

"SORRE LA EXPULSION DE MATERIA EN EL NUCLEO DE LA GALAXIA"

Tesis doctoral presentada por

IGOR FELIX MIRABEL MIQUELE



12 DIC 1974

Observatorio Astronómico de la
Universidad Nacional de La Plata

Septiembre 1974

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos M. Varsavsky por las valiosas correcciones y sugerencias aportadas.

Al Dr. Carlos Jaschek mis agradecimientos por las ideas y estímulos brindados.

A todo el personal del Instituto Argentino de Radioastronomía, con cuyo esfuerzo cotidiano ha hecho posible la concreción de esta tesis.

A la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires de la cual recibí asistencia financiera por medio de una beca en el periodo 1970-1973.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, que al aceptarme como miembro de la Carrera del Investigador Científico de dicha institución me permitió continuar esta tesis durante el año 1974.

Finalmente, al pueblo Argentino, que es el que con su trabajo ha solventado mis estudios, y al cual espero poder retribuir en su anhelo de elevación cultural y científica.-

INDICE

Página

Agradecimientos.....	2.
INTRODUCCION GENERAL.....	5
CAPITULO I - ESTUDIOS ANTERIORES EN LA LINEA DE 21 CMS. DE LA REGION CENTRAL DE LA GALAXIA.....	6
1) Los primeros trabajos.....	6
2) Resultados del relevamiento de Dwingeloo.	7
3) Resultados del relevamiento de Parkes...	8
4) Estudios de la región central fuera del plano galáctico.....	8
5) Un anillo en expansión.....	10
CAPITULO II - ESTUDIO EN LA LINEA DE 21 CMS. DE ESTRUCTURAS DE HIDROGENO NEUTRO CON VELOCIDAD ANOMALA EN LAS CERCANIAS DEL CENTRO GALACTICO.....	12
A) LA ESTRUCTURA A.....	12
1) Introducción.....	12
2) Observaciones.....	12
3) Descripción de los resultados.....	13
4) Comparación con datos ópticos.....	15
5) Interpretación de los resultados.....	16
6) Conclusión.....	20
B) LA ESTRUCTURA B.....	22
1) Introducción.....	22
2) Observaciones.....	22
3) Descripción de los resultados.....	23
4) Comparación con las observaciones de Cugnon.....	25
5) Comparación con observaciones ópticas y de radio.....	26
6) Parámetros característicos del objeto...	28
7) Interpretaciones.....	29
8) Conclusiones.....	36
C) LA ESTRUCTURA C.....	37
1) Introducción.....	37
2) Observaciones.....	37
3) Descripción de los resultados.....	39
4) Discusión de los resultados.....	40

D) BUSQUEDA DE HIDROGENO NEUTRO EN LA REGION CENTRAL DE LA GALAXIA CON VELOCIDADES COMPRENDIDAS ENTRE -250 y -1000 km/s.....	43
1) Introducción.....	43
2) Observaciones.....	44
3) Resultados.....	45
CAPITULO III-OTROS ESTUDIOS DEL CENTRO GALACTICO.....	48
1) Estudios en el continuo de radiofrecuencias.....	48
2) Estudios en líneas de recombinación del hidrógeno y líneas moleculares.....	50
3) Estudios en el infrarrojo.....	55
4) Estudios en radiación X y γ	58
CAPITULO IV-CONCLUSION GENERAL.....	61
Referencias.....	65
Lecturas de las figuras.....	68
Lecturas de las tablas.....	70
Tabla 1.....	71
Tabla 2.....	73
Tabla 3.....	74
Tabla 4.....	76
Tabla 5.....	77
Tabla 6.....	78
Tabla 7.....	79
Tabla 8.....	80
Tabla 9.....	81
Tabla 10.....	82

INTRODUCCION GENERAL

En el estado actual del conocimiento astronómico existe la convicción de que en los núcleos de las galaxias se desarrolla un tipo de actividad que debe tener importantes consecuencias sobre la estructura y evolución de estos sistemas estelares.

Para lograr una comprensión profunda de los fenómenos que ocurren en el Universo en general se procede según los siguientes pasos.

En primer lugar, cuando los datos observacionales son escasos, se procura formar una idea clara acerca de los fenómenos observados. En segundo lugar, una vez formada una idea general sobre estos fenómenos, se busca encontrar su causa física y consecuencias.

El objeto de este trabajo es el de aportar evidencias observacionales sobre la existencia de una actividad de naturaleza desconocida en el núcleo de nuestra galaxia, cuya manifestación observacional es la eyección de materia.

Los problemas relacionados con el origen físico de dicha actividad, y sus consecuencias sobre la evolución y estructura de la galaxia deben ser objeto de estudios posteriores.

En el capítulo I se realiza una síntesis de los antecedentes históricos del problema.

En el capítulo II, está contenido el aporte observacional de este trabajo, que se refiere a observaciones en la línea de 21 cms del hidrógeno neutro.

La discusión sobre las observaciones obtenidas por medio de otras técnicas observacionales se desarrolla en el capítulo III.

Finalmente, en el capítulo IV, se extraen las conclusiones generales.

I-ESTUDIOS ANTERIORES EN LA LINEA DE 21 CMS DE LA REGION CENTRAL DE LA GALAXIA.



1) Los primeros trabajos.

En el año 1954 Kwee, Muller y Westerhout realizaron un relevamiento en la línea de 21 cms. con el radiotelescopio de Kootwijk de 7.5 mts. de diámetro. Encontraron que los perfiles del hidrógeno correspondientes a las coordenadas de la región central de la galaxia, en contraposición con los perfiles de otras regiones, estaban provistos de alas largas con baja temperatura, tanto en velocidades positivas como en velocidades negativas. En aquel entonces, debido a la baja resolución angular y alta temperatura del sistema receptor, se pensó que estas alas largas eran la manifestación observacional de grandes movimientos turbulentos del gas en la región central. Más tarde, cuando se obtuvieron perfiles con mayor resolución angular esta hipótesis inicial debió ser abandonada.

En el año 1957, Wan Woerden con el radiotelescopio de 25 mts. de Dwingeloo, que permite en la línea de 21 cms. obtener una resolución angular de $0.56''$, realizó observaciones preliminares a un survey general del núcleo galáctico. Estas observaciones preliminares tuvieron como finalidad determinar la extensión en latitud y velocidad del gas en la región central. Wan Woerden encontró que el ancho de la capa de hidrógeno correspondiente al plano es de $1.5''$ (entendiendo por "ancho" la distancia en grados entre los puntos para los cuales la temperatura se reduce a la mitad de la temperatura máxima), y que se encuentra gas con $T \geq 1^\circ K$ hasta velocidades radiales de ± 250 km/seg.

Las observaciones preliminares en la línea de 21 cms. anteriormente mencionadas pusieron en evidencia que la región central de la galaxia debía ser objeto de un estudio detallado ya que manifestaba comportamientos muy particulares que podían tener importantes implicancias sobre nuestra concepción de la estructura del sistema galáctico y su evolución. Es así que casi en forma simultánea, en la década del 60 se encararon dos relevamientos de la región central de nuestra galaxia. En primer lugar con el radiotelescopio de Dwingeloo y con varios sistemas de filtros de 5, 10, 20 y 40 khz, Rougoort y Oort (1960) realizaron un relevamiento para $-8^\circ \leq l \leq +22^\circ$ espaciado en $0.5''$ y en $0.25''$ para $-2^\circ \leq b \leq 2^\circ$. En segundo lugar el relevamiento de Parkes dirigido por Ketr (1967) fue realizado con el equipo de dicho radio observatorio que permite para la línea de 21 cms. una resolución de $0.25''$, y con 48 canales con

filtros de 36 kha espaciados en 33 kha, extendiendo sus observaciones en el intervalo $|l| \leq 5^\circ$, $|b| \leq 1^\circ$.

2) Resultados del relevamiento de Dwincoloo.

En las regiones ubicadas a distancias mayores que 4 kpc del centro galáctico, el hidrógeno neutro no manifiesta desviaciones sistemáticas grandes del movimiento circular de la galaxia. Sin embargo, en la región central ($R \leq 4\text{kpc}$) se observa gas con velocidades inesperadas de acuerdo al modelo de rotación galáctico. Las observaciones preliminares de Van Woerden habían puesto de manifiesto la existencia de un brazo espiral situado a 4 kpc de distancia del centro, el cual además de participar del movimiento de rotación general de la galaxia, estaba provisto de un movimiento de expansión a partir del centro, a una velocidad tal que en $l = 0^\circ$ tenía -53 km/seg. Se puede saber que este brazo se encuentra ubicado entre el sol y el centro galáctico debido al hecho de que es visto en absorción contra la fuente Sgr A de radiación continua situada cerca del centro de la galaxia. La fig. 1 es un dibujo esquemático realizado por Rougoor (1964) de la región central sobre la base de sus observaciones y las de Parkes. Entre $l = +6^\circ$ y $l = -22^\circ$ se observa el brazo de 4 kpc. Para $l \geq 6.3$ en los perfiles hay una fuerte superposición en velocidad con el máximo principal, por lo cual se torna prácticamente imposible separar la radiación debida al brazo de 4 kpc de la correspondiente a otras estructuras. Aquí cabe acotar el hecho de que es bastante incierta la ubicación del punto de tangencia de este brazo como la distancia a la que se encuentra del centro en $l = 0^\circ$. En la fig. 1 también se indica la existencia de un segundo brazo en expansión que se extiende desde $l = -5^\circ$ a $l = +22^\circ$ que manifiesta velocidades que van desde $+100$ a $+200$ km/seg. Se supone que este brazo está ubicado detrás del centro galáctico debido al hecho de que no se observa en absorción contra la fuente Sgr A. La velocidad en este punto es de $+135$ km/seg.

En la parte más interior de la galaxia ($R \leq 3\text{kpc}$) debido a las grandes desviaciones del movimiento circular, es imposible usar el corrimiento Doppler para ubicar con exactitud espacial el gas, por lo cual debe tenerse en cuenta que la distribución de materia para dicha región tal como se muestra en la fig. 1 es muy incierta.

A partir de los diagramas $l - V$ obtenidos por Rougoor en $R \leq 800$ pc se puede apreciar un cambio radical en la distribución y movimiento del gas. En estas isofotas se observan grandes alas con velocidad negativa para $-4^\circ \leq l \leq 0^\circ$. Para $l > 0^\circ$

en velocidades positivas se observa una estructura simétrica. La interpretación más plausible de esta estructura simétrica en los perfiles del HI es que ella corresponde a un disco que se extiende hasta 800 pc del centro y que se halla rotando a gran velocidad.

Un análisis más detallado de las isofotas para $|\ell| \leq 4^\circ$, indica la existencia de un máximo secundario en $\ell = -3.3^\circ$. Se atribuyó este máximo a un anillo ubicado a 600 pc del centro. En el anillo y disco nucleares, Rougeer no encontró ningún signo de movimientos de expansión, sino solo de rotación.

3) Resultados del relevamiento de Parkes.

Los perfiles de absorción contra Sgr A obtenidos en Parkes han demostrado la existencia de una cantidad sustancial de gas con movimientos hacia el centro de la galaxia. El hecho de que exista HI moviéndose hacia el centro galáctico, cuestionó la hipótesis de trabajo consistente en suponer que todo movimiento en las cercanías del núcleo galáctico no explicable por el modelo de rotación se debe a una expansión a partir del núcleo.

Por otra parte, los diagramas $\ell - V$ de Parkes mostraron que el gas de alta velocidad del núcleo galáctico está distribuido según una estructura inclinada unos 8° respecto al plano. Kerr planteó que esta estructura inclinada del HI sugiere la existencia de una barra rudimentaria que se extiende hacia afuera del núcleo, siendo su movimiento de rotación solamente, ó rotación más expansión. En la fig. 2 se muestra la estructura posible según Kerr de la región central de la galaxia. En el centro, se encuentra el disco nuclear, en el cual hay dos secciones, la parte interior que tiene sólo movimiento de rotación y la parte exterior con un probable movimiento de expansión adicional. Además se dibujó la barra propuesta, que llega hasta el brazo de 4 kpc de un lado.

4) Estudios de la región central fuera del plano galáctico.

Una vez realizados los estudios de Dwingeloo y Parkes era necesario extender las observaciones hacia afuera del plano galáctico. Van del Kruit (1970) publicó los resultados de una búsqueda en un enrojado de cada 1° de nubes de alta velocidad en la región central de la galaxia ($|\ell| \leq 10^\circ$, $|b| \leq 5^\circ$). El objetivo de este trabajo era el de estudiar con mayor detalle el HI con alta velocidad en la región central con la perspectiva de discutir sobre posibles evidencias de actividad explosiva en el núcleo. Las observaciones se extendieron para el rango de velocidades $|V| \leq 300$ km/seg y se trabajó con una

temperatura mínima detectable de 0.3°K . En la fig. 3 se muestra la posición de las diferentes estructuras en el plano l/v . Las estructuras I a VI pertenecientes al plano ya habían sido descubiertas por Rougoort y Kerr. Según Van der Kruit a partir del disco nuclear rápidamente rotante con radio de 750 pc salen dos brazos (el III y XIV) en puntos opuestos. El III conecta el disco con el brazo de 4 kpc, mientras que el XIV hace lo propio con el brazo en expansión de $+ 135 \text{ km/seg}$. En caso de que la hipótesis de Kerr sobre la estructura barrada del núcleo fuera cierta, la barra estaría constituida por las estructuras III y XIV. La inclinación de la parte central descubierta por Kerr es aquí evidente ya que el objeto III está ubicado por encima del plano mientras el XIV está por debajo. La latitud promedio de estos objetos de 0.5° corresponde, para una distancia, de 10 kpc a 100 pc. Las estructuras VII, VIII, X, XI, XII y XIII, son observadas fuera del plano y, no se encuentran en los perfiles en $b = 0^{\circ}$. En particular, el objeto VIII fue descubierto por Cugnon (1968) y fue estudiado en detalle por el autor de este trabajo.

Todos estos objetos situados fuera del plano tienen velocidad prohibida de acuerdo a la rotación galáctica. Con excepción del objeto XIII todas las estructuras con velocidad negativas están ubicados en latitudes negativas. En velocidades positivas, el único objeto es el descubierto por Cugnon que se encuentra en latitudes positivas. O sea que, Van der Kruit encontró que en general, la estructura inclinada que se encuentra para el HI cercano al plano también está presente en las estructuras ubicadas fuera de él, ya que el gas con velocidad prohibida se encuentra en dos cuadrantes: $V_R > 0$ en $l < 0^{\circ}$ y $b > 0^{\circ}$, $V_R < 0$ en $l > 0^{\circ}$ y $b < 0^{\circ}$.

El resultado más importante del trabajo de Van der Kruit es la demostración de la existencia de esta clara simetría en la distribución de HI con velocidad anómala en las cercanías del centro galáctico. Esta simetría entre la distribución de la materia y signo de sus velocidades radiales indica la existencia de una relación entre dicha materia y el núcleo galáctico. La hipótesis explicativa más plausible es que dichas estructuras han sido expulsadas del núcleo en una misma dirección y en sentidos opuestos. Sin embargo, la cuestión de si esto representa un movimiento hacia afuera o hacia adentro del núcleo, no puede ser unívocamente dirimida.

Los movimientos hacia el centro podrían ser explicados con la hipótesis de un influjo de materia intergaláctica. La evidencia de este influjo proviene de las observaciones de nubes

de alta velocidad a altas latitudes, las cuales en las inmediaciones del Sol son observadas en el hemisferio norte galáctico. La dirección de esta velocidad según Oort (1967) es hacia $l = 37^\circ$, $b = 64^\circ$, lo cual indica que en la región del centro se debería ver velocidades positivas y negativas a ambos lados del centro, pero predominantemente en latitudes positivas. Esto está en contradicción con las observaciones de van der Kruit.

En los últimos años, los estudios en Astronomía extragaláctica han mostrado que los eventos explosivos en los núcleos de las galaxias son fenómenos comunes. En particular, en las radiogalaxias, como consecuencia de dichas explosiones se produce la eyección de materia en dos direcciones opuestas. Aunque nuestro sistema galáctico no puede ser clasificado ni siquiera entre las radiogalaxias medianamente intensas, ella parece manifestar signos de una actividad nuclear violenta, que puede ser cualitativamente similar. Si los movimientos de expansión han sido causados por explosiones en el núcleo, esta actividad debe ser muy anterior en el tiempo. Para el brazo de 3 kpc la explosión debe haber ocurrido hace varias decenas de millones de años, mientras que el brazo con alta velocidad de expansión ubicado más cerca del centro debe haber sido la consecuencia de una explosión ocurrida hace 5 ó 10 millones de años. La velocidad cercana al núcleo debió ser de 500 km/seg para poder alcanzar una distancia de 2 kpc del centro. La energía de la explosión puede estimarse en 10^{57} erg, o sea, comparable a las energías contenidas en las radiogalaxias. El hecho de que se encuentra gas en expansión con distintas velocidades y distintas distancias del centro implica que la expansión del material no se habría originado en una explosión única.

5) Un anillo en expansión.

Sanders, Wrixon y Penzias (1972) estudiaron la continuación hacia longitudes negativas ($l = -10^\circ$) de la estructura XII descubierta por van der Kruit, encontrando que ésta se extendía hacia dicha región con velocidades más negativas en el sentido de la rotación galáctica. El modelo que puede explicar los resultados observacionales consiste en un anillo de gas a una distancia de 2.4 kpc del centro, y que tiene una velocidad de expansión de 128 km/seg y una velocidad de rotación de 151 km/seg. La distancia media de esta estructura por debajo del plano galáctico es de 400 pc. Rougoor había sugerido que el brazo en expansión de + 135 km/seg era la contrapartida más allá del centro galáctico del brazo de 3 kpc. Sin embargo, ultimamente Simonson y Sancise (1971) y Mader (1971) han resuelto el brazo en expansión de 135 km/seg en dos estructuras separadas. La primera de

ellas está en el plano galáctico y es vista desde $l = 22^\circ$ a $l = 3^\circ$. Su velocidad extrapolada en $l = 0^\circ$ es de $+ 50$ km/seg. Mader ha sugerido que esta estructura es la verdadera contrapartida del brazo de 3 kpc porque está a la misma distancia del centro y tiene la misma velocidad de expansión. La segunda de estas estructuras está ubicada levemente por encima del plano (a aproximadamente 0.5), tiene una velocidad de $+ 135$ km/seg en $l = 0^\circ$, y puede ser seguida hasta $l = + 13^\circ$. La consecuencia de este análisis es que el brazo en expansión a 135 km/seg no es la contrapartida del brazo de 3 kpc. El modelo para el brazo en expansión de $+ 135$ km/seg más correcto es:

$$r = 2.4 \text{ kpc.} \quad , \quad V_{\text{Rot}} = 170 \text{ km/seg.} \quad , \quad V_{\text{exp}} = 135 \text{ km/seg.}$$

Es evidente la similitud del modelo para la estructura III de van der Kruit y el modelo de la estructura correspondiente al "brazo" en expansión de $+ 135$ km/seg. Se concluye entonces que se trata de una misma estructura con forma de anillo ubicada a 2.4 kpc del centro, el cual está inclinado respecto al plano galáctico. Tomando como masa total del anillo $4 \times 10^6 M_\odot$ con una velocidad de 135 km/seg; la energía cinética de expansión debe ser 7×10^{53} erg.

Si la expansión de este anillo ha sido causada por una explosión en el centro, la existencia de él como un objeto diferente al brazo de 3 kpc también sugiere una sucesión de eventos explosivos en el núcleo con diferentes energías y escalas de tiempo.

II-ESTUDIO EN LA LINEA DE 21 CMS DE ESTRUCTURAS DE HIDROGENO NEUTRO CON VELOCIDAD ANOMALA EN LAS CERCANIAS DEL CENTRO GALACTICO.

A) LA ESTRUCTURA A.

1) Introducción.

En el año 1971 al sur del horizonte de Dwingeloo ($l=350^\circ$, $b=0^\circ$; $l=350^\circ$, $b=-5^\circ$) el autor de este trabajo encontró en una búsqueda de posibles remanentes de HI de la interacción gravitacional entre nuestra galaxia y la nube menor de Magallanes durante un pasaje cercano de ésta, la existencia de HI con velocidad anómala en las cercanías del centro galáctico (Wirabel y Turner, 1973). Al realizar un estudio detallado de este gas se vio que consistía en una extensa concentración de HI ubicada en el cuarto cuadrante galáctico con una velocidad radial media de 44 km/seg referida al S.L.R. A una distancia de R kpc del sol, esta estructura contiene $2.5 \times 10^4 R^2 M_\odot$ de hidrógeno neutro. En esta sección se consideran 5 interpretaciones de esta extensa concentración: 1) parte de una capa remanente de un evento explosivo cercano; 2) un brazo espiral distante de la galaxia; 3) un objeto extragaláctico; 4) material cayendo hacia nuestra galaxia; 5) gas expulsado del centro galáctico.

2) Observaciones.

Las observaciones fueron realizadas con el radiotelescopio de 30 metros del Instituto Argentino de Radioastronomía. La temperatura de ruido del sistema es de 250°K y el receptor tiene asociado un amplificador paramétrico de banda angosta y 56 canales de 10 kHz de ancho espaciados en 4 km/seg a la frecuencia de 21 cms. El método de observación utilizado consistió en la intercalación del sistema de canales de tal modo que la resolución en velocidad es de 2 km/seg. Para el estudio de esta concentración se observó un total de 180 puntos. Cada punto fue observado por lo menos dos veces con un tiempo de integración por vez de 6 minutos. A un tiempo de integración total de 12 minutos corresponde una temperatura mínima detectable de 1°K . Como perfil de calibración se tomó el correspondiente a las coordenadas del polo celeste, al cual se le asignó una temperatura pico de 34.4°K . Los perfiles correspondientes al programa fueron reducidos sobre la base de calibraciones tomadas cada una hora. El rango de velocidades cubierto por las observaciones está comprendido entre -70 y $+130$ km/seg. Las velocidades observadas fueron reducidas al sol, y al S.L.R. sustrayendo el movimiento del sol de 20 km/seg. hacia $\alpha = 270^\circ$, $\delta = 30^\circ$ (1900.0).

3) Descripción de los resultados.

La fig. 4 ofrece como ejemplo un perfil tomado en $l = 355^\circ$ $b = -12^\circ$. El pico de $12^\circ K$ en 42 km/seg. corresponde al objeto de este estudio.

Mapas de temperatura de antena a velocidad constante, así como diagramas de temperatura de antena $T_A (l, V/b)$ y $T_A (b, V/l)$ han sido construidos a partir de las observaciones y las figuras 5, 6 y 7 muestran ejemplos de tales diagramas para $b = -12^\circ$, $b = -9^\circ$ y $l = 355^\circ$.

La estructura de velocidad intermedia aparece en general bien separada del material de baja velocidad. En ninguna parte en la región que aquí se discute observamos cantidades significativas de gas con velocidades radiales menores que -30 km/seg. La estructura en velocidad del gas local tiene apariencia regular, sin la existencia de perturbaciones o pozos notables en la región del cielo donde se encuentra este objeto de velocidad intermedia. En la fig. 6, donde se muestra el mapa para $b = -9^\circ$, se observa un gradiente de velocidad consistente en el aumento de V con l . A través de toda la región observada la velocidad pico del gas local está ubicada entre 4 y 8 km/seg.

La fig. 8 es un mapa del gas para velocidades comprendidas entre 43.5 km/seg y 44.5 km/seg . Aquí se puede notar la separación entre el gas de relativa alta velocidad correspondiente al objeto y el gas que pertenece al estrato general del plano galáctico.

Las observaciones están sintetizadas en la tabla 1, la cual provee, para el perfil de velocidad intermedia en cada punto, la longitud y latitud galáctica, la densidad superficial de HI, la velocidad del pico y el semiancho del perfil para el punto de temperatura mitad respecto a la temperatura máxima. La densidad superficial ha sido calculada suponiendo profundidad óptica pequeña a partir de la ecuación:

$$(1) \quad N_H = 1.822 \times 10^{18} \int T_b dV \text{ (en unidades c.g.s.)}$$

donde la integral ha sido tomada sobre velocidades mayores que 30 km/seg . Para los puntos más cercanos al plano galáctico que $b = -7^\circ$ cualquier rasgo separado con velocidad intermedia perteneciente al objeto se confunde con las alas anchas que caracterizan a los perfiles muy cercanos al centro galáctico. Estos puntos en la tabla 1 y sobre los mapas no deben ser interpretados como teniendo una conexión necesaria con la estructura observada a mayores distancias del plano. Además varias partes del objeto bien separadas en velocidad se extienden hacia velocidades me

neros que 30 km/seg. Este gas no fue incluido en las integraciones para el cálculo de la densidad superficial. Se ha estimado que este gas no incluido en los cálculos constituye menos del 10% de la masa total del objeto de velocidad intermedia.

Veamos ahora el cálculo de la masa de este objeto en función de la distancia que es nuestra incógnita. La suma de las densidades de la tabla 1 es 1033×10^{19} átomos/cm².

Llamando N_H al número total de átomos de hidrógeno, ΔS_1 al área y n_{H_1} a la densidad de átomos

$$N_H = \sum_1 \Delta S_1'(\text{cm}^2) n_{H_1} (\text{át./cm}^2) \text{ siendo } \Delta S_1'(\text{cm}^2) = \Delta S_1(\text{grad}^2) \frac{R^2(\text{cm})}{3283}$$

donde 3283 es el número de grad² en un radián,

$$\frac{M_{\text{nube}}}{M_{\odot}} = \frac{n_H}{M_{\odot}} \frac{R^2(\text{kpc}) \times (1 \text{ kpc})^2}{3283} \sum_1 \Delta S_1 \cdot n_{H_1}$$

$$\frac{M_{\text{nube}}}{M_{\odot}} = \frac{1.674 \times 10^{-24}}{1.989 \times 10^{33}} \times \frac{(3.086 \times 10^{18})^2 \times 10^6}{3283} R^2(\text{kpc}) \sum_1 \Delta S_1 n_{H_1}$$

$$(2) M_{\text{nube}} = 2.441 \times 10^{-18} R^2(\text{kpc}) \sum_1 \Delta S_1(\text{grad}^2) n_{H_1} (\text{át./cm}^2)$$

Reemplazando en la ecuación (2) el valor obtenido para la suma de densidades de la tabla 1 se obtiene

$$M_{\text{nube}} = 2.5 \times 10^4 R^2(\text{kpc}) M_{\odot}$$

Los semianchos de potencia mitad fueron estimados promediando los semianchos a ambos lados del pico secundario. Los puntos que proveen intensidades muy bajas, de temperatura, o que están superpuestos con el pico principal, como para permitir buenas estimaciones de V_{pico} o ΔV no se incluyen en la tabla 1.

La figura 9 consiste en un mapa de la temperatura de brillo integrado en unidades de 10^{20} átomos/cm², con la suposición de baja profundidad óptica. Es evidente que el objeto presenta una estructura de forma alargada conteniendo nubes de material embebidas en un fondo de radiación difuso. La línea recta con una flecha dibujada sobre el objeto apunta en la dirección de las coor-

denadas del centro galáctico. Es evidente que la proyección en el plano $l-b$ de la distribución espacial del gas presenta una elongación en esa dirección.

Cada punto observado en esta región se lo indica en el mapa por medio de un pequeño círculo. Las líneas de trazos son las líneas de isovelocidad correspondientes a la velocidad de la temperatura pico, previa sustracción de la componente debida a la rotación galáctica (250 km/seg hacia $l = 90^\circ$, $b = 0^\circ$).

Si el valor de la velocidad galactocéntrica usado, que es de 250 km/seg., tiene un error de 50 km/seg. (que es muy posible que lo tenga), la magnitud del gradiente visto en la fig. 9 cambiará sólo en un 20%.

Puede notarse que son observados grandes cambios en la temperatura de brillo sobre el tamaño angular del haz de antena, que es de 30 minutos de arco. Esto pareciera indicar la existencia de límites bruscos de esta estructura.

En la figura 10 se grafica el semiancho de potencia mitad del objeto en cada punto, contra la distancia de éstos en grados del centro galáctico. Se puede notar una fuerte correlación, en el sentido de que el gas más alejado del centro galáctico exhibe menor dispersión de velocidades. El valor del coeficiente de correlación es, -0.78 .

Por otra parte, no se ha encontrado ninguna correlación entre la densidad superficial del gas y el semiancho de velocidad.

En la figura 11 se presenta un gráfico de la velocidad media del objeto, promediada sobre todas las latitudes para una dada longitud, contra la longitud galáctica. Es evidente la existencia de una relación lineal.

4) Comparación con datos ópticos.

P.W.Hill (1970) y (1971) publicó los tipos espectrales y magnitudes fotométricas en los colores U, B, V de cuatro estrellas ubicadas en esta región cuyos espectros exhiben las líneas finas del Ca II interestelar. La tabla 2 reproduce los resultados. Las velocidades han sido reducidas al S.L.R. sobre la base de la suposición de que el sol se mueve con 20 km/seg. hacia $l = 56^\circ$, $b = 23^\circ$. La estimación de las distancias se hizo usando las magnitudes absolutas correspondientes a los tipos espectrales según P.C.Keenan (1963) y los colores intrínsecos según H.L.Johnson (1963). En ningún caso se encuentra coincidencia entre las velocidades del Ca II interestelar y el objeto de nuestro estudio. Hill considera que las estrellas 172094 y 173994 son probables variables.

5) Interpretación de los resultados.

Para la interpretación de estas observaciones existen dos problemas básicos interrelacionados, uno es la naturaleza del campo de velocidades y el otro es la determinación de la distancia a que se encuentra el material.

Hay varios hechos que hacen improbable que este sea un objeto situado cerca del sol. En primer lugar, el modelo standard de rotación galáctica predice en estas longitudes velocidades radiales negativas para el material situado en el estrato galáctico dentro del círculo solar, mientras que el gas que observamos tiene velocidad radial positiva.

Supongamos a continuación que el material ha adquirido su velocidad anómala debido a algún evento explosivo cercano, tal como la explosión de una supernova. Si se toma la energía de 10^{51} erg implicada en la explosión de una supernova típica, y se considera una velocidad de 40 km/seg. y un shell de masa igual a $2.5 \times 10^4 R^2 M_{\odot}$ que corresponden al objeto, igualando la energía de la explosión a la energía cinética de la nube se encuentra que no puede estar a distancias mayores que 1 kpc. Además, nada que se parezca al remanente de una supernova aparece en esta región. En la extensión sur del "Palomar sky survey" no se ve ninguna nebulosa de emisión en esta área, y el oscurecimiento obvio más cercano se encuentra a varios grados de distancia. Tampoco se ha detectado ninguna radiofuente en el continuo obviamente asociada con este objeto.

Por otra parte, si este material consiste en gas expulsado del plano por algún evento explosivo, sería de esperar observar en el gas local perturbaciones considerables o "pozos", y quizás también gas con velocidades menores que -30 km/seg. Ninguno de estos efectos es observado. Los diagramas $T_A(l, V/b)$ y $T_A(b, V/l)$ de las figuras 5, 6 y 7 lo demuestran claramente.

Finalmente, las líneas de absorción del Ca II interestelar que aparecen en los espectros de estrellas ubicadas en esta región, no manifiestan correlación en velocidad con el HI de velocidad intermedia. Consideraremos a continuación modelos más distantes.

a) Un brazo distante de la galaxia.

Esta hipótesis es improbable por dos razones; en primer lugar la gran extensión del objeto en latitud, y en segundo lugar, el cambio de velocidad con la longitud. Como puede verse en la fig. 11, este último es opuesto al esperado para un brazo distante en la parte exterior de la galaxia con movimiento rotacional regular.

b) Un objeto extragaláctico.

Con respecto a esta hipótesis se pueden distinguir dos posibilidades:

1) El objeto es una galaxia. Consideraciones de tamaño angular ponen un límite superior de distancia, ya que el tamaño angular del objeto de aproximadamente 18° , a la distancia R , corresponde a una dimensión lineal de

$$L = 2 R \operatorname{tg} 9^\circ = 0.3 R$$

Esto nos obliga a considerar el objeto dentro del grupo local de galaxias, ya que una distancia de 100 kpc. implicaría una dimensión de 30 kpc. Sin embargo, el Atlas de Monte Palomar no muestra ninguna peculiaridad para esta región. Se puede observar en las placas dos cúmulos globulares, pero debido al oscurecimiento producido por el material interestelar del estrato galáctico no se observa ninguna galaxia.

