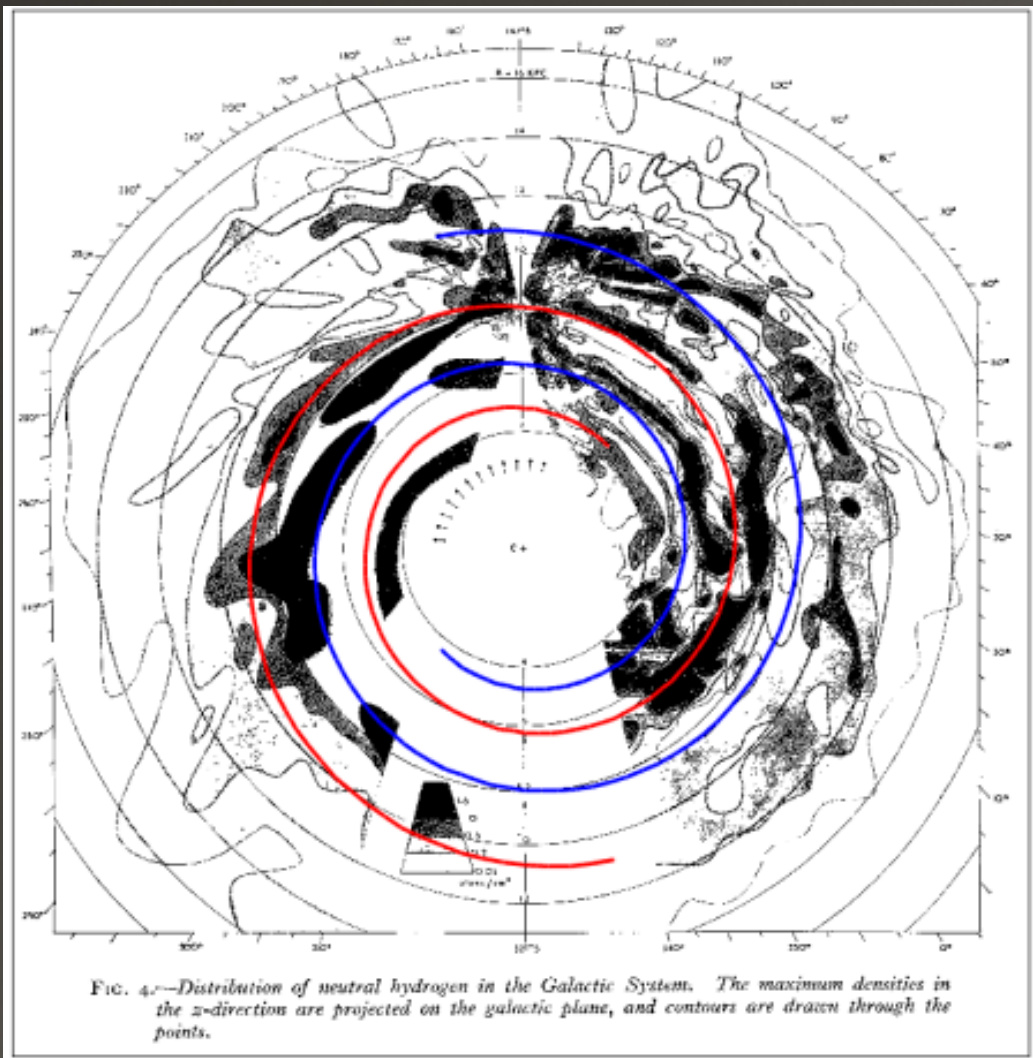


AST406

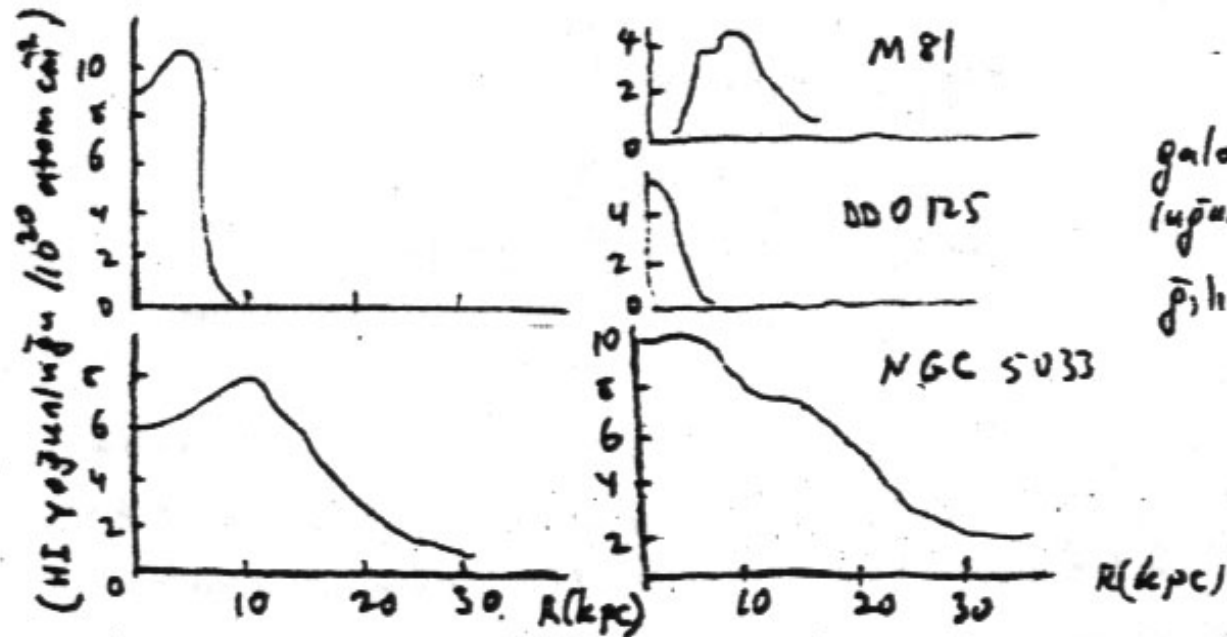
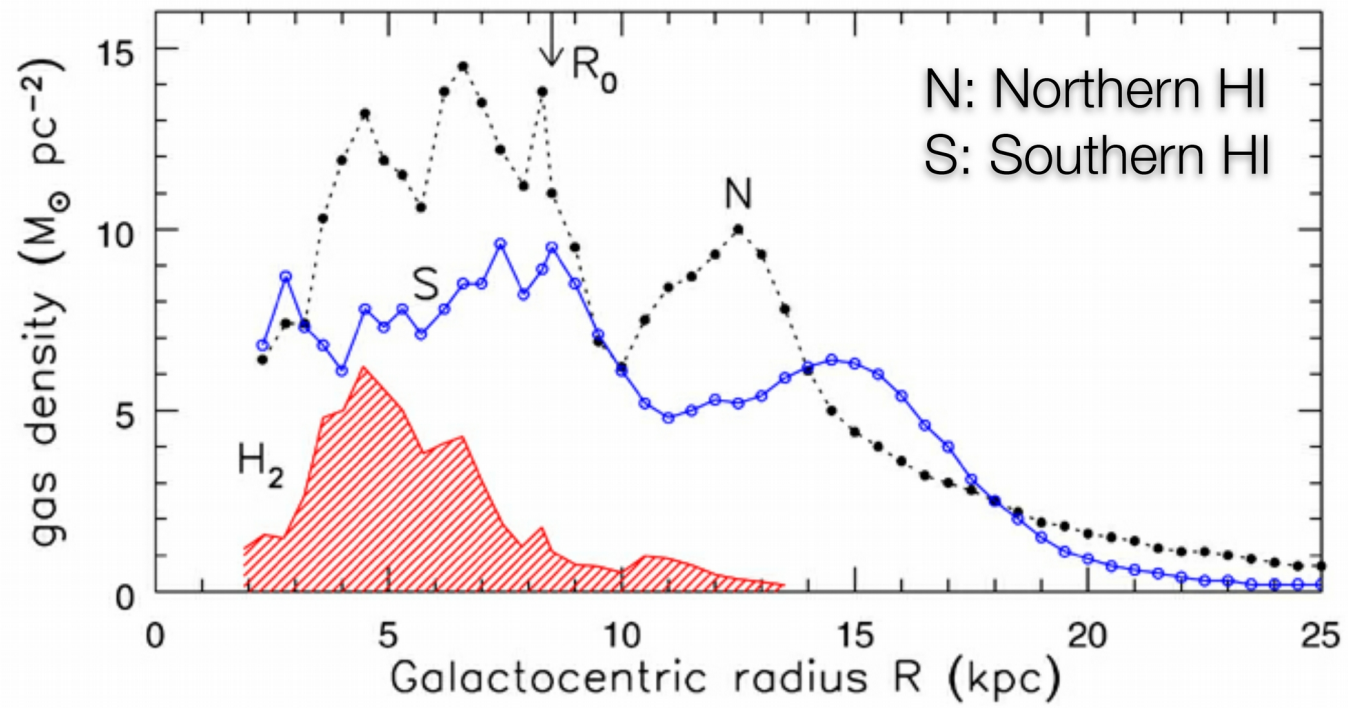
UZUN DALGA ASTRONOMİSİ



**H I radyal yoğunluk dağılımı :** Yukarıda üst kısımda verilen şekilde gaz yoğunluğunun iki boyutlu dağılımı gösterilmektedir. Yoğunluk, merkez çevresinde bir halka boyunca entegre edilirse, yoğunluğun  $R$  ile ortalama değişimi bulunur.  $13^\circ < l < 165^\circ$  arasındaki gözlemlerden elde edilen bir sonuç, aşağıda verilen Şeklin a kısmında gösterilmektedir. Görüleceği üzere  $R < 4$  kpc için yoğunlukta büyük bir azalma vardır. Benzer sonuçlar başka gökadalarda da bulunmuştur (Aşağıdaki Şeklin b kısmı).

