

NA61/SHINE kísérlet: Az erősen kölcsönható anyag kísérleti vizsgálata

1. Bevezető

A világegyetemben fellelhető alapvető kölcsönhatásokat mai ismereteink szerint alapvetően négy típusba lehet sorolni: a gravitáció, valamint az elektromágneses, a gyenge, és az erős kölcsönhatás. Az erős kölcsönhatás, amely az atommagban és az azt felépítő nukleonokon belül fellépő erőkért felelős. Eme kölcsönhatás ma elfogadott elmélete szerint az erősen kölcsönható anyag elemi részecskéi a kvarkok, köztük a kölcsönhatást pedig gluonoknak nevezett részecskék közvetítik. Normál anyagban (atommagokban) ezek az elemi részecskék nagyobb kötött egységekben, protonok és neutronok formájában vannak jelen (ezeket nevezzük hadron részecskéknek). Az elmélet szerint ha a normál, hadronikus anyagot pl ütköztetéssel kellőképpen felfűtjük, a belső, elemibb kvark-gluon szabadsági fokok is láthatóvá válnak, létrejön egy új fázis, a kvark-gluon plazma (1.Ábra).

2. Kísérleti előzmények

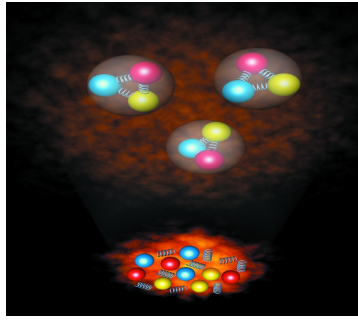
Az eddig elérhető kísérleti eredmények valóban egy fázisátmenet jelenlétére utalnak. Ennek illusztrálására tekintsük meg az erősen kölcsönható anyag fűtési görbéjét. A fűtési görbe megkonstruálásához ismerni kell azt a kísérleti eredményt, hogy relativisztikus atommag-atommag ütközésekben a keletkezett részecskéknek a nyalábirányra merőleges szabadsági fokaiban tárolt kinetikus energia (E_T) eloszlása exponenciális, azaz közelítőleg $\exp(-E_T/T)$ alakú. Egy ilyen exponenciális eloszlást hőmérsékleti eloszlásnak is tekinthetünk, és T meredekségi paraméterét definiálhatjuk a rendszer hőmérsékletének (ez persze csak elnevezés). Elgondolkodtató kísérleti eredmény, hogy különböző tömegközépponti energiákon összeütköztetett erősen kölcsönható anyag (nehéz atommagok) érdekes fűtési görbét mutat: egy szűk tartományon a megfigyelt Kaon részecskék T hőmérséklete egy platóval rendelkezik, míg másutt lineárisan nő (2.Ábra). Ez, és hasonló kísérleti indikációk motiválják, hogy kísérletileg részletesen megvizsgáljuk az erősen kölcsönható anyag viselkedését a várható fázisátalakulási paraméterek környezetében.