Consideraremos ahora la cuestión de si el gradiente de velocidades puede ser concebido como debido a la rotación alrededor de su centro de masa del objeto. Para esto calculamos la velocidad circular V_c en el borde de la nube suponiendo que toda su masa está concentrada en el centro. Introduciremos un factor $1/f$ para tener en cuenta la posibilidad de que sólo una fracción $1/f$ de la masa total se encuentra en forma de hidrógeno neutro

$$\text{por lo tanto } V_c^2 = \frac{G f M_H}{D}$$

donde G es la constante de gravitación, M_H la masa de la estructura en forma de hidrógeno neutro y D es la distancia del borde a al centro. Si se toma como valor de la distancia angular del borde al centro 5° , se tiene $D = R \operatorname{tg} 5^\circ$ donde R es la distancia al objeto. Usando esta relación, conjuntamente con la estimación de la masa dependiente de la distancia, se obtiene

$$V_c = 1.1 (Rf)^{1/2} \text{ km/seg.}$$

con R en kpc. De la fig. 9 se tiene $V_c = 20 \text{ km/seg.}$, lo cual implica que el objeto solo puede rotar establemente si $Rf > 332 \text{ kpc.}$

Sintetizando, mientras las consideraciones de tamaño angular implican distancias menores que 100 kpc., factores dinámicos nos obligan a pensar (para $f = 1$) solo en distancias mayores que 330 kpc. Se concluye por ello que no se trata de una galaxia.

2) Una segunda interpretación posible del objeto como mate

rial extragaláctico, es que él representa el "puente" de la Nube menor de Magallanes, consistente en material removido durante un pasaje cercano a nuestra galaxia hace 500 millones de años. Tal posibilidad ha sido estudiada por A. Toomre (1971), el cual sugirió dos zonas donde tal fuente podría ser encontrada. El resultado de la búsqueda en estas zonas de tales remanentes de HI ha sido publicado anteriormente (I. Mirabel, K. Turner, 1973).

El objeto que aquí se discute tiene una dirección de elongación parabola a estas zonas, desplazado de una de ellas en aproximadamente 20° de arco.

Existen varios argumentos en contra de esta explicación: 1) El gradiente de velocidades radiales con la longitud galáctica es opuesto al predicho por Toomre. 2) El gas está bien lejos ($\approx 20^\circ$) de la zona más cercana dada por Toomre. Sin embargo, este no es un argumento fuerte, ya que muchos factores fueron despreciados en los cálculos de Toomre. 3) La concentración de gas observada no parece continuar hacia latitudes negativas, mientras que el "modelo del puente" implica una distribución mucho más extensa.

c) Material que está cayendo hacia nuestra galaxia.

La dirección de elongación del objeto (fig. 9), permite imaginar de que se está mirando material que cae hacia una región cercana al núcleo galáctico. Ya que las velocidades observadas y corregidas son en su mayor parte positivas, el objeto estaría situado entre el sol y el centro galáctico.

Sobre la base de este modelo se podría quizás entender el aumento de los semianchos de velocidad para la potencia mitad con el decrecimiento de la distancia angular al centro galáctico (fig. 10). Cuando el gas que está cayendo hacia el plano se acerca a éste, habrá un aumento de las colisiones y una mezcla progresiva con el gas del estrato galáctico. Es de esperar que este fenómeno produzca un aumento de la turbulencia y por consiguiente, un ensanchamiento de los perfiles a medida que nos acercamos al plano.

Si se supone que el campo de velocidades de la fig. 9 es debido solamente a un movimiento de traslación del objeto como un todo se puede escribir:

$$V_R = V \cdot r$$

donde V_R es la velocidad radial, V la velocidad espacial del objeto y r el vector unitario según la dirección de la visual. Entonces, para cada punto observado se puede escribir

$$V_R = V_x \cos b \cos \alpha + V_y \cos b \sin \alpha + V_z \sin b$$

donde V_x y V_y representan el movimiento hacia $l = 0^\circ$, $b = 0^\circ$, y $l = 90^\circ$, $b = 0^\circ$ respectivamente, mientras que V_z representa el movimiento perpendicular al plano galáctico. Resolviendo V_x , V_y y V_z por el método de mínimos cuadrados se obtiene

$$V_x = 46 \pm 10 \text{ km/seg}$$

$$V_y = 306 \pm 80 \text{ km/seg}$$

$$V_z = -5 \pm 40 \text{ km/seg}$$

con una dispersión media cuadrática sobre este modelo de 5 km/seg. Las incertidumbres indicadas anteriormente son aquellas que duplican esta dispersión. En la fig. 12 se presenta un gráfico de comparación entre el campo de velocidades observado y el campo de velocidades calculado sobre la base de este modelo.

Si se supone, que el material tiene como un todo una única velocidad espacial, el movimiento del objeto es casi paralelo al plano con una velocidad de 306 km/seg, moviéndose hacia las longitudes decrecientes. La componente V_z está muy mal determinada como para poder aventurar una hipótesis acerca de su movimiento según la dirección perpendicular a l plano.

En el año 1960, Oort realizó una estimación aproximada de la masa que se mueve hacia afuera del centro galáctico. Esta estimación fue hecha para un cilindro de 2.5 kpc. y se encontró que hay un flujo hacia afuera de una a dos masas solares por año. Si consideramos que este flujo de gas es un fenómeno continuo durante toda la vida de la galaxia, se concluye que el disco nuclear debió perder su HI en 10^7 ó 10^8 años a lo sumo. Este tiempo es tan pequeño comparado con la vida de la galaxia que debemos concluir que el gas debe ser repuesto por algún mecanismo. Si se desecha la idea de que esta reposición es efectuada por materia en un estado desconocido, entonces hay sólo dos fuentes posibles: las estrellas de la región central y el gas intergaláctico que penetra en la galaxia en forma de nubes de velocidad alta e intermedia. Sobre la base de la teoría de la evolución estelar^{se} debe desechar la primer fuente debido al hecho de que el gas expulsado por las estrellas de población II en la región central es 50 veces más bajo de lo necesario. Se concluye entonces que este objeto podría ser un caso concreto de reposición de gas hacia el centro galáctico. Sin embargo, la incertidumbre en el valor de la componente V_z y el desconocimiento sobre la forma del campo magnético en la región central (el cual puede orientar el movimiento del gas) no nos permite rechazar o confirmar esta hipótesis.

d) Gas expulsado del centro galáctico.

Las observaciones en la línea de 21 cms. del HI realizadas en Dwingeloo y Parkes cerca del centro galáctico han revelado la existencia de movimientos de expansión.

La orientación y forma alargada del objeto, sugieren el hecho de que nos encontramos con material eyectado del núcleo galáctico.

Sobre la base de esta hipótesis se podría entender del siguiente modo el decrecimiento del ancho de velocidad para la potencia mitad con el aumento de la distancia angular al centro galáctico; imagínese que el gas ha sido eyectado hace algún tiempo t_0 con una velocidad V , más una componente hazarosa ΔV pequeña. En tiempos posteriores el gas con ΔV en la misma dirección que V se encontrará más lejos del centro y exhibirá menor dispersión. El gas con ΔV perpendicular a V estará ubicado más cerca del centro, más dispersamente distribuido, y tendrá mayor dispersión de velocidades.

Si se interpretan las observaciones de este modo, se tendrá que situar la estructura más allá del centro galáctico si se quiere relacionar las velocidades radiales observadas con el movimiento hacia afuera del núcleo galáctico.

Ya se ha visto que el campo de velocidades observado no puede concebirse como debido a una rotación estable del objeto alrededor de su centro de masa. Por otra parte, si se supone que el gradiente de velocidades observado es debido a una simple traslación, se encuentra que el movimiento es en general hacia el centro galáctico y no hacia afuera de él. La hipótesis de que este gas ha sido expulsado del centro entonces será congruente con la distribución de velocidades observada si se imagina que la estructura posee una rotación diferencial considerable alrededor del centro galáctico además de su movimiento de expansión a partir de él.

6) Conclusión.

Sobre la base de varios argumentos se eligió un número de posibles interpretaciones acerca de este objeto, como ser aquella que le atribuye un origen consistente, en un evento explosivo cercano, un brazo distante de la galaxia, una galaxia del grupo local y el puente remanente de la Nube menor de Magallanes.

Solo quedan las hipótesis de que se está observando materia que cae hacia nuestra galaxia desde regiones exteriores, o material eyectado del núcleo galáctico.

Sobre la hipótesis de material que cae hacia el plano, se concluye suponiendo un movimiento de traslación uniforme, que el campo de velocidades implica un movimiento casi paralelo al plano

galáctico y hacia el centro. Ninguna evidencia se encontró acerca de si el movimiento tiene características de acercamiento o alejamiento del plano.

Si se supone la hipótesis de que este material ha sido expulsado del centro galáctico por algún evento explosivo, se debe suponer además de que el material participa en algún modo de la rotación galáctica. Solo se puede entender el campo de velocidades por una combinación de estos dos movimientos. Si el material ha sido expulsado del núcleo, la dirección de expulsión forma un ángulo de por lo menos 60° con el plano galáctico.

Sobre la base de la masa y velocidad radial del objeto puede estimarse que la energía mínima de la explosión requerida para producir este objeto es de 5×10^{52} erg.

Por otra parte, cabe señalar que esta estructura no se comporta de acuerdo a la simetría en las cantidades V_R , l , b de las estructuras de HI descubiertas por van der Kruit en las cercanías del centro galáctico. Este hecho, sugiere la posibilidad de eyección de materia desde el núcleo, también en la parte sur del cuarto cuadrante galáctico.

B) LA ESTRUCTURA B.

1) Introducción.

Cugnon (1968) descubrió un extenso objeto (llamado estructura B en este trabajo) de hidrógeno neutro ubicado fuera del plano galáctico. Describió este objeto como una nube con velocidad radial anómala de + 50 km/s (reducida al S.L.R.), una dispersión en velocidades de 10 km/s. y una masa de HI de $4 \times 10^6 M_{\odot}$. suponiendo una distancia de 10 kpc. El centro de la nube de acuerdo al trabajo de Cugnon está ubicado en $l = 349^{\circ}$, $b = +3^{\circ}$, no lejos del centro galáctico.

Según van der Kruit (1971), las estructuras de hidrógeno neutro con velocidad prohibida ubicadas fuera del plano galáctico, como ser la estructura descubierta por Cugnon, pueden ser concebidas como material expulsado del núcleo de nuestra galaxia durante una fase activa reciente.

Como el objeto estudiado por Cugnon no podía ser observado por él en toda su extensión debido al límite sur de observación de Dwingeloo, y ya que era de interés confirmar o refutar la hipótesis de van der Kruit relacionada con el origen de la nube, el autor de este trabajo en colaboración con el Dr. W.G.L. Poppel decidieron realizar un nuevo conjunto de observaciones con el fin de obtener una idea más completa de la estructura.

2) Observaciones.

El instrumental con el que se realizaron las observaciones es el radiotelescopio del Parque Pereyra Iraola descrito en la sección observaciones de la estructura A.

La zona de interés está ubicada entre $332^{\circ} \leq l \leq 354^{\circ}$, $+1^{\circ} \leq b \leq +7^{\circ}$. Para $b \geq +3^{\circ}$ se usaron los perfiles pertenecientes a un relevamiento realizado por Poppel y Vieira (1971), con un enrejado de 1° en l y b no publicado aún. Para completar este relevamiento, se realizaron observaciones adicionales por el autor de este trabajo entre Noviembre de 1972 y Julio de 1973 para $b = +1^{\circ}$, $+2^{\circ}$. También se observaron algunos puntos espaciados en medio grado en l y b cercanos al centro de la estructura. Con el fin de extender el rango de velocidades o de disminuir el ruido de los perfiles, se debió realizar reobservaciones de puntos correspondientes al relevamiento de Poppel-Vieira. De este modo, se usaron los perfiles de 170 puntos del cielo, cada uno de los cuales es el resultado de por lo menos dos observaciones, hechas en fechas diferentes, con tiempos de integración totales no menores que 12 minutos. Las velocidades fueron reducidas al S.L.R., usando las tablas de Mac Rae-Westernhout (1956). La escala de temperaturas de brillo fue calibrada observando el punto

$l = 356^{\circ}00$, $b = -4^{\circ}00$, que se supuso posee una intensidad pico de $80.0 \text{ }^{\circ}\text{K}$ (Poppel-Vieira, 1973).

3) Descripción de los resultados.

En la fig. 13, se muestran a modo de ejemplo un perfil del punto $l = 349^{\circ}$, $b = +4^{\circ}$. El pico secundario con $T \sim 11 \text{ }^{\circ}\text{K}$ y con una velocidad radial de $+52 \text{ km/s}$ pertenece a la estructura B. En las figuras 14, 15 y 16 se muestran algunos mapas de contorno típicos.

A partir de los perfiles promediados, las contribuciones presuntamente debidas a la estructura B fueron separadas de otras estructuras. Esto era fácil cuando había un pico simple aislado a velocidades mayores que $+40 \text{ km/s}$, como ocurre en la fig. 13. En los casos en que había superposición de la estructura B con estructuras debidas al plano galáctico, la primera fue aproximada trazando a mano curvas gaussianas en los perfiles. Las observaciones para $b \leq +1^{\circ}$ debieron ser excluidas debido a la complejidad intrínseca de los perfiles debida a la contribución del hidrógeno asociado con el plano galáctico. Lo mismo ocurrió para $b = +2^{\circ}$ entre $l = 350^{\circ}$ y $l = 354^{\circ}$.

Una vez que las contribuciones del objeto B fueron separadas, se obtuvieron los siguientes parámetros característicos: velocidad pico \underline{v} (km/s), temperatura pico \underline{T} ($^{\circ}\text{K}$), semiancho $\underline{\Delta v}$ (km/s) y el área bajo la curva \underline{A} ($^{\circ}\text{K}$, km/s). Se estimó que las incertezas promedio debidas al método empleado en la estimación de la contribución de la estructura, así como a los efectos del ruido del receptor y pequeños errores en la determinación de la línea de base son menores que $1.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$ para T , $\pm 5 \text{ km/s}$ para v , y $\pm 7 \text{ km/s}$ para Δv . Para A , la incerteza promedio será del orden de

$$\pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{K}. \Delta \bar{v} \sim \pm 30 \text{ }^{\circ}\text{K}. \text{ km/s}$$

donde $\Delta \bar{v} \sim 20 \text{ km/s}$ es el valor medio de Δv sobre toda la zona en que la estructura está presente. Es claro que los errores tienen un peso relativo mayor para valores pequeños de T y A que para valores mayores de estas cantidades.

Finalmente, el número de átomos de hidrógeno por cm^2 integrado a lo largo de la línea de la visual dado por

$$(1) N_{\text{H}} = 1.82 \times 10^{18} A$$

fue calculado para cada punto observado (se suponen profundidades ópticas pequeñas). Como consecuencia de lo anteriormente dicho, el error medio de N_{H} será del orden de $0.5 \times 10^{20} \text{ at/cm}^2$.

aunque debe tenerse en cuenta que este número es excesivo para valores pequeños de N_H . En la tabla 3 se dan los resultados. En los casos en que la estructura B estaba superpuesta con estructuras debidas a contribuciones del plano, Δv fue calculado multiplicando por 2, el sesgamiento ubicado en el lado de las velocidades mayores. De modo análogo se calcularon las áreas bajo los perfiles.

La distribución de N_H en función de l y b se muestran en la fig. 17. La línea punteada es el límite sur de las observaciones en Dwingeloo. Como puede verse, el objeto se extiende hacia longitudes menores de las que pudieron ser observadas originalmente por Cugnon. La estructura general de las isofotas en la fig. 17, sugiere la conveniencia de considerar separadamente dos zonas diferentes: la zona I con $l \geq 342^\circ$ y la zona II con $l < 342^\circ$. Las isofotas correspondientes a la primera zona corresponden a un objeto de apariencia alargada, cuyo eje principal forma un ángulo de aproximadamente 26° con el plano galáctico y cuyo núcleo está localizado en $l = 346^\circ$, $b = +2^\circ$, o sea, debajo del horizonte de Dwingeloo. Por otra parte, las isofotas de la zona II se extienden en forma paralela al plano galáctico, con un núcleo secundario en $l = 341^\circ$, $b = +2^\circ$. El comportamiento diferente de las isofotas muestra de un modo indirecto la posibilidad de que el gas en la región II podría eventualmente no estar relacionado al objeto B, sino más bien a estructuras pertenecientes al plano galáctico, con velocidades radiales similares a las del objeto B. Además observando la tabla 3 es evidente que existen diferencias sistemáticas, en velocidades radiales entre las regiones I y II. Para $l < 342^\circ$, los valores de la velocidad radial son en general mayores que los correspondientes a la región I. Por consiguiente, debe siempre tenerse en cuenta que las isofotas que se muestran en la fig. 17, para $l < 342^\circ$ quizás no pertenezcan al objeto B. En la sección 7c) examinaremos esta cuestión con mayor detalle.

Con los valores de N_H , se puede calcular la masa del objeto con la expresión

$$\frac{M}{M_\odot} = 2.44 \times 10^{-18} R^2 \sum_i \Delta S_i \cdot n_{H_i}, \quad (2)$$

donde R (en kpc) es la distancia al sol, ΔS_i (en grados cuadrados) es el área de un elemento de superficie sobre el cielo, y n_{H_i} (en at/cm^2) es la densidad de átomos correspondiente. La suma se extiende sobre toda la región observada. Los resultados, computados separadamente para las zonas I y II son respectiva-

mente

$$N_I = 1.9 \times 10^4 R^2 M_\odot \quad (3)$$

$$N_{II} = 0.5 \times 10^4 R^2 M_\odot \quad (4)$$

El primer valor incluye las contribuciones extrapoladas por la región $l = 349^\circ$ a 354° entre $b = +2^\circ$ y $b = +3^\circ$, dejada en blanco en la fig. 17. Esta contribución es menor que el 8% del valor total dado en (3).

4) Comparación con las observaciones de Cugnon.

Los resultados dados en la tabla 3 fueron comparados con los de Cugnon para todos los puntos de ambos relevamientos, donde la estructura B está presente (23 puntos marcados con un asterisco en la tabla 3). Con este fin promediamos las diferencias entre los valores de v , (velocidades radiales del pico), Δv (semancho del pico) y N_H , dados en la tabla 3 y los valores correspondientes obtenidos por Cugnon, o sea: \bar{v} (velocidad radial media), σ (dispersión de velocidades suponiendo forma gaussiana, la cual fue multiplicada por 2.3 con el fin de hacerla comparable con Δv) y N_H . Los promedios para los 23 puntos son los siguientes (las desviaciones standard para las diferencias se dan entre paréntesis):

$$\bar{v} = 52 \text{ km/s}, \quad \overline{v-v} = +2 \text{ km/s}, \quad (4 \text{ km/s}),$$

$$\overline{\Delta v} = 20.0 \text{ km/s}, \quad \overline{v-2.3\sigma} = -4 \text{ km/s}, \quad (6.6 \text{ km/s}),$$

$$\bar{N}_H = 1.5, \quad \overline{N_H - N_H} = -1.1, \quad (1.8), \quad (\text{en unidades de } 10^{20} \text{ at/cm}^2)$$

Como puede verse, la concordancia para las velocidades y anchos de los picos son bastante buenos. Para N_H la concordancia no es buena, ya que los valores de Cugnon son sistemáticamente mayores que los nuestros, debiendo existir algún efecto sistemático que causa las diferencias. Con el fin de determinar este efecto, comparamos los valores pico de los perfiles publicados por Cugnon con los de nuestro relevamiento en 43 puntos comunes. La conclusión es que la escala de temperaturas mayor usada por Cugnon (ancho de banda, $B = 16 \text{ kHz}$), da lugar a valores $\sim 10\%$ mayores que los nuestros ($B = 10 \text{ kHz}$), y $\sim 15\%$ que los usados en el relevamiento de Braes (1963) (también en Dwingeloo, $B = 20 \text{ kHz}$, con 7 puntos comunes con Cugnon). La diferencia media entre los valores de N_H de Cugnon y los nuestros ($\sim 75\%$ de \bar{N}_H) es demasiado alta como para deberse solo a diferencias de escala. Quizás, la

explicación de estas diferencias radique en errores sobre las correcciones en el nivel cero en función de la altitud que debió aplicar Cugnon a sus observaciones. Debe señalarse que dichas correcciones son muy importantes en las cercanías del horizonte.

5) Comparación con observaciones ópticas y de radio.

Cuando queremos interpretar el origen y naturaleza de la estructura B, el problema fundamental es el de la determinación de su distancia. A partir solo de las observaciones en la línea de 21 cms. este problema no puede ser resuelto, especialmente si el objeto tiene una velocidad radial incompatible con el modelo de rotación galáctica. Por consiguiente, es necesario investigar si existe material óptico o de radio relacionado con la estructura.

a) Placas del "Whiteoak Zones".

Las placas del "Whiteoak Zones" en luz amarilla fueron examinadas. No se pudo encontrar ninguna similitud entre el campo óptico y las isolíneas de la fig. 17. Debe señalarse, que debido a su cercanía al plano galáctico, ópticamente la zona es muy compleja.

b) Líneas de absorción interestelar.

Se reunió toda la información disponible sobre líneas de absorción interestelar presentes en los espectros de las estrellas tempranas de la región. Esta información está sintetizada en la tabla 4: las columnas 1, 2 y 3 comprenden el número de HD de la estrella y sus coordenadas galácticas. Las columnas 4 y 5 contienen las velocidades del Ca^+ y Na interestelares, reducidas, al S.L.R. La distancia a cada estrella está dada en la columna 6, mientras que las referencias se dan en la columna 7: (BK^a = Buscombe y Kennedy, 1962; BK^b = Buscombe y Kennedy, 1968; G = Goniadzki, 1972; T = Thackeray, 1966). Las distancias fueron tomadas de Goniadzki (1972) o fueron computadas a partir de los módulos de distancia corregidos, tal como se dan en las referencias. Los resultados de la tabla 4 muestran que no existen líneas de absorción interestelar con velocidades similares a las de la estructura B.

c) Regiones HII.

Se investigó el atlas de emisión $\text{H}\alpha$ de Rodgers y otros (1960)^a. En la fig. 18 se presenta la distribución de las regiones de emisión en $\text{H}\alpha$: las regiones que contienen emisión fueron marcadas por medio de líneas de trazos, mientras que las áreas de intensidad mayor se marcaron con trazos continuos finos. Las isofotas para los valores de N_{H} constantes de la fig. 17 se marcaron en líneas gruesas y las estrellas de la tabla 4

con asteriscos. Los números corresponden a los asignados por Rodgers y otros (1960)^b en su catálogo. Tal como puede observarse en la figura 18, en nuestra área de observación se encuentran 3 objetos con emisión $H\alpha$. En la tabla 5, se dan sus características principales: las columnas 1, 2, 3, 4 y 5 dan el número de catálogo, la descripción del objeto, su identificación, sus dimensiones y las coordenadas del centro. A menos que se mencione especialmente, estos datos fueron obtenidos del catálogo de Rodgers y otros (1960)^b. Además se dan de Georgelin-Georgelin (1970)^a: la velocidad radial media corregida al S.L.R., obtenida a partir de mediciones en varios puntos de la nube, y su dispersión cuadrática, en las columnas 6 y 7; las distancias espectrofotométricas y cinemáticas de las estrellas excitatrices en las columnas 8 y 9; y el diámetro de la región HII en la columna 10.

Como puede verse, las velocidades radiales de 3 regiones HII son negativas, mientras que la velocidad de la estructura B es positiva. Este hecho sugiere que no existe relación física entre la estructura B de hidrógeno neutro y estas regiones HII.

d) Velocidades radiales de estrellas.

Se investigó el catálogo de velocidades radiales de estrellas de Abt y Biggs (1972) para la zona en α \approx $19^h 00^m$ entre $16^h 50^m$ y $17^h 10^m$ y δ \approx $19^{\circ} 00'$ entre -35° y -40° . Solo aparecen dos estrellas con velocidades radiales (reducidas al S.L.R.) mayores que +10 km/s y ninguna estrella con $V > 21$ km/s.

e) Comparación con el continuo de radio y líneas de recombinación.

Las isolíneas de la fig. 17 fueron comparadas con los mapas de contorno de varios relevamientos en el continuo. En bajas frecuencias no se pudo apreciar ninguna correlación sobre la base de los siguientes relevamientos: Hamilton-Haynes (1969)^a (10 MHz), Iates y otros (1967) (85 MHz), Wielebinsky y otros (1969) (85 y 150 MHz), Hamilton-Haynes (1969)^b (153 MHz) y los mapas de Munster en 19.7 y 85 MHz (Altenhoff y otros) (1963).

En frecuencias más altas, los mapas de Munster en 960 y 1440 MHz exhiben un pequeño núcleo de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ de ancho, centrado en $l \sim 345^{\circ}.5$, $b \sim +1^{\circ}.5$. La misma fuente puede distinguirse mejor en los siguientes relevamientos realizados con mayor resolución angular: Hill (1969) (1420 MHz, fuente triple centrada en $l = 345^{\circ}.3$, $b = +1^{\circ}.5$), Goss y Shaver (1970) (5000 MHz, fuente cuádruple) y Shaver y Goss (1970)^a (408 MHz, fuente quintuple). Los últimos autores la identifican con la

fuerza térmica CTB35, cuya identificación óptica es IC4628. Tal como se ha visto en la tabla 5, este objeto no tiene relación física con la estructura B de HI, ya que su velocidad radial es muy diferente. Esto puede también ser constatado a partir de las observaciones en H109 α hechas por Wilson y otros (1970). Sus resultados se reproducen en la tabla 6: la columna 1 da las coordenadas de las 4 componentes vistas por Shaver y Goss, las columnas 2 y 3 dan las velocidades radiales observadas y las distancias cinemáticas (dos valores).

f) Línea de 21 cms. en absorción.

Radhakrishnan y otros (1972) usando filtros de 2 km/s de ancho obtuvieron en la línea de 21 cms perfiles de absorción en la dirección de CTB35. El perfil de absorción está reproducido en la fig. 19. Las velocidades radiales que allí se indican son respecto al S.L.R. Como puede verse, no se ha detectado absorción en el intervalo de nuestro interés (o sea, + 30 a + 60 km/s).

g) Remanentes de supernovas.

Una comparación con el catálogo de Ilovaisky y Lequeux (1972) muestra que sólo hay una fuente que podría estar relacionada por su posición con nuestra nube. Esta fuente está centrada en $l = 342^{\circ}.1$, $b = +0^{\circ}.1$, en la prolongación del eje de la nube, con un diámetro de sólo 30' y una distancia al sol estimada de 3.1 kpc.

h) Línea de 21 cms. en emisión.

El catálogo de Kerr (1969) para la zona $-2^{\circ} \leq b \leq 2^{\circ}$ no manifiesta ninguna ausencia relativa de hidrógeno en la estructura principal a bajas velocidades.

6) Parámetros característicos del objeto.

Antes de investigar las interpretaciones posibles de este objeto, es conveniente definir para él algunos parámetros característicos. Ellos son dados en función de la incógnita principal del problema: la distancia R al sol. Con el fin de simplificar el análisis consideraremos solamente la región I de la nube ($l \geq 342^{\circ}$) y la aproximaremos por un esferoide de radio

$$r = R \sqrt{\varphi_1 \varphi_2} \quad (6)$$

donde φ_1 y φ_2 son los semiejes aparentes. A partir de la fig. 17 adoptamos $\varphi_1 = 8^{\circ}$ y $\varphi_2 = 4^{\circ}$. En lo que sigue haremos uso de la ecuación (2) para eliminar la masa M de la nube de las ecuaciones.

Definimos:

a) Una energía cinemática de traslación

$$E_{c_{tr}} = \frac{1}{2} M V_t^2 \sim 2 \times 10^{47} R^2 (\text{kpc}) V_t^2 (\text{km/s}) \text{ erg}, \quad (7)$$

donde V_t es la velocidad radial de traslación

b) Una energía cinética interna

$$E_{c_{int}} = \frac{1}{2} M \left(\frac{\Delta v}{2} \right)^2 \sim 2 \times 10^{49} R^2 (\text{kpc}) \text{ erg}, \quad (8)$$

donde $\frac{1}{2} \Delta v = 10 \text{ km/s}$ es el valor medio del semiancho de potencia mitad de los perfiles.

c) Un radio transversal

$$r = R \sqrt{\varphi_1 \varphi_2} \sim 0.1 R \quad (9)$$

d) Una energía gravitacional interna (por analogía a objetos de forma esférica)

$$E_g \sim -\frac{3}{5} G \frac{M^2}{R} \sim -2.1 \times 10^{47} R^3 (\text{kpc}) \text{ erg} \quad (10)$$

e) Una densidad media

$$\bar{\rho} = \frac{M}{4\pi r^3/3} \sim \frac{3 \times 10^{-25}}{R(\text{kpc})} \text{ g/cm}^3 \quad (11)$$

f) Un tiempo característico de evolución

$$\tau = \frac{r}{0.5 \Delta v} \sim 10^7 R (\text{kpc}) \text{ años} \quad (12)$$

En la tabla 7 se dan las cantidades calculadas para diferentes valores de R . De acuerdo a las necesidades del análisis posterior E_c fue calculada solo para distancias menores que $R = 3 \text{ kpc}$, adoptando para V_t la velocidad radial media del objeto, o sea, $\bar{v} = 52 \text{ km/s}$.

7) Interpretaciones.

Sobre la naturaleza de este objeto existen varias posibilidades:

- Un objeto cercano al sol.
- Un objeto originado en una explosión no local de supernova.
- Un brazo distante de la galaxia.
- Un objeto extragaláctico.
- Material que cae hacia el plano galáctico.
- Material expulsado del centro galáctico.

A continuación analizaremos en detalle estas diferentes interpretaciones posibles:

- Tal como se vió en la sección 5, la estructura B no parece estar asociada ni a regiones HII ni a asociaciones de estrellas embebidas en gas ionizado. Si el objeto estuviera ubicado en las cercanías del sol, se podría considerar que la velocidad de

traslación en (7), es justamente igual a la velocidad radial media, o sea, 52 km/s. De este modo, la energía cinética de traslación será $\sim 5 \times 10^{50} R^2$ erg, con R en kpc. Para $R \leq 1.4$ kpc., esta energía es comparable con las energías mayores involucradas en explosiones de Supernovas de tipo II (Woltjer, 1972). En otras palabras, la distancia máxima a que puede estar ubicada la estructura si fuera el resultado de una explosión de supernova con una energía igual o menor que 10^{51} erg, sería 1.4 kpc. En el caso de que fuera una porción de envoltura este límite máximo de distancia tendría que ser menor, ya que la masa total de HI involucrada sería mayor que la que se considera aquí.

Por otra parte, la relativa baja velocidad del objeto, para el caso de una supernova, implica una fase de evolución relativamente avanzada, tal como la fase III en el modelo de Woltjer. Esto está en concordancia con los valores de ζ en la tabla 7. Sin embargo, se pueden dar varios argumentos en contra del posible origen de este objeto en una explosión cercana:

- 1-En la línea de 21 cms. no se observa en el intervalo entre +30 y +60 km/s ninguna componente de absorción en la dirección de la fuente térmica de radio CTB35A ($l = 345^{\circ}.3$, $b = +1^{\circ}.5$) localizada a una distancia de 1.6 kpc (Radhakrishnan y otros, 1972), la cual es mayor que el límite superior dado anteriormente.
 - 2-En el catálogo de Ilovaisky y Lequeux (1972), el único remanente de supernova cercano es Kes45 ($l = 342^{\circ}.1$, $b = 0^{\circ}.1$), a una distancia de 3.1 kpc. Ya que es mayor el límite superior de 1.4 kpc y ya que su diámetro aparente es de sólo 30', es improbable que Kes45 esté relacionada al objeto de nuestro estudio.
 - 3-No se observan líneas interestelares con velocidad positiva en los espectros de las estrellas tempranas de la zona ubicadas a distancias del orden de 1 kpc (ver tabla 4).
 - 4-Ni las placas del Whiteoak Zones en la emisión $H\alpha$ en el atlas de Rodgers y otros (1960^a) parecen revelar ninguna evidencia sobre la existencia de remanentes de supernova en la región observada.
 - 5-La inspección del relevamiento de Kerr (1969) en la línea de 21 cms no revela ninguna ausencia notoria de gas con baja velocidad en el plano galáctico, tal como sería de esperar para el caso de una gran explosión local. Además, no hay evidencias de emisión en HI en las velocidades opuestas (~ -50 km/s), tal como puede constatararse por ejemplo en la fig. 13.
- b) En la subsección anterior, hemos considerado el caso de una

explosión de supernova que implica una energía de 10^{51} erg. Consideremos ahora el caso en que el objeto es el remanente total de una explosión no local de supernova de tipo II (Przta, 1964). Debido a los altos valores de ζ en la tabla 7, podríamos esperar que la velocidad de expansión del gas haya caído a valores comparables a los movimientos turbulentos en la envoltura, dando lugar entonces a un perfil con pico único. En consecuencia ahora, adoptamos $\overline{\Delta v} = 10$ km/s como velocidad de expansión, de tal modo que para $\frac{2}{2}$ la misma energía, la distancia de la cáscara será

$$R \leq 7.1 \text{ kpc.}$$

Incluso para esa distancia es necesario explicar la velocidad radial positiva.