$R > 14$  kpc için yoğunluk hızla düşmektedir.  $R = R_0$  yarıçapı dışındaki bölgeler için hesaplanan yoğunluk biraz da iyi bilinmeyen dönme eğrisine bağlıdır.

**Galaktik düzleme dik dağılım :** Hidrojen gözlemleri, hidrojenin Samanyolu düzlemine dik dağılımının  $R \leq R_0$  için oldukça ince olduğunu ve  $R$  ile arttığını göstermektedir. Yoğunluğun, düzlemdeki yarısına düştüğü noktalar arasındaki kalınlık ( $\Delta z$ ),  $R < 4$  kpc için  $\Delta z \sim 100 - 200$  pc,  $4.5$  kpc  $< R < 10$  kpc için  $\Delta z \sim 250$  pc dir.

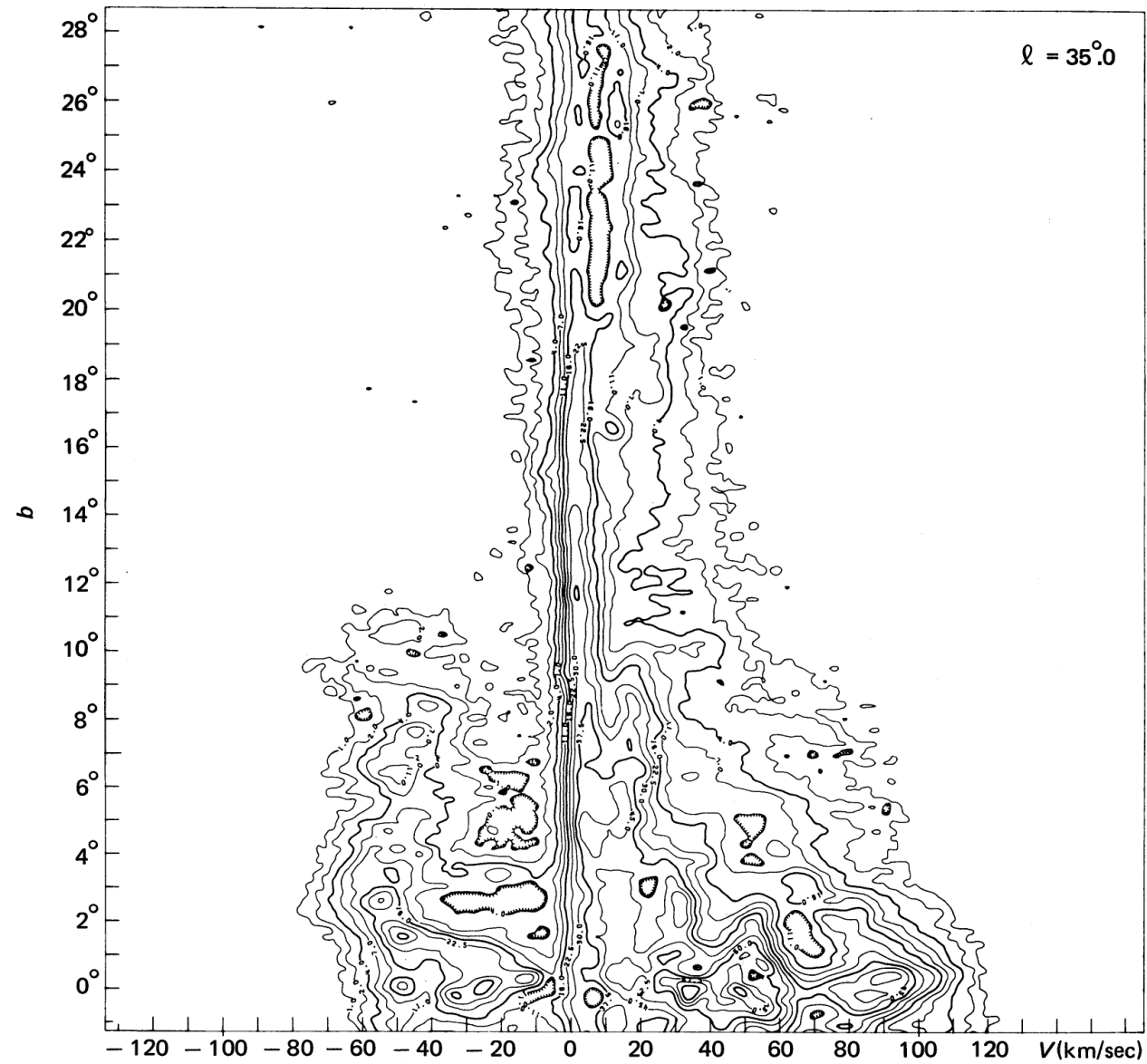


6. Geçitli  
galaksilerde HI yoğun-  
luğunun radyal da-  
ğılımı.

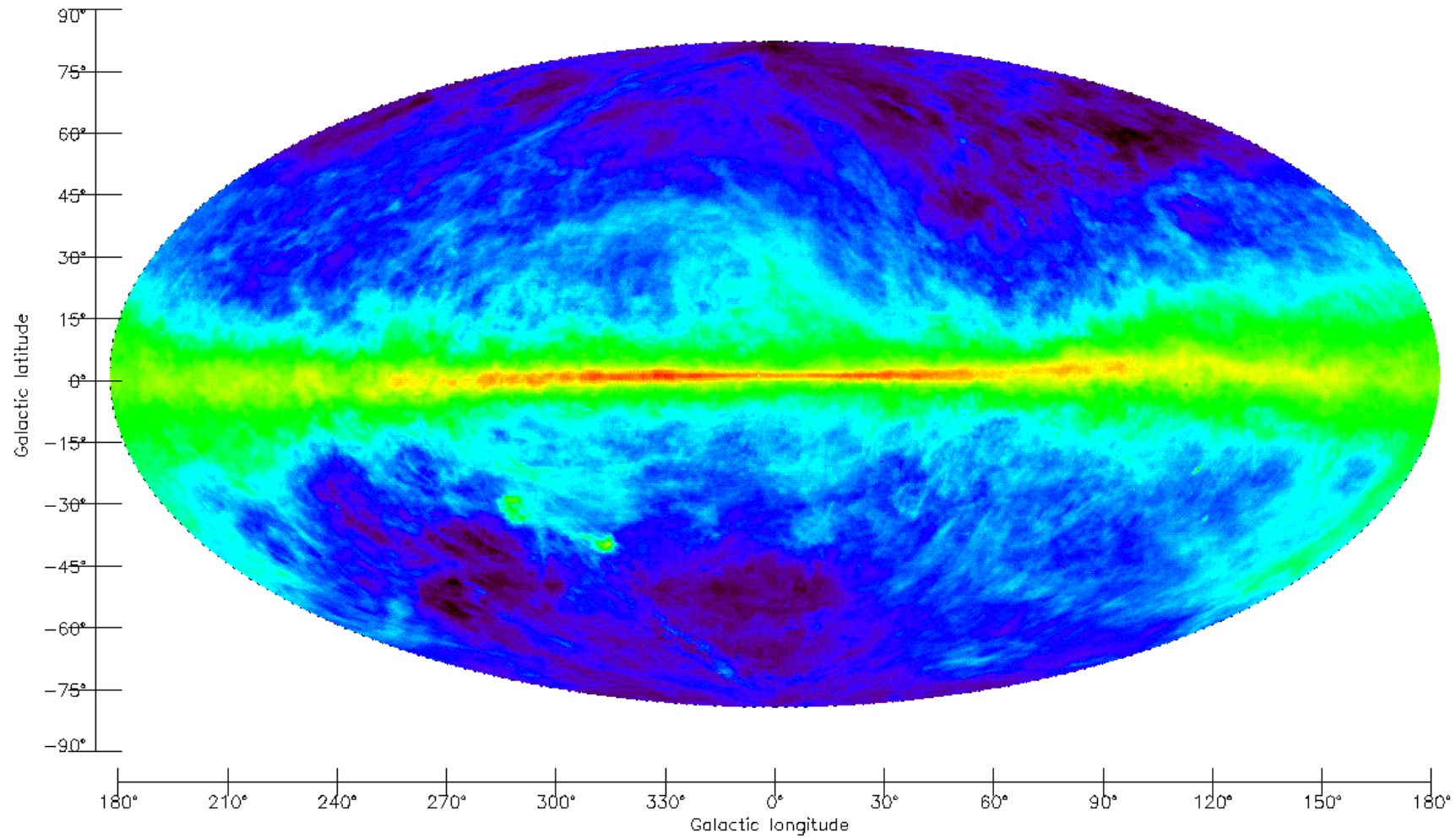
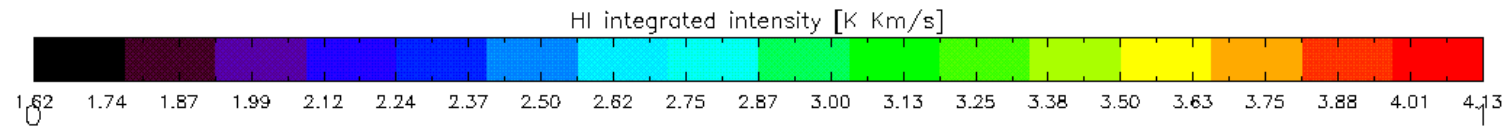
$R \sim 12$  kpc den öteye hızlı bir artış vardır :  $\Delta z > 1$  kpc. Dış galaksilerde de benzer dağılımın olduğunu gösteren gözlemsel deliller vardır.

