

Linnunradan rakenne

Työohje kurssiin 766107P
Fysikaalisten tieteiden harjoitustyöt 6 op /
Tähtitieteen työt 3 op

Fysikaalisten tieteiden laitos / Tähtitieteen osasto
Oulun yliopisto

2008

1 Johdanto

Työssä tutustutaan Linnunradan rakenteeseen määräämällä sen keskuksen etäisyys Auringosta ja tutkimalla lähimpien kierteishaarojen etäisyyttä ja mittasuhteita. Linnunradan keskuksen etäisyys lasketaan pallomaisten tähtijoukkojen jakauman avulla. Kierteishaarojen etäisyyden ja mittasuhteiden arvioinnissa taas käytetään hyväksi neutraalin vedyn radiohavaintoja.

2 Auringon etäisyys Linnunradan keskuksesta

Linnunradan keskuksen etäisyyden määräämiseen on useita menetelmiä. Tässä työssä käytetään havaintoja Linnunradan pallomaisten tähtijoukoista. Joukkojen jakauman oletetaan tällöin olevan likimain pallosymmetrinen ja sen keskustan olevan Linnunradan keskipiste.

Linnunradan keskuksen paikka arvioidaan työssä graafisesti. Pallomaiset tähtijoukot sijoitetaan karteesiseen koordinaatistoon, jonka keskustassa on Aurinko, x -akseli osoittaa kohti galaksin keskustaa ja y -akseli on kohtisuorassa Linnunradan tasoa vasten. Taulukkoon 1 on kerätty osa Linnunradan pallomaisista tähtijoukoista. Tässä taulukossa on annettu tähtijoukon etäisyys Auringosta (R) ja galaktiset koordinaatit (l ja b). Jotta pallomaiset

tähtijoukot voidaan sijoittaa kuvaajaan, on galaktiset koordinaatit muutettava karteesisiksi koordinaateiksi. Tämä tehdään seuraavien muunnoskaavojen avulla:

$$x = R \cos b \cos l \quad (1)$$

$$y = R \sin b, \quad (2)$$

missä l on galaktinen pituus, b galaktinen leveys ja R joukon etäisyys kiloparsekkeina (kpc).

2.1 Työn suorittaminen

Työn voi tehdä joko tietokoneella tai käyttäen laskinta ja millimetripaperia. Ensin tulee laskea karteesiset koordinaatit muunnoskaavojen (1) ja (2) avulla. Tämän jälkeen tulee sijoittaa pallomaisten tähtijoukkot karteesiseen koordinaatistoon, jonka origona on Aurinko. Lopuksi arvioidaan Linnunradan keskipisteen etäisyys Auringosta laskemalla x -ja y -koordinaattien keskiarvo ja merkitään Linnunradan keskipiste tehtyyn kuvaajaan.

2.2 Kysymyksiä

1. Arvioi saamaasi tulosta.
2. Mitkä tekijät aiheuttavat virheitä tulokseen?

IAU Desig.	Name	$R(kpc)$	l	b
C0100-711	N0362	9.0	301.64	-46.25
C0512-400	N1851	11.6	244.19	-35.05
C1015-461	N3201	5.0	277.21	8.64
C1207+188	N4147	17.3	252.89	77.19
C1223-714	N4372	4.9	301.01	-9.90
C1339+286	N5272	9.9	42.24	78.70
C1403+287	N5466	14.5	42.13	73.59
C1500-328	N5824	24.6	332.55	22.06
C1620-264	N6101	12.3	350.99	15.97
C1659-262	N6273	10.6	356.88	9.40
C1715+432	N6341	7.8	68.35	34.86
C1725-050	N6366	3.5	18.42	16.03
C1724-346	N6426	16.7	28.09	16.24
C1748-346	N6453	9.8	83.71	31.34
C1820-303	N6624	7.4	2.80	-7.92
C1833-239	N6656	3.1	9.87	-7.55
C1851-305	N6715	21.5	5.63	-14.11
C1908+009	N6760	4.0	36.10	-3.91
C1936-310	N6809	5.2	8.83	-23.28
C2130-010	N7089	11.3	53.37	-35.78

Taulukko 1: Linnunradan pallomaisia tähtijoukkoja (J1988.5)

