



Mit várunk az LHC részecskegyorsítótól?

Néhány hónapon belül megkezdődnek a kísérletek a világ legnagyobb és legújabb részecskegyorsítójánál a genfi nemzetközi kutatóközpontban, a CERN-ben. Az LHC (nagy hadron ütköztető) berendezés megépítéséhez egy sor műszaki csúcsteljesítményre volt szükség. A fizikusok előtt egy mindeddig feltáratlan világ nyílik meg, az LHC-nél elérhető energiák tartományában korábban sohasem végezhetek vizsgálatokat.

A fizikusoknak természetesen vannak elképzeléseik arról, hogy mire számíthatunk a most megnyíló energiatartományban. A cikksorozat további részeiben bemutatjuk azokat a modelleket, amelyek alapján új elemi részecskék előállítására, megismerésére számítanak. A kísérletek majd kizárják, vagy megerősítik ezeknek a feltételezett részecskéknél a létezését. Fantasztikus, a tudomány határait súroló elképzelésekben sincs hiány, felmerült pl. fekete lyukak létrehozásának vagy időutazásnak a lehetősége is. Néhány év múlva az univerzum születése, az ősrobbanás utáni pillanatok eseményei is létrehozhatók a részecskegyorsítóban.

Az 1940-es évek végén az európai magfizikusok felismerték, hogy ha a magfizikai alap kutatásokban versenyben akarnak maradni az Egyesült Államokkal, akkor ehhez olyan nagy részecskegyorsítókra lesz szükség, amelyeknek a méretei és a költségei meghaladják az egyes országok erejét. Elsőként a francia Louis de Broglie, az 1929. évi fizikai Nobel-díj kitüntetettje fogalmazta meg nyilvánosan ezt a felismerést egy európai kulturális konferencián 1949 decemberében, Lausanne-ban. A tudósok összefogási szándéka támogatásra talált a politikusoknál, akik szívesen segítették a tervet, mint az új (nyugat) európai egység szellemének szimbólumát. 1952 tavaszán 11 ország közös döntésével egy ideiglenes bizottság jött létre, a nukleáris kutatások európai tanácsa, más fordításban az európai atommag-kutatási tanács, francia nevén a Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire. Ennek rövidítése a CERN, máig ez a betűszó a kutatóközpont világszerte ismert neve.

1952-ben fogadták el Svájc felajánlását, a Genf melletti területet a laboratórium számára. 1953-ban tizenkét ország írta alá az alapító okmányt, amely kimondta, hogy nem végeznek katonai célú kutatásokat, a kísérleti és elméleti kutatások eredményeit közzéteszik. Az alapító államok az angol ABC sorrendjében: Belgium, Dánia, Franciaország, az NSZK, Görögország, Olaszország, Hollandia, Norvégia, Svédország, Svájc, az Egyesült Királyság és Jugoszlávia. (Magyarország 1992-ben lett a CERN tagállama, de az intenzív tudományos kapcsolatok már jóval korábban kiépültek. A CERN Council 2008. decemberi ülésén hagyta jóvá Románia tagjelölti státuszát. Románia egy ötéves átmeneti időszak után válik teljes jogú taggá.)

Kiépült a CERN nemzetközi kutatóbázisa, ahol kiváló szakemberek, Nobel-díjas tudósok a modern csúcstechnológia alkalmazásaival sorra építették az egyre nagyobb részecskegyorsítókat. Közben jelentősen fejlődött a számítástechnika, a hatalmas adatmennyiség kezelésére és feldolgozására kiépült számítóközpont mindig a világ egyik legnagyobbika volt. (Itteni szakemberek találták ki később az internetes világháló, a world wide web-et.) 1965-ben fogadták el az ISR (Intersecting Storage Ring – találkozó nyalábos tárológyűrű) részecskegyorsító tervét.

Az építkezéshez a svájci-francia határ francia oldalán bővült közel 40 hektárral az intézet, s így a CERN az első olyan nemzetközi intézménnyé vált, amely nemcsak szellemében, hanem fizikailag is átlépi a nemzeti határokat. 1994 decemberében döntött a CERN a nagy hadron ütköztető (LHC) megépítéséről. Az LHC-et, a régi gyorsító (LEP) helyére telepítették, a LEP-et leszerelték, és földalatti alagútjában építették meg az LHC-t, amelyben 7 + 7 TeV-os protonnyalábok ütköznek.