Otra posibilidad sería la de suponer una explosión extraordinariamente energética, como la de una super-super-nova (Shklovski, 1960), la cual produce remanentes con energías de 10^{52} a 10^{53} ergios.

c) El hecho de que este objeto tiene una velocidad radial positiva anómala, puede inducir a pensar que se trata de un brazo espiral distante de nuestra galaxia. Un análisis inmediato revela dos objeciones contra esta hipótesis.

En primer lugar, la variación de la velocidad radial con la longitud no concuerda con lo que sería de esperar para un brazo distante, que rota regularmente en las partes exteriores de la galaxia. Con el fin de mostrar esto hemos comparado las velocidades de la estructura B con las de una estructura de velocidad positiva que puede ser detectada en nuestros perfiles correspondientes a los puntos más cercanos al plano galáctico. En la fig. 20, los puntos se refieren a una estructura en $b = +1^\circ$, mientras que los cuadraditos representan las velocidades pico del objeto B promediadas sobre las latitudes entre 2° y 6° . Como puede verse, para $l > 342^\circ$ (zona I), la velocidad radial de la estructura perteneciente al plano decrece con l , mientras que para nuestro objeto permanece aproximadamente constante. Por consiguiente, es razonable interpretar la estructura en $b = +1^\circ$ como un brazo espiral ubicado a una distancia del orden de 20 kpc del centro galáctico, de acuerdo al modelo de distribución de masas de Schmidt (1965). El hecho de que la estructura B en la zona I no cambia esencialmente su velocidad con l , implicaría una velocidad de expansión mucho más grande de lo que se puede esperar para un brazo espiral lejano. Esto nos lleva a rechazar la posibilidad de relación física del objeto B con la

estructura en $b = +1^\circ$. En este sentido, es interesante señalar que el objeto con velocidad positiva en $b \geq +2^\circ$ en la zona II ($1 < l < 342^\circ$) tiene un comportamiento diferente al de la zona I, ya que en la zona II su velocidad aumenta con la longitud. Este hecho hace dudosa la interpretación de los objetos en las zonas I y II como formando parte de una estructura única.

En segundo lugar, la extensión en latitud del objeto es muy grande como para ser un brazo espiral, ya que los 5° en latitud para una distancia de 20 kpc del centro galáctico corresponden a una altura z sobre el plano de aproximadamente 3 kpc. d) La consideración sobre el tamaño angular del objeto pone un límite superior para su distancia al sol. De acuerdo a (9), si r tuviera un valor típico para una galaxia, por ejemplo 20 kpc, R sería igual a 200 kpc. Esta distancia puede ser tomada como límite superior. Ahora bien, de acuerdo a dicho límite superior de distancia, el objeto debe pertenecer al grupo local y por consiguiente, en caso de tratarse de una galaxia, deberíamos tener algún tipo de evidencia óptica o en el continuo de radio. Pero ya hemos visto que no existe una evidencia de ese tipo. Por consiguiente, dicha interpretación se torna muy dudosa.

e) Una posibilidad que debe ser analizada es el caso de un objeto, cuyo origen radica fuera del plano galáctico y que en el presente es observado moviéndose hacia el plano. En particular, dadas sus coordenadas, podría estar cayendo hacia el centro galáctico. Si este fuera el caso, debido a su velocidad radial positiva, tendría que estar ubicado entre el sol y el centro galáctico. Bajo tal hipótesis, podría ser un ejemplo de material que cae desde el halo, de acuerdo al mecanismo propuesto por Oort, (1966).

Si aplicamos el teorema del virial a este objeto, usando las ecuaciones (8) y (9), se obtiene una dimensión $r \sim 170$ kpc., lo cual muestra que el teorema no es ciertamente aplicable en este caso o, en otras palabras, el objeto no se encuentra en estado estable. De todas maneras, no se ha encontrado ningún argumento a favor o en contra de la hipótesis de un objeto que cae hacia el plano galáctico.

f) Si suponemos que el objeto está situado en las cercanías del centro galáctico, la interpretación inmediata es que ha sido expulsado de allí. Esta idea se funda en el hecho de que el objeto sólo puede poseer velocidad radial positiva y estar ubicado en dicha región, si fuera la consecuencia de algún evento explosivo en el núcleo galáctico.

Más adelante, en otras secciones, veremos que existen evidencias directas de una tal actividad en el núcleo. En primer lugar, la fuente no térmica SgrA ubicada en el núcleo. Además,

las observaciones en el infrarrojo de Becklin y Neugebauer (1969) han mostrado que en el núcleo existe una fuente cuyo espectro es similar al de los núcleos Seyfert, aunque un factor 3×10^4 veces menor en densidad de radiación. El segundo tipo de evidencias proviene de los movimientos de expansión del HI fuera del disco nuclear detectados por Rougour (1964) y van der Kruit (1970). Más tarde, van der Kruit (1971) realizó un intento de explicación del movimiento del gas en la región central de la galaxia a través de eventos explosivos, en el núcleo, computando las órbitas posibles. En particular, el gas que es observado fuera del plano, habría sido expulsado del núcleo según un ángulo de 25° a 30° durante un periodo reciente de actividad ($\sim 6 \times 10^6$ años). La energía cinética involucrada es mayor que 10^{54} ergios. La proyección en 2 dimensiones de la distribución espacial del objeto de nuestro estudio (fig. 17) y su velocidad radial positiva nos permite imaginar que el objeto está cayendo hacia el plano galáctico en una región ubicada del otro lado del centro galáctico, luego de haber sido eyectado de allí.

Con el fin de encontrar algún otro tipo de evidencia referente al movimiento de la nube se investigaron graficamente posibles correlaciones entre N_H y Δv , Δv y v , y también la distribución espacial de Δv . En ningún caso se encontró un resultado positivo.

Por otra parte, para el caso en que la nube estuviera ubicada cerca del centro galáctico, a una distancia de aproximadamente 10 kpc. del sol, su masa de HI, dimensiones, etc. fueron computadas (tabla 7). Tomando la velocidad de traslación como igual a la velocidad radial observada ($\bar{v} = 52$ km/s), la energía cinética correspondiente es de $\sim 5.4 \times 10^{52}$ erg, que concuerda con un proceso tal como el sugerido por van der Kruit.

A continuación vamos a considerar un modelo para la estructura B, suponiendo que ésta tiene forma de anillo, el cual tiene un doble movimiento de expansión a partir del centro galáctico, y de rotación alrededor de él. Como esta estructura se encuentra a grandes distancias del sol, es lícito corregir las velocidades radiales observadas por el movimiento de S.L.R. con el fin de deducir la velocidad de expansión V_e y la velocidad de rotación V_{Rot} de la estructura. El procedimiento empleado para efectuar esta corrección consistió en sustraer a las velocidades radiales observadas V_{R_i} la cantidad $250 \sin(2\pi - l_i) \cos b_i$. La situación geométrica para el punto genérico i se encuentra en la figura 21.

La velocidad radial $V_R = V_{\text{espacial}} \cos \varphi = V_{\text{esp}} \cos (\theta + \varphi')$

$$V_R = V_{\text{esp}} (\cos \theta \cos \varphi' - \text{sen } \theta \text{ sen } \varphi')$$

Por el teorema del seno: $\text{sen } \theta = \frac{R_0}{R_H} \text{sen } \gamma$

llamando $\frac{R_0}{R_H} = x$

$$\cos = \sqrt{1-x^2 \text{sen}^2 \gamma}$$

$$\cos \gamma_1 = \cos l_1 \cos b_1 \Rightarrow \text{sen } \gamma_1 = \sqrt{1-\cos^2 l_1 \cos^2 b_1}$$

$$\cos \varphi' = \frac{V_e}{\sqrt{V_{\text{Rot}}^2 + V_e^2}} \quad ; \quad \text{sen } \varphi' = \frac{V_{\text{Rot}}}{\sqrt{V_{\text{Rot}}^2 + V_e^2}}$$

$$V_R = \sqrt{V_{\text{Rot}}^2 + V_e^2} \left[\frac{V_e}{\sqrt{V_{\text{Rot}}^2 + V_e^2}} \sqrt{1-x^2 \text{sen}^2 \gamma} - \frac{V_{\text{Rot}}}{\sqrt{V_{\text{Rot}}^2 + V_e^2}} x \text{sen } \gamma \right]$$

$$V_{R_1} = V_e \sqrt{1-x^2 \text{sen}^2 \gamma_1} - V_{\text{Rot}} x \text{sen } \gamma_1 \quad (13)$$

De acuerdo a la tabla 3 para cada uno de los 53 puntos donde se observa gas perteneciente a la estructura B se tendrá una ecuación de la forma de (13).

Aplicando el método de mínimos cuadrados:

$$\varepsilon^2 = \sum_1 (V_{R_1} - V_e \sqrt{1-x^2 \text{sen}^2 \gamma_1} + V_{\text{Rot}} x \text{sen } \gamma_1)^2$$

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial V_e} = -2 \sum_1 (V_{R_1} - V_e \sqrt{1-x^2 \text{sen}^2 \gamma_1} + V_{\text{Rot}} x \text{sen } \gamma_1) \sqrt{1-x^2 \text{sen}^2 \gamma_1} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{E}^2}{\partial V_{\text{Rot}}} = 2 \sum_1 (V_{R_1} - V_0 \sqrt{1 - x^2 \sin^2 \gamma_1} + V_{\text{Rot}} x \sin \gamma_1) x \sin \gamma_1 = 0$$

$$\text{llamando } A_1 = \sqrt{1 - x^2 \sin^2 \gamma_1} \quad ; \quad B_1 = x \sin \gamma_1$$

queda el sistema de 53 ecuaciones

$$\sum_1 V_{R_1} A_1 - V_0 \sum_1 A_1^2 + V_{\text{Rot}} \sum_1 A_1 B_1 = 0$$

$$\sum_1 V_{R_1} B_1 - V_0 \sum_1 A_1 B_1 + V_{\text{Rot}} \sum_1 B_1^2 = 0$$

con las incógnitas V_0 y V_{Rot} que se resolvió con la computadora IBM 1620 de la U.N.L.P., para diferentes valores de x .

En la tabla 8 se dan los valores de V_0 y V_{Rot} obtenidos para distintos valores de ese parámetro. Como la nube se extiende hasta $l = 342^\circ$, para un modelo de distribución anular no pueden existir soluciones reales para valores de $x \geq 3.2$. Si suponemos que en $l = 343^\circ$ la estructura es vista en forma tangencial, los valores de V_0 y V_{Rot} que más nos interesan son los correspondientes a $x = 3.1$, que corresponde a una distancia del centro galáctico de 3.2 kpc. Para $x = 3.1$ los valores de V_0 y V_{Rot} son de 41 y 44 km/s respectivamente, con los cuales sobre la base de la ecuación (13) se puede calcular para cada punto i la velocidad calculada V_{cal_i} . La dispersión

$$s = \frac{\sum_1 (V_{\text{cal}_i} - V_{\text{obs}_i})^2}{n}$$

del modelo respecto a las observaciones para $x = 3.1$ es 0.044 km/s.

En la fig. 1 se puede ver que no se ha detectado todavía la contrapartida en longitudes negativas del otro lado del centro galáctico del llamado "brazo de 3 kpc" en expansión. En el marco de la hipótesis de van der Kruit sobre el origen y evolución de este brazo, la estructura B, que posee una velocidad de expansión a partir del centro similar, bien puede constituir la contrapartida de dicho brazo del otro lado del centro que está todavía cayendo hacia el plano. Para poder confirmar o refutar esta hipótesis se debe analizar en detalle los perfiles correspondientes al plano galáctico.

lo cual será objeto de otro trabajo.

8) Conclusiones.

Sintetizando nuestra discusión sobre las posibles interpretaciones del objeto B concluimos de que lo más probable es que haya sido expulsado del centro galáctico, aunque la posibilidad de que se trate de material que está cayendo hacia dicha región no puede ser excluida. Las otras interpretaciones posibles que fueron analizadas son mucho más dudosas.

C) LA ESTRUCTURA C.

1) Introducción.

En el año 1968, Shane descubrió en un punto cercano al centro galáctico ($l = 8^\circ$, $b = -5^\circ$), la existencia en la línea de 21 cms. de un pico de hidrógeno muy débil ($\sim 1^\circ\text{K}$) con una velocidad de -215 km/s respecto al S.L.R.

Más tarde, dicho objeto volvió a ser detectado por van der Kruit (1970), pero hasta la fecha no había sido estudiado en detalle. En particular, existía la duda sobre su posible extensión hacia las latitudes negativas y una información deficiente sobre la existencia ó no de gradientes de velocidad.

Como dicho objeto tiene una velocidad radial muy alta y de signo contrario al esperable de acuerdo al modelo de rotación circular de la galaxia, a la vez que se encuentra en las cercanías de la dirección hacia el centro galáctico, se decidió estudiar en detalle la extensión de este objeto, ya que puede tratarse de una estructura expulsada desde el núcleo galáctico, y por consiguiente constituir una evidencia más del problema que se investiga en esta tesis.

2) Observaciones.

Las observaciones fueron realizadas con el radiotelescopio de 30 metros del Instituto Argentino de Radioastronomía entre diciembre de 1973 y agosto de 1974.

En nuestro estudio hemos utilizado dos bancos de filtros diferentes: en primer lugar un banco de 30 filtros anchos de 100 KHz que permiten cubrir un rango efectivo de velocidades de 750 km/s y obtener una resolución en velocidad de 25 km/s.; en segundo lugar, el banco de 56 filtros angostos separados uno de otro 4 km/s, lo cual permite cubrir un rango efectivo de velocidades de 200 km/s con una resolución de 2 km/s, usando el método de intercalación de perfiles.

El relevamiento de la región del cielo en la que se encuentra el objeto C fue realizado en tres etapas. En primer lugar, con el fin de delimitar la extensión espacial y en velocidades del objeto se observó con el banco de filtros anchos en un enrejado de un grado la zona comprendida entre $l = 6^\circ$ y $l = 10^\circ$, $b = -2^\circ$ y $b = -7^\circ$, lo que constituye un total de 30 puntos. Cada punto fue observado una sola vez con un tiempo de integración de 6 minutos. Como la temperatura de ruido del sistema es de 250°K , el ruido teórico por canal es de 0.02°K . Sin embargo, debido a la existencia de inestabilidades de largo período en el sistema receptor, que se traducen en una deformación variable en el tiempo de la línea de base, se ha determinado empíricamente que la temperatura mínima detectable para el tiempo de integración mencionado es

de 0.15°K . El rango de velocidades cubierto en nuestras observaciones es desde -450 km/s a $+300\text{ km/s}$. Esta primer etapa del relevamiento nos permitió delimitar la extensión sobre la esfera celeste del objeto, a la vez que sus límites respecto a sus velocidades radiales. En síntesis el objeto está ubicado entre $7^{\circ} < l < 10^{\circ}$ y $-2^{\circ} > b > -7^{\circ}$, a la vez que en ningún punto el objeto tiene velocidades radiales menores que -250 km/s . y mayores que -200 km/s .

Una vez delimitada la extensión espacial y en velocidad del objeto por medio de los filtros anchos realizamos una segunda etapa del relevamiento (sintonizando el equipo receptor de acuerdo a la información obtenida en la primer etapa) de la región con el banco de filtros angostos con la finalidad de mejorar la resolución en velocidad de nuestras observaciones. Esta segunda etapa del relevamiento fue realizada en un enrejado con un espaciado de 1° en la región comprendida entre $l = 7^{\circ}$ y $l = 10^{\circ}$, $b = -2^{\circ}$ y $b = -7^{\circ}$, lo que constituye un total de 24 puntos. Cada punto fue observado por lo menos dos veces en dos fechas diferentes sintonizando el equipo receptor en diferentes frecuencias, de tal modo de producir la intercalación de canales que nos permitiera obtener una resolución en velocidad de 2 km/s . De esta manera se ha observado cada punto con un tiempo de integración total no menor que 27 minutos por punto. Como la temperatura del sistema es de 250°K , el ruido térmico por canal para este tiempo de integración es de 0.03°K . Empíricamente se ha determinado que la temperatura mínima detectable por canal es de 0.2°K .

La tercer etapa de nuestro relevamiento ha consistido en la observación de dos enrejados con un espaciado de $0^{\circ}.5$ alrededor a los puntos donde de acuerdo a la etapa anterior se detectó gas. Debe tenerse en cuenta que la resolución en la línea de 21 cms . de nuestra antena de 30 metros es justamente de $0^{\circ}.5$. Se observó un total de 20 puntos más usando el mismo procedimiento y tiempo de integración que en la segunda etapa. Los puntos correspondientes al enrejado con espaciado cada $0^{\circ}.5$ están marcados en la figura 23.

La existencia de inestabilidades de largo período en las ganancias que se traducen en las deformaciones de la línea de base obligó a tomar calibraciones con un intervalo de una hora, con el fin de mantener los niveles de detección anteriormente mencionados. La calibración de temperaturas se realizó con un tubo de ruido de 10°K en la etapa del relevamiento en que se usó el banco de filtros anchos, y de 50°K en las etapas correspondientes al uso del banco de filtros angostos.

El problema de la curvatura de la línea de base fue resuelto sustrayendo a cada perfil del programa de observaciones el perfil de un punto del cielo tomado arbitrariamente como perfil sin

hidrógeno, que fue observado conjuntamente con cada calibración cada una hora. Como punto sin hidrógeno, se tomo el punto $l = 12^\circ$, $b = -6^\circ$. Las observaciones han demostrado que este punto no tiene hidrógeno con temperatura de brillo mayores que 0.2°K en el rango de velocidades que va de -100 a -350 km/s, ya que en caso contrario, en el conjunto de perfiles correspondientes al programa habría aparecido una deflección sistemática de temperatura negativa.

3) Descripción de los resultados.

En la fig. 22, se representa a modo de ejemplo el perfil correspondiente al punto donde se ha detectado la temperatura máxima.

En la tabla 9 se indican para cada punto los valores correspondientes a la temperatura pico T_p , la velocidad radial correspondiente al pico V_R , el ancho de potencia mitad ΔV y la densidad superficial N_H de átomos de hidrógeno neutro. Para el cálculo de esta última cantidad se ha supuesto una profundidad óptica pequeña y la validez de la ecuación:

$$N_H = 1.822 \times 10^{18} \int T_p dV \quad (\text{en unidades C.G.S.})$$

En la fig. 23 se han representado las isoclinas de brillo integrado N_H en unidades de 10^{18} átomos de HI/cm². Los puntos indican los puntos observados en este relevamiento. A partir de la figura 23 es evidente la forma alargada según latitud del objeto, así como que el núcleo de éste se encuentra fuera de la región observada por van der Kruit.

En dicha figura, también se indica al lado de los puntos donde se detectó el objeto, el valor correspondiente a la velocidad radial del pico. Es evidente que entre los puntos ubicados en una misma latitud galáctica se observa una diferencia sistemática en los valores de la velocidad radial, en el sentido de que ésta aumenta con el aumento de la longitud. El valor promedio de esta diferencia de velocidades es de 9 km/s en una distancia angular de medio grado.

Debe tenerse en cuenta que el efecto del movimiento del S.L.R. sobre la distribución de las velocidades radiales del objeto, tiene por una parte, un signo opuesto a la diferencia sistemática observada, y por otra parte, un valor aproximado de 2 km/s para medio grado de distancia angular. O sea que si sustramos la proyección del movimiento del S.L.R. sobre el objeto, la diferencia sistemática en velocidades radiales promediada aumentará de 9 km/s a 11 km/s aproximadamente.

4) Discusión de los resultados.

A partir de los valores dados en la tabla 9 se han realizado gráficos para investigar posibles correlaciones entre las cantidades N_H y ΔV , N_H y V_R , y V_R y ΔV . Solo en el primer caso se ha encontrado una correlación clara. En la fig. 24, se pone en evidencia que existe una tendencia a aumentar el ancho de potencia mitad con el aumento de la densidad superficial N_H . Este fenómeno común en las nubes de alta velocidad puede ser concebido como una consecuencia de efectos de proyección en el sentido de que cuando observamos hacia el centro de la nube estamos integrando mayores cantidades de gas y por lo tanto con una dispersión mayor en velocidades que se distribuyen según distancias espaciales mayores en profundidad, que cuando observamos en los bordes del objeto.

Como en el caso de las estructuras A y B anteriormente estudiadas, el problema básico en la interpretación de este objeto radica en la determinación de su distancia, problema que está íntimamente ligado a su origen.

En primer lugar, debemos mencionar que no se ha encontrado ninguna correlación del objeto con datos ópticos de la región que nos permitiera lograr una identificación de la estructura. Este hecho, sumado a su alta velocidad radial anómala, nos permite afirmar que se trata de un objeto ubicado a grandes distancias del sol,

Una vez desechada la hipótesis referente a un objeto cercano, podemos analizar si es posible la interpretación sobre el origen de este objeto en el marco de las dos teorías más importantes acerca de la naturaleza de las nubes de HI de alta velocidad. En primer lugar, la teoría de Cort sobre el origen de las nubes de alta velocidad no nos permite explicar la existencia de este objeto. Según los estudios de Cort las nubes de alta velocidad son parte del material intergaláctico que penetra en nuestra galaxia como consecuencia de su movimiento espacial hacia un punto ubicado en el segundo cuadrante y en latitudes positivas. Este hecho explicaría la alta concentración de nubes de HI con alta velocidad negativa existente en dicha región,

De acuerdo a esta teoría, sería de esperar para un objeto ubicado en la región en que se encuentra el nuestro, una velocidad radial positiva. Las observaciones demuestran lo contrario, lo cual nos obliga a desechar esta hipótesis. En segundo lugar, podemos considerar la teoría de Verchuur (1969) según la cual las nubes de alta velocidad pueden ser objetos en movimiento orbital alrededor de nuestra galaxia. De acuerdo a esta hipótesis debería aparecer una cierta relación entre las velocidades galactocéntricas y la longitud galáctica. En la figura 25 se reproduce un gráfico de Verchuur (1969) donde se incluyen las galaxias

del grupo local que se representan por medio de puntos, mientras que los complejos de nubes se representan por medio de cruces. Verachuur sugirió que la forma aproximada a una distribución de tipo senoidal como se observa en la figura 25, puede ser explicada suponiendo órbitas altamente elípticas alrededor de nuestra galaxia, incluso si ella se mueve a través de esa población extragaláctica de objetos.

La dispersión en velocidades del orden de 80 km/s alrededor de la curva media puede ser interpretada como una medida del movimiento propio de los objetos dentro del grupo local. Nuestro objeto, que se indica por medio de una C en el gráfico, es una de las tres excepciones (la más pronunciada) a la distribución senoidal de los objetos. Este hecho nos permite desechar esta hipótesis sobre el origen de esta estructura de HI. Cabe señalar que la nube P.S. marcada en el gráfico consiste en un remanente de HI, consecuencia de la interacción gravitacional de nuestra galaxia con la nube menor de Magallanes, durante un paraje cercano de ésta en su movimiento orbital alrededor de nuestra galaxia.

Sobre la base de la discusión anterior, podemos afirmar que el objeto C ha sido expulsado del centro, y que constituye una evidencia más de la actividad explosiva que se produce en esa región. Su ubicación en la esfera celeste y su velocidad radial confirman la asimetría descubierta por van der Kruit en los objetos de alta velocidad en las cercanías del centro galáctico.

La masa de HI de este objeto calculada sobre la base de una integración gráfica es

$$M = 70 R^2 \text{ (kpc)} M_{\odot}$$

que para una distancia R de 10 kpc equivale a 7000 masas solares. La energía cinética de traslación será

$$E_{ctr} = 3 \times 10^{49} R^2 \text{ (kpc)} \text{ ergios}$$

la cual para R = 10 kpc es de 3×10^{51} ergios. Se debe tener en cuenta, que la energía de la explosión que ha dado lugar a la expulsión de este objeto, debe entonces haber sido mayor, por lo menos en un orden de magnitud que la E_{ctr} , lo cual no puede ser explicado sobre la base del estallido ctr de una supernova de tipo normal.

La energía cinética interna calculada sobre la base de la ecuación

$$E_{c_{int}} = \frac{1}{2} M \left(\frac{\Delta V}{2}\right)^2 = 7 \times 10^{46} R^2 \text{ (kpc)} \text{ ergios}$$

mientras que la energía gravitacional interna

$$E_{\text{int}} = \frac{3}{5} G \frac{M^2}{R} = 1.6 \times 10^{43} R^3 \text{ (kpc)}$$

suponiendo una distribución esférica para el material, de un grado de diámetro.

Para $R = 10$ kpc el valor absoluto de la energía cinética interna es más de dos órdenes de magnitud mayor que el valor absoluto de la energía gravitacional interna. Este hecho indica que muy probablemente este objeto no es gravitacionalmente estable y se encuentra en expansión.

La densidad media del objeto suponiendo una distribución esférica y homogénea es

$$\bar{\rho} = \frac{2.3 \times 10^{-25}}{R \text{ (kpc)}} \frac{g_r}{\text{cm}^3} = \frac{0.13 \text{ átomos de HI}}{R \text{ (kpc)} \text{ cm}^3}$$

lo que significa una densidad volumétrica de HI aproximadamente dos órdenes de magnitud menor que la densidad correspondiente en los brazos espirales.

Sobre la base de la velocidad radial, y suponiendo $R = 10$ kpc. se puede calcular el tiempo máximo transcurrido desde que el objeto fue expulsado del centro galáctico. Este tiempo máximo es de 8 millones de años.

D) BÚSQUEDA DE HIDROGENO NEUTRO EN LA REGION CENTRAL DE LA GALAXIA
CON VELOCIDADES COMPRENDIDAS ENTRE -250 y -1000 km/seg.

1) Introducción.

En los últimos años se han acumulado evidencias observacionales sobre la existencia de fenómenos extraordinarios en las cercanías de los núcleos galácticos. En particular, los fenómenos de eyección de materia se han observado no sólo en galaxias peculiares, y Seyfert, sino también en galaxias ordinarias (Anderson y Kraft, 1969; Becklin y Neugebauer, 1969; Burbidge y Demoulin, 1969).

La consideración de que en el núcleo de nuestra galaxia también ocurren explosiones altamente energéticas radica en dos tipos de observaciones. En primer lugar, como veremos en el próximo capítulo la presencia de radiofuentes no térmicas cuyo espectro en el infrarrojo lejano es cualitativamente similar al de un núcleo Seyfert puede constituir, una evidencia directa, de tales fenómenos, (Becklin y Neugebauer, 1969; Low, Kleinmann, Forber y Aumann, 1969). El segundo tipo de evidencia proviene de las observaciones en la línea de 21 cms del HI en y fuera del plano galáctico. En las secciones anteriores, se ha mostrado que en la región central existen estructuras masivas de HI con velocidades radiales anómalas que indican un movimiento en sentido opuesto al de la rotación del disco galáctico. Este gas constituye una evidencia indirecta de explosiones ocurridas en el núcleo galáctico. Debido a las diferentes ubicaciones y velocidades radiales de las estructuras, debe aceptarse que la actividad explosiva del núcleo, tiene un carácter recurrente.

Van der Kruit (1971), combinando los cálculos de órbitas para nubes expulsadas con modelos de distribución de masas en el núcleo encontró que los movimientos de expansión del HI son el resultado de la expulsión de masa con muy alta densidad (10^3 ó 10^4 at/cm³) desde el núcleo según direcciones que forman ángulos grandes con el plano galáctico y con velocidades iniciales de eyección que llegan a ser mayores que 500 km/s, las cuales son comparables a las que se encuentran sobre la base de los estudios espectroscópicos en los casos de expulsión de gas en los núcleos Seyfert.

Las búsquedas de hidrógeno neutro realizadas hasta la fecha sobre la base de la línea de 21 cms en las cercanías del centro galáctico por Rougoor (1964), Kerr (1969) y van der Kruit (1970) han cubierto rangos de velocidades radiales para $|V_R| < 300$ km/seg.

Teniendo en cuenta que estas hipotéticas explosiones pueden tener un carácter periódico y que deben haber proveído al

gas eyectado energias cinéticas de 10^{54} ergios para las estructuras ubicadas fuera del plano y 10^{55} ergios a las estructuras en expansión ubicadas en el plano, y velocidades iniciales de eyección mayores que 300 km/seg era de interés extender la búsqueda de estructuras de hidrógeno neutro hacia velocidades mayores en los alrededores del centro galáctico con la finalidad de detectar gas con muy altas velocidades recientemente expulsado desde dicha región.

2) Observaciones.

Las observaciones fueron realizadas con el radiotelescopio de 30 metros del Instituto Argentino de Radioastronomía ubicado en el Parque Pereyra Iraola, Provincia de Buenos Aires.

Como estas eran las primeras observaciones a realizar en el Instituto adaptando al sistema receptor un nuevo amplificador paramétrico con un ancho de banda de 10 Mhz y un nuevo banco de 30 filtros anchos de 100 Khz, se debieron realizar numerosas pruebas y modificaciones hasta obtener las condiciones adecuadas de funcionamiento del equipo para la detección de señales de bajo ruido.

Con las innovaciones mencionadas cada observación cubre un rango efectivo de velocidades de 750 km/seg con una resolución en la línea de 21 cms de 25 km/seg. Las velocidades observadas fueron reducidas al sol y al S.L.R. sustrayendo un movimiento solar de 20 km/seg hacia $\alpha = 270^\circ$, $\delta = 30^\circ$ (1900.0).

Cada punto fue observado por lo menos dos veces con tiempos de integración totales, iguales ó mayores que 12 minutos. Como la temperatura de ruido del sistema es de 250 °Kelvin, la temperatura mínima detectable teórica por canal es de 0.07 °Kelvin. Sin embargo, debido a la existencia de inestabilidades de largo período en el sistema receptor que se traducen en una deformación de la línea de base, se ha determinado empíricamente que la temperatura mínima detectable para un tiempo de integración de 12 minutos es de 0°.20 Kelvin fuera del plano galáctico, En los puntos cercanos al plano galáctico, o sea para $|b| < 1^\circ$, debido a las fuertes contribuciones del continuo en esa región, la temperatura mínima detectable para el mismo tiempo de integración es de 0°.25 Kelvin.

La existencia de inestabilidades de largo período en las ganancias que se traducen en deformaciones de la línea de base obligó a tomar calibraciones con intervalos de una hora, con el fin de mantener el nivel de detección anteriormente mencionado. La calibración de temperaturas se realizó con un tubo de ruido de 10 °Kelvin.

El problema de la curvatura de la línea de base fue re-

suelto sustrayendo a cada perfil del programa de observaciones el perfil de un punto del cielo tomado arbitrariamente como perfil sin hidrógeno, que fue observado conjuntamente con cada calibración cada una hora. Como puntos sin hidrógeno se tomaron $l = 5^\circ$, $b = -5^\circ$ y $l = 355^\circ$, $b = 5^\circ$. Las observaciones han demostrado que estos puntos no tienen hidrógeno con temperaturas de brillo mayores que 0.20 Kelvin en el rango de velocidades que van de -250 a -1000 km/seg, ya que en caso contrario, en el conjunto de perfiles correspondientes al programa habría aparecido una deflexión sistemática de temperatura negativa.

Se observó un total de 100 puntos en el rango de velocidades radiales comprendido entre -250 y -1000 km/seg en la región del cielo $-5^\circ \leq l \leq 5^\circ$, $-5 \leq b \leq 5$ en un reticulado de un grado.

El proyecto inicial de este programa de observaciones era el de cubrir también las velocidades radiales positivas. Sin embargo, se decidió interrumpir la segunda parte del programa correspondiente a las velocidades radiales positivas. Ello se debe al hecho de que se tuvo información que Wrixon y Sanders (1973) simultáneamente estaban realizando con el radiotelescopio de 140 pies de Greenbank un programa de observaciones cuyos resultados, aún no han sido publicados, con el mismo objetivo que el nuestro, pero con condiciones instrumentales superiores ya que con una temperatura de sistema de 50 Kelvin y dos bancos independientes de 192 canales puede obtener con 5 minutos de integración una temperatura mínima detectable de 0.15 Kelvin con una resolución de 5.5 km/seg cubriendo un rango de velocidad efectivo de 1000 km/seg.

3) Resultados.

Para el conjunto de 100 puntos observados se encuentra que no existe hidrógeno neutro con velocidades radiales comprendidas entre -300 y -1000 km/seg con temperaturas de brillo mayores que 0.20 k para $|b| \geq 1^\circ$ y 0.25 k para $|b| < 1^\circ$.

