

TARTU ÜLIKOOL

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Füüsika instituut

Ella Skiller

**GALAKTIKAPARVEDE A1436 JA A1270 NING NENDE
LÄHIÜMBRUSE VÕRDLEV UURIMINE**

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Juhendaja:
Maret Einasto, DSc

Tartu 2021

Galaktikaparvede A1436 ja A1270 ning nende lähikümbruse võrdlev uurimine

Ella Skiller

Kokkuvõte

Universumi tihedamad piirkonnad on galaktikaparved, mis on ühendatud omavahel filamentidega. Mõõda filamente toimub aine transport parvedesse. Suuremate parvede ümber on tavaliselt ka rohkem filamente. Parvede keskel olevad galaktikapopulatsioonid on vanemad ja punasemad kui galaktikapopulatsioonid parvede äärealadel ja filamentides.

Käesolevas töös võrdlen parve A1436 samas superparves Ursa Major asuva parvega A1270. Parv A1436 on omapärane selle poolest, et tema lähikümbruses taevatasandis pole näha heledaid galaktikaid. Seda tüüpi parvi pole varem uuritud. Võrdlen parvi, kasutades $D_n(4000)$ indeksit ning projekteeritud faasiruumi diagrammi, mis võimaldab hinnata galaktikapopulatsiooni vanust ja ajavahemikku galaktika kukkumisest parve. Parvede galaktikapopulatsioonide võrdlemisel kasutan erinevuse statistilise olulisuse hindamiseks Kolmogorovi-Smirnovi testi.

Töö tulemustest järeldan, et parvede galaktikapopulatsioonid ei ole oluliselt erinevad. See tulemus on mõnevõrra ootamatu ja tähendab, et A1436 tüüpi parvede põhjalikumaks arusaamiseks tuleb suurendada valimit tulevastes uurimustöodes.

Märksõnad: galaktikaparved, galaktikate keskkond, projekteeritud faasiruumi diagramm, $D_n(4000)$ indeks

CERCS: PS20 Astronoomia, kosmoseuuringud, kosmosekeemia.

Comparative study of galaxy clusters A1436, A1270 and their surrounding regions

Ella Skiller

Summary

Galaxy clusters are the densest regions in the Universe. Clusters are linked to each other by filaments, which bring matter into the clusters. Bigger clusters have usually more filaments around them. Galactic populations in the center of clusters are usually older and redder than in low-density surrounding areas and filaments.

In this paper I compare cluster A1436 to a cluster A1270 that resides in the same Ursa Major supercluster. Cluster A1436 is unique for not having luminous galaxies around it in the sky distribution. This kind of clusters have not been studied before. Comparisons are made using $D_n(4000)$ indexes and projected phase-space diagrams, which allows to evaluate age of their galactic population and time since infall into the cluster. To evaluate statistical significance of differences between galactic populations I use Kolmogorov-Smirnov test.

I conclude from from results that, surprisingly, there are no significant differences between galactic populations of clusters. It means that in order to get more thorough understanding of A1436 type clustres, we should study a bigger sample in the future.

Keywords: galaxy clusters, galaxy environment, projected phase-space diagram, $D_n(4000)$ index

CERCS: PS20 Astronomy, space research, cosmic chemistry.

Sisukord

Kokkuvõte	2
Summary	3
Sissejuhatus	6
1 Universumi ehitus	8
1.1 Galaktikad	8
1.2 Universumi kärgstruktuur	10
1.3 Parved	11
1.3.1 Seostatus	12
1.3.2 Parvede ja galaktikate keskkond	12
1.3.3 Abelli kataloog	13
1.4 Tähetekke lõppemine	13
2 Andmed	15
2.1 Andmed	15
2.2 Sloani digitaalne taevaülevaade	16
2.3 A1436 ja A1270	16
3 Meetodid	19
3.1 Projekteeritud faasiruumi diagramm (PPS)	19
3.2 $D_n(4000)$	20
3.3 Kolmogorovi-Smirnovi test	21
4 Töö käik ja tulemused	22
4.1 Andmetöötlus	22
4.2 Tulemused	23
4.2.1 Parve A1436 ja selle lähiümbruse uurimine	23
4.2.2 Parve A1270 ja selle lähiümbruse uurimine	26

4.2.3	Parvede A1436 ja A1270 võrdlemine	27
4.2.4	Parvede A1436 ja A1270 PPS diagrammide võrdlemine	30
4.3	Tulemuste arutelu	32
Tänuavaldused		33
Kirjandus		34
Lisad		38
A	Andmed	39
B	Graafikud	41
C	PPS-diagrammid	46
D	$D_n(4000)$ indeks	48
E	SDSS	49
F	R kood	50
Lihtlitsents		61

Sissejuhatus

Aine paiknemist Universumi suures mastaabis iseloomustab kärjetaoline struktuur, kus galaktikad ja neid ümbritsev aine on kogunenud suure tihedusega parvedesse, niitjatesse filamentidesse ja seintesse, ning nende vahele jäävad madala tihedusega tühikud (Jõeveer et al., 1978). Filamendid on galaktikate jadad, mille kohtumispunktidest tekivad parved. Parved kasvavad peamiselt nendesse mööda filamente kukkuvat ainet arvelt. Parvest väljuvate filamentide hulk mõjutab tugevalt parve omaduste kujunemist. Suurematel parvedel on tavaliselt rohkem filamente. Selleks et parve arengust aru saada, tuleb neid uurida koos lähiümbrusega (Libeskind et al., 2018).

Galaktikate omadused sõltuvad galaktikate ümbrusest. Tihedamates piirkondades, nagu galaktikaparvede keskosad, paiknevad heledamad punased galaktikad, kus täheteke on ammu lõppenud. Hõredamates piirkondades, nagu parve äärealad ja filamendid, paiknevad peamiselt sinised galaktikad, kus toimub aktiivne täheteke. Galaktika liikumisega parve kaasneb täheteke lõppemine, mis on peamiselt seotud tähtedevahelise gaasi otsasaamisega galaktikates (Dressler, 1980).

Töö eesmärgiks on uurida kahte parve, A1436 ja A1270, millel on erinev lähiümbrus, ning teada saada, kuidas nende galaktikapopulatsioonid erinevad ja kas saab nende galaktilise koostise järgi teha järeldusi nende evolutsiooni kohta. Mõlemad parved paiknevad Ursa Major (Suure Vankri) superparves ja seega on mõlema parve suuremastaabiline ümbrus sama.

Parv A1436 on eriline selle poolest, et vastupidiselt enamikele parvedele, pole selle lähiümbruses näha heledaid galaktikaid. On oletatud, et selle parve ümbruses on heledad galaktikad juba parvega liitunud (Kopylova and Kopylov, 2009). See viitab võimalusele, et parv A1436 on ammu välja kujunenud ja parve kuuluvad galaktikad on peamiselt vana tähepopulatsiooniga. Võrdluseks valitud parve A1270 ümber sellist heledate galaktikate puudumist pole. Seega võib oletada, et parve välja kujunemine erineb parve A1436 omast ja

ka nendesse parvedesse kuuluvate galaktikate tähepopulatsioonid on erinevad. A1436 tüüpi parvi pole varem eraldi uuritud ja pole teada, kui palju sellise lähikäigega parvi olemas on ja kuidas need teistest parvedest eristuvad. Antud töö on esimene seda laadi uurimus.

Töös võrdlen parvede galaktikapopulatsioone kasutades kahte meetodit, projekteeritud faasidiagrammi ja $D_n(4000)$ indeksit. Parvede sarnasust hindan kasutades Kolmogorovi-Smirnovi testi. Projekteeritud faasidiagramm iseloomustab galaktikate vaaatesuunaliste kiiruste jaotust parves ja selle lähikäigetes sõltuvalt galaktikate projekteeritud kaugusest parve keskkohtast. See võimaldab eristada erineva parve kukkumise ajaga piirkondi (Oman et al., 2013; Haines et al., 2015; Rhee et al., 2017). $D_n(4000)$ indeks on spektraalne parameeter, mis võimaldab eristada galaktikate hulgast noore tähepopulatsiooniga galaktikaid, kus toimub aktiivne tähetekke ja väga vana tähepopulatsiooniga galaktikaid, milles tähetekke kiirus on juba langenud (Kauffmann et al., 2003; Einasto et al., 2020).

Töö esimeses osas annan üldisema ülevaate Universumi ehitusest ja galaktikate keskkonnast. Teises osas kirjeldan töös kasutatud andmeid, mille töötlemisel kasutatavad meetodid on kolmandas osas. Viimases osas kirjeldan samm-sammult töö käiku, esitan tulemused ning järeldused.

Selles töös kasutatan kosmoloogilised parameetreid: Hubble parameeter $H_0 = 100h \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, materia tihedusparameeter $\Omega_m = 0.27$ ja tumeenergia tihedusparameeter $\Omega_\Lambda = 0.73$.

Peatükk 1

Universumi ehitus

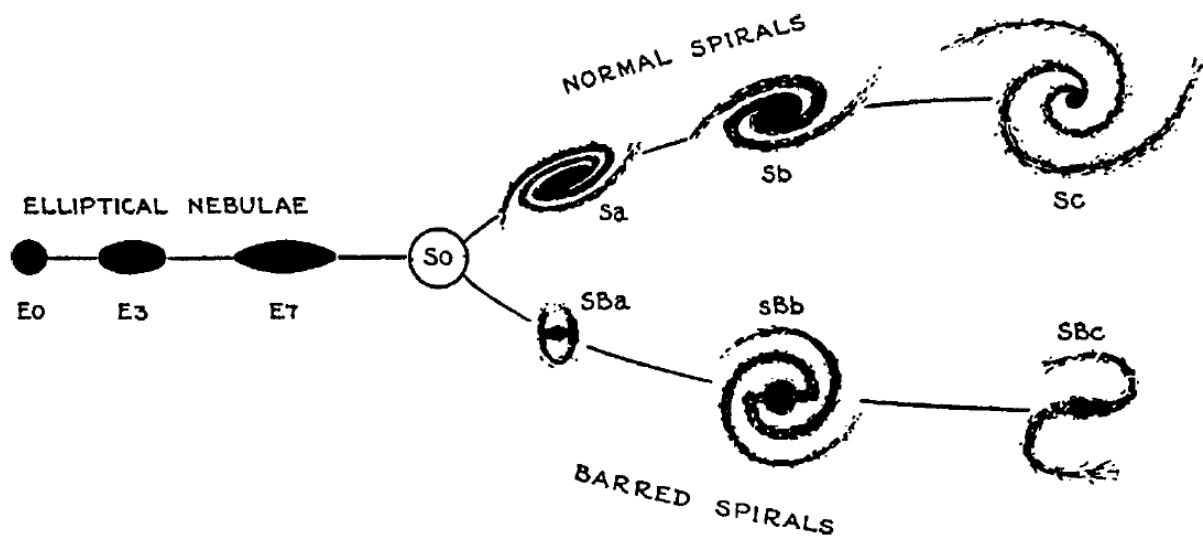
1.1 Galaktikad

Galaktikad on tähtedest, tumeainest ning tähtedevahelisest gaasist ja tolmust koosnevad gravitatsiooniliselt seotud¹ astronoomilised objektid. Galaktikad on kosmoloogias Universumi põhilised ehitusplokid. Galaktikaid klassifitseeritakse tavaliselt morfoloogia, värvuse, tähetekke kiiruse, spektraalsete parameetrite, heleduse ja massi alusel (Mo et al., 2010).

Traditsiooniliselt jagatakse galaktikaid kuju järgi, kasutades Hubble'i helihark-diagrammi (joonis 1.1), elliptilisteks (E), läätsekujulisteks (S0), spiraalseteks ja korrapäratuteks (I) galaktikateks. Spiraalsed galaktikad jagunevad omakorda normaalseteks spiraalseteks (S) ja varbspiraalseteks galaktikateks (SB). Paiknemise järgi Hubble'i "helihargil" nimetatakse varasteks galaktikateks elliptilisi ja läätsekujulisi galaktikaid, ning hilisteks galaktikateks spiraalseid ja varbspiraalseid galaktikaid (Hubble, 1926, 1936; Schneider, 2006; Mo et al., 2010).

Elliptilised galaktikad (E, joonisel 1.1) on ellipsoidi kujuga. Nad on peaaegu alati punased (välja arvatud kompaktsed sinised kääbused - BCD). Reeglina on neis vähem tähtedevahelist gaasi ja tolmu kui spiraalsetes galaktikates, mistõttu ei toimu nendes tavaliselt aktiivset täheteket ja nad koosnevad vanadest tähtedest. Tavaliselt on elliptilised galaktikad massilt ja heleduselt suuremad kui spiraalsed galaktikad (välja arvatud kääbusgalaktikad). Eriti suured ja heledad on cD tüüpi galaktikad, mis paiknevad suure tihedusega galaktikaparvede keskel (Schneider,

¹süsteemi gravitatsiooniline potentsiaalne energia on väikem kui süsteemi osade gravitatsiooniline potentsiaalne energia kokku, kui süsteemi osad oleksid omavahel lahus.



Joonis 1.1: Hubble'i "helihark", mis jaotab galaktikad klassidesse. Esimest korda avaldatud 1936. aastal raamatus "The Realm of the Nebulae"(Hubble, 1936).

2006).

Läätsekujulised galaktikad (S0, joonisel 1.1) jäävad elliptiliste ja spiraalsete galaktikate vahepeale. Neil on olemas mõhn ja ketas nagu spiraalsetel galaktikatel, kuid nende kettal puuduvad spiraalid ja mõhn on suurem kui spiraalsetel galaktikatel. Neil võib olemas olla varb. Sarnaselt elliptilistele galaktikatele on läätsekujulised galaktikad tüüpiliselt punased (Mo et al., 2010).

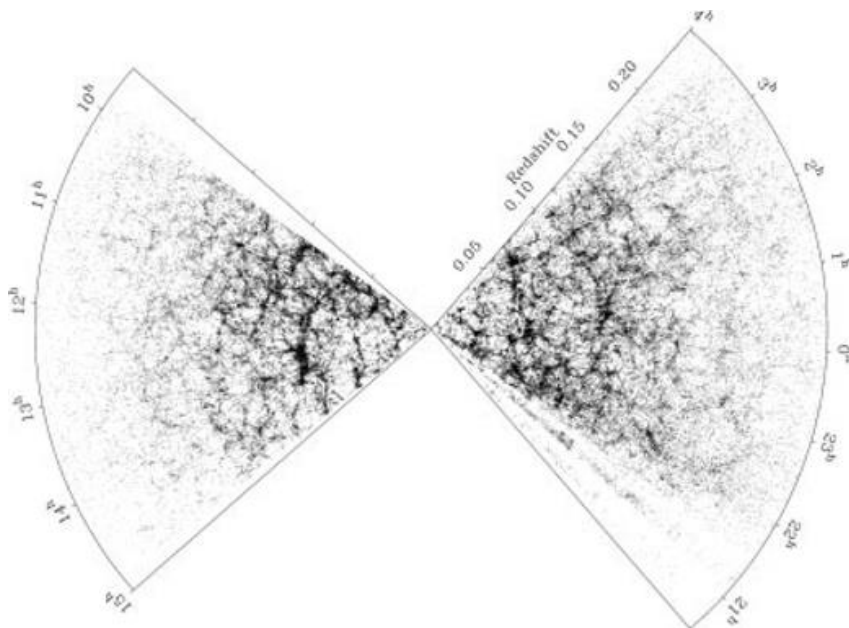
Spiraalsed galaktikad (S, joonisel 1.1) koosnevad õhukesest pöörlevast kettast ja kesksest mõhnast. Umbes 70% spiraalsetest galaktikatest on varbspiraalsed (SB, joonisel 1.1). Ketas on galaktika kõige sinisem piirkond, kus toimub aktiivne täheteke ja on palju noori tähti. Kettal paiknevad spiraalharud on kvaasistatsionaarse tiheduse laine tõttu tekkinud suurema tihedusega piirkonnad. Spiraali pöörlemise kiirus sõltub galaktika heledusest. Mõhn on kettaga võrreldes punasem ja selles paiknevad vanemad tähepopulatsioonid (Schneider, 2006).

Morfoloogia alusel galaktikate klassifitseerimine on raskendatud, sest me näeme ainult galaktikate projektsioone ning kaugemal olevad galaktikad paistavad meile liiga väikesed, et eristada nende sisestruktuure. Seepärast kasutatakse kaugemate galaktikate klassifitseerimisel värve või spektri järgi leitud parameetreid, näiteks $D_n(4000)$ indeksit (peatükk 3.2).

1.2 Universumi kargstruktuur

Suures mastaabis on galaktikaparved ruumiliselt jaotunud kargstruktuuri, mis arenes välja väikestest tiheduse kõikumistest varajases Universumis. Suuremastaabilise struktuuri komponendid on sõlmed, filamendid, seinad ja tühikud. Enamiku ruumist Universumis võtavad enda alla tühikud, mille suurus on vahemikus $20 - 50h^{-1}\text{Mpc}$. Tühikuteks on piirkonnad, kus puuduvad või on väga vähe galaktikaid (Jõeveer et al., 1978; Einasto et al., 2018; Libeskind et al., 2018).

Väga rikkad parved tekivad sõlmedesse, kus kohtuvad mitmed filamentide jadad. Filamendid



Joonis 1.2: Galaktikate jaotus sõltuvana otsetõusust RA ja punanihkest z. Joonis on pärit 2dF Galaktikate punanihke uuringust³(Colless et al., 2001). Joonisel on näha Universumi kargstruktuuri elemendid: sõlmed, filamendid ja nende vahel olevad tühikud.

ühendavad omavahel sõlmi. Piki filamente toimub galaktikate ja galaktikagruppide liikumine parvedesse. Seinad on madalama tihedusega piirkonnad kui filamendid ning seintes paiknevad galaktikad on väiksema heledusega (Libeskind et al., 2018; Einasto et al., 2018, 2020).

Skaaladel suurusjärgus $\gg 100h^{-1}\text{Mpc}$ hakkab kehtima kosmoloogiline printsiip, mis väidab, et Universum on kõikide vaatlejate jaoks samasugune. See tähendab, et Universum on samasugune igas ruumpunktis - homogeensus ja igas suunas - isotroopsus (juhul kui vaatleja liigub valguse kiirusest palju aeglasemalt) (Schneider, 2006; Weinberg, 2008).