Az LHC – Large Hadron Collider – *nagy hadron ütköztető* neve először is a berendezés nagy méretére utal: a gyorsítót magába fogadó földalatti alagút kerülete 27 kilométer.

A *hadron* szó a részecskék egy családját jelöli, a gyorsítandó részecskék, a protonok ebbe a családba tartoznak. A hadronok még kisebb egységekből, kvarkokból állnak. Az *ütköztető* a gyorsító típusára utal: két részecskenyaláb kering körpályán egymással szemben, ellentétes irányban, majd a gyorsító négy pontján összeütköznek, ezeken a pontokon zajlanak a tanulmányozandó részecskeátalakulások.

A gyorsítóban közel fénysebességgel száguldanak a részecskék, a fénysebességet természetesen csak megközelíteni tudják. Az LHC-ba más gyorsítókból belépő, előgyorsított részecskék (energiájuk 450 gigaelektronvolt (GeV) és a fénysebesség 0,999997828-szorosával) repülnek. Az LHC-ban tovább gyorsítják őket, energiájuk több mint tizenötszörösére nő, a gyorsítás végén energiájuk már 7000 GeV (7 teraelektronvolt, TeV). Ezzel a sebességgel egy proton 11245 kört tesz meg másodpercenként a 27 km-es pályán.

A nyaláb 10 órát kering a rendszerben, ez alatt a részecskék 10 milliárd kilométert tesznek meg, nagyjából ilyen hosszú egy utazás a Neptunusz bolygóra és vissza!

Mindkét nyalábban 7 TeV energiára tesznek szert a protonok, a két nyaláb ütközésénél tehát 14 TeV energia áll rendelkezésre. Ekkora energiájú folyamatokat még sohasem figyeltek meg laboratóriumban. Ha összeütjük a tenyerünket, akkor az „ütközés” energiája nagyobb lesz, mint az LHC-ban a protonoké, de messze nem olyan koncentrált. A részecskegyorsítóban elért új csúcsergia a hétköznapi életben jelentéktelen. Körülbelül 1 teraelektronvolt mozgási energiája van például egy repülő szúnyognak. Az LHC-ban azonban ez az energia a szúnyognál billiószor (milliószor millió) kisebb térfogatban koncentráldik. Ha nem egyetlen protonnal számolunk, hanem a két teljes nyalábbal, akkor már hétköznapi méreteken is impozáns ütközési energiához jutunk. A maximális energiával ütköző nyalábokhoz hasonló energiát képvisel egy 400 tonnás, 200 km/órás sebességgel mozgó vonat. Ugyanekkora energia elegendő lenne fél tonna réz megolvasztásához.

A gyorsítóban elérhető legnagyobb energiát a körülmények szabják meg. Az LHC egy korábbi gyorsító, a nagy-elektron-pozitron ütköztető (LEP) alagútjában épült meg. Az alagút mérete, a részecskéket körpályára kényszerítő mágnesek erőssége, a részecskéket gyorsító rádiófrekvenciás berendezések méretezése szabja meg az elérhető legnagyobb energiát. Az LHC átlagosan 100 méter mélyen van a felszín alatt. Mélysége a fel-



1. kép

A CERN szupergyorsítója által elfoglalt terület látképe (légifelvétel) a fehér körvonal az LHC 27 km hosszú körgyűrűjét jelöli



2. kép

A szupravezető mágnes szerelése

színi alakzatoktól függően változik, a Jura hegység alatt 175 méter, a Genfi tó közelében pedig csak 50 m. A hatalmas berendezésre hatással van a Hold. Telihold és újhoid idején 25 centiméterrel emelkedik meg a földkéreg Genf környékén. Ez a földmozgás 1 milliméternyi változást idéz elő az LHC 26,6 km-es kerületében. A kerület hosszának, a részecskék pályájának ez a parányi megváltozása elhanyagolhatónak tűnik, de nem az. A kerület megváltozása miatt a nyaláb energiája az ezredrész két tizedével változik meg. Az LHC-ben viszont olyan pontos méréseket végeznek, hogy a nyaláb energiáját az árapály okozta parányi változásnál tízszer pontosabban állítják be.

