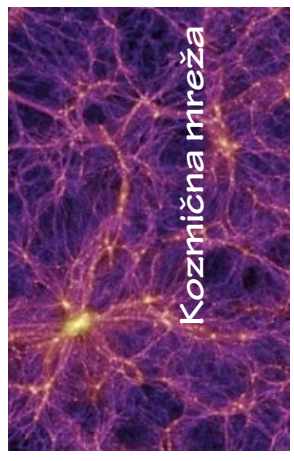


Françoise Combes  
Pariski observatorij



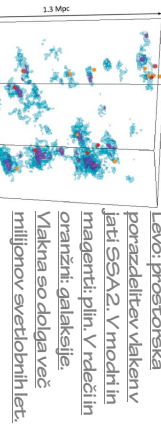
Kozmična mreža

Vesolje v mojem žepu



**kvazar**  
Energetski fotoni, ki prihajajo iz kvazarja, imajo lahko dovolj energije za vzbujanje vodikovega atoma. Ti fotoni so absorbirani in ustvarijo absorpcijsko črto v spektru kvazarja.

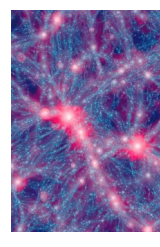
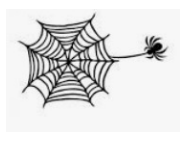
Vsak plinški oblak med kvazarjem in nami absorbira tište fotone, katerih valovna dolžina ustreza rdečemu premiku oblaka.



1.3 Mpc  
0.1 Mpc  
100 kpc  
8 (2019)  
Po Umehata et al.

levo: prostorska porazdelitev vlakn v jati SGA2. V močrt in magentni plin. V rdečih in oranžni: galaksije. Vlakna so dolga več milijonov svetlobnih let.

Odgovori na nasledni strani



- Katera od teh slik prikazuje:
- Poravnane galaksije?
  - Kozmična vlakna?
  - pajkovo mrežo?

Kviz



Plin v vlaknih

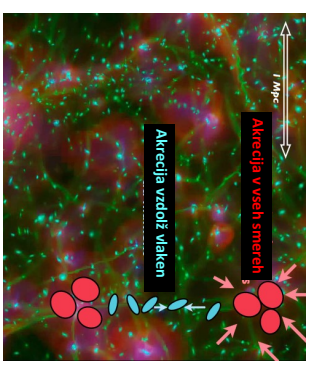
Zelo dolgo so kozmična vlakna zaznavali le po galaksijah, ki jih vsebujejo. Vendar pa so sestavljena tudi iz nevidne temne snovi in redkega plina. Vodikovi atomi v tem plinu absorbirajo svetlobo oddaljenih kvazarjev. Tako je mogoče preslikati prostorsko porazdelitev vlaken (glej str. 8).

Plin v vlaknu lahko zaznamo tudi po njegovi emisiji, ko ga vzbudijo vroče zvezde ali kvazarji. Plinske haloe so odkrili okoli 270 galaksij z rdečim premikom med 3 in 6. To odkritje je dosegla skupina Evropskih astronomov, zahvaljujoč izjemni občutljivosti instrumenta MUSE na teleskopu Very Large Telescope (VLT) Evropskega južnega observatorija (ESO).

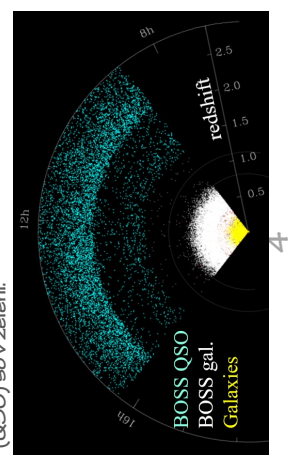
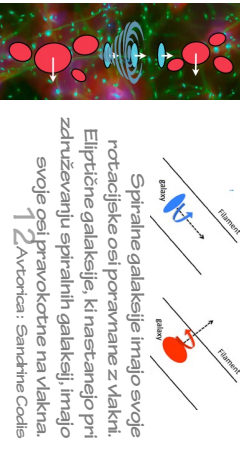
Orientacija galaksij

Različne vrste galaksij se običajno nahajajo na različnih mestih. V jatah običajno najdemo masivne eliptične galaksije na preseku vlaken. Te galaksije vsebujejo le stare zvezde (zato imajo rdečo barvo). Znotraj samih vlaken običajno najdemo spiralne galaksije. Te galaksije akrecijsko dobivajo hladen plin, ki nato tvori zvezde; to jim daje značilno modro barvo.

