nagyítani, berajzoltani az egyes detektorrétegek helyét. A vizsgált események a LEP-nek a DELPHI nevű detektorából származnak. Az ütközésekben a pozitron és az elektron energiája 45,6 GeV, így összenergiájuk megegyezik a Z-bozon nyugalmi energiájával 91,2 GeV-vel, emiatt nagy valószínűséggel ez a részecske keletkezik, amely szinte azonnal tovább bomlik. Négyféle bomlás lehetséges. Keletkezhet ismét elektron–pozitron pár, keletkezhet müon és antimüon, keletkezhet tau-részecske és antitau-részecske, vagy keletkezhet egy kvark–antikvark pár.

Az eseménynézegetőben lényegében ugyanazt az ábrát látjuk, mint a CERN-ben dolgozó fizikusok. Lehetőség van az egyes detektorrétegek határainak megjelenítésére, mellyel könnyebben meg tudjuk határozni a részecskenyom elhelyezkedését, és ezzel a részecsketípust.

Hogyan tudjuk megkülönböztetni a különböző bomlási módokat? A detektor különböző rétegeiben különféle nyomokat hagynak az egyes részecsketípusok.

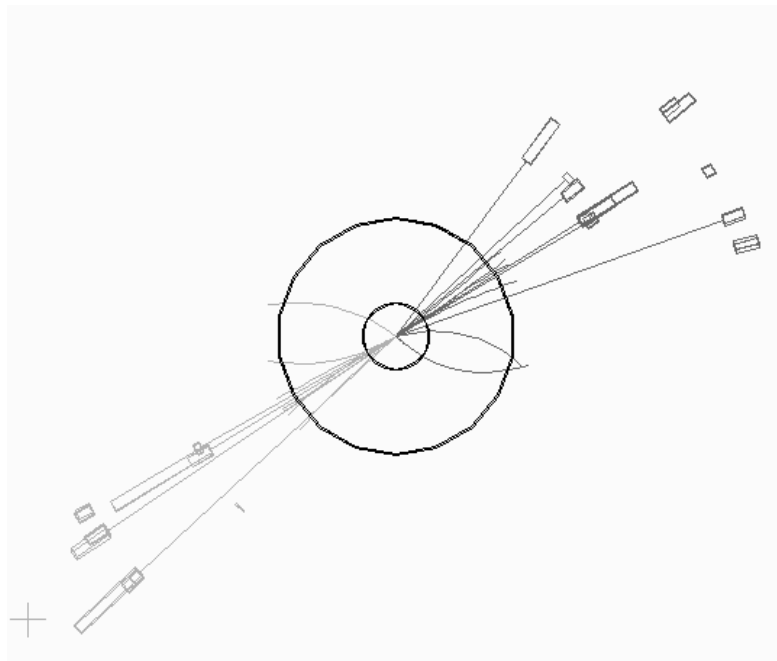
A leptoneseeményeket következőképpen lehet felismerni:

elektroneseemények: két nyom, amely az elektromágneses kaloriméterben (EM-Cal) végződik

müoneseemények: két nyom, amely a müon detektorban (MuDet) végződik

τ (tau)-eseemények: 2, 4 vagy 6 töltött részecske-nyom

A kvarkeseemények során, mindkét kvarkból rengeteg hadron jön létre, a detektorban úgynevezett *jetet* (ejtése dzset) látunk: sok hadron nyomát nagyjából



1. ábra. Egy két-jetes esemény.

egyirányban (nevezhetnénk hadronpázmának is). Leggyakrabban két jet jön létre, ekkor ezek ellentétes irányban haladnak, hiszen a lendület eredője nulla. Egy ilyen eseményre fekete-fehér „inverz” képe látható az 1. ábrán.

Kicsit ritkábban előfordul három-jetes esemény is. Ilyen látható a színes ábrán. Létezése úgy magyarázható, hogy az egyik kvark egy nagy energiájú gluont bocsájt ki, és ez hozza létre a harmadik jetet. A három-jetes események aránya tehát jellemzi az erős kölcsönhatás csatolását. A csatolás meghatározásához meg kell számolnunk a két- és három-jetes események számát, amely egyszerű, hiszen a kiértékelőprogramok szoftverei úgynevezett jetkereső algoritmusokkal megtalálják az egyes jeteket, és a programok különböző színnel jelölik azokat. A programban van egy paraméter, a felbontási paraméter, amely azt jellemzi, hogy „milyen távol” lévő nyomokat tekintsen ugyanahhoz a jethez tartozó nyomnak. Minél nagyobb ez a paraméter, annál nagyobb a valószínűsége, hogy a program közeli jeteket azonosnak vesz, egy három-jetes eseményt két-jetesnek vél. Ez azonban szimulációval pontosan figyelembe vehető.

Mivel véges számú eseményünk van, ezért az eredményt statisztikai hiba is terheli. A mérés és a hibaszámítás részletei a honlapon megtalálhatóak a mérés menüpontban. Emellett a honlapon szerepel a mérés megértéséhez fontos összes ismeret leírása: az elméleti háttér (részecskék, kölcsönhatások), a gyorsítók mű-

ködése és a detektorok felépítése és működése. Sok jó ábra segíti a megértést.

A magyarított honlap az eredetinek nem egyszerű fordítása. A magyar változat tartalmazza az összes Nobel-díjas fizikust, akinek a részecskefizika elméleti vagy kísérleti ágához komolyabb köze van, valamint található benne egy kis alapfogalom-gyűjtemény is.

Jelentősen eltér az angoltól az irodalom és honlapjegyzék, több magyar nyelvű irodalom található benne, mely hasznos olvasmány lehet a középiskolások és tanáraik számára is. Az egyes részecskefizikai kutatóintézetek magyar nyelvű leírását a Wikipédia nevű internetes lexikonban gyűjtöttem össze. Részletes leírás található benne a CERN-ről, a LEP és LHC gyorsítókról, valamint a témánktól távolabb eső neutrínófizikáról is. A Wikipédia egyik előnye egyben hátrány is lehet: bárki, akinek internet elérése van, szerkesztheti. A részecskefizikához kapcsolódó cikkeket rendszeresen figyelem, bővíttem. A bővítéshez szívesen veszek segítséget.

Mérések a fizika világévének keretében

A következő év lesz a fizika éve, a relativitáselmélet megszületésének centenárium. Tavasszal a legtöbb CERN tagországban méréseket végeznek a Hands on CERN programmal. Ezek a mérések a CERN 18 tagországának 80 intézetében zajlanak *2005. március 7. és március 18. között*. Magyarországon Debrecenben és Székesfehérváron lesznek mérések. Szívesen segítek hasonló program megszervezésében más helyszíneken.

Hasznos honlapok

- CERN sajátkezűleg honlap: <http://www.szgti.bmf.hu/fizika/cern-sajatkezuleg>
- A Wikipédia CERN szócikke: <http://hu.wikipedia.org/wiki/CERN>
- A Wikipédia neutrínó szócikke: <http://hu.wikipedia.org/wiki/neutrino>
- A fizika világévének honlapja (WYP): <http://wyp.teilchenphysik.de>