

A csillagközeg reakciósebességet növelő hatásának Coulomb-gát miatti visszafogása

A természetben előforduló nehéz kémiai elemek egy jelentős csoportja nagy tömegű csillagokban bekövetkező robbanásos elemszintézis során (például szupernóva- robbanásokban) keletkezik. A folyamatokat részleteiben leíró elméletek több ezer atommagon lejátszódó több tízezer magreakciót tartalmazó reakcióhálózatokat vesznek figyelembe. A hálózatszámítás elvégzéséhez minden egyes magreakció esetében a reakció sebességének az ismerete szükséges az adott csillagkörnyezetre jellemző hőmérsékleten. A reakciósebességek kísérletileg a magreakciók hatáskeresztmetszetének mérésével határozhatók meg, ám a hálózatokban szereplő reakciók közül csak nagyon kevés esetben áll rendelkezésre kísérleti adat. A hálózatszámítások tehát leginkább elméleti úton meghatározott hatáskeresztmetszetekre támaszkodnak, amelyeknek a megbízhatósága kérdéses. A számítások pontosabbá tétele érdekében tehát mindenképpen szükséges a hálózatokban szereplő reakciók intenzív kísérleti vizsgálata.

Laboratóriumi körülmények között azonban nem lehetséges a csillagokban lejátszódó folyamatok pontos megismétlése. Míg a csillagok belsejében a kölcsönható magok termikusan gerjesztett állapotban vannak, a kísérletek során csak alapállapotban levő atommagok kölcsönhatását vizsgálhatjuk. A reakcióhálózat-számításokban ezt a különbséget az úgynevezett „stellar enhancement factor” alkalmazásával veszik figyelembe, ami a csillagban lejátszódó és a laborban mért reakciósebességek hányadosa.

A hálózatszámításokban közvetlen bemenő adatként az exoterm (pozitív Q -értékű) reakciók sebességeit használják, és szükség esetén ezekből származtatják az inverz, endoterm (negatív Q -értékű) reakciók sebességeit is. Ezt az a tény magyarázza, hogy exoterm reakciók esetében a „stellar enhancement factor” általában alacsonyabb, mint az inverz endoterm reakciók esetén, így a számítások numerikus bizonytalansága csökken. Ezért mindeközéig az volt az általános vélemény, hogy kísérletileg is az exoterm reakciók vizsgálata a célszerű.

Az ATOMKI kutatói a $^{85}\text{Rb}(p,n)^{85}\text{Sr}$ reakciónak az intézet gyorsítóján végzett kísérleti vizsgálatával megmutatták, hogy azokban az esetekben, amikor a reakció belépő, illetve a kimenő csatornájában a Coulomb-gát magassága lényegesen eltérő (például neutronok részvétele esetén az egyik csatornában nulla), akkor a Coulomb-elnyomás hatására az endoterm reakció „enhancement factor” értéke lényegesen alacsonyabb lehet, mint az exoterm reakció esetében. Ez a feltétel több, mint 1200 esetben, tipikusan (n,p) és a fordított endoterm (p,n) , illetve (n,α) és a fordított endoterm (α,n) reakciók esetében teljesül, különösen a reakcióhálózatok szempontjából lényeges nehéz magok tartományában. Ez a felismerés rámutat arra, hogy negatív Q -értékű reakció kísérleti vizsgálata is célszerű és szükséges annak érdekében, hogy a nehéz magok keletkezését leíró elméletek további pontosítása váljék lehetővé.

Bell-egyenlőtlenségek kvantummechanikai sértésének határai

A klasszikus fizika szerint egy fizikai rendszer két egymástól elváló részének egyikén végzett mérések eredménye nem függhet a másikon végrehajtott mérésektől. Ebből korlátok vezethetők le a részrendszereken végrehajtott mérések lehetséges kimeneteleinek együttes valószínűségére. A korlátokat kifejező matematikai formulák a Bell-egyenlőtlenségek. A kvantumelmélet szerint a Bell-egyenlőtlenségek sérülhetnek. Ha pedig sérülnek, az kizárja, hogy a statisztikus jellegű kvantumelméleti leírást klasszikus ízlésünknek megfelelő determinisztikus leírássá egészíthessük ki. Az utóbbi időben kiderült, hogy a Bell-egyenlőtlenségek sérülése nemcsak elvi jelentőségű, hanem a kvantuminformatika területén gyakorlati alkalmazásai is lehetnek, például a legbiztonságosabb kvantumkriptográfiai receptek alapját képezi. Ily módon mind elvi, mind gyakorlati szempontból érdekes lehet annak ismerete, milyen mértékben sérülhetnek a Bell-egyenlőtlenségek a kvantumelmélet szerint, és hogy a maximális sértés milyen kvantumrendszerekkel érhető el.

Az összes lehetséges Bell-egyenlőtlenség közül különleges szerepet játszanak az úgynevezett szoros Bell-egyenlőtlenségek, amelyek kijelölik azon halmaz határait, amelyet a mérési kimenetek együttes valószínűségeinek értékei alkotnak. Intézetünk munkatársai megvizsgálták minden olyan ismert szoros Bell-egyenlőtlenséget, amelyben mindkét kísérletező legfeljebb öt-öt kétféle kimenetelű mérés közül választhat. Az ilyen egyenlőtlenségek körét saját módszereikkel maguk is jelentősen bővítették. Numerikus optimalizációval keresték meg azt az állapotot és azokat a mérési elrendezéseket, amelyekkel a legnagyobb sértést lehet elérni. Ezzel a megengedett maximális sértésre alsó korlátot kaptak. Ezután egy mások által javasolt módszerrel felső korlátokat is meghatároztak. Azt találták, hogy az esetek döntő többségére a két korlát azonosnak adódott. Ezekre az egyenlőtlenségekre így módon mind a maximális sértés, mind az ennek eléréséhez szükséges mérési elrendezés ismertté vált.

Az ATOMKI kutatói találtak olyan egyenlőtlenségeket, amelyeknek kvantumkriptográfiai eszközök biztonságának ellenőrzésében lehet hasznuk. Ugyancsak sikerült bizonyítaniuk, hogy a kétrésztevős, két kimenetelű méréseket megengedő Bell-egyenlőtlenségek között is vannak olyanok, amelyek maximális sértéséhez végtelen sok állapotú kvantumrendszer szükséges.