- Aşağıdaki Şekillerden üstteki,  $l = 35^\circ$  için hız-enlem düzleminde anten sıcaklığı eş eğrilerini vermektedir. Negatif hızlı hidrojen Samanyolu düzleminden ( $b = 0^\circ$ ) sapmaktadır.  $b = 10^\circ$  de düzlemden uzaklık  $z > 3$  kpc olmaktadır.

**Galaktik merkez** : Galaktik diskteki kuvvetli soğurma nedeniyle optik dalgaboylarında Galaktik merkez görülememektedir. 1990 larda  $R < 4$  kpc bölgesinin radyo ve kırmızıötesi gözlemler ile galaktik merkezin ayrıntılı incelemesi yapılabilmektedir.



**Figure 4.16** Contours of antenna temperature in the velocity-latitude plane illustrating for  $l = 35^\circ$  the deviation of the outer part (at this longitude: negative velocities) of the hydrogen layer from the galactic equator  $b = 0^\circ$ . (Burton and Verschuur, 1973. *Astron. Astrophys. Suppl.*, 12: 145.)

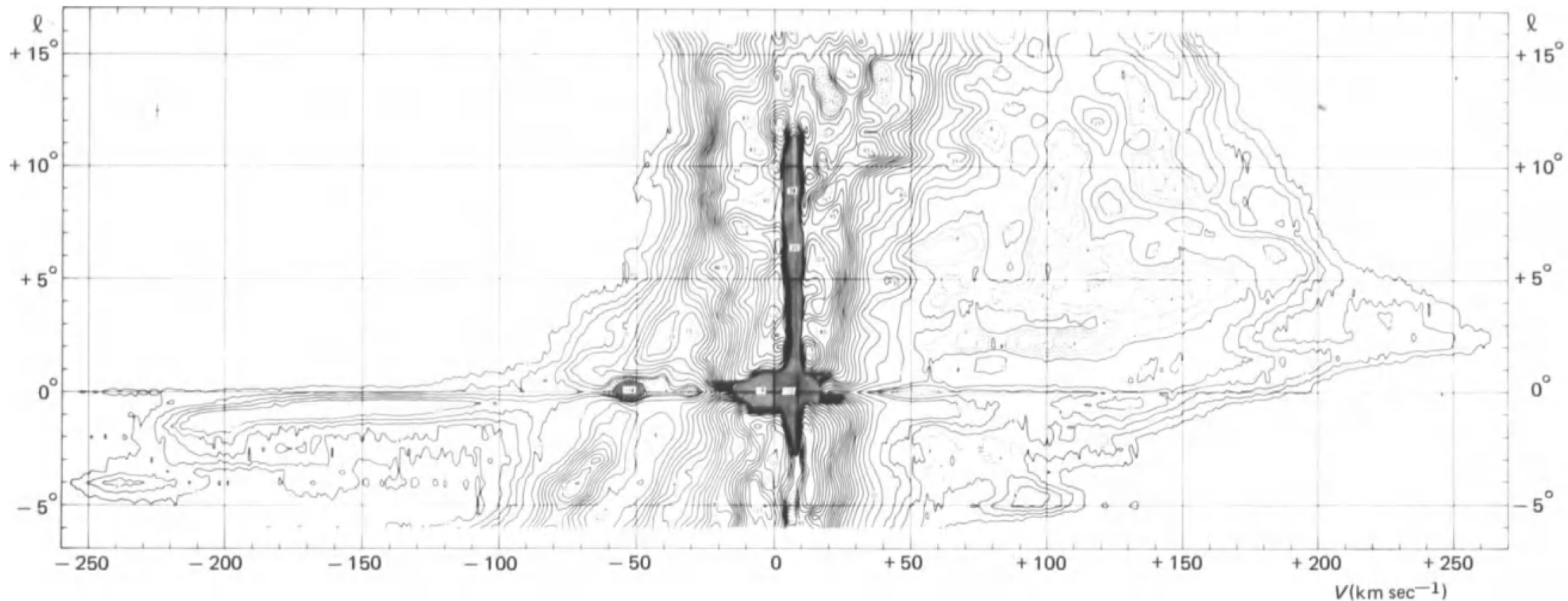


Özellikle merkezdeki gazın dağılımı ve kinematiği, kuramsal olarak tam bir dinamik açıklama yapılmamış olmakla birlikte oldukça iyi bir şekilde gözlemi yapılabilmektedir.

Aşağıda verilen şekil,  $b=0^\circ$  de  $(l,v)$  düzleminde  $l=354^\circ-16^\circ$  arasındaki HI in parlaklık sıcaklığı eş eğrilerini göstermektedir. Eğer galaktik merkezdeki nötr hidrojen çekirdek (yani merkez) çevresinde dairesel bir dağılıma sahip olsaydı  $(l, v)$  eğrileri  $(l, v) = (0, 0)$  noktasına göre simetrik olurdu. Yani şekil,  $180^\circ$  döndürülünce aynı görülmeliydi. Oysa aşağıda verilen şekil simetrik bir yapı göstermemektedir. Artı hız ve boylamlarda eksi hız ve boylamlara göre daha çok hidrojen olduğu açıkça görülmektedir.

Büyük ölçekte bakıldığında bu şekilde şu yapısal özellikler görülür :  $-45^\circ < l < 0^\circ$  arasında hızları  $-210 \text{ km s}^{-1} < v < 0 \text{ km s}^{-1}$  olan 21 cm salması vardır.





**Figure 4.17** Contours of neutral hydrogen brightness temperatures in the plane in directions near that of the galactic center. Broken-line contours enclose regions of relatively low brightness temperatures. The bandwidth ( $1.7 \text{ km sec}^{-1}$ ) and the half-power beamwidth ( $0^{\circ}.6$ ) are indicated by a cross in the upper left-hand corner. The shaded portions of the map are regions of absorption where contour lines would be overcrowded due to steep temperature gradients. Observations are spaced at half-degree intervals of longitude. (Burton, 1970a. *Astron. Astrophys. Suppl.* 2:261.)

