

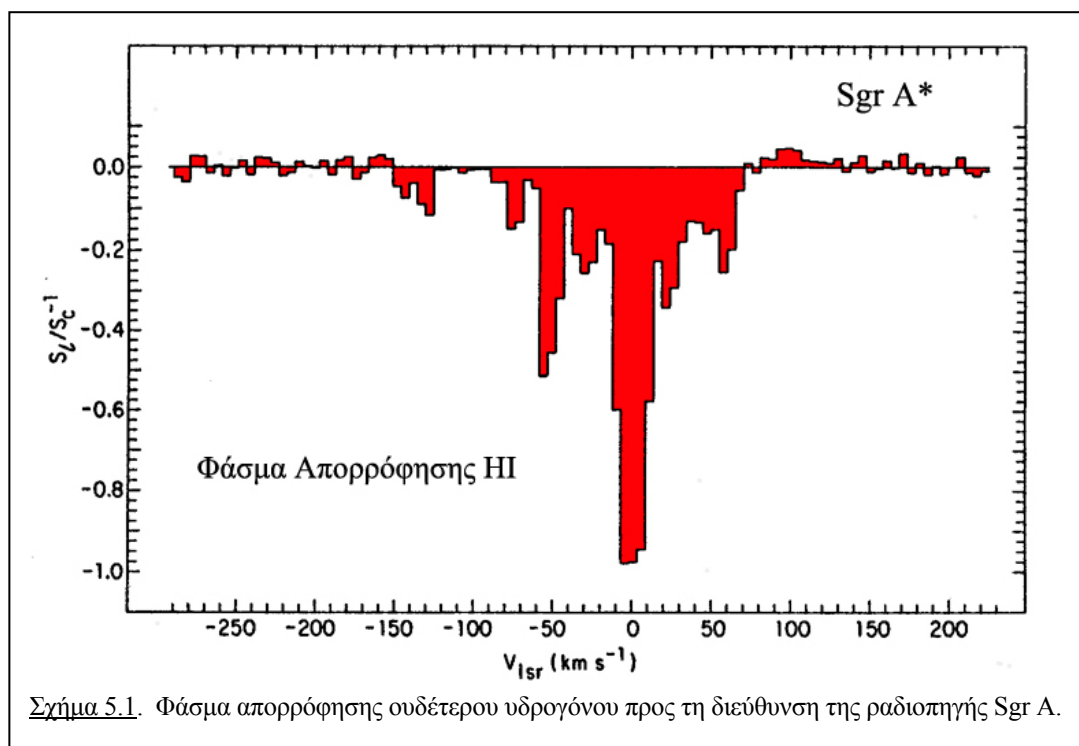
5. ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ ΓΑΛΑΞΙΑ ΜΑΣ

5.1 Γενικά - Η ευρύτερη περιοχή μέχρι ακτίνα 3 kpc

Όπως είδαμε στα προηγούμενα Κεφάλαια η εικόνα που είχαμε παλαιότερα για το Σύμπαν από οπτικές παρατηρήσεις άλλαξε ριζικά με τα καινούργια δεδομένα που συγκεντρώθηκαν, και εξακολουθούν να συγκεντρώνονται, από παρατηρήσεις σε άλλα μήκη κύματος. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας 1950-1960 οι αστρονόμοι γνώριζαν ότι ο Γαλαξίας αποτελείται από περίπου 100 δισεκατομμύρια αστέρες και ικανές ποσότητες αερίου και σκόνης. Γνώριζαν επίσης ότι το σχήμα του Γαλαξία είναι περίπου δισκοειδές με διάμετρο περί τα 70 000 έως 80 000 έτη φωτός. Ο Ήλιος βρίσκεται σε απόσταση 30 000 περίπου ετών φωτός από το κέντρο του Γαλαξία (κέντρο του δίσκου) και, όπως είχε δείξει ο Linblad το 1926, περιφέρεται αργά (μια περιστροφή κάθε 250 000 περίπου χρόνια) γύρω από αυτό το κέντρο. Το ακριβές σχήμα του δίσκου δεν μπορούσε να παρατηρηθεί, λόγω της πολύ μεγάλης απορρόφησης που υφίστανται τα οπτικά κύματα από τη μεσοαστρική σκόνη. Η ύπαρξη σημαντικής ποσότητας σκόνης και αερίου στο Γαλαξία συνηγορούσε ότι επρόκειτο για σπειροειδή γαλαξία αλλά δεν ήταν γνωστό αν επρόκειτο για ραβδωτό-σπειροειδή ή όχι και τι τύπου σπειροειδής ήταν. Το ποσοστό σκόνης στο Γαλαξία μας δεν υπερβαίνει το 1% κατά μάζα, όμως η απορρόφηση που προκαλεί σε οπτικά μήκη κύματος είναι τεράστια. Για παράδειγμα η απορρόφηση που υφίστανται φωτόνια που προέρχονται από την περιοχή του κέντρου του Γαλαξία είναι μεγαλύτερη από 27 μεγέθη, δηλαδή στη Γη μας φτάνει 1 από κάθε 10^{11} οπτικά φωτόνια που εκπέμπονται!

Το 1931 ο C. Jansky “άνοιξε” το ραδιοφωνικό παράθυρο παρατήρησης του Σύμπαντος και όπως είδαμε στο πρώτο Κεφάλαιο μια από τις πρώτες ραδιοπηγές που παρατηρήθηκαν

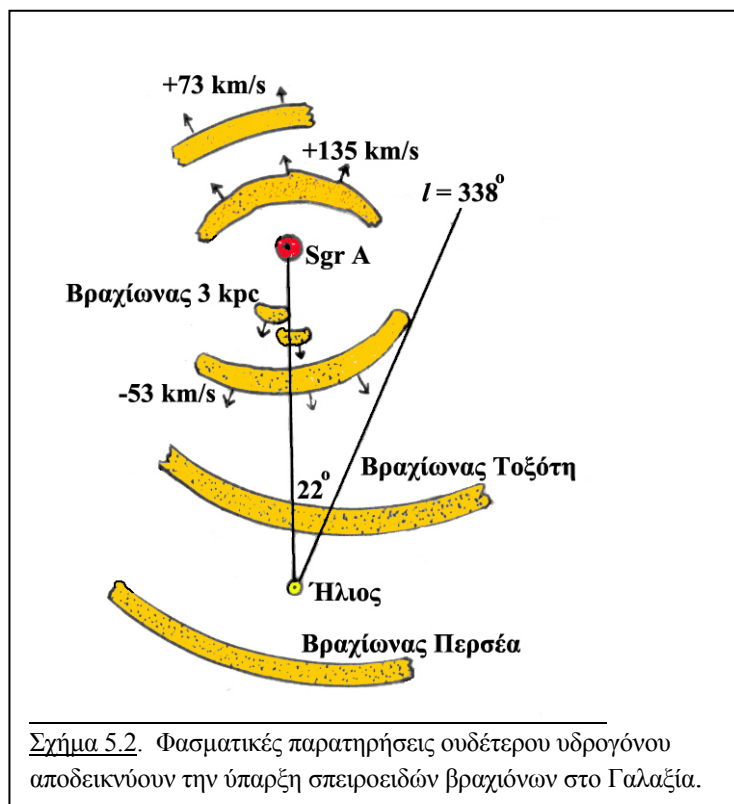
βρισκόταν στον αστερισμό του Τοξότη Sagittarius), δηλαδή προς τη διεύθυνση του κέντρου του Γαλαξία. Η πηγή αυτή ονομάστηκε αργότερα Sgr A (Sagittarius A), ένδειξη ότι είναι η ισχυρότερη ραδιοπηγή στον αστερισμό του Τοξότη. Μετά από είκοσι περίπου χρόνια, με την εξέλιξη τόσο της τεχνολογίας όσο και των θεωρητικών υπολογισμών, έγιναν οι πρώτες παρατηρήσεις της φασματικής γραμμής του ουδέτερου υδρογόνου (βλέπε Κεφάλαιο 8) και αποδείχθηκε, πέραν κάθε αμφιβολίας, ότι ο Γαλαξίας μας είναι σπειροειδής και ότι υπακούει στο πρότυπο του Linblad. Το 1960 όμως παρατηρήθηκε μία σημαντική απόκλιση από το πρότυπο του Linblad. Ο Ολλανδός ραδιοαστρονόμος Jan Oort ανακάλυψε μία σπείρα (ή βραχίονα), από το φάσμα απορρόφησης της οποίας υπολογίσθηκε ότι μας προσεγγίζει με



Σχήμα 5.1. Φάσμα απορρόφησης ουδέτερου υδρογόνου προς τη διεύθυνση της ραδιοπηγής Sgr A.