³<http://www.2dfgrs.net/>

1.3 Parved

Galaktikad paiknevad peamiselt galaktikagruppides ja galaktikaparvedes. Galaktikaparved on gravitatsiooniliselt seotud süsteemid, mis koosnevad sajast või rohkemast heledast galaktikast ja mille diameeter on umbes $2h^{-1}\text{Mpc}$. Galaktikagrupid on vaesemad - neis on vähem heledaid galaktikaid kui galaktikaparvedes. Parved võivad olla kujult nii ellipsoidid kui korrapäratud. Korrapärastes parvedes on ülekaalus varast tüüpi galaktikad, vastupidiselt korrapäratutele parvedele, kus on spiraalseid galaktikaid ligikaudu sama palju kui väiksema tihedusega piirkondades (Schneider, 2006).

Parved on suurimad gravitatsiooniliselt seotud objektid Universumis. Galaktikatel kulub keskmiselt 2Ga selleks, et parve läbida. Kuna Universumi vanus on ligikaudu 14Ga, pole enamik parvi jõudnud viriaalsesse tasakaalu⁴ ja paljud parve kuuluvatest galaktikatest võivad paikneda väljaspool viriaalraadiust (Schneider, 2006). Parved on kosmoloogiliselt noored struktuurid ja ka kõige vähem dünaamiliselt välja arenenud (Schneider, 2006; Haines et al., 2015).

Galaktikaparved on tugevad röntgenkiirguse allikad. Röntgenkiirgust tekitab galaktikavaheline gaas, mille temperatuur jääb vahemikku 10^7K kuni 10^8K . Gaasi jaotus ja temperatuur võimaldab määrata parve massi, sest selleks, et gaas parvest minema ei lenduks, peab gravitatsiooniline potentsiaaliauk olema piisavalt sügav. Röntgenkiirgust kiirgav gaas moodustab suurema osa parve massist kui parve kuuluvad tähed. Palju suurema osa parve massist kui gaas ja tähed moodustab tumeaine. Selle suurt osakaalu kinnitab lisaks röntgenkiirgusele ka galaktikate suur keskmine kiirus. See on tunduvalt suurem kui oleks olnud paokiirus, kui arvutamisel arvestataks ainult tähtede massi (Schneider, 2006).

Parved ja grupid omakorda moodustvad superparvi, mis pole enam gravitatsiooniliselt seotud ja nendes on ülekaalus Universumi paisumine. Superparved on suurimad süsteemid suuremastaabilises struktuuris (Schneider, 2006).

⁴viriaalteoreem lihtsas käsitluses ütleb, et süsteem on tasakaalus, kui süsteemi kineetiline energia on pool potentsiaalsest energiast $E_{kin} = \frac{1}{2}|E_{pot}|$ (Schneider, 2006).

1.3.1 Seostatus

Parve või gruppi seostatuseks (*connectivity*) nimetatakse parvedest või gruppidest väljuvate filamentide arvu ning sellel on määrav roll parve omaduste kujunemisel (Codis et al., 2018). Parve seostatus ja paiknemine suuremastaabilises struktuuris (peatükk 1.2) on tugevas korrelatsioonis mitmete parves paiknevaid galaktikaid kirjeldavate parameetritega nagu mass, impulssmoment, kuju ja temperatuur. Rikkamate ja massiivsemate parvede ja gruppide seostatus on suurem kui vaesemate parvede ja gruppide seostatus. Vaeste gruppide seostatus jääb tavaliselt vahemikku $C = 1$ kuni $C = 2$, rikkastel parvedel on seostatus keskmiselt $C = 6$. Tõenäosus, et suure massiga grupid moodustusid hiljutise pörkumise teel on suurem gruppidel, millel on suurem seostatus. Ühesuguse massiga gruppides, mille kõige heledamas galaktikas toimub tähetekke, on tavaliselt väiksem seostatus. Filamentide lahti ühendamisest põhjustavad nii gravitatsiooniline kuhjumine kui ka Universumi paisumimine (Codis et al., 2018; Darragh Ford et al., 2019; Einasto et al., 2020).

1.3.2 Parvede ja galaktikate keskkond

Parvede ja galaktikate areng sõltub nende paiknemisest suuremastaabilises struktuuris. Seetõttu kasutame parvede arengu uurimisel parvede lähiümbrust. Parvede tekkimisega kaasneb tavaliselt nendesse langevate galaktikate tähetekke lõppemine. Aktiivse tähetekkega galaktikad paiknevad pigem väiksema tihedusega piirkondades. Parvedes ja superparvedes paiknevad galaktikad on tavaliselt varajast tüüpi, punased ja passiivsed (Einasto et al., 2008). Vaesemates galaktikagruppides võib samuti leida vanade tähepopulatsiooniga punaseid galaktikaid. Tähetekke lõppemist enne parvedesse sissekukkumist nimetatakse eeltöötlemiseks. Parvede galaktikapopulatsiooni kirjeldamist raskendab see, et aktiivse tähetekkega galaktikaid esineb ka parvede sees suure tihedusega piirkondades (Dressler, 1980; Einasto et al., 2020).

Kuna elliptilised galaktikad on üldiselt heledamad, siis uurides erinevatel kaugustel olevaid parvi, võib nende galaktiline koostis näida erinev juba kaugusest tingituna. Sellepärast on oluline, et uuritavad parved oleksid valitud samal kaugusel ja ühesuguses suures ümbruses. Selles töös uurimisobjektideks valitud parved asuvad samas superparves.

1.3.3 Abelli kataloog

Nii A1270 kui ka A1436 on Abelli parved. Abelli kataloog oli koostatud G. Abelli poolt 1958. aastal (Abell, 1958). See sisaldas algselt 1682 põhjataeva parve punanihke vahemikus $0.02 \leq z \leq 0.2$. Abelli kataloogi parvel peab olema ≥ 50 galaktika, mille tähesuurus jääb vahemikku $m_3 \leq m \leq m_3 + 2$, kus m_3 on parve heleduselt kolmas galaktika. Need galaktikad peavad olema koondunud ringi sisse, mille nurkraadius on

$$\theta_A = \frac{1.7'}{z},$$

kus z on punanihe. θ_A nimetatakse Abelli raadiuseks ning see vastab ligikaudu pikkusele $R_A \approx 1.5h^{-1}\text{Mpc}$. (Schneider, 2006)

1.4 Tähetekke lõppemine

Tähetekke lõppemise põhjuseks on tavaliselt galaktikast tähtedevahelise gaasi ja tolmu väljapuhumine. Protsesse, mis põhjustavad tähetekke lõppemist, saab jagada välisteks ja sisemisteks. Neid protsesse koos viidetega on kirjeldatud Einasto et al. (2020) artiklis. Sisemised protsessid on näiteks tähetuuled ja supernoova plahvatused. Samuti sisselangeva külma gaasi soojenemine aktiivse galaktika tuuma tõttu (Darragh Ford et al., 2019).

Välised protsessid sõltuvad keskkonnast ehk galaktikate paiknemisest gruppides ja parvedes. Need protsessid on eelkõige sõltuvuses grupi massist ja viivad erinevate omadustega galaktikapopulatsioonide tekkimiseni. Välised protsessid on tavaliselt põhjustatud galaktika ja gaasi vastastikmõjust, nagu ramm-rõhk koorimine, või galaktikate omavahelisest vastastikmõjust nagu galaktikate ahistamine suurel kiirusel toimuvate möödumiste tulemusena. Järgnevalt käsitlemõnesid väliseid protsesse põhjalikumalt (Darragh Ford et al., 2019).

Ramm-rõhk koorimine (*Ram-pressure stripping*) toimub, kui parvesisene galaktikatevaheline gaas eemaldab tähtedevahelise gaasi parve sisenenud galaktikast ja seeläbi lõpetab tähetekke ning põhjustab spiraalsete galaktikate muutumist läätsekujulisteks. Samas võib see ka gaasi soojendada, mis põhjustab lokaalseid aktiivse tähetekke piirkondi. Simulatsioonid näitavad, et tihedates parvedes võib lühikeseks ajaks (umbes 10^8 aastat) tähetekke kiirus suurened. Järgnev gaasi vähesus spiraalgalaktikates on põhjustatud pigem lühiajalisest tähetekke aktiivsuse suurenemisest kui gaasi välja puhumisest. Gaasi vähesus viib tähetekke lõppemiseni

(Gunn and Gott, 1972; Schneider, 2006; Boselli and Gavazzi, 2006).

Galaktikate ahistamine (*Harrassment*) ehk korduvad suurel kiirusel toimuvad galaktikate lähedased möödumised, tekitab galaktikate morfoloogilist muutumist parvedes. Kuigi otsesed põrked on harvad, möödub keskmiselt iga galaktika kord 1 Ga jooksul heledast galaktikast nii, et galaktikate vaheline kaugus on alla 50 kpc. (Moore et al., 1996) Muutused galaktikates sõltuvad möödumiste sagedusest ja tugevusest, parve gravitatsiooniväljast ning galaktikate endi potentsiaalsest jaotusest. Simulatsioonid näitavad, et parvede keskel hävinevad ahistamise tulemusena väikese heledusega galaktikad. Heledad spiraalgalaktikad on küllaltki tundetud ahistamise suhtes (Boselli and Gavazzi, 2006).

Nälgimine (*Starvation*) on galaktikates tähetekke peatav protsess, kus gaasi juurdevool galaktikate vahelisest keskkonnast on peatunud. Nälgimine on peamine tähetekke lõppemise viis väikese ja keskmise suurusega galaktikatel, mille tähemass on väiksem kui $10^{11}M_{\odot}$. Nälgimine on aeglane protsess, mis võtab ligikaudu 4Ga aega. Nälgimise puhul saab tähetekke edasi toimuda galaktikas juba olemas oleva gaasi arvelt. Nälgimise tüüpiliseks tulemuseks on passiivne galaktika, mille metalsus on palju suurem ja tähemass veidi suurem kui samal galaktikal enne nälgimise algust (Peng et al., 2015).

Loodelised vastastikmõjud (*Tidal interactions*) on taevakeha gravitatsioonijõu tõttu tekkinud mõjutused mitte jäigale kehale. Galaktikate vahelised loodelised jõud võivad muuta galaktikate morfoloogiat väljaspool parvi. Galaktikaparvedes on nende mõju väiksem, sest galaktikaparvede tihedamates piirkondades on galaktikate suhtelised kiirused suured ja seega vastastikumõju aeg liiga väike, et avaldada arvestatavat mõju tähetekkele. Loodelises vastastikumõjus olevaid galaktikaid on parvedes lühikese mõjumisaja tõttu raske tuvastada.

Väga suure massiga parvede puhul mõjutab parve enda gravitatsiooniväli parves olevaid galaktikaid. Parve gravitatsiooniväli võib kiirendada gaasi liikumist galaktika kettas ning gaasi suurem kineetiline energia mõjutab tähetekke kiirust. Kuid gaasi eemaldamine galaktikast loodelise vastastikumõju tõttu on vähetõenäoline (Boselli and Gavazzi, 2006).

Peatükk 2

Andmed

2.1 Andmed

Parvede andmed on pärit Tempel et al. (2014) kataloogist¹, mis põhineb *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) MAIN galaktikate andmestiku kümnendal väljalaskel² (DR10) (Ahn et al., 2014) ning kus parved on leitud kasutades sõprade-sõbrad (FoF-*Friends-of-Friends*) algoritmi. FoF kasutab ühendavat vahekaugust (*linking length*). Galaktika kuulub parve siis, kui tema vahekaugus vähemalt ühest parve kuuluvast galaktikast ei ületa ühendavat vahekaugust (Turner and Gott, 1976).

Töö käigus kasutan Tempel et al. (2014) kataloogist saadud parve viriaalraadiust ja parve kuuluvate galaktikate kiiruste standardhälvet. Viriaalraadius on arvatud valemiga

$$\frac{1}{R_{vir}} = \frac{2}{(1+z_m)n(n-1)} \sum_{i \neq j}^n \frac{1}{R_{ij}} \quad (1)$$

ja galaktikate kiiruste standardhälve valemiga

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(1+z_m)^2(n-1)} \sum_{i=1}^n (v_i - v_m)^2}, \quad (2)$$

kus v_m ja z_m on parve keskmine kiirus ja punanihe, v_i on galaktika kiirus ja n vaadeldud kiirusega galaktikate arv parves.

Punanihete (kiiruste) vead SDSS spektroskoopilistel mõõtmistel on tühiselt väikesed, üldiselt

¹<http://cosmodb.to.ee/>

²<http://skyserver.sdss.org/dr10/en/help/browser/browser.aspx>

alla 20km/s ja neid seetõttu eraldi töös ei analüüsi (Tempel et al., 2014). Punanihetes sisaldub info nii kauguste kui vaatesuunaliste liikumiste kohta. Punanihete puhul on absoluutsete kauguste määramine raskendatud, sest need põhinevad teistel meetoditel leitud kaugustel.

2.2 Sloani digitaalne taevaülevaade

SDSS alustas tööd 2000 aasta aprillis. SDSS vaatlusprogramm hõlmab nii taeva fotosid (pildistatuna läbi viie *ugriz* filtri) kui ka spektroskoopilisi uuringuid. SDSS vaatlused on tehtud 2.5 meetrise teleskoopiga Apache Point Observatooriumis Uus-Mehhikos.

2008. aastal jõudis SDSS kolmandasse faasi, mis hõlmab ka 10. väljalaset (DR10). DR10 katab peamiselt põhjataeva uuringutes 14 555 nurkkraadi ning hõlmab ~ 1.8 miljoni galaktika, ~ 308 000 kvasari ja 736 000 tähe spektrit (York et al., 2000; Ahn et al., 2014). Antud töö põhinebki SDSS 10. väljalaskel.

2.3 A1436 ja A1270

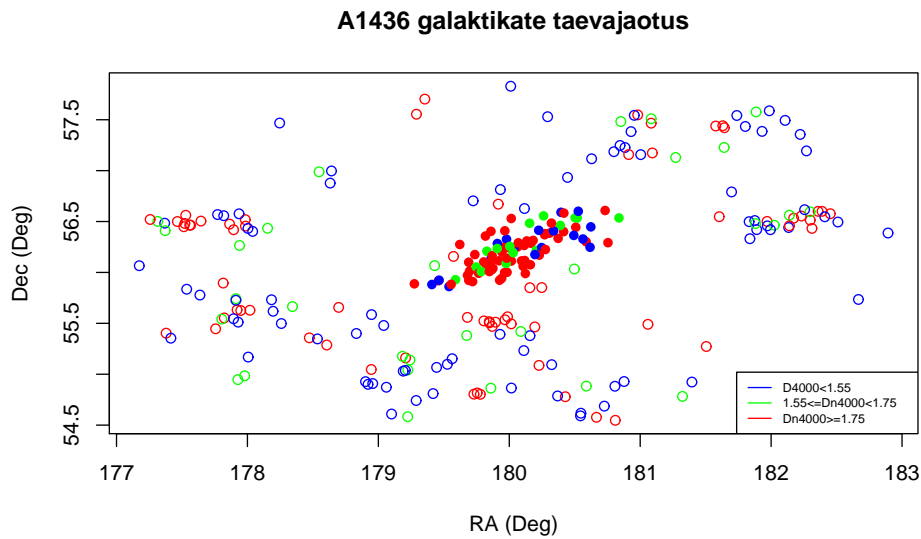
A1436 ja A1270 paiknevad mõlemad Ursa Majori superparves, mistõttu on nende ümbrus suuremal skaalal samasugune. Nende parvede galaktikate jaotus taevatasandis on näidatud joonistel 2.1 ja 2.2 ja parvede üldandmed on toodud tabelis 2.1

A1436 on omapärane selle poolest, et selle lähiumbruses peaaegu puuduvad nähtavad

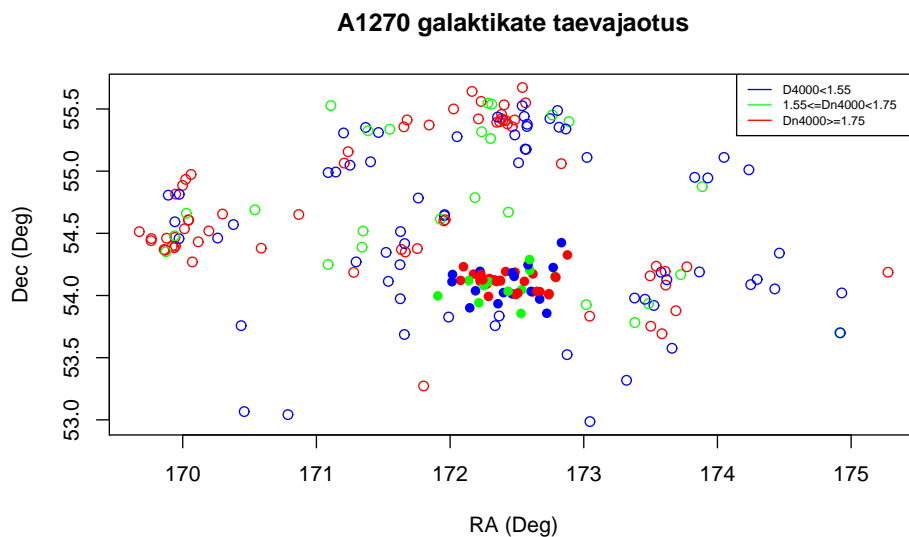
Tabel 2.1: Parvede A1436 ja A1270 andmed

	A1436	A1270
ID Tempel et al. (2014) kataloogis	6984	4592
heledate galaktikate arv parves	90	58
parve tsentri otsetõus R.A. (kraadides)	180.05	172.42
parve tsentri kääne Dec. (kraadides)	56.22	54.10
parve tsentri koordinaat λ (kraadides)	-2.74	-7.32
parve tsentri koordinaat η (kraadides)	23.85	22.35
parve tsentri punanihe	0.0654	0.0694
parve tsentri kaugus (h^{-1} Mpc)	193.5	205.0
kiiruste standardhälve (km/s)	614.6	508.8
viriaalaradius (h^{-1} Mpc)	0.613	0.396
parve kogumass ($h^{-1}M_{\odot}$)	$4.205 \cdot 10^{14}$	$1.99 \cdot 10^{14}$

galaktikad, kuigi tavaliselt on rikkad parved ümbritsetud filamentidega. On võimalik, et selle piirkonna heledad galaktikad on juba kukkunud parve (Einasto et al., 2018). Võimalik, et parv on hiljuti moodustunud kahe parve põrkumise teel, kuid seda hüpoteesi pole kontrollitud (Kopylova and Kopylov, 2009).



Joonis 2.1: Galaktikate taevajaotus A1436 piirkonnas, enne täiendavat andmetöötlust. Eri värvidega on tähistatud galaktikad, mille $D_n(4000)$ indeksi väärtus jääb erinevasse vahemikku, nagu toodud joonisel. Parve liikmed on tähistatud täissümbolitega, lähiumbruse galaktikad rõngastega.



