

Asztrofizikai jelentőségű befogási reakciók kísérleti vizsgálata

Válasz

Korpa Csaba

opponensi véleményében feltett kérdéseire

Először is szeretném megköszönni Korpa Csabának dolgozatom elbírálását és az arról kialakított pozitív véleményét. Az alábbiakban a bírálatban megfogalmazott kérdéseire válaszolok.

1. A ${}^7\text{Li}$ galaktikus halo csillagaiban mért gyakorisága mintegy egynegyede annak az értéknek, amit az ősrobbanásos elemszintézis modellek jósolnak. Az egyik fennmaradt, lehetséges magyarázat, hogy a csillagokban a kezdetben jelenlévő lítium egy része megsemmisült. Milyen magfizikai reakciók ismertek, amelyek a lítium eltűnéséhez vezethetnek asztrofizikai objektumokban? Ismertek-e ezen reakciók releváns paraméterei, amelyek alapján kvantitatív becslés lehetséges asztrofizikai jelentőségükről?

Valóban, a ${}^7\text{Li}$ probléma egyik legnagyobb valószínűségű megoldása azon alapul, hogy az ősrobbanásban keletkezett ${}^7\text{Li}$ egy része csillagokban megsemmisül. A legalacsonyabb Coulomb-gát és a csillagokra általában jellemző nagy hidrogén-gyakoriság miatt messze a legfontosabb ${}^7\text{Li}$ pusztító reakció a ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$ folyamat, ami egyébként a hidrogénégés 2. pp-láncának lezáró reakciója is egyben. Mivel ez a reakció az erős kölcsönhatás révén megy végbe, igen nagy a hatáskeresztmetszete. Ennek eredményeképpen például a Nap magjára jellemző hőmérséklet és nyomásviszonyok mellett egy ${}^7\text{Li}$ mag átlagos élettartama igen rövid, mintegy 10 perc. Hidrogénhez viszonyított egyensúlyi koncentrációja több nagyságrenddel alacsonyabb, mint az ősrobbanásra jellemző érték. Kijelenthető tehát, hogy ha a ${}^7\text{Li}$ bekerül egy csillag magjába, akkor gyakorlatilag teljesen megsemmisül. A ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$ reakció hatáskeresztmetszete kísérletileg viszonylag jól ismert, nagyságrendi hiba kizárt, így a teljes megsemmisülés biztonsággal kijelenthető. A kérdés csak az, hogy zajlottak-e le a korai csillagokban olyan folyamatok, melyek a felszíni rétegek és a mag effektív keveredésével jártak.

2. A nehéz, protongazdag izotópok kialakulásában szerepet játszó γ -indukált reakciók kísérleti vizsgálatának nehézségei az inverz, proton és α -részecske befogási reakciók hatáskeresztmetszetének mérését motiválják. Kiválthatják-e teljes mértékben az így kapott laboratóriumi mérések a részletes egyensúly elv felhasználásával a γ -indukált mérésekből származó ismereteket a statisztikus modellekben történő alkalmazásokban?

Egy adott hőmérsékletű plazmában egy reakció és annak inverze sebességei között alapvető fizikai elveken alapuló összefüggés van. Így tehát ha a befogási hatáskeresztmetszetek méréseiből a befogási reakció sebességét kiszámítjuk, akkor ebből

egyértelműen adódik a γ -indukált reakció sebessége is. Tehát a γ -indukált reakciók közvetlen kísérleti vizsgálatát akkor válthatják ki teljesen a befogási reakció vizsgálatok, ha a mért hatáskeresztmetszet-adatokból megbízható befogási reakció sebességeket tudunk származtatni. Ehhez sajnos nem kerülhető el elméleti megfontolások figyelembe vétele egyrészt az alacsony energiás extrapoláció, másrészt a dolgozatban említett stellar enhancement factor miatt. Ez utóbbi azt veszi figyelembe, hogy magas hőmérsékleten a magok nem csak alapállapotban, hanem termikus gerjesztés miatt gerjesztett állapotban is megtalálhatók. A csillagban tehát gerjesztett állapotú magokon is lejátszódhatnak reakciók, míg a laboratóriumi mérésekben a mag mindig alapállapotban van. A kettő közötti különbséget veszi figyelembe a csak elméleti úton származtatható stellar enhancement factor. Ez a tényező sokkal jelentősebb γ -indukált reakciók, mint befogási reakciók esetén, így a befogási reakciók mérésével közvetlenebb információhoz juthatunk.

Az asztrofizikai folyamat szempontjából tehát a befogási reakciók mérése kiválthatja a γ -indukált reakciók közvetlen kísérleti vizsgálatát. Nem fölösleges azonban a γ -indukált reakciók hatáskeresztmetszetének mérése sem, ugyanis adott esetben ez fontos magfizikai információt adhat. A statisztikus modellekhez szükség van bemenő paraméterekre, mint például az adott magra jellemző gamma-erősség függvény. Ez adott esetben jól vizsgálható γ -indukált reakciók tanulmányozása révén.

3. Melyek azok a γ -indukált, vagy inverz befogási reakciók, vagy azokban szerepet játszó izotópok, amelyek paramétereinek ismerete különösen fontos lenne a p-folyamat további pontosításához és kísérleti vizsgálatuk is reálisnak tekinthető a rendelkezésre álló kísérleti eszközökkel?

A p-folyamat szempontjából egy reakció fontossága leginkább azzal mérhető, hogy az adott reakció sebességének megváltoztatása mennyire befolyásolja a p-folyamat modellszámítás eredményeként nyert izotópgyakoriságokat. Több reakcióhálózat-számítást végeztek azzal a céllal, hogy rámutassanak ezekre a fontosabb reakciókra. Ilyen munkákra utal a dolgozatban az [53]-as és [54]-es hivatkozás. A vizsgálandó reakciók kiválasztásánál természetesen igyekszünk az ezekben a munkákban megjelölt fontos reakciókra koncentrálni. Figyelembe kell azonban venni a kísérleti feltételeket, például az aktivációs technika alkalmazásának a lehetőségét is. A dolgozatban bemutatott több reakciót (például a $^{106}\text{Cd}(\alpha,\gamma)^{110}\text{Sn}$ vagy a $^{130}\text{Ba}(\alpha,\gamma)^{134}\text{Ce}$) is ezek alapján választottuk ki. A munkát természetesen a dolgozat megírását követően is folytatjuk, a modellszámítások által javasoltak közül jelenleg folyamatban van például alfa-befogási hatáskeresztmetszetek mérése ^{124}Xe és ^{162}Er magokon.

Debrecen, 2013.10.02.

Gyürky György