

Punasiirtymä

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

Fysikaalisten tieteiden laitos / Tähtitieteen osasto
Oulun yliopisto

2008

1 Teoria

1.1 Doppler ilmiö

Doppler ilmiöllä tarkoitetaan säteilyn aallonpituuden muuttumista säteilylähteen liikkussa havaitsijan suhteen. Säteilylähde lähettää sähkömagneettista säteilyä, jonka yhden jakson aika on T . Tässä ajassa säteily ehtii edetä havaitsijaa kohti matkan $s = cT$, missä c on säteilyn etenemisnopeus (sähkömagneettisen säteilyn tapauksessa tämä on valonnopeus). Samana aikana lähde liikkuu havaitsijan suhteen matkan $s' = vT$, missä v on säteilylähteen nopeus (etääntyvälle kohteelle $v > 0$ ja lähestyvälle kohteelle $v < 0$). Yhden jakson pituus (aallonpituus) on tällöin

$$\lambda = s + s' = cT + vT. \quad (1)$$

Jos säteilylähde olisi levossa, sen lähettämän säteilyn aallonpituus olisi $\lambda_0 = cT$. Lähteen liikkumisesta aiheutuva muutos on siten

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = cT + vT - cT = vT, \quad (2)$$

joten aallonpituuden suhteellinen muutos on

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}. \quad (3)$$

Kaava on voimassa vain, kun $v \ll c$. Relativistisilla nopeuksilla ($v \geq 0.1c$) suhteellinen muutos on

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1 \quad (4)$$

Nämä Doppler ilmiöön liittyvät kaavat ovat voimassa vain sähkömagneettisen säteilyn kohdalla. Esimerkiksi äänen tapauksessa siirtymä riippuu siitä liikkeuko lähde vai havaitsija.

1.2 Punasiirtymä ja etäisyys

Doppler ilmiön vuoksi etääntyvän tähden spektriviivat siirtyvät kohti spektrin pitempiaaltoista päätä. Tätä kutsutaan punasiirtymäksi.

Ekstragalaktisten kohteiden etäisyyksiä voidaan arvioida niiden punasiirtymän avulla. Punasiirtymä määritetään vertaamalla kohteen absorptio- ja emissioviivoja vastaaviin laboratorioaallonpituuksiin. Jos havaittu aallonpituus on λ ja laboratorioaallonpituus on λ_0 , on punasiirtymä

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}. \quad (5)$$

Kohteen pakonopeus on $v = cz$, missä c on valonnopeus tyhjiössä. Kohteen etäisyys saadaan nyt Hubblen laista

$$v = H_0 d, \quad (6)$$

missä H_0 on Hubblen vakio.

2 Tehtävät

Työohjeessa on liitteenä viiden galaksin optinen spektri. Kukin on oman luokansa tyypillinen edustaja. Työssä on tehtävänä tunnistaa kustakin spektristä nuolella merkityt viivat Taulukossa 1 esitettyjen tavallisten emissio- ja absorptioviivojen lepoaallonpituuksien avulla. Näiden viivojen havaittuja

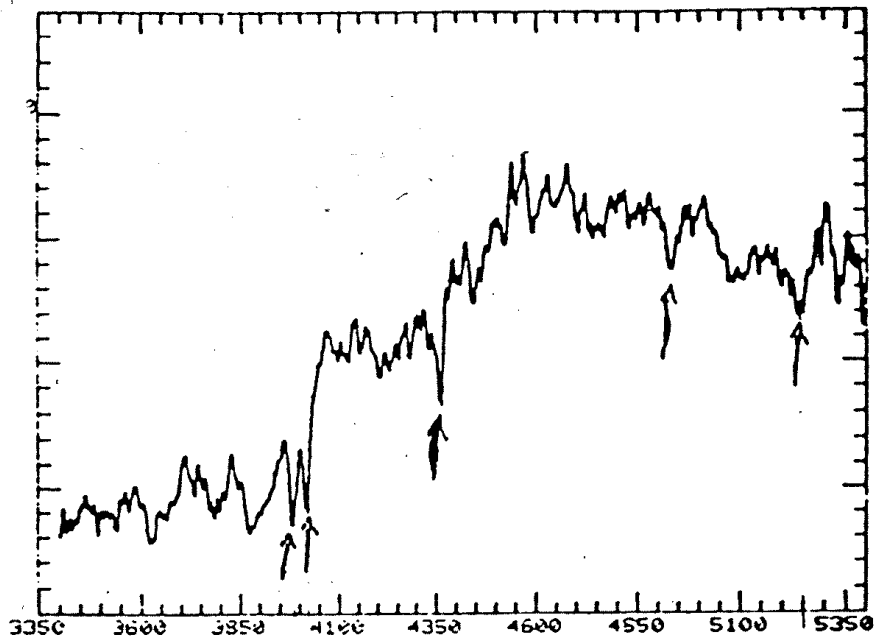
Absorptioviivat	Vedyn sallitut viivat	Kielletyt emissioviivat
Ca II K 3933 Å	H α 6563 Å	[O II] 3727 Å
Ca II H 3968 Å	H β 4861 Å	[O III] 4959 Å, 5007 Å
G band 4304 Å	H γ 4340 Å	[O I] 6300 Å, 6363 Å
Mg I b 5176 Å	H δ 4101 Å	[N II] 6548 Å, 6584 Å
MG I D 5890 Å	H ϵ 3970 Å	[S II] 6717 Å, 6731 Å
		[Ne III] 3869 Å, 3968 Å
		[Ne V] 3426 Å