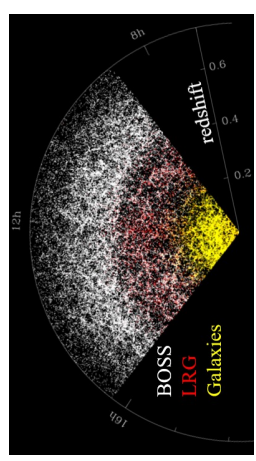
Plin, ki akrecijsko pada na modre galaksije, prihaja iz zunanjih delov vlaken, rotacijske osi teh galaksij pa so običajno usmerjene vzdolž vlakna. Nasprotno veđa za rdeče, eliptične galaksije, ki so pogosto posledica združenja dveh diskovnih galaksij. Stran 12 prikazuje te tendence v numeričnih simulacijah.



Masivne eliptične galaksije, prikazane v rdeči barvi, se bolj pogosto nahajajo tam, kjer se vlakna seka. Spiralne galaksije, prikazane v modri barvi, se nahajajo znotraj vlaken.



Glavni vzorec galaksij SDSS je prikazan v rumeni barvi. Vzorec svetlih rdečih galaksij (LRG) je v rdeči, medtem ko so galaksije projekta BOSS v beli. Kvazarji projekta BOSS (QSO) so v zeleni.



Globlje raziskave

Glavni vzorec galaksij SDSS ima povprečni rdeči premik  $z = 0,1$ , kar ustreza razdalji 1,5 milijarde svetlobnih let. Vzorec rdečih svetlih galaksij sega do  $z = 0,7$ . Projekt BOSS sega do  $z = 1$  (22 milijard svetlobnih let). S kvazarji, ki so svetlejši od galaksij, lahko dosežemo  $z = 5$  (155 milijard svetlobnih let).

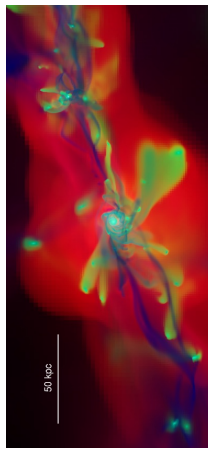
Tako kot pričakovano, je Vesolje pri večjih rdečih premikih, torej ko je bilo mlajše\*, manj strukturirano. Jate galaksij se tvorijo pri  $z = 2$  (3,5 milijarde let po Prapoku). Struktura vlaken in švicarskega siraja je bila že prisotna v tem času, vendar manj izrazita kot danes.

\* Glej TUIMP 12

**Laniakea: naša nadjata**

Naša Galaksija je na robu nadjate galaksij, odkrite leta 2014 in imenovane Laniakea. Gre za strukturo, ki se počasi razteza. Meri 500 milijonov svetlobnih let v premeru in vsebuje več kot sto tisoč galaksij. Za zaznavanje Laniakee je bilo treba izmeriti razdalje galaksij z metodami, ki ne uporabljajo radialnih hitrosti ali Hubble-Lemaîtrejevega zakona\*. Dejansko na radialne hitrosti galaksij, poleg komponente kozničnega širjenja, vplivajo motnje zaradi gravitacijske privlačnosti, ki jo medsebojno izkazujejo. To omogoča poznavanje, ali ima galaksija dinamično povezavo z drugimi in tako pripada isti skupini.

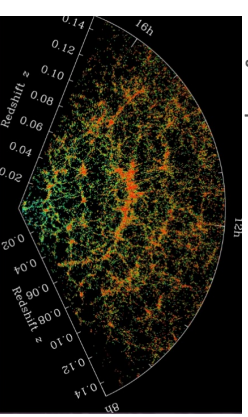
\* Glej TUIMP 12



Rezultat numerične simulacije\* avtorjev Agertz et al. (2009), ki prikazuje akrecijo hladnega plina na galaksije vzdolž kozničnih vlaken in izmet plina, obogatenegega s težkimi elementi, ki nastanejo v zvezdah. **V modri barvi je hladni plin. V rdeči barvi je halo plina, segretega na zelo visoko temperaturo. V zeleni barvi je obogaten plin, ki ga izmečejo galaksije.**

\* Numerična simulacija je račun, izveden na računalniku, ki poskuša predstaviti realni sistem z upoštevanjem fizikalnih zakonov. Na primer, lahko simuliramo tok reke, nastanek galaksije itd. Simulacije lahko trajajo mesece tudi na najhitrejših računalnikih.