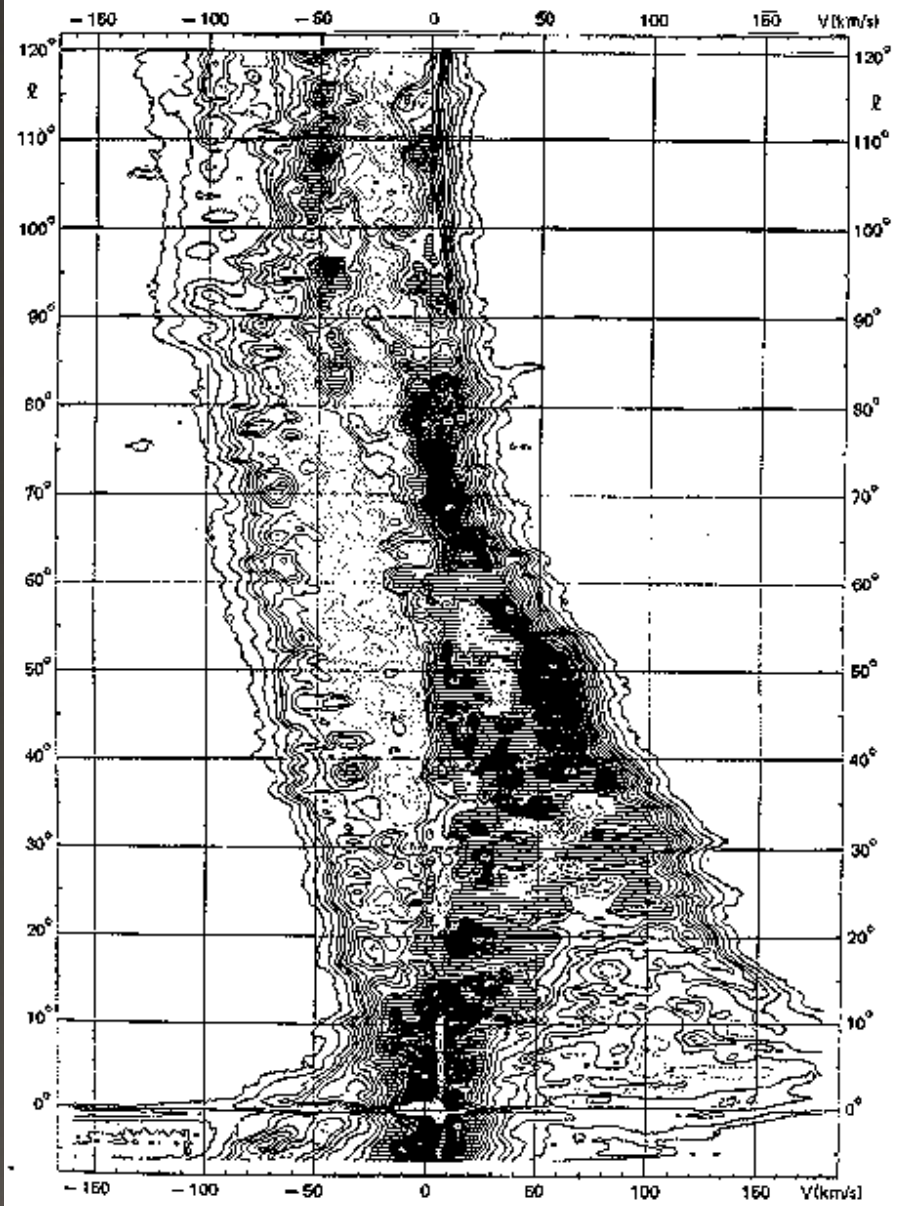


Figure 4.1 Contours of neutral hydrogen brightness temperatures in the galactic plane. Broken-line contours enclose regions of relatively low brightness temperatures. The velocity is with respect to the local standard of rest. The observations were made with a bandwidth of  $1.7 \text{ km sec}^{-1}$  and a half-power beamwidth of  $0.6^\circ$ . The observations were spaced at half-degree intervals of longitude. Temperatures in the ranges  $70^\circ\text{K} < T_b < 90^\circ\text{K}$ ,  $90^\circ\text{K} < T_b < 100^\circ\text{K}$ , and  $T_b > 110^\circ\text{K}$  are indicated by successive degrees of shading. The dotted portion of the map near  $l = 0^\circ$ ,  $V = 0 \text{ km sec}^{-1}$  is a region of absorption where contour lines would be overcrowded due to steep temperature gradients. (Burton, 1970a. *Astron. Astrophys. Suppl.* 2:261.)

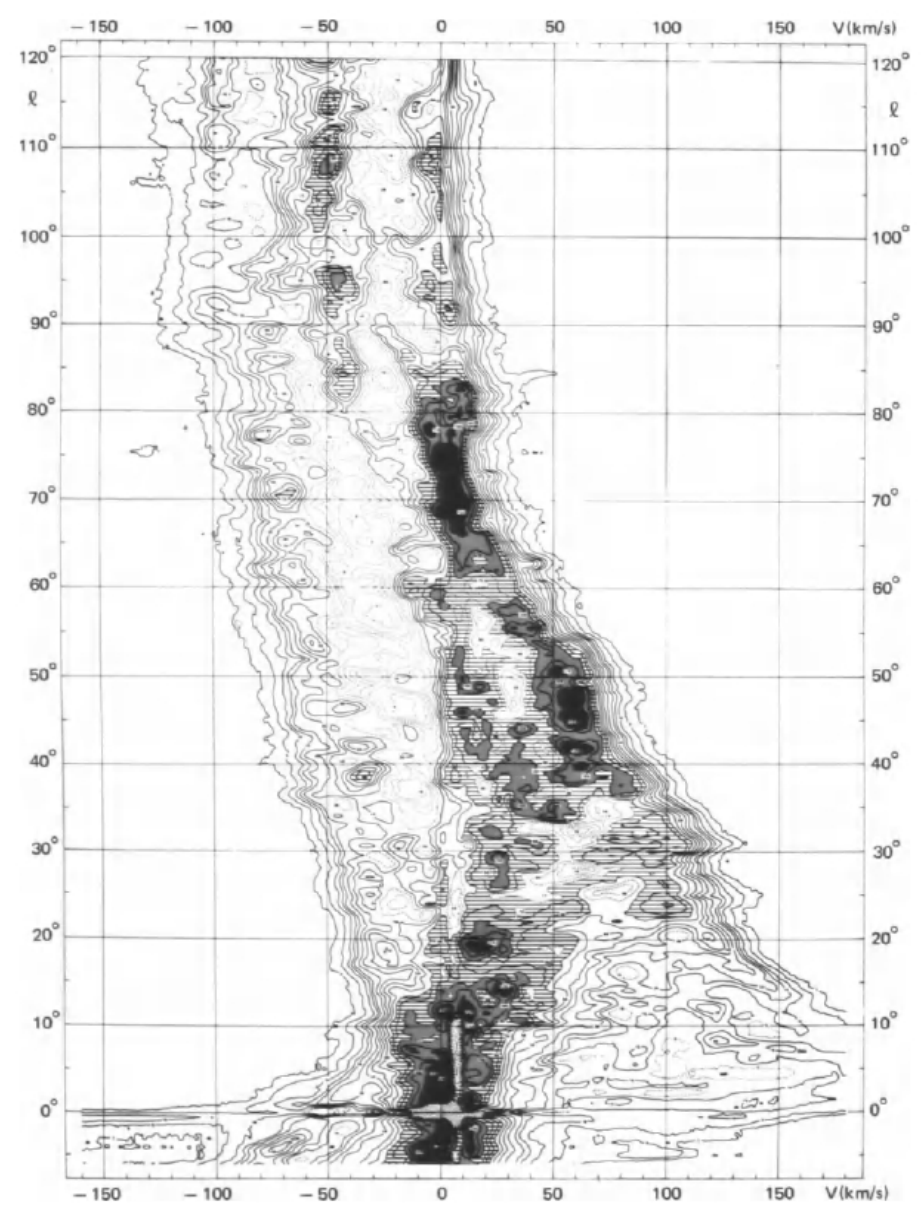


Figure 4.1 Contours of neutral hydrogen brightness temperatures in the galactic plane. Broken-line contours enclose regions of relatively low brightness temperatures. The velocity is with respect to the local standard of rest. The observations were made with a bandwidth of  $1.7 \text{ km sec}^{-1}$  and a half-power beamwidth of  $0.6^\circ$ . The observations were spaced at half-degree intervals of longitude. Temperatures in the ranges  $70^\circ\text{K} < T_b < 90^\circ\text{K}$ ,  $90^\circ\text{K} < T_b < 100^\circ\text{K}$ , and  $T_b > 110^\circ\text{K}$  are indicated by successive degrees of shading. The dotted portion of the map near  $l = 0^\circ$ ,  $V = 0 \text{ km sec}^{-1}$  is a region of absorption where contour lines would be overcrowded due to steep temperature gradients. (Burton, 1970a. *Astron. Astrophys. Suppl.* 2:261.)

