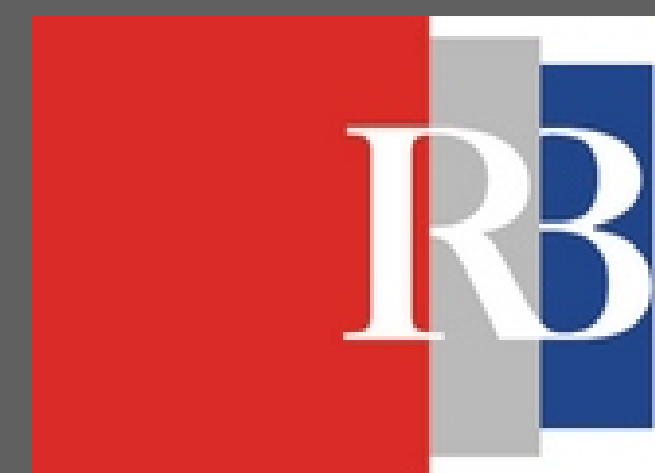


ATOMSKE JEZGRE U POVIJESTI SVEMIRA

Deša Jelavić Malenica, Tea Mijatović, Lovro Prepolec

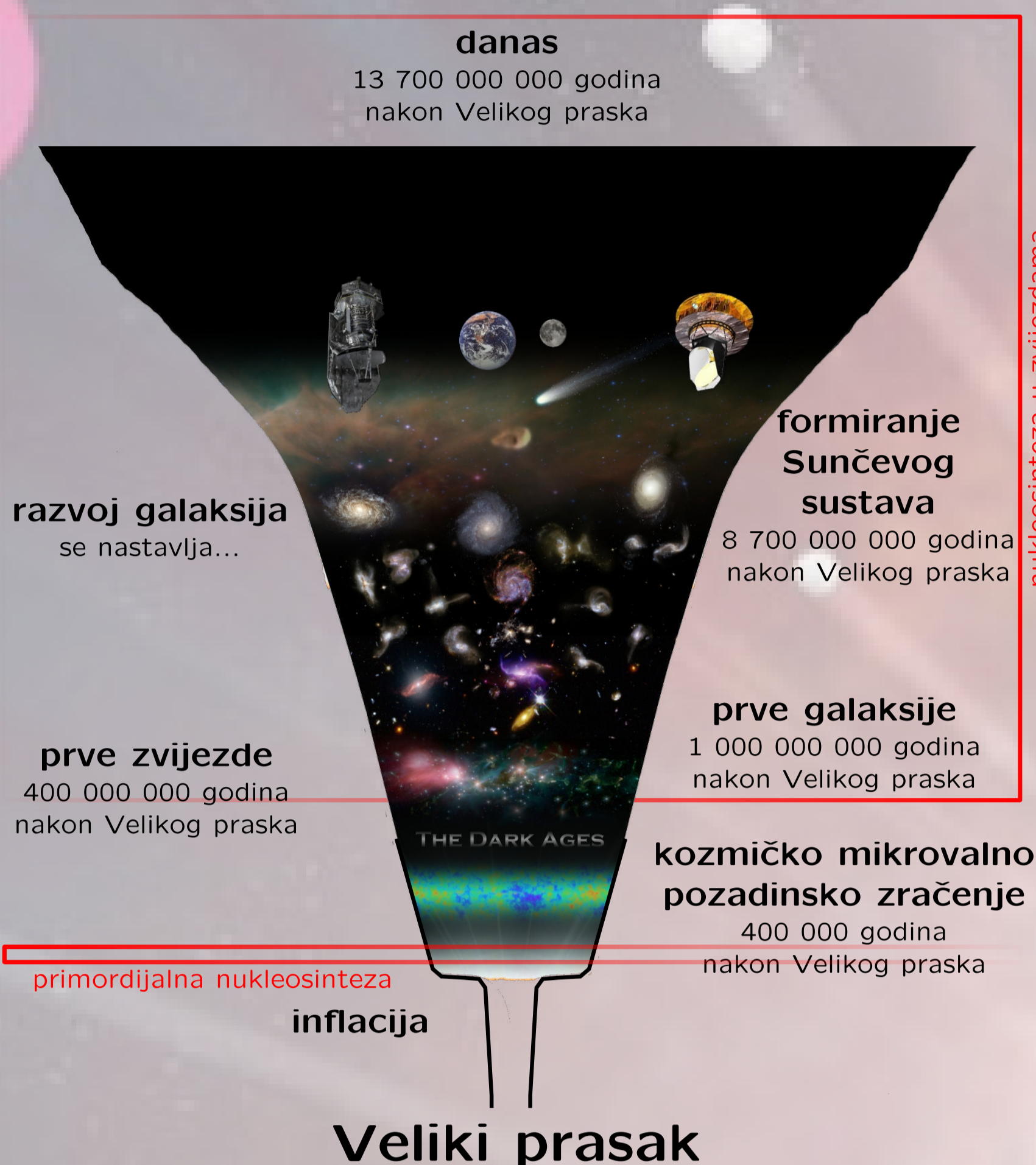
Laboratorij za nuklearnu fiziku, Zavod za eksperimentalnu fiziku