Este resultado observacional negativo con respecto a la confirmación indirecta de expulsión de materia del núcleo galáctico en un período muy reciente de actividad se halla en aparente contradicción con las posibles evidencias directas de tal actividad. Ellas son la presencia de radiación continua detectada por Kerr y Sinclair 1966 y el comportamiento en el infrarrojo (Becklin y Neugebauer 1969) del núcleo galáctico. Los contornos de radiación continua se hallan ubicados a distancias menores que dos grados del centro galáctico y se distribuyen según una estructura de jet que emana de la radiofuente Sgr A y que forma un ángulo de 45° con el plano. El comportamiento del núcleo galáctico en el infrarrojo indica la posibilidad de la existencia

de una actividad similar a la que se desarrolla en los núcleos Seyfert aunque con energías 10^3 veces menores.

Además, como se verá en la próxima sección, Scoville y Solomon (1973) han encontrado a una distancia de 270 pc. del centro la existencia de un anillo de CH_2O y OH en expansión a partir del núcleo con una velocidad de 130 km/seg. Dicho anillo sería el remanente de una explosión ocurrida hace aproximadamente 10^6 años, lo cual indica la existencia de tal actividad en el núcleo en un período relativamente reciente.

La primera interpretación posible de nuestro resultado negativo es la de que si bien todavía existe una actividad relativamente reciente en el núcleo galáctico, las explosiones correspondientes que han dado lugar a la eyección reciente de materia no son lo suficientemente energéticas como para expulsar concentraciones de gas con velocidades mayores que 300 km/seg, como lo habría hecho el núcleo galáctico en períodos anteriores de su evolución.

En segundo lugar el resultado negativo de nuestras observaciones puede ser explicado sobre la base de la hipótesis de que si bien el núcleo de la galaxia está desarrollando una actividad explosiva similar a la que dió lugar a las estructuras de hidrógeno neutro en expansión que se observan en y fuera del plano, el gas más cercano al centro que está saliendo de él, se encuentra en su mayor parte ionizado, razón por la cual no puede ser detectado en la línea de 21 cms.

Esta hipótesis es apoyada por los estudios ópticos de gas ionizado en las regiones nucleares de galaxias normales cercanas, como ser M31, M51, NGC253 y NGC4939, los cuales han demostrado la presencia de grandes cantidades de gas ionizado con velocidades no circulares que llegan a ser en muchos casos mayores a la velocidad de escape del centro.

Por otra parte, en la región del centro de nuestra galaxia, como se verá en la próxima sección, el grupo del NRAO - MIT ha observado en la línea 109α la región de Sagitario en el rango de velocidades radiales $|V_R| < 140$ km/seg. Si bien allí no se detectó emisión discreta coincidente con la radiofuente Sgr A, se encontraron en sus inmediaciones tres regiones HII gigantes en los puntos de coordenadas galácticas (0.5,0.0), (0.7,0.1) y (1.1, -0.1) con temperaturas pico en las velocidades 47, 63 y -23 km/seg. respectivamente. La velocidad correspondiente a la radiofuente (1.1, -0.1) indica que ese gas ionizado se halla en expansión a partir del centro galáctico.

La posibilidad de detectar líneas de recombinación del hidrógeno en remanentes de explosiones, además de en regiones HII se apoya en los trabajos de Jackson y Kerr (1971) y Cesarsky y

Cesarsky (1973) quienes descubrieron la presencia de emisión débil en líneas de recombinación del hidrógeno en las cercanías de radiofuentes no térmicas. En este sentido es de particular interés la detección de líneas de recombinación del hidrógeno por Mader (1971), Lockman y Gordon (1973) y Roberts y Lockman (1970) en toda la región coincidente con la débil radiofuente del continuo que tiene una extensión de un grado cuadrado y está ubicada en el núcleo galáctico. El descubrimiento de líneas de recombinación en el núcleo no asociadas a fuentes discretas como son las regiones HII indica la posibilidad de que una gran fracción del gas en dicha región se encuentra en forma ionizada. En tal caso, el hidrógeno recientemente expulsado de la región central se encontraría por lo menos en esta etapa inicial en ese estado físico. Con el objeto de detectar gas con altas velocidades que está saliendo del núcleo, sería de interés extender la búsqueda de líneas de recombinación hacia afuera del plano.

La tercera interpretación posible de nuestro resultado negativo es la de que el hidrógeno que en la actualidad está siendo eyectado del núcleo se encuentra en su mayor parte en forma molecular, razón por la cual no es detectado en la línea de 21 cms. Como se verá en una sección posterior, se han detectado grandes cantidades de formaldeído y oxidrilo en forma muy condensada con movimientos anómalos en la región central, donde sus abundancias relativas al HI parecen ser mayores que en otras partes de la galaxia. El anillo de moléculas en expansión descubierto por Scoville y Solomon (1973) es una confirmación directa de esta idea,

Por otra parte, si la radiación infrarroja que proviene del núcleo galáctico tiene origen en la radiación térmica de granos de polvo, la masa total de éste en el núcleo ($R < 700$ pc) es de $2 \times 10^6 M_{\odot}$. La masa total del hidrógeno debe ser 10^2 veces mayor, o sea $2 \times 10^8 M_{\odot}$. Esta cantidad es casi dos órdenes de magnitud mayor que la encontrada a partir de las observaciones en 21 cms. Si esta masa de polvo es correcta, el H tendría que estar en su mayor parte en forma molecular. Por ello es de gran interés la posibilidad de detección del H_2 en la región central. También sería interesante la búsqueda de emisión en líneas moleculares en las estructuras de HI eyectadas del núcleo, cosa que hasta la fecha no ha sido realizada.

III-OTROS ESTUDIOS DEL CENTRO GALACTICO.

1) Estudios en el continuo de radiofrecuencias.

El interés de estos estudios para el objeto de este trabajo radica en el hecho de que pueden permitir una mejor comprensión de los procesos físicos que ocurren en el núcleo galáctico. En particular, nos interesan las radiofuentes de naturaleza no térmica, ya que éstas en general se originan en eventos explosivos, que son los que seguramente pueden dar lugar a la eyección de materia. Es por ello que aquí pasaremos por alto la discusión de aquellas radiofuentes de carácter térmico.

La radiofuente Sgr A:

Piddington y Minnett (1951) descubrieron en el centro galáctico una radiofuente discreta brillante a la que llamaron Sgr A. Observaciones posteriores de Haddock, Mayer y Sloanaker (1954) en 3.2 Gc/s. mostraron que esta fuente consistía en una componente brillante de diámetro angular pequeño ($\varphi < 3'$) inserta en una región de emisión más extensa. Más tarde, sobre la base de los datos obtenidos en el rango 1.4 - 15.5 Gc/s. Downes y Maxwell (1966) sostuvieron por primera vez que esta radiofuente era de naturaleza no térmica a pesar de que en la banda de los decímetros y centímetros la emisión no manifestaba polarización. A su vez delimitaron la extensión de la fuente extensa en la cual está embebida Sgr A. ($l = \pm 0^{\circ}.5$, $b = \pm 0^{\circ}.2$).

Debe recalcar que hasta hace poco tiempo la cuestión sobre si Sgr A es una fuente térmica o no térmica no estaba totalmente resuelta. Ello se debía a que los cálculos del índice espectral daban valores sólo levemente mayores a 0.1, el cual es indicativo de la emisión libre - libre. Además se agregaba la ausencia de polarización lineal, la existencia de emisión infrarroja intensa y extensa de posible origen térmico en el centro galáctico (Becklin y Nengebauer, 1968) y emisión en la línea H109 α en un haz de 6' centrado en Sgr A. Sobre la base de esta información era posible seguir interpretando a Sgr A como una fuente térmica.

Integrando al análisis de esta cuestión las nuevas observaciones en bajas y altas frecuencias, Jones (1974) demostró definitivamente el carácter no térmico de esta fuente. Encontró un índice espectral $\alpha = 0.39 \pm 0.05$, a la vez que descubrió que en radiofrecuencias bajas, el flujo de Sgr A decrece bruscamente por debajo de los 200 MHz, debido probablemente a la absorción libre - libre. La forma del espectro es $F_{\nu} \propto \nu^{-\alpha} e^{-(\nu_m/\nu)^2}$ donde ν_m es la frecuencia para la cual la profundidad óptica libre - libre es uno. Para nuestro caso $\nu_m = 190$ MHz.

Por otra parte, Mezger y otros (1972) han anunciado la detección de líneas de recombinación del hidrógeno en la región extensa de baja intensidad que ahora se sabe es de origen térmico, descubierta por Downes y Maxwell (1966).

El tipo de espectro que manifiesta Sgr A indica que la emisión se origina en un mecanismo sincrotrónico. Sobre la base de esta suposición Downes y Maxwell (1966) usando las ecuaciones de Shklovsky (1960) calcularon el campo magnético y la energía total de la fuente. El tiempo de vida media de la fuente calculado a su vez sobre la base de estos valores es de 10^4 a 10^6 años, valor similar al que se encuentra para los fenómenos violentos que ocurren en los núcleos Seyfert.

Debido al hecho de que Sgr A está aparentemente localizada en el centro galáctico a menudo se la ha interpretado como un fenómeno análogo al que ocurre en los núcleos de galaxias activas y QSOs. Como Sgr A es varios ordenes de magnitud menos luminosa que las fuentes análogas en otras galaxias se la puede considerar como una versión en miniatura de esas fuentes extragalácticas. Sin embargo, debido a que su energía total es menor que 10^{50} erg no puede haber provocado una eyección de materia considerable en tiempos recientes.

Por otra parte, Sgr A puede ser considerada como el remanente de una Supernova. Los argumentos a favor de esta hipótesis son varios. En primer lugar, su luminosidad es similar a la calculada para Cassiopeia A y la Nebulosa Crab. En segundo lugar, la relación brillo - diámetro de Sgr A cae dentro de la encontrada sobre la base de estadísticas por Ilovaisky y Lequeux (1972) para los remanentes de Supernovas. En tercer lugar, su índice espectral es cercano al valor medio encontrado para los remanentes de Supernovas conocidas, y más pequeño que el que corresponde en general para las fuentes extragalácticas.

Por último, las observaciones recientes de Jones (1974) parecieran indicar que Sgr A no está exactamente ubicada en el centro dinámico de la galaxia, sino a una distancia de él de 3 pc.

Aunque sugestivos, ninguno de estos argumentos prueba concluyentemente que Sgr A sea un remanente de Supernova. Una prueba de tal indole sería la detección de un pulsar en Sgr A.

En caso de que Sgr A fuera un remanente de Supernova no nos brindaría ninguna clave para la comprensión de la causa de los eventos explosivos con energías de 10^{55} a 10^{57} erg que deben haber ocurrido en el pasado para que el núcleo expulsara las grandes cantidades de gas observadas.

Estructuras inclinadas respecto al plano galáctico.

Ya se ha señalado que las estructuras de hidrógeno neutro con velocidad anómala fuera del plano galáctico podían ser expli

cadras por medio de una expulsión de materia según direcciones que forman ángulos grandes con dicho plano. Por ello es de suyo interés saber si existe en el continuo algún tipo de evidencia directa que haga patente tal mecanismo.

Kerr y Sinclair (1966) realizaron un relevamiento en 20 cms de la región $l = 355^\circ$ a 5° , $b = -3^\circ$ a $+3^\circ$. Además, del contorno principal ubicado a lo largo del plano galáctico, encontraron dos estructuras que emergen de Sgr A, inclinadas respecto de dicho plano en unos 50° y que llegan hasta latitudes $b = +1^\circ$ y $b = -1^\circ$. Estas estructuras están ubicadas en los cuadrantes $l > 0$, $b < 0$ y $l < 0$, $b > 0$ coincidentes con aquellos en los cuales se verifica la existencia de mayores cantidades de hidrógeno neutro con velocidad anómala.

Estas estructuras en el continuo pueden estar asociadas con jets de materia expulsada de la vecindad del centro, respecto al cual son simétricas.

Debido al hecho de que el estudio de estas estructuras solo ha sido realizado en 20 cms y que por consiguiente no se dispone de información sobre la forma de su espectro, no se ha podido aún inferir la naturaleza del mecanismo radiativo. Un trabajo dirigido a dirimir esta cuestión sería de suma importancia, ya que puede dar elementos de juicio sobre la eyección de materia en el núcleo y el mecanismo físico que la produce.

2) Estudios en líneas de recombinación del hidrógeno y moleculares.

Líneas de recombinación.

Mezger y Höglund (1967) realizaron por primera vez una búsqueda de emisión en la línea 109α del hidrógeno ($\lambda = 6$ cms) y en el rango de velocidades $|v_r| \leq 140$ km/seg, en la región del centro galáctico.

Una primer consecuencia importante de esas observaciones consistió en la no detección de emisión en dicha línea en la radiofuente Sgr A (0.0, -0.0), lo cual permitió apoyar la hipótesis sobre el origen no térmico de esta fuente. En la región del centro galáctico sobre la base de la línea $H109\alpha$ se han detectado tres regiones HII gigantes en los puntos de coordenadas galácticas (0.5, -0.0), (0.7, -0.1) y (1.1, -0.1) con velocidades radiales de 47, 63 y -23 km/s respectivamente. La fundamentación de que estas radiofuentes se hallan ubicadas en las cercanías del centro galáctico radica en que en caso contrario la velocidad radial esperada de la rotación debería ser muy pequeña. Además, dichas radiofuentes en el continuo muestran el brazo de 4 kpc en absorción. Sobre la base de estos argumentos se concluye que estas radiofuentes deben estar asociadas al disco con rotación rápida del centro galáctico.

Debe observarse que la fuente ubicada en (1.1, -0.1) tiene velocidad negativa, cuando en la parte interior de la galaxia, de acuerdo a la rotación normal es de esperar en dichas coordenadas velocidades positivas. Se concluye entonces que dicha región de HII se mueve con velocidad anómala.

La relación entre la temperatura de la línea y la temperatura del continuo de estas regiones HII ha permitido inferir temperaturas electrónicas que resultan ser similares a las de las regiones HII ubicadas en los brazos espirales de la galaxia.

Cesarsky y Cesarsky (1973) encontraron en remanentes de Supernovas emisión en líneas de recombinación del hidrógeno, lo cual permitió afirmar que no siempre las líneas de recombinación están asociadas a las regiones HII clásicas y a mecanismos de ionización radiativos. Estos autores interpretan que en regiones frías con $T_e < 400 \text{ }^\circ\text{K}$ se puede originar emisión en líneas de recombinación. En este sentido, fue de particular interés el anuncio hecho por Mader (1971) sobre la detección de líneas de recombinación en la región coincidente con la emisión débil y extensa en el continuo ubicada en el núcleo galáctico. Lockman y Gordon (1973) en la línea $H159 \alpha$ (1.621 GHz) y Roberts y Lockman (1970) sobre la base de las líneas $H156 \alpha$, $H166 \alpha$, $H167 \alpha$ y $H168 \alpha$ encontraron un resultado similar al de Mader.

La emisión en líneas de recombinación no solo se encuentra en las fuentes discretas (regiones HII), sino también en toda la zona de la fuente débil y extensa de por lo menos 1 grado cuadrado de extensión ubicada en el núcleo galáctico. Esta presencia de emisión en regiones donde no existen fuentes del continuo discretas sugiere que al menos algunas de las líneas pueden formarse en una región extensa.

Por las características de las líneas, Lockman y Gordon (1973) concluyeron que éstas no se originan en condiciones de equilibrio termodinámico, y que se forman en nubes frías del medio interestelar que tienen temperaturas electrónicas de $20 \text{ }^\circ\text{K}$ y densidades de $3 \text{ electrones cm}^{-3}$.

El descubrimiento de líneas de recombinación en el núcleo galáctico no asociadas a fuentes discretas como son las regiones HII indica la posibilidad de que una gran fracción del gas en dicha región se encuentre en forma ionizada.

En la sección IID) se señaló la posibilidad de que el gas expulsado del núcleo galáctico con altas velocidades se encuentre en su etapa inicial en forma ionizada. La dificultad principal para la realización de una búsqueda de líneas de recombinación en altas velocidades radica en la baja intensidad de éstas líneas cuando se originan en regiones no asociadas con las regiones HII clásicas.

Líneas moleculares

Los estudios recientes de la región central de la galaxia sobre la base de líneas moleculares en el rango de las radiofrecuencias han abierto un extenso campo para la comprensión del estado de la materia en dicha región. Allí las líneas moleculares se observan fundamentalmente en absorción sobre el espectro continuo de las radiofuentes. En la fig. 26 reproducida del trabajo de Bolton y otros (1964) se superponen los perfiles de absorción contra Sgr A del hidrógeno neutro (líneas punteadas) y del óxido de hidrógeno OH en 18 cms. (líneas continuas).

Como puede observarse, la absorción en el HI y OH se produce tanto en velocidades radiales positivas como negativas, lo cual indica la existencia de gas con movimiento hacia afuera y hacia adentro de la región central.

Como puede observarse en la figura, a las componentes fuertes de absorción del OH en -130 y $+40$ km/s corresponden absorciones en el HI débiles. Una situación inversa se observa en las absorciones fuertes del HI correspondientes al HI local y del brazo de 4 kpc., donde las contrapartidas de absorción del OH son débiles. La línea en absorción del CH_2O (formaldehído) en 6 cms observadas por Scoville y Solomon (1972) manifiestan una similitud de comportamiento general con las líneas del OH. Las líneas moleculares en toda la región central de la galaxia se observan predominantemente con velocidades radiales mayores que 30 km/s. La diferencia con el HI se debe según Scoville y Solomon (1972) a que el OH y CH_2O se encuentra por una parte en forma más condensada que el HI, y por otra parte, a variaciones reales en las diferentes partes de la galaxia en las abundancias relativas $\text{CH}_2\text{O}/\text{HI}$ y OH/HI . Esto puede significar que la temperatura de spin de 21 cms es muy baja en la mayoría de las nubes de CH_2O y OH, pero, ya que en 21 cms. en muchas de estas nubes el HI no se observa ni en emisión ni en absorción, la explicación más razonable es que en estas nubes densas de la región central una gran fracción del hidrógeno se encuentra en forma molecular. Esta puede ser la base para comprender el resultado negativo de nuestra búsqueda de HI a muy altas velocidades expuesto en la sección IID). Si suponemos que el núcleo ha expulsado materia hace menos de 10^7 años es de esperar que el gas con muy alta velocidad, que debe ser el expulsado más recientemente sea el que más conserve las características físico-químicas iniciales.

En este sentido, sería de interés observar líneas moleculares en las nubes de HI con velocidades anómalas ubicadas fuera del plano galáctico. Probablemente las líneas moleculares sean observadas en absorción contra la radiación de fondo de 3 °K. En

particular, cabe señalar, que la temperatura de excitación correspondiente a la transición de 6 cms del CH_2O es menor que 3°K en las nubes cercanas al centro galáctico.

Scoville y Solomon encontraron 15 nubes de CH_2O coincidentes en general con nubes de OH, de las cuales 4 pertenecen al disco nuclear, estando una de ellas asociada a la región HII Sgr B2, que emite $\text{H}109\alpha$ con una velocidad coincidente con las líneas moleculares. Las masas de estas nubes fueron estimadas en $10^5 - 10^6 M_\odot$ con densidades del orden de $10^3 - 10^4 \text{ át}^{\text{H}}/\text{cm}^3$. Como resultado interesante de estos trabajos se concluye que, en el centro galáctico deben existir nubes muy densas y masivas, cuya contribución al medio interestelar particularmente en dicha región puede ser sustancial.

Scoville y Solomon (1973) en un segundo trabajo extendieron sus observaciones del CH_2O en un rango de longitudes y latitudes mayor que el de su trabajo anterior. Encontraron que en $b = -12^\circ$ las nubes de CH_2O en velocidades negativas presentan una secuencia continua similar a la de la molécula de OH. En el diagrama $l-v$ sobre la base del CH_2O , OH y HI (estructura V de van der Kruit) los objetos tienen una distribución elipsoidal que indica según Kaifu, Kato e Iguchi (1972) la existencia de un anillo en expansión con $V_{\text{exp}} = 130 \pm 5 \text{ km/s}$, $V_{\text{ROT}} = 50 \pm 20 \text{ km/s}$ y $R = 270 \pm 30 \text{ pc}$.

La masa total del anillo es de más $10^8 M_\odot$ sobre la base de la suposición de que la mayor parte del hidrógeno se encuentra en forma molecular. Esta suposición se basa en el hecho de que los cálculos de la masa según van der Kruit del hidrógeno neutro para la estructura V por lo menos es 2 órdenes de magnitud menor que la masa calculada sobre la base de las líneas moleculares del OH y CH_2O .

Para los cálculos de las densidades y masas de estas estructuras se supone que la proporción de HI/OH es de 10^7 a 10^8 tal como ocurre en las regiones HII típicas, lo cual da lugar a una densidad del hidrógeno de 10^3 a 10^4 por cm^3 . Esto es consistente con la detección en ellas de líneas de emisión en 1.3 cms. del amoníaco (NH_3), el cual requiere una densidad mayor de partículas que $10^3/\text{cm}^3$ para la excitación correspondiente a esa emisión.

El descubrimiento por Scoville y Solomon (1973) de una estructura de CH_2O en $l = 2^\circ.30$, $b = -6^\circ$ con 240 km/s confirmó la existencia de gas nubecular en la parte exterior del disco nuclear. Sin embargo, la ausencia de moléculas con alta velocidad en $|l| < 1$ sugiere la posibilidad de la existencia de grandes proporciones relativas de partículas sólidas en la región interior del disco nuclear. Como veremos en la próxima sección, este hecho puede ser la clave para comprender la emisión fuerte en el infra-

rojo de la parte central de la galaxia.

Resumiendo los resultados de interés para el objeto de nuestro estudio que se obtienen sobre la base de las líneas moleculares son los siguientes. En primer lugar, muy probablemente el gas expulsado del núcleo galáctico tiene una estructura inicial de nubes compactas de alta densidad (10^3 a 10^4 át H/cm³) muy masivas (10^5 - $10^7 M_{\odot}$) donde la mayor parte del gas se encuentra en forma molecular. Esto podría explicar la ausencia de nubes de HI en 21 cms con muy altas velocidades en las cercanías del centro galáctico. En este sentido es de gran interés precisar los cálculos de las energías de las transiciones más probables en el rango de radiondas del H₂ con la finalidad de realizar una búsqueda de esta molécula en la región central de la galaxia.

No debe descartarse la posibilidad de que una gran fracción de la materia en el momento de ser expulsada del núcleo esté en estado sólido. Este se apoya en la ausencia de líneas moleculares con altas velocidades en $|v| < 1$.

En segundo lugar, el diagrama l-v de la distribución del OH y CH₂O indica la existencia de un anillo en expansión con una velocidad de 130 km/s ubicado a 270 pc. del centro galáctico. La masa del anillo se estima en 10^8 a $10^9 M_{\odot}$ con una energía cinética de expansión de 10^{55} - 10^{56} ergios lo cual sugiere una explosión ocurrida hace 10^6 años con una energía total que excede los 10^{56} ergios (Kaifu, Kato e Iguchi, 1972). La existencia de este anillo en expansión sumada a los resultados anteriores confirma la periodicidad de la actividad explosiva del núcleo.

3) Estudios en el infrarrojo.

Una fuente de información bastante reciente sobre el núcleo de la galaxia es la radiación infrarroja proveniente de él. La ventaja que presentan las observaciones en este rango de longitudes de onda radica en el hecho de que para ellas el material interestelar ^{es} casi transparente.

Becklin y Neugebauer (1968) observando en dirección al centro galáctico en 1.65, 2.2 y 3.4 micrones, descubrieron que su estructura consiste en; 1) Una fuente dominante de 5' de diámetro; 2) Una fuente puntual centrada en esta fuente dominante; 3) Una componente de fondo extensa que coincide con el plano galáctico, y 4) Fuentes discretas extensas adicionales. La comparación con los datos radioastronómicos demostró que la fuente dominante en el infrarrojo coincidía con la radiofuente Sgr A tanto en coordenadas como en tamaño.

A partir de la radiación en el rango de longitudes de onda anteriormente mencionado ^{se} concluyó que la radiación infrarroja de fondo muy probablemente se originaba en estrellas con una temperatura media de cuerpo negro, de unos 4000 °K ubicadas en el núcleo de la galaxia. Sin embargo, el origen no térmico de toda o una parte de esta radiación para longitudes de onda mayores que 2.2 μ no podía ser excluido.

Becklin y Neugebauer (1969) más tarde extendieron el rango de sus observaciones a 1.65 - 19.5 μ , encontrando que la radiación puntual mencionada anteriormente se originaba en una fuente de 1 pc. de diámetro coincidente con Sgr A. Esta fuente puntual muy intensa tiene una densidad de flujo creciente con el cuadrado de la longitud de onda hasta 19.5 μ , lo que permitió afirmar que esta fuente discreta no se origina en estrellas del tipo K y M como la radiación infrarroja de fondo del estrato galáctico.

Las observaciones de Hoffmann y Frederick (1969) en 100 μ dieron como resultado sorprendente una densidad de flujo de 3 órdenes de magnitud mayor que las observadas en los rangos anteriores, y 5 órdenes de magnitud mayor que la obtenible sobre la base de la extrapolación de la emisión de un cuerpo negro con 4000 °K. Estas observaciones obligaron a desechar definitivamente la hipótesis de estrellas K y M enrojecidas por el material interestelar como las responsables de la emisión infrarroja de la parte nuclear de la galaxia en el rango de longitudes de onda mayores que 2.2 μ .

La potencia de la fuente infrarroja de 1 pc. de diámetro es de 3.2×10^{41} erg/s, que es similar a la emisión de 80 millones de estrellas similares al sol. En la fig. 27, donde se ha representado el espectro infrarrojo de esta fuente, se puede ver que el 50% de la energía es emitida entre 50 y 350 μ .

Sobre la cuestión del proceso físico responsable de esta emisión se barajaron dos hipótesis: 1) la energía es de naturaleza térmica, o sea, emitida por polvo calentado por una fuente interna, invisible y de alta energía, 2) es radiación sincrotrónica debida a electrones relativistas de vida media breve, acelerados en un campo magnético de un centenar de gauss.

La primera hipótesis tiene como elemento a favor la presencia en el centro galáctico de óxido de hidrógeno, amoníaco y formaldehído en emisión, los cuales están en general asociados a la materia en estado sólido. Por consiguiente, es razonable pensar en una nube de polvo muy densa calentada por fuentes interiores. La dificultad principal de este modelo radica en la alta densidad de polvo y la comprensión del mecanismo de calentamiento necesario para producir el flujo observado.

Respecto a la segunda hipótesis Kleinmann y Low (1970) advirtieron que hay radiación infrarroja no estelar que se encuentra en los núcleos de galaxias peculiares, tal como las Seyfert, pero con intensidades de varios órdenes de magnitud mayor. El hecho de que el espectro infrarrojo de los núcleos tiene en general la misma forma, indica que todas las galaxias emiten en el infrarrojo lejano por un proceso físico común. Un factor de 10^7 separa a las fuentes más débiles de las más luminosas, las cuales irradian en el infrarrojo 1000 veces más que la emisión total de una galaxia espiral.

El descubrimiento en algunos núcleos de variaciones de corta escala de tiempo en la densidad del flujo infrarrojo indica la presencia de fuentes compactas muy pequeñas.

Low (1970) intentó explicar las propiedades observadas de estos objetos con un modelo físico de mecanismos explosivos que diera cuenta de la enorme energía desarrollada y explicara porqué la mayor parte de la radiación está concentrada en el infrarrojo lejano. Es de particular interés para nuestro estudio la hipótesis de que en los núcleos de las galaxias la materia se genera en forma continua, de la cual una fracción es transformada en radiación y el resto es eyectada en forma de brazos espirales.

En la galaxia M82 que tiene un núcleo infrarrojo intenso existen evidencias espectroscópicas de una cantidad considerable de materia eyectada por una explosión cataclísmica producida en su núcleo hace 2×10^6 años.

Si las galaxias se generan a partir de sus núcleos entonces, la radiación infrarroja observada puede ser directamente proporcional, o estar al menos directamente relacionada con la velocidad de generación de masa, de tal modo que, cuanto más joven es la galaxia, más luminosa será en el infrarrojo.

Alfén y Elvius (1969) encontraron que un 17 por ciento de

la energía desarrollada en la aniquilación protón-antiprotón se va en electrones y positrones de 100 Mev. Si se crean iguales cantidades de materia y antimateria, es posible convertir una gran fracción de la masa directamente en partículas relativistas que radiarían en el infrarrojo por un tipo de proceso sincrotrónico. En un campo magnético de 100 gauss, el pico de la distribución espectral para electrones de 100 Mev. se encuentra precisamente en la longitud de onda de 100μ .

Según Low, las fuentes de radiación infrarroja en los núcleos, son las regiones de generación de los electrones relativistas, cuyas dimensiones están limitadas por la vida media de estos electrones relativistas de 100 Mev. en un campo de 100 gauss y que es de 200 segundos, lo que da lugar a dimensiones menores que 10^{13} cms. Estas regiones que las designó con el nombre de "irtrones", crecen por la acumulación de materia hasta que explotan dando lugar a la radiación y eyección de materia observada en los núcleos galácticos. La confirmación o refutación de la teoría de los "irtrones" de Low, radica en la posibilidad de obtener información en el infrarrojo con una resolución angular de $0^{\circ}.5$.

Resumiendo los resultados de estas investigaciones podemos concluir lo siguiente. En primer lugar, la radiación en 2.2μ tiene origen en las estrellas enanas K y M del núcleo. En particular, en M31 esta radiación es proporcional a la densidad estelar, lo cual seguramente también ocurre en nuestra galaxia. En segundo lugar para la fuente de 1 pc de diámetro, debemos suponer para longitudes de onda mayores un origen diferente de la radiación ya que su distribución espectral no puede ser explicada por la de un cuerpo negro de 4000°K . Por ello se han planteado dos hipótesis; la que sostiene que la radiación es emitida por el polvo interestelar calentado por fuentes interiores, y la que sostiene que el origen de esta radiación consiste en electrones relativistas de 100 Mev., que espiralan en campos magnéticos de 100 Gauss. La dificultad de la hipótesis de polvo radica en que no puede ser un mecanismo apropiado para la radiación infrarroja de los núcleos Seyfert (que tienen la misma forma espectral que la fuente de 1 pc. en nuestra galaxia), ya que los tamaños necesarios de las nubes de polvo son incompatibles con las variaciones rápidas en la densidad de flujo detectadas en esos núcleos. Por otra parte, la dificultad de la hipótesis sincrotrónica radica en las posibilidades observacionales de su confirmación, ya que la corta vida media de los electrones impone límites pequeños al tamaño de las fuentes de radiación, que con los instrumentos disponibles actualmente no podrían ser resueltas.

4) Estudios en radiación X y γ .

Rayos X:

Las observaciones hechas recientemente por medio de cohetes y satélites en el rango de los rayos X comienzan a agregar un cúmulo grande de información sobre la variedad de fenómenos que se manifiestan en los eventos violentos, y en particular los que ocurren en los núcleos de las galaxias.

En la parte central de nuestra galaxia, sobre la base de las observaciones realizadas con el satélite UHURU, Kellogg y otros (1971) confirmaron la existencia de una fuente extensa de emisión X de intensidad moderada con un espectro inusual centrada cerca de Sgr A y coincidente con los contornos de isointensidad de la fuente extensa del infrarrojo lejano.

Además de esta fuente extensa que tiene una dimensión de aproximadamente dos grados, se encuentran fuentes puntuales, distanciadas unos pocos grados del centro galáctico, algunas de las cuales tienen intensidad variable, que llega a ser de un orden de magnitud en una escala de tiempo de 5 días.

La potencia irradiada por la fuente extensa sobre la base de las observaciones entre 2 y 20 keV, suponiendo que tiene un índice espectral de -0.4 y está ubicada a 10 kpc es de 1.4×10^{37} erg/s. El corte en 2.7 keV que presenta el espectro de la fuente extensa indica un aumento del 50% en la materia absorbente entre el sol y el centro galáctico, en comparación con las otras fuentes ubicadas a pocos grados de Sgr A. Este aumento de la absorción en GCX puede deberse a la existencia de material interestelar adicional en el núcleo, o a absorción en la misma fuente.

El espectro de CGX no se adapta al de un cuerpo negro ya que la distribución espectral más la absorción da lugar a un índice espectral muy bajo de -0.4 , lo que implica una temperatura de 1.9×10^8 °K, que es excesivamente grande.

