

Remanentes de supernova galácticos en frecuencias bajas de radio: restricciones espectrales

Castelletti G.¹, Supan L.¹, Lane W. M.², Kassim N. E.², Dubner G.¹

¹Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET – UBA) ²Naval Research Laboratory, Washington DC, USA

VERY LARGE ARRAY LOW-FREQUENCY SURVEY REDUX (VLSSr)



Las observaciones se realizaron entre 2001 y 2007 empleando las configuraciones B y BnA del VLA (Cohen+2007, AJ, 134, 1245) y cubren el 95% del área del cielo con declinaciones por encima de -30° .

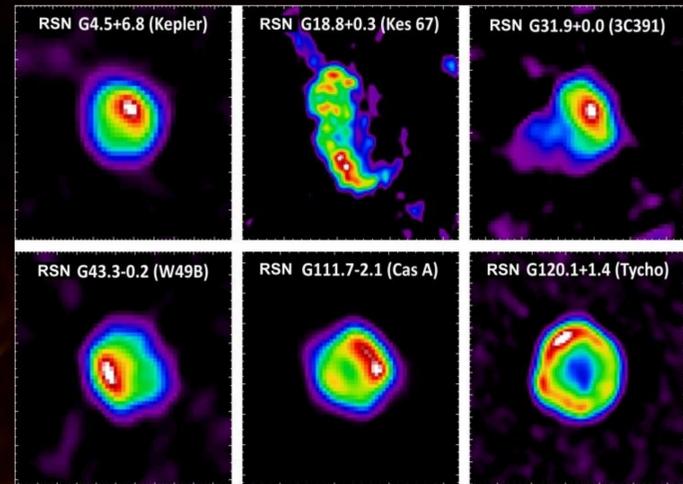
El relevamiento recupera correctamente estructuras con tamaños angulares de hasta $36'$, con una resolución angular de $75''$ y una sensibilidad de ~ 0.1 Jy/haz, por lo cual resulta apto para estudiar RSNs extensos y débiles.



En el año 2014, los datos fueron reprocesados con nuevos y más eficientes algoritmos de calibración e imagen incluidos en los paquetes de programas **AIPS** (Astronomical Image Processing System) y **Obit** (Lane+2014, MNRAS, 440, 327).

IMÁGENES VLSSr EN 74 MHz

La observación de RSNs a esta frecuencia es esencial para distinguir entre los procesos físicos intrínsecos y extrínsecos responsables de la morfología y distribución de brillo en estos objetos y estudiar las propiedades físicas del gas ionizado en el medio interestelar (MIE).



Imágenes en 74 MHz de 6 de los 22 RSNs investigados, obtenidas con el reprocesamiento de datos del VLSSr

ESPECTROS EN CONTINUO DE RADIO

Utilizando las nuevas imágenes VLSSr en 74 MHz de 22 RSNs galácticos se calculó la densidad de flujo integrada sobre cada fuente (pentágonos rojos en la figura derecha). En base a estas mediciones y a otras extraídas de la literatura (símbolos negros fig. derecha) se construyó el espectro integrado para cada uno de los remanentes abarcando en cada caso un rango espectral de varias décadas en frecuencias de radio.

Densidad de flujo en 74 MHz e índice espectral global para RSNs con espectros en radio descritos por $S_\nu \propto \nu^\alpha$

RSN	S_{74} (Jy)	α
G4.5 + 6.8	100 ± 16	-0.58 ± 0.02
G21.5 - 0.9	6.3 ± 1.1	-0.04 ± 0.01
G28.6 - 0.1	22.0 ± 4.4	-0.57 ± 0.07
G33.6 + 0.1	44.0 ± 10.0	-0.49 ± 0.02
G34.7 - 0.4	175 ± 41	-0.37 ± 0.02
G46.8 - 0.3	11.0 ± 3.8	-0.57 ± 0.01
G84.2 - 0.8	4.8 ± 2.6	-0.49 ± 0.02
G120.1 + 1.4	237 ± 36	-0.59 ± 0.01
G130.7 + 3.1	32.8 ± 5.1	-0.06 ± 0.01
G184.6 - 5.8	1396 ± 209	-0.28 ± 0.01
G189.1 + 3.0	42.0 ± 11.4	-0.36 ± 0.02

Se aplicaron factores de conversión a todas las mediciones para homogeneizar los valores a la escala absoluta de flujo dada por Perley & Butler (2013, ApJS, 204, 19), la única apropiada para trabajar con datos comprendidos entre las frecuencias bajas de radio y $\sim 10^3$ MHz. Para cada remanente se calculó el índice espectral global α mediante un ajuste por cuadrados mínimos ponderados sobre todas las mediciones de densidad de flujo, pesando los datos por diferencias en la resolución angular o sensibilidad (línea de trazo continuo en la figura derecha).