SVEMIR OD BIG BANGA DO IRB-a

uvod

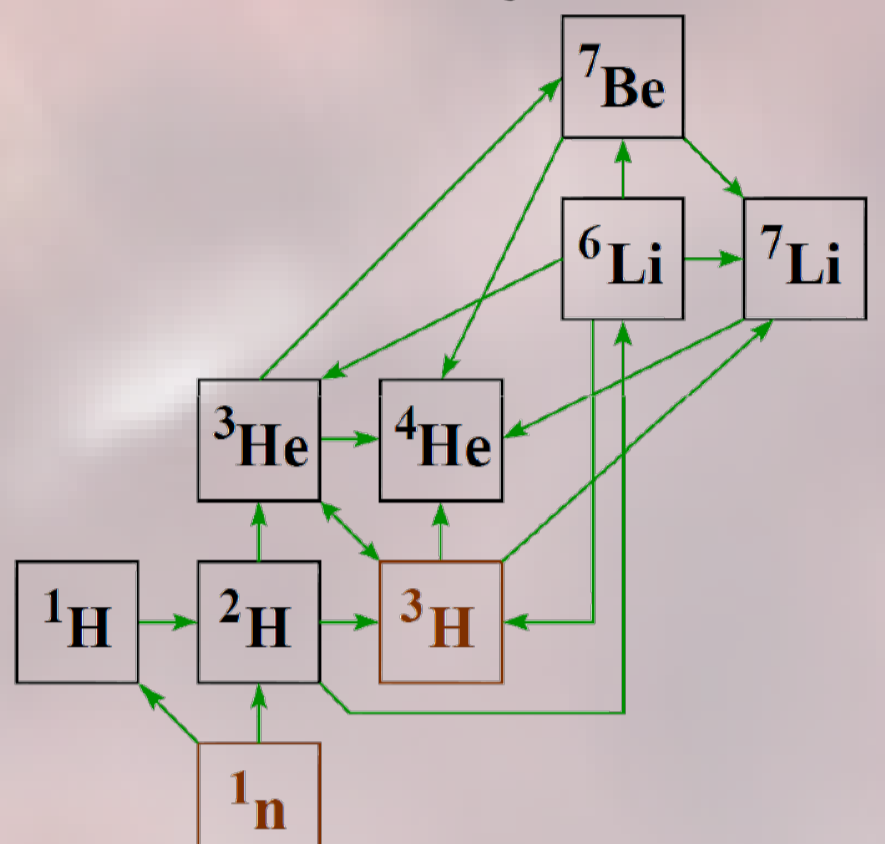
povijest svemira (u jednoj slici)



prvotna nukleosinteza

- nakon samo **1 min.** od Velikog praska svemir je bio odgovarajuće temperature i gustoće da započne stvaranje prvih elemenata

- cijeli je svemir bio **vrlo vruć** (1 000 000 000 K) i ispunjen **protonima** i **neutronima** koji su stupali u nuklearne reakcije



- u petnaestak minuta određen je sastav ranog svemira (maseni udjeli):
75% ¹H, 25% ⁴He i u tragovima izotopi do ⁷Li

- nakon približno **četvrt sata** nuklearne reakcije prestaju i nema stvaranja novih elemenata **sljedećih 400 milijuna godina**

nukleosinteza u zvijezdama

- **rani** je svemir ispunjen **oblacima plina**, koji se zgušnjavaju pod utjecajem gravitacijskog privlačenja