ταχύτητα -53 km/sec (Σχήμα 5.1). Η απόσταση του διαστελλόμενου αυτού βραχίονα από το κέντρο του Γαλαξία υπολογίζεται εύκολα αν εντοπίσουμε το γαλαξιακό μήκος πέραν του οποίου δεν παρατηρείται πλέον (βλέπε Κεφ. 8). Στο γαλαξιακό αυτό μήκος η ευθεία οράσεως εφάπτεται του βραχίονα (Σχήμα 5.2). Στην προκειμένη περίπτωση το γαλαξιακό μήκος που συμβαίνει αυτό είναι $\ell = 338^\circ$ και αν υποθέσουμε ότι το κέντρο του Γαλαξία απέχει από τον Ήλιο 8 kpc , η ακτίνα του βραχίονα υπολογίζεται ότι είναι 3 kpc ($8 \times \sin |338^\circ|$). Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως ο διαστελλόμενος **βραχίονας των 3 kpc** (3 kpc arm). Σε ακτίνα 4 kpc από το κέντρο του Γαλαξία υπάρχουν και άλλοι διαστελλόμενοι βραχίονες (Σχήμα 5.2) η ύπαρξη των οποίων ερμηνεύεται αν δεχτούμε ότι δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια βίαιων εκρήξεων στο κέντρο του Γαλαξία. Η δραστηριότητα πάντως που παρατηρείται σήμερα στην περιοχή του κέντρου του Γαλαξία δεν είναι ικανή να εξηγήσει την ύπαρξη τέτοιων εκρήξεων.

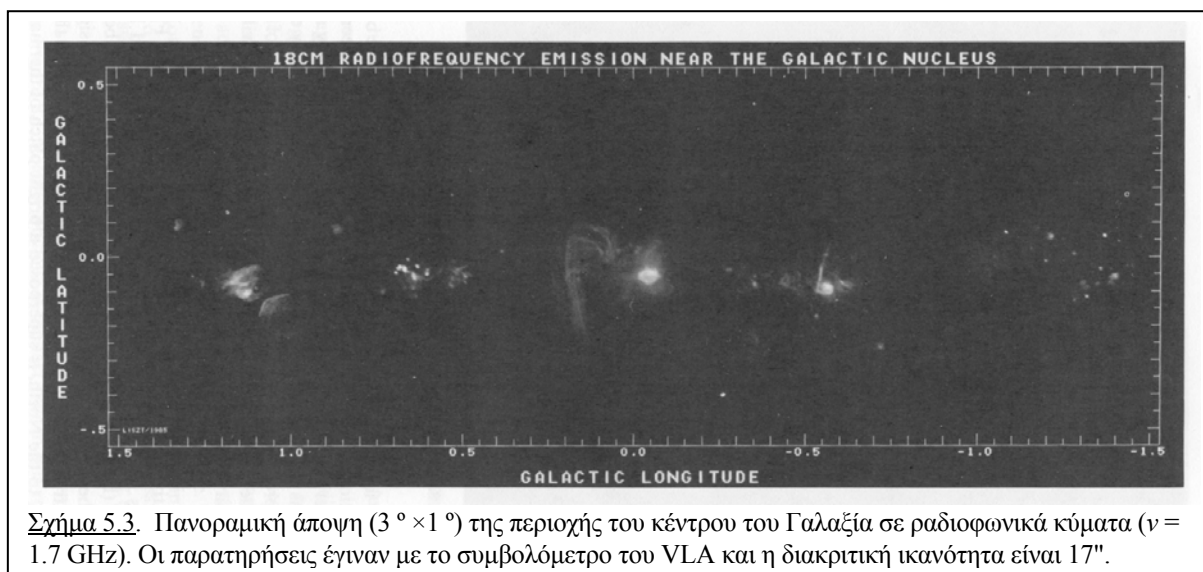
Δεν αποκλείεται όμως στο σχετικά πρόσφατο παρελθόν (πριν από 30 εκατομμύρια χρόνια) στο κέντρο του Γαλαξία να συνέβαιναν τέτοιες εκρήξεις, ανάλογες με αυτές που παρατηρούνται σήμερα στους γαλαξίες τύπου Seyfert.



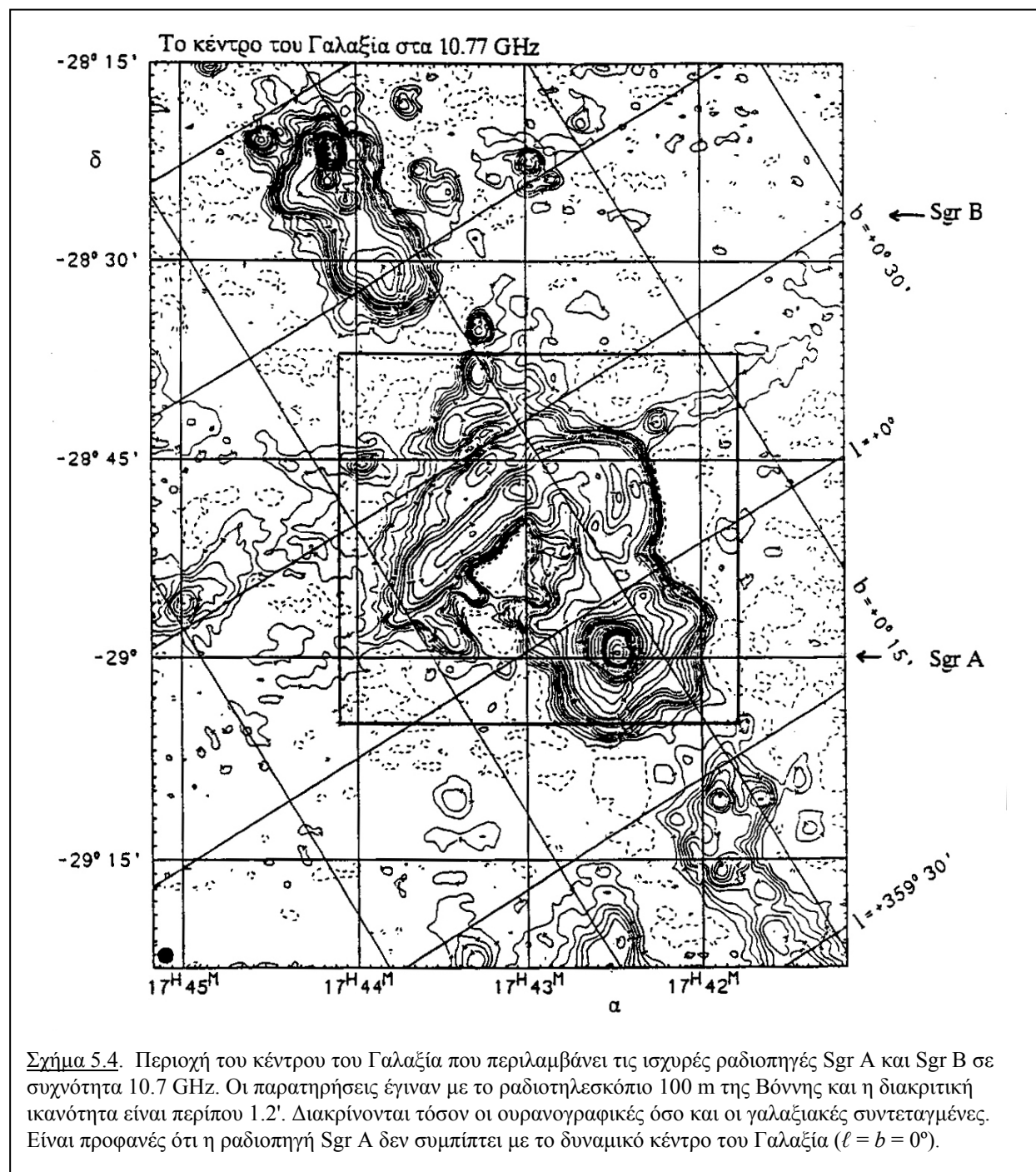
Έντονη δραστηριότητα παρατηρείται ενίοτε και στο κέντρο φαινομενικά κοινών σπειροειδών γαλαξιών, π.χ. στον NGC 4258 πράγμα που ενισχύει την παραπάνω θεωρία για τη δημιουργία των διαστελλομένων βραχιόνων του Γαλαξία μας.

Σε ακτίνα μικρότερη από 3 kpc παρατηρείται ελάττωση της πυκνότητας του ουδέτερου υδρογόνου, του μεσοαστρικού αερίου και της σκόνης γενικότερα. Σε ακτίνα όμως 200 περίπου pc παρατηρείται εκ νέου

μια αύξηση της πυκνότητας του υδρογόνου το οποίο παρατηρείται να διαστέλλεται με ταχύτητα διαστολής ~ 150 km/sec. Οι παρατηρήσεις μας εξηγούνται με την ύπαρξη ενός ψυχρού, διαστελλόμενου δακτύλιου ο οποίος περιέχει σημαντική ποσότητα μοριακών ενώσεων, απλών (π.χ. υδροξύλιο, OH^- , μονοξείδιο το άνθρακα, CO) ή και πολύπλοκων (π.χ.



φορμαλδεύδη, H_2CO , αιθανόλη, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, κτλ.).