Es difícil concebir una fuente de radiación X de origen no térmico con una extensión de 300 pc. Se podría esperar que la distribución espacial de la radiación X siguiera la distribución de la materia, la cual de acuerdo a los estudios de rotación diferencial debe ser más compacta. El hecho de que la fuente de radiación X es más extensa pueda indicar que varios centros de actividad X han sido eyectados unos pocos centenares de parsecs del núcleo. Para resolver esta cuestión, es necesario aumentar la resolución angular en los instrumentos que captan la radiación X.

Como puede verse, en este rango de frecuencias nos encontramos en una situación similar a la que nos conduce la información obtenida en el infrarrojo. El espectro de la radiación es aparentemente de naturaleza no térmica, pero existe dificultad para concebir una fuente única extensa, por lo que la hipótesis más

plausible parece ser la de una multiplicidad de fuentes discretas, que para ser detectadas como tales debe aumentarse la resolución angular.

Respecto a las fuentes de radiación X extragalácticas, la información espectral sobre las galaxias 3C273 y CenA no es todavía lo suficientemente buena como para resolver sobre la verdadera naturaleza de esta emisión. De todos modos a pesar de que el mecanismo de generación de rayos X en M87 es dudoso, las primeras evidencias de Adams y otros (1969) sugieren un mecanismo de emisión sincrotrónica desde un Jet central que sale del núcleo y que es visto en fotografías de larga exposición. El problema principal que presenta esta explicación es que el modelo sincrotrónico implica tiempos muy cortos para la vida media de los electrones altamente relativistas.

Otra galaxia interesante que emite radiación X es la NGC5128, cuyo centro está cruzado por una estructura de polvo, y además su imagen óptica tiene extensiones débiles a lo largo del eje mayor. Burbidge y Burbidge (1972) encontraron evidencias de que las componentes de radio han sido eyectadas a lo largo del eje de rotación de la galaxia, y que la estructura de polvo que cruza el centro es el remanente de una eyección que está retornando hacia el plano de esa galaxia.

En el caso de NGC5128, no hay ninguna evidencia sobre la existencia de gas caliente que pueda emitir rayos X por mecanismos térmicos.

Rayos γ :

En los últimos años se ha llegado a la conclusión de que las partículas relativistas constituyen una fracción importante de la energía en varios objetos celestes y en ciertas regiones de nuestra galaxia y del universo. Los rayos γ (aquellos que tienen más de 50 Mev) están íntimamente relacionados a las partículas relativistas y a los procesos nucleares de alta energía.

Los electrones relativistas pueden emitir rayos γ por proceso sincrotrónico al ser deflectados por campos magnéticos, por bremsstrahlung al pasar a través de la materia, y por efecto Compton inverso al interactuar con fotones. También se origina radiación γ en la interacción de los rayos cósmicos con la materia interestelar y en la aniquilación materia-antimateria.

Los primeros estudios de Clark y otros (1968) y de Fichtel y otros (1969) mostraron que el flujo de rayos γ proveniente del cielo es anisótropo, con intensidades mayores en la dirección del plano galáctico, y con un máximo en la dirección del centro. En esta última región existe una fuente difusa sobre la cual se han detectado superpuestas dos fuentes discretas.

En el caso de los rayos γ provenientes del centro galác-

tico nos encontramos nuevamente en una situación similar a la radiación infrarroja y de rayos X, en el sentido de que hasta la actualidad no se ha podido dirimir la cuestión sobre si la fuente central es una fuente interestelar extensa y difusa ó si consiste en una gran cantidad de fuentes discretas compactas. Una situación similar se da respecto al mecanismo físico que genera esta radiación. Hasta la fecha no existe suficiente información observacional como para dirimir esta cuestión. Sin embargo, Fazio (1973) y otros autores sostienen que el mecanismo más efectivo para la producción de radiación γ consiste en la interacción de los rayos cósmicos con la materia interestelar. Cuando un protón de rayo cósmico colisiona con el hidrógeno interestelar, se produce gran cantidad de mesones π^0 , cada uno de los cuales decae en dos rayos γ . Tal modelo produce una gran cantidad de radiación γ con energías mayores que 100 Mev.

Levy y Goldsmith (1972) estudiando la reacción anteriormente mencionada encontraron que la distribución espectral de la radiación γ producida por la interacción de la radiación cósmica con el hidrógeno interestelar tiene un máximo en 70 Mev. Los cálculos teóricos dan una buena concordancia entre el flujo predicho sobre la base de la reacción $p + p \rightarrow p + p + n \pi^0$, y el flujo observado.

Es de particular interés, profundizar en la distribución espectral de la radiación observada con el fin de refutar o verificar el mecanismo que toma al mesón π^0 como fase intermedia del mecanismo físico responsable de la radiación observada.

IV-CONCLUSION GENERAL.

En base a las observaciones en la línea de 21 cms. del hidrógeno neutro se ha llegado a la conclusión de que en la región central de nuestra galaxia existe un tipo de actividad cuya manifestación observacional más notable es la expulsión de materia.

En el capítulo I se realizó una síntesis de los antecedentes históricos sobre esta cuestión. Los relevamientos sobre el plano galáctico de Dwingeloo y Parkes ya habían puesto de manifiesto la existencia de estructuras de HI en expansión a partir del centro galáctico. Las estructuras más prominentes con esta característica, descubiertas en estos trabajos, son el brazo de 4 kpc. con una velocidad de expansión de 53 km/s. y un brazo ubicado detrás del centro galáctico con un movimiento de 135 km/s, que más tarde Wrixon y Penzias (1972) identificaron como parte de un anillo en expansión ubicado a 2.4 kpc. del centro con una velocidad de rotación de 170 km/s.

Por otra parte, los diagramas l-V de Parkes habían mostrado que el gas de alta velocidad del núcleo galáctico ($R < 800$ pc) está distribuido según una estructura inclinada en 8° respecto al plano galáctico.

Esta distribución inclinada del HI también se encontró en las estructuras con velocidad anómala ubicadas fuera del plano galáctico. Van der Kruit halló que el gas con velocidad prohibida se encuentra en general en los dos cuadrantes: para $V_R > 0$ en $l > 0$ y $b < 0$, para $V_R < 0$ en $l < 0$ y $b > 0$. Esta simetría entre la distribución de materia y signos de sus velocidades radiales indica la existencia de una relación entre dicha materia y el núcleo galáctico. La hipótesis explicativa más plausible es que dichas estructuras han sido expulsadas de la región central en una misma dirección y en sentidos opuestos.

Sobre la base de la idea de que estos objetos deben contener alguna información sobre el mecanismo físico que les ha dado origen, en el capítulo II se realizó el estudio detallado de tres estructuras de HI con velocidad anómala, ubicadas en las cercanías del centro galáctico. En los tres casos, se analizaron diferentes hipótesis explicativas sobre el origen de este material, concluyendo que muy probablemente ha sido expulsado del núcleo. En la fig. 28 se presenta el diagrama de brillo integrado de todas las concentraciones de HI con velocidad anómala ubicadas fuera del plano galáctico. Es evidente que la estructura A no se comporta de acuerdo a la simetría general en las cantidades V_R , l , b de las estructuras de HI estudiadas previamente por van der Kruit, sugiriendo entonces la posibilidad de eyección de materia desde el núcleo, también en la parte sur del cuarto cuadrante galáctico. El campo de velocidades indica por una parte, que este objeto

se encuentra a distancias mayores que el centro, y por otra parte que participa en algún modo de la rotación galáctica.

La proyección en el plano l-b del objeto B y su velocidad radial positiva nos permite imaginar que está cayendo hacia el plano en una región ubicada del otro lado del centro galáctico luego de haber sido eyectado de allí. El campo de velocidades de esta estructura puede ser interpretado sobre la base de un modelo que la considera como una sección de un anillo ubicado a una distancia de 3.2 kpc. del centro con una velocidad de expansión de 41 km/s. y una velocidad de rotación de 44 km/s., lo cual sugiere la posibilidad de que constituya la contrapartida del brazo de 4 kpc. del otro lado del centro galáctico que aún no ha alcanzado el plano.

El objeto C estudiado en este trabajo es la nube con mayor velocidad radial anómala descubierta hasta el momento en las cercanías de la región central. Su campo de velocidades tiene un gradiente pronunciado que puede ser la manifestación observacional de un movimiento de rotación alrededor de su eje principal de elongación, o un efecto de la proyección en la dirección de la visual de una gran componente según longitudes de su velocidad espacial.

En la tabla 10 se dan las distancias al centro galáctico, las velocidades medias, las masas y las energías cinéticas de traslación de todos los objetos en expansión a partir del centro galáctico. El hecho de que el gas eyectado del núcleo se encuentra distribuido en forma de concentraciones con diferentes velocidades de expansión y ubicado a diferentes distancias del centro, nos permite afirmar que la actividad del núcleo que da lugar a este tipo de fenómenos tiene discontinuidades en el tiempo. Considerando que la explosión que dió origen al brazo de 4 kpc. ocurrió hace 12 ó 13 millones de años se concluye sobre la base de las estructuras de HI con velocidad anómala, que desde ese momento hasta la actualidad el núcleo ha expulsado materia en forma discontinua a razón de aproximadamente una masa solar por año. Si se incluye en el cálculo la masa del anillo de moléculas mencionado en el Capítulo III, esta cantidad aumenta casi en un orden de magnitud. La expulsión de materia a una razón de 1-10 masas solares por año es el valor típico en los núcleos activos (Burbidge, 1970). Las energías desarrolladas en las explosiones pueden llegar a ser de 10^{55} erg., y las velocidades iniciales de las estructuras expulsadas deben haber sido comparables a las encontradas a partir de los estudios espectrales de expulsión de gas en los núcleos Seyfert.

El resultado negativo (sección D del Capítulo II) en la búsqueda de HI con muy alta velocidad en las cercanías del centro galáctico, puede significar la inexistencia de un período muy reciente de actividad en el núcleo. De acuerdo a esto, si bien el núcleo

de nuestra galaxia ha pasado por periodos de actividad altamente energética, similar a la que ocurre en los núcleos Seyfert, el tiempo de esta actividad ha sido de diez a cien veces menor que el valor de 100 millones de años (sobre la base de argumentos estadísticos), para los fenómenos Seyfert.

Sin embargo, tal como se vió en el capítulo III, el resultado observacional negativo con respecto a la confirmación indirecta de expulsión de HI en un periodo muy reciente de actividad se halla en contradicción con las posibles evidencias directas de tal actividad. Los estudios en el continuo han dado lugar al descubrimiento de una estructura de yet justamente en los cuadrantes donde se observa mayor cantidad de HI con velocidad anómala y que emana de la radiofuente Sgr A, que por su naturaleza no térmica, indica la existencia de un mecanismo explosivo. En segundo lugar, en el centro galáctico se ha detectado una fuente de radiación infrarroja de 1 pc. de diámetro con un espectro cualitativamente similar al de los núcleos Seyfert, lo que indica la posibilidad de una actividad similar. En tercer lugar, la existencia de un anillo de moléculas en expansión a una distancia de 270 pc. del centro sugiere la existencia de una explosión ocurrida hace menos de 10^6 años en el núcleo de la galaxia. En el capítulo III se ha fundamentado la hipótesis de que el gas, cuando es eyectado, no se encuentra en un estado físico apropiado para su detección en la línea de 21 cms. del HI. Como en el momento de ser eyectado, el hidrógeno puede encontrarse en forma ionizada o molecular, es de particular interés realizar relevamientos en líneas de recombinación del hidrógeno y moleculares, en las cercanías del centro fuera del plano galáctico.

La interpretación más probable de nuestro resultado observacional negativo en la búsqueda de HI con muy altas velocidades, es que si bien todavía existe una actividad relativamente reciente en el núcleo galáctico, las explosiones correspondientes que han dado lugar a la eyección reciente de materia no son lo suficientemente energéticas como para expulsar concentraciones de gas con velocidades mayores que 300 km/s, como lo habría hecho el núcleo galáctico en periodos anteriores de su evolución.

La confirmación de que en el núcleo de nuestra galaxia ocurren explosiones periódicas altamente energéticas que dan lugar a la expulsión de materia plantea nuevos interrogantes cuya resolución en los próximos años será de sumo interés para la Astronomía y la Física. Los astrónomos tendrán que dar respuesta a la cuestión sobre el papel de esta actividad de los núcleos galácticos en la evolución y estructura de estos sistemas estelares.

Una vez que nos hayamos formado una idea más concreta sobre la naturaleza de las fuentes de radiación infrarroja y rayos X y

Y, los físicos tendrán que idear mecanismos de emisión de grandes cantidades de materia y energía, para lo cual probablemente las leyes actuales de la física sean insuficientes.

REFERENCIAS

- bt, H.A., y Biggs, E.S.; 1972, "Bibliography of Stellar Radial Velocities", Kitt Peak Natl. Obs.
- dams, D.J., Cooke, B.A. y otros; 1969, Nature, 222, 757.
- lfén, H., y Elvius, A.; 1969, Science, 164, 911.
- ltenhoff, W., Haslam, C.G.T., Large, M.I., Moran, M., y Wendher, H.; 1963, Mitt. Astron. Institut. Univ. Münster, 9.
- nderson, K.S. y Kraft, R.P.; 1969, Astrophys. J. 158, 857.
- ecklin, E.E., y Neugebauer, G.; 1968, Ap. J., 151, 145.
- ecklin, E.E., y Neugebauer, G.; 1969, Ap. J. (Letters), 157, L31.
- ecklin, E.E., y Neugebauer, G.; 1969, Astrophys. J., 155, 1077.
- olton, J.G., Gardner, F.F., McGee, R.X., Robinson, B.J.; 1964, Nature, 204, 30.
- raes, L.L.E.; 1963, Bull. Astron. Inst. Neth. 17, 132.
- uscombe, W., y Kennedy, P.M.; 1962, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 124, 195.
- uscombe, W., y Kennedy, P.M.; 1968, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 139, 417.
- urbidge, E.N. y Demoulin, M.H.; 1969, Astrophys. Letters, 4, 89.
- urbidge, G.R.; 1970, A. Rev. Astr. Astrophys. 8, 369.
- urbidge, E.M. y Burbidge, G.R.; 1972, Ap. J. 172, 37.
- esarsky, D.A. y Cesarsky, C.J.; 1973, Ap. J. 184, 83.
- lark, G.W., Garnire, G.P. y otros; 1968, Ap. J. (Letters), 153, L203.
- ugnon, P.; 1968, B.A.N. 19, 363.
- ownes, D., Maxwell, A.; 1966, Ap. J. 146, 638.
- azio, G.G.; 1973, I.A.U. Symposium N° 55, 303.
- ichtel, C.E., Kniffen, D.A. y otros; 1969, Ap. J. 158, 193.
- georgelin, Y.P., y Georgelin, Y.M.; 1970_a, Astron. Astrophys. 6, 349.
- georgelin, Y.P., y Georgelin, Y.M.; 1970_b, Astron. Astrophys. Suppl. 3, 1.
- oniadzki, D.; 1972, Astron. Astrophys., 17, 378.
- oss, W.M., y Shaver, P.A.; 1970, Australian J. Phys. Astrophys. Suppl. 14, 1.
- addock, F.T., Mayer, C.H., y Sloanaher, R.M.; 1954, Ap. J., 119, 456.
- amilton, P.A., y Haynes, R.F.; 1969_a, Australian J. Phys., 21, 895.
- amilton, P.A., y Haynes, R.F.; 1969_b, Australian J. Phys., 22, 839.
- ill, E.R.; 1969, Australian J. Phys. 21, 735.

- Hill, P.W.; 1970, Mon.Not.Royal Astron. Soc., 150, 23.
- Hill, P.W.; 1971, Memoirs of the Royal Astron. Soc., 75, 1.
- Hoffmann, W.F., y Frederick, C.L.; 1969, Ap.J.(Letters), 155, L9.
- Yates, K.W., Wielebinski, R., y Landecker, T.L.; 1967, Australian J. Phys. 20, 595.
- Ilovaisqui, S.A., Lequeux, J.; 1972, Astron.and Astrophys.,18,169.
- Jackson, P.D., y Kerr, F.J.; 1971, Ap.J., 168, 29.
- Johnson, H.L.; 1963, in Basic Astronomical Data, 214 (Chicago, University of Chicago Press K. Strand, ed).
- Jones, T.W.; 1974, Astron. and Astrophys., 30, 37.
- Kaifu, N., Kato, T., Iguchi, T.; 1972, Nature Physical Science, 238, 105.
- Kerr, F.J., Sinclaire, M.W.; 1966, Nature, 212, 166.
- Kerr, F.J.; 1969, Australian J.Phys., Astrophys. Suppl. 9.
- Kerr, F.J.; 1967, I.A.U. Symposium,31, 239.
- Keenan, P.C.; 1963, in Basic Astronomical Data, 92 (Chicago, University of Chicago Press K. Strand, ed).
- Kellogg, E., Gursky, H., Murray, S., Tananbaum, H. y Giacconi, R.G.; 1971, Ap.J. (Letters), 169, L99.
- Kleinmann, D.E., y Low, F.J.; 1970, Ap.J.(Letters), 159, L165.
- Kruit van der, P.C.; 1970, Astron. and Astrophys., 4, 462.
- Kruit van der, P.C., 1971, Astron. and Astrophys., 13, 405.
- Leavy, D.J., y Goldsmith, D.W.; 1972, Ap. J., 177, 643.
- Low, F.J., Kleinmann, D.E., Forbes, F.F. y Aumann, H.H.; 1969, Astrophys. J. (Letters), 157, L97.
- Low, F.J.; 1970, Ap. J. (Letters), 159, L173.
- Lockman, F.J. y Gordon M.A.; 1973, Ap. J., 182, 25.
- Mader, G.L.; 1971, Paper at 135th meeting of A.A.S., Amherst, Mass.
- Mac Rae, D., y Westerhout, G.; 1956, Table for the reduction of Velocities of the Local Standard of Rest, Lund Observ.
- Mezger, P.G., Hoglund, B.; 1967, Astrophys. J. 147, 490.
- Mezger, P.G., Churchwell, E.B., Pauls, T.A.; 1972, Trabajo presentado en la S.E.A. (I.A.U.) en Set. 5-9 de 1972.
- Mirabel, I.F. y Turner, K.C.; 1973, Astron and Astrophys. 22, 437.
- Oort, J.H.; 1966, Bull.Astron.Inst.Neth., 18, 421.
- Oort, J.H.; 1967, I.A.U. Symposium 31, 279.
- Piddington, J.H. y Minnett, H.C.; 1951, Australian J.Sci.Res., A4, 459.

- Prata, S.W.; 1964, Bull. Astron. Inst. Neth., 17, 511.
- Pöppel, W.G.L., y Vieira, E.R.; 1971, Bol. Asoc. Arg. Astron., 16, 14.
- Pöppel, W.G.L. y Vieira, E.R., 1973, Astron. Astrophys. Suppl., 2, 289.
- Roberts, M.S. y Lockmann, F.J.; 1970, Ap. J., 161, 877.
- Rodgers, A.W., Campbell, C.T., Whiteoak, J.B., Bailey, H.H., y Hunt, V.O.; 1960_a, An Atlas of H α emission in the Southern Milky Way, Mount Stromlo Observatory, Canberra.
- Radhakrishnan, V., Goss, W.M., Murray, J.D., y Brooks, J.W.; 1972, Astrophys. J. Suppl. 24, 49.
- Rodgers, A.W., Campbell, C.T., y Whiteoak, J.B.; 1960_b, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 121, 103.
- Rougeor, G.W. y Oort, J.H.; 1960, Proc. Nat. Ac. Washington, D.C., 1, 46.
- Rougeor, G.W.; 1964, Bull. Astr. Inst. Netherlands, 17, 381.
- Sanders, R.H., Wrixon, G.T.; y Penzias, A.A.; 1972, Astron. and Astrophys., 16, 322.
- Simonson, S.C. y Sancisi, R.; 1971, Astron. and Astrophys. Suppl.
- Scoville, N.Z. y Solomon, P.M.; 1972, Ap. J., 172, 335.
- Scoville, N.Z. y Solomon, P.M.; 1973, Ap. J., 180, 55.
- Shaver, P.A., y Goss, W.M.; 1970_a, Australian J. Phys. Astrophys. Suppl. 14, 77.
- Shaver, P.A., y Goss, W.M.; 1970_b, Australian J. Phys. Astrophys. Suppl. 14, 133.
- Shklovski, I.S.; 1960, Cosmic Radio Waves, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- Shmidt, M.; 1965, Stars and Stellar Systems, Vol V, p.513, The University of Chicago Press.
- Shklovsky, I.S.; 1960, Cosmic Radiowaves, Harvard University Press, 195.
- Tomre, A.; 1971, Comunicación privada.
- Thackeray, A.D.; 1966, Memorias Roy. Astron. Soc., 70, 33.
- Verschuur, G.; 1969, Ap. J., 156, 771.
- Wielebinsky, R., Smith, D.H., y Garzán Cárdenas, X.; 1969, Australian J. Phys., 21, 185.
- Wilson, T.L., Mezger, P.G., Gardner, F.F. y Milne, D.K.; 1970, Astron. Astrophys., 6, 364.
- Woltjer, L.; 1972, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 10, 129.
- Wrixon, G.T., Sanders, R.H.; 1973, Astron. Astrophys. Suppl. 11, 339.

LECTURAS DE LAS FIGURAS

- Figura 1: Representación esquemática según Rougoor (1964), de la región central de la galaxia sobre la base de los relevamientos de Dwingeloo y Parkes.
- Figura 2: Estructura de la región central de la galaxia según Kerr (1967).
- Figura 3: Diagrama l-V de las estructuras de hidrógeno neutro en la vecindad del centro galáctico, según Van der Kruit (1970).
- Figura 4: Perfil de la línea de 21 cms del HI en $l = 355^\circ$, $b = -12^\circ$. El pico secundario de 12 OK en $V_R = 42$ km/s. corresponde a la estructura A.
- Figura 5: Diagrama de la temperatura de antena T_A ($l, V/b = -12^\circ$) en la región del objeto A.
- Figura 6: Diagrama de la temperatura de antena T_A ($l, V/b = -9^\circ$) en la región del objeto A.
- Figura 7: Diagrama de la temperatura de antena T_A ($b, V/l = 355^\circ$) en la región del objeto A.
- Figura 8: Diagrama de la temperatura de antena T_A ($l, b/V_R = 44$ km/s) en la región del objeto A.
- Figura 9: Diagrama del objeto A en temperatura de brillo integrada para $V_R \geq 30$ km/s. Las unidades son en 10^{20} at/cm². La flecha indica la dirección hacia el centro galáctico. Los puntos indican los puntos observados. Las líneas punteadas son líneas de velocidad radial constante, corregida por el efecto de la rotación galáctica.
- Figura 10: Semiancho de potencia unitad ΔV en km/s contra la distancia en grados al centro galáctico en el objeto A. El coeficiente de correlación calculado es -0.78.
- Figura 11: Velocidad promedio (promediada sobre todas las latitudes) contra la longitud galáctica en el objeto A. Para corregir el efecto de rotación galáctica se ha sustraído 250 sen l km/s.
- Figura 12: Comparación para el objeto A entre el campo de velocidades observado (líneas punteadas) y el campo de velocidades calculado (líneas continuas).
- Figura 13: Perfil en la línea de 21 cms del HI para $l = 349^\circ$, $b = +4^\circ$. El pico secundario corresponde al objeto B.
- Figura 14: Diagrama b-V en $l = 346^\circ$ para la región del objeto B.
- Figura 15: Diagrama l-V en $b = 3^\circ$ para la región del objeto B.
- Figura 16: Líneas de igual temperatura de brillo para $V = 52$ km/s en el objeto B.
- Figura 17: Diagrama del objeto B en temperatura de brillo integrado (en unidades de 10^{20} at/cm²).
- Figura 18: Superposición de las regiones de emisión en $H\alpha$ (Rodgers y otros, 1960a) y las isofotas de NH

constante de la estructura B (líneas gruesas). Las regiones que contienen emisión $H\alpha$ se indican con líneas de trazo, mientras que las que tienen mayor intensidad con línea fina continua. Los * indican las estrellas de la tabla 4.

- Figura 19: Perfil de absorción en 21 cms. de CTB35 obtenido por Radhakrishnan.
- Figura 20: Comparación entre las velocidades pico del objeto B promediadas sobre las latitudes entre $+2^\circ$ y $+6^\circ$ (cuadrados), con los de una estructura de velocidad radial positiva (círculos llenos) detectada en $b = +1^\circ$ en nuestros perfiles.
- Figura 21: Situación geométrica del punto genérico i de la estructura B, según el modelo de sección de anillo con movimiento de rotación y en expansión a partir del centro galáctico.
- Figura 22: Perfil correspondiente al punto $l = 8^\circ.0$, $b = -5^\circ.5$, correspondiente al pico del objeto C.
- Figura 23: Diagrama del objeto C en temperatura de brillo integrado. Los puntos indican los puntos observados en el relevamiento.
- Figura 24: Gráfico de N_H contra ΔV para el objeto C.
- Figura 25: Reproducción del gráfico de Verschuur (1969), donde se indica el objeto C.
- Figura 26: Reproducción del trabajo de Bolton y otros (1964) de los perfiles de absorción contra Sgr A del HI (línea punteada) y del OH (líneas continuas).
- Figura 27: Reproducción del espectro de Sgr A en el infrarrojo.
- Figura 28: Diagrama de brillo integrado de las estructuras de HI con velocidad anómala ubicadas fuera del plano en las cercanías del centro galáctico.

LECTURA DE LAS TABLAS

- Tabla 1: Longitud y latitud galácticas de los puntos donde se ha detectado gas perteneciente al objeto A. N_H es el área bajo el perfil para $V_R \geq 30$ km/s., ΔV el semi-ancho de potencia mitad de la estructura y V_p la velocidad radial correspondiente a la temperatura pico.
- Tabla 2: Estrellas en la región del objeto A con líneas interestelares de Ca II según Hill (1971). Las velocidades han sido reducidas al S.L.R.
- Tabla 3: Síntesis de los resultados para el objeto B. Las columnas 1 y 2 dan las coordenadas galácticas de los perfiles observados. Las columnas 3 a 7 se refieren a la velocidad radial pico V , la temperatura pico T , el ancho ΔV , el área bajo la curva A y el número correspondiente de átomos N_H de HI por cm^2 .
- Tabla 4: Síntesis de los resultados referentes a las líneas ópticas del material interestelar en la región del objeto B.
- Tabla 5: Objetos en la región de la estructura B. 1 Número de Catálogo; 2 descripción del objeto; 3 identificación; 4 dimensiones angulares; 5 coordenadas del centro. Estos datos fueron tomados de Rodgers y otros (1960)_b, a menos que se indique; 6 significa la velocidad radial corregida por el S.L.R., medida sobre varios puntos de la nube; 7 la dispersión cuadrática; 8 y 9 las distancias espectrofotométricas y cinemáticas de las estrellas; 10 el diámetro de la región HII. Estos datos fueron extraídos de Georgelin y Georgelin (1970)_a.
- Tabla 6: Fuentes de líneas $H109\alpha$ en la región del objeto B.
- Tabla 7: Valores computados de algunos parámetros característicos del objeto B para diferentes valores de la distancia r .
- Tabla 8: Valores de V_p y V_{rot} obtenidos para diferentes valores de X , según el modelo de anillo de rotación y expansión del objeto B.
- Tabla 9: Longitud y latitud de los puntos donde se ha detectado gas perteneciente al objeto C. T_p es la temperatura pico, V_p la velocidad radial del pico, ΔV el ancho de potencia mitad, A el área bajo el perfil y N_H la densidad superficial de átomos de HI.
- Tabla 10: Estructuras en expansión a partir del centro galáctico. A, B y C son las estudiadas en este trabajo. Las que se indican con números romanos han sido estudiadas por van der Kruit. La velocidad radial media es respecto al S.L.R. En el cálculo de la masa del brazo de 4 kpc. se ha incluido la materia en forma estelar, a la vez que en el caso del anillo de moléculas se ha supuesto que la proporción de partículas HI/OH es de 10^7 .

Tabla 1

λ (°)	b (°)	N_H (10^{19} at/cm ²)	v_p (km/s)	Δv (km/s)
347	-23	5	41	4
348	-17	2	27	5
	-19	4	26	4
	-22	3	31	3
349	-17	3	34	3
	-19	4	33	4
	-22	4	33	2
	-23	4	31	
350	-10	5	31	7
	-13	5	40	7
	-14	4	40	4
	-17	3	32	3
	-18	9	37	6
	-19	4	33	3
	-20	5	33	
	-22	7	35	3
351	-10	12	34	8
	-11	11	46	8
	-12	7	42	6
	-14	9	38	10
	-15	4	30	7
	-16	8	38	7
	-17	7		
	-19	9	33	
	-20	12	33	5
	352	-10	6	35
-11		5	32	7
-12		7	35	8
-13		8	32	9
-14		12	35	10
-15		14	39	7
-16		10	38	
-17		10	45	5
-18		15	42	3
-19		19	39	5
-20		8	39	4
-21		4	35	3
353	-10	23	38	8
	-11	23	36	7
	-12	9	35	
	-13	14	32	10
	-14	25	36	10
	-15	6		
	-19	6	32	3
	-20	4	37	4
354	-9	12	46	9
	-10	24	36	11
	-11	18	40	8
	-12	14	36	10
	-13	27	39	8
	-14	14	39	10
	-15	7	43	10
	-17	5	40	
	-18	9	34	4
	-19	6	33	

Tabla 1 (cont.)

355	-9	10	51	9
	-10	23	43	10
	-11	22	47	9
	-12	28	41	7
	-14	3	44	6
	-15	4	47	5
	-16	7	44	9
	-17	13	44	4
356	- 8	7	45	4
	- 9	6	55	
	-10	17	56	10
	-11	28	44	10
	-12	6		
	-13	5	47	7
	-14	6	40	7
	-15	11	45	6
	-16	13	46	9
	-17	6	45	4
-18	9	40		
357	- 8	16	45	11
	- 9	11	55	7
	-10	10		
	-11	12		
	-12	5	44	9
	-13	5	49	
	-16	5	45	
	-18	6	42	5
358	- 7	10		
	- 8	15	47	10
	-10	6	30	8
	-12	5	44	9
	-17	7		
	-18	10	34	6
359	- 7	14		
	- 8	12	46	10
360	- 5	14		
	-6	17		
	- 7	7		
361	- 5	25		
	- 6	19		
	- 7	9		
362	- 5	22		
	- 6	19		
	-7	6		

Tabla 2

Estrellas y Ca II interestelar en la región de la estructura A
de hidrógeno neutro con velocidad anómala.

Estrella	l	b	T.S. _p	m	V _{CaII} (km/s)	V _{star} (km/s)	d (pc)
170385	351 ^o .10	-14 ^o .99	B3V	7.90	-4	1	760
171141	349 ^o .28	-16 ^o .51	B1III	8.38	14	8	3400
172094	353 ^o .49	-15 ^o .80	B2III	8.28	20	50	2100
173994	348 ^o .45	-19 ^o .62	B2V	7.07	10	-3	720

Tabela 3

1 (°)	b (°)	V (Km/s)	T (°K)	ΔV (Km/s)	A (°K, Km/s)	M_{II} (10^{20} at/cm ²)
354	+3*	52	2.0	15	30	0.6
353	+3*	53	2.0	16	24	0.5
	+4*	46	2.5	16	32	0.6
352	+3*	52	3.8	15	58	1.1
	+4*	47	2.3	26	54	1.1
	+5*	54	1.5	15	30	0.5
351	+3*	53	8.8	18	130	2.4
	+4*	53	3.5	35	104	2.2
	+5*	57	3.0	15	46	0.8
350	+3*	53	9.5	25	160	2.9
	+4*	55	7.0	19	148	2.7
	+5*	53	6.3	21	120	2.2
	+6*	59	3.8	22	52	0.9
349	+2*	58	6.6	14	96	1.8
	+3*	52	7.2	23	176	3.2
	+4*	51	11.3	15	178	3.2
	+5*	54	2.4	21	60	1.1
348.5	+3	56	8.6	21	204	3.7
	+3.5	49	8.2	16	192	3.5
348	+2	56	7.0	24	172	3.1
	+2.5	53	8.6	22	202	3.7
	+3	52	8.2	25	208	3.8
	+4*	48	5.6	30	172	3.1
	+5*	56	1.8	27	48	0.9
	+6*	42	2.4	14	32	0.6
347	+2	49	7.4	29	190	3.5
	+2.5	51	9.7	25	280	5.1
	+3	48	8.2	23	202	3.7
	+4	49	5.6	20	124	2.3
	+5*	50	3.8	21	78	1.4
	+6*	58	2.7	15	50	0.9
346.5	+2	53	6.0	36	336	6.1
	+3	55	7.7	22	192	3.5
346	+2	37	10.0	33	364	6.6
	+2.5	51	8.3	22	236	4.2
	+3	54	8.8	20	166	3.0
	+4	53	4.2	27	110	2.0
	+5	49	4.0	16	72	1.3
	+6*	49	2.3	19	44	0.8
345.5	+2	48	9.2	28	318	5.8
345	+2	40	10.7	25	310	5.6
	+2.5	55	6.4	22	189	3.5
	+3	56	5.2	18	88	1.6
	+4	56	4.0	28	98	1.8
	+5	52	3.8	19	56	1.0
	+6	57	1.7	25	40	0.7
344	+2	46	9.3	22	226	4.1
	+3	52	3.7	22	78	1.4
	+4	54	3.6	16	58	1.1
	+5	48	3.2	24	66	1.2

Tabla 3 (cont.)