- porast mase se zaustavlja kada se temperatura, tlak i gustoća u središtu oblaka dovoljno povećaju, dolazi do nuklearnih reakcija i **rađa se nova zvijezda**

- **prve zvijezde** nastaju oko 400 000 000 godina nakon velikog praska

- svi kemijski elementi teži od Li nastali su u zvijezdama

- naše nam Sunce trenutno daje energiju **fuzijom vodika u helij** (pp lanac)

- što su zvijezde masivnije, to će teže elemente moći proizvesti u svojoj unutrašnjosti, ali i živjeti kraće

- u **unutrašnjosti** se zvijezda mogu proizvesti elementi **do Fe**

- **vrlo masivne zvijezde** na kraju svojeg ciklusa u **eksploziji supernove** stvaraju mnoštvo elemenata **težih od Fe** i raspršuju ih u svemir

- nuklearni procesi u zvijezdama i drugim astrofizičkim objektima predmet su intenzivnog proučavanja

atomska jezgra (izvana i iznutra)

- atomsku jezgru otkrio **Ernest Rutherford** prije točno **sto godina**

- jezgra je vrlo mala (10^{-15} m), **10 tisuća puta** manja od atoma (10^{-10} m)

- u njoj leži gotovo **sva masa** atoma

- **otkriće neutrona** (James Chadwick 1932. g.) omogućilo je početak moderne nuklearne fizike

- protoni i neutroni su građeni od još manjih čestica (kvarkova)

- **tri temeljne sile** određuju stabilnost i strukturu jezgre, kao i reakcije među njima (jaka, slaba i elektromagnetska sila)

- zato su **jezgre vrlo složeni kvantni mnogočestični sustavi**

- do danas je otkriveno **oko 3 000 jezgara**

- svaka jezgra ima svoj **spektar**, slično kao i atom

- **spektar jezgre** nam daje **uvid u njenu strukturu**

- bolje **razumijevanje** svake **pojedine jezgre** upotpunjava **znanje o svim jezgrama** i razumijevanje **nuklearne sile**

rezultati

Mjerenje reakcije CNO ciklusa ¹⁴N(p,γ)¹⁵O

Tko?

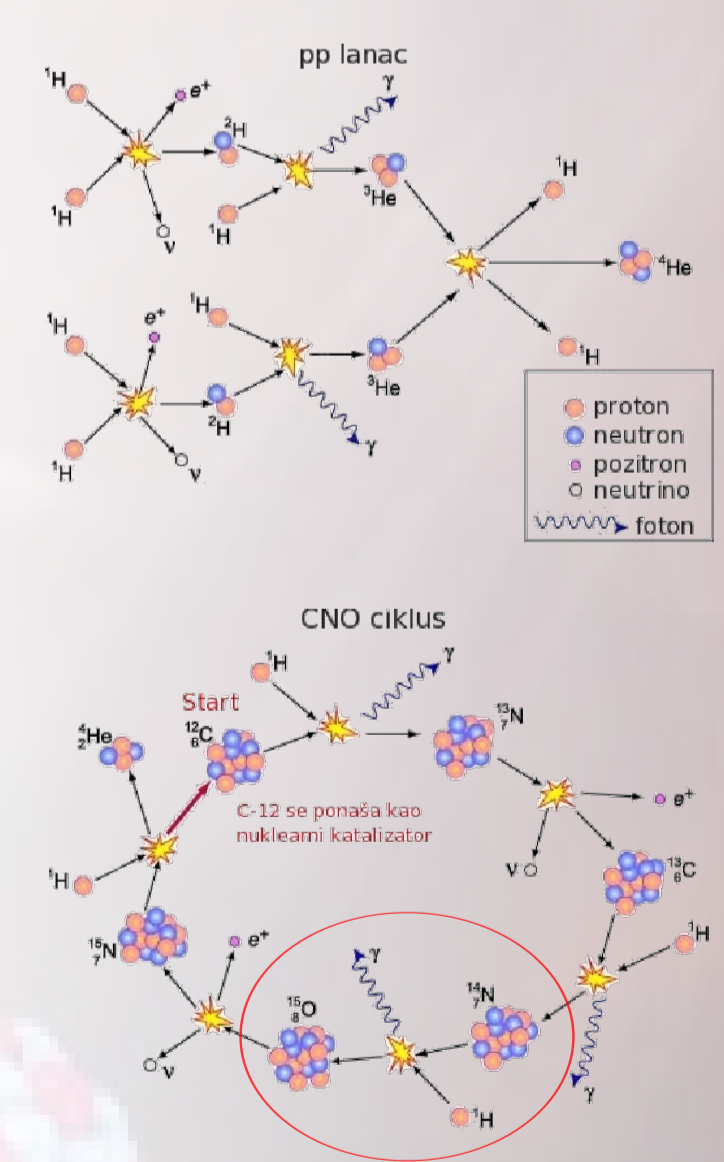
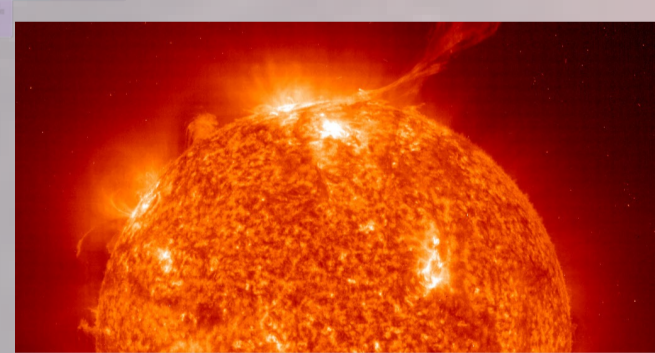
C. Michelagnoli¹, D. Bemmerer², R. Depalo^{3,4}, E. Farnea¹, R. Menegazzo¹, T. Mijatović⁵, C.A. Ur¹, i kolaboracija AGATA