Leiden/Dwingeloo & IAR HI Surveys:  $b = 0$

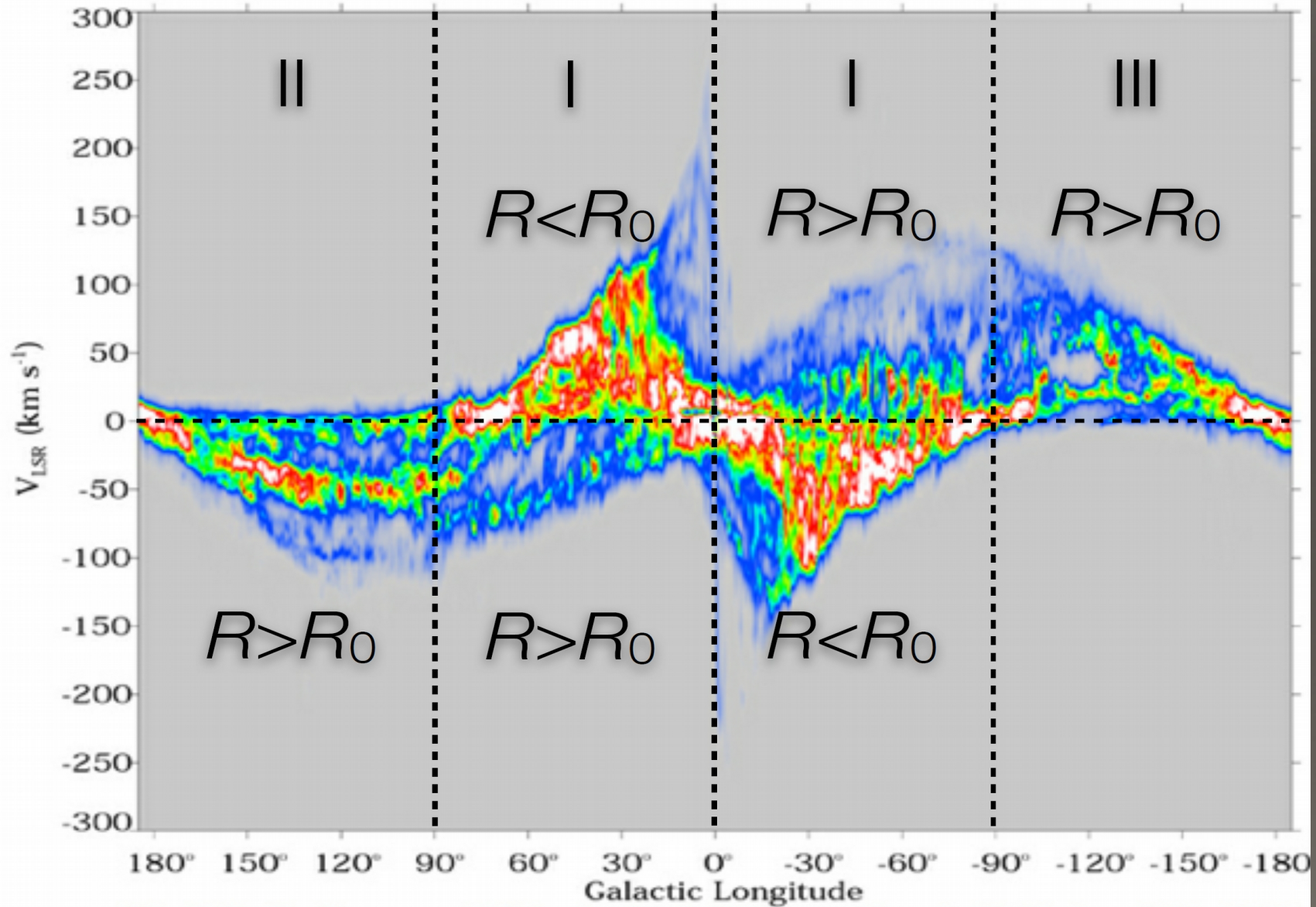
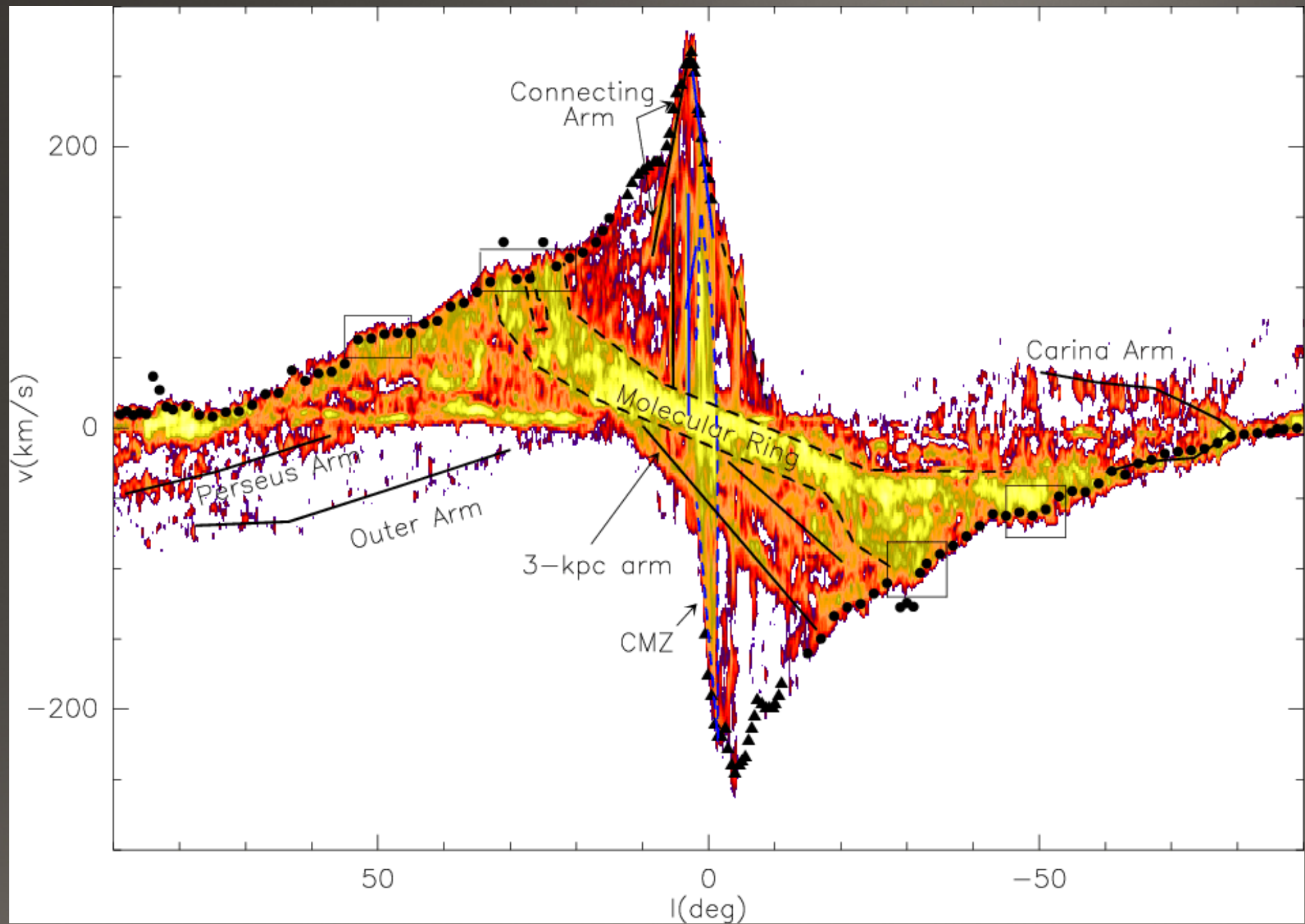


Fig 2.20 (D. Hartmann) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



İkinci olarak  $-5^\circ < l < -3^\circ$  arasında  $v \approx -240$   $\text{km s}^{-1}$  de başka bir hidrojen görülmektedir. Bunların artı boylam ve artı hız bölgesindeki karşılığının varlığı, çevredeki hidrojenle karışmış olmasına karşın, biraz güç de olsa sezilmektedir.

Birinci ile ikincinin yarıçapları, farklı iki ayrı yapısal özellik olduğunu ortaya koymaktadır. Bunlar, hızla dönen bir gaz diski olarak yorumlanmıştır.

Boylamdaki uzantıdan bu çekirdek diskinin yarıçapı  $R \sim 700$  pc olarak hesaplanmıştır. Bu disk içindeki hareket çoğunlukla dairesel, dolayısıyla dönme eğrisi hakkında  $R < 700$  pc için bilgi vermektedir.

Burada kütlelerin çoğunun Öbek II cisimleri olduğu şüphesizdir. Bu bölgede, oransal olarak diğer bölgelere göre HI daha azdır.

Çekirdek diski ile  $R \sim (1/3)R_0$  arasında dairesel olmayan hareketler görülmektedir. Yukarıda verilen Şekilde  $l \approx -6^\circ$  ve  $v \approx -80 \text{ km s}^{-1}$  de başlayıp  $l = 0^\circ$  ve  $v = -53 \text{ km s}^{-1}$  den geçerek  $l \approx 5^\circ$  de diğer hidrojene karışan ve 3 kpc kolu denen uzun bir hidrojen “sırtı” görülmektedir.  $(l, v) = (0^\circ, -53 \text{ km s}^{-1})$  de kuvvetli soğurma vardır.

Bunun anlamı şudur : 21 cm salması şeklinde görülen sırtın bu parçası, Güneş ile merkezdeki kuvvetli (yüksek parlaklık sıcaklıklı) sürekli ışınım kaynağı Sgr A arasındadır ve onun ışınımını soğurmaktadır.

Bu soğurmaya neden olan maddenin merkez çevresinde dairesel harekette olmadığı açıktır.  $-53 \text{ km s}^{-1}$  lik hız radyal doğrultuda (Güneş’e doğru) genişlemeyi göstermektedir. Bu nedenle uzaklığı kinematik yolla bulunamaz. Geometrik olarak, kabaca bulunmuştur : Bu kol  $l \approx 338^\circ$  ye kadar görülmektedir. Bu  $R \approx 3.5 \text{ kpc}$  değerini verir. “3 kpc kolu” denmesinin nedeni budur.

Kolun  $l = 0^\circ$  deki ucunun uzaklığı belli değildir ancak soğurma olarak görüldüğüne göre Güneş ile merkez arasında olduğu açıktır. Aslında yukarıda verilen Şekil'e bakarak bu kolun bir sarmal koldan kaynaklandığı, hatta  $R = 3 \text{ kpc}$  deki hidrojen kaynaklandığı kesin olarak söylenememektedir.

Yukarıda verilen Şekilde görülen bir başka özellik, eksi boylamlarda ( $-5^\circ < l < 0^\circ$ ) ve artı hızlarda ( $50 \text{ km s}^{-1} < v < 200 \text{ km s}^{-1}$ ) hidrojen salmasının varlığıdır. Salt dairesel dönme için bu bölge “yasak bölgedir”. Ayrıca buradaki hidrojenin parlaklık sıcaklığında bir azalma görülmemektedir. Yani soğurma olarak görülen hidrojen yoktur.

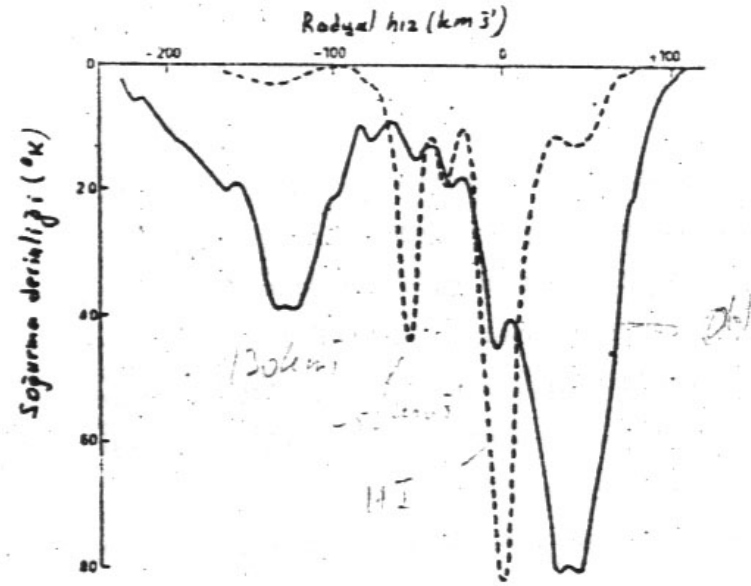
Bu da şunu göstermektedir : ( $l < 0, v > 0$ ) daki  $21 \text{ cm}$  salmasına neden olan madde galaktik merkezin arkasındadır ve  $3\text{-kpc}$  kolu gibi merkezden dışa doğru genişlemektedir. Bu “kol” a da çoğu zaman “ $135 \text{ km s}^{-1}$  lik genişleyen kol” denmektedir. Eğer madde birikintiler halinde ise merkez ile Güneş arasında olabilir ve yine de soğurma olarak görülmez. Bu durumda hareketi merkeze doğru olur.