Εντός του δακτυλίου κυριαρχεί η ύπαρξη της ισχυρότατης ραδιοπηγής **Sgr A**. Στη συχνότητα των 5 GHz η πυκνότητα ροής της πηγής είναι 115 Jy. Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται μια πανοραμική εικόνα της περιοχής του αστερισμού του Τοξότη που περιέχει το κέντρο του Γαλαξία. Η συχνότητα παρατήρησης είναι 1.7 GHz. Στο σημείο αυτό ας σημειώσουμε ότι στην απόσταση του κέντρου του Γαλαξία (8.5 kpc) αντιστοιχούν 2.33 pc σε κάθε πρώτο λεπτό (ή περίπου 1 έτος φωτός σε κάθε 8"). Δηλαδή οι διαστάσεις της περιοχής που καλύπτει το Σχ. 5.4 είναι 420×140 pc. Από θετικά γαλαξιακά μήκη (αριστερά) προς αρνητικά (δεξιά) οι κύριες πηγές που παρατηρούνται ονομάζονται **Sgr D** ($l = 1.1^\circ$), **Sgr B** ($l = 0.6^\circ$), **Sgr A** ($l = 0.0^\circ$), **Sgr**

C ($\ell = -0.6^\circ$) και **Sgr E** ($\ell = -1.3^\circ$). Η πυκνότητα ροής των πηγών αυτών φθίνει κατά την αλφαβητική σειρά του ονόματός τους.

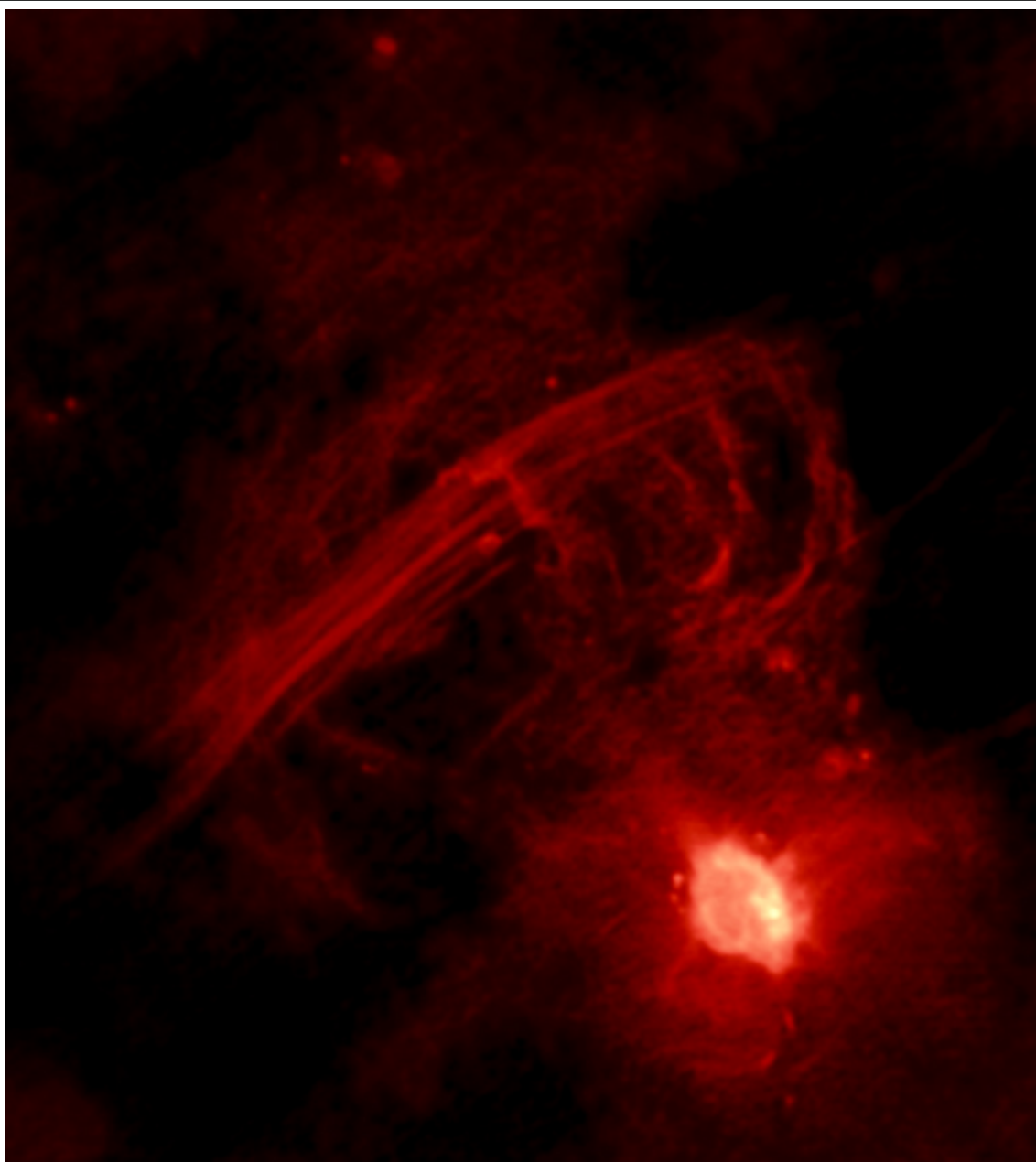
Η ραδιοπηγή Sgr D αποτελείται από μια περιοχή ιονισμένου υδρογόνου (λαμπρότερο τμήμα) και ένα υπόλειμμα έκρηξης υπερκαινοφανούς. Η πηγή Sgr B αποτελείται από ένα σύμπλεγμα λαμπρών και ιδιαίτερα συμπαγών περιοχών ιονισμένου υδρογόνου. Μερικές από αυτές συνδέονται με μοριακά νέφη ύδατος και υδροξυλίου που εκπέμπουν συντονισμένη ακτινοβολία maser (H_2O and OH masers, βλ. Κεφ. 9). Η φύση της πηγής Sgr C δεν είναι ακόμα γνωστή. Τμήμα της πηγής εκπέμπει θερμική ακτινοβολία. Σε γενικές γραμμές παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με την ισχυρότατη πηγή στο κέντρο του Γαλαξία μας, Sgr A. Η ραδιοπηγή Sgr E δεν έχει μελετηθεί ικανοποιητικά ακόμα. Από τη μορφολογία της και μόνο υποθέτουμε ότι πρόκειται για σύμπλεγμα συμπαγών πηγών ιονισμένου υδρογόνου.

5.2 Η περιοχή μέχρι ακτίνα 200 pc

Η κατανομή μάζας της περιοχής που περιέχει το κέντρο του Γαλαξία παρατηρείται σχετικά εύκολα με παρατηρήσεις στο υπέρυθρο. Έτσι κατά τις αρχές της δεκαετίας 1970-80 με παρατηρήσεις στο υπέρυθρο ($2.2\ \mu\text{m}$) υπολογίστηκε ότι η πυκνότητα προς το κέντρο αυξάνεται ραγδαία. Στην εσωτερική περιοχή ($R < 150\ \text{pc}$) η πυκνότητα είναι ανάλογη προς $R^{-1.8}$. Η σχέση αυτή αφορά βέβαια τους αστέρες και την (ψυχρή) σκόνη και όχι την κατανομή του υδρογόνου (ιονισμένου ή ουδέτερου) και των αερίων της περιοχής. Πρόσφατες φασματικές παρατηρήσεις (κυρίως μοριακών γραμμών υδροξυλίου, μονοξειδίου του άνθρακα και φορμαλδεύδης) αποκάλυψαν την παρουσία δύο (τουλάχιστον) μοριακών νεφών που εμφανίζονται να έχουν ταχύτητα $-135\ \text{km/sec}$ (το νέφος μας προσεγγίζει) και $+50\ \text{km/sec}$ (το νέφος απομακρύνεται) αντίστοιχα. Το πρώτο αποτελεί τμήμα ενός δακτυλίου ο οποίος περιβάλλει το κέντρο του Γαλαξία και διαστέλλεται. Το δεύτερο νέφος, εξ αιτίας της ταχύτητάς του ($+50\ \text{km/sec}$), είχε καταρχήν θεωρηθεί ότι βρισκόταν πίσω από την πηγή Sgr A. Σήμερα όμως οι απόψεις των ειδικών συγκλίνουν στην άποψη ότι πρόκειται για ένα μοριακό νέφος με ιδιάζουσα ταχύτητα μπροστά από την πηγή Sgr A. Στην άποψη αυτή συνηγορεί το γεγονός ότι η ισχυρή πηγή Sgr A παρατηρείται υπό απορρόφηση σε συχνότητα που αντιστοιχεί σε ταχύτητα $+50\ \text{km/sec}$, δηλαδή στην ταχύτητα του νέφους.

Στο Σχήμα 5.4 παρουσιάζεται η ακτινοβολία συνεχούς φάσματος της περιοχής του κέντρου του Γαλαξία που περιέχει τις ραδιοπηγές Sgr A και Sgr B στη συχνότητα των 10.7 GHz. Η ακτινοβολία αυτή προέρχεται από το αέριο (κυρίως υδρογόνο) της περιοχής που

εκπέμπει είτε θερμικά (ως μέλαν σώμα) είτε μη θερμικά (π.χ. εκπομπή σύγχροτρον). Είναι φανερό ότι τόσο η ραδιοπηγή Sgr A, όσο και η Sgr B κάθε άλλο παρά σημειακές είναι.