¹INFN Sezione di Padova, Italy
²Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Germany
³Dipartimento di Astronomia, Università degli studi di Padova, Italy
⁴Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

Uvod

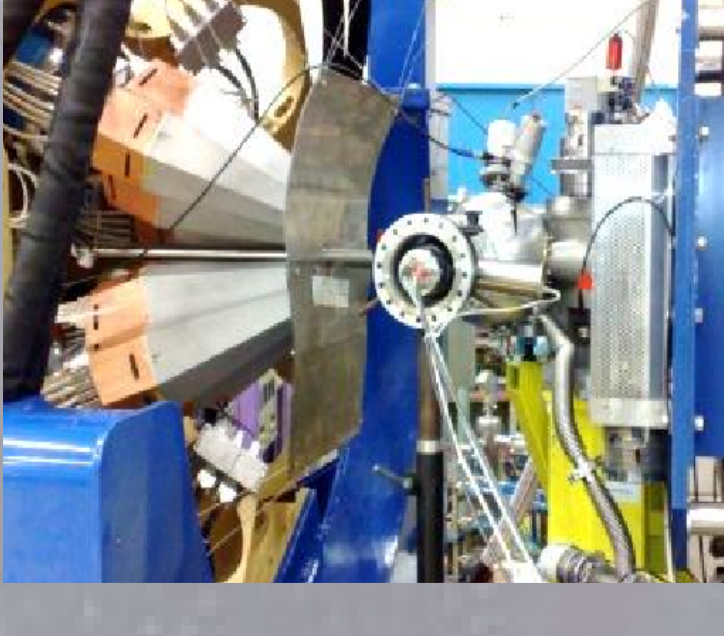
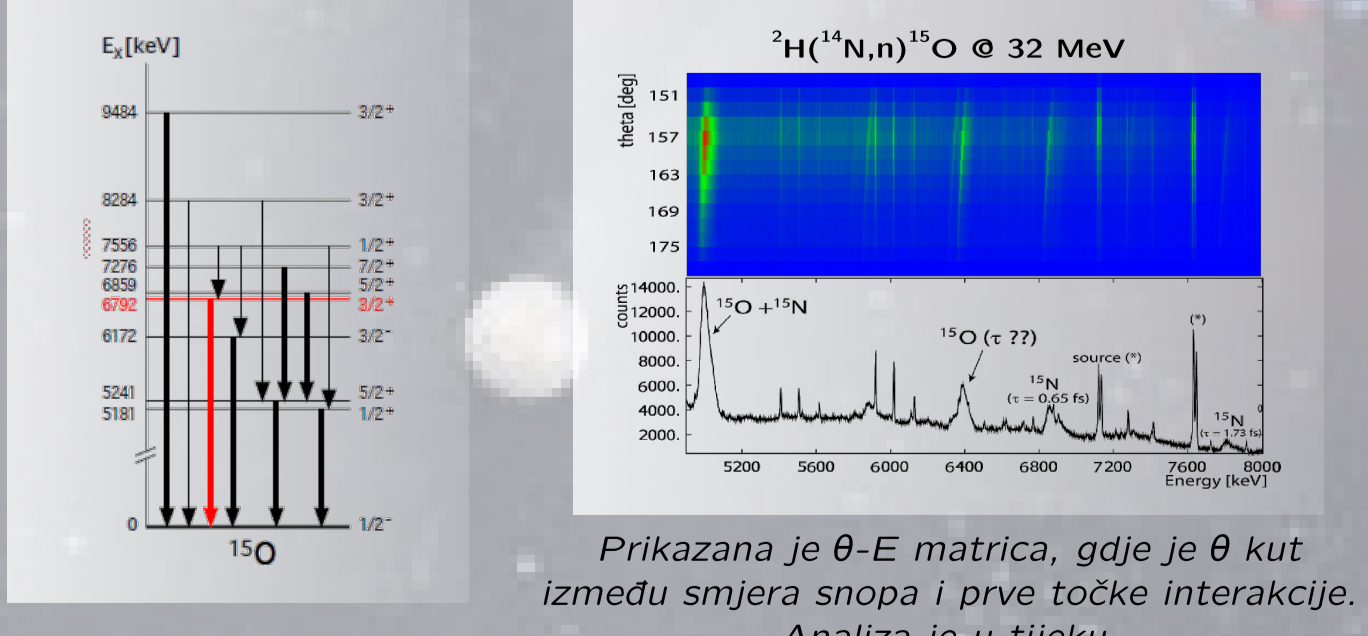
Osnovna nuklearna reakcija u zvijezdama je **spajanje dvije jezgre - reakcija fuzije**. **Izgaranje vodika u Suncu** se odvija **na dva načina**. Zastupljeniji od tih procesa je spajanje 4 protona (jezgre vodika ¹H) u jezgru helija u pp lancu. Uz vodikovu plazmu u Suncu se nalazi i određeni broj težih jezgara (kisik, ugljik, dušik...) koji su nastali u zvijezdama starije generacije.