3 Galaksin kierteishaarojen etäisyys Auringosta

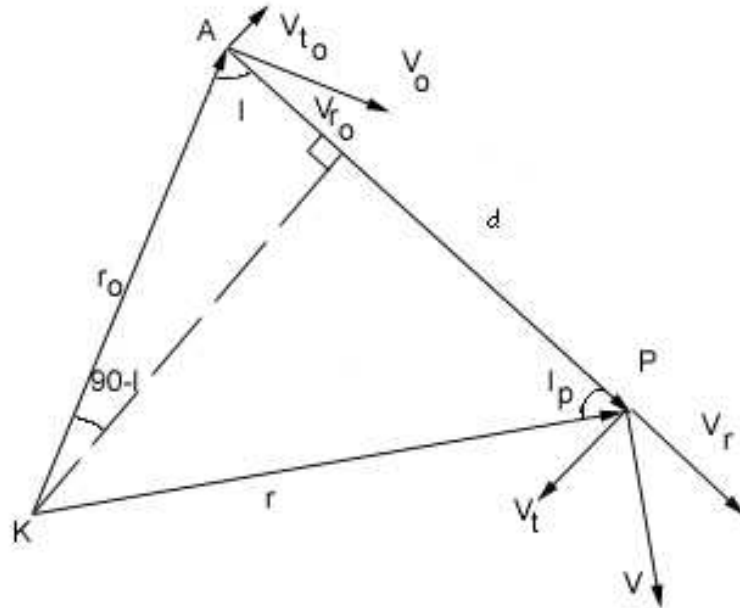
Havaitsemalla taivasta radioteleskoopilla 21 cm aallonpituudella saadaan selville Linnunradan spiraalihaarojen rakenne. Tällä aallonpituudella tulevat näkyviin Linnunradan tasossa olevat monokromaatista säteilyä emittoivat neutraalin vedyn pilvet. Koska tähtienvälinen pöly ei merkittävästi sirota tai absorptoi radiosäteilyä, jopa Linnunradan toiselta laidalta tulevaa säteilyä voidaan havaita.

Tässä työssä käytetään hyväksi neutraalin vedyn radiospektrejä. Kuva 3 koostuu näistä vetypilvi havainnoista, jotka on tehty Dwingeloon radioteleskoopilla. Luvut spektrien vasemmassa ylälaidassa vastaavat galaktista koordinaattia l , havainnot on siis tehty viiden asteen välein Linnunradan tasossa. Spektreissä näkyvät huiput ovat usein siirtyneet joko punaiseen (esim. $l=198$) tai siniseen (esim. $l=168$). Jotkut spektrit myös koostuvat monista huipuista (esim. $l=88$). Tällöin havaitaan monta päällekkäistä pilveä, joiden radiaalinopeudet poikkeavat toisistaan. Näiden pilvien yksittäiset spektrit siten muodostavat monihuippuisen summaspektrin. Spektrien läpi kulkeva viiva vastaa siirtymän nollatasoa. Kuvan 3 alla olevasta skaalasta nähdään radiaalisen nopeuden ja spektrin siirtymän välinen suhde.

Linnunrata pyörii differentiaalisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että *Linnunradan tasossa kulkevien kappaleiden kulmanopeus ei ole vakio vaan riippuu kappaleen etäisyydestä Linnunradan keskuksesta*. Siispä havainnoitaessa vetypilveä, pilven nähdään olevan radiaalisessa liikkeessä maapallon suhteen. Tämä ilmiö aiheuttaa tarkasteltavan vetypilven spektrissä dopplersiirtymän. Siirtymän suuruus ja suunta tietenkin riippuu pilven sijainnista Maan suhteen. Differentiaalirotaation avulla siis voidaan välillisesti mitata pilven etäisyys Auringosta ja Linnunradan keskuksesta.

Linnunradan keskusta kiertävät kappaleet ovat lähes ympyräradoilla. Differentiaalirotaation vaikutuksesta kulmanopeus $\omega(R)$ pienenee ulospäin. Kuvassa 2 nähdään kulmanopeus $\omega(R)$ etäisyyden R funktiona. Tämä relaatio on johdettu osittain havainnoista, osittain galaksien dynamiikan teoriasta.