343	+2	55	7.0	21	170	3.1
	+3	60	3.2	27	90	1.6
	+4	54	2.4	24	48	0.9
342	+2	57	9.6	20	192	3.5
	+3	63	2.9	29	90	1.7
341	+2	63	14.0	16	254	4.6
	+3	62	2.6	20	54	1.0
	+4	63	3.3	16	42	0.8
340	+2	65	7.9	14	150	2.7
	+3	65	1.7	25	42	0.8
	+4	64	3.4	13	50	0.9
339	+2	61	4.3	24	122	2.2
	+3	65	1.1	24	34	0.6
	+4	63	2.3	25	58	1.1
338	+2	64	5.6	17	100	1.8
	+3	62	2.0	22	44	0.8
337	+2	65	5.1	15	72	1.3
	+3	68	2.5	20	44	0.8
336	+2	65	5.0	15	70	1.3
	+3	68	3.1	17	58	1.1
335	+2	65	6.6	15	94	1.7
	+3	62	2.2	16	44	0.8
	+4	64	1.9	12	18	0.3
334	+2	65	4.3	21	78	1.4
	+3	70	1.9	14	28	0.5
333	+2	64	4.1	22	66	1.2
	+3	73	2.7	22	52	0.9
332	+2	61	6.5	22	122	2.2

TABLA 4

HD	\bar{l} ($^{\circ}$)	\bar{b} ($^{\circ}$)	Ca (Km/s)	Na ⁰ (Km/s)	r (psc)	Ref.
148937	336.38	-0.22	-10		1100	BK ^a
149038	339.4	+2.5	+ 4	0	1100	BK ^{b, G}
149404	340.53	+3.02	- 2			BK ^a
149711	340.38	+2.36	-11		400	BK ^a
151804	343.6	+1.9	0;24;-47		1200	BK ^{b, G}
152236	343.0	+0.9	-4;-44		1800	BK ^{a, b, G}
154090	350.8	+4.3	+5.5	+4.5	800	BK ^{a, G}
154368	349.95	+3.22	-10		1200	BK ^a
155450	353.21	+3.92	- 2		1000	BK ^a
155806	352.6	+2.9	+4;-37		1300	BK ^{a, b, G}

Tabla 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
No.	Descripción	Identificación	Dimensión	Centro l b	V_{Rad} (km/s)	σ (km/s)	r_{esp} (kpc)	r_{cin} (kpc)	d (pc)
113	Gran arco de ionización en una región de emisión débil	NCC 6231 (cúmulo excitatriz) 360°x300°		342.7	1.8 -19.5	4.0	2.0	2.2	155
116	Concentración en el interior de 113	IC 4623 (cúmulo excitatriz)		344.3 (Georgelin y George- lin, 1970a)	2.1 -11.3	5.0	1.6	1.7	28
119	Filamento con alta concentración en 16h 57m .4, -33° 13'	Detrás del cúmulo NCC 6281, no relacionado a él. (Fermato Instein-Forte, 1974). Estrella excitatriz ID 153919 (Georgelin-Georgelin, 1970b).		347.7	1.9 - 3.8	7.0	1.6	1.6	24

Tabla 6

componente		V_{rad}	$r_{\text{cin.}}$
l	b	(Km/s)	(Kpc)
345.0	+1.5	-17.4	2.1 ± 1 ; 17.2 ± 1
345.2	+1.0	- 9.4	1.2 ± 1.2 ; 18.1 ± 1.5
345.3	+1.5	-15.5	2.0 ± 1.1 ; 17.3 ± 1.3
345.4	+1.4	-14.6	1.9 ± 1.1 ; 17.4 ± 1.3

Tabla 7

R (Kpc)	M_I (M_\odot)	r (Kpc)	E_{ctr} (erg.)	E_{cint} (erg.)	E_g (erg.)	ρ ($g.cm^{-3}$)	z (años)
0.01	1.9	0.001	5.4×10^{46}	2×10^{45}	-2.1×10^{41}	3×10^{-23}	10^5
0.1	1.9×10^2	0.01	5.4×10^{48}	2×10^{47}	-2.1×10^{44}	3×10^{-24}	10^6
1	1.9×10^4	0.10	5.4×10^{50}	2×10^{49}	-2.1×10^{47}	3×10^{-25}	10^7
3	1.8×10^5	0.3		1.8×10^{50}	-3.4×10^{48}	10^{-25}	3×10^7
10	1.9×10^6	1		2×10^{51}	-2.1×10^{50}	3×10^{-26}	10^8
50	4.6×10^7	5		5×10^{52}	-2.5×10^{52}	6×10^{-27}	5×10^8

Tabla 8

X	Distancia al centro galáctico en kpc.	V_0	V_{Rot}
1.0	10	56.8	255.3
1.2	8,3	56.2	208.1
1.4	7,1	55.5	173.6
1.6	6,2	54.7	147.1
1.8	5,6	53.7	125.8
2.0	5,0	52.5	108.3
2.2	4,5	51.2	93.4
2.4	4,1	49.6	80.4
2.6	3,9	47.8	68.9
2.8	3,5	45.7	58.4
3.0	3,3	43.03	48.8
3.1	3,2	41.4	44.1

Tabla 9

l ($^{\circ}$)	b ($^{\circ}$)	T_p ($^{\circ}K$)	V_p (km/s)	ΔV (km/s)	λ ($^{\circ}K \times km/s$)	N_H ($10^{18} \text{at}/cm^2$)
8.5	-3.5	0.6	-212	16	9.4	17
9.0	-3.5	0.4	-204	12	7.0	13
8.5	-4.0	0.4	-210	14	6.8	12
7.5	-4.5	0.4	-219	10	4.6	8
8.0	-4.5	0.8	-207	16	12.0	22
8.0	-5.0	0.9	-205	16	12.9	23
8.0	-5.5	1.3	-218	18	27.0	40
7.5	-6.0	0.5	-213	8	3.3	6
8.0	-6.0	0.6	-205	9	4.7	8

Tabla 10

Estructura	Velocidad radial media respecto al S.L.R. (km/s)	Masa (Masas solares)	Energía cinética de traslación (ergios)	Distancia al centro galáctico (kpc)
"Brazo de 4 kpc"	-52	2×10^7	6×10^{53}	3.5
Anillo de moléculas	130	1×10^8	2×10^{55}	0.3
Anillo de HI en expansión	135	4×10^6	7×10^{53}	2.4
A	44	2.5×10^6	5×10^{52}	>1.7
B	54	1.9×10^6	5×10^{52}	3.2
C	-215	7×10^3	3×10^{51}	< 1.6
VII	85	3×10^4	2×10^{51}	> 0.5
X	-145	5×10^3	1×10^{51}	< 0.7
XII	-58	2×10^5	7×10^{51}	< 1.6
XIII	-40	5×10^3	8×10^{49}	< 1.6

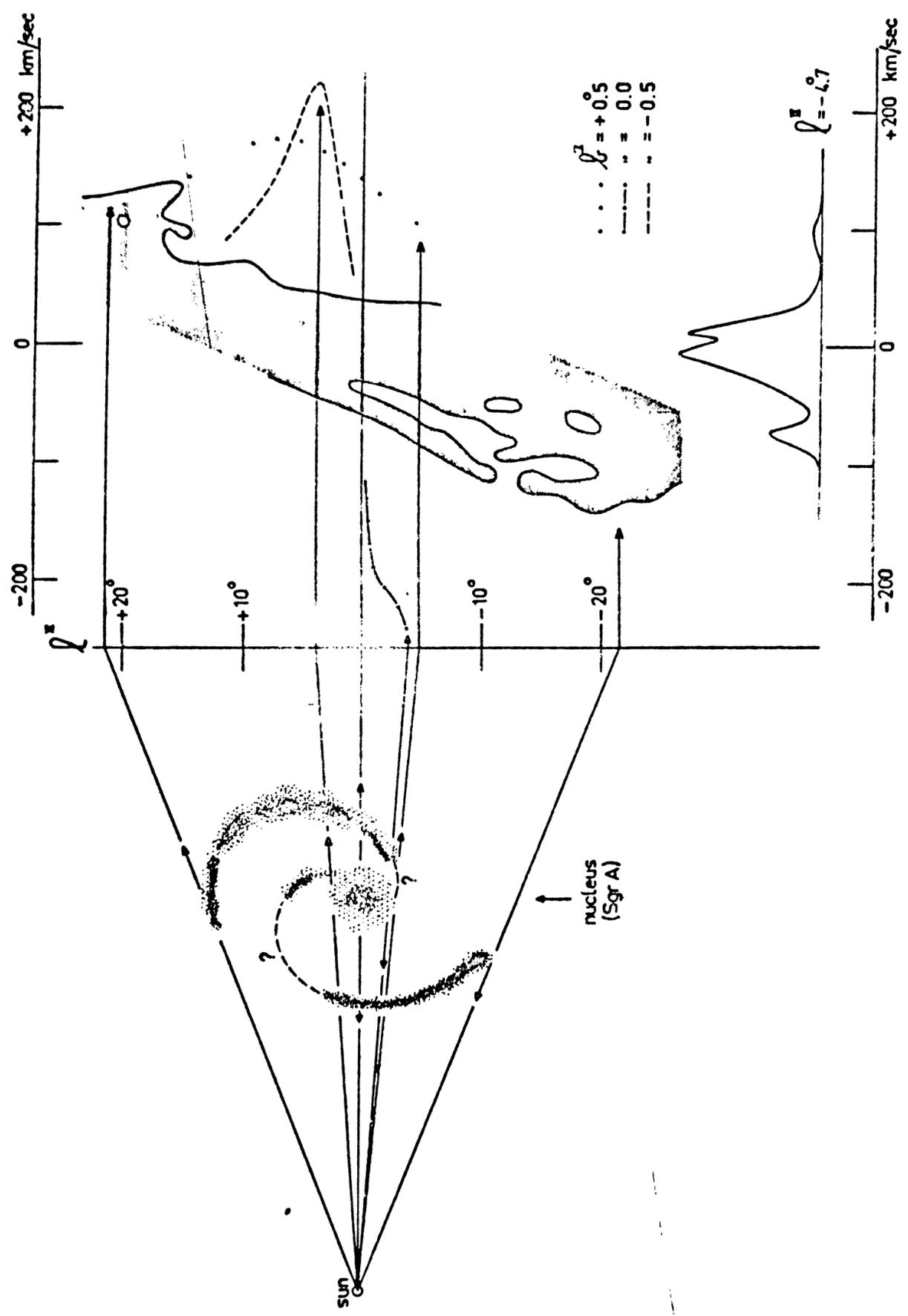


Fig. 1

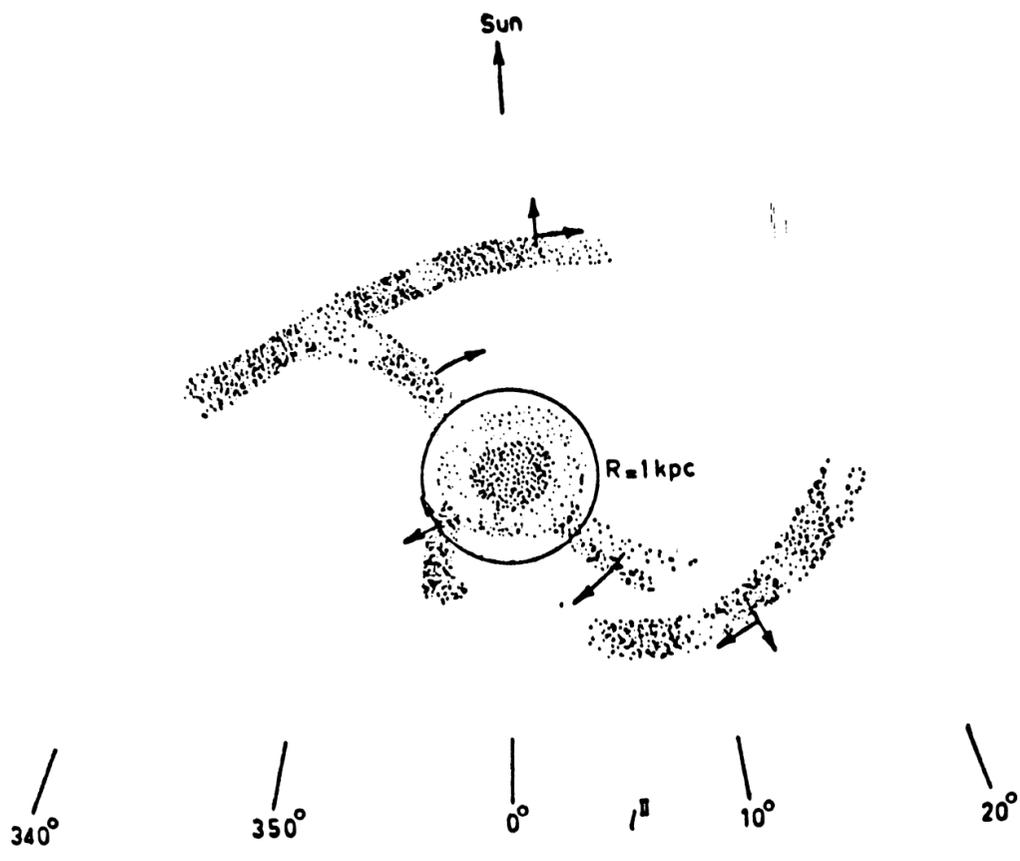


Fig. 2

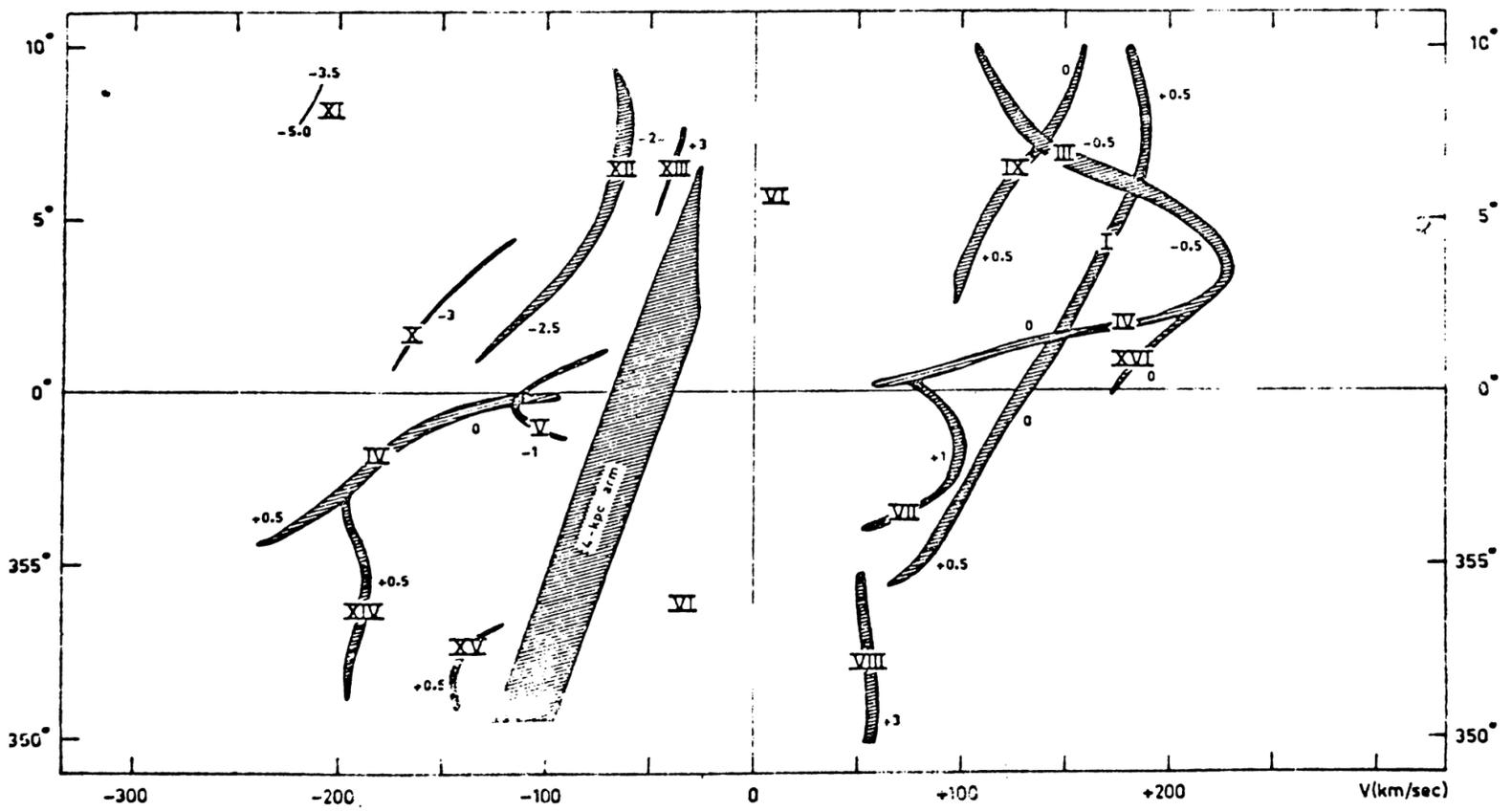


Fig. 3

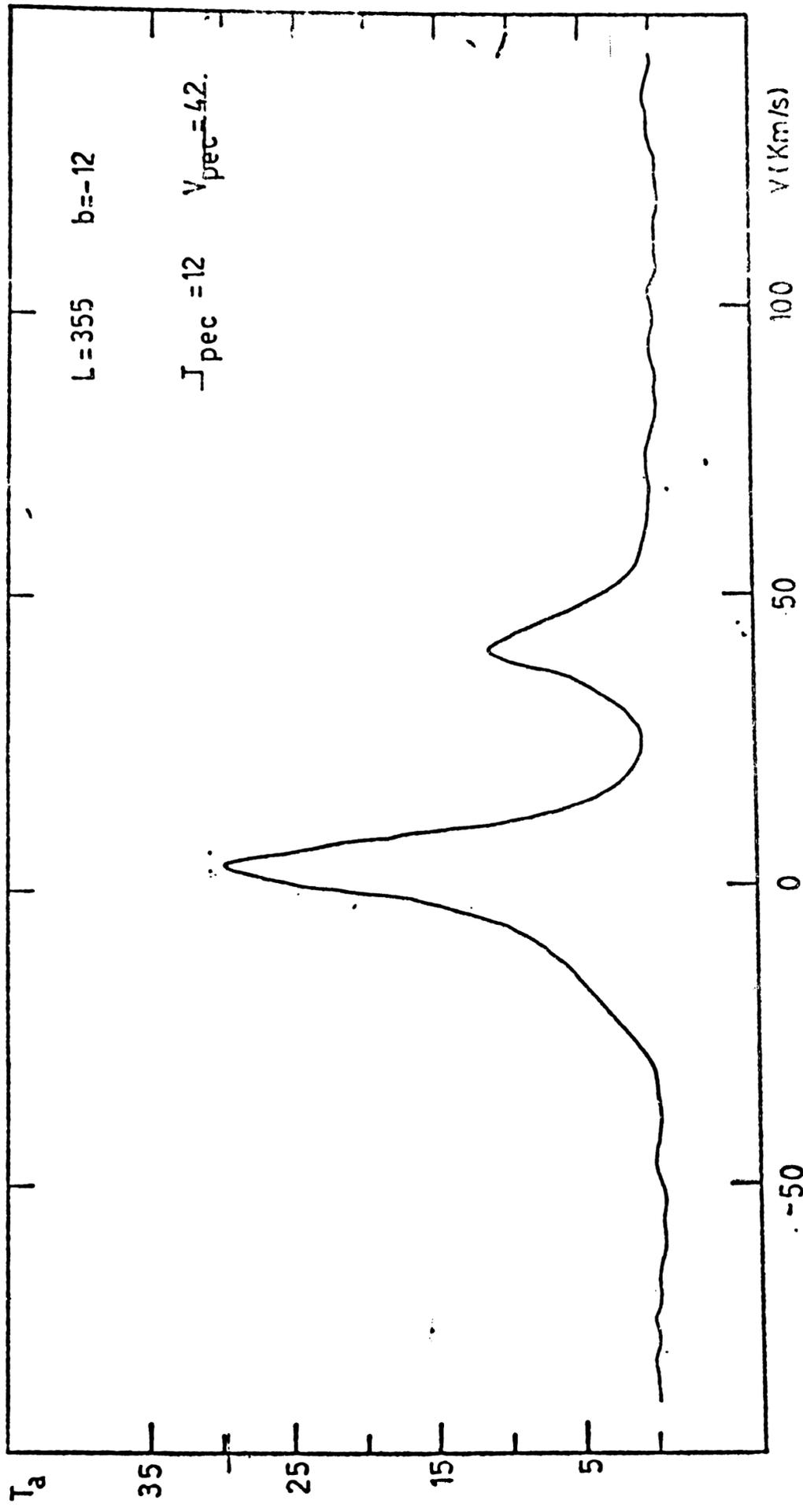


Fig. 4

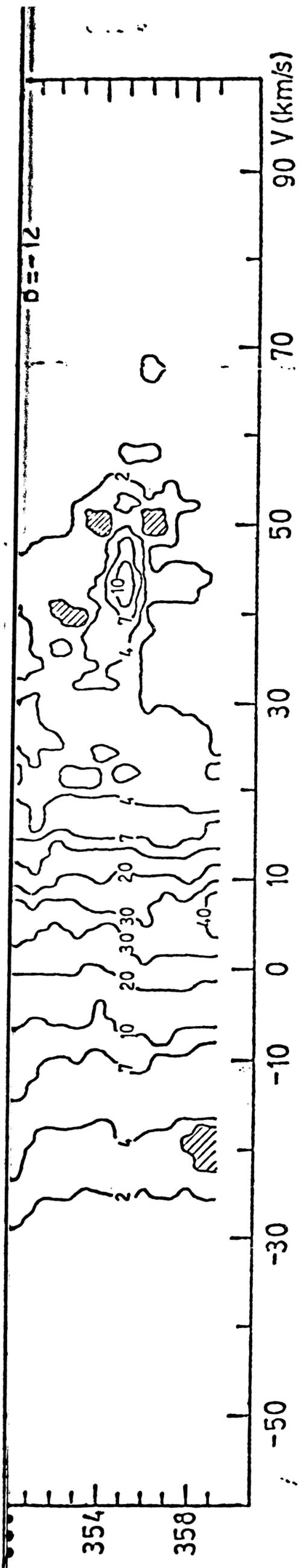


FIG. 5

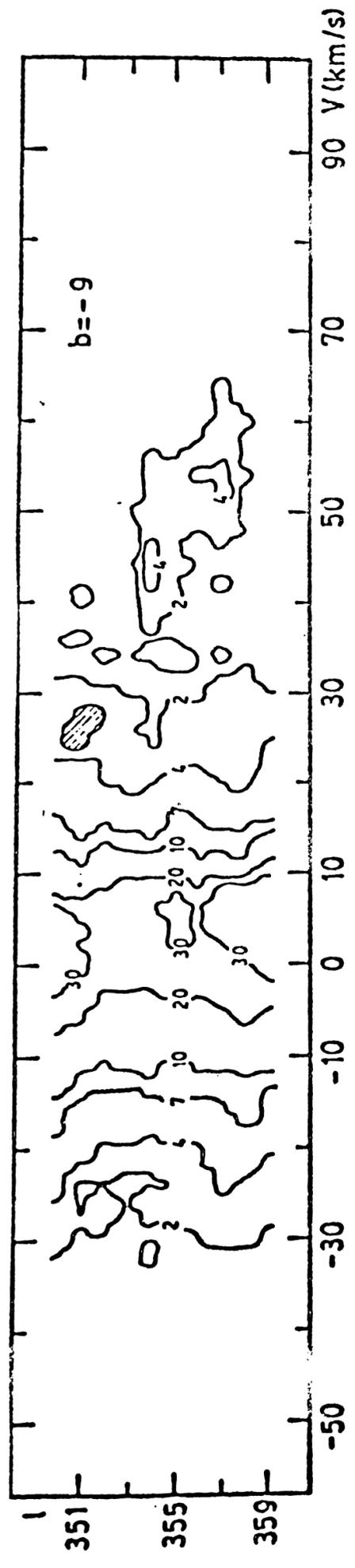
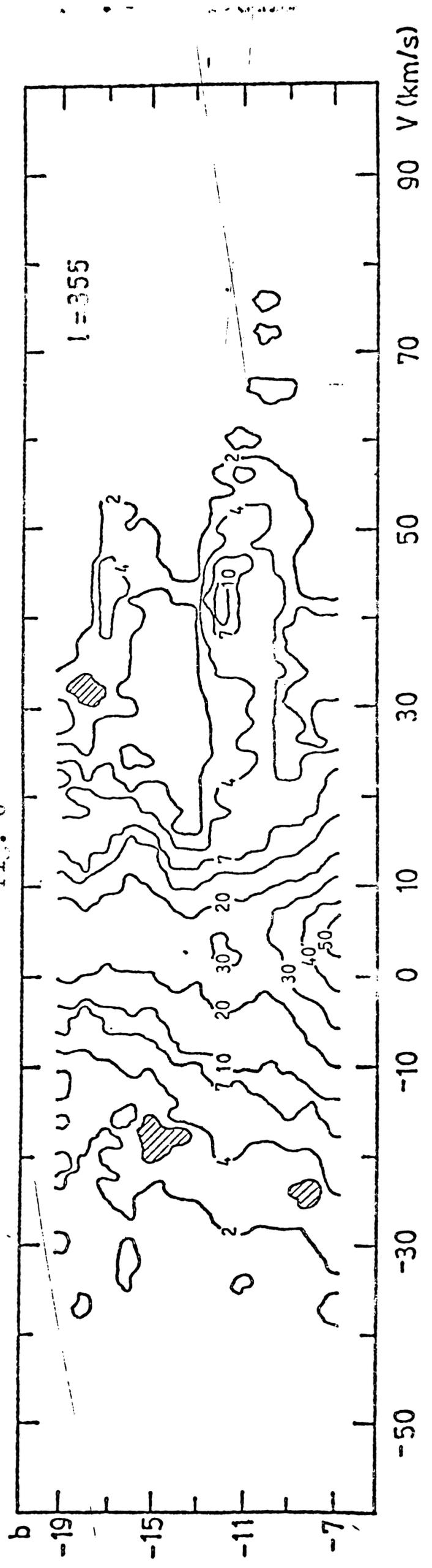