U eksplozijama supernova su raspršeni u svemir i uključeni su kao građivni materijal u Suncu. Te jezgre mogu poslužiti kao **nuklearni katalizator** za alternativni ciklus gorenja vodika koji se naziva **CNO ciklus**. Taj ciklus u **produktivni energije u Suncu** sudjeluje s približno **1%**.



Što, zašto, kako?

Reakcija ¹⁴N(p,γ)¹⁵O je najsporija u CNO ciklusu, te **upravlja** ukupnom **produktivnošću energije**. Za udarni presjek te reakcije je **važno pobudeno stanje** na 6.79 MeV u ¹⁵O, jer se nalazi odmah ispod granice raspada na ¹⁴N+p. Točno poznavanje udarnog **presjeka** može ponuditi odgovore o zastupljenosti elemenata koji sudjeluju u CNO ciklusu u središtu Sunca. Korak u tom smjeru je **određivanje vremena poluživota nivoa 6.79 MeV** koje je mjereno u Nacionalnom institutu za nuklearna istraživanja u Legnaru, Italija korištenjem najmodernijeg europskog složenog **γ-detektora AGATA**.



BOBO eksperiment

Tko?

D. Jelavić-Malenica¹, M. Milin², P. Figuera³, Đ. Miljanić¹, M. Lattuada³, S. Blagus¹, A. Di Pietro³, A. Musumarra³, M. G. Pellegriti³, V. Scuderi³, N. Skukan¹, N. Soić¹, D. Torresi³, M. Urojić¹

¹Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvatska
²Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska
³Instituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italija

Uvod

Lake jezgre često pokazuju znatna odstupanja od sfernog oblika i ne mogu se dobro opisati unutar modela ljuski. Posebnu klasu među njima čine stanja kod kojih se pojavljuje kovalentni efekt vezanja između sredica (najčešće alfa čestica) i valentnih nukleona. Po analogiji s atomskom fizikom, takva stanja nazivamo **nuklearnim molekulama**.



