XFYS4336 Havaitseva tähtitiede II

Silja Pohjolainen Kaj Wiik

Tuorlan observatorio

Kevät 2014

Osa kuvista on lainattu kirjasta Wilson, Rohlfs, Hüttemeister: 'Tools of Radio astronomy' ja
J. J. Condon and S. M. Ransom: 'Essential Radio astronomy'
http://www.cv.nrao.edu/course/astr534/PDFnew.shtml

Luento 6, Radiosäteily: spektri ja lähteet

Kertausta

Säteilymekanismit

Jarrutussäteily

Synkrotronisäteily

Käänteinen Compton-säteily

Radiospektroskopia

Radioastronomiaa Tuorlassa

Radiometrit, perustyypit

Direct detecting radiometer

- Pelkkä vahvistin ja ilmaisin, taajuutta ei muuteta
- Yksinkertainen ja mahdollisesti leveäkaistainen (herkkä)
- Ei taajuus/vaiheinformaatiota, pelkkä tehoinformaatio

Bolometri

- 'Lämpömittari'
- Laajakaistainen ja herkkä
- Ei taajuus/vaiheinformaatiota
- Tyypillisin mm- ja submm-alueilla

Heterodyne-radiometri

- Vastaanotettu signaali siirretään matalammalle taajuudelle jossa sitä on helpompi käsitellä
- Tyypillisin rakenne yhä
- Vaiheinformaatio säilyy

Radiometrit, stabilointimenetelmät

Dicke-radiometri

- Kytketään radiometri vuorotellen havaittavaan ja vakiolämpötilassa olevaan kohteeseen
- Erotus on immuuni vahvistuksen vaihteluille jos radiometri on balansoitu ts. kanavat ovat samassa lämpötilassa
- Vertailukanava voi olla tyhjä (kylmä) taivas

Interferometri

- Interferometri on herkkä vain korreloivalle signaalille: vastaanottimien vahvistus ja ilmakehän emissio keskiarvoistuvat pois

Pseudokorrelaatioradiometri

- Signaali jaetaan erotus- ja summakanaviin joiden vahvistuksen vaihtelut kumoutuvat
- Toisen kanavan vaihetta (0/180) ja ilmaisun jälkeistä etumerkkiä muutetaan samassa tahdissa
- Käytössä mm. WMAP ja Planck CMB-luotaimissa

Dicke-radiometrin herkkyys

Dicke-radiometrin herkkyys (pienin havaittavissa oleva kohinalämpötilaero) on

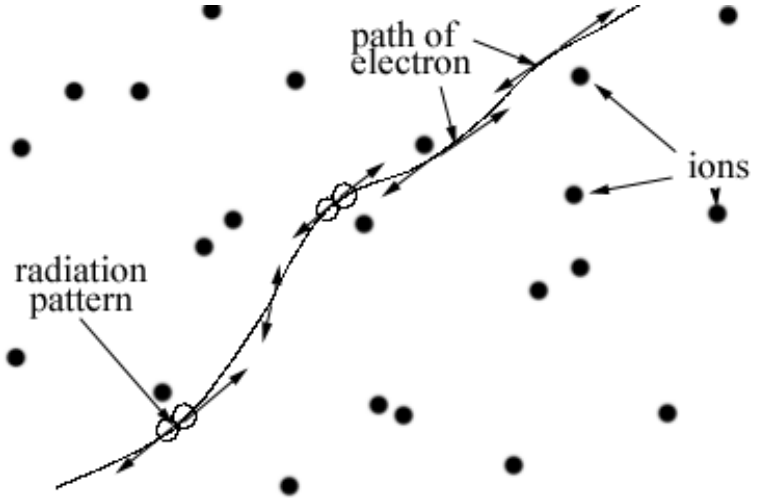
$$\Delta T_{\mathrm{min}} = 2 T_{\mathrm{sys}} \sqrt{\frac{1}{\Delta\nu\tau} + \frac{T_{\mathrm{sky}} - T_{\mathrm{ref}}}{T_{\mathrm{sys}}} \cdot \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2}, \qquad (1)$$

Vahvistuksen vaihtelut kumoutuvat **täydellisesti** jos

- vertailukohina ja mitattava kohina ovat yhtäsuuret
- kytkentätaajuus on suurempi kuin vaihtelun nopeus

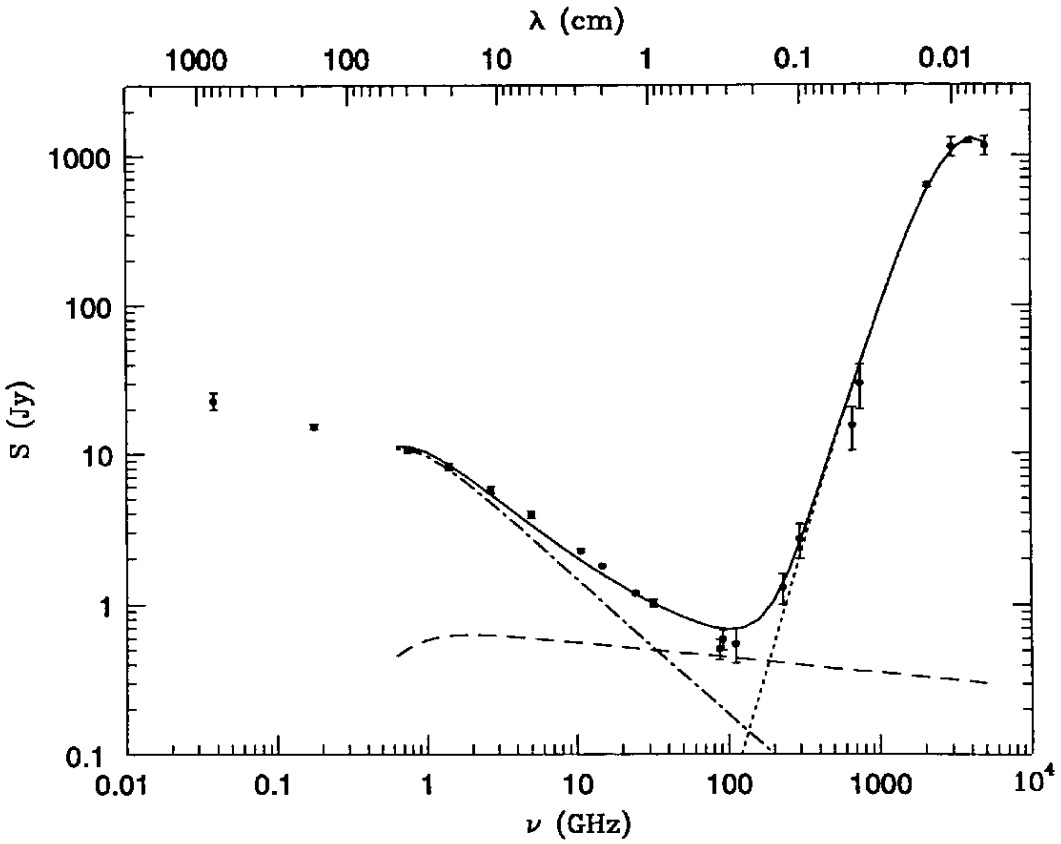
Jarrutussäteily

Jarrutussäteily eli *bremsstrahlung* on yleisesti ottaen säteilyä joka syntyy varauksen nopeuden kiihtyessä tai hidastuessa. Yleensä kuitenkin tarkoitetaan säteilyä joka syntyy kun varauksen suunta muuttuu toisen varauksen johdosta plasmassa. Tällöin puhutaan myös *free-free* säteilystä.