FIG. 6



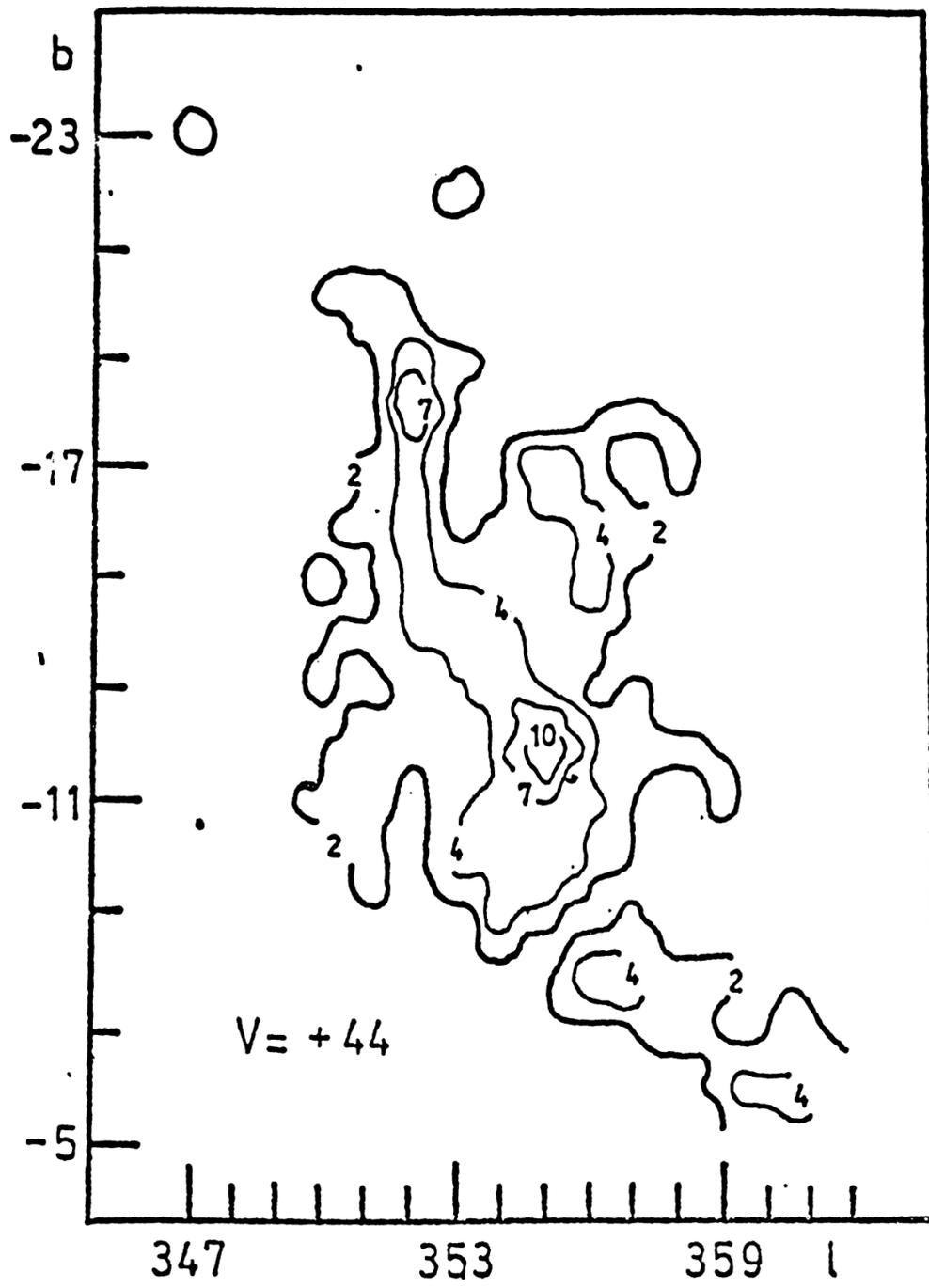


Fig. 8

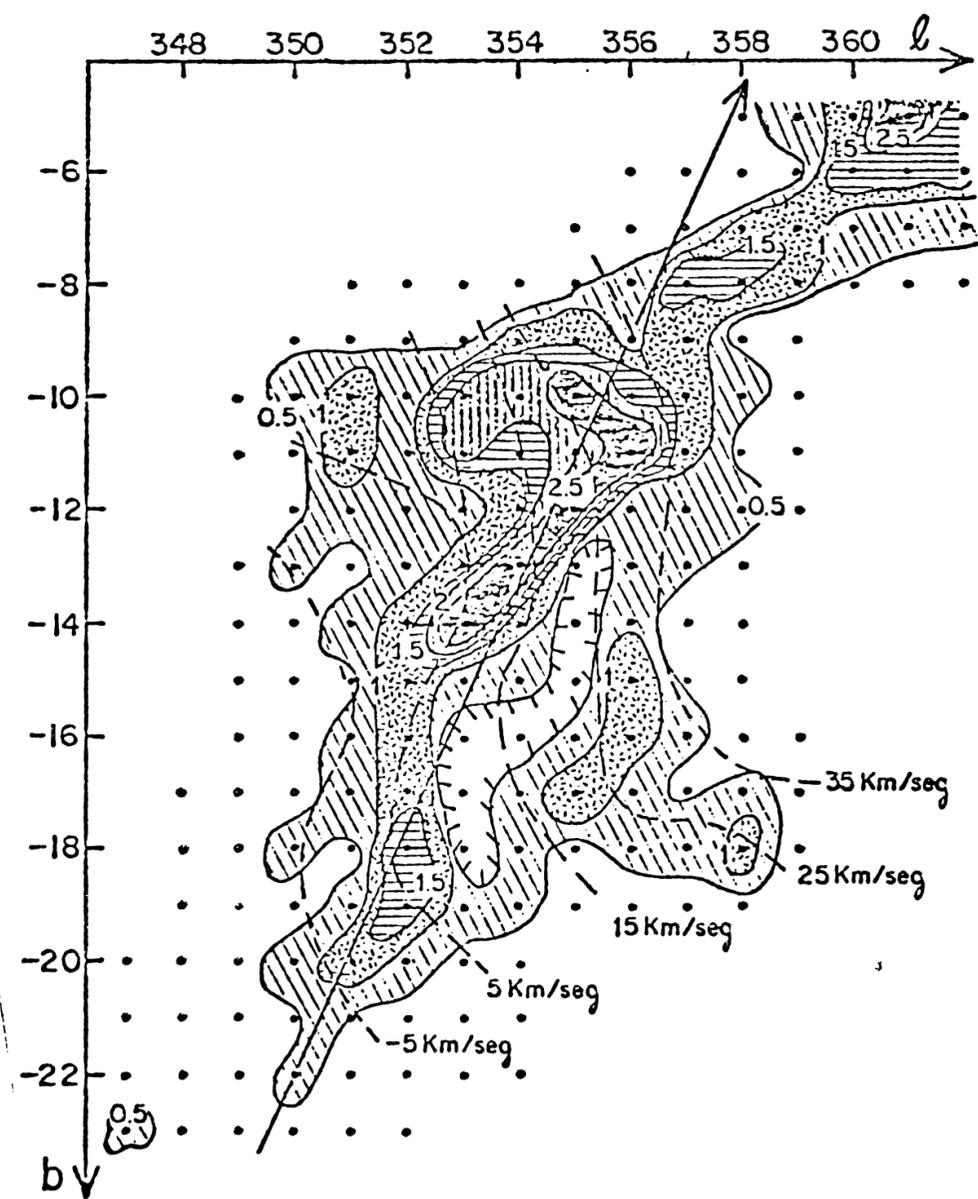


Fig. 9

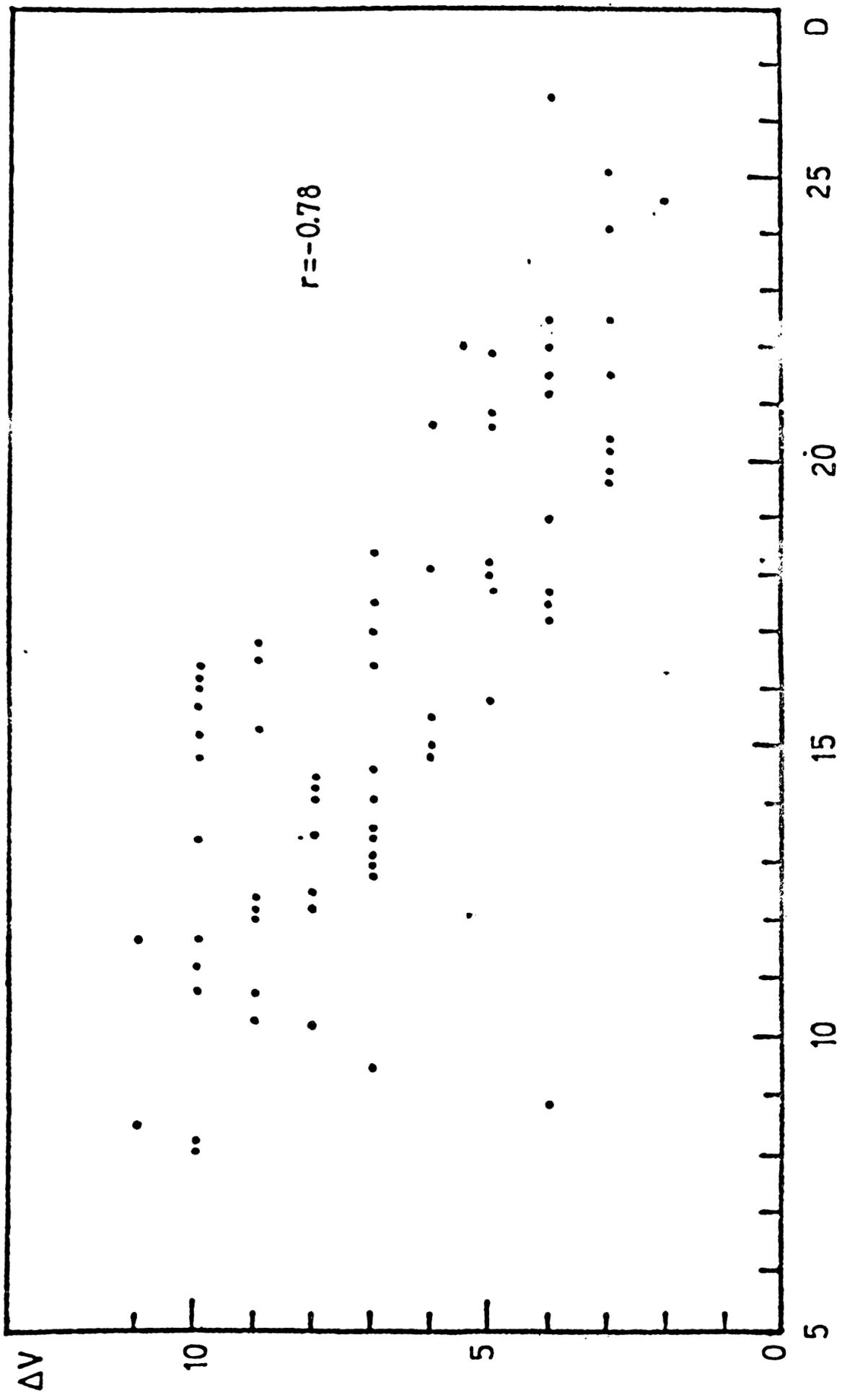


FIG. 10

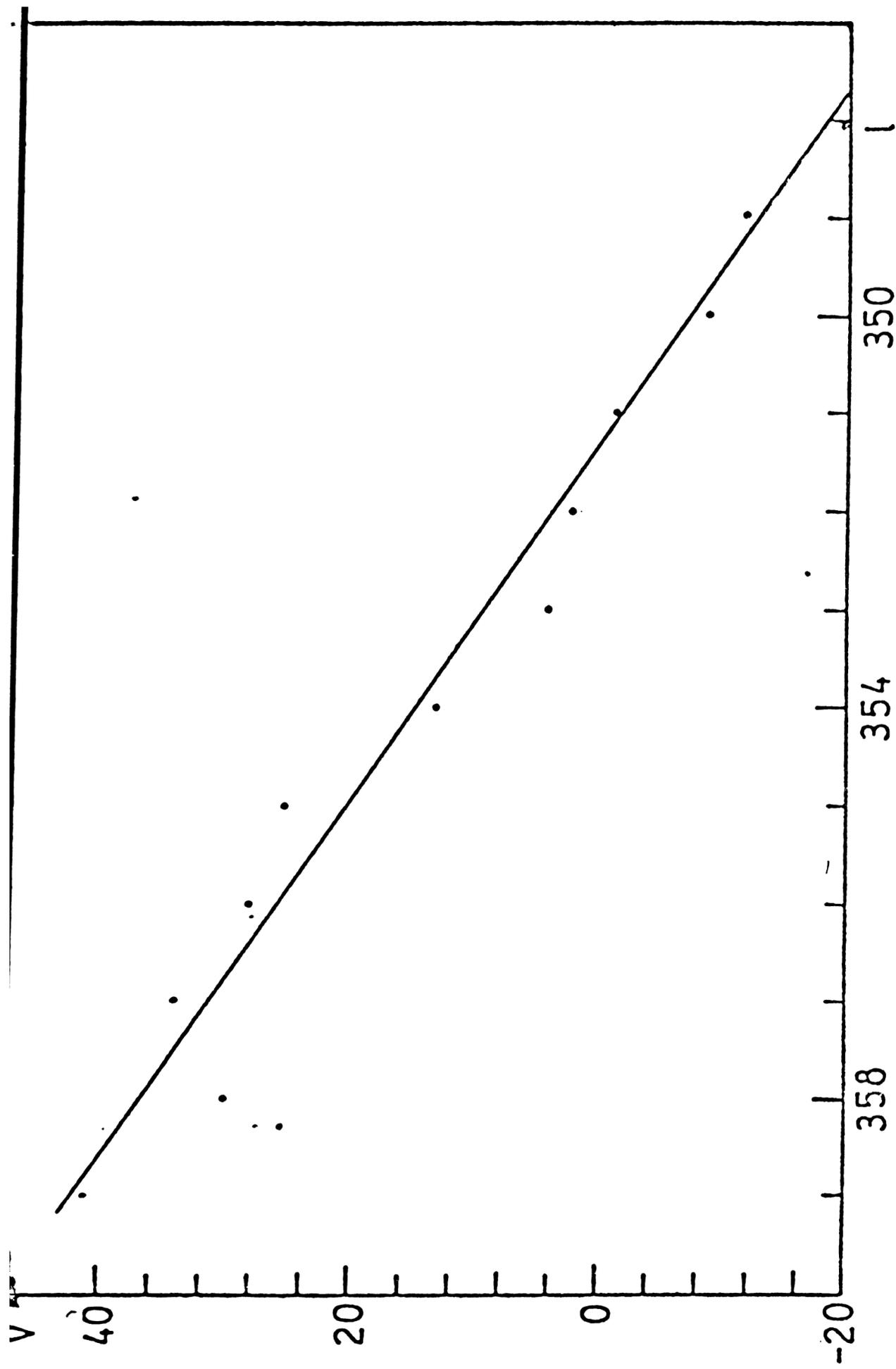


Fig 11

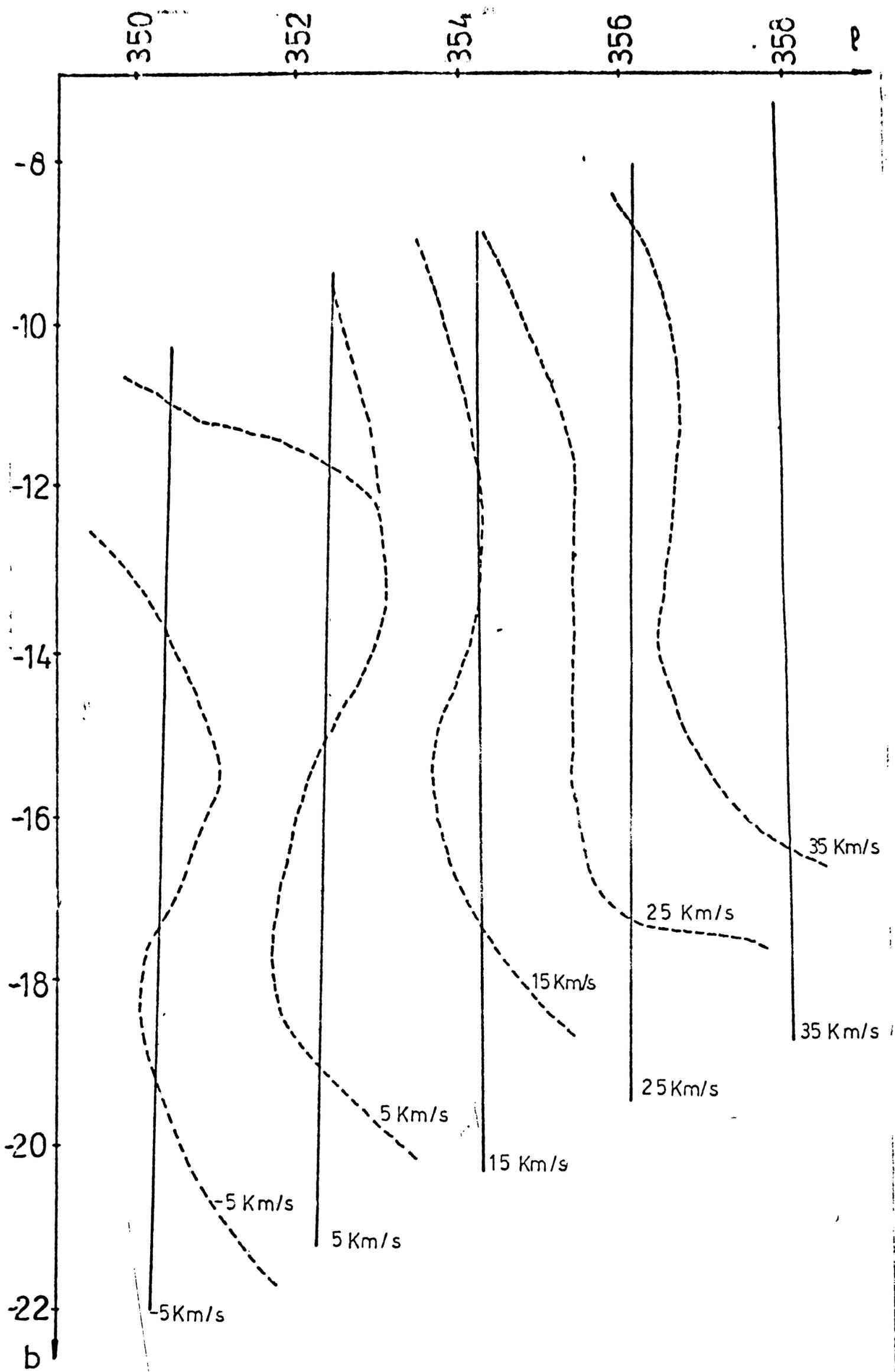


Fig. 12

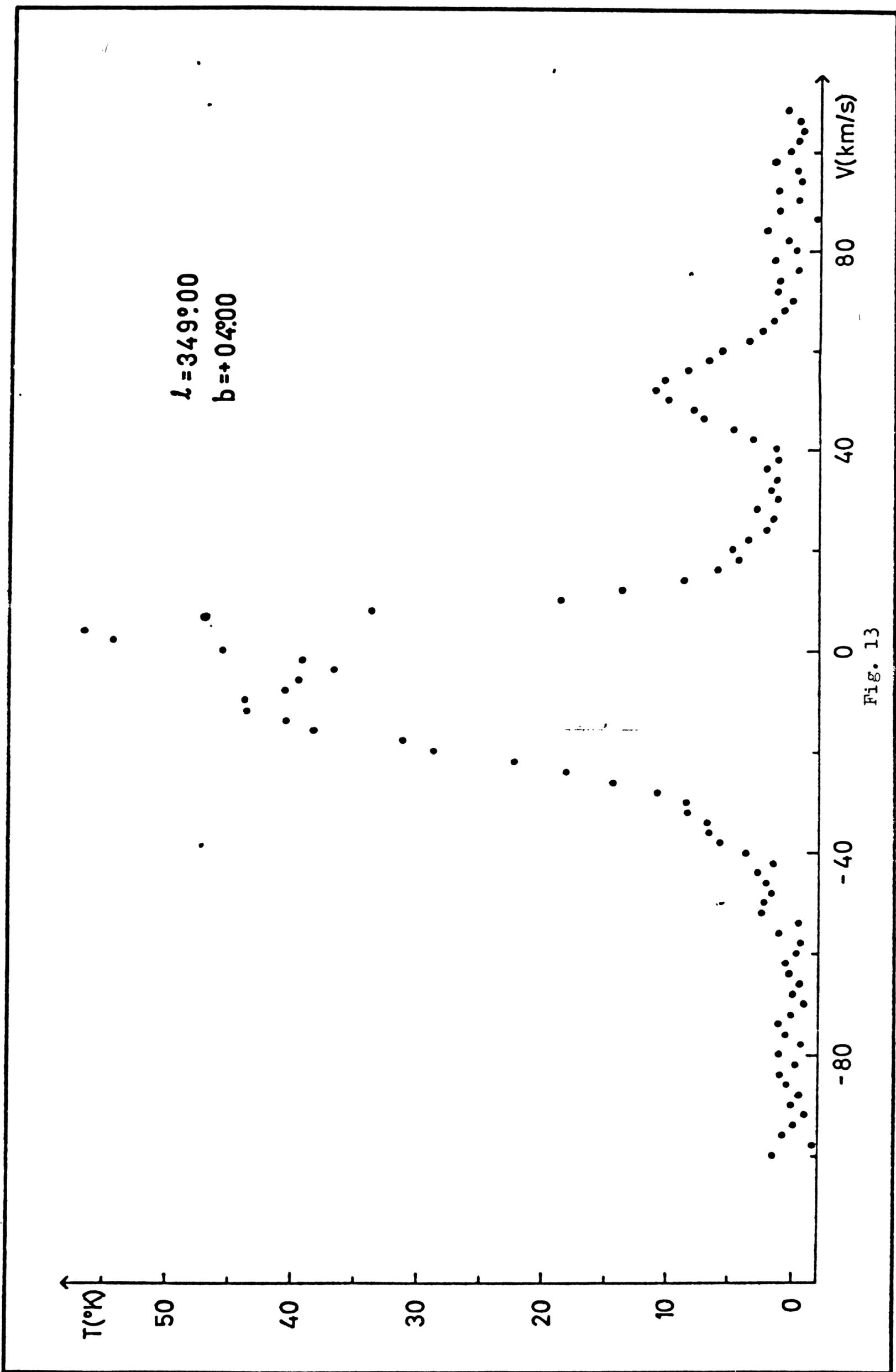


Fig. 13

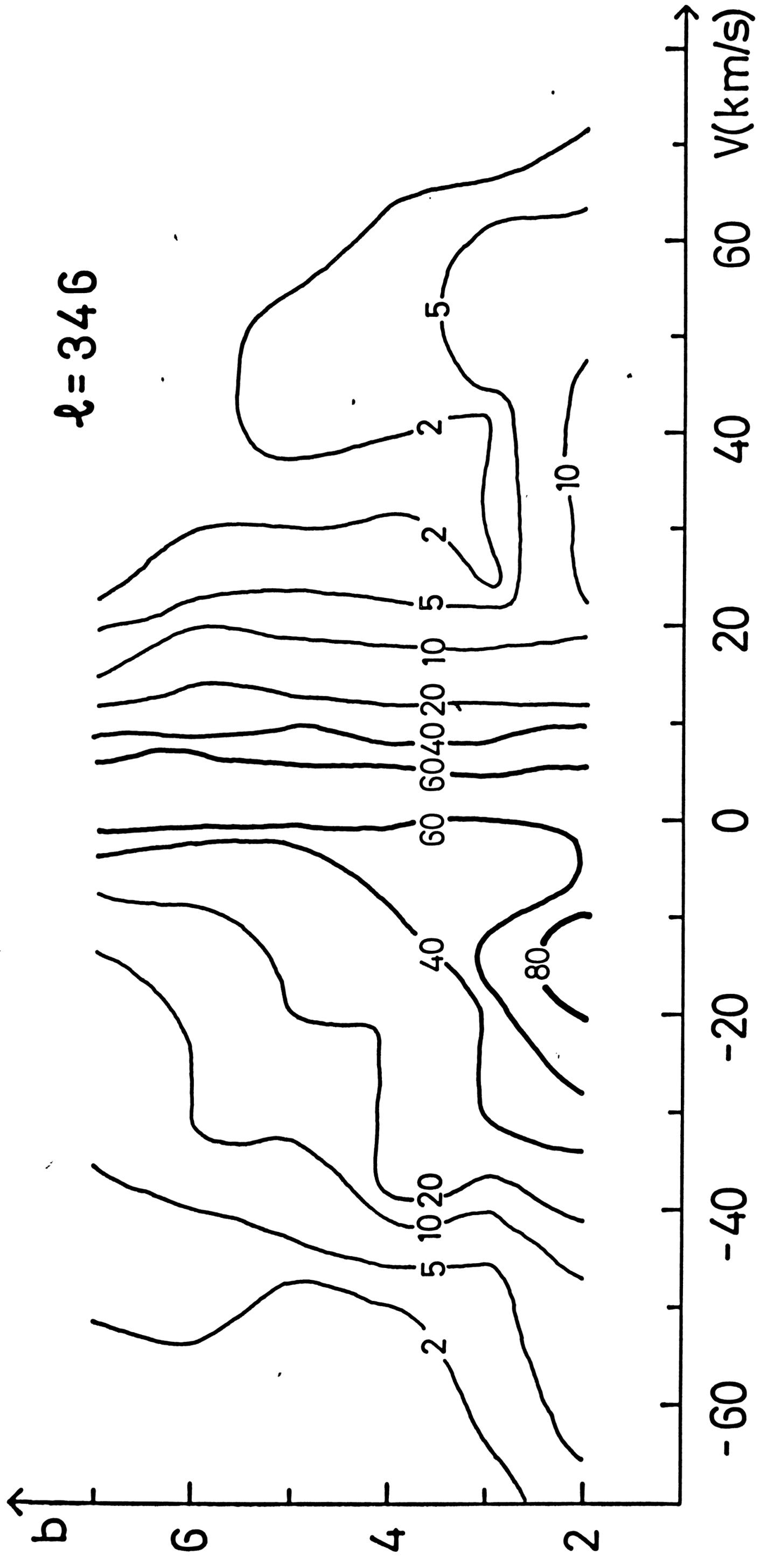


Fig. 14

$b = 3$

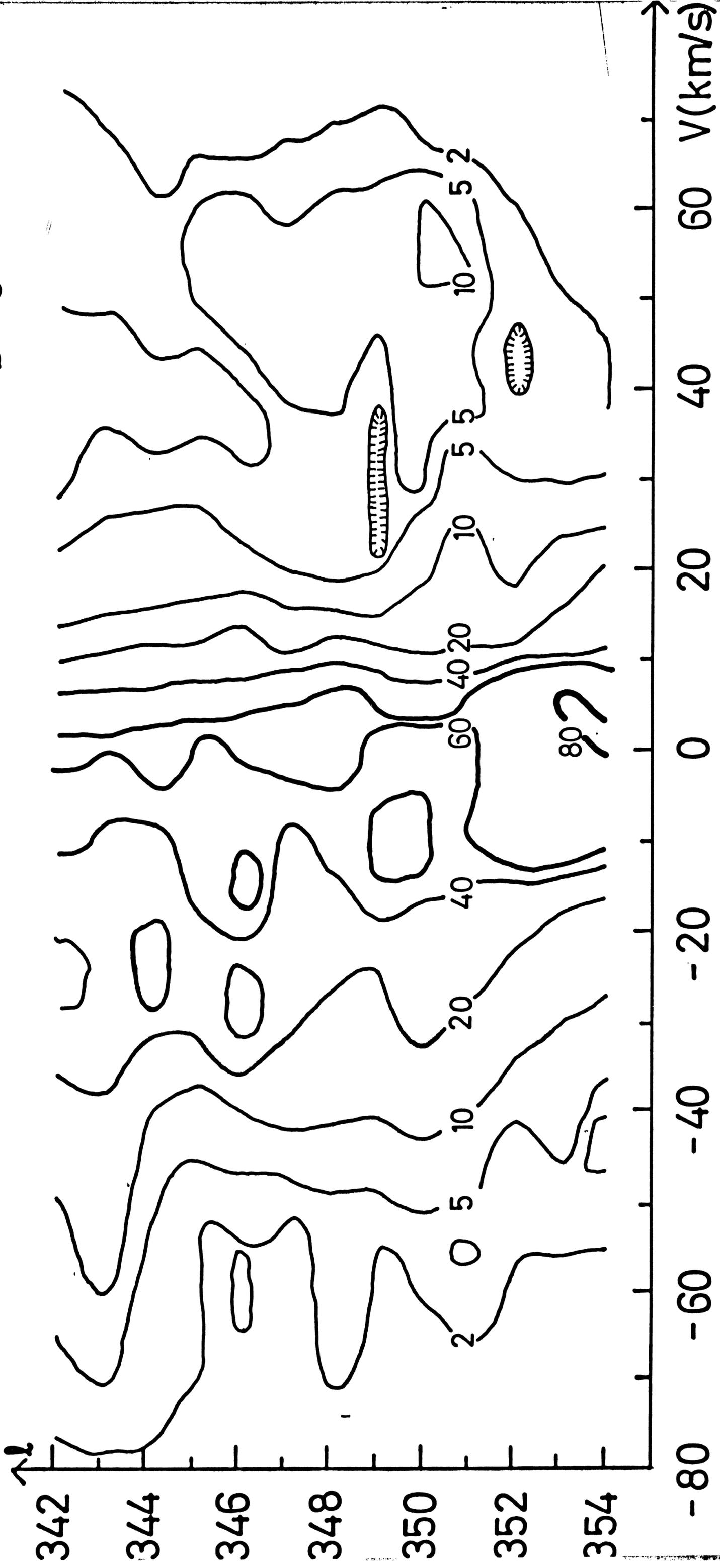


Fig. 15

$V = 52 \text{ km/s}$

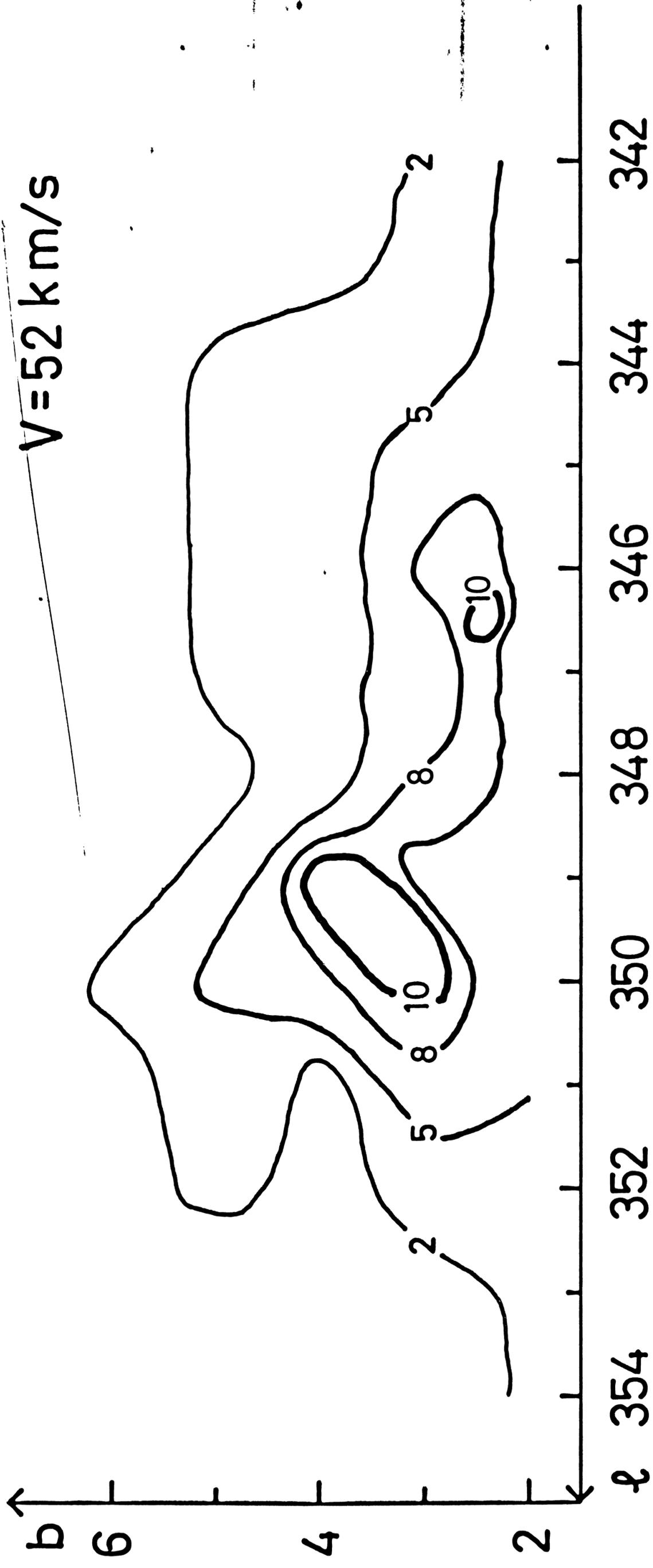


Fig. 16

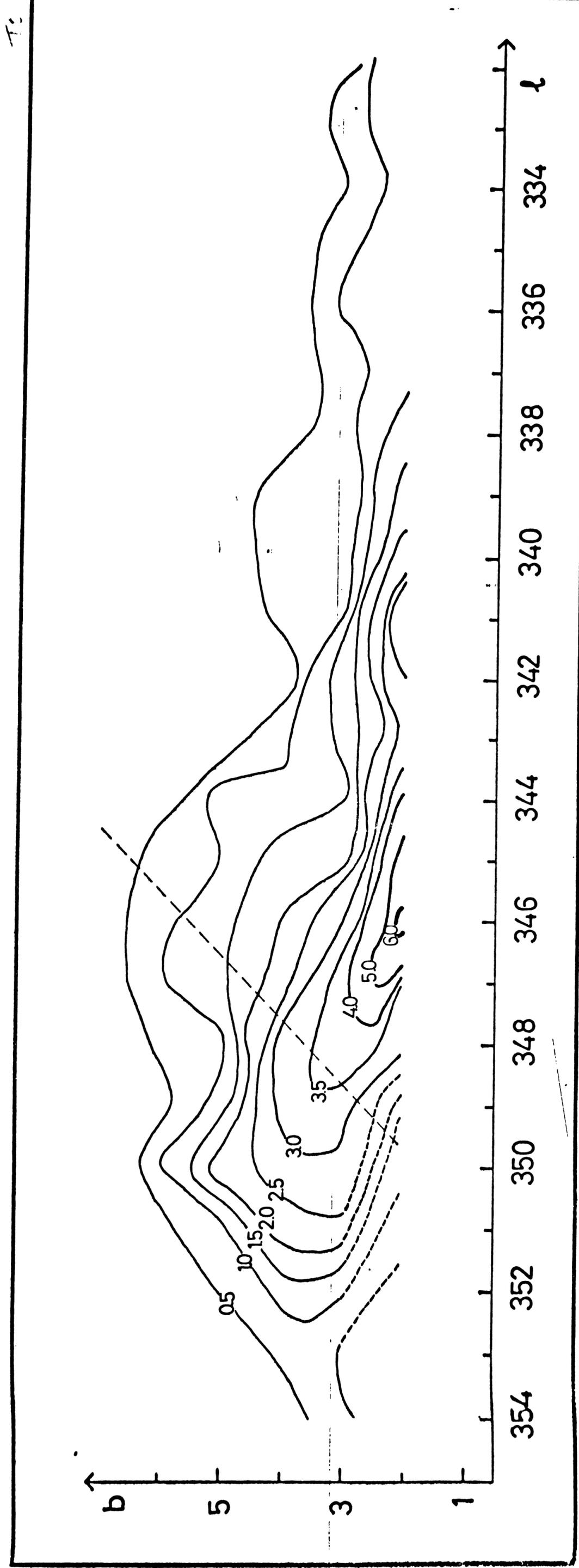