A CERN-ben, már fél évszázadosnál is hosszabb történelme során, egyre nagyobb energiájú részecskegyorsítókat építettek, ezek többsége ma is működik. Az LHC-ba is több berendezésen áthatolva jutnak el a protonok. Először is a hidrogén atomokat megfosztják elektronjaiktól és a továbbiakban a hidrogén atom magjával, a pozitív töltésű protonnal dolgoznak. A protonok a Linac2 gyorsítóban 50 megaelektronvolt (0,05 GeV) energiára tesznek szert, majd átkerülnek a PS Booster gyorsítóba, ahol 1,4 GeV energiára gyorsítják őket. A következő lépcsőfok a proton szinkrotron (PS), ebből 25 GeV energiával mennek át a szuper-proton-szinkrotronba (SPS), ahonnan már a végállomásra, az LHC-ba érkeznek 450 GeV energiával.

A részecskék akkor tudnak egyre nagyobb sebességre szert tenni, ha útjuk során nem ütköznek akadályba, más atomokba, részecskékbe. Ezért a gyorsítócső egész térfogatában igen nagy légritkítást kell elérni. Az LHC-ban 10^{-13} atmoszféra lesz a légnyomás, vagyis a normál légköri nyomás tízbilliomod része. A műszaki feladat nagyságát mutatja, hogy ezt a fantasztikus légritkítást hatalmas, kb. 6500 köbméter térfogatban kell elérni, ez egy nagy katedrális térfogathoz hasonló nagyság.

A részecskék pályáját összesen 9300 különböző típusú mágnessel alakítják ki. A nagy mágnesek testébe építették be a kisebb, korrekciós célokat szolgáló mágneseket. A legnagyobb mágnesekből, a dipól mágnesekből 1232 darabot építettek be a körpálya mentén. Minden dipól mágnes 14,3 méter hosszú, súlya kb. 35 tonna. Az LHC építésénél ezeknek a dipól mágneseknek a megépítése jelentette a legnagyobb műszaki kihívást. Egy protongyorsítóban adott körpálya mellett az elérhető maximális energia egyenesen arányos a dipól térerősségével. Az LHC-ban szupravezető mágnesekkel hozzák létre a 8,3-8,4 Tesla erősségű mágneses teret, hagyományos megoldásokkal nem lehet ilyen nagy térerősséget létrehozni. (Ez a tér két milliószor erősebb a földmágneses térnél.) A mágnesekben niobium-titán ötvözetből készített kábeleket használnak, ez az anyag az abszolút nulla fölött 10 fokkal, 10 kelvinen válik szupravezetővé, vagyis ellenállás nélkül vezeti az áramot. Egy kábel 6300 darab, egyenként 0,006 mm vastag szálból áll. A szálak tízszer vékonyabbak az emberi hajszálnál! Ha a hajszálnál vékonyabb szálakat képzeletben egymás után kötjük, a magunk után húzott fonállal ötször tehetnénk meg odavissza a Nap-Föld távolságot és még némi fonalunk maradna is. A mágnesekben 11700 amper erősségű áram folyik, ez hozza létre a szupererős mágneses teret.

A mágneseket szuperfolyékony héliummal hűtik 1,8 kelvinre, vagyis $-271,4$ °C-ra. A távoli világűr ennél melegebb, $-270,5$ Celsius-fokos (2,7 K)! A mágnesek folyékony héliumfürdőben ülnek. A hűtőrendszerben 40 ezer szivárgásmentes csatlakozás van. A rendszerben 96 tonna hélium van, ennek 60%-a a mágnesekben, 40% pedig az elosztó- és hűtőrendszerben. Az egész LHC gépezetet (36800 tonna tömeget) több lépésben hűtik le. Az előhűtés során 10 ezer tonna folyékony nitrogénnel 80 kelvint ($-193,2$ °C) érnek el, ezután a héliumot lehűtik 4,5 kelvinre és a mágneseket feltöltik 60 tonna folyékony héliummal. A mágnesek feltöltése után folytatódik a hűtés, lassan mennek le 1,9 kelvinre.

