

Pulsarin ominaisuudet ja tähtienvälinen aine

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

Fysikaalisten tieteiden laitos / Tähtitieteen osasto
Oulun yliopisto

2008

1 Pulsarit

Pulsarit ovat nopeasti pyöriviä neutronitähtiä, jotka löydettiin 1967, kun Cambridgen yliopistossa Antony Hewish ja Jocelyn Bell havaitsivat taivaalta tulevan säännöllisiä radiopulsseja. Nykyään pulsareita tunnetaan toistasataa. Nimensä nämä taivaankappaleet ovat saaneet terävistä, toistuvista radiopulsseista, joiden välinen aika vaihtelee 0.0016 sekunnista (pulsari 1937 + 214) useaan sekuntiin.

Pulsarin periodi (aikaväli kahden peräkkäisen pulssin välillä) on lähes tarkkaan vakio. Kuitenkin pulsarien lähettämän radiosäteilyn jaksossa esiintyy hyvin hidasta tasaista pitenemistä ja toisinaan nopeita pieni hypähdyksiä.

2 Pulsarien radiosäteily ja dispersio

Pulsarien lähettämien peräkkäisten radiopulssien voimakkuus vaihtelee varsin paljon ja aika sattumanvaraisesti. Kuitenkin pulssi, joka on keskimääräistä voimakkaampi yhdellä taajuudella on sitä yleensä myös useilla muilla taajuuksilla. Eri taajuuksilla pulssit kuitenkin saapuvat vastaanottimiin hivenen eri aikaan. Tämä nähdään selvästi liitteenä olevista kuvaajista. Kaavioon on

merkitty pulsarin PSR 0809+74 yhden pulssin (P) saapumisaika kolmella eri taajuudella. Aika kasvaa diagrammeissa oikealle. Eli pulssi saapuu vastaanottimeen sitä aikaisemmin mitä korkeampi taajuus on. Tätä ilmiötä kutsutaan dispersioksi.

Dispersio on yksi tapa erottaa pulsarin radiosäteily Maasta peräisin olevasta säteilystä, joka saapuu kaikilla taajuuksilla samanaikaisesti. Tällaisia radiopulsseja aiheuttavat mm. salamaniskut. Liitteenä olevaan kaavioon on pulsarin PSR 0809+74 kohdalla merkitty myös häiriöpulssin saapuminen samaan aikaan kaikilla kolmella käytetyllä havaintotaajuudella.

Dispersiota tapahtuu, koska pulsarin lähettämät radiopulssit joutuvat kulkemaan myös tähtienvälisen aineen läpi. Kohdatessan tähtienvälistä ainetta radiosäteily on vuorovaikutuksessa lähinnä elektronien kanssa ja hidastuu taajuudestaan riippuen. Tietty elektronimäärä vaikuttaa voimakkaammin mataliin taajuuksiin. Tästä johtuen matalammat taajuudet saapuvat perille korkeiden taajuuksien jälkeen. Tietyille taajuusparille havaittu aikaviive eli aikaväli Δt [s] pulssin korkeammalla taajuudella havaitun saapumisajan ja saman pulssin matalammalla taajuudella havaitun saapumisajan välillä, on aina verrannollinen havaittajan ja pulsarin välillä olevien elektronien määrään. Jos d [pc] on pulsarin etäisyys ja n_e [cm⁻³] on elektronien lukumäärä yhdessä kuutiosenttimetrissä (elektronitiheys), saadaan dispersioaikaviiveeksi:

$$\Delta t = 4150 n_e d \left(\frac{1}{f_a^2} - \frac{1}{f_b^2} \right), \quad (1)$$

missä $n_e d = DM$ on ns. dispersiomitta ja f_a [MHz] ja f_b [MHz] ovat kaksi verrattavaa taajuutta. Vakio 4150 on valittu yksiköiden yhteensopivuuden vuoksi.

Elektronien lukumäärä on kaikkein vaikeimmin arvioitava suure, jota Δt :n laskemisessa tarvitaan. Tässä työssä sille käytetään tyypillistä arvoa $n_e = 0.03$ cm⁻³. Jos pulsarin etäisyys pystytään määrittämään jotain muuta keinoja käyttäen, voidaan elektronitiheys laskea kaavasta 1. Esimerkiksi Äyriäissumun (Crab Nebula) keskellä sijaitsevan pulsarin PSR 0531+21 etäisyydeksi on sumun laajenemisen perusteella arvioitu n. 2000 pc. Tämän perusteella laskettu elektronitiheys meidän ja pulsarin välillä on 0.028 cm⁻³. Tämä on hyvin lähellä työssä käytettävää arvoa.