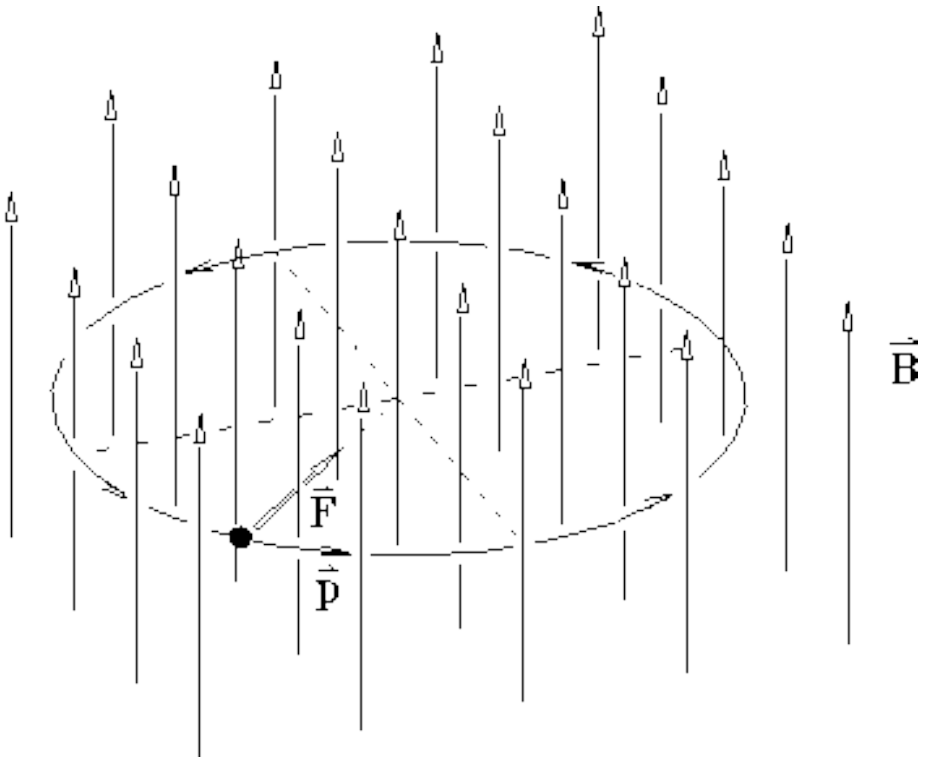
Credit Prof. Dale E. Gary NJIT

Esimerkki jarrutussäteilystä



Kuvassa on galaksin M82 radio- ja infrapunaspektri. Suuria taajuuksia (infrapuna) dominoi pölyn aiheuttama emissio ja free-free emissio näkyy lähes suorana viivana. Hyvin matalilla taajuuksilla näkyy synkrotronisäteilyn huippu.

Synkrotronisäteily

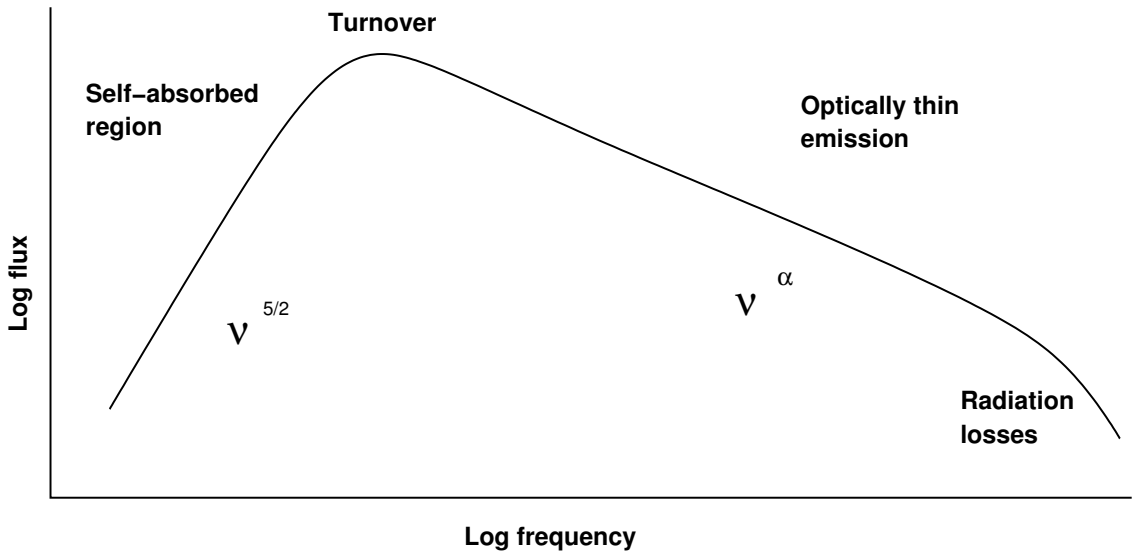


- Synkrotronisäteily syntyy kun elektroni (tai varattu hiukkanen) pyörii magneettikentässä
- Säteily suuntautuu kapeaan keilaan etenemissuunnassa

Säteily luokitellaan elektronin energian mukaan:

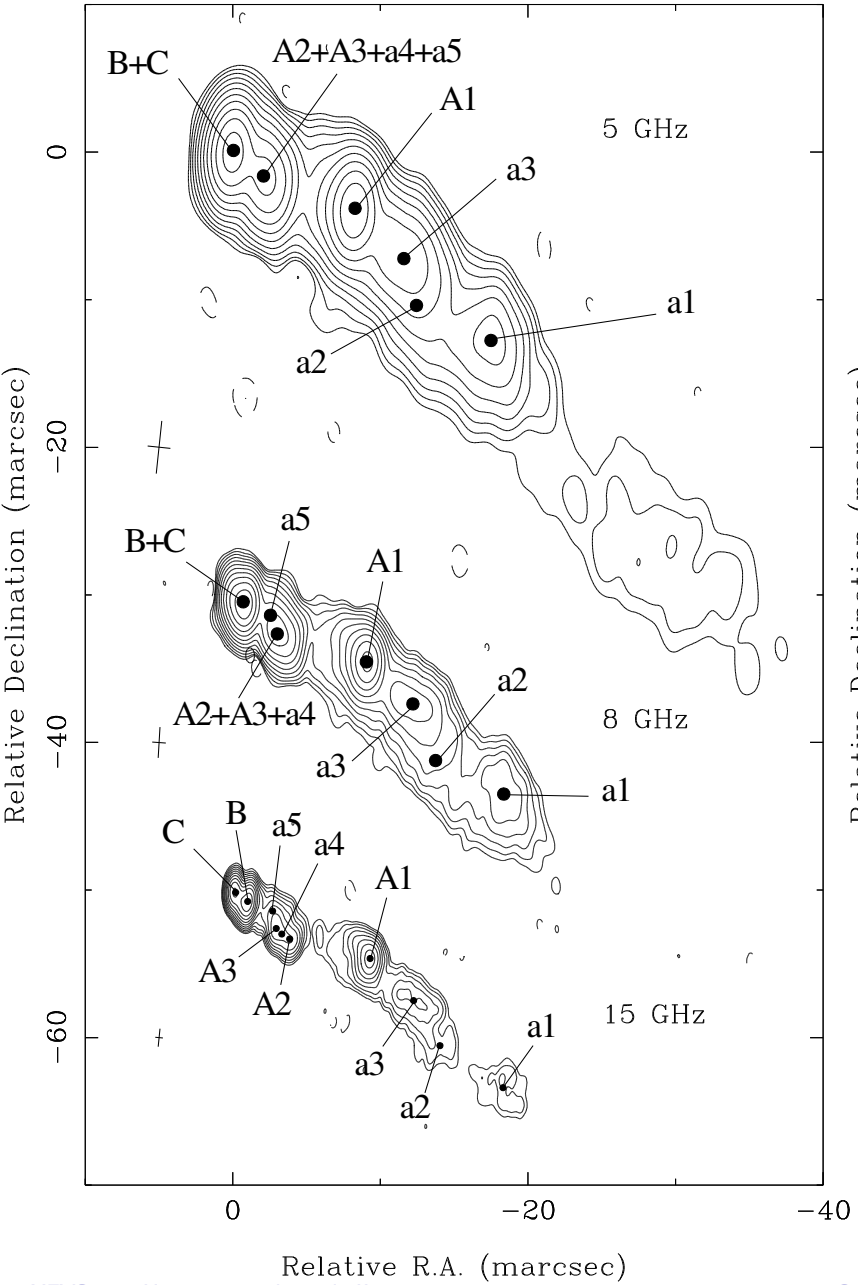
- Ei-relativistinen: gyroresonanssisäteily (syklotronisäteily)
- Lievästi relativistinen: gyrosynkrotronisäteily
- Relativistinen: synkrotronisäteily