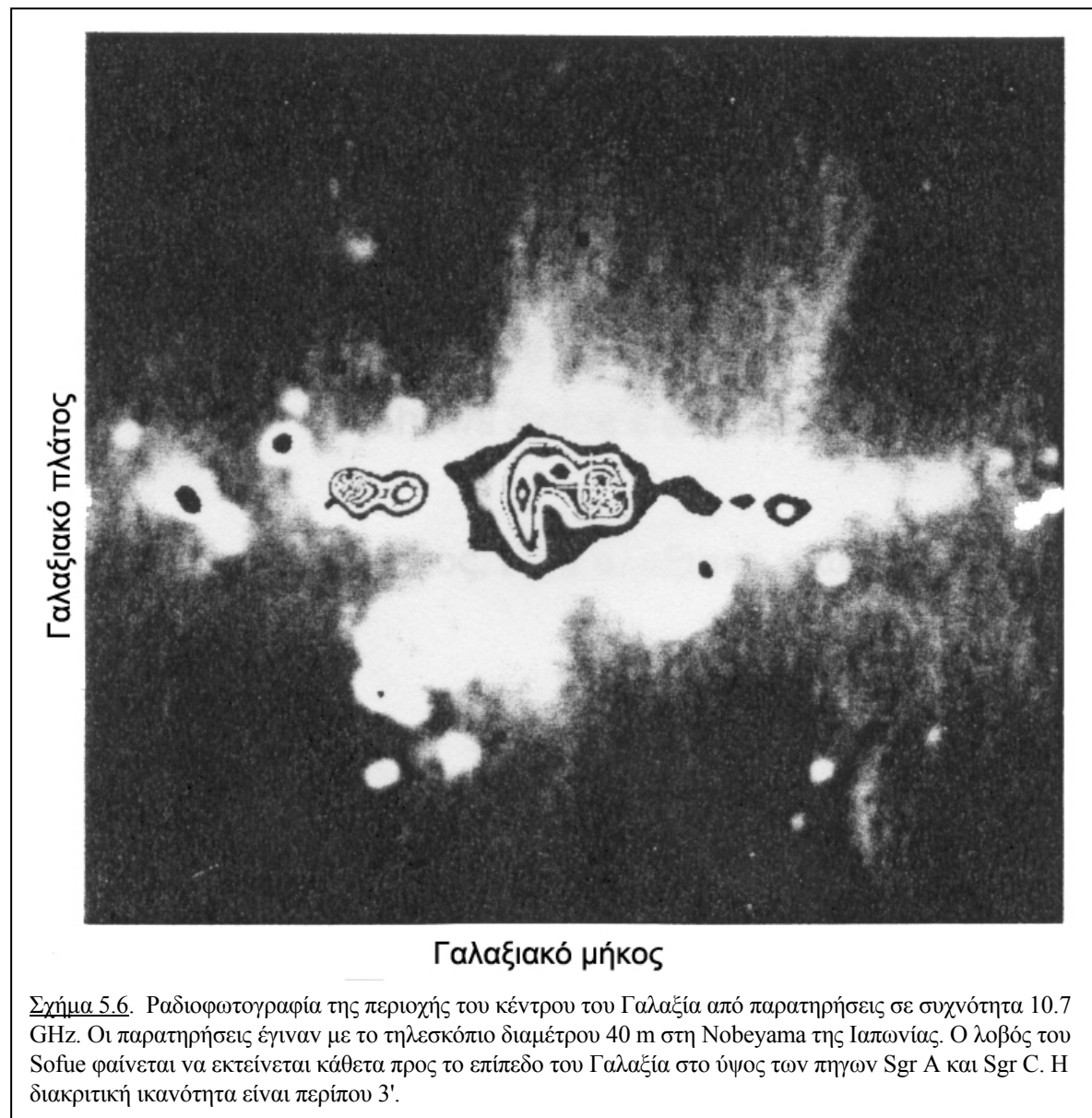


Σχήμα 5.5. Τμήμα της περιοχής του κέντρου του Γαλαξία από παρατηρήσεις σε συχνότητα 1446.15 MHz. Οι παρατηρήσεις έγιναν με το ραδιοσυμβολόμετρο VLA και καλύπτουν σχεδόν $30' \times 25'$. Η διακριτική ικανότητα είναι περίπου $10''$

5.3 Η περιοχή μέχρι ακτίνα 50 pc

Στο Σχ. 5.5 παρουσιάζεται η κεντρική περιοχή του προηγούμενου σχήματος (Σχ. 5.4) σε συχνότητα 1446.15 MHz, όπως αυτή παρατηρήθηκε με το συμβολόμετρο VLA (βλ. Κεφ. 2). Είναι φανερό ότι η ραδιοφωνική ακτινοβολία της περιοχής παρουσιάζει μια ιδιαίτερα

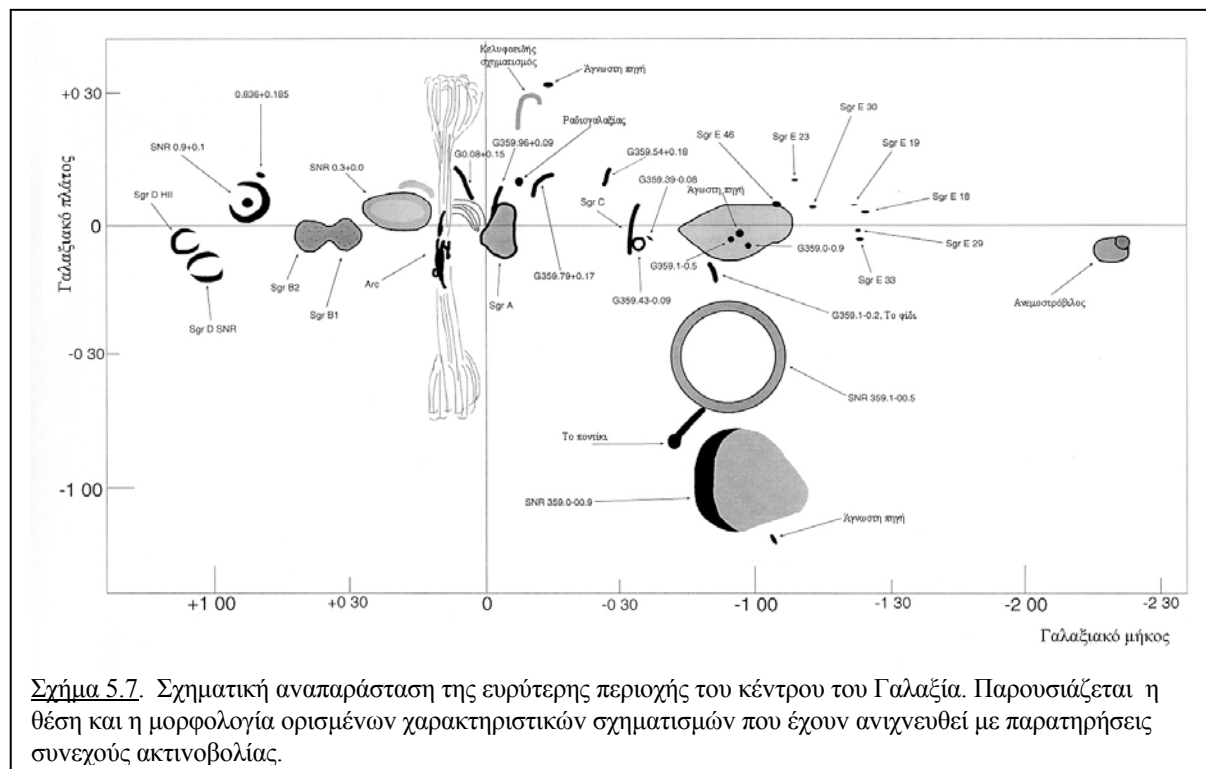
πολύπλοκη δομή με εμφανή ύπαρξη τόσο σημειακών όσο και εκτεταμένων πηγών έντονης δραστηριότητας. Το μοριακό νέφος των $+50 \text{ km/sec}$, που αναφέρθηκε στην §5.2, καλύπτει σχεδόν ολόκληρη την περιοχή του Σχ. 5.5. Το νέφος αυτό έχει μελετηθεί με φασματικές παρατηρήσεις



μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σε μήκος κύματος 2.6 mm. Είναι αξιοσημείωτο ότι στις παρυφές του έχει ανιχνευτεί σημαντικός αριθμός συμπαγών πηγών ιονισμένου υδρογόνου (compact HII regions), που εμφανίζουν και αυτές την ίδια ταχύτητα απομάκρυνσης, $+50 \text{ km/sec}$, πράγμα που υποδεικνύει κοινή τοπική προέλευση. Στην περιοχή αυτή φαίνεται ότι έχουν δημιουργηθεί οι κατάλληλες συνθήκες παραγωγής νέων αστέρων. Οι συνθήκες αυτές δημιουργούνται από την επίδραση επί του μοριακού νέφους των κρουστικών κυμάτων που παράγονται κατά τη διάρκεια εκρήξεων και άλλων έντονων φαινομένων που συμβαίνουν στο

κέντρο του Γαλαξία.