Bakış doğrultusuna dik doğrultudaki hız bileşenini ölçecek bir yöntemin olmamasından dolayı bu hızların, dairesel olmayan dolanımların Güneş'in özel konumundan mı öyle görüldüğü yoksa çekirdekten fırlatılan gazı mı temsil ettiği belli değildir.

$R < 4$  kpc içinde gazın düzlemde toplanması pek kuvvetli değildir.  $-10^\circ < l < 10^\circ$  arasında ( $R < 1.7$  kpc) maddenin yan kalınlığı  $1^\circ$  dir.  $10^\circ$  ya kadar soyutlanmış birikintiler görülmektedir. Merkezdeki HI in dönme eksenini de düzleme göre eğiktir.

Aşağıda verilen Şekilde Sagittarius A'nın saldırdığı ışınımın hidrojen atomları (kesikli çizgi) ve OH molekülü (sürekli eğri) tarafından soğurulmasına ilişkin profiller gösterilmektedir. Apsis, Güneş komşuluğundaki hidrojene göre radyal hızdır. Düşey eksen soğurma derinliğidir. Bu şekilde moleküller ile hidrojen atomu arasındaki fark ortaya konmaktadır. Kesikli çizginin  $0 \text{ kms}^{-1}$  deki derin minimumu, galaktik merkez ile gözlemci arasındaki tüm hidrojenden ileri gelir.





Sagittarius A'nın saldığı ışınımın hidrojen atomları (kesikli çizgi) ve OH moleküllü (sürekli eğri) tarafından soğurulması. Apsis, Güneş komşuluğundaki hidrojene göre radyal hızdır. Düşey eksen soğurma derinliğidir. Moleküllerle hidrojen atomu arasındaki fark sergilenmektedir. Kesikli çizginin  $0 \text{ km/s}$ 'deki derin minimumu, galaktik merkez ile gözlemci arasındaki tüm hidrojenden ileri gelir, dairesel hareket yaptığı için bu maddenin hız dağılımı küçük.  $-53 \text{ km/s}$ 'deki ikinci minimum (noktalı çizgi de) "genişleyen 3-kpc" kolundaki hidrojenden ileri gelir. OH eğrisinin bu hızlarda minimumu yok denecek kadar küçük derinlikte, fakat  $-130 \text{ km/s}$ ' komşuluğunda geniş soğurma bandına sahip. Buna, merkeze yakın, genişleyen molekül bulutları neden olur.  $+40 \text{ km/s}$ 'de daha derin bir minimum var. Bu hızlarda noktalı çizgideki sığ minimumlardan görüldüğü gibi hemen hemen hiç hidrojen yok.

Dairesel hareket olduğu için bu maddenin hız dağılımı küçüktür.  $-53 \text{ kms}^{-1}$  deki ikinci minimum (noktalı çizgide) “genişleyen 3-kpc” kolundaki hidrojenden ileri gelir.

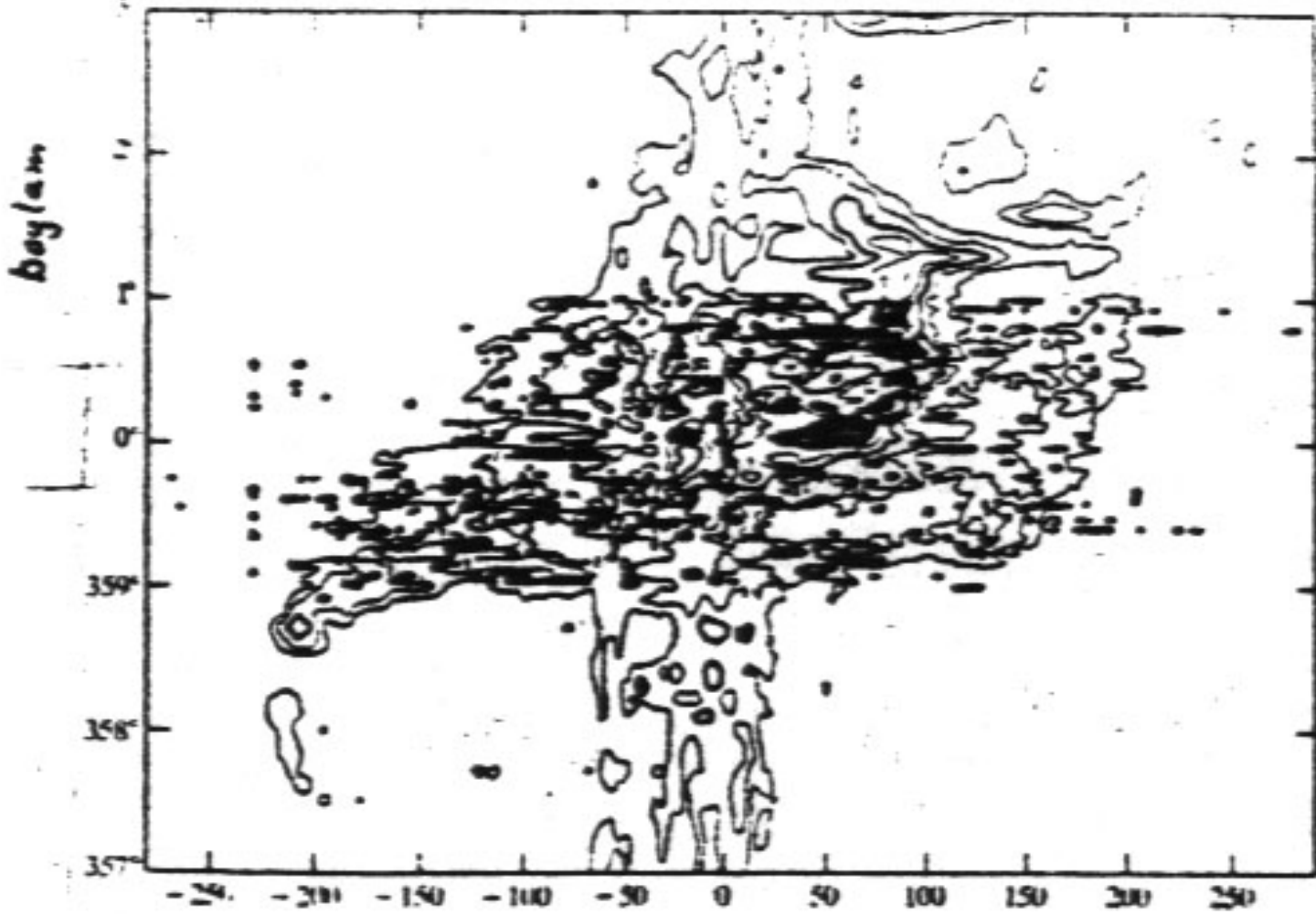
OH eğrisinin bu hızlarda minimumu yok denecek kadar küçük derinlikte ama  $-130 \text{ kms}^{-1}$  komşuluğunda geniş soğurma bandına sahip olmaktadır. Buna, merkeze yakın olan genişleyen molekül bulutları neden olur.

$+40 \text{ kms}^{-1}$  de daha derin bir minimum vardır. Bu hızlarda noktalı çizgideki sığ minimumlardan görüldüğü gibi hemen hemen hiç hidrojen yoktur.

**Merkezde molekül bulutları :** Molekül gözlemleri, özellikle  $2.6 \mu\text{m}$  CO gözlemlerine göre Galaktik merkez ile  $300 \text{ pc}$  arasında molekül bulutları dış bölgelere göre daha fazladır. Bu kestirime göre  $R = 300 \text{ pc}$  ( $l = 2^\circ$ ) içindeki maddenin çoğu molekül durumdadır.  $R = 300 \text{ pc}$  içinde  $10^8 M_\odot$  kadar  $\text{H}_2$  ye karşılık  $700 \text{ pc}$  yarıçaplı HI diskinin tümünde  $4 \times 10^6 M_\odot$  lik nötr hidrojen hesaplanmaktadır.

Merkezdeki moleküler maddenin dağılımı ve kinematiği  $R \leq 4 \text{ kpc}$  deki HI inkiye genel olarak benzerdir. Aşağıda verilen Şekilde  $^{12}\text{CO}$  molekülünün  $2.6 \mu\text{m}$  salma çizgisinin  $b = 0^\circ$  de ( $l, v$ ) düzlemindeki dağılımı gösterilmektedir.