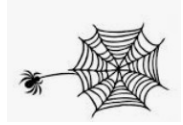
Izrezek Vesolja, kakor ga je preslikal CfA2. Vsaka pika je galaksija. Videti je mogoče velik "zid" galaksij. Avtor: Richard Gott

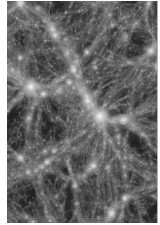
Poravnava galaksij v jatah MACSJ0416.1-2403. Slika iz Vesoljskega teleskopa Hubble



### Odgovori



Pajkova mreža

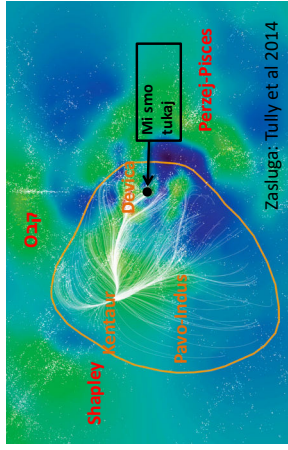


Simulacija kozmične mreže

**Barioni v vlaknih**

V nasprotju s tem, kar bi si lahko človek mislil, večina običajne snovi (barionov) ni v galaksijah. Vesolje je sestavljeno iz 5 % barionov, 25 % temne snovi in 70 % temne energije. Delež barionov v komponenti snovi je torej  $5 / (25 + 5) = 17 \%$ . V galaksijah je bilo izmerjeno, da delež barionov ne presega 3 %. Več kot 80 % barionov je torej izven galaksij. Domneva se, da so te barione izmetle supernove v majhnih galaksijah in aktivna jedra\* v bolj masivnih galaksijah. Ta izmet snovi obogati medzvezdni prostor z elementi, težjimi od vodika, ki nastanejo v zvezdah, kot so ogljik, kisik, železo.

\* Glej TUIMP 6



Zasluga: Tully et al 2014

Upriporitev lokalne nadjate Laniakea, kar v havajščini pomeni "neizmerno nebo". Poimenovana je bila v čast polinezijskih pomorščakov, ki so pri navigaciji po Tihem oceanu uporabljali svoje znanje o nebu. Naša Galaksija je blizu velike osrednje črne pike. Galaksije so prikazane kot bele pike. Bele črte kažejo smer gibanja galaksij. Modra območja so kozmične praznine. Oranžna črta označuje nadjato Laniakea. Jati Komi in Perzej-Pisces torej ništa del Laniakee.

**Vesolje v mojem žepu št. 13**

To knjižico je leta 2020 napisala Françoise Combes z Observatorija v Parizu (Francija).

Naslovna slika: Numerična simulacija porazdelitve temne snovi v koznični mreži. Svetlejša barva pomeni večjo gostoto. Galaksije nastajajo ob vlaknih, jata galaksij pa na križiščih vlaken. Ta simulacija je del projekta Millennium, avtor: Springel et al. (2005).



Več o tej seriji in temah, predstavljeno v tej knjižici, najdeta na <http://www.tuimp.org>

Prevodi: Ula Orma Novak  
TUIMP Creative Commons



### Bližnje Vesolje je strukturirano

Leta 1925 je potekala velika razprava, kje zaključila, da obstajajo galaksije zunaj naše Rimske ceste. Kmalu so bile naravnane obsežne raziskave takšnih galaksij. Odkrito je bilo, da bližnje Vesolje ni homogeno, ampak je sestavljeno iz bolj ali manj sploščenih jat galaksij s strukturo, podobno švicarskemu siru, ki vsebuje velike praznine. To se imenuje koznična mreža. Prva "volumenski" raziskava, kje izmerila položaje galaksij skupaj z njihovimi razdaljnimi (merjenimi z rdečim premikom\*), je bila raziskava CfA2 konec 20. stoletja. Opazovanje 18.000 galaksij je trajalo deset let. Spektroskopirani 21. stoletja omogočajo opazovanje na stotine galaksij hkrati in raziskovanje milijonov galaksij. Takšne raziskave vključujejo 2dF, izveden v Avstraliji, in SDSS iz ZDA

\* ali prenik spektralnih črt proti rdeči; glej TUIMPs 2 in 12.