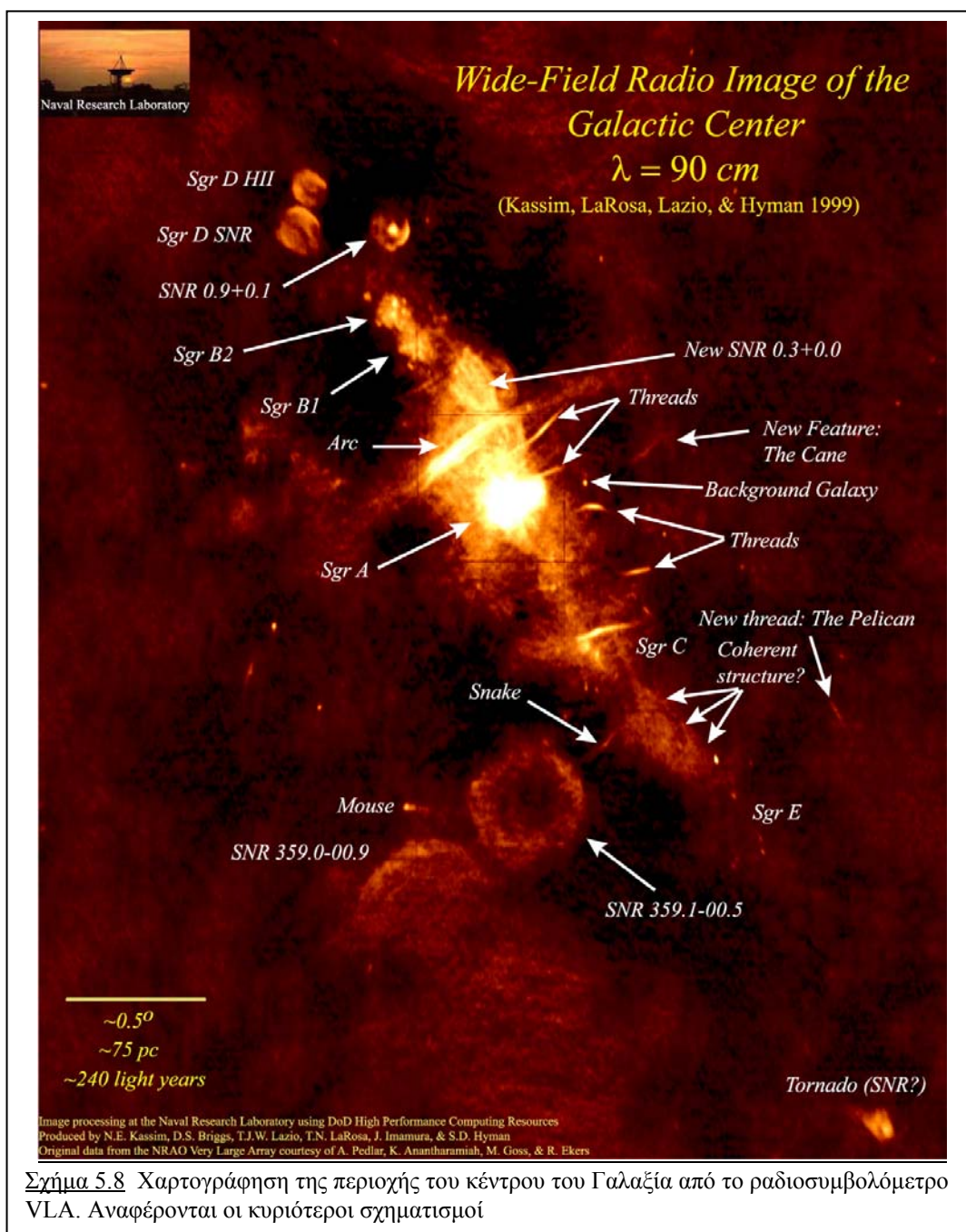
Στο Σχ. 5.5 η ισχυρότερη ραδιοπηγή είναι η πηγή Sgr A (με ουρανογραφικές συντεταγμένες $\alpha = 17^{\text{h}}42^{\text{m}}30^{\text{s}}$, $\delta = -29^{\circ}00'$). Η πηγή αυτή εμφανίζεται εκτεταμένη και περιβάλλεται από μία φθίνουσα άλω. Μερικές από τις σημειακές πηγές που υπάρχουν στην



άλλω είναι οι συμπαγείς περιοχές ιονισμένου υδρογόνου που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Τόσο στο Σχ. 5.4 όσο και στο Σχ. 5.5 την προσοχή μας έλκει ένας χαρακτηριστικός σχηματισμός που διασχίζει σχεδόν κάθετα το επίπεδο του Γαλαξία ($b = 0.0$, βλ. Σχήμα 5.4) σε απόσταση $15'$ (20 pc) περίπου από την πηγή Sgr A. Ο σχηματισμός αυτός στη διεθνή βιβλιογραφία ονομάζεται **Τόξο** (Arc). Οι καμπύλοι σχηματισμοί που φαίνονται να συνδέουν την άλω της πηγής Sgr A με το Τόξο ονομάζονται συλλήβδην **Γέφυρα** (Bridge). Πολωσιμετρικές παρατηρήσεις αλλά και παρατηρήσεις γραμμών επανασύνδεσης (βλ. Κεφ. 9) μας πληροφορούν ότι η ακτινοβολία που εκπέμπει η Γέφυρα είναι θερμικής φύσης ενώ η ακτινοβολία που προέρχεται από το Τόξο είναι μη θερμικής φύσης. Προς το παρόν δεν υπάρχουν θεωρητικά πρότυπα που να ερμηνεύουν πώς η Γέφυρα εκπηγάζει από την άλω του Sgr A ή πώς συνδέεται με το Τόξο.

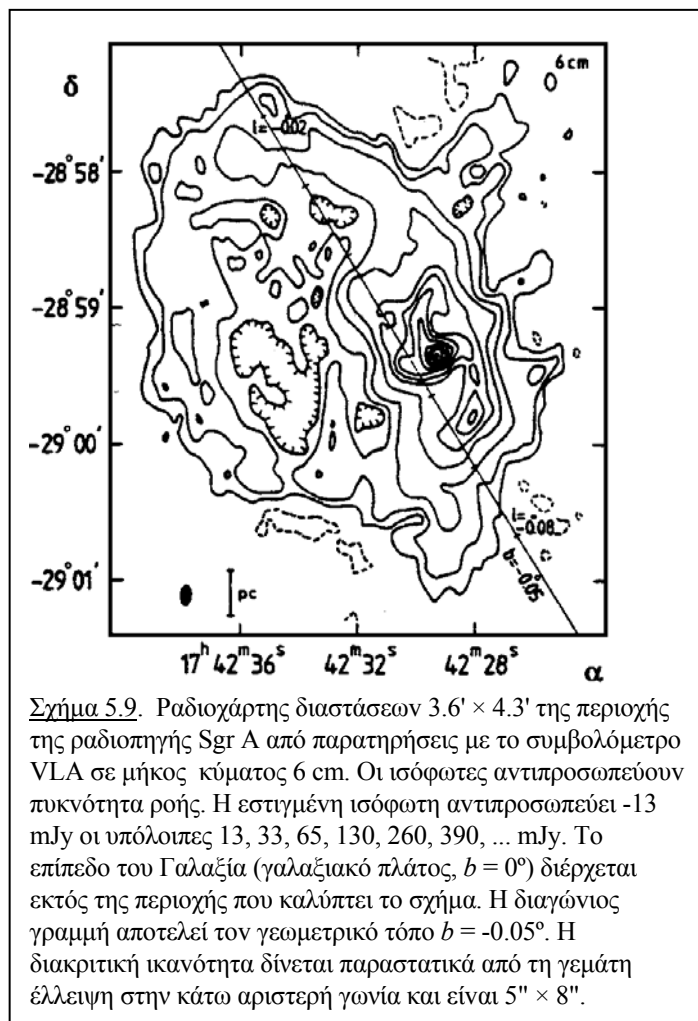
Το Τόξο αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου σχηματισμού που εκτείνεται κάθετα προς το επίπεδο του Γαλαξία και φαίνεται ως ένας λοβός (ή σωλήνας) τα τοιχώματα του οποίου ξεκινούν από το Τόξο και από την πηγή Sgr C (Σχ. 5.6). Υποστηρίζεται ότι ο λοβός αυτός (λοβός του Sofue -Sofue's lobe) αποτελεί το υπόλειμμα ενός σωλήνα εκτόνωσης (καπνοδόχου)



μέσω του οποίου η ενέργεια που παρήχθη (και συνεχίζει να παράγεται) στο κέντρο του Γαλαξία διαφεύγει προς το μεσογαλαξιακό χώρο. Πρόσφατες παρατηρήσεις σε μήκος κύματος $\lambda = 21 \text{ cm}$ αποκάλυψαν ότι ο λοβός αυτός εκτείνεται μέχρι τουλάχιστον 3 kpc μακριά από το επίπεδο του Γαλαξία. Ο σχηματισμός αυτός είναι ανάλογος προς τους **πίδακες ύλης** (jets) που

παρατηρούνται σε γαλαξίες τύπου *Seyfert*, πράγμα που ενισχύει την άποψη ότι πριν από μερικά εκατομμύρια χρόνια στο κέντρο του Γαλαξία υπήρξε ιδιαίτερα έντονη δραστηριότητα, ανάλογη προς αυτή που παρατηρείται σήμερα στους παραπάνω γαλαξίες.