Joonis 2.2: Galaktikate taevajaotus A1270 piirkonnas, enne täiendavat andmetöötlust. Eri värvidega on tähistatud galaktikad, mille $D_n(4000)$ indeksi väärtus jääb erinevasse vahemikku, nagu toodud joonisel. Parve liikmed on tähistatud täissümbolitega, lähiumbruse galaktikad rõngastega.

Peatükk 3

Meetodid

3.1 Projekteeritud faasiruumi diagramm (PPS)

Projekteeritud faasiruumi diagramm (PPS - *projected phase space*) kirjeldab parve ja selle lähiümbrusesse kuuluvate galaktikate vaaatesuunaliste kiiruste jaotuse sõltuvust galaktikate projekteeritud kaugusest parve keskkohast. PPS võimaldab eristada erineva parve kukkumise ajaga (t_{inf}) piirkondi ja võrrelda nende galaktikapopulatsioone. Parve kukkumisel kaotavad galaktikad tähtedevahelist gaasi, mistõttu neis lõpeb täheteke (Einasto et al., 2020).

Simulatsioonid näitavad, et PPS diagrammil võib galaktikate jaotust jagada kaheks küllaltki selgepiiriliseks piirkonnaks: väikesel parvetsentrilisel raadiusel kolmnurgakujulises osas paiknevad varem sisse kukkunud ($t_{inf} > 1\text{Ga}$) galaktikapopulatsioonid ning suuremal parvetsentrilisel raadiusel paiknevad hiljem või veel sisselangevad ($t_{inf} < 1\text{Ga}$) galaktikad, moodustades kitsama riba (Oman et al., 2013; Haines et al., 2015; Einasto et al., 2020).

Kui sissekukkuvad galaktikad vajuvad parve potentsiaaliauku, suureneb nende kiirus kuni 3000km/s. Pärast parve keskme läbimist, liiguvad nad teisele poole parve, moodustades väljaliikuvate (*back-splash*) galaktikate piirkonna. Väljaliikuvad galaktikad liiguvad seejärel tavaliselt kaugemale kui viriaalaradius, enne kui uuesti sisse kukkuvad. Väljaliikuvatel galaktikatel on tavaliselt väiksem kiirus kui esimest korda sisse kukkuvatel galaktikatel. Kiirus väheneb iga galaktikasse sisse kukkumisega, moodustades lõpuks väga väikesel parvetsentrilisel raadiusel tasakaalulise iidsete kukkujate (*ancient infallers*) piirkonna (Haines et al., 2015; Rhee et al., 2017).

Rhee et al. (2017) jagasid galaktikapopulatsioonid PPS-diagrammil neljaks: iidset kukkujad (*ancient infallers*) parve kukkumise ajaga üle 6.45Ga, vahepealsed kukkujad (*intermediate infallers*) kukkumise ajaga 3.63-6.45Ga, hiljutised kukkujad (*recent infallers*) kukkumise ajaga 0-3.63Ga ning esimest korda kukkujad (*first infallers*), mis pole veel parve kukkunud.

Oman et al. (2013) näitasid, et parve juba ammu kukkunud galaktikaid ja hiljuti või praegu parve kukkuvaid galaktikaid võib eraldada joonega, mis avaldub

$$\frac{V}{\sigma} = -\frac{4}{3} \frac{R}{r_{vir}} + 2, \quad (3)$$

kus σ on parve galaktikate kiiruste standardhälve, r_{vir} on viriaalaradiused. V ja R on PPS diagrammi teljed. V näitab galaktikate vaatesuunalisi kiirusi ja R galaktikate projekteeritud kaugusi parve keskpunktist. Seda valemit kasutan ka käesolevas töös.

PPS-diagrammi juures tuleb meele pidada, et parve viriaalaradiused suureneb parve kasvamisega. PPS diagrammi piirkondade asukoht sõltub parve massist, kuid langemisajaga $t_{inf} > 3.63$ Ga galaktikatele on sõltuvus tühiselt väike. Lisaks sellele raskendab PPS-diagrammi lugemist vaheletikkujad galaktikad (*interlopers*) - galaktikad, mis näivad olevat parve lähedal ainult projektsioonis, kuid tegelikult asuvad parvest kaugel (Rhee et al., 2017).

Töös kasutasin Haines et al. (2015) olevat joonist 13, mida võib leida lisast C.1 ning cite2017Rhee olevat joonist 6, mida võib leida lisast C.2.

3.2 $D_n(4000)$

$D_n(4000)$ on lainepikkuste vahemike 4000Å kuni 4100Å ja 3850Å kuni 3950Å kiirgusvoogude spektraalse tiheduste suhe (Balogh et al., 1999), (illustreeriv joonis lisas D.1). Seda põhjustab tugevalt muutuv läbipaistvus nendel lainepikkusel tähe atmosfääris, peamiselt ühekordselt ioniseeritud kaltsiumi ja vesiniku Balmeri seeria elektronide üleminekute tõttu. $D_n(4000)$ indeksit kasutatakse tihti galaktikasse kuuluvate tähtede vanuse määramisel, sest indeksi väärtus sõltub sellest, kui palju aega on möödunud eelnevast tähetekke perioodist. Galaktikad, mille tähemass on üle $1.5 * 10^{10} h^{-1} M_{\odot}$ on tavaliselt suurema $D_n(4000)$ indeksiga kui väiksema massiga galaktikad. Selle põhjuseks on arvatavasti asjaolu, et massiivsete galaktikate tähepopulatsioonid on vanemad, mistõttu on nad ka punasemad (Schneider, 2006; Deshev et al., 2017). Väga vanade galaktikate puhul sõltub $D_n(4000)$ ka nende metallilisusest (Kauffmann et al., 2003).

$D_n(4000) < 1.55$ on noore tähepopulatsiooniga galaktikad. $D_n(4000) = 1.55$ vastab vanusele umbes 1.5 Ga. $D_n(4000) \geq 1.75$ on väga vana tähepopulatsiooniga galaktikad, mille keskmine vanus on umbes 4Ga, või rohkem (Kauffmann et al., 2003). Sellel $D_n(4000)$ indeksi väärtusel langeb galaktikates täheteke kiirus ((Brinchmann et al., 2004).

Väga vana tähepopulatsiooniga galaktikad asuvad pigem parve keskosas (PPS diagrammil iidsete kukkujate piirkonnas), noorema tähepopulatsiooniga galaktikad parve äärealadel, filamentides, või on tegemist üksikgalaktikatega. Galaktika kaotab parves liikumisel gaasi ja täheteke temas lakkab, seetõttu ongi oodatav, et parve keskosas, iidsete kukkujate piirkonnas, on eelkõige vanade tähepopulatsioonidega galaktikad (Einasto et al., 2020).

3.3 Kolmogorovi-Smirnovi test

Käesolevas töös on tulemuste statistilist usaldusväärsust testitud Kolmogorovi-Smirnovi testi abil. Kolmogorovi-Smirnovi test võrdleb kahte jaotust ja annab tulemuseks p-väärtuse ehk olulisuse tõenäosuse, mis näitab kui suur on tõenäosus, et valimitel on samasugune jaotus. Erinevused jaotuste vahel on väga olulised siis, kui p-väärtus $p \leq 0.01$. (R Core Team, 2018)

Peatükk 4

Töö käik ja tulemused

4.1 Andmetöötlus

Töö tegemisel kasutan R statistikapaketti R Studio keskkonnas. Järgmises alapeatükis kirjeldan töö tegemise samme. Minu kirjutatud R koodid on leitavad lisas F.

1. Teisendasin andmete tabelites (näidised Lisas A, tabelid A.1 ja A.2) antud SDSS sfäärilised koordinaadid λ ja η Cartesiuse koordinaatideks. Selleks kasutasin valemit, nagu toodud Liivamägi et al. (2012):

$$x = -d_{cen}\sin\lambda$$

$$y = d_{cen}\cos\lambda\cos\eta$$

$$z = d_{cen}\cos\lambda\sin\eta.$$

d_{cen} on parve tsentri kaugus, mille sain Tempel et al. (2014) kataloogist. Sealt on võetud ka parve tsentri koordinaadid, mille teisendasin Cartesiuse koordinaatideks $(x_{cen}, y_{cen}, z_{cen})$ sama valemit kasutades. Kuna kasutasin kaugusena parve tsentri kaugust kõigi galaktikate puhul, näitavad Cartesiuse koordinaadid galaktikate paiknemist projekteerituna taeva tasandile.

2. Arvutasin välja galaktikate projekteeritud kaugused parve tsentrist (edaspidi parvetsentrilised kaugused), kasutades Pythagorase teoreemi.

$$D_c = \sqrt{(x - x_{cen})^2 + (y - y_{cen})^2 + (z - z_{cen})^2} \quad (4)$$

3. Arvutasin välja galaktikate vaatesuunaliste kiiruste ja parve tsentri kiiruse vahe, kasutades

galaktikate kaugust d ja Hubble konstanti, mille väärtuseks on $H_0 = 100h \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

$$v = H_0(d - d_{cen}) \quad (5)$$

4. Saadud PPS diagrammidelt (Lisa B, joonised B.1 ja B.2) on näha, et osadel galaktikatel on kiiruste vahed tsentri suhtes olulisemalt suuremad kui ülejäänutel galaktikatel. Need galaktikad võtan valimist välja, sest need paistavad olevat parve lähedal ainult projektsioonis, kuid tegelikult on kaugel (Deshev et al., 2017; Rhee et al., 2017). Saan uued PPS diagrammid (Lisa B, joonised B.3, B.4).

5. A1270 PPS diagrammil (B.4) on näha, et suurel parvetsentrilisel kaugusel paiknevad kaks suhteliselt rikast parve, mis hakavad tulemust mõjutama. Vähendasin mõlemas parves lähiümbrusesse arvatud galaktikate arvu ja jätsin valimist välja galaktikad, mis on kaugemal kui $4.5 h^{-1} \text{ Mpc}$.

6. Võrdlesin galaktikate $D_n(4000)$ indeksi ja parvetsentrilise kauguste tõenäosustiheduste jaotusi nii graafikut kui ka Kolmogorovi-Smirnovi testi kasutades. Võtsin valimist välja galaktika (ID=28425) parves A1270, sest selle $D_n(4000)$ indeksi väärtus on 0. Parameetrid, mille järgi võrdlesin galaktikaparvi on mingisse $D_n(4000)$ indeksi vahemiku jäävate galaktikate kauguste jaotus parve tsentrist, $D_n(4000)$ indeksi väärtus ja galaktikate kauguste jaotus.

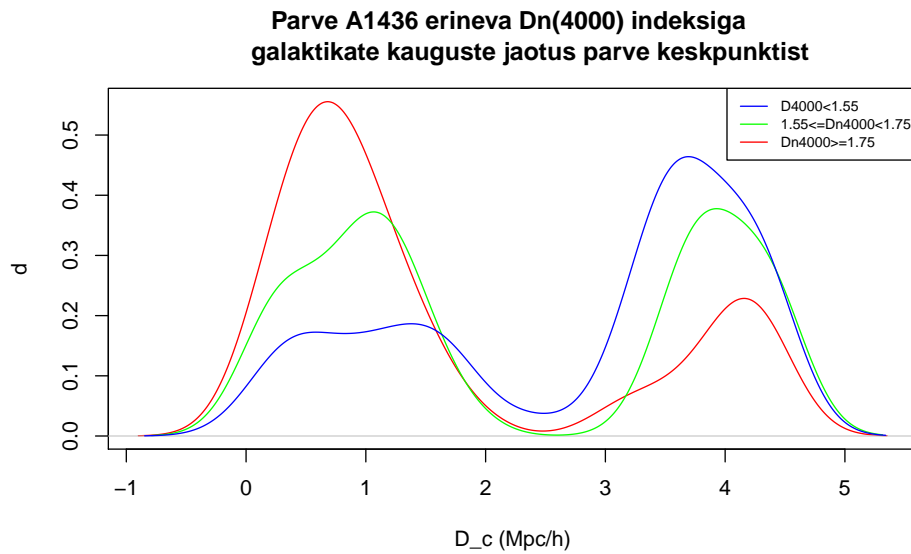
7. Võrdlesin parvede PPS diagramme, millele lisasin parvede viriaalaadiused ja sissekukkuvaid galaktikaid parvest eraldavad jooned. Sissekukkuvaid galaktikaid eraldav joon on arvutatud Oman et al. (2013) järgi (valem 3). Parvede PPS-diagramme võrdlesin visuaalselt kasutades projekteeritud faasidiagrammi piirkondade määramiseks markeritena lisaks eelnevalt toodud joontele ka artiklites Haines et al. (2015) olevat joonist 13 ja (C.1)Rhee et al. (2017) olevat joonist 6 (C.2).

4.2 Tulemused

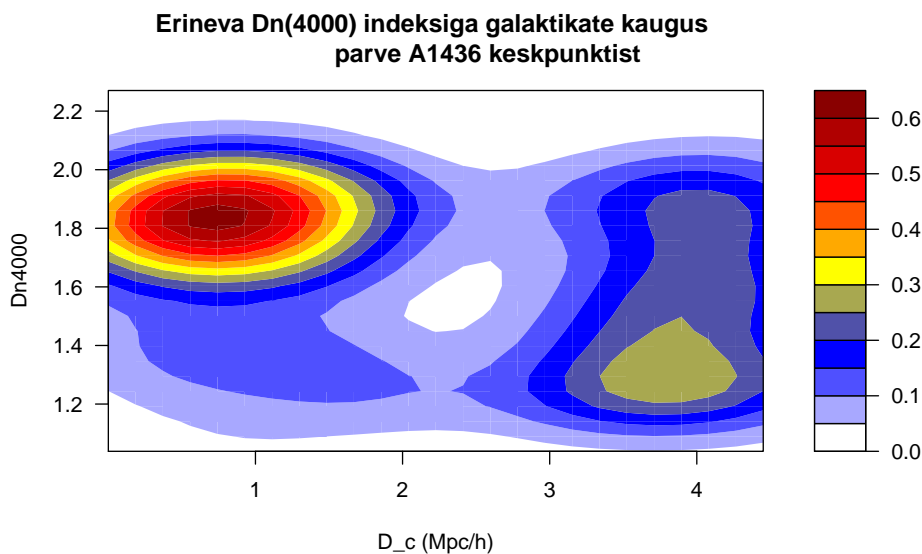
4.2.1 Parve A1436 ja selle lähiümbruse uurimine

Parve A1436 ja selle lähiümbruse (kauguseni $4.5h^{-1} \text{ Mpc}$ parve keskpunkti) vaadeldavas valimis on 172 galaktikat, millest 90 galaktikat (52%) kuuluvad parve A1436.

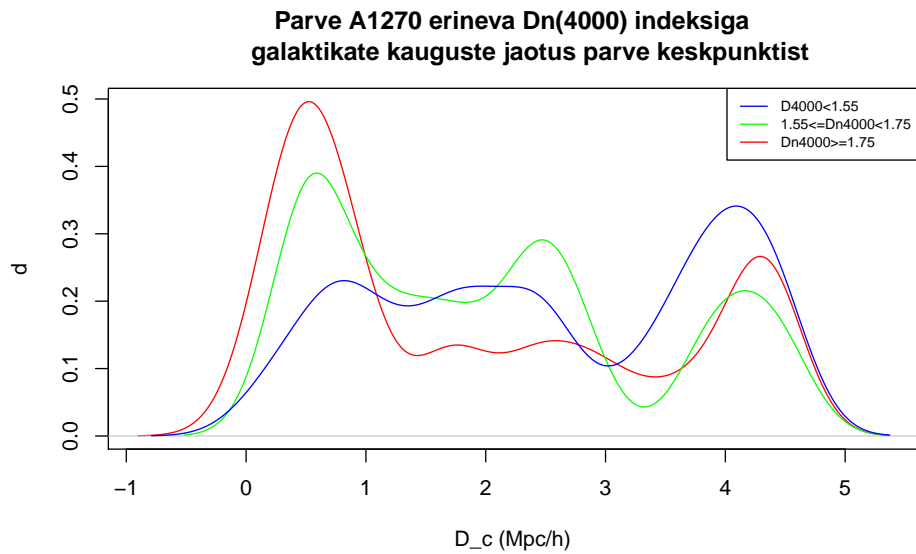
Joonisel 4.1 on toodud erineva $D_n(4000)$ indeksiga galaktikate parvetsentriliste kauguste



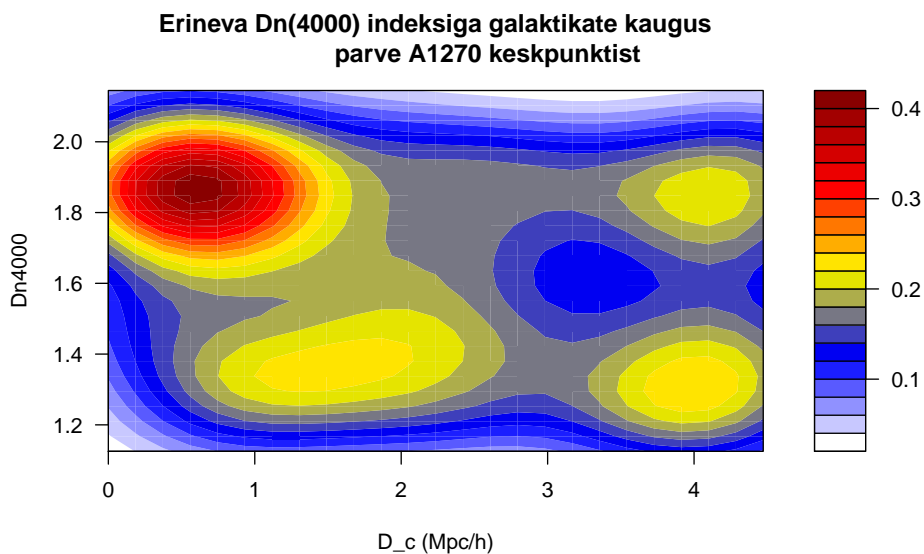
Joonis 4.1: Erineva $D_n(4000)$ indeksiga galaktikate parvetsentriliste kauguste D_c jaotus parves A1436 ja selle lähiumbruses, ribalaius 0.3



Joonis 4.2: Erineva $D_n(4000)$ indeksiga galaktikate kaugus parve A1436 keskpunktist. Abtsisssteljel parvetsentriline kaugus D_c ($h^{-1}\text{Mpc}$), ordinaatteljel $D_n(4000)$ indeksi väärtus. Kahedimensionaalne tuumameetodi abil leitud normaaljaotusel põhinev teljega joondatud tihedufunktsiooni hinnang (Venables and Ripley, 2002). Mõlemad teljed on jaotatud 25-ks osaks, moodustades ristküliku mõõtmetega ligikaudu $0.18 h^{-1}\text{Mpc} \cdot 0.05$, ribalaius abtsissil 2.38, ordinaadil 0.41. Joonise tegemisel on kasutasin R käsku *filled.contour (graphics)*. Paremas ülemises nurgas on näha peamiselt põhiparve kuuluvaid suurema $D_n(4000)$ indeksiga galaktikaid. Graafikul on näha, et parves A1470 on väiksema $D_n(4000)$ indeksiga galaktikaid suhteliselt vähem kui parves A1270 (joonis 4.4).