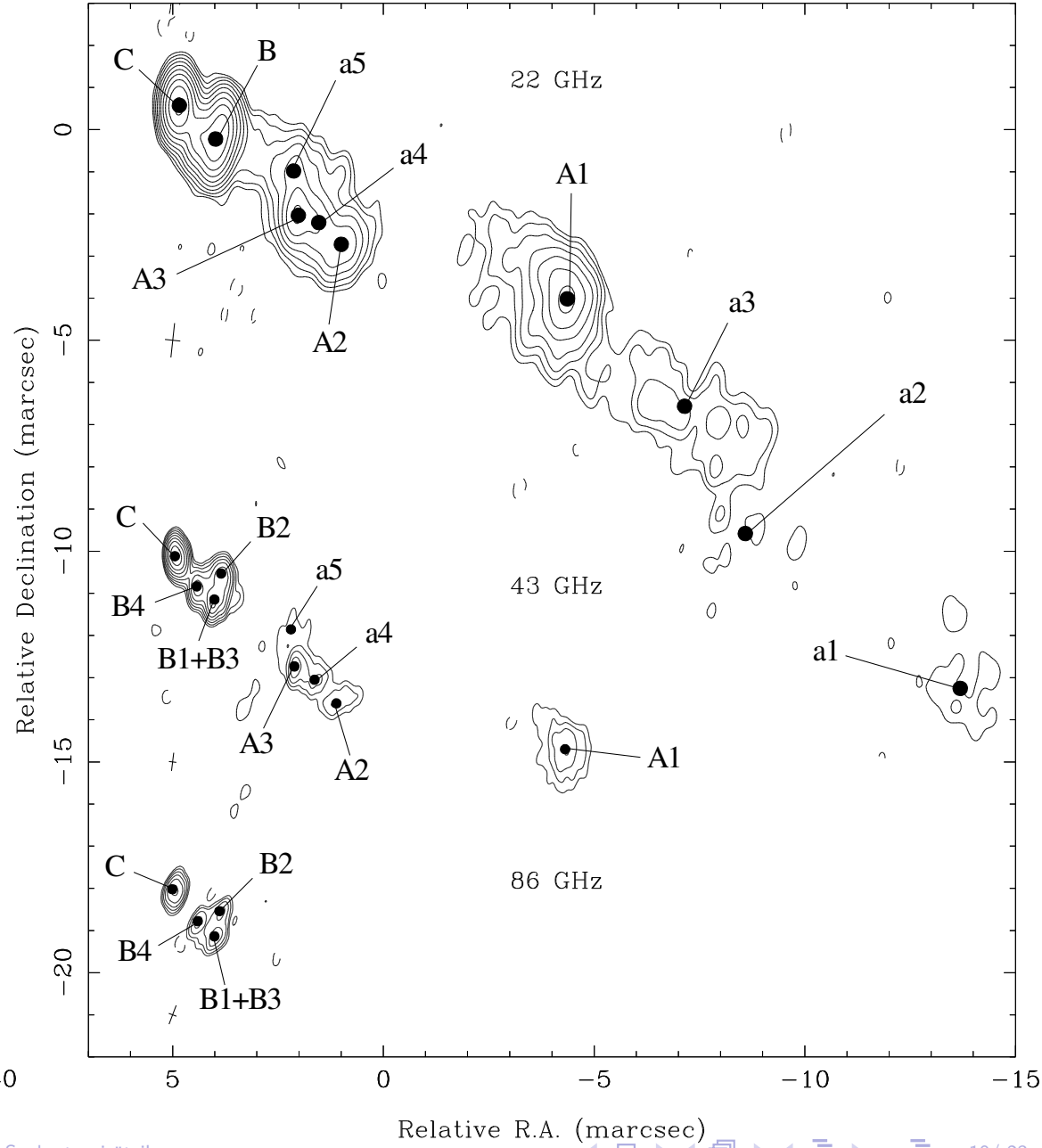
Synkrotronisäteilyn spektri (aktiivisissa galakseissa)



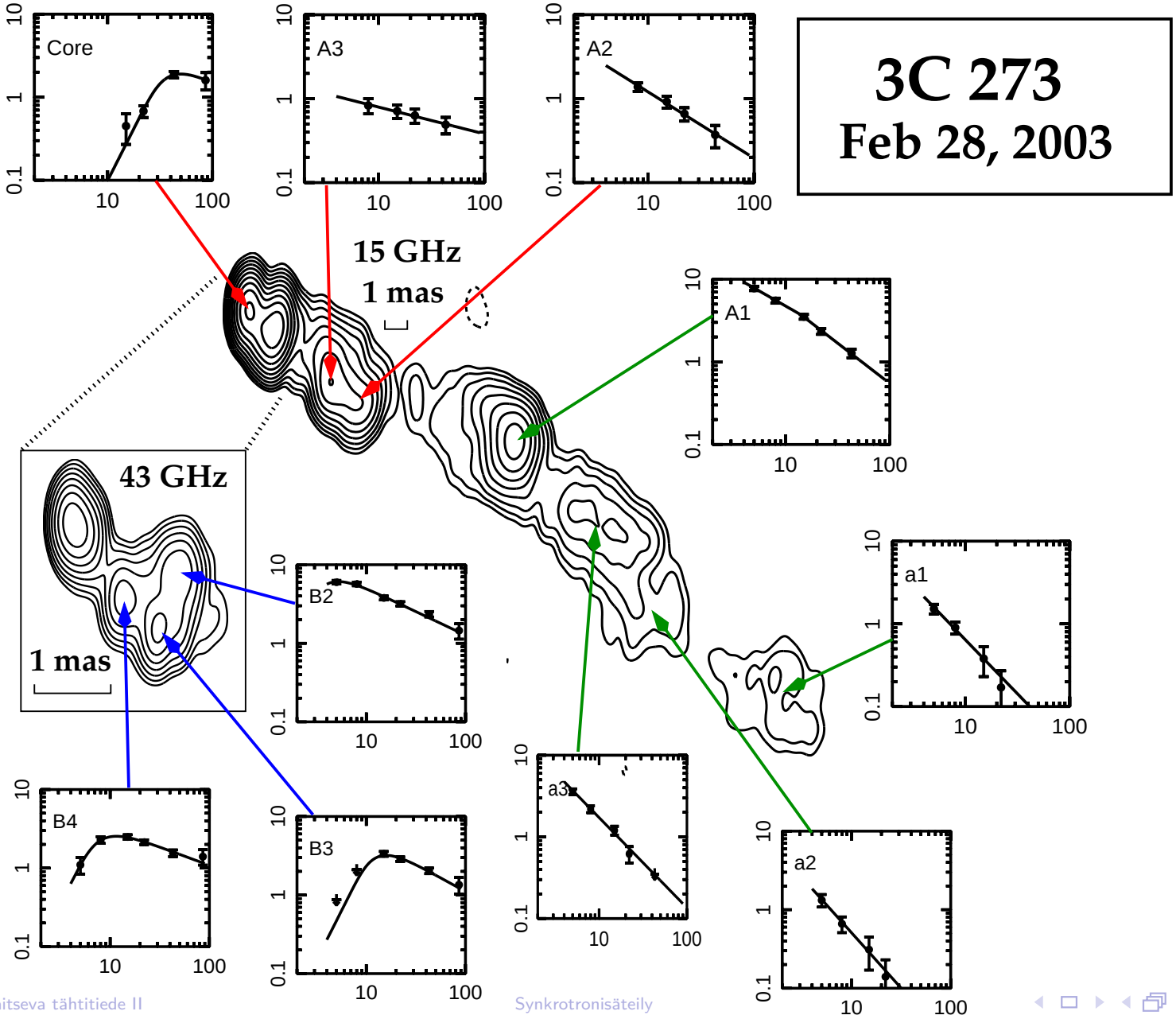
- Kun $\nu < \nu_{\mathrm{Smax}}$ kohde on optisesti paksu $\Rightarrow$ elektroni absorboi fotonin jonka toinen elektroni on emittoinut $\Rightarrow$ itseabsorptio, $\alpha = 2.5$.
- Huippu: koosta, S ja ν_{max} saadaan laskettua esim magneettikentän voimakkuuden, elektronitiheyden ja relativististen elektronien energiatiheyden
- $\nu > \nu_{\mathrm{Smax}}$: optisesti ohut alue, α riippuu emittoivien elektronien energiajakaumasta