Η παραπάνω δραστηριότητα επιβεβαιώθηκε πρόσφατα με την ανακάλυψη, σε χαμηλές συχνότητες (160 MHz), της ύπαρξης ενός δευτέρου σωλήνα διαφυγής ενέργειας από την περιοχή που περιβάλλει το κέντρο του Γαλαξία (τη άλω του Sgr A). Η διεύθυνση του σωλήνα αυτού (πίδακας 160 MHz – 160 MHz jet) είναι σχεδόν αντιδιαμετρική προς αυτήν του λοβού

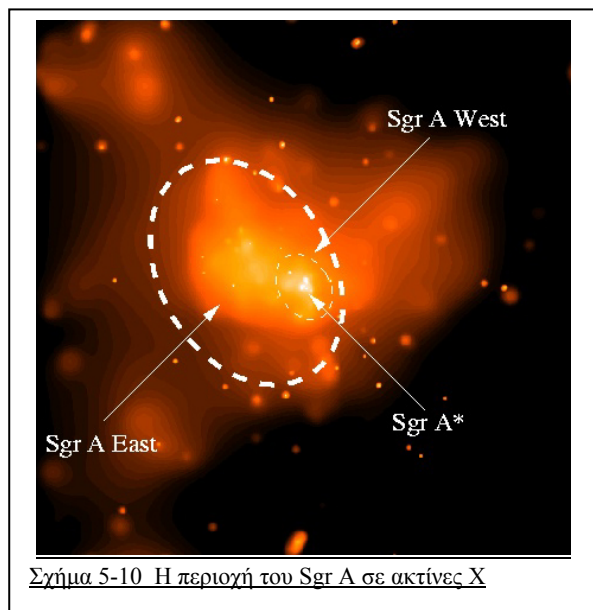


του Sofue και το φάσμα του είναι πολύ απότομο έτσι ώστε να μην είναι παρατηρήσιμος σε υψηλότερες συχνότητες.

Η ισχυρή ραδιοπηγή Sgr A δεν βρίσκεται στον άξονα συμμετρίας του κυλίνδρου που αποτελεί το λοβό του Sofue. Όπως βλέπουμε στα Σχ. 5.6 και 5.8, βρίσκεται πλησιέστερα (στη μισή περίπου απόσταση) προς το Τόξο ($\sim 15'$) παρά προς την πηγή Sgr C ($\sim 30'$). Αν ο κύλινδρος αυτός ακτινοβολεί υπό την επίδραση σχετικιστικών σωματιδίων (ή άλλης πηγής ενέργειας, π.χ. θερμικής ακτινοβολίας) που παράγονται στην πηγή Sgr A, τότε η πίεση που υφίστανται τα τοιχώματά του προς

την πλευρά του Τόξου πρέπει να είναι τετραπλάσια (2^2) από αυτήν που υφίστανται προς την πλευρά της πηγής Sgr C. Η συνολική εκπομπή που παρατηρείται από την περιοχή του Τόξου είναι πράγματι πολύ ισχυρότερη από την αντίστοιχη της περιοχής της πηγής Sgr C.

Η ακτινοβολία του Τόξου είναι γραμμικά πολωμένη εκεί όπου το μοριακό νέφος των $+50 \text{ km/sec}$ (α) επιτρέπει και (β) δεν αποπολώνει την ακτινοβολία (λόγω διαφορικής στροφής του διανύσματος πόλωσης – στροφή Faraday). Το φάσμα του είναι σχετικά ομαλό (φασματικός δείκτης $\alpha = -0.3$) πράγμα που ερμηνεύεται μόνο αν δεχτούμε ότι ακτινοβολείται τουλάχιστον



Σχήμα 5-10. Η περιοχή του Sgr A σε ακτίνες X

μέχρι πρόσφατα (η και ακτινοβολείται ακόμα) με ενεργητικά σωματίδια (προφανώς από την περιοχή του κέντρου του Γαλαξία). Αντίθετα ο πίδακας των 160 MHz αποτελεί πολύ παλαιότερο σχηματισμό.

Η καλή διακριτική ικανότητα των παρατηρήσεων που παρουσιάζονται στο Σχ. 5.5 μας επιτρέπει να διακρίνουμε ότι το Τόξο αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό παράλληλων **ινών** (filaments). Μερικές από αυτές έχουν μήκος $s = 30$ pc και πλάτος $d = 0.5$ pc μόνο. Θεωρώντας ότι υπάρχει

ισορροπία μαγνητικής και δυναμικής ενέργειας στην περιοχή, η ένταση του μαγνητικού πεδίου υπολογίζεται ότι είναι $\sim 10^{-4}$ Gauss. Το πεδίο αυτό είναι πολύ ισχυρότερο από το μέσο μεσοαστρικό πεδίο ($10^{-7} - 10^{-6}$ Gauss). Μεμονωμένοι σχηματισμοί ανάλογοι προς τις ίνες παρατηρούνται και σε άλλες περιοχές του Σχ. 5.5 (βλ. και Σχ. 5.7 και 5.8). Οι σχηματισμοί αυτοί ονομάζονται **νήματα** (threads). Ο ακριβής μηχανισμός που δημιουργεί και συντηρεί σχηματισμούς όπως αυτούς ($s/d = 30/0.5$) δεν είναι γνωστός.

5.4 Η περιοχή μέχρι ακτίνα 5 pc - Η πηγή Sgr A

Η ραδιοπηγή **Sgr A** είναι μια από τις ισχυρότερες ραδιοπηγές στον ουρανό. Ας υπενθυμίσουμε ότι αυτήν την πηγή εντόπισε ο C. Jansky το 1931 σε συχνότητα 20.5 MHz (βλ. Κεφ. 1) και έτσι, κατά κάποιο τρόπο, με αυτή γεννήθηκε η επιστήμη της Ραδιοαστρονομίας. Η ραδιοπηγή αυτή έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών.

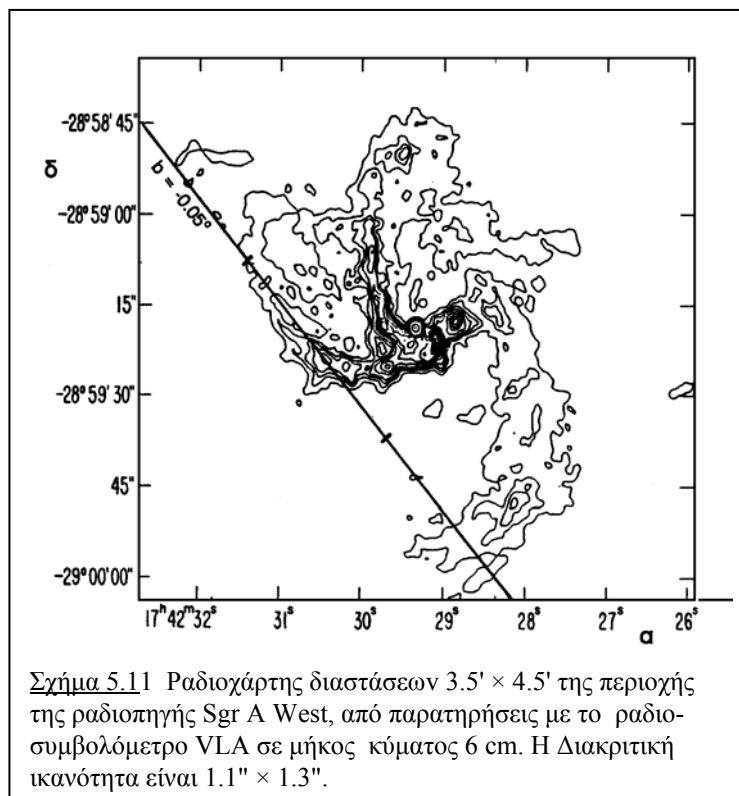
Στο Σχ. 5.9 παρουσιάζεται, υπό μορφή ισοφώτων, μια περιοχή $8 \text{ pc} \times 10 \text{ pc}$ που περιβάλλει το κέντρο του Γαλαξία. Είναι προφανές ότι στην περιοχή συνυπάρχουν δύο ευδιάκριτης δομής ακτινοβολίες. Μια εκτεταμένη, υπό μορφή κελύφους, που ονομάζεται **Sgr A East**, και μία σχετικά συμπαγής, η οποία ονομάζεται **Sgr A West**. Ο φασματικός δείκτης των δύο αυτών πηγών, όπως συνάγεται από παρατηρήσεις μεταξύ 1 GHz και 10 GHz (βλέπε παρακάτω), αποτελεί ένα επί πλέον στοιχείο διάκρισης τους. Στο Σχήμα 5.10 παρουσιάζεται η περιοχή του Sgr A σε ακτίνες X, από τον δορυφόρο Chandra. Σημειώνονται επίσης οι περιοχές

SgrA East και Sgr A West, καθώς και η σημειακή πηγή **Sgr A*** (βλ. §5.4.3).