Joonis 4.3: Erineva $D_n(4000)$ indeksiga galaktikate parvetsentriliste kauguste D_c jaotus parves A1270 ja selle lähiumbruses, ribalaius 0.3



Joonis 4.4: Erineva $D_n(4000)$ indeksiga galaktikate kaugus parve A1270 keskpunktist. Abtsisssteljel parvetsentriline kaugus D_c ($h^{-1}\text{Mpc}$), ordinaatteljel $D_n(4000)$ indeksi väärtus. Kahedimensionaalne tuumameetodi abil leitud normaaljatusel põhinev teljega joondatud tihedufunktsiooni hinnang (Venables and Ripley, 2002). Mõlemad teljed on jaotatud 25-ks osaks, moodustades ristküliku mõõtmetega ligikaudu $0.18 h^{-1}\text{Mpc} \cdot 0.04$, ribalaius abtsissil 2.31, ordinaadil 0.43. Joonise tegemisel on kasutasin R käsku *filled.contour (graphics)*. Paremas ülemises nurgas on näha peamiselt põhiparve kuuluvaid suurema $D_n(4000)$ indeksiga galaktikaid. Graafikul on näha, et parves A1270 on väiksema $D_n(4000)$ indeksiga galaktikaid suhteliselt rohkem kui parves A1470.

jaotus parves A1436 ja tema lähiümbruses kaugusteni $4.5h^{-1}\text{Mpc}$. Joonisel on näha miinimum galaktikate kauguste jaotuses $2 - 3 h^{-1}\text{Mpc}$ vahel - see tuleb heledate galaktikate puudumisest selles kaugusvahemikus.

Uurisin parve A1436 koos lähiümbrusega. A1436-s on ülekaalus väga vanad galaktikad - 49%. Noore tähepopulatsiooniga galaktikaid on 33%. $D_n(4000)$ indeksi väärtus on alla 1.75 ja üle 1.55 18% galaktikatest (joonis 4.5, tabel 4.1).

Seejärel uurisin parve A1436 ilma lähiümbruseta (joonis 4.6, tabel 4.2). On näha, et põhiparves on ülekaalus indeksi väärtus $D_n(4000) > 1.75$ ehk väga vana tähepopulatsiooniga galaktikad. Väga vanade tähepopulatsioonidega galaktikaid on 64%. $D_n(4000)$ indeksi väärtus on alla 1.75 ja üle 1.55 17% galaktikatest. Noore tähepopulatsiooniga galaktikaid, kus toimub täheteke, $D_n(4000)$ indeksi väärtusega alla 1.55, on A1436-s 19% .

Uurisin parve A1436 lähiümbruse galaktikapopulatsioone (joonis 4.7, tabel 4.3). Lähiümbruses on ülekaalus noore tähepopulatsiooniga, indeksi väärtusega $D_n(4000) < 1.55$, galaktikad - 49%. Väga vana tähepopulatsiooniga galaktikaid on A1436 lähiümbruses - 32%. $D_n(4000)$ indeksi väärtus jääb vahemiku 1.55-1.75 20% A1436 lähiümbrusel.

4.2.2 Parve A1270 ja selle lähiümbruse uurimine

Parve A1270 ja selle lähiümbruse (kauguseni $4.5h^{-1}\text{Mpc}$ parve keskpunktist) vaadeldavasse valimisse jäid 152 galaktikat, millest 58 (38%) kuuluvad parve A1270.

Joonisel 4.3 on toodud erineva $D_n(4000)$ indeksiga galaktikate parvetsentriliste kauguste jaotus parves A1270 ja tema lähiümbruses kaugusteni $4.5 \text{ Mpc}/h$. Parve A1270 korral pole näha sellist miinimumi kauguste jaotuses $2 - 3 h^{-1}\text{Mpc}$ vahel nagu parves A1436, kuigi selles vahemikus on galaktikaid vähem.

Uurisin parve A1270 koos lähiümbrusega. A1270-s on väga vanu galaktikaid $D_n(4000) > 1.75$ sama palju kui noore tähepopulatsiooniga galaktikaid, kus täheteke veel toimub - 41%. $D_n(4000)$ indeksi väärtus on alla 1.75 ja üle 1.55 18% galaktikatest (tabel 4.1).

Uurisin A1270 ilma lähiümbruseta (joonis 4.6, tabel 4.2). Parves on ülekaalus indeksi

väärtus $D_n(4000) > 1.75$ ehk väga vana tähepopulatsiooniga galaktikad. A1270-s on väga vana tähepopulatsiooniga galaktikaid 53%. $D_n(4000)$ indeksi väärtus on alla 1.75 ja üle 1.55 A1270-s 19%. Noore tähepopulatsiooniga galaktikaid, kus toimub täheteke, $D_n(4000)$ indeksi väärtusega alla 1.55 on A1270-s 28%.

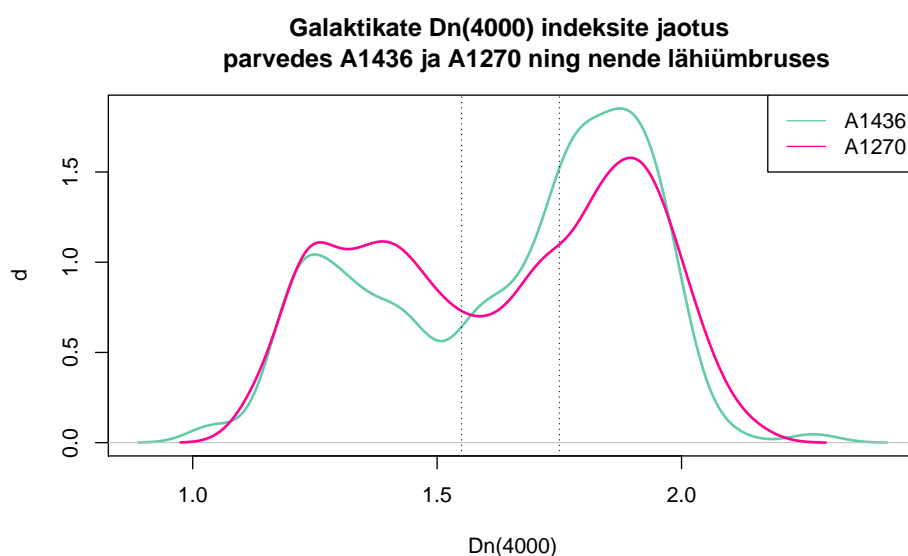
Uurisin parve A1270 lähiumbruse galaktikapopulatsioone. (joonis 4.7, tabel 4.3). Lähiumbruses on ülekaalus noore tähepopulatsiooniga galaktikad indeksiga $D_n(4000) < 1.55$ - 49%. Väga vana tähepopulatsiooniga galaktikaid on A1270 lähiumbruses on 34%. $D_n(4000)$ indeksi väärtus jääb vahemiku 1.55-1.75 17% A1270 lähiumbrusel.

4.2.3 Parvede A1436 ja A1270 võrdlemine

Parvede A1436 ja A1270 $D_n(4000)$ indeksi jaotuse uurimine

Tabel 4.1: $D_n(4000)$ indeksi väärtuste osakaal parvedes ja nende lähiumbruses

	$D_n(4000) < 1.55$	$1.55 \leq D_n(4000) < 1.75$	$D_n(4000) \geq 1.75$	mediaan
A1270	41%	18%	41%	1.68
A1436	33%	18%	49%	1.74



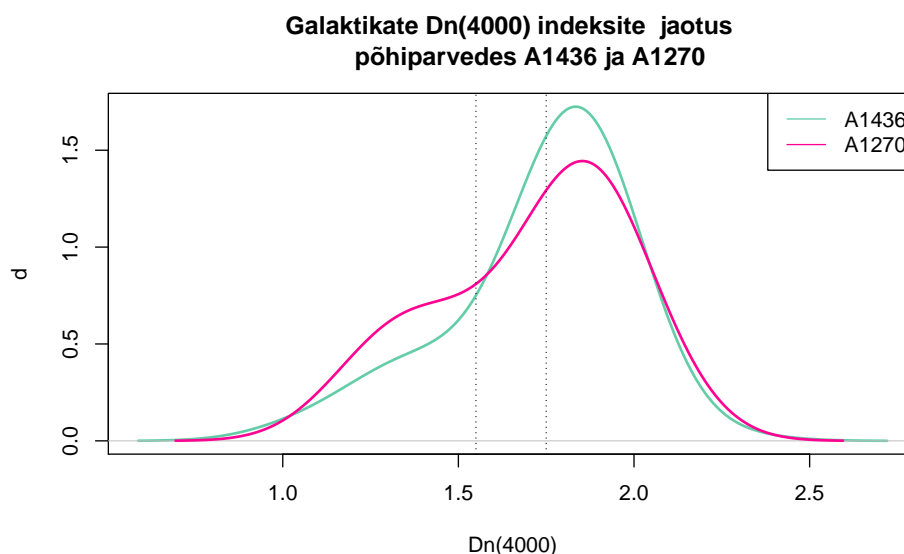
Joonis 4.5: Galaktikate $D_n(4000)$ indeksi jaotus parvedes A1436 ja A1260 ning nende lähiumbruses, ribaläius 0.15. Punktiirjooned tähistavad $D_n(4000)$ väärtusi 1.55 ja 1.75.

$D_n(4000)$ indeksi jaotus (joonis 4.5) on mõlema parve jaoks sarnane, andes KS-testi p -väärtuseks 0.5988, ning selle põhjal ei saa väita, et parvedesse kuuluvatel galaktikatel on erinev tähetekke ajalugu.

$D_n(4000)$ indeksi väärtus on alla 1.75 ja üle 1.55 18% galaktikatest mõlemas parves. A1436-s on rohkem väga vanu galaktikaid ning vähem noori galaktikaid, kui A1270-s. $D_n(4000)$ indeksi mediaanväärtus on A1270-l 1.68 ning A1436-l 1.74. Mediaani ja protsente mõjutab asjaolu, et A1436 valimis on parve kuuluvate galaktikate, mis on tavaliselt suurema $D_n(4000)$ väärtusega, osakaal suurem.

Tabel 4.2: $D_n(4000)$ indeksi väärtuste osakaal parvedes

	$D_n(4000) < 1.55$	$1.55 \leq D_n(4000) < 1.74$	$D_n(4000) \geq 1.75$	mediaan
A1270	28%	19%	53%	1.815
A1436	19%	17%	64%	1.791



Joonis 4.6: Galaktikate $D_n(4000)$ indeksi jaotus parvedes A1436 ja A1260, ribalaius 0.15. Punktiirjooned tähistavad $D_n(4000)$ väärtusi 1.55 ja 1.75. Joonisel on näha, et parve A1436 on noortemate tähepopulatsioonidega galaktikate osakaal väiksem.

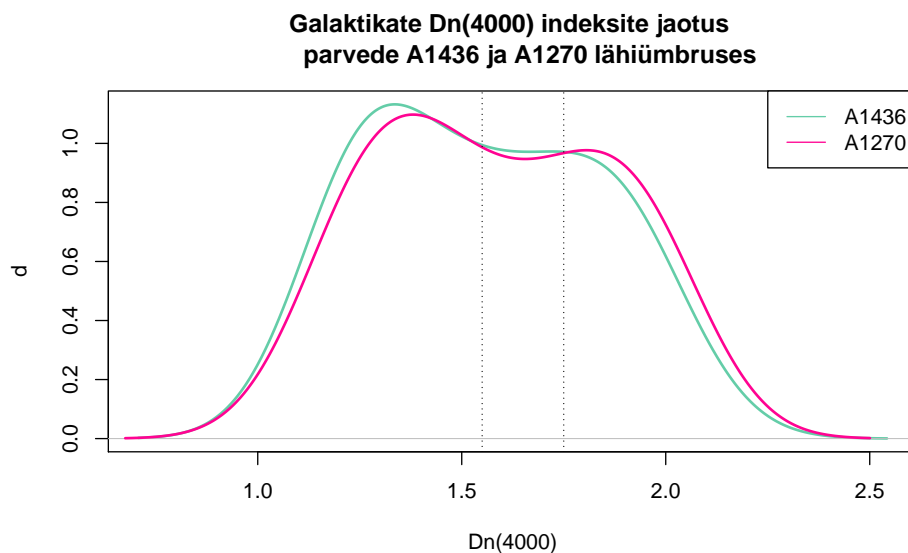
Võrreldes parvi ilma lähiumbruseta (joonis 4.6, tabel 4.2), on näha, et A1436-s on väga vanu galaktikaid rohkem kui A1270-s. See-eest noori galaktikaid, kus toimub täheteke, on A1270-s rohkem kui A1436-s. Galaktikaid $D_n(4000)$ indeksi väärtusega alla 1.75 ja üle 1.55 on

mõlemas parves umbes sama palju. Seega eelmises lõigus täheldatud väga vanade galaktikate suurem osakaal ei tulene ainult valimi suurusest, vaid galaktikapopulatsioon ongi parves A1436 keskmiselt vanem.

Võrreldes mediaane, on näha, et hoopis A1270 on kõrgem mediaan - 1.815, kuigi selle keskmine on tunduvalt väiksem-1.710 ning jaotuse standardhälve on 0.261. A1436 $D_n(4000)$ indeksi jaotuse mediaan - 1.791 on samuti natuke suurem kui keskmine - 1.736, kuid standardhälve väiksem kui parvel A1270 - 0.240. See annab märku, et mõlemas parves (aga eriti A1270-s) on $D_n(4000)$ indeksi jaotus kaldu kõrgemate väärtuste poole. Kusjuures suurema standardhällbega A1270-s on $D_n(4000)$ indeksi varieeruvus suurem ning noore tähepopulatsiooniga galaktikaid rohkem. KS-testi p-väärtuseks sain 0.5751.

Tabel 4.3: $D_n(4000)$ indeksi väärtuste osakaal parvede lähiumbruses

	$D_n(4000) < 1.55$	$1.55 \leq D_n(4000) < 1.74$	$D_n(4000) \geq 1.75$	mediaan
A1270	49%	17%	34%	1.56
A1436	49%	20%	32%	1.55



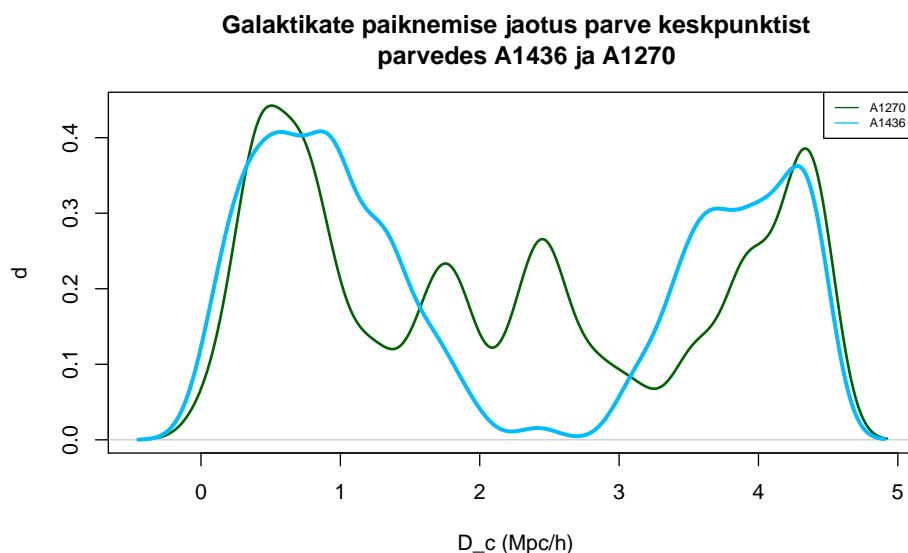
Joonis 4.7: $D_n(4000)$ indeksi jaotus parvede A1436 ja A1260 lähiumbruses, ribalaius 0.15. Punktirjooned tähistavad $D_n(4000)$ väärtusi 1.55 ja 1.75. Joonisel on näha, et põhiparvede lähiumbruse galaktikapopulatsioonide $D_n(4000)$ on väga sarnased.

Parvede lähiumbruste galaktikapopulatsioonid on veelgi sarnasemad (joonis 4.7, tabel 4.3).

Jaotuste võrdlemisel sain p-väärtuseks 0.8635. Lähiumbruses on ülekaalus $D_n(4000) < 1.55$ galaktikad, mõlema parve lähiumbruses 49%. Väga vanade tähepopulatsiooniga galaktikate ja tähetekkega galaktikate osakaal ei erine parviti üle 3 protsendipunkti. $D_n(4000)$ indeksi väärtuste mediaan on A1270 lähiumbruses 1.56 ja A1436 lähiumbruses 1.55.

Parvede A1436 ja A1270 galaktikate parvetsentriliste kauguste jaotuse uurimine

Galaktikate projekteeritud parvetsentriliste kauguste jaotus (joonis 4.8) pole oluliselt erinev, andes KS-testi p-väärtuseks 0.12. Erinevused on kõige enam näha parvetsentrilise kauguse vahemikus $\sim 2 - 3h^{-1}\text{Mpc}$, kus mõlemas parves langeb galaktikate arv, kuid A1436 puhul on tekkinud sügav miinimum, kus selles vahemikus on ainult 1 galaktika.