Taulukko 1: Galaksien spektreissä havaittuja emissio- ja absorptioviivoja

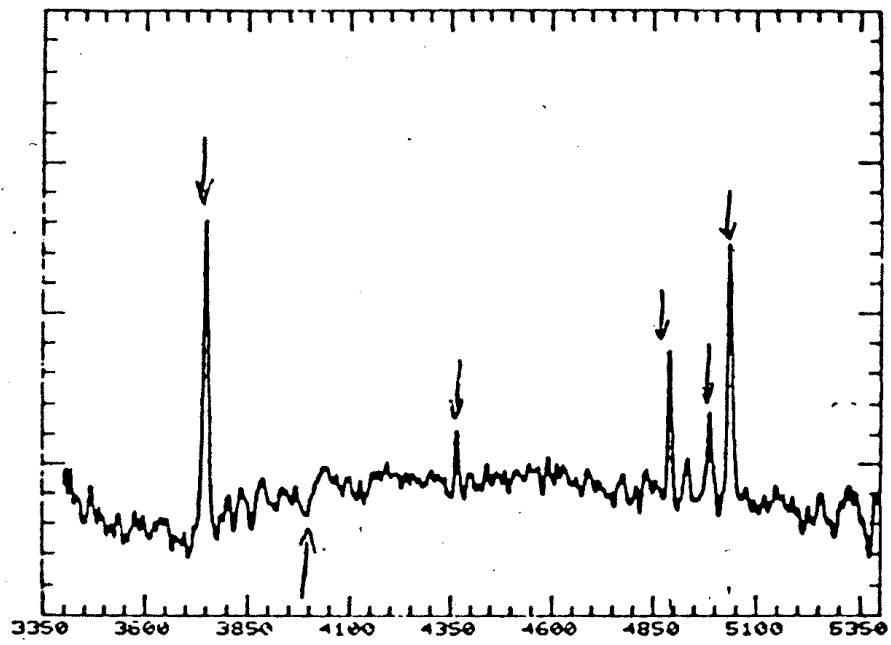
aallonpituuksia hyväksikäyttäen on tarkoitus laskea punasiirtymä z , pakonopeus cz , kun $z \ll 1$ (eli relativistista korjausta ei tarvitse ottaa huomioon) ja etäisyys galakseihin megaparsekeina. Hubblen vakiolle käytetään arvoa $H_0 = 75 \text{ km Mpc}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

3 Kysymyksiä

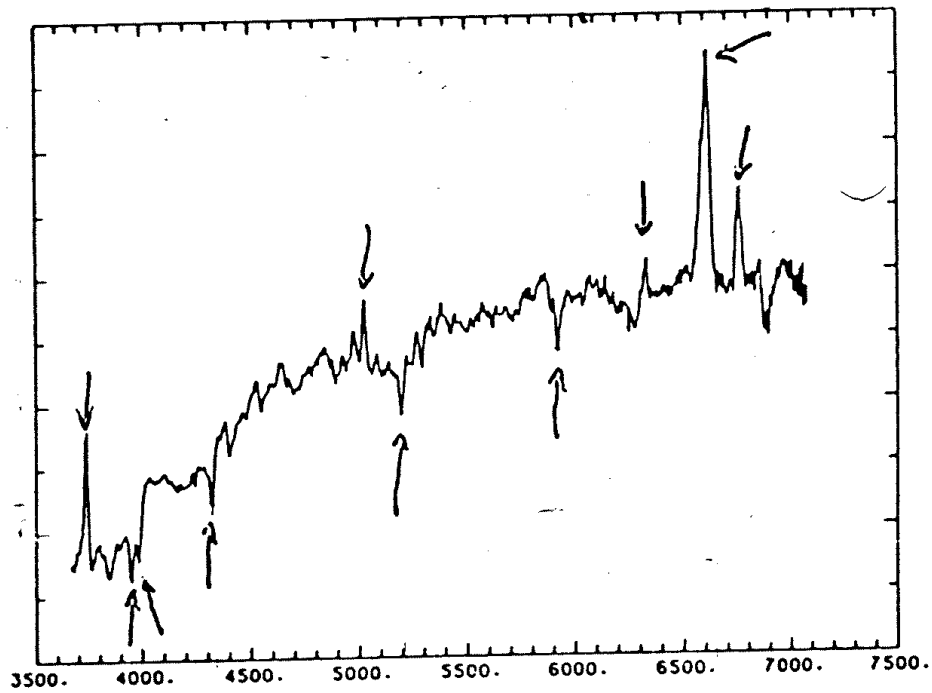
1. Miksi galaksin punasiirtymästä voidaan laskea sen etäisyys? Vai voidaananko?
2. Mitä tarkoitetaan kielletyillä viivoilla?