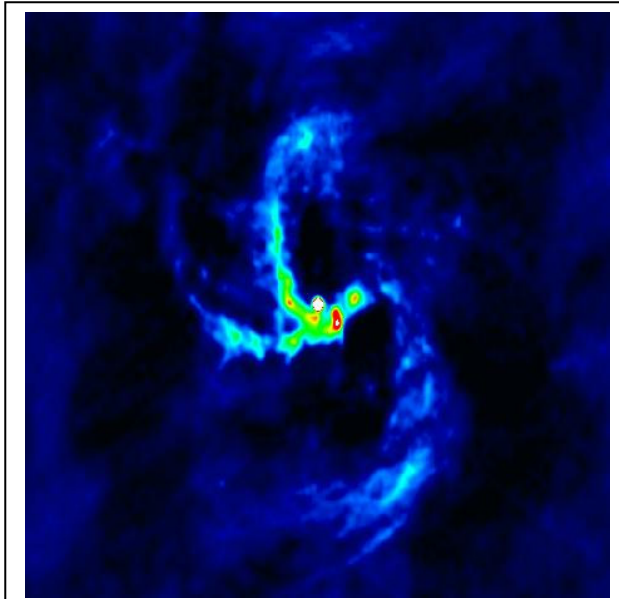
5.4.1 Sgr A East

Η εκτεταμένη πηγή Sgr A East (Σχήματα 5.9 και 5.10) έχει παντού φασματικό δείκτη $\alpha < 0$ (ενώ η πηγή Sgr A West έχει $\alpha > 0$). Στα 5 GHz η πυκνότητα ροής της είναι 90 Jy (78% της συνολικής ροής της πηγής Sgr A). Τόσο η δομή (κέλυφος) όσο και ο φασματικός δείκτης ($\alpha < 0$) της πηγής Sgr A East αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες υπολειμμάτων εκρήξεων υπερκαινοφανών (βλ. Κεφ. 6). Η ακτίνα του κελύφους είναι περίπου 5 pc. Αν θεωρήσουμε ότι αυτό διαστέλλεται με ταχύτητα 1000 km/sec και ότι βρίσκεται στο στάδιο της αδιαβατικής εκτόνωσης, τότε εύκολα υπολογίζεται ότι η ηλικία του υπολείμματος δεν υπερβαίνει τα 5000 έτη (βλ. σχ. 6.28). Η ηλικία αυτή είναι πολύ μικρή και έρχεται σε αντίθεση με άλλους υπολογισμούς. Επομένως συμπεραίνουμε ότι είτε η μηχανική ενέργεια της έκρηξης ήταν πολύ μικρή, είτε η τοπική πυκνότητα είναι πολύ μεγάλη (και εμποδίζει την κανονική εκτόνωση του κελύφους), είτε ότι δεν πρόκειται για υπόλειμμα υπερκαινοφανούς.

5.4.2. Sgr A West



Η θερμική ($\alpha > 0$), συμπαγής ραδιοπηγή Sgr A West (η οποία, αν μελετηθεί με υψηλότερη διακριτική ικανότητα, παρουσιάζει τη χαρακτηριστική δομή των σπειροειδών γαλαξιών – Σχ. 5.11 και 5.12 –), συμπίπτει με τη γενική περιοχή όπου παρατηρείται αύξηση της πυκνότητας ψυχρής ύλης (μεσοαστρική σκόνη). Οι παρατηρήσεις της μεσοαστρικής σκόνης γίνονται σε μήκη κύματος που εμπίπτουν στο κοντινό υπέρυθρο ($\lambda = 10 \mu\text{m}$, βλ. Κεφ. 11). Εκ πρώτης όψεως η



Σχήμα 5.12 Όπως και το Σχ. 5.11, αλλά αντί για ισόφωτες, η πυκνότητα ροής δίνεται σε διαβαθμίσεις χρώματος.

πηγή Sgr A West παρουσιάζει δομή τρισκελούς σπείρας. Φασματικές παρατηρήσεις (Brown and Liszt, 1984) όμως απέδειξαν ότι από θερμοδυναμικής, κινηματικής και δυναμικής άποψης χαρακτηρίζεται από δυο ευδιάκριτες περιοχές (Σχ. 5.13): (α) Τους βραχίονες της σπείρας οι οποίοι αποτελούν τμήμα ενός ευρύτερου μοριακού δακτυλίου ψυχρής ύλης ($T = \sim 5000$ K). (β) Μία ράβδο από την οποία εκπηγάζουν οι βραχίονες και είναι πολύ πιο θερμή ($T > 20000$ K). Οι ταχύτητες που μετρήθηκαν

κατά μήκος των βραχιόνων υπακούουν στη γενική περιστροφική κίνηση του Γαλαξία (μεγάλες ταχύτητες, ~ 100 km/sec, στα άκρα των βραχιόνων και μικρότερες στα σημεία που συναντούν τη ράβδο), ενώ στη ράβδο οι μεγαλύτερες ταχύτητες (200 έως και 400 km/sec) εμφανίζονται στο κέντρο συμμετρίας της και μικρότερες στα άκρα. Στα σημεία σύμπτωσης οι μεν ταχύτητες των βραχιόνων τείνουν προς το μηδέν ενώ οι αντίστοιχες ταχύτητες της ράβδου είναι σαφώς μεγαλύτερες (160 km/sec).

5.4.3. Sgr A*

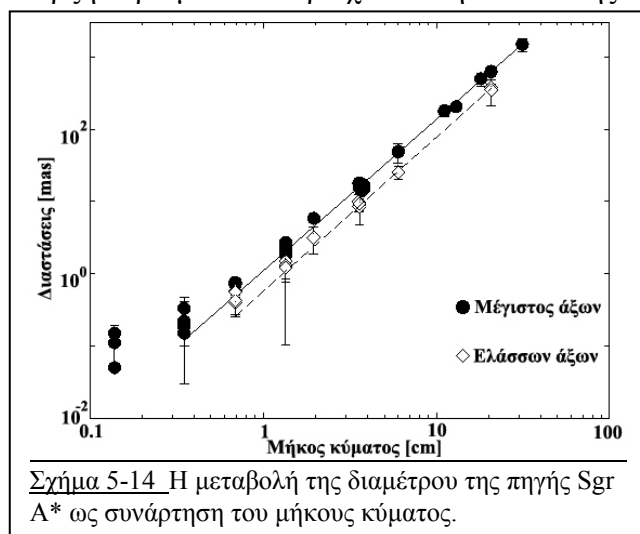
Η λαμπρότερη σημειακή πηγή στα Σχήματα 5.9 έως 5.12 δεν συμπίπτει ούτε με το κέντρο συμμετρίας των τριών βραχιόνων ούτε βρίσκεται πάνω στη ράβδο. Η πηγή αυτή, γνωστή ως **Sgr A***, σε αντίθεση με τη συνολική εκπομπή της πηγής Sgr A West (η οποία την περιέχει) εκπέμπει μη θερμική ακτινοβολία ($\alpha = -0.2$). Η πυκνότητα ροής της σε μήκος κύματος 6 cm είναι περίπου 1 Jy μεταβάλλεται όμως έντονα (κατά 20%) σε μικρά χρονικά διαστήματα, πολλές φορές εντός ημερών. Η διάμετρός της αυξάνει ομαλά μεταξύ $d = 0.0021''$ στα 1.35 cm και $d = 1.5''$ στα 31.25 cm. Από παρατηρήσεις σε διάφορες συχνότητες έχει βρεθεί ότι η μεταβολή της διαμέτρου της εκφράζεται από τη σχέση (Σχήμα 5.14):

$$d = k \lambda^{2.05 \pm 0.05}. \quad (5.1)$$

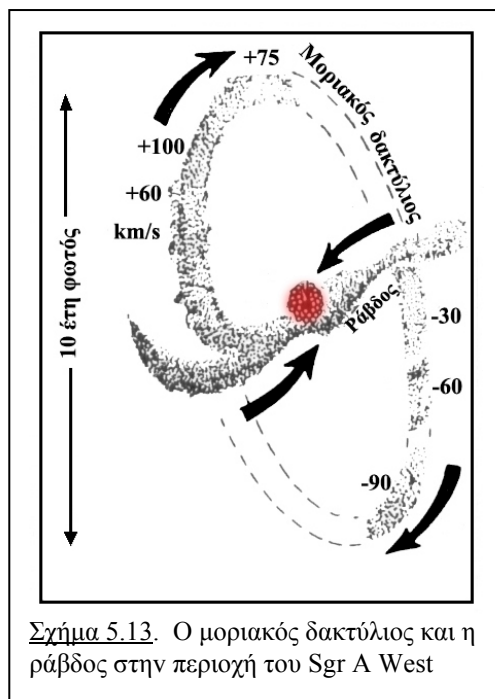
σχέση που αναμένεται αν η διάμετρος που παρατηρείται αποτελεί το δίσκο ασάφειας που οφείλεται στο μεσοαστρικό σπινθηρισμό. Το σχήμα της πηγής Sgr A* είναι ελαφρά ελλειπτικό. Έτσι στο Σχήμα 5.14 απεικονίζεται χωριστά ο μέγιστος και ο ελάχιστων άξονάς της.