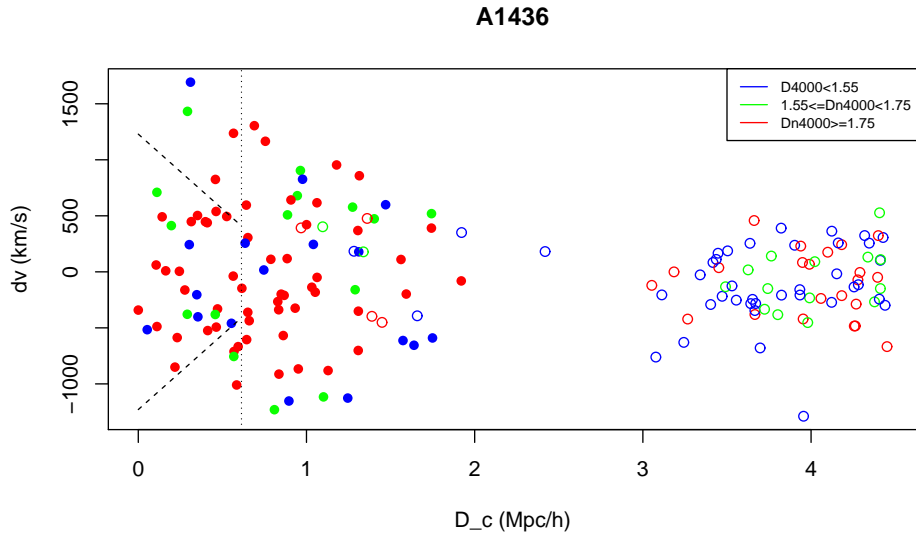


Joonis 4.8: Galaktikate kauguste jaotus parve tsentrist, ribalaius 0.15. Joonisel on näha, et galaktikate paiknemine erineb kõige rohkem parvetsentrilisel kaugusel $D_c = 2h^{-1}\text{Mpc}$ kuni $D_c = 3h^{-1}\text{Mpc}$, kus parve A1436 ümbruses on väga vähe galaktikaid.

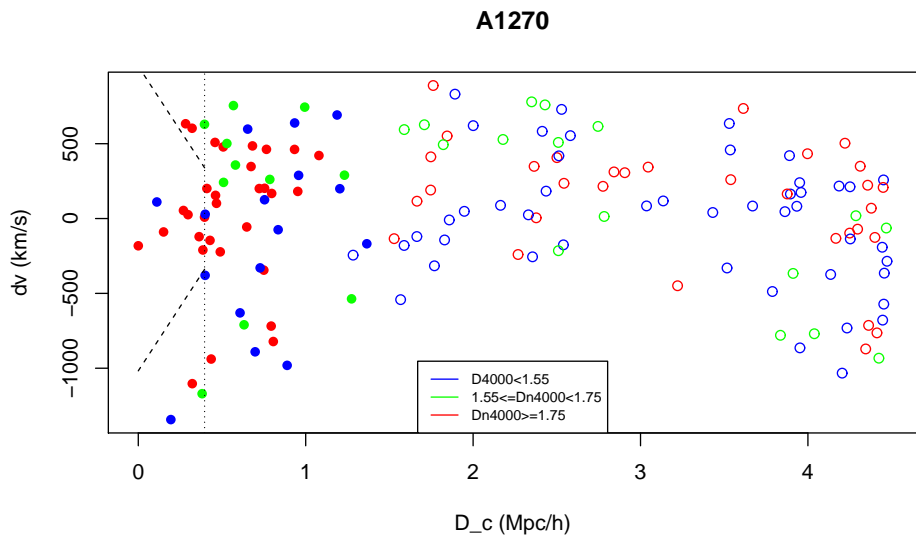
4.2.4 Parvede A1436 ja A1270 PPS diagrammide võrdlemine

Võrreldes faasiruumi diagramme (joonised 4.9, 4.10) on näha, et enamik põhiparvest asub väljaspool viriaalaradiust.

Parvel A1436 on galaktikate jaotusel iseloomulik kolmnurkne kuju. Tegemist võib olla tagasilükkuvate galaktikatega, kuid selle niinimetatud kolmnurga ulatus on piki abtsissi tunduvalt



Joonis 4.9: A1436 faasiruumi diagramm, Parv A1436 on tähistatud täissümboliga. Abstsissteljel on parvetsentriline kaugus D_c ($h^{-1}\text{Mpc}$), ordinaatteljel galaktikate vaatekiiresuunaliste kiiruste vahe parve tsentri kiirusest km/s. Joonisel on erinevatesse $D_n(4000)$ indeksi vahemikku jäävad galaktikad tähistatud eri värvidega, kus punased on vanemad galaktikad, milles tähetekke on lõppenud, ja sinised nooremad galaktikad. Joonisele on lisatud viriaalaradiust ja parve esimest korda kukkuvate galaktikate populatsiooni lahutavad jooned.



Joonis 4.10: A1270 faasiruumi diagramm, A1270 on tähistatud täissümboliga. Abstsissteljel on parvetsentriline kaugus D_c ($h^{-1}\text{Mpc}$), ordinaatteljel galaktikate vaatekiiresuunaliste kiiruste vahe parve tsentri kiirusest km/s. Joonisel on erinevatesse $D_n(4000)$ indeksi vahemikku jäävad galaktikad tähistatud eri värvidega, kus punased on vanemad galaktikad, milles tähetekke on lõppenud, ja sinised nooremad galaktikad. Joonisele on lisatud viriaalaradiust ja parve esimest korda kukkuvate galaktikate populatsiooni lahutavad jooned.

pikem, mis annab märku, et arvestatav osa galaktikatest on esimest korda sisselangevad. Vastupidiselt A1270, on PPS-diagrammil põhiparve sees näha parve mittekuuluvaid galaktikaid. $D_n(4000)$ indeksi jaotuses PPS-diagrammil, pole midagi eripärast märkida. Küll joonisel 4.4 võib märgata, et viriaalaadiusest väljaspoole tõuseb galaktikate hulk, mille $D_n(4000) < 1.75$.

Parve A1270 PPS-diagrammil paikneb virialiseeritud piirkonnas üllatavalt vähe galaktikaid. Väikesel parvetsentrilisel raadiusel on võimalik näha suure kiirusega liikuvaid esimest korda kukkujaid, kuid tüüpilist kolmnurgakujulist piirkonda ei teki. A1270-s on positiivse vaatesuunalise kiirusega (meist eemalduvaid) galaktikaid rohkem. Võimalik, et kataloogis pole parve tšenter täpselt määratud, sest tegemist võib olla ebakorrapärase parvega, mis on alles moodustamisel. Seda, et parv on alles moodustamisel kinnitab ka väikene galaktikate hulk virialiseeritud piirkonnas.

4.3 Tulemuste arutelu

Parvede galaktilise populatsiooni erinevused ei ole statistiliselt olulised. See tulemus erineb oodatust, ja tähendab, et parve A1436 evolutsioonist paremini aru saamiseks, tuleb tulevastest tööd suurendada võrreldavate parameetrite arvu ja valimi suurust. Samuti tuleks otsida veel A1436 tüüpi parvi, mille ümber puuduvad heledad galaktikad.

Mõlema parve PPS-diagrammil on vähemalt ühe korra parve läbinud galaktikate piirkonnas vähe galaktikaid. See võib tähendada, et tegemist on noorte parvedega, mis pole veel tasakaalu jõudnud. $D_n(4000)$ indeksi varieeruvus on parves A1436 väiksem. Parves on vähem noori galaktikaid, kuid ka väga suure $D_n(4000)$ indeksiga galaktikaid on vähem. See annab märku, et parves on pigem toimunud suuremad protsessid nagu põrge, mis on tähetekke lõpetanud kitsamal ajaperioodil, samas kui parve A1270 toimub pidev uute galaktikate juurdevool.

Kui vaadata galaktikate paiknemise tihedust PPS-diagrammil (joonised B.5), võib parves A1436 märgata kahte erineval kiirusel liikuvat galaktikapopulatsiooni. See paistab toetavat Kopylova and Kopylov (2009) hüpoteesi, et tegemist on hiljuti liitunud parvega. Kindlate järelduste tegemiseks peaks järgnevalt uurima parve massijaotust ja kõige heledamate galaktikate paiknemist.

Tänuavaldused

Soovin tänada oma lõputöö juhendajat Maret Einastot abi ja kannatlikuse eest. Lisaks soovin tänada oma vanemaid toe eest.

Soovin avaldada tänu ka Sloani Digitaalse taevaülevaate meeskonnale (Lisa D) ja ja Elmo Templile koos kaastöötajatega andmete kättesaadavaks tegemise eest.

Ella Skiller

Kirjandus

Abell, G. (1958). The Distribution of Rich Clusters of Galaxies. *Astrophysical Journal, Supplement*, 3:211.

Ahn, C. P., Alexandroff, R., Allende Prieto, C., Anders, F., Anderson, S. F., Anderton, T., Andrews, B. H., Aubourg, É., Bailey, S., Bastien, F. A., Bautista, J. E., Beers, T. C., Beifiori, A. r., Bender, C. F., Berlind, A. A., Beutler, F., Bhardwaj, V., Bird, J. C., Bizyaev, D., Blake, C. H., Blanton, M. R., Blomqvist, M., Bochanski, J. J., Bolton, A.Š., Borde, A., Bovy, J., Shelden Bradley, A., Brand t, W. N., Brauer, D., Brinkmann, J., Brownstein, J. R., Busca, N. G., Carithers, W., Carlberg, J. K., Carnero, A. R., Carr, M. A., Chiappini, C., Chojnowski, S. D., Chuang, C.-H., Comparat, J., Crepp, J. R., Cristiani, S., Croft, R. A. C., Cuesta, A. J., Cunha, K., da Costa, L. N., Dawson, K.Š., De Lee, N., Dean, J. D. R., Delubac, T., Deshpande, R., Dhital, S., Ealet, A., Ebelke, G. L., Edmondson, E. M., Eisenstein, D. J., Epstein, C. R., Escoffier, S., Esposito, M., Evans, M. L., Fabbian, D., Fan, X., Favole, G., Femenía Castellá, B., Fernández Alvar, E., Feuillet, D., Filiz Ak, N., Finley, H., Fleming, S. W., Font-Ribera, A., Frinchaboy, P. M., Galbraith-Frew, J. G., García-Hernández, D. A., García Pérez, A. E., Ge, J., Génova-Santos, R., Gillespie, B. A., Girardi, L., González Hernández, J. I., Gott, J. Richard, I., Gunn, J. E., Guo, H., Halverson, S., Harding, P., Harris, D. W., Hasselquist, S., Hawley, S. L., Hayden, M., Hearty, F. R., Herrero Davó, A., Ho, S., Hogg, D. W., Holtzman, J. A., Honscheid, K., Huehnerhoff, J., Ivans, I. I., Jackson, K. M., Jiang, P., Johnson, J. A., Kinemuchi, K., Kirkby, D., Klaene, M. A., Kneib, J.-P., Koesterke, L., Lan, T.-W., Lang, D., Le Goff, J.-M., Leauthaud, A., Lee, K.-G., Lee, Y.Š., Long, D. C., Loomis, C. P., Lucatello, S., Lupton, R. H., Ma, B., Mack, Claude E., I., Mahadevan, S., Maia, M. A. G., Majewski, S. R., Malanushenko, E., Malanushenko, V., Machado, A., Manera, M., Maraston, C., Margala, D., Martell, S. L., Masters, K. L., McBride, C. K., McGreer, I. D., McMahon, R. G., Ménard, B., Mészáros, S., Miralda-Escudé, J., Miyatake, H., Montero-Dorta, A. D., Montesano, F., More, S., Morrison, H. L., Muna, D., Munn, J. A., Myers, A. D., Nguyen, D. C., Nichol, R. C., Nidever, D. L., Noterdaeme, P., Nuza, S. E., O'Connell, J. E., O'Connell, R. W., O'Connell, R., Olmstead, M. D., Oravetz, D. J., Owen, R., Padmanabhan, N., Palanque-Delabrouille, N., Pan, K., Parejko, J. K., Parihar, P., Pâris,

- I., Pepper, J., Percival, W. J., Pérez-Ràfols, I., Dotto Perottoni, H., Petitjean, P., Pieri, M. M., Pinsonneault, M. H., Prada, F., Price-Whelan, A. M., Raddick, M. J., Rahman, M., Rebolo, R., Reid, B. A., Richards, J. C., Riffel, R., Robin, A. C., Rocha-Pinto, H. J., Rockosi, C. M., Roe, N. A., Ross, A. J., Ross, N. P., Rossi, G., Roy, A., Rubiño-Martin, J. A., Sabiu, C. G., Sánchez, A. G., Santiago, B., Sayres, C., Schiavon, R. P., Schlegel, D. J., Schlesinger, K. J., Schmidt, S. J., Schneider, D. P., Schultheis, M., Sellgren, K., Seo, H.-J., Shen, Y., Shetrone, M., Shu, Y., Simmons, A. E., Skrutskie, M. F., Slosar, A., Smith, V. V., Snedden, S. A., Sobock, J.Š., Sobreira, F., Stassun, K. G., Steinmetz, M., Strauss, M. A., Streblyanska, A., Suzuki, N., Swanson, M. E. C., Terrien, R. C., Thakar, A. R., Thomas, D., Thompson, B. A., Tinker, J. L., Tojeiro, R., Troup, N. W., Vandenberg, J., Vargas Magaña, M., Viel, M., Vogt, N. P., Wake, D. A., Weaver, B. A., Weinberg, D. H., Weiner, B. J., White, M., White, S. D. M., Wilson, J. C., Wisniewski, J. P., Wood-Vasey, W. M., Yèche, C., York, D. G., Zamora, O., Zasowski, G., Zehavi, I., Zhao, G.-B., Zheng, Z., and Zhu, G. (2014). The Tenth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-III Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment. *Astrophysical Journal, Supplement*, 211(2):17.
- Balogh, M. L., Morris, S. L., Yee, H. K. C., Carlberg, R. G., and Ellingson, E. (1999). Differential Galaxy Evolution in Cluster and Field Galaxies at $z \sim 0.3$. *Astrophysical Journal*, 527(1):54–79.
- Boselli, A. and Gavazzi, G. (2006). Environmental Effects on Late-Type Galaxies in Nearby Clusters. *Publications of the ASP*, 118(842):517–559.
- Brinchmann, J., Charlot, S., White, S. D. M., Tremonti, C., Kauffmann, G., Heckman, T., and Brinkmann, J. (2004). The physical properties of star-forming galaxies in the low-redshift Universe. *Monthly Notices of the RAS*, 351(4):1151–1179.
- Codis, S., Pogosyan, D., and Pichon, C. (2018). On the connectivity of the cosmic web: theory and implications for cosmology and galaxy formation. *Monthly Notices of the RAS*, 479(1):973–993.
- Colless, M., Dalton, G., Maddox, S., Sutherland, W., Norberg, P., Cole, S., Bland-Hawthorn, J., Bridges, T., Cannon, R., Collins, C., Couch, W., Cross, N., Deeley, K., de Propris, R., Driver, S. P., Efstathiou, G., Ellis, R.Š., Frenk, C.Š., Glazebrook, K., Jackson, C., Lahav, O., Lewis, I., Lumsden, S., Madgwick, D., Peacock, J. A., Peterson, B. A., Price, I., Seaborne, M., and Taylor, K. (2001). The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328(4):1039–1063.
- Darragh Ford, E., Laigle, C., Gozaliasl, G., Pichon, C., Devriendt, J., Slyz, A., Arnouts, S., Dubois, Y., Finoguenov, A., Griffiths, R., Kraljic, K., Pan, H., Peirani, S., and Sarron, F.

- (2019). Group connectivity in COSMOS: a tracer of mass assembly history. *Monthly Notices of the RAS*, 489(4):5695–5708.
- Deshev, B., Finoguenov, A., Verdugo, M., Ziegler, B., Park, C., Hwang, H.Š., Haines, C., Kamphuis, P., Tamm, A., Einasto, M., Hwang, N., and Park, B.-G. (2017). Galaxy evolution in merging clusters: The passive core of the “Train Wreck” cluster of galaxies, A520. *Astronomy and Astrophysics*, 607:A131.
- Dressler, A. (1980). Galaxy morphology in rich clusters: implications for the formation and evolution of galaxies. *Astrophysical Journal*, 236:351–365.
- Einasto, M., Deshev, B., Lietzen, H., Kipper, R., Tempel, E., Park, C., Gramann, M., Heinämäki, P., Saar, E., and Einasto, J. (2018). Infalling groups and galaxy transformations in the cluster A2142. *Astronomy and Astrophysics*, 610:A82.
- Einasto, M., Deshev, B., Tenjes, P., Heinämäki, P., Tempel, E., Juhan Liivamägi, L., Einasto, J., Lietzen, H., Tuvikene, T., and Chon, G. (2020). Multiscale cosmic web detachments, connectivity, and preprocessing in the supercluster SCl A2142 cocoon. *Astronomy and Astrophysics*, 641:A172.
- Einasto, M., Saar, E., Martínez, V. J., Einasto, J., Liivamägi, L. J., Tago, E., Starck, J. L., Müller, V., Heinämäki, P., Nurmi, P., Paredes, S., Gramann, M., and Hütsi, G. (2008). Toward Understanding Rich Superclusters. *Astrophysical Journal*, 685(1):83–104.
- Gunn, J. E. and Gott, J. Richard, I. (1972). On the Infall of Matter Into Clusters of Galaxies and Some Effects on Their Evolution. *Astrophysical Journal*, 176:1.
- Haines, C. P., Pereira, M. J., Smith, G. P., Egami, E., Babul, A., Finoguenov, A., Ziparo, F., McGee, S. L., Rawle, T. D., Okabe, N., and Moran, S. M. (2015). LoCuSS: The Slow Quenching of Star Formation in Cluster Galaxies and the Need for Pre-processing. *Astrophysical Journal*, 806(1):101.
- Hubble, E. P. (1926). Extragalactic nebulae. *Astrophysical Journal*, 64:321–369.
- Hubble, E. P. (1936). *Realm of the Nebulae*. Yale University Press.
- Jõeveer, M., Einasto, J., and Tago, E. (1978). Spatial distribution of galaxies and of clusters of galaxies in the southern galactic hemisphere. *Monthly Notices of the RAS*, 185:357–370.
- Kauffmann, G., Heckman, T. M., White, S. D. M., Charlot, S., Tremonti, C., Brinchmann, J., Bruzual, G., Peng, E. W., Seibert, M., Bernardi, M., Blanton, M., Brinkmann, J., Castander, F., Csábai, I., Fukugita, M., Ivezić, Z., Munn, J. A., Nichol, R. C., Padmanabhan, N., Thakar, A. R., Weinberg, D. H., and York, D. (2003). Stellar masses and star formation histories for 10^5 galaxies from the Sloan Digital Sky Survey. *Monthly Notices of the RAS*, 341(1):33–53.