Synkrotronisäteily: 3C 273

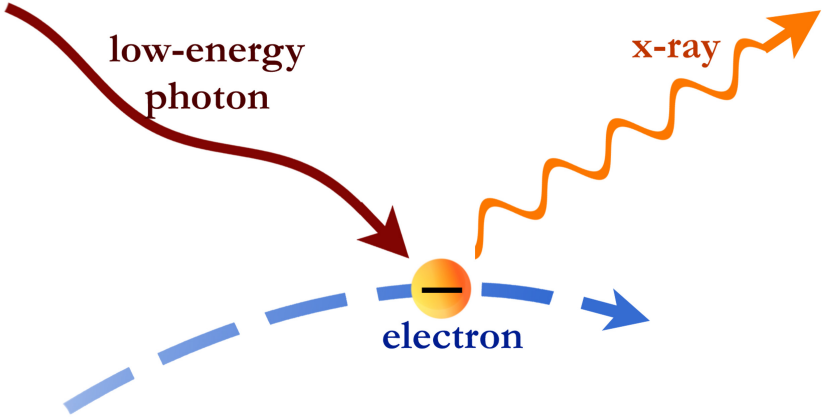




Synkrotronisäteily: 3C 273 spektri

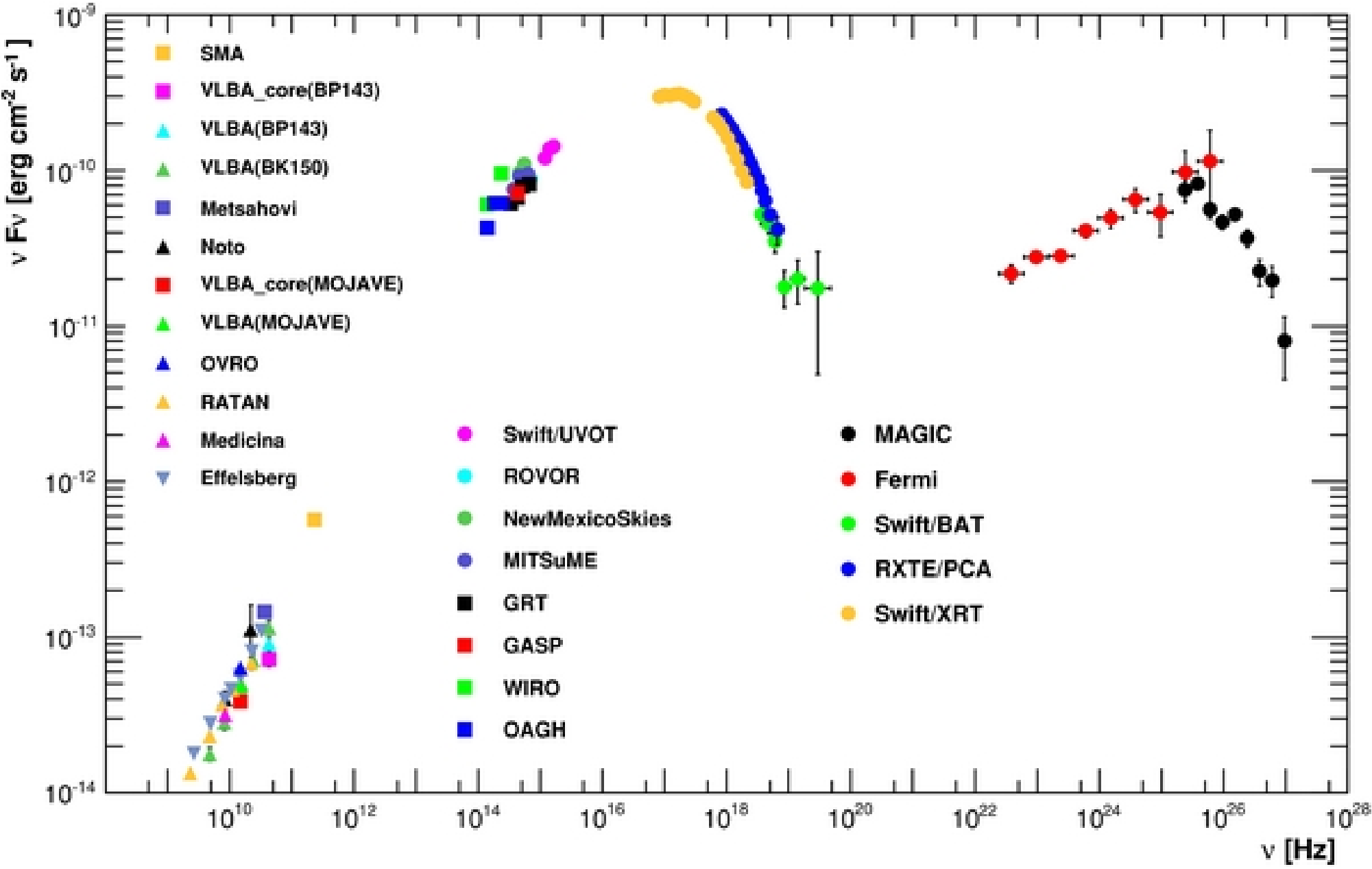


Käänteinen Compton-säteily



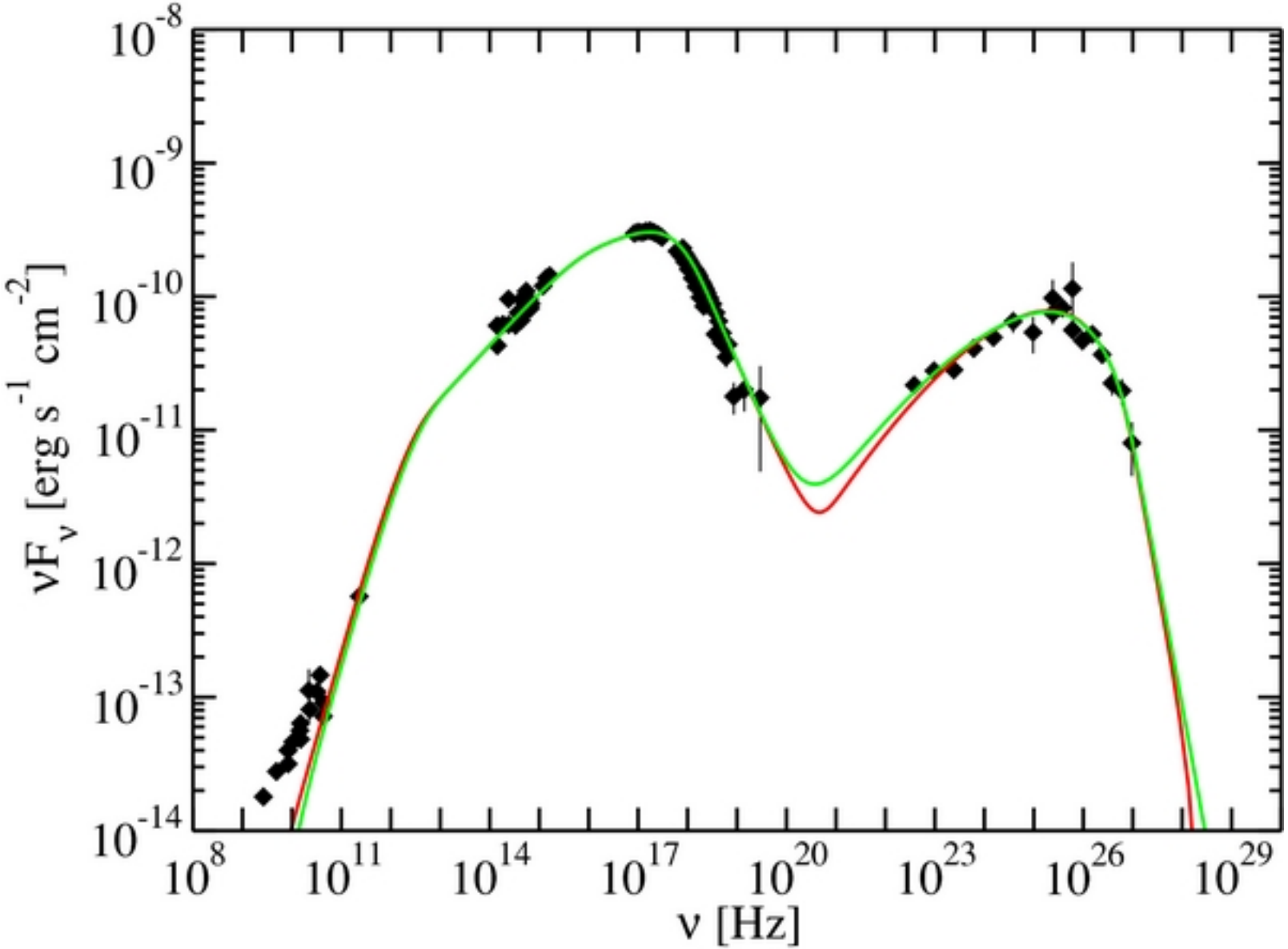
Compton-sironnassa fotoni menettää energiaansa kun se puskee elektronin liikkeelle. Sama toimii myös toisin päin eli jos fotoni törmää suurenergiseen elektroniin, se saa energiaa ja aallonpituus pienenee.