3. Az NA61/SHINE kísérlet

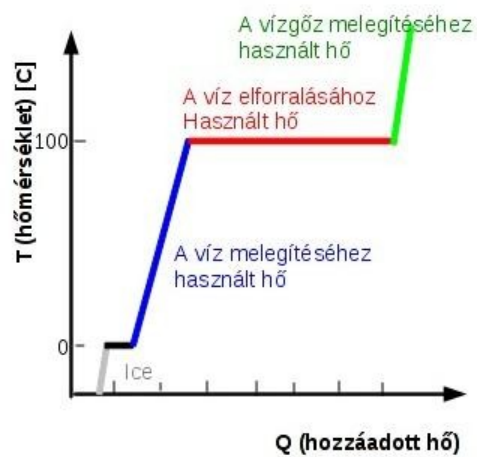
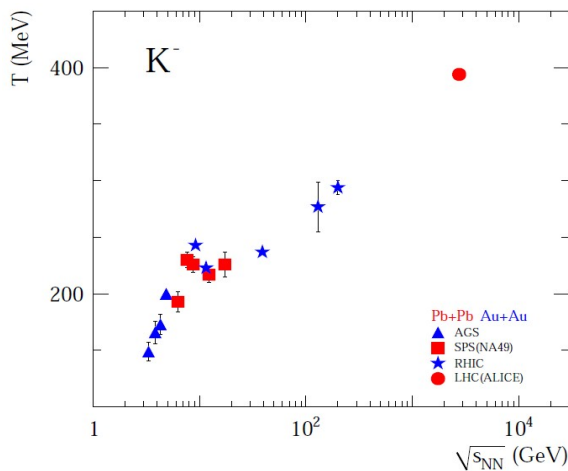
Az NA61/SHINE kísérlet (<http://na61.web.cern.ch>) egy fix-céltárgyas elrendezésű spektrométer a CERN-SPS gyorsítójánál. Elnevezése (NA61) a CERN északi kísérleti telephelyére utal (North Area, 61-es sorszámú kísérlet ezen a helyen), illetve a kísérlet programjában foglalt fizikai témákra (Sps Heavy-Ion and Neutrino Experiment). Az SPS gyorsító segítségével különböző részecskenyalábokat (pion, Kaon, proton) avagy ionnyalábokat (Be, Ar, Xe, Pb) vezethetünk a kísérlet fix céltárgyára, melynek anyaga igénynek megfelelően megválasztható. A spektrométer fő berendezéseit 2db 1.5 Tesla erősségű szupravezető röppálya-hajlító mágnes, valamint 5db 40m³ ösztérfogató nyomdetektáló TPC kamra (Time Projection Chamber) alkotja. Ez az elrendezés a keletkezett részecskék lendületének mérésére alkalmas a mágneses térben való elhajlás alapján (3.Ábra). A gyorsítóból 10-160 GeV / nukleononkénti nyalábot tudunk kapni, mely az elmélet szerint pont jó arra, hogy az erősen kölcsönható anyag fázisátmenetét vizsgáljuk.

A kísérleti program legfőbb része az ütközésenként keletkezett részecskék számának fluktuációk vizsgálata atommag-atommag ütközésekben, az ütközési energia és az atommagok mérete függvényében. Ugyancsak fontos mérési cél a keletkezett részecskék lendület eloszlásának meghatározása proton-atommag ütközésekben, atommag-atommag ütközések jobb megértése céljából: szeretnénk megjósolni hogy miképpen viselkedne egy atommag-atommag ütközés ha nem lenne fázisátmenet.

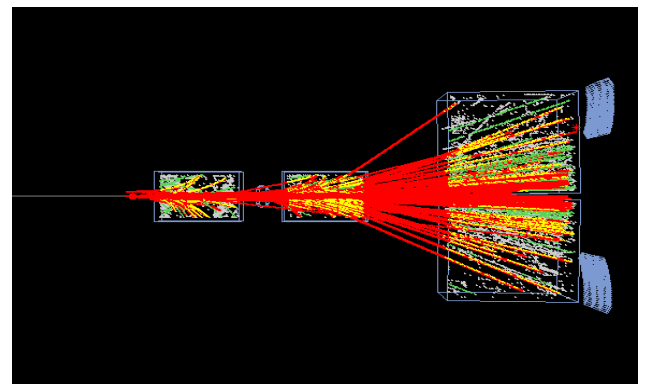
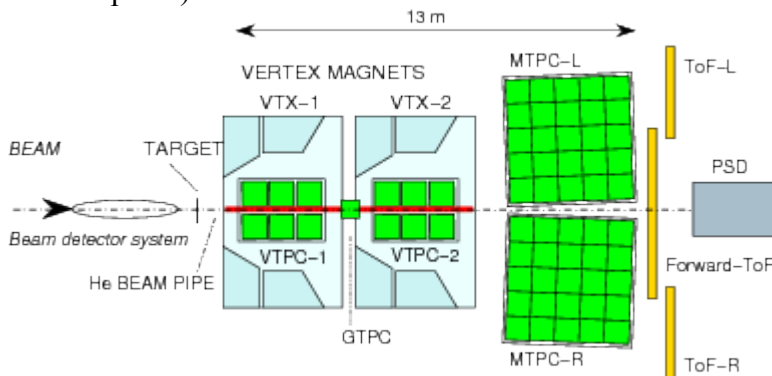
Ábrák:



1.Ábra: Hipotetikus fázisátmenet illusztrációja a hadronikus fázisból (bal oldali panel felső része) a kvark-gluon fázisba (bal oldali panel alsó része). A szokásos, elektromágneses kölcsönhatás dominálta anyagban is számos fázisátmenetet ismerünk, melyek analógiaként szolgálnak (jobb oldali panel).