- Kopylova, F. G. and Kopylov, A. I. (2009). Analysis of the properties of clusters of galaxies in the region of the Ursa Major supercluster. *Astrophysical Bulletin*, 64(1):1–23.
- Libeskind, N. I., van de Weygaert, R., Cautun, M., Falck, B., Tempel, E., Abel, T., Alpaslan, M., Aragón-Calvo, M. A., Forero-Romero, J. E., Gonzalez, R., Gottlöber, S., Hahn, O., Hellwing, W. A., Hoffman, Y., Jones, B. J. T., Kitaura, F., Knebe, A., Manti, S., Neyrinck, M., Nuza, S. E., Padilla, N., Platen, E., Ramachandra, N., Robotham, A., Saar, E., Shand arin, S., Steinmetz, M., Stoica, R.Š., Sousbie, T., and Yepes, G. (2018). Tracing the cosmic web. *Monthly Notices of the RAS*, 473(1):1195–1217.
- Liivamägi, L. J., Tempel, E., and Saar, E. (2012). SDSS DR7 superclusters. The catalogues. *Astronomy and Astrophysics*, 539:A80.
- Mo, H., van den Bosch, F., and White, S. (2010). *Galaxy Formation and Evolution*. Cambridge University Press.
- Moore, B., Katz, N., Lake, G., Dressler, A., and Oemler, A. (1996). Galaxy harassment and the evolution of clusters of galaxies. *Nature*, 379(6566):613–616.
- Oman, K. A., Hudson, M. J., and Behroozi, P.Š. (2013). Disentangling satellite galaxy populations using orbit tracking in simulations. *Monthly Notices of the RAS*, 431(3):2307–2316.
- Peng, Y., Maiolino, R., and Cochrane, R. (2015). Strangulation as the primary mechanism for shutting down star formation in galaxies. *Nature*, 521(7551):192–195.
- R Core Team (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rhee, J., Smith, R., Choi, H., Yi, S. K., Jaffé, Y., Candlish, G., and Sánchez-Jánssen, R. (2017). Phase-space Analysis in the Group and Cluster Environment: Time Since Infall and Tidal Mass Loss. *Astrophysical Journal*, 843(2):128.
- Schneider, P. (2006). *Extragalactic Astronomy and Cosmology*. Springer.
- Tempel, E., Tamm, A., Gramann, M., Tuvikene, T., Liivamägi, L. J., Suhhonenko, I., Kipper, R., Einasto, M., and Saar, E. (2014). Flux- and volume-limited groups/clusters for the SDSS galaxies: catalogues and mass estimation. *Astronomy and Astrophysics*, 566:A1.
- Turner, E. L. and Gott, J. R., I. (1976). Groups of galaxies. I. A catalog. *Astrophysical Journal, Supplement*, 32:409–427.
- Venables, W. N. and Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Springer, New York, fourth edition. ISBN 0-387-95457-0.

Weinberg, S. (2008). *Cosmology*. Oxford University Press.

York, D. G., Adelman, J., Anderson, John E., J., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bakken, J. A., Barkhouser, R., Bastian, S., Berman, E., Boroski, W. N., Bracker, S., Briegel, C., Briggs, J. W., Brinkmann, J., Brunner, R., Burles, S., Carey, L., Carr, M. A., Castander, F. J., Chen, B., Colestock, P. L., Connolly, A. J., Crocker, J. H., Csabai, I., Czarapata, P. C., Davis, J. E., Doi, M., Dombeck, T., Eisenstein, D., Ellman, N., Elms, B. R., Evans, M. L., Fan, X., Federwitz, G. R., Fiscelli, L., Friedman, S., Frieman, J. A., Fukugita, M., Gillespie, B., Gunn, J. E., Gurbani, V. K., de Haas, E., Haldeman, M., Harris, F. H., Hayes, J., Heckman, T. M., Hennessy, G.Š., Hindsley, R. B., Holm, S., Holmgren, D. J., Huang, C.-h., Hull, C., Husby, D., Ichikawa, S.-I., Ichikawa, T., Ivezić, Ž., Kent, S., Kim, R. S. J., Kinney, E., Klaene, M., Kleinman, A. N., Kleinman, S., Knapp, G. R., Korienek, J., Kron, R. G., Kunszt, P.Ž., Lamb, D. Q., Lee, B., Leger, R. F., Limmongkol, S., Lindenmeyer, C., Long, D. C., Loomis, C., Loveday, J., Lucinio, R., Lupton, R. H., MacKinnon, B., Mannery, E. J., Mantsch, P. M., Margon, B., McGehee, P., McKay, T. A., Meiksin, A., Merelli, A., Monet, D. G., Munn, J. A., Narayanan, V. K., Nash, T., Neilsen, E., Neswold, R., Newberg, H. J., Nichol, R. C., Nicinski, T., Nonino, M., Okada, N., Okamura, S., Ostriker, J. P., Owen, R., Pauls, A. G., Peoples, J., Peterson, R. L., Petravick, D., Pier, J. R., Pope, A., Pordes, R., Prosapio, A., Rechenmacher, R., Quinn, T. R., Richards, G. T., Richmond, M. W., Rivetta, C. H., Rockosi, C. M., Ruthmansdorfer, K., Sandford, D., Schlegel, D. J., Schneider, D. P., Sekiguchi, M., Sergey, G., Shimasaku, K., Siegmund, W. A., Smee, S., Smith, J. A., Snedden, S., Stone, R., Stoughton, C., Strauss, M. A., Stubbs, C., SubbaRao, M., Szalay, A.Š., Szapudi, I., Szokoly, G. P., Thakar, A. R., Tremonti, C., Tucker, D. L., Uomoto, A., Vanden Berk, D., Vogeley, M.Š., Waddell, P., Wang, S.-i., Watanabe, M., Weinberg, D. H., Yanny, B., Yasuda, N., and SDSS Collaboration (2000). The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary. *Astronomical Journal*, 120(3):1579–1587.

Lisa A

Andmed

Andmete tabeli näidised. Pealdiste selgitused: id- galaktika ID number Tempel et al. (2014) kataloogis, idgr- grupi ID number Tempel et al. (2014) kataloogis, nggr - galaktikate arv grupis, rank - galaktika järjekorranumber parves vastavalt heledusele, grdist - grupi kaugus (Mpc/h), zred - punanihe, distg - galaktika kaugus (Mpc/h), ra - otsetõus kraadides, dec - kääne kraadides, lam - λ ja eta - η on taevakoordinaadid SDSS poolt kasutatud süsteemis, gmag ja rmag on galaktika tähesuurused g ja r filtris, m* -galaktika täheline mass, Dn(4000) - $D_n(4000)$ indeks.

Tabel A.1: A1270

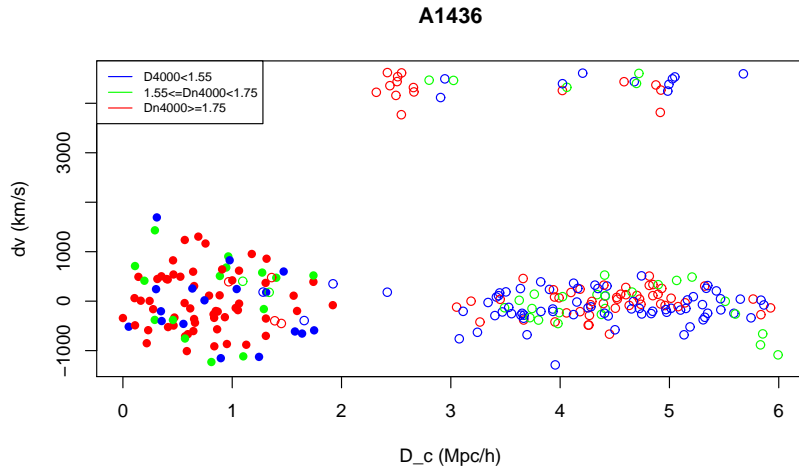
id	idgr	nggr	rank	grdist	zred	distg	ra	dec	lam	eta	gmag	rmag	m*	dn(4000)
22441	1868	85	2	208.418	0.0709190	211.215	169.763	54.4411	-8.79149	22.9054	-20.7200	-21.5484	11.1823	1.92962
26253	1868	85	3	208.418	0.0692263	206.288	169.942	54.4673	-8.68402	22.9086	-20.6166	-21.4331	11.0618	1.95211
27576	1868	85	4	208.418	0.0700413	208.666	169.867	54.3628	-8.74908	22.8148	-20.5650	-21.4094	11.1660	2.00393
29767	1868	85	5	208.418	0.0715338	213.003	169.765	54.4578	-8.78669	22.9216	-20.5456	-21.3616	11.1038	1.83580
39212	1868	85	10	208.418	0.0704760	209.921	170.013	54.5368	-8.62887	22.9683	-20.2780	-21.1498	11.0476	1.94660
39795	1868	85	11	208.418	0.0696486	207.518	169.879	54.4609	-8.72148	22.9102	-20.4570	-21.1126	10.8167	1.75674
50089	1868	85	15	208.418	0.0703969	209.699	169.922	54.3969	-8.71025	22.8414	-20.1404	-20.9740	10.9798	1.93761
53538	1868	85	17	208.418	0.0711745	211.962	169.935	54.3839	-8.70579	22.8270	-20.0491	-20.9235	11.0476	2.01893
62061	1868	85	18	208.418	0.0701957	209.102	170.044	54.6056	-8.59667	23.0325	-19.9492	-20.7987	10.9705	1.91511
75226	1868	85	23	208.418	0.0708204	210.919	170.042	54.6086	-8.59696	23.0356	-19.8074	-20.6372	10.8696	1.92176
81867	1868	85	24	208.418	0.0689187	205.394	170.116	54.4317	-8.59289	22.8517	-19.7651	-20.5760	10.7252	1.92074
86594	1868	85	27	208.418	0.0699104	208.276	170.195	54.5193	-8.52946	22.9285	-19.6952	-20.5367	10.7561	1.97282

Tabel A.2: A1436

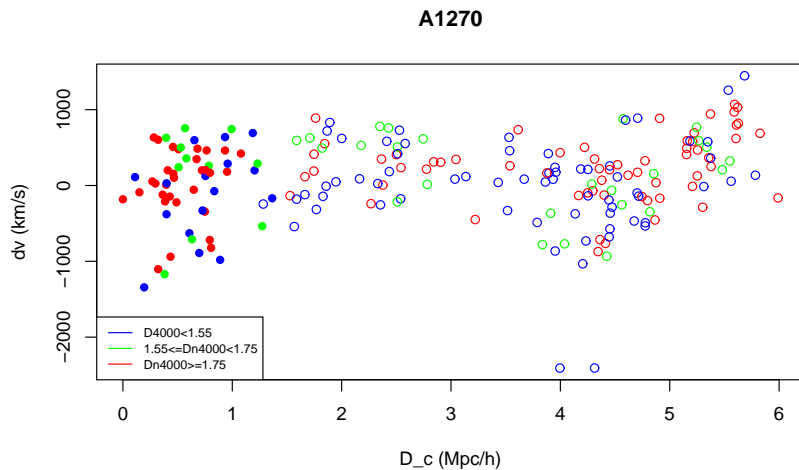
id2	idgr2	nggr2	rank2	grdist2	zred2	distg2	ra2	dec2	lam2	eta2	gmag2	rmag2	m*	Dn4000
5917	3097	18	1	238.661	0.0807791	239.729	179.967	55.5349	-2.84550	23.1380	-21.9197	-22.8044	11.8193	1.98962
60961	3097	18	2	238.661	0.0791876	235.119	179.806	55.5239	-2.93760	23.1338	-20.1911	-21.1315	11.0411	1.95539
129947	3097	18	4	238.661	0.0794293	235.820	180.195	55.4646	-2.72193	23.0587	-19.6932	-20.5472	10.7460	2.00933
236881	3097	18	5	238.661	0.0804918	238.899	179.895	55.5110	-2.88783	23.1171	-19.2173	-20.0673	10.6552	1.94681
258790	3097	18	6	238.661	0.0803390	238.461	180.158	55.3789	-2.74865	22.9746	-19.2169	-20.0365	10.6444	1.48152
261333	3097	18	7	238.661	0.0801519	237.914	179.847	55.5164	-2.91479	23.1246	-19.1033	-19.9984	10.6348	1.96494
296464	3097	18	9	238.661	0.0807566	239.665	180.015	55.4949	-2.82161	23.0962	-19.0432	-19.9010	10.5963	2.04824
375044	3097	18	11	238.661	0.0798648	237.081	179.680	55.5585	-3.00605	23.1738	-18.8649	-19.6964	10.4021	1.97367
387792	3097	18	13	238.661	0.0794050	235.746	179.987	55.5642	-2.83214	23.1665	-18.8159	-19.6679	10.4159	1.95523
413349	3097	18	15	238.661	0.0802481	238.196	180.088	55.4200	-2.78560	23.0184	-18.8400	-19.6085	10.2504	1.63153
427804	3097	18	16	238.661	0.0778407	231.215	179.848	55.5047	-2.91527	23.1129	-18.7584	-19.5815	10.3301	1.80836
494972	3097	18	17	238.661	0.0797335	236.704	179.870	55.4697	-2.90505	23.0770	-18.6331	-19.4457	10.2355	1.97460

Lisa B

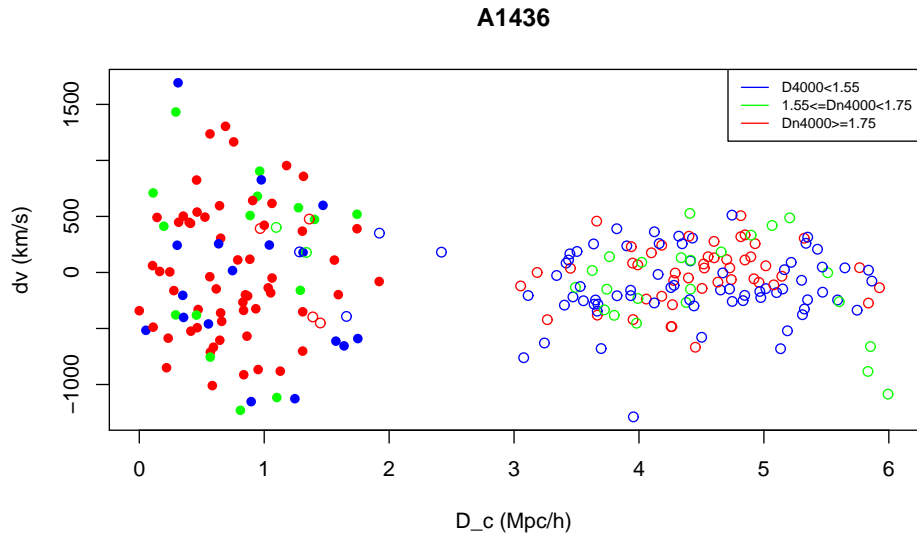
Graafikud



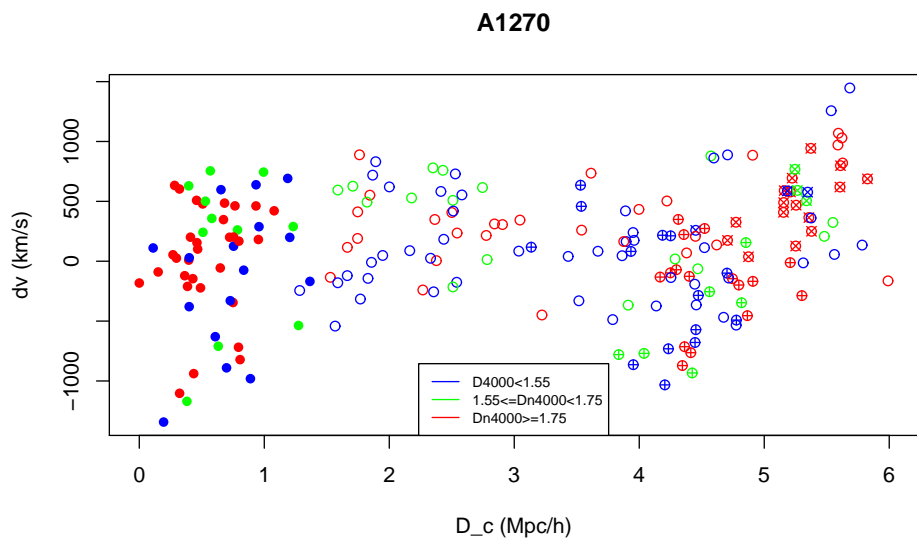
Joonis B.1: A1436 faasiruumi diagramm enne täiendavat andmetöötlust. A1436 on tähistatud täissümboliga. Suurtel absoluutkiirustel on projektsioonis lähedal näivad, kuid tegelikult põhiparvest kaugel olevad galaktikad. Need kaugel olevad galaktikad eemaldan edasisest andmetööst.



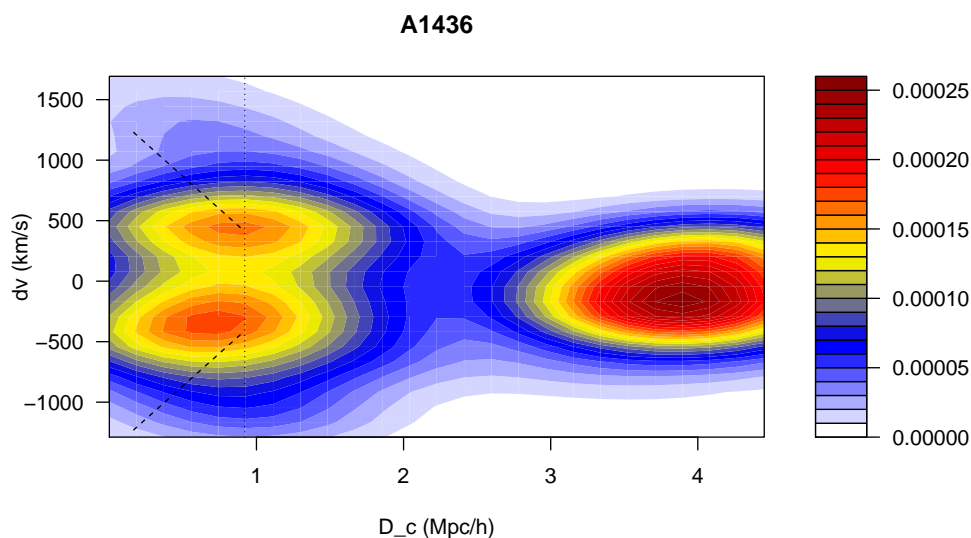
Joonis B.2: A1270 faasiruumi diagramm, enne täiendavat andmetöötlust. A1270 on tähistatud täissümboliga. Suurtel absoluutkiirustel on kaks galaktikad, mis näivad olevat projektsioonis lähedal, kuid tegelikult asuvad põhiparvest kaugel. Need kaugel olevad galaktikad eemaldan edasisest andmetööst.