3 Tehtävät

1. Määritä kolmelle pulsarille liitteenä olevien kuvaajien avulla periodi millimetreissä ja sekunneissa. Mittakaava on annettu sivun alareunassa. Pyri mittauksessa millimetrin kymmenesosan tarkkuuteen. Mittaus-tarkkuutta voi parantaa mittaamalla kahden kaukana toisistaan olevan pulssin etäisyys ja jakamalla mittaustulos pulssivälien lukumäärällä..
2. Laske dispersioaikaviive Δt pulsareille PSR 0329+54 ja 0950+08 muutamilla taajuuspareilla. Pyri tässäkin kohdassa millimetrin kymmenesosan tarkkuuteen. Mittaa pulssin etäisyys jostakin valitsemastasi referenssikohdasta tietyllä taajuudella ja saman pulssin etäisyys samasta referenssikohdasta toisella taajuudella. Δt :n saat näiden arvojen erotuksesta. Jos et ole varma mitkä piikit vastaavat toisiaan niin tarkastele peräkkäisten pulssien suhteellisia suuruuksia kullakin taajuudella. Mittaa tuloaikaero useammalle pulssiparille ja ota keskiarvo. Käytä myös useita taajuuspareja. Ilmoita työselostuksessa Δt :n arvot eri taajuuspareille. Pulsarin PSR 0329+54 kohdalla on mahdollista käyttää kuutta eri taajuusparia. Valitse työtä varten kuitenkin vain kolme paria.
3. Laske pulsarien PSR 0329+54 ja 0950+08 etäisyydet Maasta käyttäen hyväksi kaavaa 1 ja edellä laskettuja arvoja.

4 Kysymykset

1. Mikä pulsarin katsotaan mallien mukaan olevan?
2. Mistä johtuu pulsarien radiosäteily?
3. Mistä johtuu pulsarien periodien muutokset?

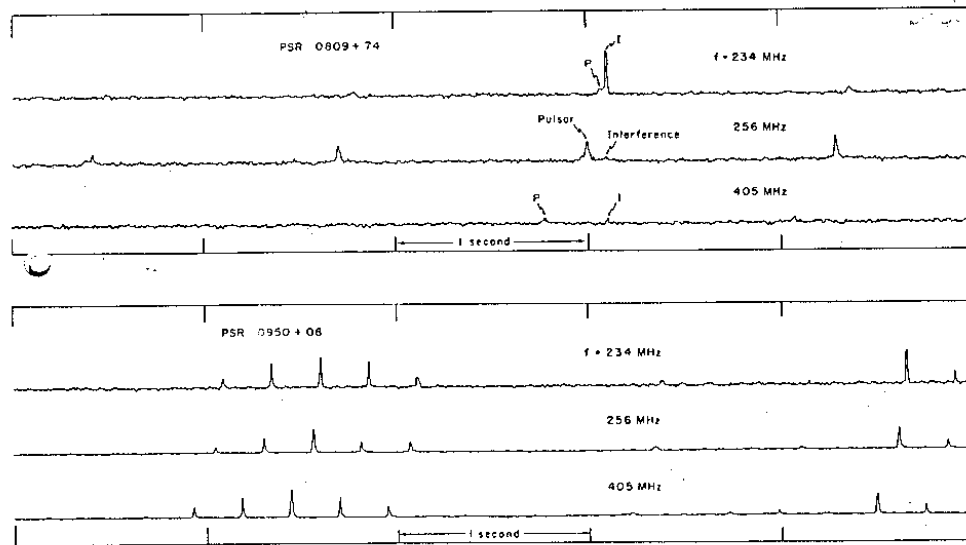
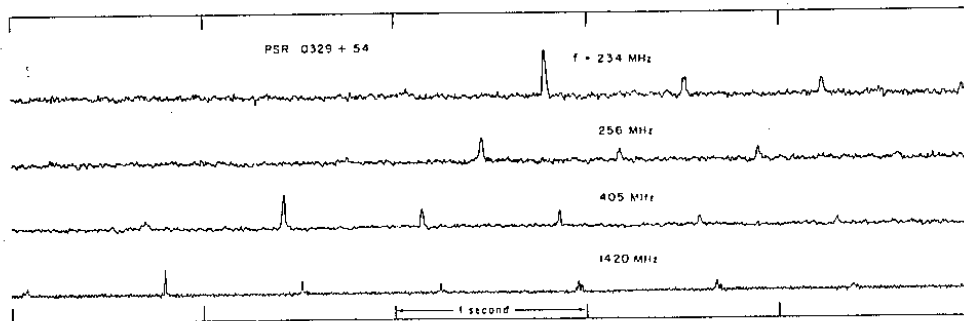


Fig. 70a, b. Observations of the pulsars PSR 0809+74 and 0950+08 at three radio frequencies. The recordings show the radio power received from the pulsars as a function of time. Tick marks at intervals of one second appear above and below the recordings for each pulsar. In the recordings, time increases from left to right, and the power received increases upward.



Kuva 1: Tutkittavien pulsareiden valokäyrät eri taajuuksille.