Tarkastellaan Kuvaa 1, jossa neutraalin vedynpilvi sijaitsee Auringon radan ulkopuolella eli $r > r_o$. Linnunradan keskusta (K), Aurinko (A) ja neutraalin vedyn pilvi (P) muodostavat kolmion, jonka sivuina ovat pilven etäisyys Linnunradan keskuksesta (r) ja Auringon etäisyys Linnunradan keskuksesta r_o . Kulma l on pallomaisten tähtijoukkojen yhteydessä mainittu galak-



Kuva 1: Linnunradan keskuksen (K), Auringon (A) ja neutraalin vedyn pilven (P) muodostama kolmio.

Linjan pituus ja Auringon ja pilven etäisyyttä toisistaan merkitään kirjaimella d . Lisäksi käytetään kulmaa l_p , joka on Linnunradan keskuksen ja Auringon välinen kulma kohteesta tarkasteltuna.

Johdetaan Kuvan 1 avulla relaatio vetypilven etäisyydelle Linnunradan keskustasta ja pilven radiaaliselle nopeudelle Auringon suhteen. Kohteen galaktinen pituus on l . Kulma l_p taas on kulma Auringosta vetypilven kulkevan suoran ja Auringosta Linnunradan keskukseen johtavan suoran välillä. V_0 on Auringon ratanopeus ja V vetypilven ratanopeus. Niiden komponentit näkösuunnan suunnassa ovat V_{r_0} ja V_r ja näkösuuntaa vastaan kohtisuorat komponentit V_{t_0} ja V_t .

Vetypilven radiaalinopeus Auringon suhteen on määritelty seuraavasti:

$$v_r = \omega(r)r_o \cos(90 - l_p) - r_o\omega_o \sin l, \quad (3)$$

kun otetaan huomioon, että $V = \omega(r) \cdot r$, missä $\omega(r)$ on pilven kulmanopeus ja ω_o Auringon kulmanopeus. Lisäksi saadaan sinilauseen nojalla relaatio:

$$r \cos(90 - l_p) = r_o \sin l, \quad (4)$$

joka sijoitetaan kaavaan (3). Tästä taas saadaan lopullinen radiaalinopeuden kaava

$$v_r = r_o(\omega(r) - \omega_o) \sin l. \quad (5)$$

Auringon etäisyys Linnunradan keskuksesta $r_o = 8.2kpc$. Auringon kulmanopeus on $\omega_o = 26.4 kms^{-1}kpc^{-1}$.

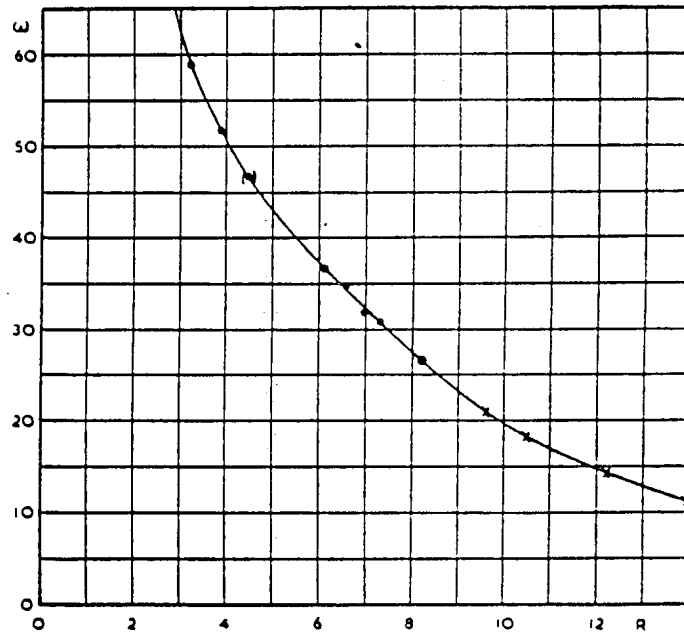
3.1 Työn suorittaminen

Pilvien dopplersiirtymät määritetään kuvasta 3 käyttäen skaalaa kuvan alalaidassa. Skaala antaa suoraan radiaalinopeuden v_r . Dopplersiirtymien mitaukset aloitetaan jostakin kuvasta, missä maksimit erottuvat selvästi (esim l=68). Kaavan (5) avulla ratkaistaan $\omega(r)$ ja kuvasta 2 katsotaan kulmanopeutta vastaava etäisyys. Naapurikuvaajasta tunnistetaan vastaava maksimi kuin edellisessä kuvassa ja ratkaistaan sen etäisyys. Näin edetään seuraavaan kuvaajaan kunnes ko. maksimia ei enää voi selkeästi tunnistaa.