Bunun daha önce verilen yukarıdaki Şekilde gösterilen HI dağılımı ile benzerliği dikkat çekmektedir. Burada da artı hız ve artı boylamlarda eksi hız ve boylamlara göre daha fazla gaz vardır. Aşağıda verilen Şekilde iki dev molekül birikintisi görülmektedir : ( $l, v$ ) = ( $10'$ ,  $40 \text{ kms}^{-1}$ ) ve ( $l, v$ ) = ( $45'$ ,  $70 \text{ kms}^{-1}$ ) de.



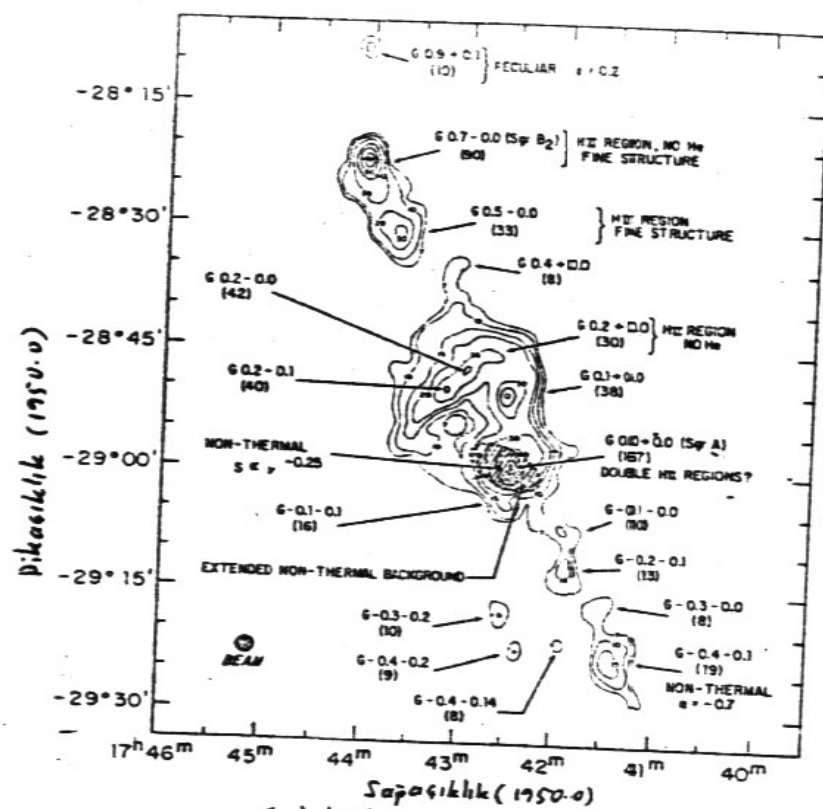
2.6 mm  $^{12}\text{CO}$  parlaklık sıcaklığı eş eğrileri ( $b=0^\circ$ )  
 Sek 6.12 de gösterilen HI dağılımı ile benzerlik belirgin. Siyah ta-  
 ralı bölgeler  $40 \text{ km/s}$  bulutu ile Sgr B2 topluluğu gösterilmiştir.

**“40 kms<sup>-1</sup> bulutu”** diye de adlandırılan birinci bulut belki de sürekli radyo ışınım kaynağı Sagittarius A ile ilgilidir. Sgr A nın Galaksinin tam merkezi olduğu kabul edilmektedir. Diğer en az yedi HII bölgesi ile ilgilidir ve Sagittarius B2 diye adlandırılmıştır.

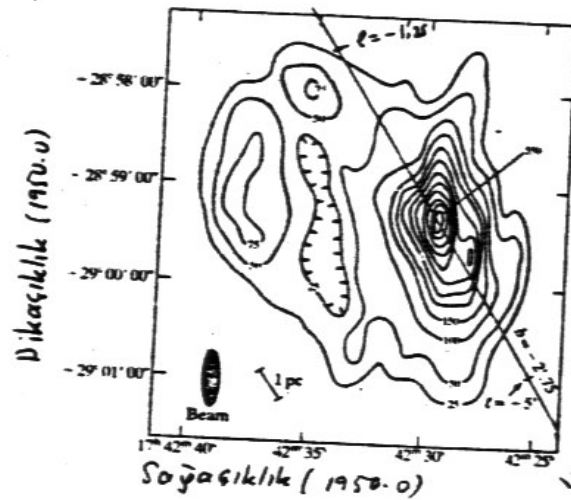
OH hidroksil kökü 18 cm ile H<sub>2</sub>CO formaldehid'in (6 cm) soğurma çizgileri gözlemlerinden Sgr B2 nin merkezin arkasında ve genişlemekte olduğu, hatta genişleyen molekül halkası içinde olduğu ileri sürülmektedir.

# Kırmızıötesi ve Radyo sürekli tayf gözlemleri

Galaktik merkezin en büyük ayırma gücüne sahip gözlemleri kırmızıötesi ve radyo dalgaboylarında yapılmıştır. Aşağıda verilen şekillerden üstteki, merkez bölgesinin  $\lambda = 2 \text{ cm}$  de ısıl radyo ışınımı dağılımını göstermektedir. En çok ışınım Sgr A tarafından salınmaktadır. Altteki şekilde ise 6 cm de Sgr A'nın süreklilik salması gösterilmektedir. Sgr A aslında iki kaynaktır : Sgr A ve Sgr A batı(west). Sgr A batı'nın süpernova kalıntısı olduğu öne sürülmüştür. Çok uzun tabanlı gözlemlere (VLBI) göre, Sgr A, çapı  $\theta \leq 0''.001$ , yani  $D \leq 10 \text{ A.B.}$  Büyüklüğünde aşırı sıkışık (yoğun), ısıl olmayan kaynak içermektedir. Bir çok etkin galaksilerin merkezlerinde çok sıkışık, etkin kaynağın olduğu bilinmektedir. Fakat büyüklük sınırı 10 A.B. gibi kesin değildir. Merkezin radyo parlaklığı  $10^{33} \text{ erg s}^{-1}$  ( $=1L_{4\odot}$ ) dir. Bu kimi radyo galaksilerden  $10^{13}$  kadar küçüktür.



Sagittarius A  
Galaktik merkez doğrultusunun 2cm de  
yapılan haritası, (demet genişliği = 2,25). Parantez için-  
deki sayılar akı yoğunluklarıdır.

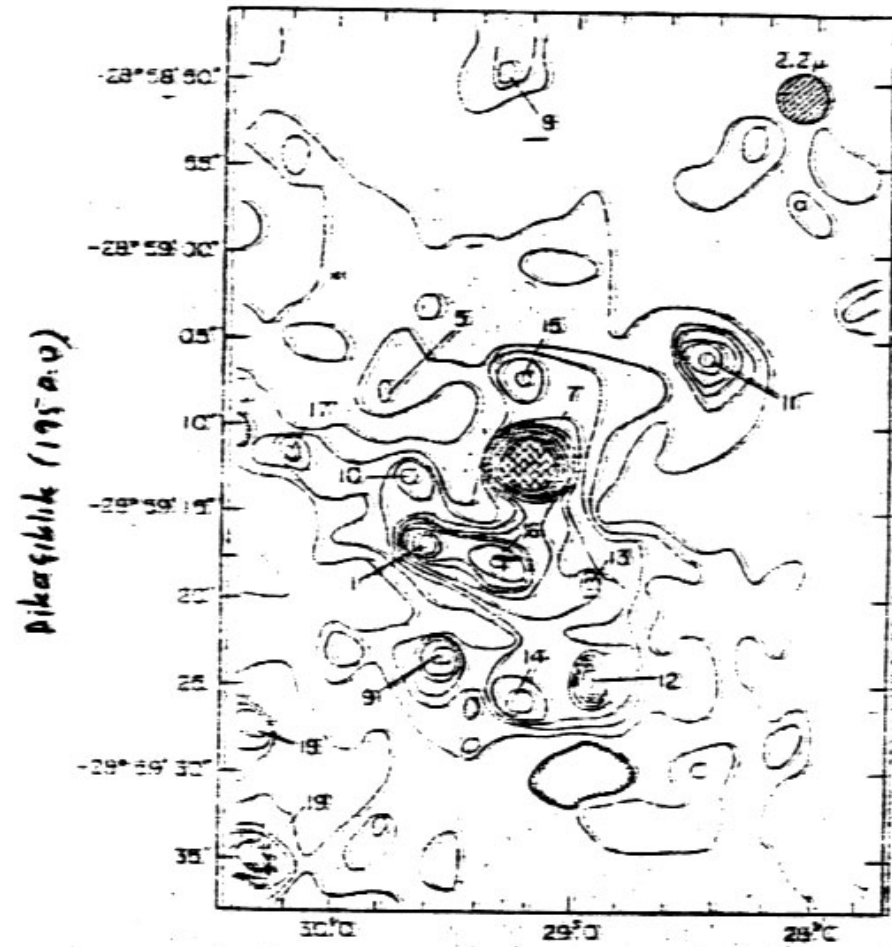


Sagittarius A  
nın 6cm de sürekli tayf  
salması (Feb 6.16 dan 15 kez  
büyük ölçekte). Sagittarius A  
Batı (sağdaki 'tepe') yörede  
gerçek merkezidir:  
( $l, b$ ) = (-3,34, -2,75);  
(Demet genişliği şekli nedeni ile  
Kuzay-Güney doğrultusu gerçekten  
daha 'uzun' görülüyor)

Buna karşın Sgr A'nın parlaklık sıcaklığı çok yüksektir ( $T \sim 10^{10} \text{ }^\circ\text{K}$ ). Bu da merkezde alışık olmadığımız fiziksel süreçlerin varlığına bir işarettir : **Kara delik ?**

Aşağıda verilen şekilde galaktik merkezin **2.2  $\mu$  kırmızıötesi ışınımı gösterilmektedir**. Sgr A batı (Sgr A west veya kısaca Sgr A w), kırmızıötesi kaynaklardan oluşan bir halkanın ortasında bulunmaktadır. **2.2  $\mu$  salması** belki de yıldızlardan kaynaklanmaktadır. Yani Sgr A w, **yıldız yoğunluğunun en yüksek olduğu galaktik merkezin tam ortasındadır**. Gerçekten, kırmızıötesi kaynakların radyal dağılımı, M31 merkezindeki kırmızıötesi ve optik ışınım dağılımına benzemektedir. M31 merkezindeki gözlemlerle karşılaştırınca, bakış doğrultusu için 2  $\mu$  da 3<sup>m</sup>, görsel V bandında 27<sup>m</sup> lik soğurma hesaplanmaktadır.