En 11 de los 22 RSNs investigados el espectro resultante no está descrito por una ley de potencia entre la densidad de flujo S_ν y la frecuencia de observación ν ($S_\nu \propto \nu^\alpha$), como se espera suceda para la emisión sincrotrónica en ondas proveniente de estas fuentes. Las curvaturas espectrales observadas a $\nu < 100$ MHz revelan la acción de procesos de absorción extrínsecos a los RSNs producidos por la presencia de gas ionizado a lo largo de la línea de vista (Kassim 1989, ApJ, 347, 915). Los espectros que manifestaron este comportamiento fueron ajustados utilizando la ecuación

$$S_\nu = [S_{408}(\nu/408)]^\alpha \exp[-\tau_{408}(\nu/408)^{-2.1}] \quad \text{Ec. (1)}$$

Densidad de flujo en la frecuencia ν en presencia de un medio absorbente de profundidad óptica τ (a una frecuencia de referencia de 408 MHz), debida a partículas libres cargadas (absorción libre-libre)

DENSIDADES ELECTRÓNICAS PARA EL GAS IONIZADO EN EL MIE

A partir de las curvaturas espectrales encontradas se obtuvo la distribución de densidad electrónica media del gas absorbente, n_e , a lo largo de la longitud de camino L entre el observador y la emisión sincrotrónica proveniente del RSN. Para ello se utilizaron los valores de profundidad óptica obtenidos al ajustar los datos con la Ec. (1) y su relación con la medida de emisión (EM) y la temperatura electrónica T_e del gas ionizado (asumiendo un valor típico de 5000 K, Kassim 1989, ApJ, 347, 915) (Ecs. 2, 3).

$$\text{Ecs. (2,3)} \quad \tau_\nu = 1.643 \times 10^5 a(T_e, \nu) (\nu^{2.1}) (\text{EM } T_e^{-1.35})$$

$$\text{EM} = \int_L n_e^2 dl$$

$$a(T_e, \nu) \sim 1$$

Las densidades electrónicas obtenidas concuerdan con los valores típicamente medidos en la componente ionizada tibia del MIE (Reynolds 2004, ASR, 34, 27). La ausencia de correlación entre los valores de profundidad óptica y la distancia a cada remanente (figura derecha), indican que el gas térmico responsable de la absorción posee una distribución no uniforme en el MIE.

Densidades de flujo en 74 MHz, índice espectral, profundidad óptica, distancia y densidad electrónica para RSNs con espectros en radio descritos por la Ec. (1)

RSN	S_{74} (Jy)	α	τ_{408}	Distancia, L (kpc)	n_e (cm^{-3})
G18.8 + 0.3	84.5 ± 15.3	-0.40 ± 0.01	0.0022 ± 0.0001	14 ± 2	0.18 ± 0.08
G20.0 - 0.2	5.2 ± 1.4	-0.18 ± 0.03	0.015 ± 0.004	4.5 ± 1.0	0.83 ± 0.50
G21.8 - 0.6	169 ± 31	-0.48 ± 0.02	0.0018 ± 0.0008	5.2 ± 1.2	0.27 ± 0.19
G23.3 - 0.3	75.0 ± 14.5	-0.66 ± 0.04	0.039 ± 0.005	4.2 ± 0.3	1.39 ± 0.64
G27.4 + 0.0	13.4 ± 2.3	-0.71 ± 0.03	0.027 ± 0.006	8.7 ± 1.2	0.80 ± 0.43
G29.7 - 0.3	51.0 ± 8.1	-0.62 ± 0.01	0.004 ± 0.001	10.6 ± 2.5	0.28 ± 0.17
G31.9 + 0.0	31.0 ± 6.0	-0.47 ± 0.01	0.030 ± 0.002	8.5 ± 2.0	0.85 ± 0.43
G39.2 - 0.3	40.0 ± 9.3	-0.38 ± 0.01	0.0022 ± 0.0008	6.2 ± 1.5	0.27 ± 0.18
G41.1 - 0.3	65.0 ± 9.9	-0.36 ± 0.02	0.0038 ± 0.0004	10.3 ± 2.0	0.28 ± 0.14
G43.3 - 0.2	64.0 ± 9.7	-0.42 ± 0.01	0.024 ± 0.003	10.0 ± 2.0	0.70 ± 0.37
G111.7 - 2.1	18524 ± 5289	-0.78 ± 0.01	0.00026 ± 0.00006	3.4 ± 0.5	0.13 ± 0.07