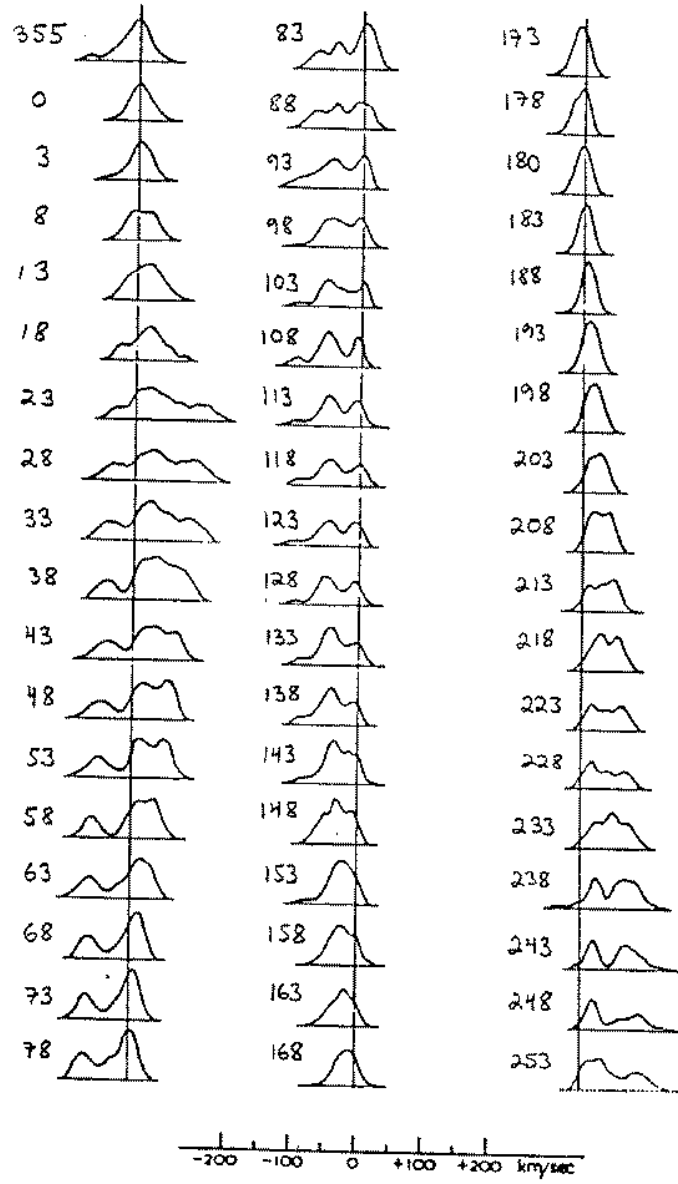
Neutraalin vedyn pilvi tulee piirtää millimetripaperille napakoordinaatistoon, joka kuvaa Linnunradan tasoa. Pilven paikka koordinaatistossa määrätään galaktisen koordinaatin l ja pilven etäisyyden r avulla. Lopuksi kaikki yhtenäisiltä näyttävät pilvet yhdistetään viivoilla.

HUOM! Kun $r < r_o$ on ongelmia luvassa. Tällöin havaintolinjalla on kaksi pistettä, jotka ovat samalla etäisyydellä r Linnunradan keskuksesta. Tämän vuoksi vetypilvien tarkastelu tulee rajoittaa Auringon radan ulkopuolisiin osiin. Siispä:

- Kun $0^\circ < l < 180^\circ$ käytä maksimia, jolle $\Delta\lambda < 0$.
- Kun $180^\circ < l < 360^\circ$ käytä maksimia, jolle $\Delta\lambda > 0$.



Kuva 2: Kappaleiden kulmanopeus Linnunradalla etäisyyden (kpc) funktiona



Kuva 3: Neutraalin vedyn radiospektrejä Linnunradan tasossa.