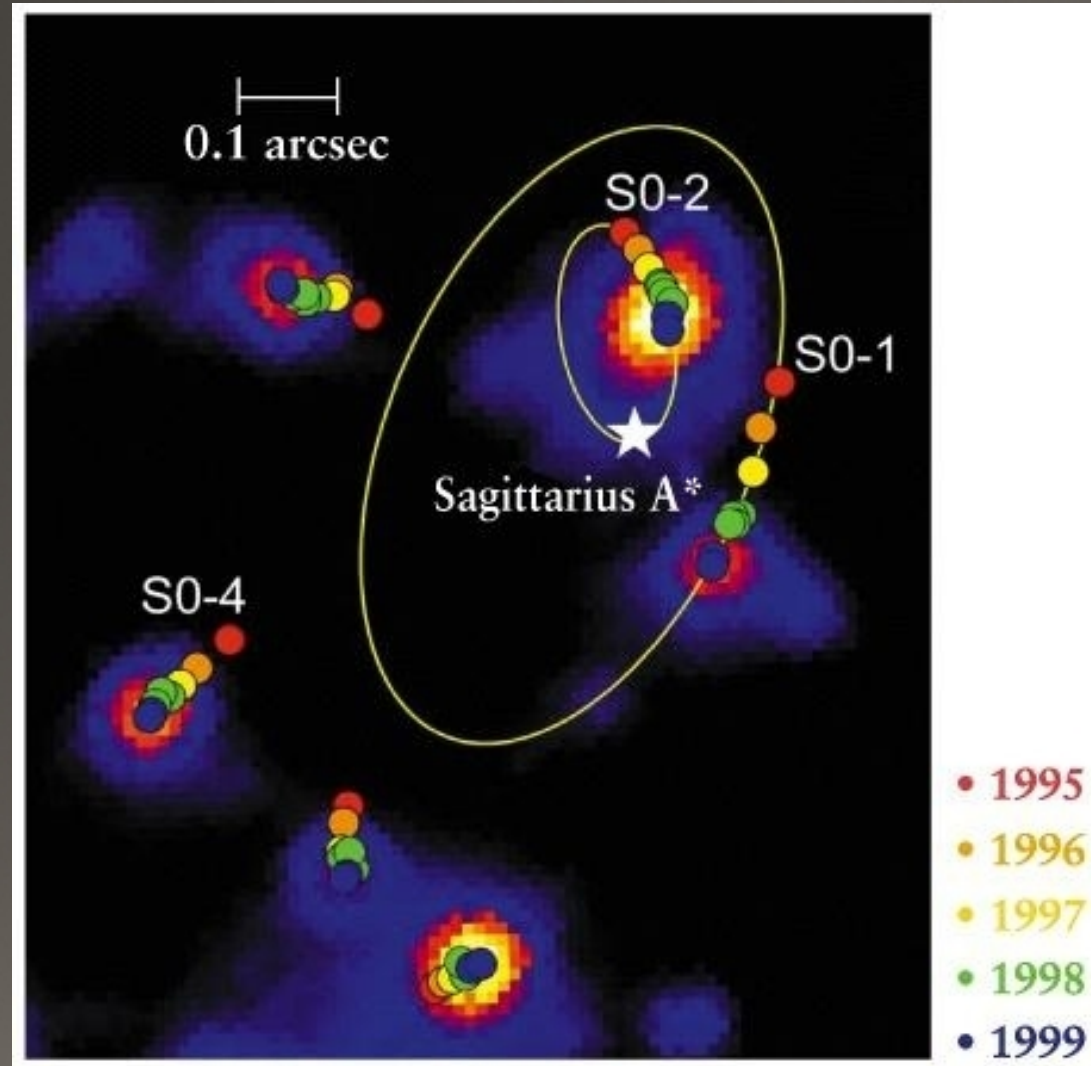


Sıfajırlık (1950.0)

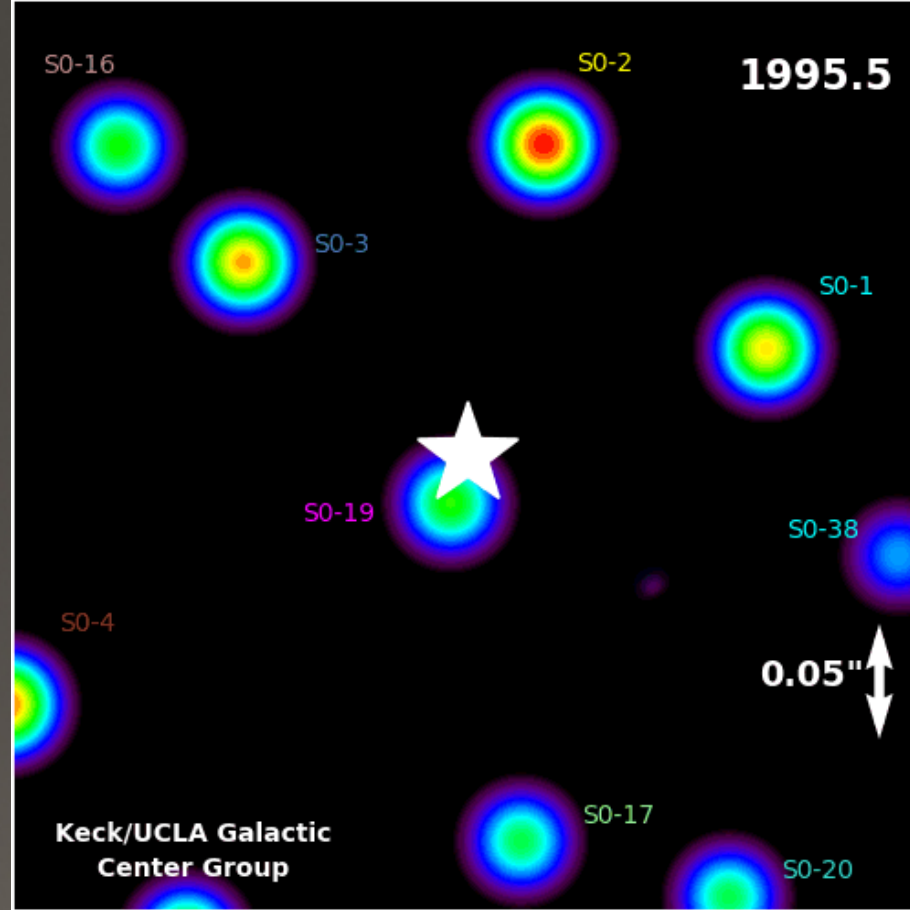
2,2 μ dan Galathea merkez bölgesinin haritası. Gözetimler, çoğu 2,5 olan bir diyoformlar 5-m lik Hale teleskopu ile yapılmıştır. Esasen eşileninin haritası  $2,5 \times 10^{12} \text{ km}^2 \text{ H}^2$  (uzunluk) analitikler. (Tarih kısmında 35 eşeyi düzeyi var). Büyük kuyuklar numaralanmıştır.

Kırmızıötesi gözlemler önemli kinematik bilgiler de vermiştir. **12.8  $\mu$  da iyonlaşmış Neon (NeII) çizgisi**, Sgr A'nın dönen iyonlaşmış bir gazla çevrildiğini göstermektedir. Bu gaz Sgr A'nın her iki tarafında **15" (=0.7 pc)** ye kadar görülmektedir ve hız,  $l$  ile sistematik olarak değişmektedir. Buradan bulunan dönme hızı (**150 km s<sup>-1</sup>**) çok büyük değil ancak çizgi genişliği (200 km s<sup>-1</sup>) dairesel olmayan hızların varlığını göstermektedir. Bu hızlar çekirdeğin kütle çekimine karşı gazı dengelemektedir. Bu hızlardan galaktik merkezdeki kütle için **4 x 10<sup>6</sup> M<sub>o</sub>** değeri hesaplanmıştır.

# Galaktik Merkez etrafında dolanan yıldızlar:



# Galaktik Merkez etrafında dolanan yıldızlar:



Yıldızların yörüngeleri kara deliğin kütlesi yaklaşık 4 milyon  $M_{\text{Güneş}}$  olduğunu işaret etmekte.