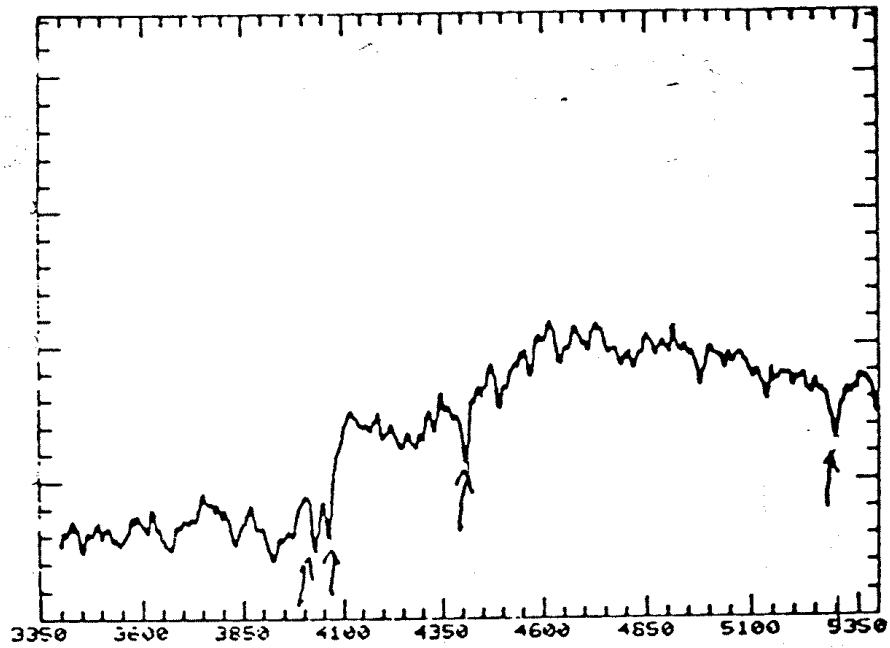
Kuva 1: K 1045: Elliptinen galaksi



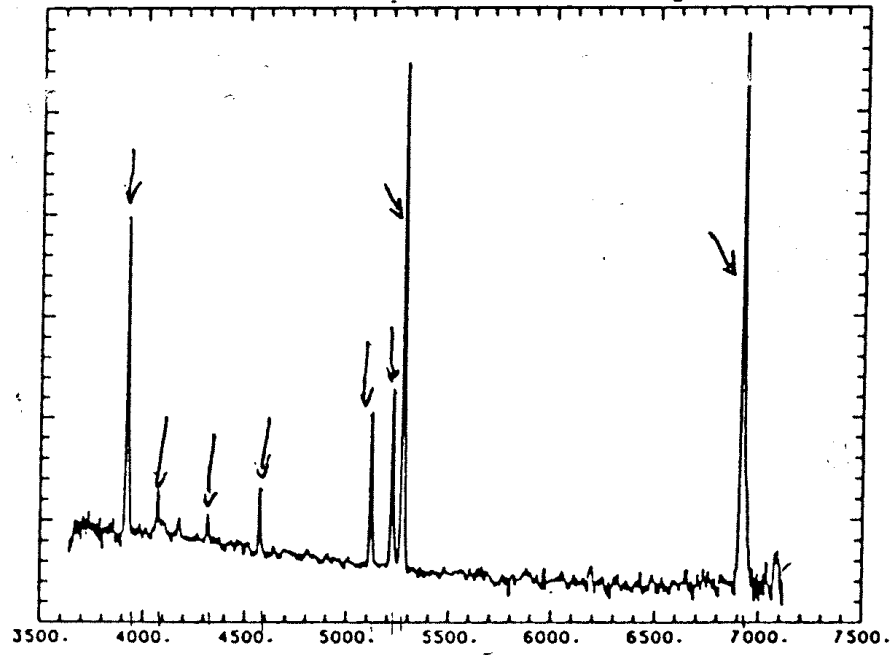
Kuva 2: KI 141: S0 galaksi



Kuva 3: NGC 4597: Spiraali galaksi "liner"



Kuva 4: TG1: Elliptinen galaksi



Kuva 5: PG 0119+229: Starburst galaksi