

Tanulmányoztuk a csillagokbeli szén- és oxigéntermelés 3-alfa-rátától való függését. A C-12 magbeli $0+_{2}$ állapot energiáját változtatva meghatároztuk a kis-, közepes- és nagytömegű csillagokban termelődött szén és oxigén mennyiségét. A hozamokat olyan modern csillagevolúciós szimulációkból nyertük, amelyek a nagytömegű csillagok teljes evolúcióját végigkövetik, beleértve a szupernovarobbanást is, illetve részletesen figyelembe veszik a könnyű és közbelső tömegű csillagok pulzáló aszimptotikus óriáság-állapotában bekövetkező feláramlási (dredge-up) folyamatokat. Eredményeink azt mutatják, hogy a nagytömegű csillagokbeli szén- és oxigéntermelés erősen függ a kezdeti tömegtől, és alapvető fontosságú a teljes evolúciós folyamat végigkövetése. Új modellünk szerint a kis és közepes tömegű csillagokban jelentős széntermelés zajlik a héliumhéj-felvillanások időszakában. Ez a korábbi eredményeinkhez képest, ahol csak nyugodt-fázisú héliumégés volt jelen, jelentősen csökkentette a szén- és oxigén-hozamoknak a 3-alfa-rátától való függését. Például úgy tűnik, hogy a közepes csillagokbeli széntermelés hozamának a C-12 magbeli $0+_{2}$ állapot valódi helyénél maximuma van. Eredményeinknek számos alkalmazása lehetséges. A finomszerkezeti állandónak a közelmúltban megfigyelt kozmológiai léptékű változása azt eredményezi, hogy a C-12 atommag $0+_{2}$ energiaszintjének helye időben változik. Ez a fentiek szerinti izotóparány-eltolódáshoz vezet. Ennek eredményeként például módosulhattak a korai, fémben szegény csillagok által létrehozott gázfelhők izotóparányai, illetve a kozmológiai távolságmérésben használt Ia-típusú szupernovák szén-oxigén törzse, és így fényessége.

Magfizikai rendszerek érzékenységét vizsgáltuk az alapvető fizikai állandók változására. A primordiális nukleosintézis egyik kulcs-reakciója, a $d(t,\alpha)n$ folyamat személyében sikerült azonosítani egy olyan folyamatot, amelynek a hatáskeresztmetszete rendkívül érzékeny lehet az alapvető fizikai állandók esetleges változásaira. Ez a reakció egy kétsatornás szórásban megjelenő úgynevezett árnyékpóluson keresztül zajlik le. Számításaink azt mutatják, hogy a pólus pozíciója nagyon érzékeny az erős kölcsönhatás csatolási állandójának a változására. Az elemgyakoróságok érzékenységének felderítése céljából kifejlesztettünk egy primordiális nukleosintézist modellező programot, és vizsgáltuk a keletkező elemgyakoróságok fizikai konstansoktól való függését. Megállapítottuk, hogy a kvarktömegek változására a Li-7 gyakorisága a leginkább érzékeny, ami esetleg oka lehet a megfigyelt primordiális litium anomáliának. A primordiális magreakcióknak az erős kölcsönhatás csatolási állandójától való függését vizsgálva azt találtuk, hogy a kritikus $d(t,\alpha)n$ reakcióbeli rezonancia pozíciójára a vártnál sokkal kevésbé érzékenyek a gyakoriságok. Ez igen meglepő eredmény, aminek az eredete a nukleáris reakcióhálózatbeli erős visszacsatolási hatásokra vezethető vissza. Megmutattuk, hogy a meglévő modellek tévesen kezelik a reakciónak az elemgyakoróságokra gyakorolt hatását, mivel nem veszik figyelembe a He-5 atommag alapállapotának illetve a kérdéses rezonanciaállapotának alapvetően eltérő szerkezetét. A big-bang nukleosintézissel kapcsolatos vizsgálatainkból egy diplomamunka is született.

A nukleosintézisben szerzett tapasztalatainkat egy érdekes részecskefizikai probléma tanulmányozásában is felhasználtuk. Az erősen kölcsönható rendszerek fundamentális tárgyalásának egyik próbaköve a deuteron atommag nem-perturbatív leírása QCD-ben. A modellszámításoknak egyszerre kellene reprodukálni a nukleon és mezontömegeket. Kérdés, hogy a deuteron kötési energiája mennyire érzékeny ezekre a mennyiségekre. Vizsgálataink szerint a deuteron energiája körülbelül ugyanolyan mértékben érzékeny a két tömegre, de ellenkező előjellel. Mivel a rács-szimulációkban a nukleontömeg sokkal kevésbé érzékeny a kvarktömegekre mint a piontömeg, ezért a piontömeg reprodukálásának mintegy 20%-os hibája már nem-kötött deuteronhoz vezetne. Eredményeink alapján sikerült azonosítani a probléma egyik legfontosabb aspektusát.

Résztvettünk egy magnetohidrodinamikai szimulációs szoftver (SWMF - Space Weather Modeling Framework) fejlesztésében, amely egy csillag mágneses terének a környező anyaggal való kölcsönhatását kívánja modellezni. Az SWMF jelenleg kilenc fizikai modellt kapcsol össze, amelyek önmagukban is igen bonyolultak, összekapcsolásuk pedig komoly kihívás volt. A szimulációt egy SGI Altix gép 256 processzorán valós időnél gyorsabban sikerült futtatnunk, ami igazi áttörést jelent.

Vizsgáltuk a Sunyaev-Zeldovich effektuson alapuló, a galaxishalmazokban várt lökéshullámok kimutathatóságát. A galaxisok kialakulásának és fejlődésének vizsgálatához szükséges a galaxis-halmazok megfigyelésekkel való nyomonkövetése, a bennük található teljes anyagmennyiség kimutatása. Mivel a galaxis-térképek csak az anyageloszlás azon csúcsait mutatják ki, ahol az anyag sűrűsége elegendően nagy volt a galaxisok kialakulásához, ezért így nem érzékelik a kevésbé sűrű, de számottevő gázkomponenst. A teljes tömeg kimutatása a halmazok Röntgensugárzása, vagy a Sunyaev-Zeldovich effektus segítségével lehetséges, hiszen ezek a mérések a teljes anyagtömegre érzékenyek. Ebben a munkánkban azt mutattuk meg, hogy kellően érzékeny és kellően nagyfelbontású detektorok (ilyenek épülnek jelenleg) segítségével a klaszterek mérete is észlelhető, mert a szélükön várt lökéshullám elegendően erős jelet ad majd a képeken.

A galaxisok a fejlődésük során egymással ütköznek és összeolvadnak. A galaxisfejlődés szempontjából fontos folyamat (összeolvadás) a gravitációs hullámok segítségével detektálható. Kiszámoltuk, hogy a galaxisok összedolvasásakor a magban található fekete lyukak összeolvadása olyan gravitációs hullámot kelt, amelyet a most működésbe álló detektorok képesek érzékelni. Megbecsültük, hogy az összeolvadó magok optikai megfelelője is megtalálható a gravitációs hullámok detektálása nyomán, mert a hullám-detektorok kellően pontosan megadják, hogy milyen távolságból és milyen irányból érkezett a hullám.