2.Ábra: A megfigyelt T Kaon-hőmérséklet alakulása nehézion ütközésekben a tömegközépponti energia függvényében (bal oldali panel). Érdekes, fázisátalakulásszerű viselkedést mutat, hasonlóan mint egy megszokott, elektromágneses kölcsönhatás által dominált anyag esetében is megfigyelhetjük (jobb oldali panel).



3.Ábra: Az NA61/SHINE kísérlet sematikus felépítése és egy tipikus ütközés képe. Látható a nyalábvonal, a nyalábdetektorok, a céltárgy, a hajlítómágnesek (VTX-1,2), a részecskenyom-rögzítésre szolgáló időprojekciós kamra rendszer (VTPC-1,2, MTPC-L,R és GTPC), a repülésiidő detektorok (ToF-L,R,F), és a nyaláb útjában álló energia mérő berendezés (PSD).

Magyar részvétel az NA61/SHINE kísérletben

A magyar részvétel az NA61/SHINE kísérletben meghatározó. Résztvevők: Fodor Zoltán, Kiss Tivadar, László András, Márton Krisztina, Sipos Roland, Tölyhi Tamás, Varga Dezső, Vesztergombi György.

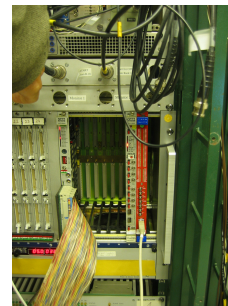
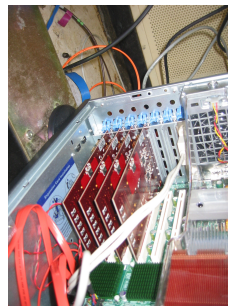
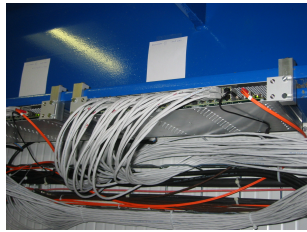
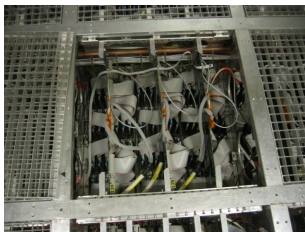
A kísérlet egyik alapját jelentő rendszert, az adatgyűjtő rendszert mi terveztük és készítettük (4.Ábra). A kihívás jelentős: a méréshez másodpercenként kb 100 regisztrált ütközés szükséges, ahol egy ütközés 50MegaByte nyers adatot generál. Az adatméret miatt ezt a mennyiséget még elektronikai szinten feldolgozni és tömöríteni szükséges. Az ehhez szükséges speciális elektronikát a Wigner FK-ban fejlesztettük ki. Felhasználjuk az ALICE kísérlethez fejlesztett speciális adattovábbító elektronikát (DDL) is.

A felvett eseményeket feldolgozó ún. rekonstrukciós szoftver is nagyrészt magyar koordinációval készült. Ennek segítségével nyerjük ki pl a keletkezett részecskék töltését és lendületét a röppálya-elhajlási mintázatokból.

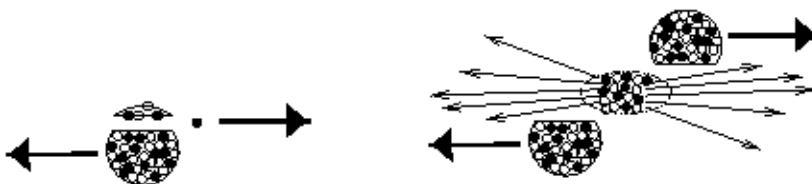
A kísérletben résztvevő magyar csoportot elsősorban az atommag-atommag ütközések modellezése érdekli, proton-atommag ütközések szuperpozíciójaként (5.Ábra). Egy ilyen ütközés-modell arról szolgáltat információt, hogy miképpen zajlana le egy atommag-atommag ütközés ha az anyag hideg maradna, azaz nem válnának láthatóvá az erősen kölcsönható anyag belső szabadságfokai. Ehhez a méréshez szükség van a proton-atommag ütközések centrálisságának mérésére, azaz hogy a nyalábrészecske tömegközéppontja milyen messze ment el a céltárgy atommag középpontjától.