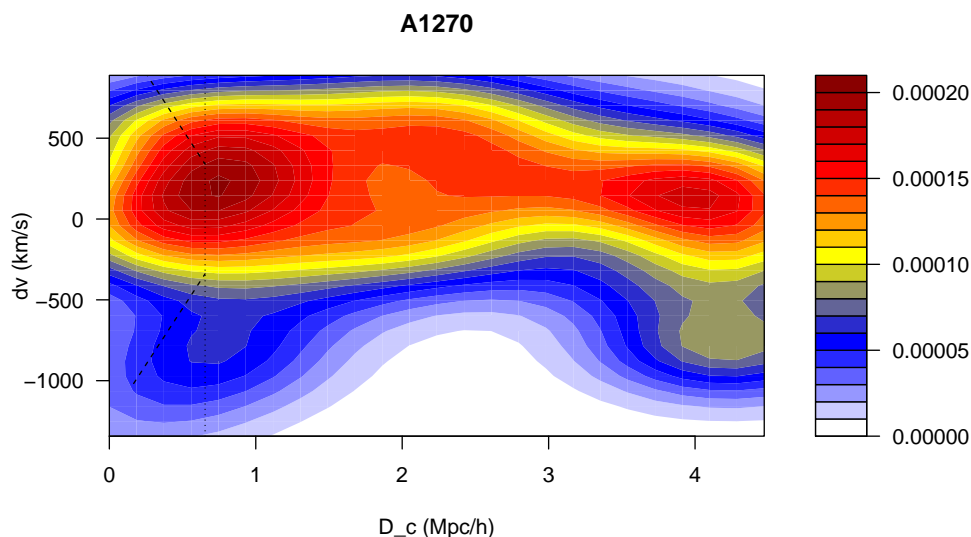
Joonis B.3: A1436 faasiruumi diagramm, pärast vaatevälja sihis parvest suurel kaugusel olevate galaktikate eemaldamist. A1436 on tähistatud täissümboliga.



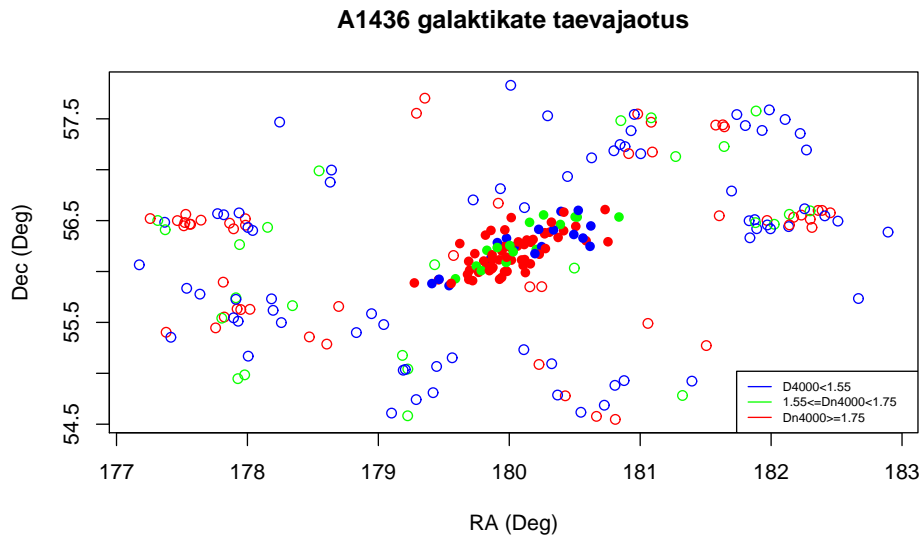
Joonis B.4: A1270 faasiruumi diagramm, pärast vaatevälja sihis parvest suurel kaugusel olevate galaktikate eemaldamist. A1270 on tähistatud täissümboliga. Eraldi on märgitud suurel parvetsentrilisel kaugusel olevad parved 85 galaktikaga 1868 ja 36-galaktikaga 6803. Edasises andmetöötuses eemaldan galaktikad, mille parvtsentriline kaugus D_c on suurem kui 4.5Mpc/h.



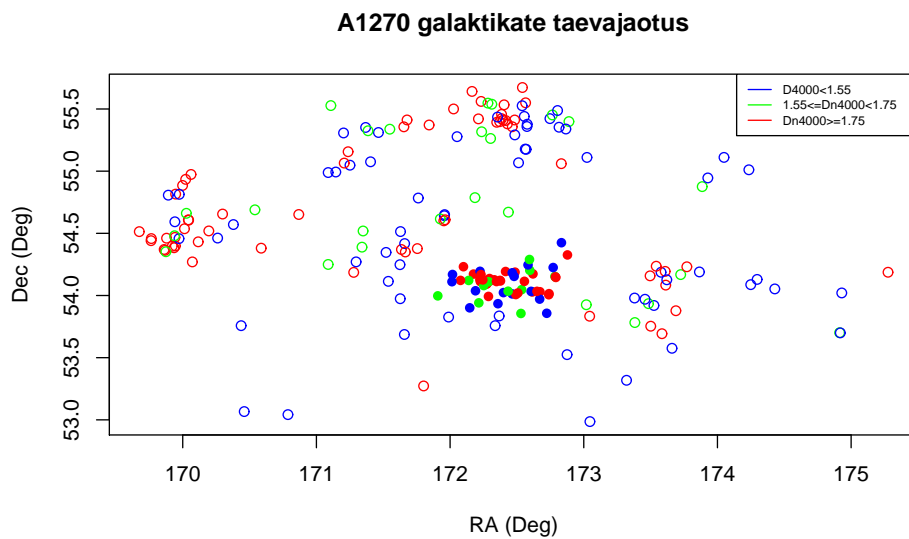
Joonis B.5: A1436 faasiruumi diagramm, galaktikate paiknemise tihedus. Joonisele on lisatud viriaalaradiust ja parve esimest korda kukkuvate galaktikate populatsiooni lahutav joon. Absissteljel parvetsentriline kaugus D_c , ordinaatteljel galaktikate vaatekiiresuunaliste kiiruste vahe parve tsentri kiirusest dv . Kahedimensionaalne tuumameetodi abil leitud normaaljatusel põhinev teljega joondatud tihedufunktsiooni hinnang (Venables and Ripley, 2002). Mõlemad teljed on jaotatud 25-ks osaks, moodustades ristküliku mõõtmetega ligikaudu $0.18 \text{ Mpc/h} * 89 \text{ km/s}$, ribalaius abtsissil 2.30, ordinaadil 725. Joonise tegemisel on kasutatud R käsku *filled.contour (graphics)*.



Joonis B.6: A1270 faasiruumi diagramm, galaktikate paiknemise tihedus. Joonisele on lisatud viriaalaradiust ja parve esimest korda kukkuvate galaktikate populatsiooni lahutav joon. Absissteljel parvetsentriline kaugus D_c , ordinaatteljel galaktikate vaatekiiresuunaliste kiiruste vahe parve tsentri kiirusest dv . Kahedimensionaalne tuumameetodi abil leitud normaaljatusel põhinev teljega joondatud tihedufunktsiooni hinnang (Venables and Ripley, 2002). Mõlemad teljed on jaotatud 25-ks osaks, moodustades ristküliku mõõtmetega ligikaudu $0.18 \text{ Mpc/h} * 119 \text{ km/s}$, ribalaius abtsissil 2.38, ordinaadil 744. Joonise tegemisel on kasutatud R käsku *filled.contour (graphics)*.



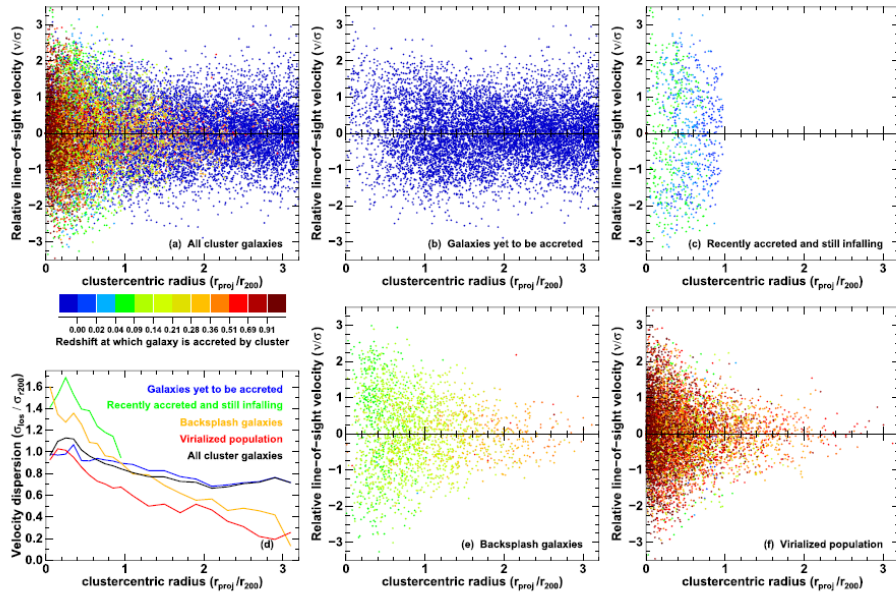
Joonis B.7: Galaktikate taevajaotus A1436 piirkonnas, pärast vaatevälja sihis parvest suurel kaugusel olevate galaktikate eemaldamist. A1436 on tähistatud täissümboliga.



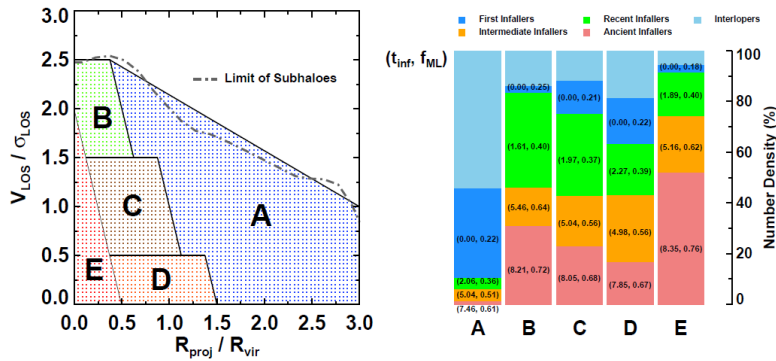
Joonis B.8: Galaktikate taevajaotus A1270 piirkonnas, pärast vaatevälja sihis parvest suurel kaugusel olevate galaktikate eemaldamist. A1270 on tähistatud täissümboliga.

Lisa C

PPS-diagrammid



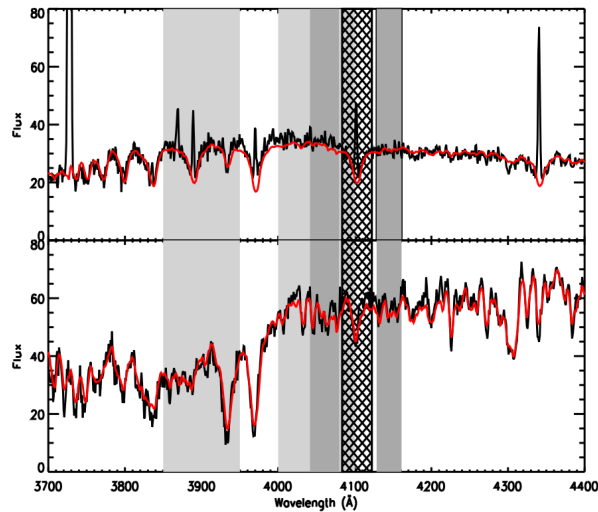
Joonis C.1: Haines et al. (2015) joonis 13. Kirjeldab PPS-diagrammil galaktikapopulatsioonide paiknemist



Joonis C.2: Rhee et al. (2017) joonis 6. Vasakpoolne graafik kirjeldab PPS-diagrammi piirkondi ning parempoolne piirkondade koostist. Piirkonnad on valitud nii, et mingi sissekukkumisajaga galaktikad oleksid ülekaalus. Galaktikad on jaotatud sissekukkumisaja järgi neljaks: iidset kukkujad (*ancient infallers*) $t_{inf} > 6.45\text{Gyr}$, vahepealsed kukkujad (*intermediate infallers*), $3.63 < t_{inf} < 6.45\text{Gyr}$, hiljutised kukkujad (*recent infallers*), kukkumise ajaga $0 < t_{inf} < 3.63\text{Gyr}$ ning esimest korda kukkujad (*first infallers*), mis pole veel parve kukkunud.

Lisa D

$D_n(4000)$ indeks



Joonis D.1: Kauffmann et al. (2003) joonis 1. Ülemisel joonisel on hiltist tüüpi galaktika spekter ja alumisel varast tüüpi galaktika spekter, mis pärinevad SDSS uuringust. Helehalli värviga on märgitud spektri kiirgusvoogude vahemik, mida kasutatakse $D_n(4000)$ indeksi määramisel.

Lisa E

SDSS

Funding for SDSS-III has been provided by the Alfred P. Sloan Foundation, the Participating Institutions, the National Science Foundation, and the U.S. Department of Energy Office of Science. The SDSS-III web site is <http://www.sdss3.org/>.

SDSS-III is managed by the Astrophysical Research Consortium for the Participating Institutions of the SDSS-III Collaboration including the University of Arizona, the Brazilian Participation Group, Brookhaven National Laboratory, Carnegie Mellon University, University of Florida, the French Participation Group, the German Participation Group, Harvard University, the Instituto de Astrofísica de Canarias, the Michigan State/Notre Dame/JINA Participation Group, Johns Hopkins University, Lawrence Berkeley National Laboratory, Max Planck Institute for Astrophysics, Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, New Mexico State University, New York University, Ohio State University, Pennsylvania State University, University of Portsmouth, Princeton University, the Spanish Participation Group, University of Tokyo, University of Utah, Vanderbilt University, University of Virginia, University of Washington, and Yale University.

Lisa F

R kood

```
#koordinaatide arvutamine
#A1436
cen.dist2 <- 193.5239
cen.lam2 <- -2.741200
cen.eta2 <- 23.84758
#A1270
cen.dist <- 205.02
cen.lam <- -7.32397
cen.eta <- 22.3515
#A1436
x2 <- -cen.dist2*sin(A1436$lam2*pi/180)
y2<- cen.dist2*cos(A1436$lam2*pi/180)*cos(A1436$eta2*pi/180)
z2<- cen.dist2*cos(A1436$lam2*pi/180)*sin(A1436$eta2*pi/180)
#A1270
x <- -cen.dist*sin(A1270$lam*pi/180)
y<- cen.dist*cos(A1270$lam*pi/180)*cos(A1270$eta*pi/180)
z<- cen.dist*cos(A1270$lam*pi/180)*sin(A1270$eta*pi/180)
#parve tsentri koordinaadid
#-----
cen.x2 <- -cen.dist2*sin(cen.lam2*pi/180)
cen.y2<- cen.dist2*cos(cen.lam2*pi/180)*cos(cen.eta2*pi/180)
cen.z2<- cen.dist2*cos(cen.lam2*pi/180)*sin(cen.eta2*pi/180)
cen.x <- -cen.dist*sin(cen.lam*pi/180)
cen.y<- cen.dist*cos(cen.lam*pi/180)*cos(cen.eta*pi/180)
cen.z<- cen.dist*cos(cen.lam*pi/180)*sin(cen.eta*pi/180)
#-----
```

```

# galaktika kaugus parve tsestrist
D_c2 <- sqrt((cen.x2-x2)^2+(cen.y2-y2)^2+(cen.z2-z2)^2)
D_c <- sqrt((cen.x-x)^2+(cen.y-y)^2+(cen.z-z)^2)
# galaktikate kiirus
v <- (A1270$distg-cen.dist)*100
v2 <- (A1436$distg2-cen.dist2)*100
#esialgne taevajaotus
plot(A1270$ra,A1270$dec, col = ifelse(A1270$d4000nsub<1.55, "blue",ifelse(A1270$d4000nsub>=1.55, "red", "green"))
legend("topright", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75"))

plot(A1436$ra2,A1436$dec2, col = ifelse(A1436$d4000nsub2<1.55, "blue",ifelse(A1436$d4000nsub2>=1.55, "red", "green"))
legend("bottomright", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75"))
#-----
# PPS-diagrammid esialgsed
#Eraldi m2rgitud p6hiparv A1270
plot(D_c,v, col = ifelse(A1270$d4000nsub<1.55, "blue",ifelse(A1270$d4000nsub>=1.55, "red", "green"))
legend("bottomleft", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75"))
#Eraldi m2rgitud ainult p6hiparv A1436
plot(D_c2,v2, col = ifelse(A1436$d4000nsub2<1.55, "blue",ifelse(A1436$d4000nsub2>=1.55, "red", "green"))
legend("topleft", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75"))
#-----
#Eemaldan projektsioonis kugel olevad galaktikad.
#A1436
plot(density(A1436$distg2))
TA1436 <-A1436[A1436$distg<220,]
x2 <- -cen.dist2*sin(TA1436$lam2*pi/180)
y2<- cen.dist2*cos(TA1436$lam2*pi/180)*cos(TA1436$eta2*pi/180)
z2<- cen.dist2*cos(TA1436$lam2*pi/180)*sin(TA1436$eta2*pi/180)
D_c2 <- sqrt((cen.x2-x2)^2+(cen.y2-y2)^2+(cen.z2-z2)^2)
v2 <- (TA1436$distg2-cen.dist2)*100
plot(D_c2,v2, col = ifelse(TA1436$d4000nsub2<1.55, "blue",ifelse(TA1436$d4000nsub2>=1.55, "red", "green"))
legend("topright", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75"))
#A1270
plot(density(A1270$distg))
TA1270 <-A1270[A1270$distg>185,]
x <- -cen.dist*sin(TA1270$lam*pi/180)
y<- cen.dist*cos(TA1270$lam*pi/180)*cos(TA1270$eta*pi/180)
z<- cen.dist*cos(TA1270$lam*pi/180)*sin(TA1270$eta*pi/180)
D_c <- sqrt((cen.x-x)^2+(cen.y-y)^2+(cen.z-z)^2)