Käänteinen Compton: Mrk 421



Abdo et al., The Astrophysical Journal 736 (2011) 131

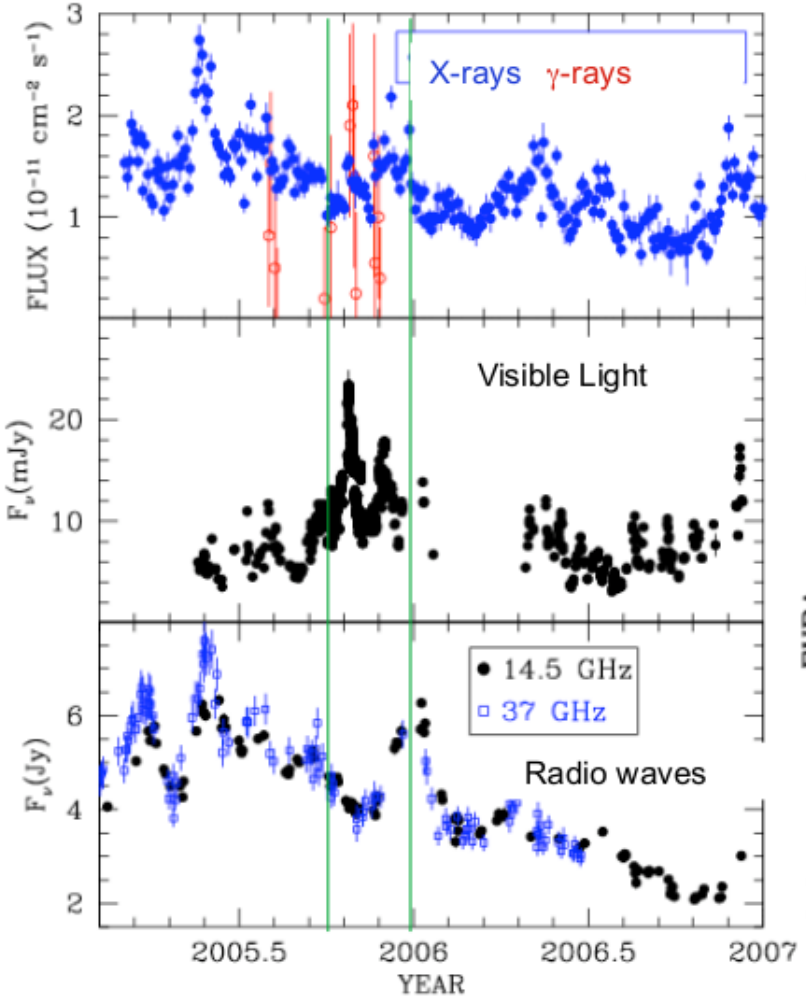
Käänteinen Compton: Mrk 421 mallinnus

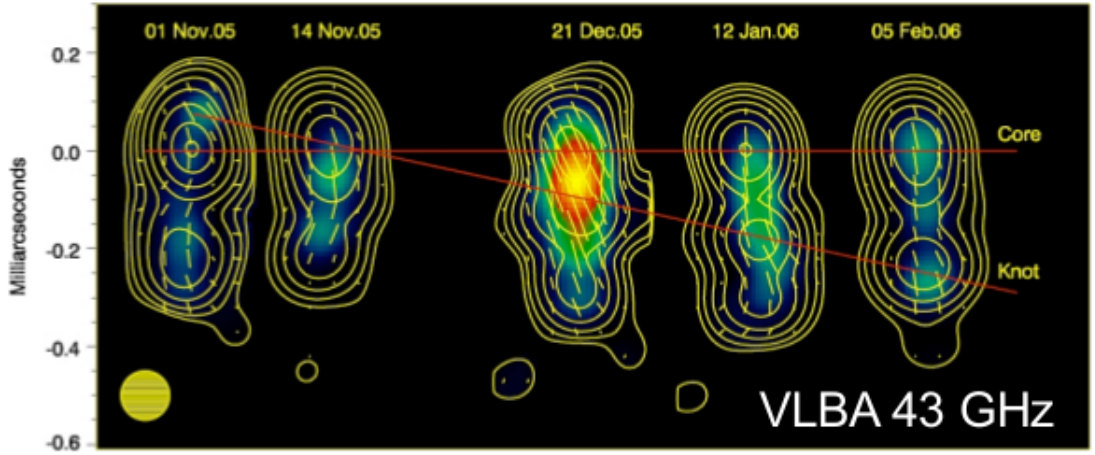


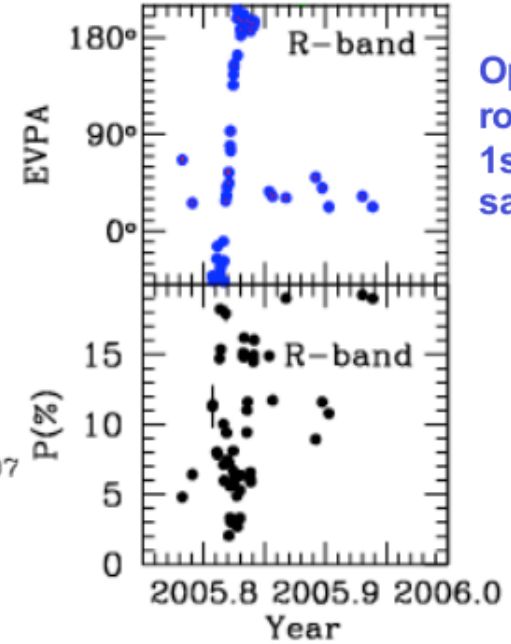
Abdo et al., The Astrophysical Journal 736 (2011) 131

BL Lac: pol. rotation, blob first seen upstream of core

Late 2005: Double optical/X-ray flare, detection at TeV γ-ray energies



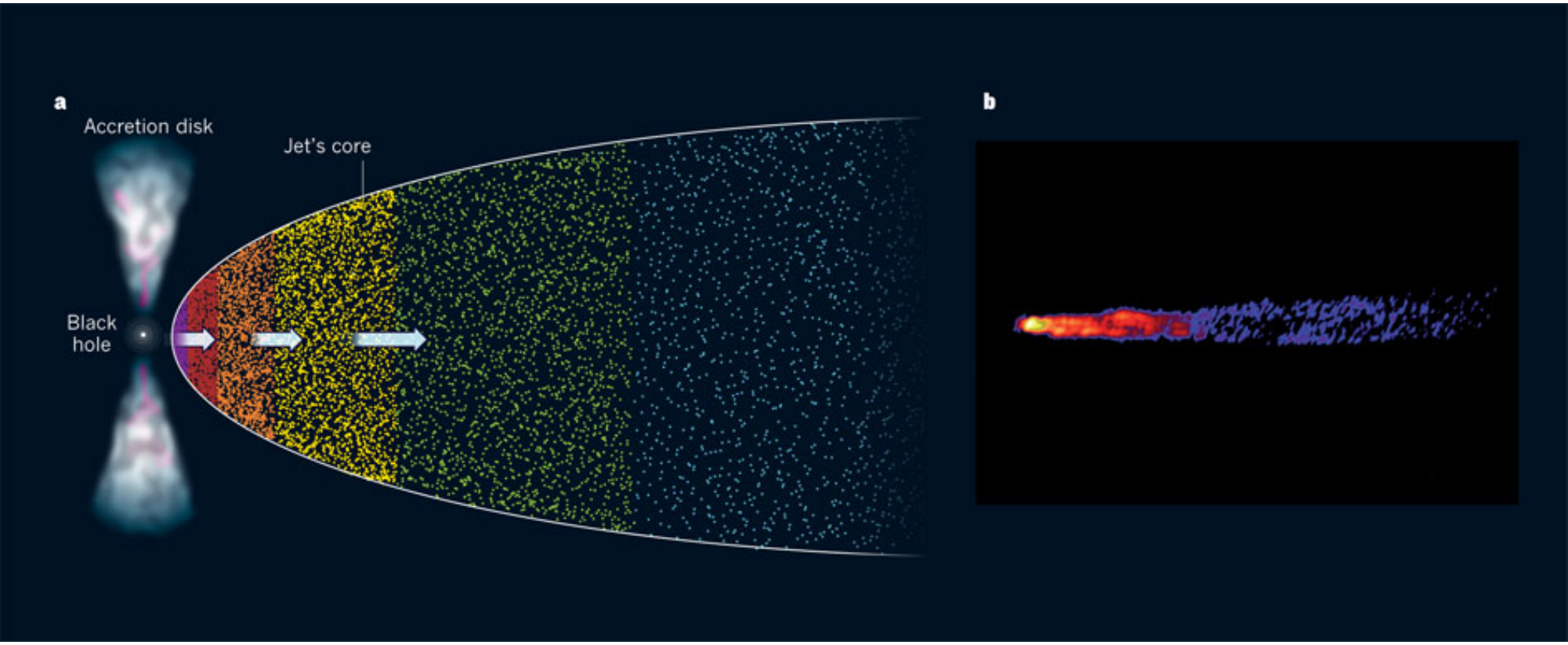




Optical polarization angle rotated smoothly during 1st flare, then became same as that of blob