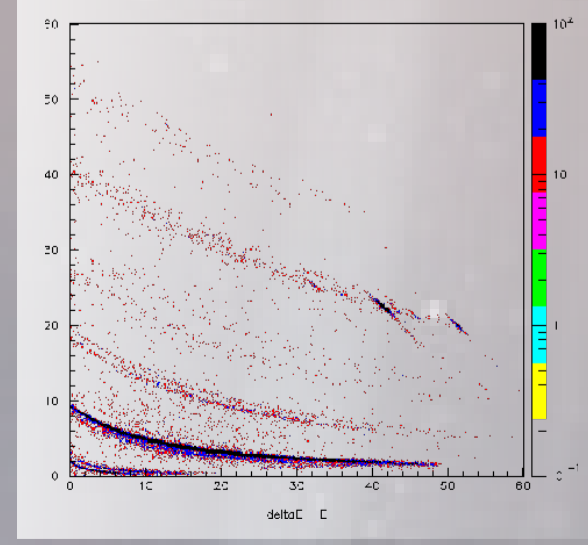
Što, zašto, kako?



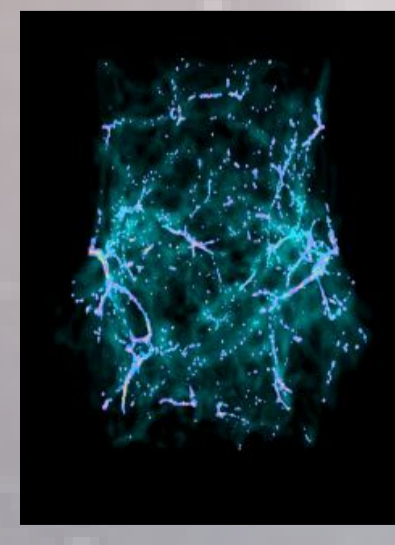
Primarni cilj **Bobo eksperimenta** je potraga za stanjima u jezgrama ¹⁰B i ¹⁰C koja bi bila analogna nedavno potvrđenim molekulskim stanjima u jezgri ¹²Be.

Ime Bobo dolazi od „**Boron On Boron**“, što znači da su mjerene nuklearne reakcije ¹⁰B + ¹⁰B na dvije energije snopa: 50 i 72 MeV.

Nabijeni produkti reakcija mjereni su segmentiranim detektorskim sustavom koji se sastojao se od četiri nuklearna teleskopa.



Jedan od mogućih izlaznih kanala je reakcija prijenosa dva neutrona: ¹⁰B + ¹⁰B → ¹²B + ⁸B. Raspad jezgre ¹²B kanalom ¹²B → ⁸Li + ⁴He predstavlja vrlo važnu reakciju za modeliranje nukleosinteze u slučaju nehomogenog ranog svemira.



Mjerenje rezonantnog elastičnog raspršenja ¹³C na debeloj plinskoj meti ⁴He

Tko?

L. Prepolec¹, M. Freer², N. Ashwood², N. Curtis², A. di Pietro⁴, P. Figuera⁴, M. Fischella⁴, L. Grassi¹, D. Jelavić Malenica¹, Tz. Kokalova², T. Mijatović¹, M. Milin³, V. Scuderi⁴, N. Skukan¹, N. Soić¹, S. Szilner¹, V. Tokić¹, D. Torresi⁴, C. Wheldon²

¹Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvatska; ²University of Birmingham, Birmingham, Ujedinjeno Kraljevstvo
³Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska
⁴Instituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italija

Uvod

U sklopu **FP7 projekta CLUNA** izvršena je **nadogradnja linije za mjerenje** nuklearnih reakcija u sklopu akceleratornog postrojenja na **IRB-u**. Jedan dio nadogradnje odnosio se na **izradu postava debele plinske mete**, koja omogućuje mjerenja rezonantnog elastičnog raspršenja, a drugi na **složeni sustav Si detektora velike površine i sustav za prikupljanje podataka (DAQ)**. Rezonantno elastično raspršenje pruža nam **uvid u strukturu pobuđenih stanja jezgre** koja bi nastala fuzijom projektila i mete, što olakšava **traganje za stanjima egzotične građe**.