A részecskéket rádiófrekvenciás térrel gyorsítják. A proton nyaláb nem folyamatos, hanem ún. csomagokból áll. Normál üzem esetén minden nyaláb 2808 csomagból áll,

egy-egy csomagban százmilliárd darab proton van. A keringés során változik a részecskecsomagok mérete, tágulnak és összehúzódnak. Az ütközési ponttól távol néhány cm hosszú és 1 milliméter széles a csomag, az ütközési ponthoz közeledve összenyomják a csomagokat, méretük mintegy 16 mikrométerre csökken, így nagyobb valószínűséggel következik be egy proton-proton ütközés. (Egy emberi hajszál kb. 50 mikrométer vastag.) Az LHC-ban 25 nanoszekundumonként (nano – milliárdod rész), vagyis kb. 7 méterenként követik egymást a részecskecsomagok. A két nyaláb találkozásakor a két találkozó csomagban lévő összesen 200 milliárd proton közül mindössze 20 ütközés megy végbe. A csomagok átlagosan másodpercenként 30 milliószor ütköznek, az LHC-ban tehát mintegy 600 millió ütközés következik be másodpercenként.

2008. augusztus 9-én léphetett be első ízben protonnyaláb az LHC-ba. Az előgyorsító rendszer pontos működését már korábban beszabályozták, leellenőrizték. Augusztus elején az LHC „ajtáját kinyitva” az egyik gyűrűbe való belépést tesztelték csak, a részecskecsomag 3 kilométeres utat tett meg az LHC-ban. Szeptember 10-én sikeresen körbevezették a protonnyalábokat mindkét gyűrűben. Hatalmas volt az öröm, mindenki készült a következő fontos próbára, a két szembefutó protonnyaláb ütköztetésére.

Szeptember 19-én azonban hélium szivárgást jeleztek a műszerek az LHC alagútjában. A vizsgálatok azóta feltárták a szivárgáshoz vezető folyamatokat, megkezdték a hibaelhárítást, a helyreállítást. Két mágnes között fellépett rövidzárlat indította el az eseménysort, amelynek végén nagy mennyiségű hélium került ki az alagútba. A lehűtött részeket körülölelő vákuumrendszer biztonsági szelepe nem győzte a hélium kiengedését, nem ekkora anyagmennyiség kibocsátására tervezték. A vákuumtérben kialakult megnövekedett nyomás pedig olyan erőhatást váltott ki, amely eltörte a mágnes alátámasztását, a mágnes elmozdult, újabb másodlagos káresemények indultak be. A javításhoz 39 dipólmágnezt és 14 kvadrupólmágnezt kell a felszínre vinni a 100 méter mélyen fekvő alagútból, ahová majd az átvizsgálások és javítások után ismét visszaszereznek őket.

A mágnesek kiszállítást befejezve, 2009. január elején láttak hozzá a javításokhoz lent az alagútban, február közepére szeretnék ezzel végezni. A mágnesek cseréje március végére zárulhat le. A mágnesek összekötését februárban kezdik meg, május végére végeznek vele. Ezután következnek a nyomáspróbák és a rendszer lassú lehűtése. 2009. június végén indulhatnak meg a gyorsítási próbák.

Jéki László, a fizika tudományok kandidátusa, szakíró

A Naprendszer keletkezése

befejező rész

Aktuális témák

Struktúrák a protoplanetáris korongban. Hibrid modell

A fent vázolt magakkreciós modell az időskála-problémát inkább csak elviselhetővé mérsékli, mintsem megoldja. Ráadásul az az elterjedt nézet, hogy az aszteroidaövből az anyaghiányért a Jupiter hatása felelős, feltételezi, hogy a Jupiter már a kőzetbolygók keletkezésekor a helyén volt, vagyis igen gyorsan kialakult.

A fenti nehézségek hatására az utóbbi évtizedben néhány kutató ismét leporolta a kollapszusos keletkezés ötletét. Elősegítette ezt, hogy a számítógépek fejlődésével lehe-