A proton-atommag ütközések centrálisságának méréséhez a REGARD csoporttal együttműködésben készítettünk egy speciális detektort, az LMPD-t (Low Momentum Particle Detector), mely az ütközések centrálisságát az alapján karakterizálja, hogy mennyi lassú proton lökődik ki a céltárgy atommagjából (minél több lassú proton lökődik ki az atommagból, annál centrálisabb az esemény). A lassú protonokat egy a céltárgy-fóliát körülvevő kis TPC kamrával detektáljuk (6.Ábra). A kamrán belül az érzékeny síkok között abszorber rétegek találhatók, melyekben a lassú részecskék megállhatnak. A kamrában hagyott jel intenzitása és az abszorberben mért hatótávolság közös mérése alapján ki tudjuk válogatni az 50-250 MeV/c lendületű lassú protonokat.

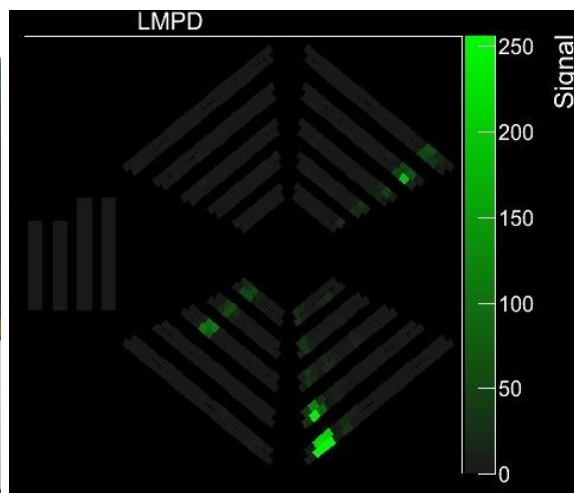
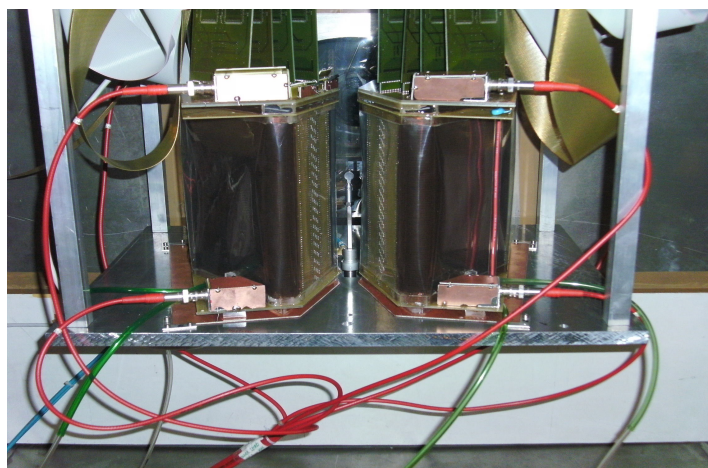
Ábrák:



4.Ábra: A magyar tervezésű és kivitelezésű adatgyűjtő rendszer elemei. A bal oldali panel mutatja az adatgyűjtő lelkét, a MotherBoard-okat, melyek az első szintű feldolgozást és a tömörítést végzik.



5.Ábra: Atommag-atommag ütközések (jobb oldali panel) modellezésének illusztrációja nukleon-atommag ütközések szuperpozíciójával (bal oldali panel). Adott centrálisságú proton-atommag ütközések tulajdonságait megfelelően súlyozva össze kell adni hogy megkapjuk egy hideg atommag-atommag ütközésben várt tulajdonságokat.



6.Ábra: A céltárgy-fóliát körülvevő LMPD detektor, az alacsonyimpulzusú részecskék detektálásához (bal oldali panel): az ólombfólia-céltárgy jól látható az ábra középső részén, a céltárgy tartó rúd végén. Az LMPD detektor eseménykijelzője (jobb oldali panel): jól láthatóak felülnézetből a detektálási rétegek között elhelyezett abszorberekben megálló, véges hatótávolságú részecskék.