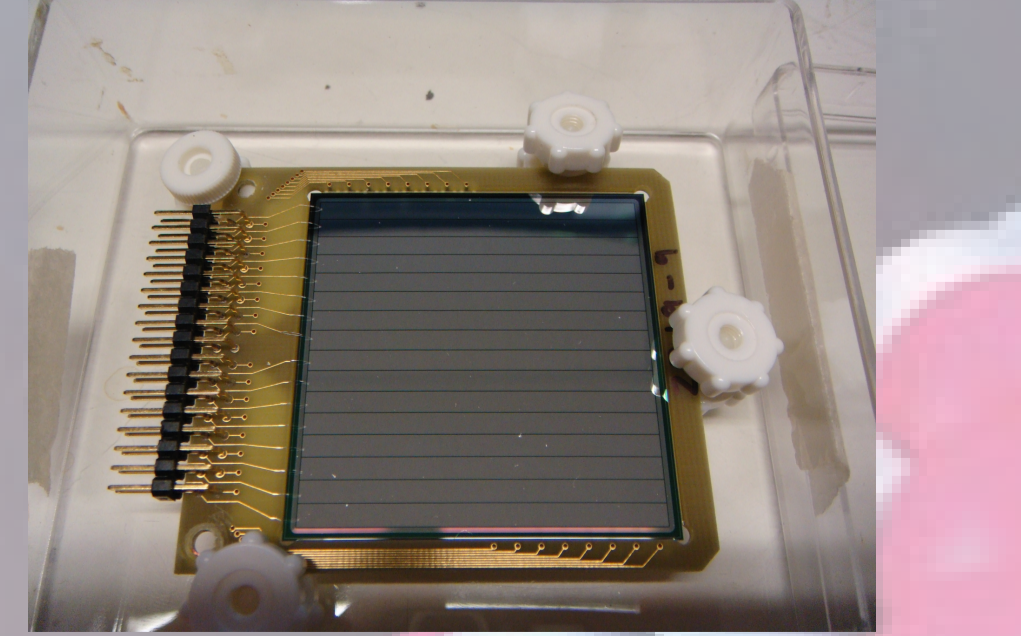
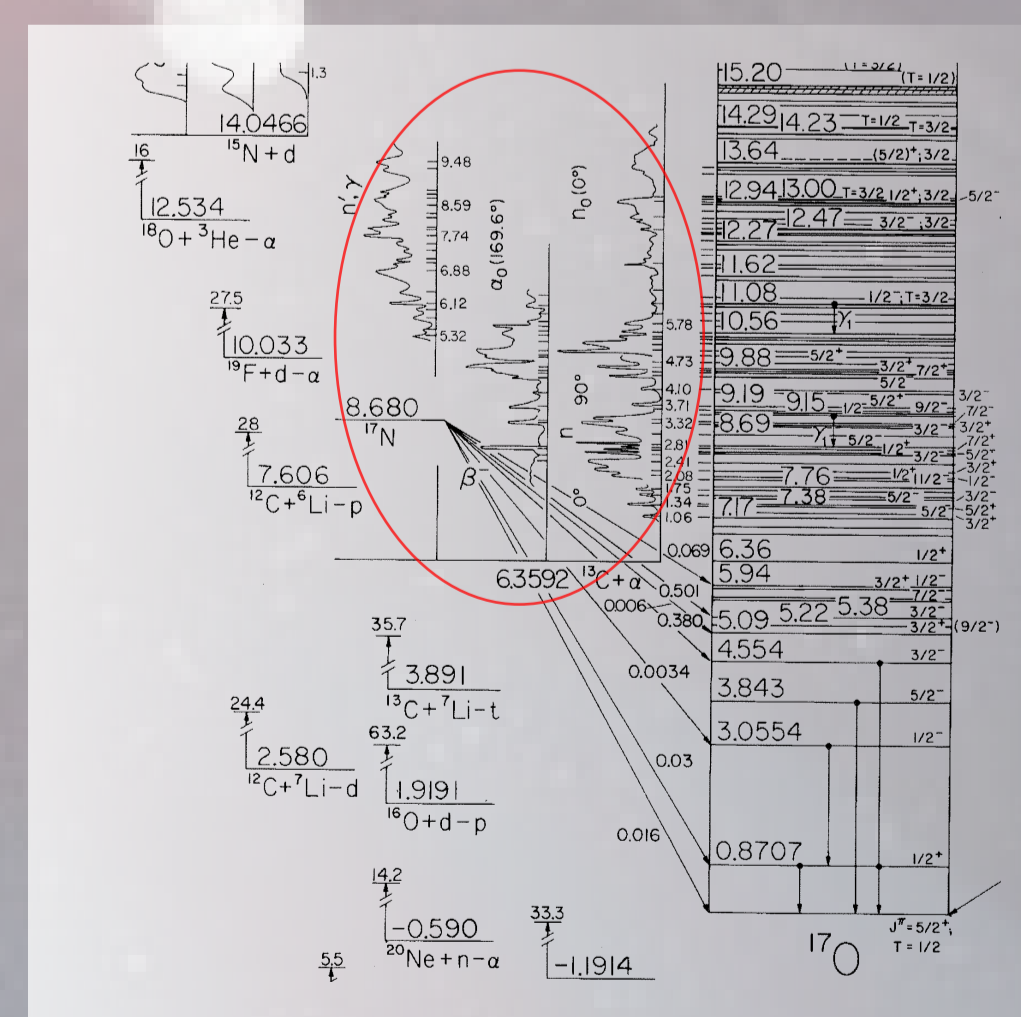
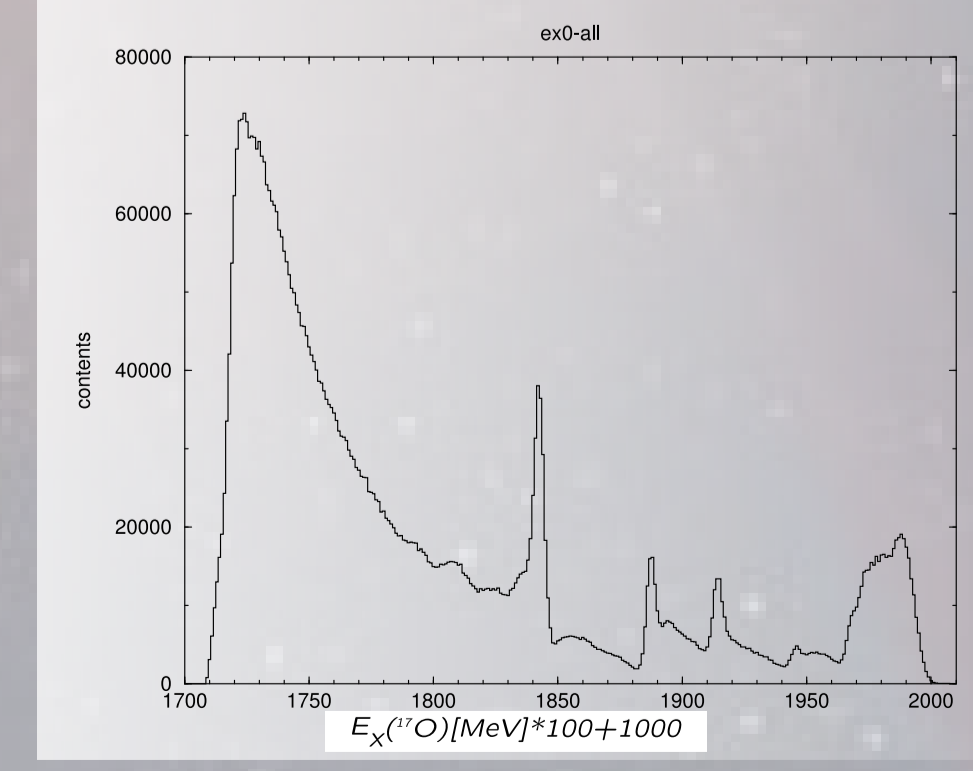
Što, zašto, kako?

Mjerenje rezonantnog raspršenja ¹³C na ⁴He na energijama višima od dosadašnjih omogućuje nam praćenje spektra pobuđenih stanja jezgre ¹⁷O.

Stanja opažena u ovom mjerjenju obradit ćemo formalizmom R-matrice i usporediti sa spektrom pobuđenih stanja jezgre ¹⁷O dobivenih drugim eksperimentima.

Iz rezultata će se moći izvesti zaključci o građi ¹⁷O i o drugim sličnim jezgrama (izobarnim analogima).

Ova je reakcija jedan od mogućih izvora neutrona za sintezu težih elemenata.



zahvale

Zahvaljujemo našim mentorima i svim kolegama iz Laboratorija za nuklearnu fiziku i ZEF-a bez kojih ovaj rad ne bi bio moguć.