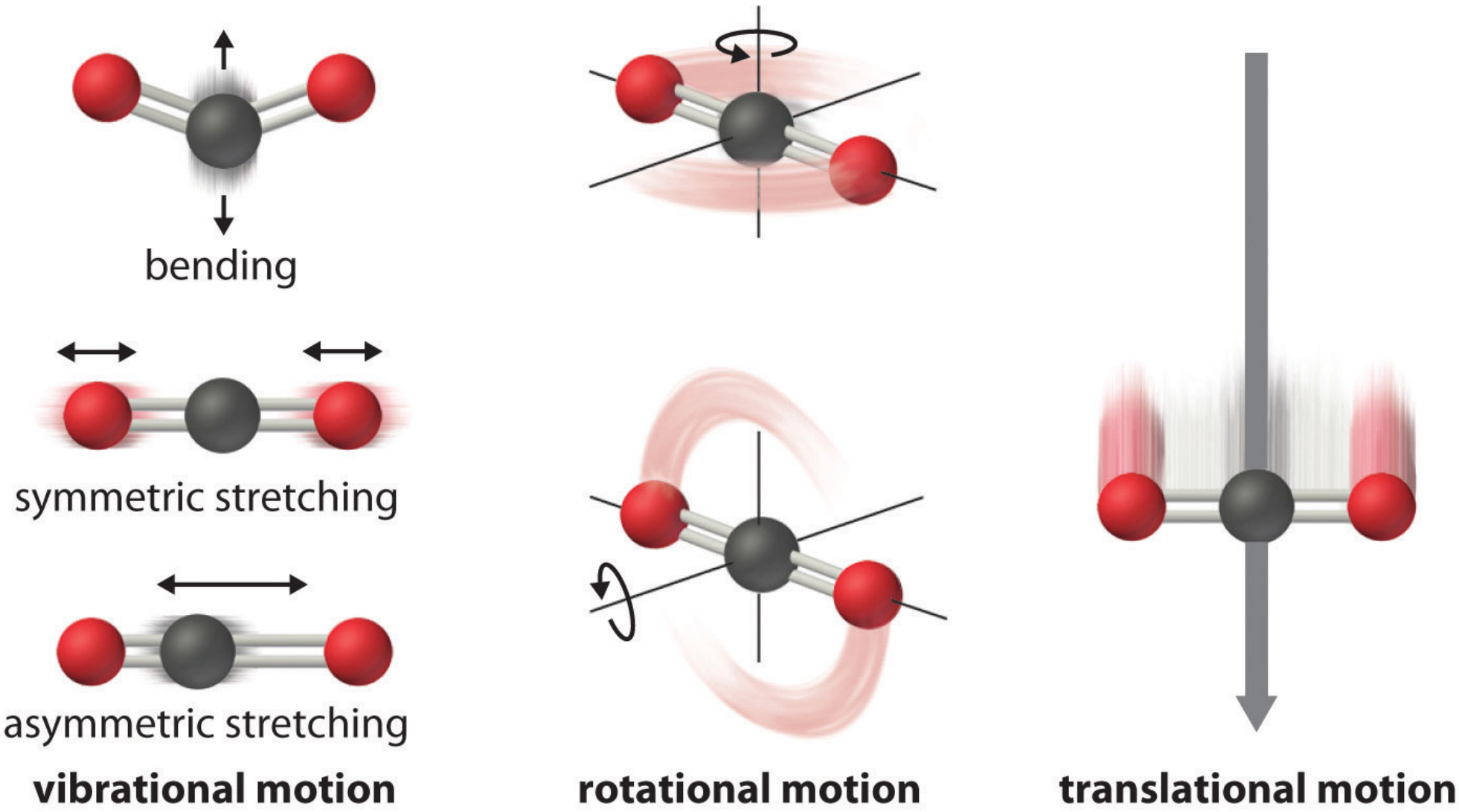
TeV γ-ray data: Albert et al. (2007, ApJL, 666, L17

Marscher et al. (2008, Nature, 452, 966)



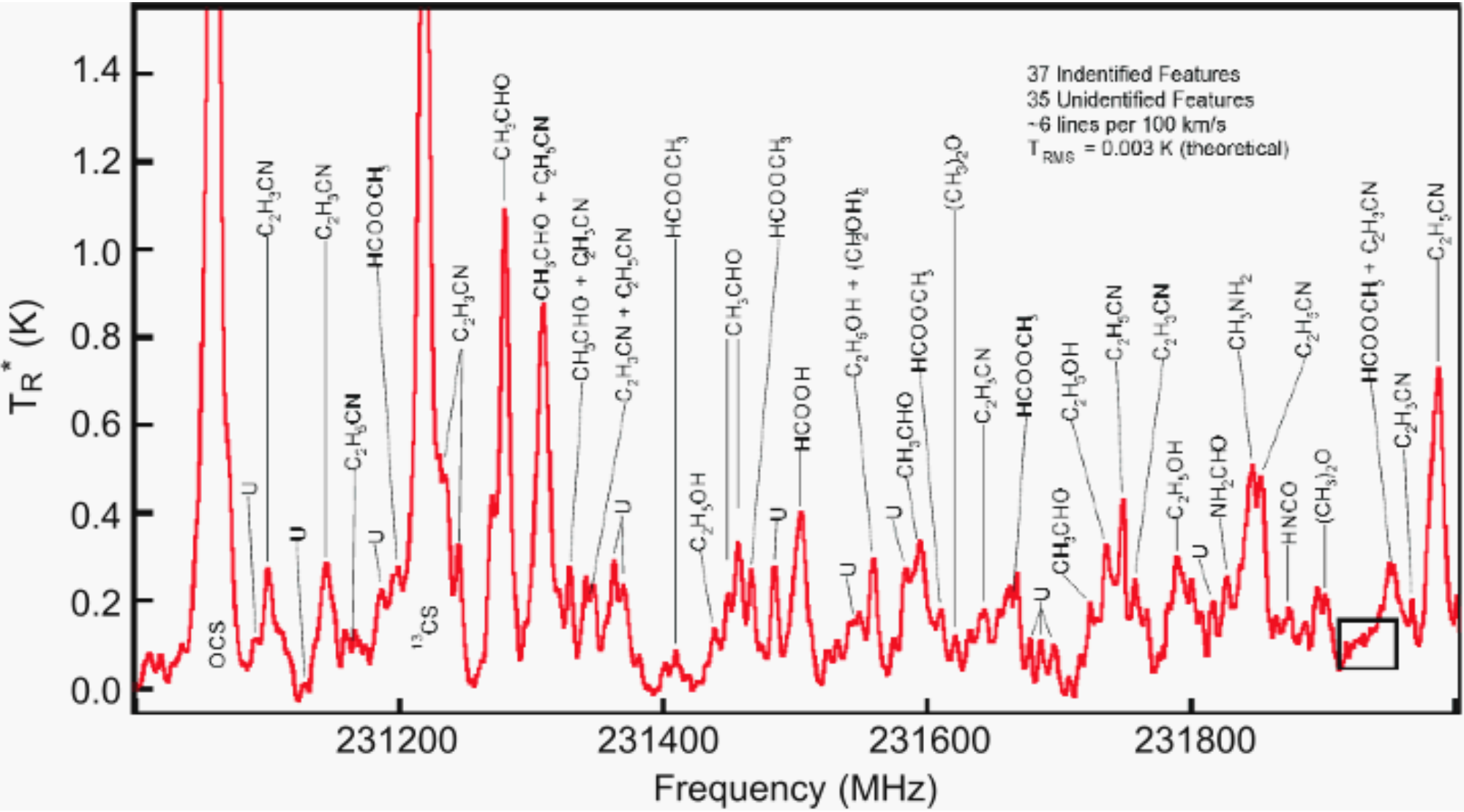
(A. Marscher, Nature)