```

```

v <- (TA1270$distg - cen.dist)*100
plot(D_c, v, col = ifelse(TA1270$d4000nsub < 1.55, "blue", ifelse(TA1270$d4000nsub
legend("bottom", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75")),
#taevajaotus
plot(TA1270$ra, TA1270$dec, col = ifelse(TA1270$d4000nsub < 1.55, "blue", ifelse(T
legend("topright", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75"))
plot(TA1436$ra2, TA1436$dec2, col = ifelse(TA1436$d4000nsub2 < 1.55, "blue", ifels
legend("bottomright", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.7
#-----
# Eemaldan PPS-diagrammil D_c > 4.5 Mpc/h olevad galaktikad
tA1436 <- TA1436[D_c < 4.5,]
t.lam2 <- tA1436$lam2
t.eta2 <- tA1436$eta2
t.d4000nsub2 <- tA1436$d4000nsub2
t.rank2 <- tA1436$rank2
t.distg2 <- tA1436$distg2
x2t <- -cen.dist2*sin(t.lam2*pi/180)
y2t <- cen.dist2*cos(t.lam2*pi/180)*cos(t.eta2*pi/180)
z2t <- cen.dist2*cos(t.lam2*pi/180)*sin(t.eta2*pi/180)
D_c2 <- sqrt((cen.x2-x2t)^2+(cen.y2-y2t)^2+(cen.z2-z2t)^2)
v2 <- (tA1436$distg2 - cen.dist2)*100
#A1270
tA1270 <- TA1270[D_c < 4.5,]
# v6tan valimist v2lja galaktika ID=28425
tA1270 <- tA1270[tA1270$id != 28425,]
t.lam <- tA1270$lam
t.eta <- tA1270$eta
t.d4000nsub <- tA1270$d4000nsub
t.rank <- tA1270$rank
t.distg <- tA1270$distg
xt <- -cen.dist*sin(t.lam*pi/180)
yt <- cen.dist*cos(t.lam*pi/180)*cos(t.eta*pi/180)
zt <- cen.dist*cos(t.lam*pi/180)*sin(t.eta*pi/180)
D_c <- sqrt((cen.x-xt)^2+(cen.y-yt)^2+(cen.z-zt)^2)
v <- (tA1270$distg - cen.dist)*100
#-----
#joonte arvutamine
sigma.v2 <- 614.578058
r.vir2 <- 0.613458

```

```

sigma.v<-508.762363
r.vir<-0.396064
#-
r<-c(0,r.vir/2,r.vir)
r2<-c(0,r.vir2/2,r.vir2)
#-
y<-(2*sigma.v)-(4*sigma.v/(3*r.vir)*r)
y2<-(2*sigma.v2)-(4*sigma.v2/(3*r.vir2)*r2)
# PPS-diagrammid
plot(D_c,v, col = ifelse(tA1270$d4000nsub<1.55, "blue",ifelse(tA1270$d4000nsub
legend("bottom", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75"),
  abline(v=r.vir, lty=3)
  lines(r,y, lty=2)
  lines (r,-y, lty=2)
#-
plot(D_c2,v2, col = ifelse(tA1436$d4000nsub2<1.55, "blue",ifelse(tA1436$d4000n
legend("topright", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75")
  abline(v=r.vir2, lty=3)
  lines(r2,y2, lty=2)
  lines (r2,-y2, lty=2)
#-----
#PPS diagrammid 2D Kernel
library(MASS)
set.seed(0)
dat <- data.frame(x=D_c2, y=v2)
dt <- kde2d(dat$x, dat$y)
filled.contour(dt, main="A1436" ,xlab="D_c_□(Mpc/h)", ylab="dv_□(km/s)",color.p
  abline(v=r.vir2, lty=3)
  lines(r2,y2, lty=2)
  lines (r2,-y2, lty=2)
  set.seed(0)
dat <- data.frame(x=D_c, y=v)
dt <- kde2d(dat$x, dat$y)
filled.contour(dt, main="A1270" ,xlab="D_c_□(Mpc/h)", ylab="dv_□(km/s)",color.p
  abline(v=r.vir, lty=3)
  lines(r,y, lty=2)
  lines (r,-y, lty=2)
#-----
# Dn4000 lahutamine

```

```

#-----
#A1270
T1A1270 <-tA1270[tA1270$d4000nsub<1.55,]
d1.lam      <- T1A1270$lam
d1.eta <- T1A1270$eta
d1.d4000nsub <- T1A1270$d4000nsub
d1.rank<-T1A1270$rank
d1.distg<-T1A1270$distg
xd1 <- -cen.dist*sin(d1.lam*pi/180)
yd1<- cen.dist*cos(d1.lam*pi/180)*cos(d1.eta*pi/180)
zd1<- cen.dist*cos(d1.lam*pi/180)*sin(d1.eta*pi/180)
R_1 <- sqrt((cen.x-xd1)^2+(cen.y-yd1)^2+(cen.z-zd1)^2)
#-
T2A1270 <-tA1270[tA1270$d4000nsub>=1.55& tA1270$d4000nsub<1.75 ,]
d2.lam      <- T2A1270$lam
d2.eta <- T2A1270$eta
d2.d4000nsub <- T2A1270$d4000nsub
d2.rank<-T2A1270$rank
d2.distg<-T2A1270$distg
xd2 <- -cen.dist*sin(d2.lam*pi/180)
yd2<- cen.dist*cos(d2.lam*pi/180)*cos(d2.eta*pi/180)
zd2<- cen.dist*cos(d2.lam*pi/180)*sin(d2.eta*pi/180)
R_2 <- sqrt((cen.x-xd2)^2+(cen.y-yd2)^2+(cen.z-zd2)^2)
#-
T3A1270 <-tA1270[tA1270$d4000nsub>=1.75 ,]
d3.lam      <- T3A1270$lam
d3.eta <- T3A1270$eta
d3.d4000nsub <- T3A1270$d4000nsub
d3.rank<-T3A1270$rank
d3.distg<-T3A1270$distg
xd3 <- -cen.dist*sin(d3.lam*pi/180)
yd3<- cen.dist*cos(d3.lam*pi/180)*cos(d3.eta*pi/180)
zd3<- cen.dist*cos(d3.lam*pi/180)*sin(d3.eta*pi/180)
R_3 <- sqrt((cen.x-xd3)^2+(cen.y-yd3)^2+(cen.z-zd3)^2)
# tihedused
d_1<- density(R_1, bw=0.3)
d_2<- density(R_2, bw=0.3)
d_3<- density(R_3, bw=0.3)
#jooonis

```

```

plot(d_3, col="red", main="Parve A1270 erineva Dn(4000) indeksiga
galaktikate kauguste jaotus parve keskpunktist", xlab="D_c (Mpc/h)", ylab="Dn")
lines(d_2,col="green")
lines(d_1,col="blue")
legend("topright", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75"),
#-----
#A1436
T1A1436 <-tA1436[tA1436$d4000nsub2<1.55,]
d1.lam2 <- T1A1436$lam2
d1.eta2 <- T1A1436$eta2
d1.d4000nsub2 <- T1A1436$d4000nsub2
d1.rank2<-T1A1436$rank2
d1.distg2<-T1A1436$distg2
x2d1 <- -cen.dist2*sin(d1.lam2*pi/180)
y2d1<- cen.dist2*cos(d1.lam2*pi/180)*cos(d1.eta2*pi/180)
z2d1<- cen.dist2*cos(d1.lam2*pi/180)*sin(d1.eta2*pi/180)
R2_1 <- sqrt((cen.x2-x2d1)^2+(cen.y2-y2d1)^2+(cen.z2-z2d1)^2)
#-
T2A1436 <-tA1436[tA1436$d4000nsub2>=1.55& tA1436$d4000nsub2<1.75 ,]
d2.lam2 <- T2A1436$lam2
d2.eta2 <- T2A1436$eta2
d2.d4000nsub2 <- T2A1436$d4000nsub2
d2.rank2<-T2A1436$rank2
d2.distg2<-T2A1436$distg2
x2d2 <- -cen.dist2*sin(d2.lam2*pi/180)
y2d2<- cen.dist2*cos(d2.lam2*pi/180)*cos(d2.eta2*pi/180)
z2d2<- cen.dist2*cos(d2.lam2*pi/180)*sin(d2.eta2*pi/180)
R2_2 <- sqrt((cen.x2-x2d2)^2+(cen.y2-y2d2)^2+(cen.z2-z2d2)^2)
#-
T3A1436 <-tA1436[tA1436$d4000nsub2>=1.75 ,]
d3.lam2 <- T3A1436$lam2
d3.eta2 <- T3A1436$eta2
d3.d4000nsub2 <- T3A1436$d4000nsub2
d3.rank2<-T3A1436$rank2
d3.distg2<-T3A1436$distg2
x2d3 <- -cen.dist2*sin(d3.lam2*pi/180)
y2d3<- cen.dist2*cos(d3.lam2*pi/180)*cos(d3.eta2*pi/180)
z2d3<- cen.dist2*cos(d3.lam2*pi/180)*sin(d3.eta2*pi/180)
R2_3 <- sqrt((cen.x2-x2d3)^2+(cen.y2-y2d3)^2+(cen.z2-z2d3)^2)

```

```

#tihedused
d2_1<- density(R2_1, bw=0.3)
d2_2<- density(R2_2, bw=0.3)
d2_3<- density(R2_3, bw=0.3)
#joonis
plot(d2_3, col="red", main="Parve_A1436_erineva_Dn(4000)_indeksiga
galaktikate_kauguste_jaotus_parve_keskpunktist", xlab="D_c_(Mpc/h)", ylab="d")
  lines(d2_2,col="green")
  lines(d2_1,col="blue")
  legend("topright", legend=c("D4000<1.55", "1.55<=Dn4000<1.75", "Dn4000>=1.75")
#-----
library(MASS)
set.seed(0)
dat <- data.frame(x=D_c, y=tA1270$d4000nsub)
dt <- kde2d(dat$x, dat$y)
  filled.contour(dt, main="Erineva_Dn(4000)_indeksiga_galaktikate_kaugus
_ _parve_A1270_keskpunktist", ,xlab="D_c_(Mpc/h)", ylab="Dn4000",color.palette=
#-
set.seed(0)
dat <- data.frame(x=D_c2, y=tA1436$d4000nsub2)
dt <- kde2d(dat$x, dat$y)
  filled.contour(dt, main="Erineva_Dn(4000)_indeksiga_galaktikate_kaugus
_ _parve_A1436_keskpunktist", ,xlab="D_c_(Mpc/h)", ylab="Dn4000",color.palette=c
#-----
#Dn4000 v6rdlemine
d <- density(tA1270$d4000nsub, bw=0.05)
d2 <- density(tA1436$d4000nsub2, bw=0.05)
#-
plot(d2, col="aquamarine3", main="Galaktikate_Dn(4000)_indeksite_jaotus
parvedes_A1436_ja_A1270_ning_nende_l2hiymbruses_", xlab="Dn(4000)", ylab="d",
  lines(d,col="deeppink", lwd=2)
  abline(v=1.55, lty=3)
  abline(v=1.75, lty=3)
  legend("topright", legend=c("A1436","A1270"), col=c("aquamarine3","deeppink")
#-----
#A1436 p6hiparve eraldamine
#-----
sA1436 <-tA1436[tA1436$idgr==6984,]

```

```

s.lam2      <- sA1436$lam2
s.eta2 <- sA1436$eta2
s.d4000nsub2 <- sA1436$d4000nsub2
s.rank2<-sA1436$rank2
s.distg2<-sA1436$distg2
x2s <- -cen.dist2*sin(s.lam2*pi/180)
y2s<- cen.dist2*cos(s.lam2*pi/180)*cos(s.eta2*pi/180)
z2s<- cen.dist2*cos(s.lam2*pi/180)*sin(s.eta2*pi/180)
Rs2 <- sqrt((cen.x2-x2s)^2+(cen.y2-y2s)^2+(cen.z2-z2s)^2)
#-
vA1436 <-tA1436[tA1436$idgr!=6984,]
v.lam2      <- vA1436$lam2
v.eta2 <- vA1436$eta2
v.d4000nsub2 <- vA1436$d4000nsub2
v.rank2<-vA1436$rank2
v.distg2<-vA1436$distg2
x2v <- -cen.dist2*sin(v.lam2*pi/180)
y2v<- cen.dist2*cos(v.lam2*pi/180)*cos(v.eta2*pi/180)
z2v<- cen.dist2*cos(v.lam2*pi/180)*sin(v.eta2*pi/180)
Rv2 <- sqrt((cen.x2-x2v)^2+(cen.y2-y2v)^2+(cen.z2-z2v)^2)
#-----
#Dn4000 indeks i j2rgi jaotamine
s1A1436 <-sA1436[sA1436$d4000nsub2<1.55,]
s2A1436 <-sA1436[sA1436$d4000nsub2>=1.55& sA1436$d4000nsub2<1.75 ,]
s3A1436 <-sA1436[sA1436$d4000nsub2>1.75 ,]
v1A1436 <-vA1436[vA1436$d4000nsub2<1.55,]
v2A1436 <-vA1436[vA1436$d4000nsub2>=1.55& vA1436$d4000nsub2<1.75 ,]
v3A1436 <-vA1436[vA1436$d4000nsub2>1.75 ,]
d2s<- density(sA1436$d4000nsub2,bw=0.15)
d2v <- density(vA1436$d4000nsub2, bw=0.15)
#-----
#A1270 p6hiparve eraldamine
#-----
sA1270 <-tA1270[tA1270$idgr==4592,]
s.lam <- sA1270$lam
s.eta <- sA1270$eta
s.d4000nsub <- sA1270$d4000nsub
s.rank<-sA1270$rank
s.distg<-sA1270$distg

```

```

xs <- -cen.dist*sin(s.lam*pi/180)
ys<- cen.dist*cos(s.lam*pi/180)*cos(s.eta*pi/180)
zs<- cen.dist*cos(s.lam*pi/180)*sin(s.eta*pi/180)
Rs <- sqrt((cen.x-xs)^2+(cen.y-ys)^2+(cen.z-zs)^2)
#-
vA1270 <-tA1270[tA1270$idgr!=4592,]
v.lam <- vA1270$lam
v.eta <- vA1270$eta2
v.d4000nsub <- vA1270$d4000nsub
v.rank2<-vA1270$rank
v.distg2<-vA1270$distg
xv <- -cen.dist*sin(v.lam*pi/180)
yv<- cen.dist*cos(v.lam*pi/180)*cos(v.eta*pi/180)
zv<- cen.dist*cos(v.lam*pi/180)*sin(v.eta*pi/180)
Rv <- sqrt((cen.x-xv)^2+(cen.y-yv)^2+(cen.z-zv)^2)
#-----
#Dn4000 indeksi j2rgi jaotamine
s1A1270 <-sA1270[sA1270$d4000nsub<1.55,]
s2A1270 <-sA1270[sA1270$d4000nsub>=1.55& sA1270$d4000nsub<1.75 ,]
s3A1270 <-sA1270[sA1270$d4000nsub>1.75 ,]
v1A1270 <-vA1270[vA1270$d4000nsub<1.55,]
v2A1270 <-vA1270[vA1270$d4000nsub>=1.55& vA1270$d4000nsub<1.75 ,]
v3A1270 <-vA1270[vA1270$d4000nsub>1.75 ,]
ds<- density(sA1270$d4000nsub,bw=0.15)
dv <- density(vA1270$d4000nsub, bw=0.15)
#-----
#graafikud
plot(d2s, col="aquamarine3", main="Galaktikate_Dn(4000)_indeksite_ jaotus
_p6hiparvedes_A1436_ ja_A1270", xlab="Dn(4000)", ylab="d", lwd=2)
lines(ds,col="deeppink", lwd=2)
abline(v=1.55, lty=3)
abline(v=1.75, lty=3)
legend("topright", legend=c("A1436","A1270"), col=c("aquamarine3","deeppink")
plot(d2v, col="aquamarine3", main="Galaktikate_Dn(4000)_indeksite_ jaotus
parvede_A1436_ ja_A1270_l2hiymbruses", xlab="Dn(4000)", ylab="d", lwd=2)
lines(dv,col="deeppink", lwd=2)
abline(v=1.55, lty=3)
abline(v=1.75, lty=3)
legend("topright", legend=c("A1436","A1270"), col=c("aquamarine3","deeppink")

```

```

#ks test
ks.test(tA1270$d4000nsub, tA1436$d4000nsub2)
ks.test(sA1270$d4000nsub, sA1436$d4000nsub2)
ks.test(vA1270$d4000nsub, vA1436$d4000nsub2)
#-----
#Parvedesse kuuluvate galaktikate parvetsentriliste kauguste v6rdlemine
k<-density(D_c,bw=0.15)
k2<-density(D_c2, bw=0.15)
plot(k, col="darkgreen",main="Galaktikate paiknemise jaotus parve keskpunktis
 parvedes A1436 ja A1270",xlab="D_c (Mpc/h)",ylab="d", lwd=2)
  lines(k2, col="deepskyblue", lwd=3)
  legend("topright", legend=c("A1270", "A1436"), col=c("darkgreen", "deepskyblue"))
ks.test(D_c,D_c2)
#-----
#Valimitesse kuuluvate galaktikate arv
nrow(tA1436)
nrow(tA1270)
#p6hiparved
nrow(sA1436)
nrow(sA1270)
#l2hiymbrus
nrow(vA1436)
nrow(vA1270)
#p6hiparve osa kogu valimist
nrow(sA1436)/nrow(tA1436)
nrow(sA1270)/nrow(tA1270)
#Dn4000 indeks, (1.<1,55;1.55<2.1.75;3.>1.75)
#parv l2hiymbrusega
nrow(T1A1436)/nrow(tA1436)
nrow(T1A1270)/nrow(tA1270)
nrow(T2A1436)/nrow(tA1436)
nrow(T2A1270)/nrow(tA1270)
nrow(T3A1436)/nrow(tA1436)
nrow(T3A1270)/nrow(tA1270)
mean(tA1436$d4000nsub2)
mean(tA1270$d4000nsub)
median(tA1436$d4000nsub2)
median(tA1270$d4000nsub)
sd(tA1436$d4000nsub2)

```

```

sd(tA1270$d4000nsub)
#ainult parv
nrow(s1A1436)/nrow(sA1436)
nrow(s1A1270)/nrow(sA1270)
nrow(s2A1436)/nrow(sA1436)
nrow(s2A1270)/nrow(sA1270)
nrow(s3A1436)/nrow(sA1436)
nrow(s3A1270)/nrow(sA1270)
mean(sA1436$d4000nsub2)
mean(sA1270$d4000nsub)
median(sA1436$d4000nsub2)
median(sA1270$d4000nsub)
sd(sA1436$d4000nsub2)
sd(sA1270$d4000nsub)
#parve l2hiymbrus
nrow(v1A1436)/nrow(vA1436)
nrow(v1A1270)/nrow(vA1270)
nrow(v2A1436)/nrow(vA1436)
nrow(v2A1270)/nrow(vA1270)
nrow(v3A1436)/nrow(vA1436)
nrow(v3A1270)/nrow(vA1270)
mean(vA1436$d4000nsub2)
mean(vA1270$d4000nsub)
median(vA1436$d4000nsub2)
median(vA1270$d4000nsub)
sd(vA1436$d4000nsub2)
sd(vA1270$d4000nsub)

```

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Ella Skiller,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Galaktikaparvede A1436 ja A1270 ning nende lähiümbruse võrdlev uurimine,

mille juhendaja on Maret Einasto, DSc,

- (a) reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - (b) üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartu, 31. mai 2021. a.