Fig. 17

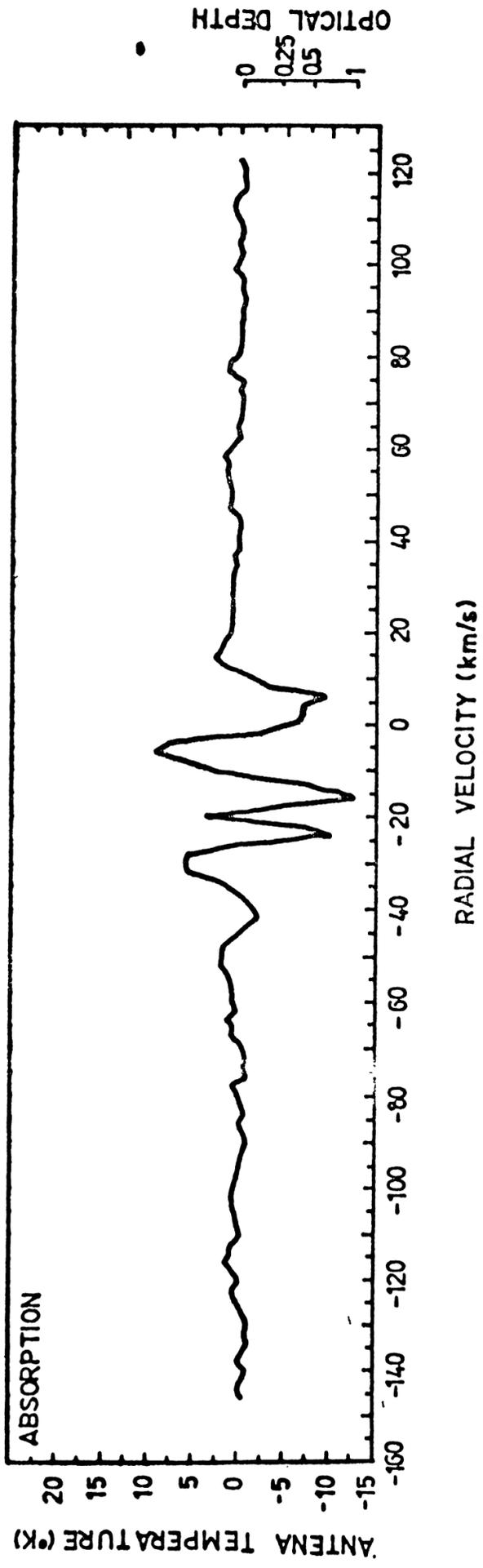


FIG. 19

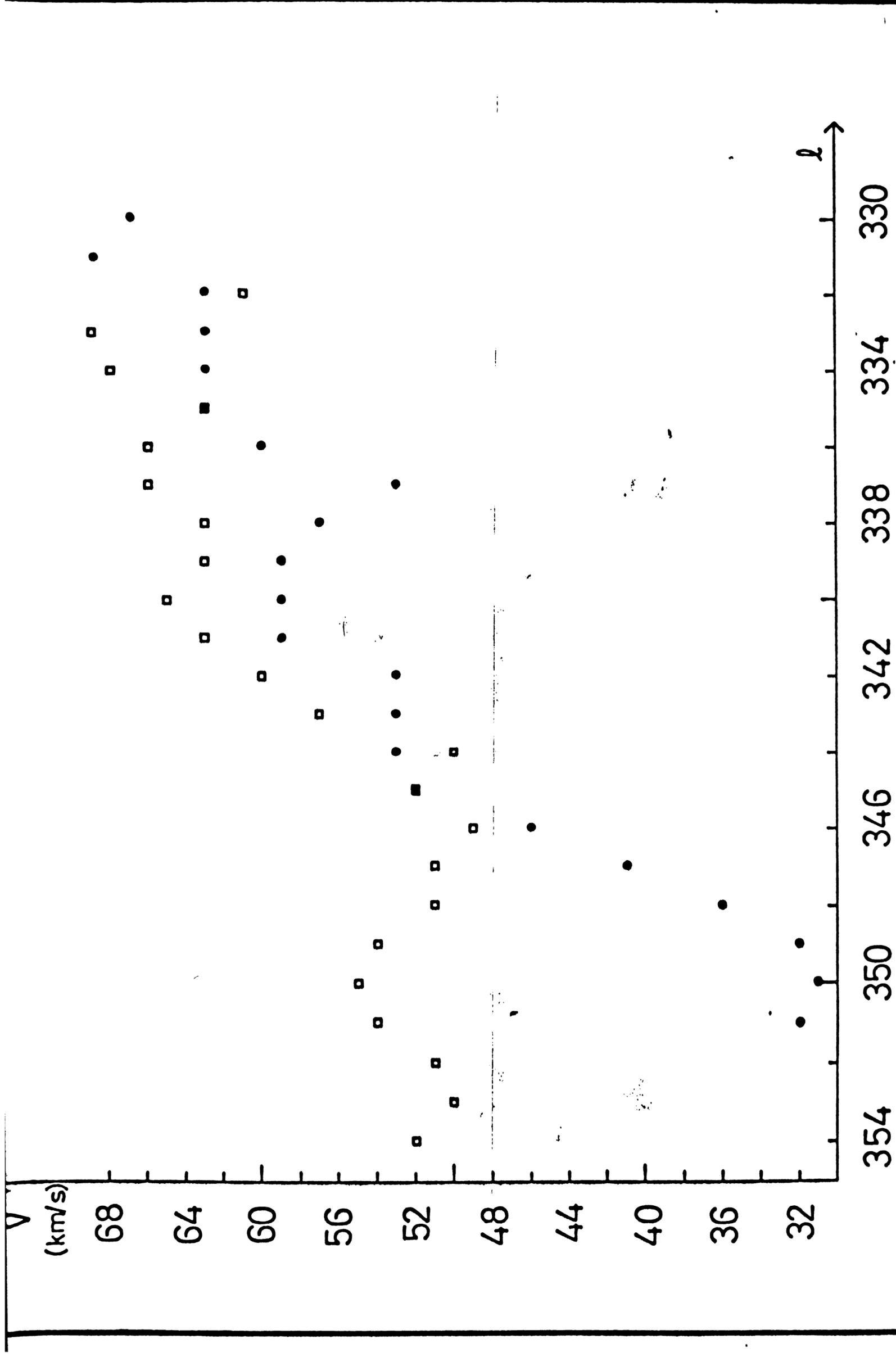
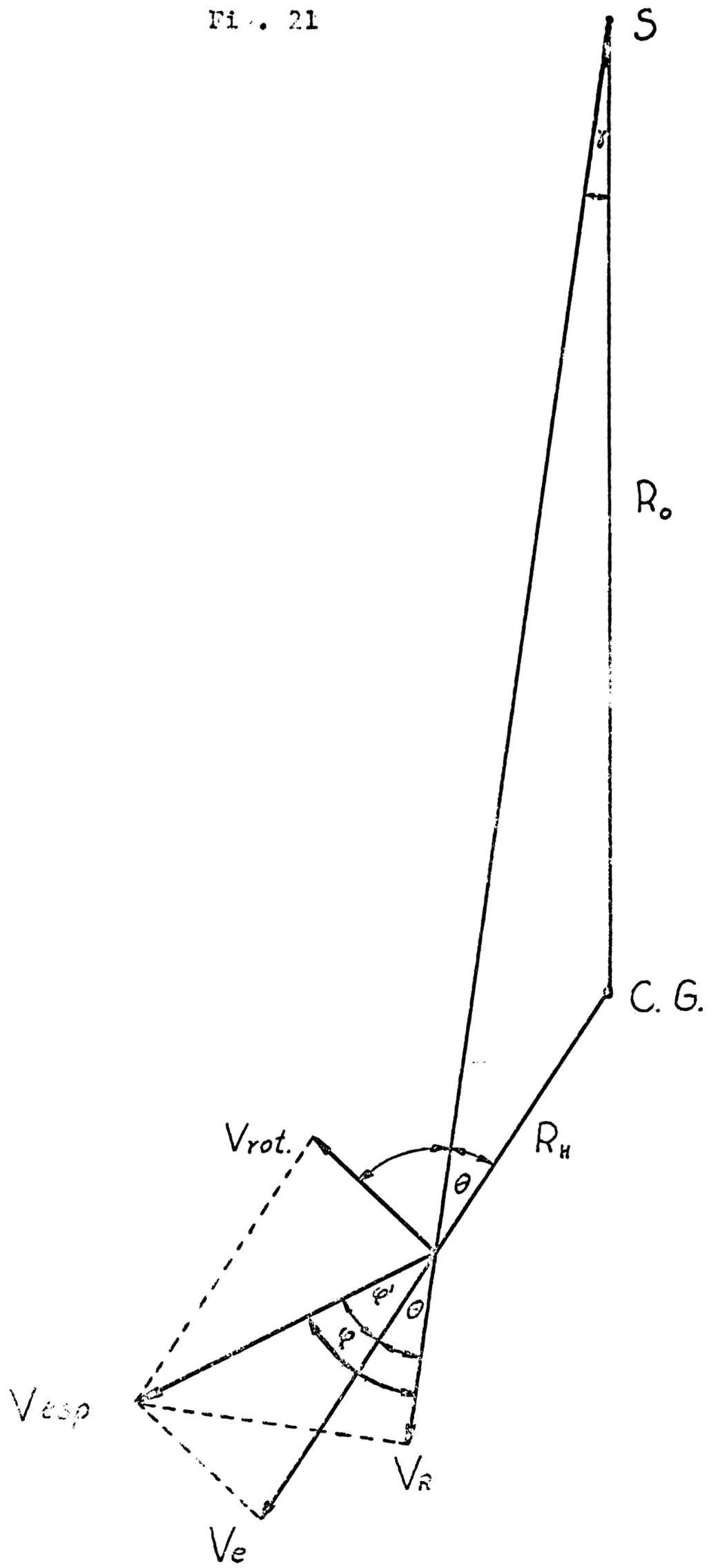


FIG. 20

Fig. 21



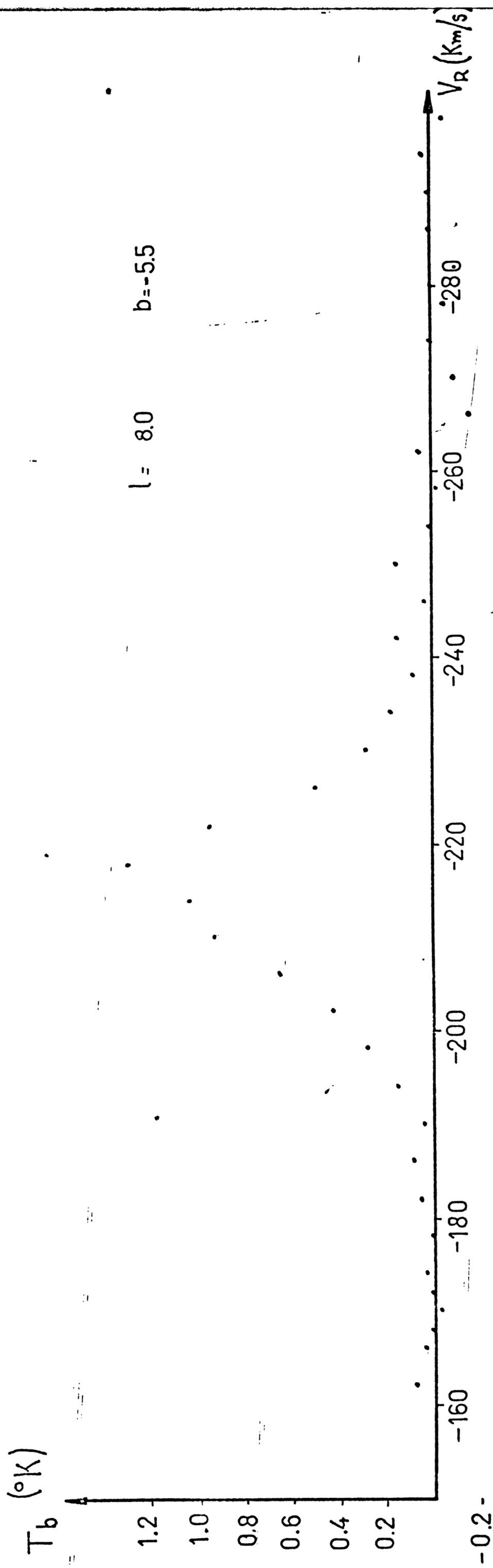


Fig 22

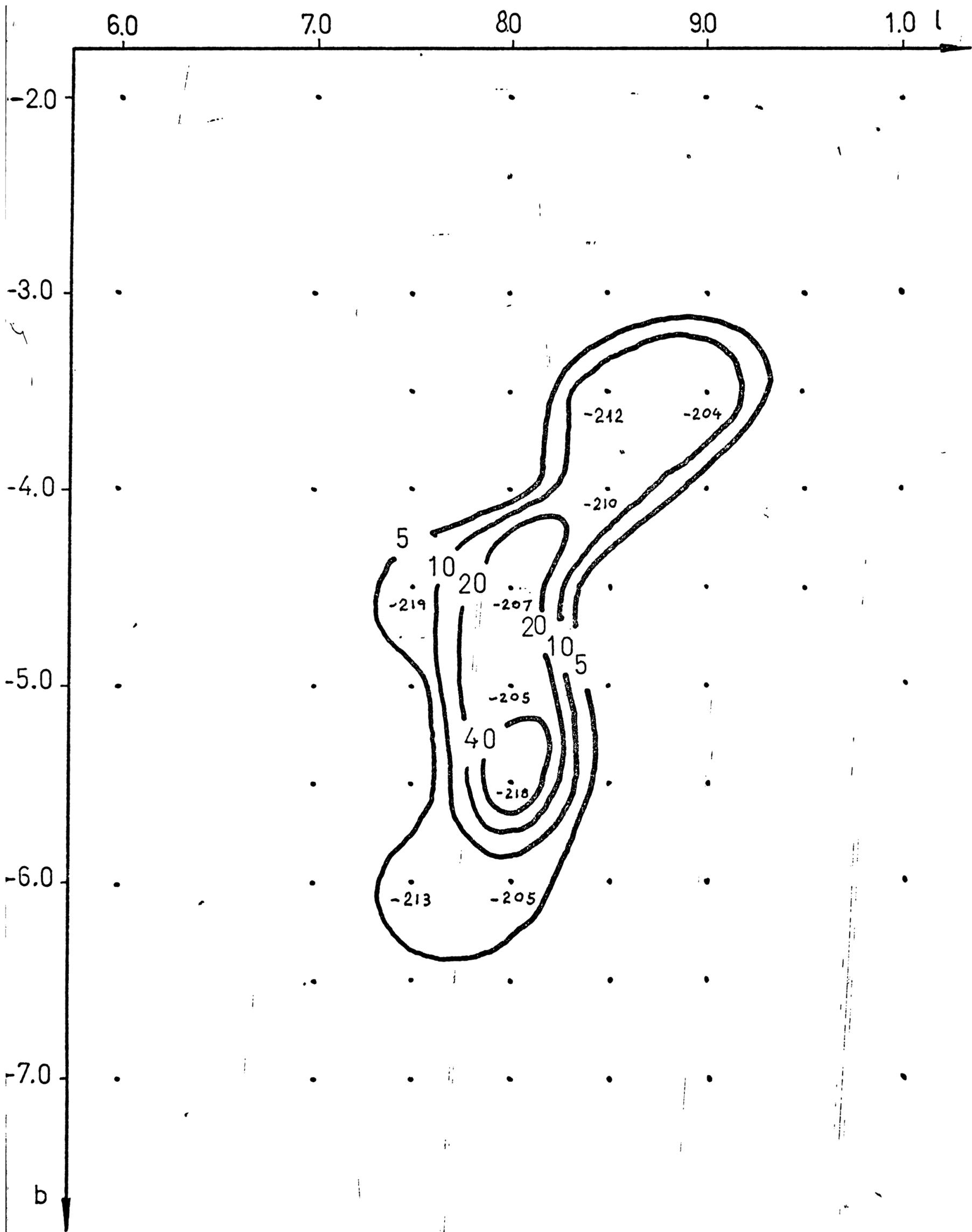


fig 23

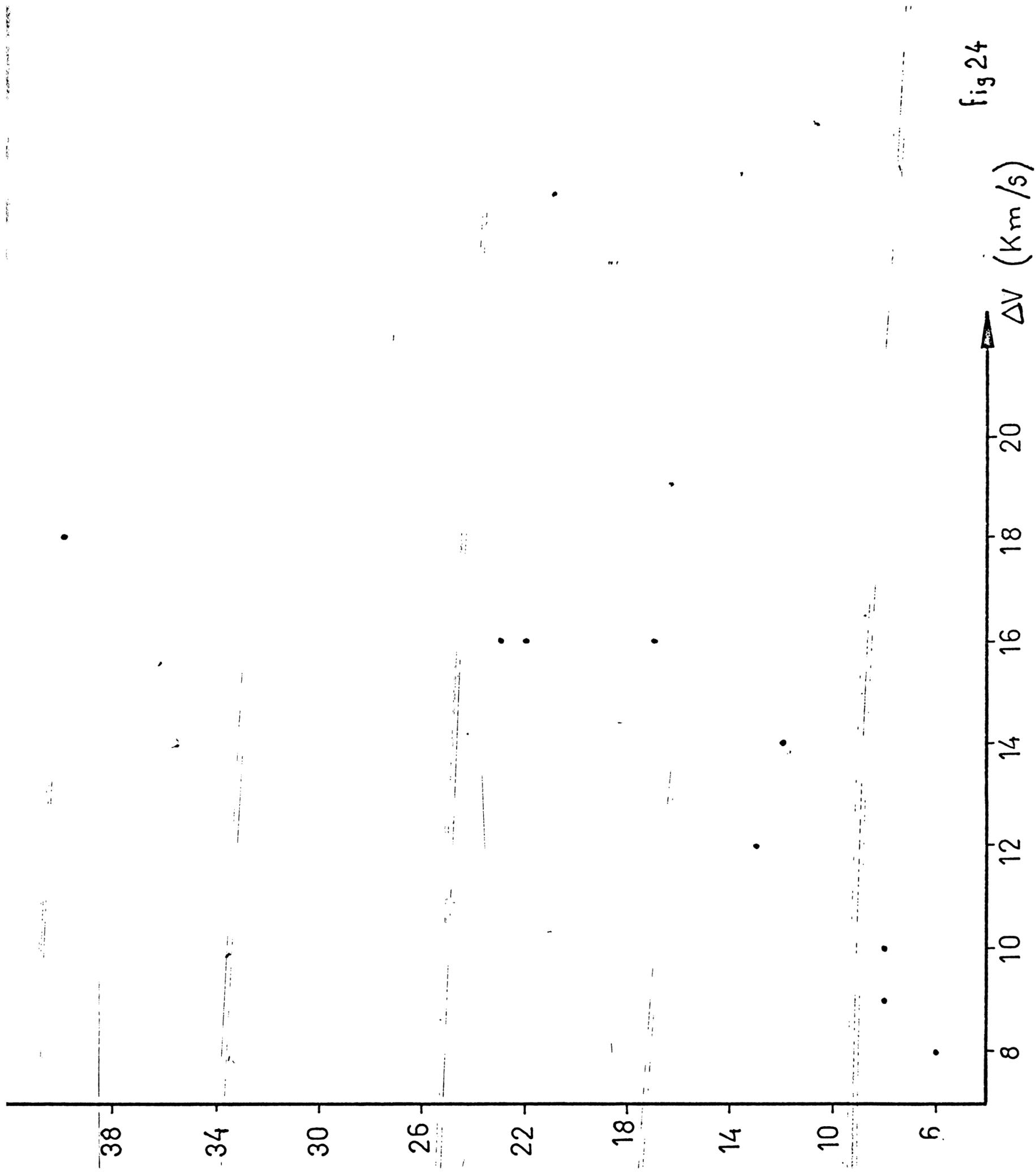


fig 24

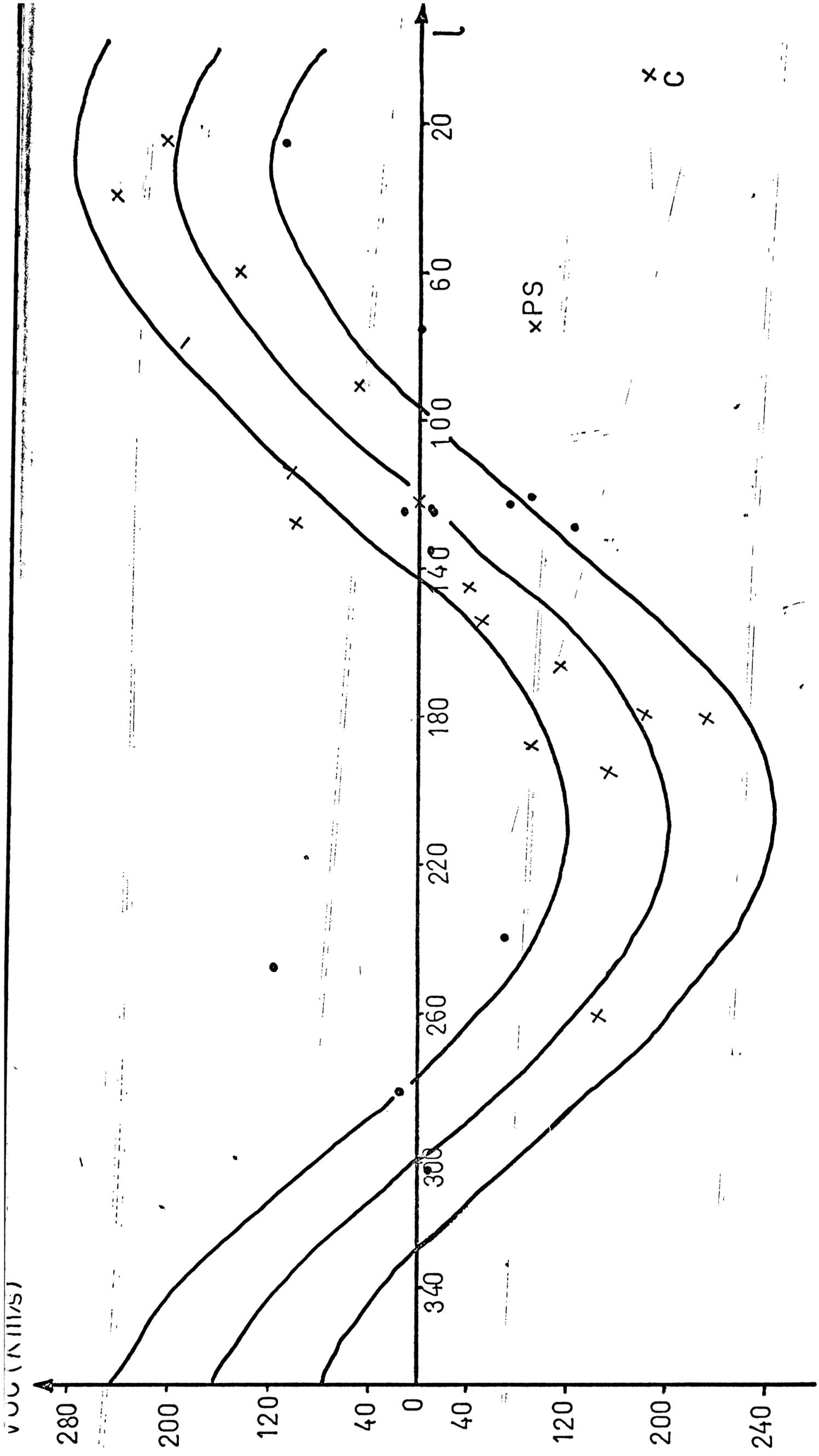


Fig. 25

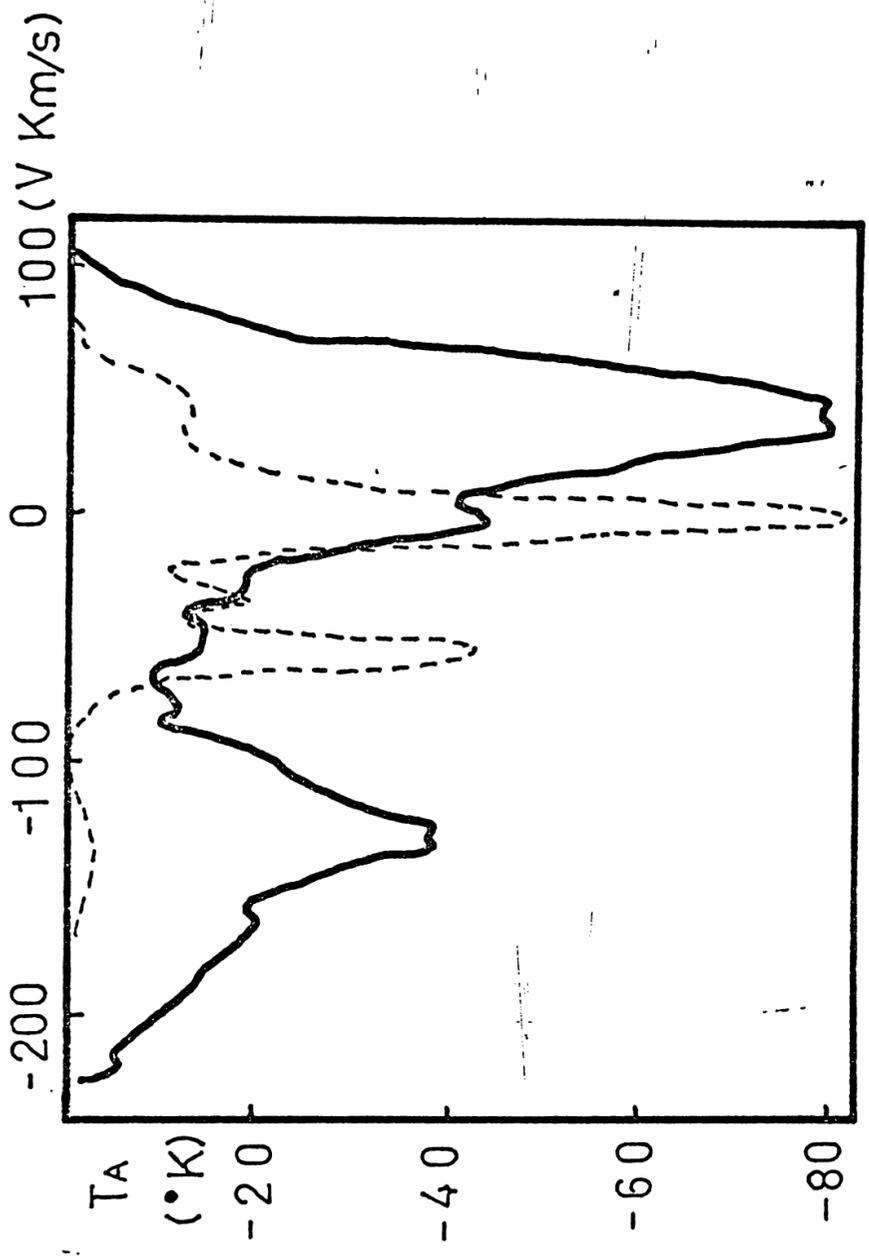


Fig. 26

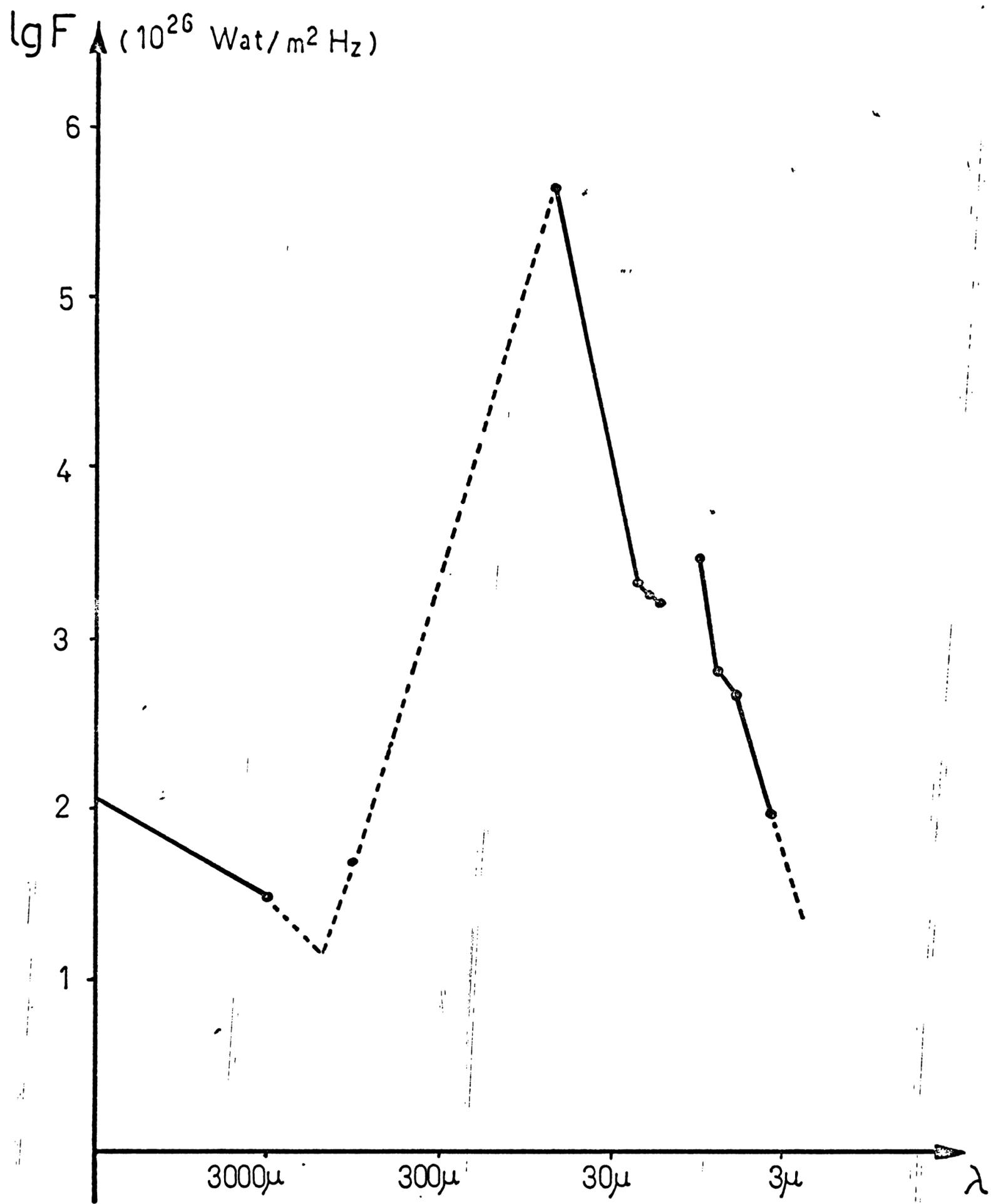
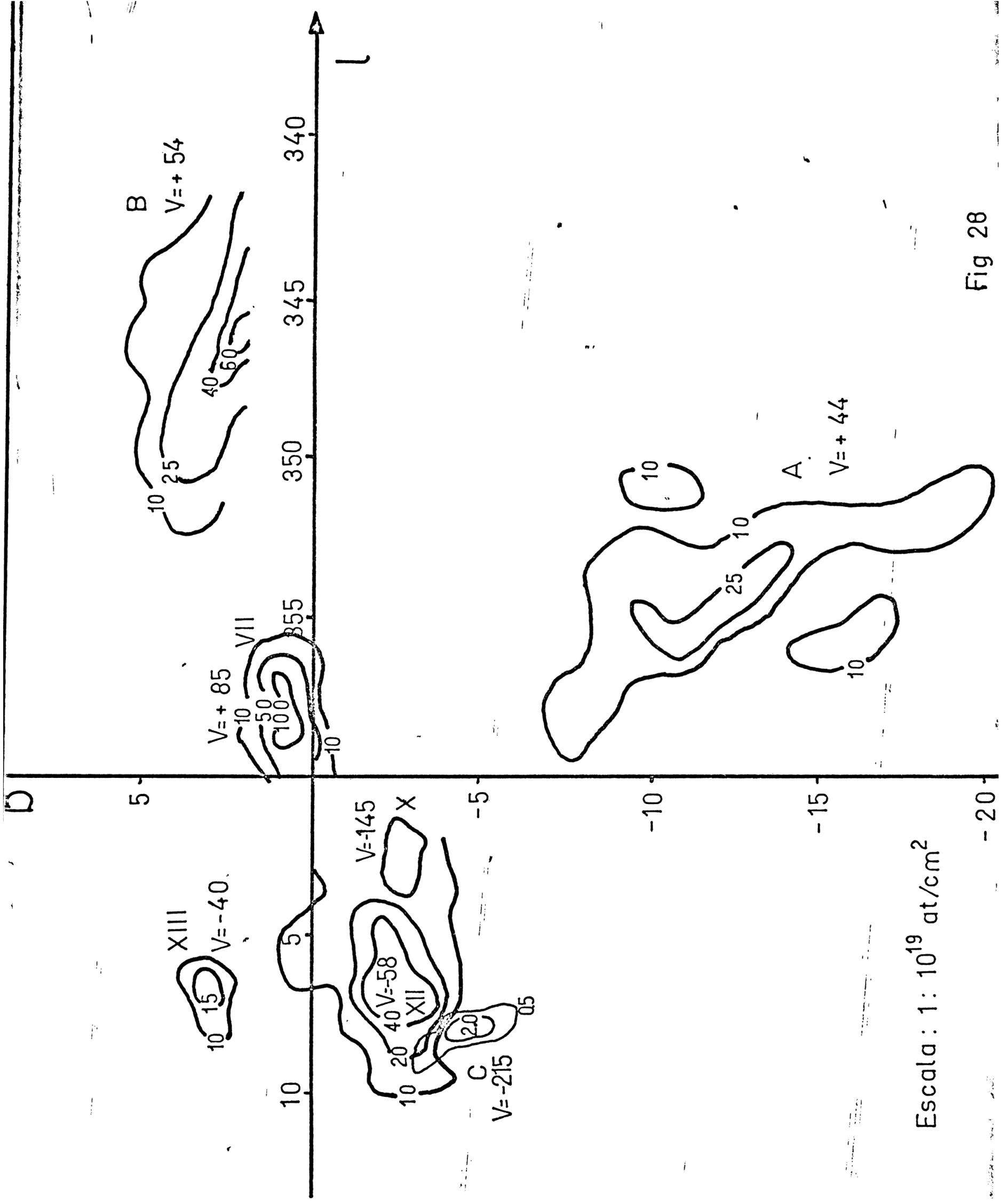


Fig 27



Escala: $1: 10^{19}$ at/cm²

Fig 28