Molekyylispektriviivat

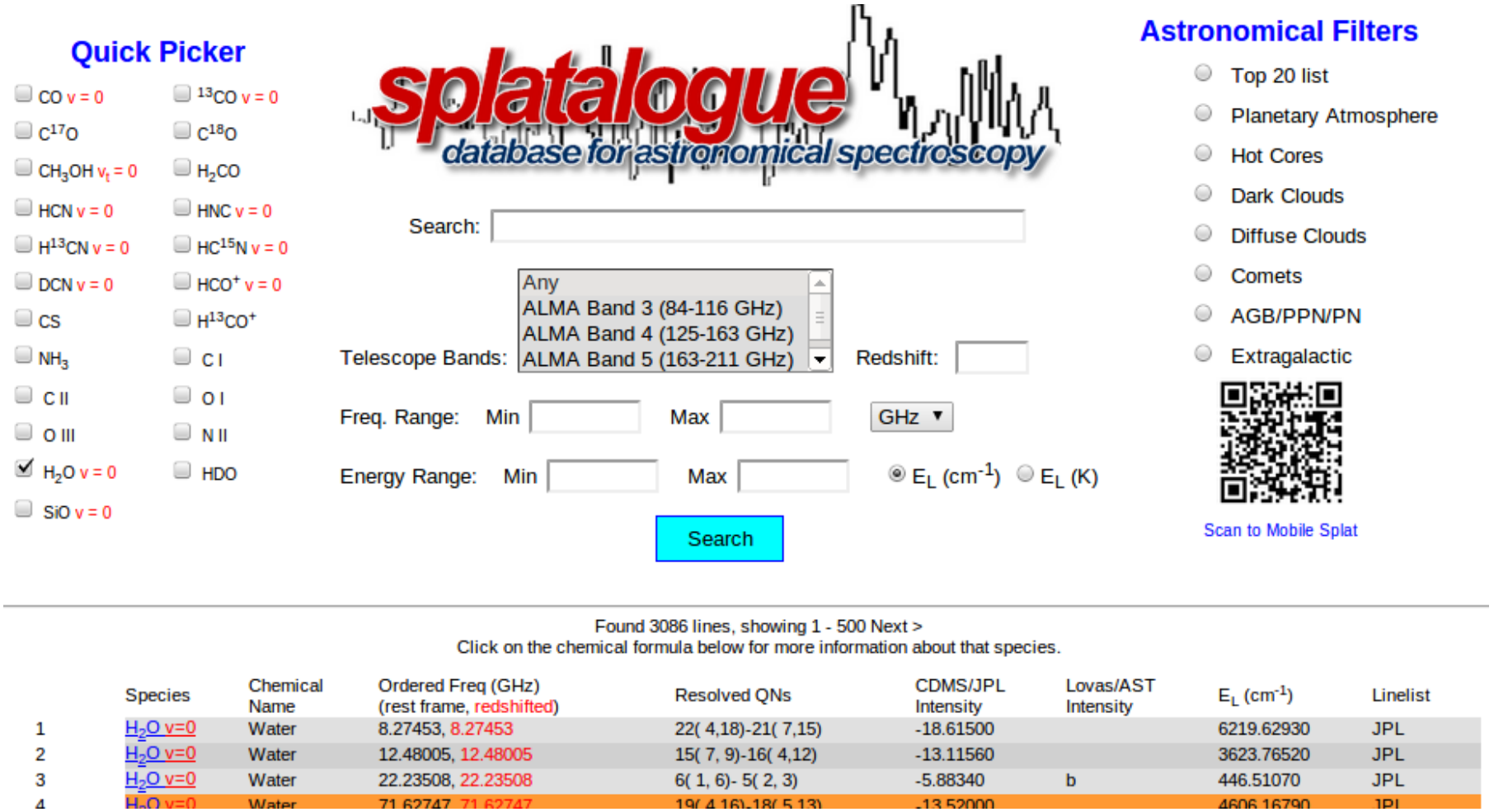


Credit: Bruce Averill and Patricia Eldredge

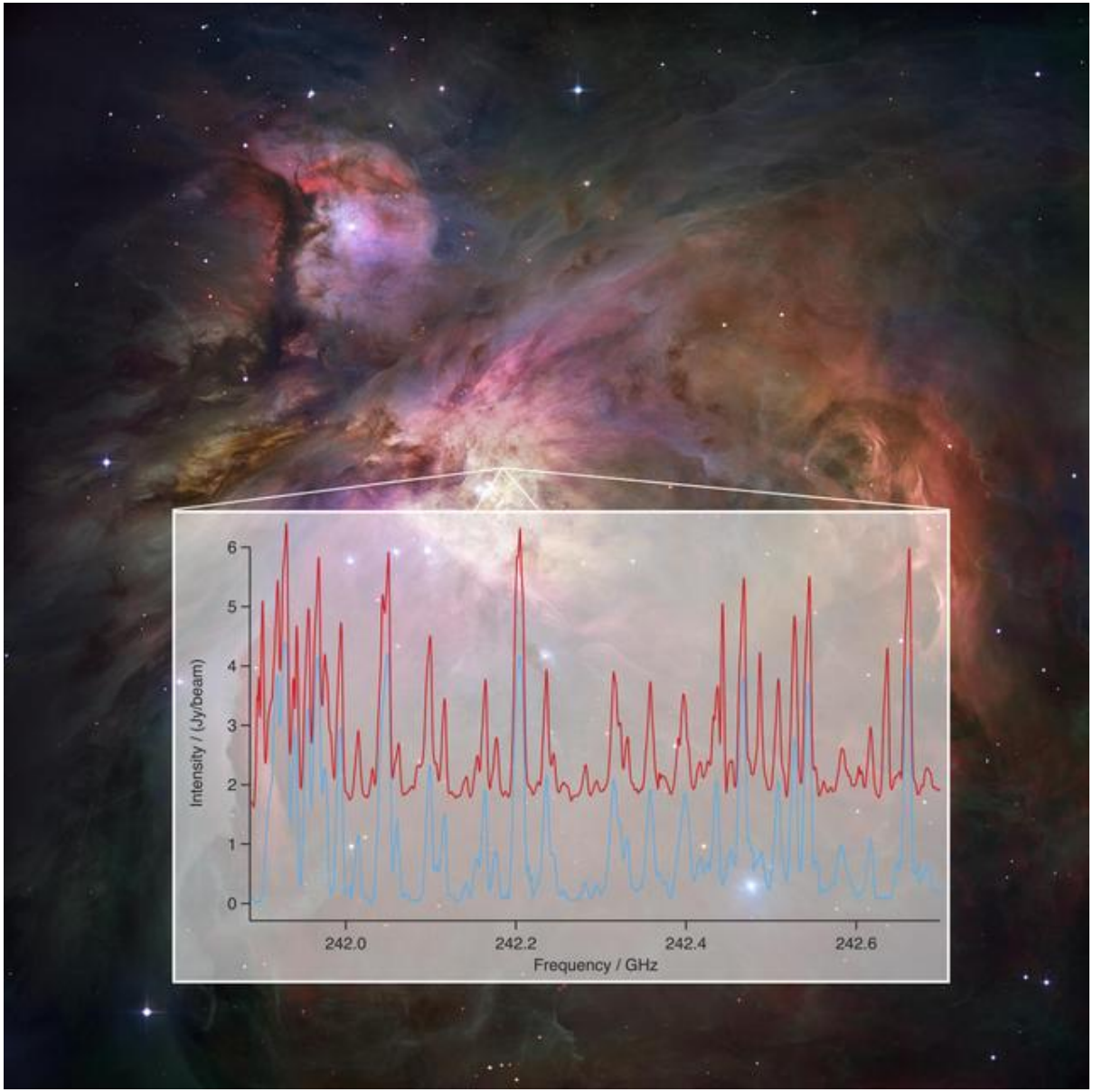
Radiospektri



Radiospektritietokanta (splatalogue.net)



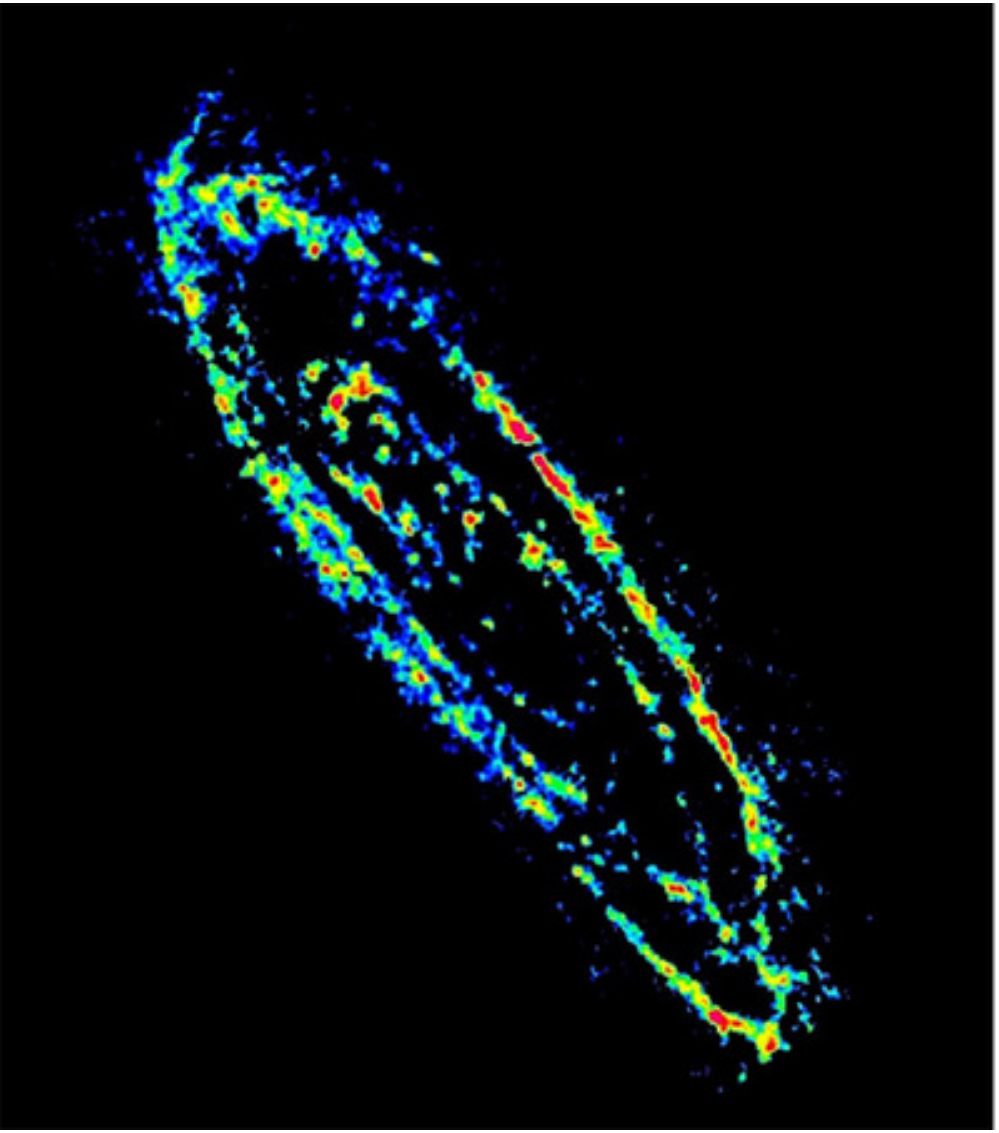
Radiospektroskopia



Credit: ALMA

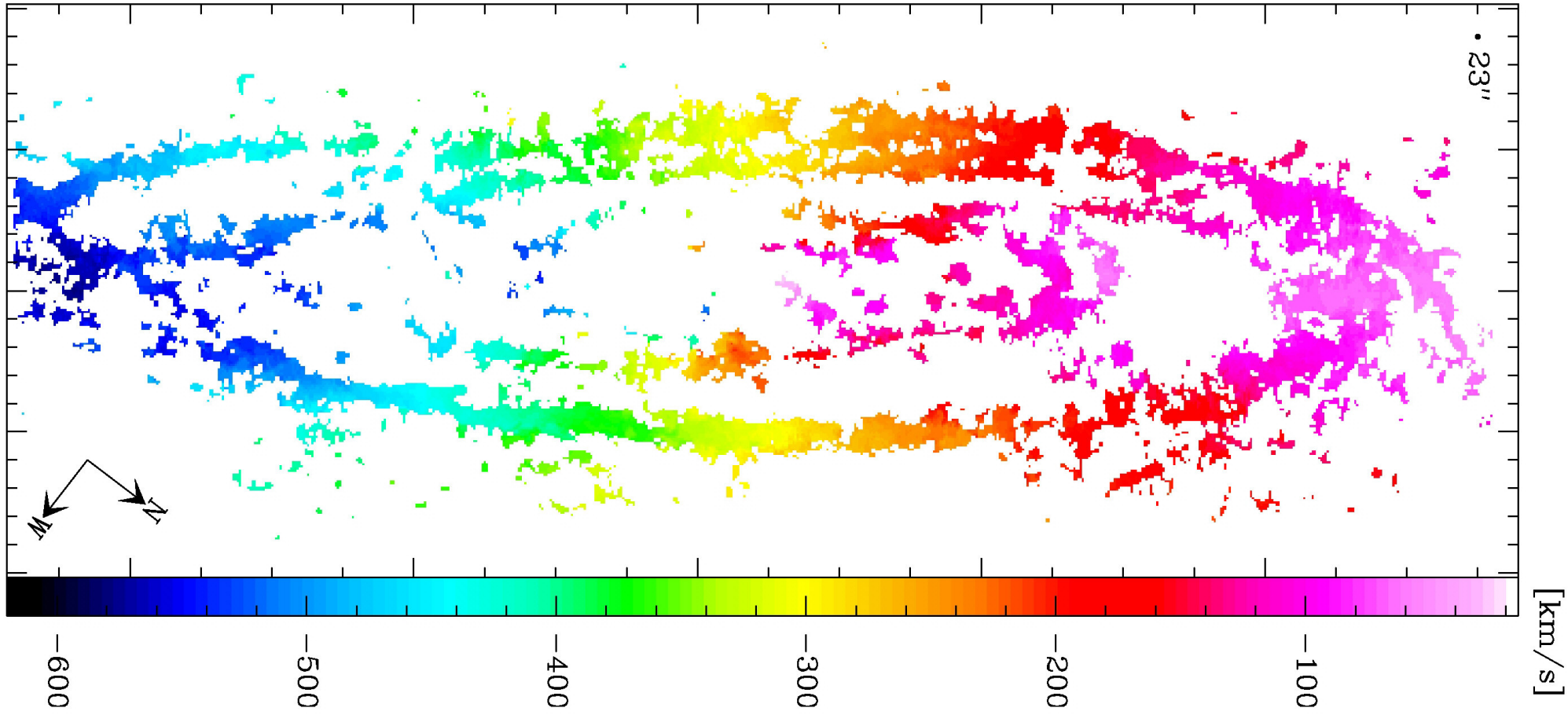
Etyylisyanidi CH_3CH_2CN laboratoriossa (sininen) ja Orionin kaasusumussa (punainen).

Radiospektroskopia: M 31 ja häkä



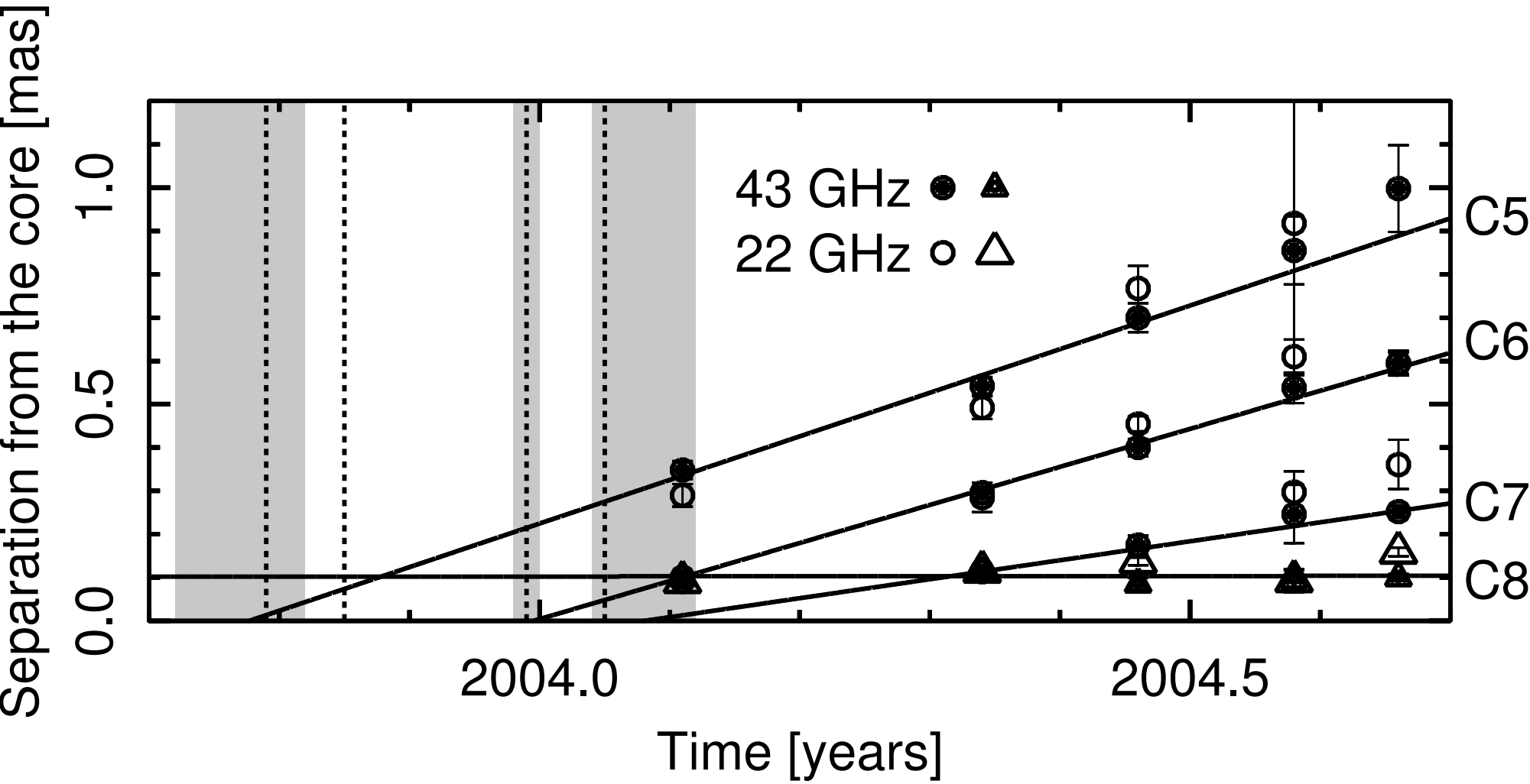
Credit: MPIfR

Radiospektroskopia: M 31 pyörii!



Credit: MPIfR

0716+714 suihkun kinematiikka, v = 8.5 - 19.4c !



(Rastorgueva, E. A.; Wiik, K.; Savolainen, T.; Takalo, L. O.; Valtaoja, E.; Vetukhnovskaya, Y. N.; Sokolovsky, K. V.)