Το φαινόμενο αυτό είναι ανάλογο προς το ατμοσφαιρικό seeing (βλ. Βάρβογλη, Σειραδάκη 1995) και το μεσοπλανητικό σπινθηρισμό (βλ. §2.1). Από τις μετρήσεις αυτές συνάγεται ότι η διάμετρος της ραδιοπηγής Sgr A* είναι μικρότερη από $0.0021''$ ($= \sim 10^{-4}$ pc $= \sim 3$ ώρες φωτός $= \sim 3 \cdot 10^{14}$ cm). Ας σημειωθεί ότι αν η πηγή Sgr A* δεν βρισκόταν ακριβώς στο κέντρο του Γαλαξία (αλλά σε μια τυχαία απόσταση στην ευθεία παρατήρησης), τότε θα έπρεπε να είχαμε ανιχνεύσει σημαντική μεταβολή της φαινόμενης θέσης της (λόγω της περιστροφής του Γαλαξία) με τις παρατηρήσεις που έχουν γίνει τα τελευταία δέκα χρόνια. Οι ακριβείς ουρανογραφικές

συντεταγμένες της πηγής αυτής είναι $\alpha(1950) = 17^h 42^m 29.335^s \pm 0.001s$, $\delta = -28^\circ 59' 18.6'' \pm 0.01''$. Σχετικά πρόσφατες παρατηρήσεις (Νοέμβριος 1990) έχουν αποκαλύψει την ύπαρξη τεσσάρων αμυδρών ραδιοπηγών που πλαισιώνουν την πηγή Sgr A*, καθώς επίσης και την ύπαρξη ορισμένων περιοχών πλησίον αυτής οι οποίες φαίνεται να είναι κενές ύλης



Σχήμα 5-14 Η μεταβολή της διαμέτρου της πηγής Sgr A* ως συνάρτηση του μήκους κύματος.

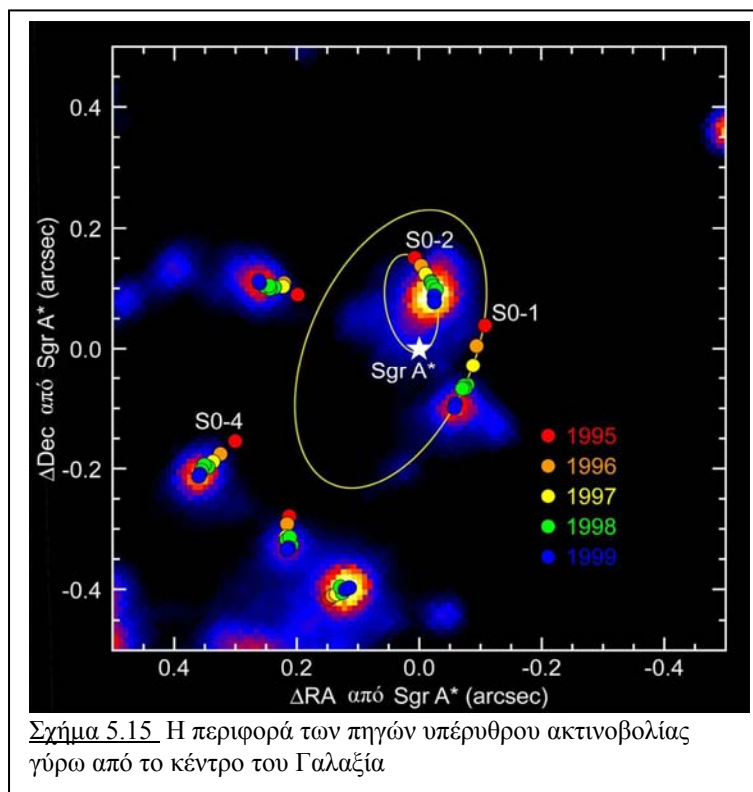


Σχήμα 5.13. Ο μοριακός δακτύλιος και η ράβδος στην περιοχή του Sgr A West

(χαρακτηριστικά κενά εκπομπής). Επίσης, μετά από υψηλής διακριτικής ικανότητας παρατηρήσεις στο υπέρυθρο και σε ραδιοφωνικά κύματα (με τη μέθοδο VLBI), βρέθηκε ότι οι πλησιέστερες προς την πηγή Sgr A* πηγές υπέρυθρου ακτινοβολίας, περιφέρονται γύρω από αυτήν με μεγάλη ταχύτητα, μέχρι 1500 km/s (Σχήμα 5.15). Οι παρατηρήσεις αυτές είναι δυνατόν να εξηγη-

θούν μόνο εάν υποθέσουμε ότι η μάζα της πηγής Sgr A* είναι πολύ μεγάλη ($> 4 \cdot 10^6 M_\odot$).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι πλησίον της πηγής Sgr A* βρίσκεται μια



πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας η θέση της οποίας συμπίπτει με τη θέση της ραδιοπηγής Sgr A*.

Η ύπαρξη ύλης (πηγή IRS 16, παρακείμενες ραδιοπηγές) πλησίον της πηγής Sgr A* θέτει αυτομάτως ένα ανώτερο όριο στη μάζα της. Το όριο αυτό είναι $\sim 2 \times 10^6 M_{\odot}$. Βέβαια μια τέτοια μάζα θα εντοπιζόταν εύκολα από τη βαρυτική επίδρασή (παρέλξεις) που θα εξασκούσε στη γύρω περιοχή. Οι παρέλξεις αυτές έχουν ήδη εντοπισθεί, όπως έχει ήδη αναφερθεί (Σχήμα 5.15).

Η ραδιοπηγή Sgr A* είναι μια από τις λαμπρότερες πηγές στο Γαλαξία. Η θερμοκρασία λαμπρότητάς της (βλ. Κεφ. 2) υπερβαίνει τα 7×10^8 K. Οι ιδιότητές της (φωτεινή, μεταβλητή, μικρής διαμέτρου) την καθιστούν υποψήφια μελανή οπή και ως εκ τούτου έχει μελετηθεί εκτενώς.

5.5. Η μάζα της κεντρικής περιοχής ($R < 1$ pc)

Η μάζα της κεντρικής περιοχής του Γαλαξία έχει υπολογιστεί με δύο ανεξάρτητους τρόπους: (α) Από το πάχος $\Delta\lambda$ των φασματικών γραμμών εκπομπής των στοιχείων NeII (απλά ιονισμένου Ne) και OI (ουδέτερου οξυγόνου) στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Από το πάχος αυτό και τη σχέση

γνωστή πηγή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας (βλ. Κεφ 11), η IRS 16. Η πηγή αυτή είναι πολύ λαμπρή στο υπέρυθρο και βρίσκεται στο κέντρο της κατανομής μάζας της περιοχής. Με υψηλής διακριτικής ικανότητας παρατηρήσεις, η πηγή IRS 16 έχει βρεθεί ότι αποτελείται από τουλάχιστον τέσσερις ισοδύναμες συνιστώσες και επομένως δύσκολα μπορεί να θεωρηθεί πλέον ως υποψήφια μελανή οπή. Τέλος, σχετικά πρόσφατα (1993) εντοπίστηκε μια αμυδρή

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\nu}{c} \quad (5.2)$$

υπολογίζεται καταρχήν η διασπορά της ταχύτητας $\Delta\nu$ και στη συνέχεια η θερμοκρασία και η μάζα που ακτινοβολεί. (β) Με τη βοήθεια του θεωρήματος Virial (βλ. Βάρβογλη, Σειραδάκη, 1995, σελ.148). Και οι δύο μέθοδοι δίνουν περίπου τα ίδια αποτελέσματα: $2-5 \cdot 10^6 M_{\odot}$. Είναι προφανές ότι στο κέντρο του Γαλαξία η πυκνότητα είναι πολύ μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη περιοχή του. Πρέπει πάντως να τονίσουμε ότι η μάζα αυτή βρίσκεται συγκεντρωμένη κυρίως σε αστέρες. Η πυκνότητα της σκόνης φαίνεται να ελαττώνεται καθώς πλησιάζουμε την πηγή Sgr A*, ενώ πρόσφατα (Μάρτιος 2004), με παρατηρήσεις σε μήκος κύματος 7 mm, με το συμβολόμετρο VLBA, βρέθηκε ότι η πηγή Sgr A* περιβάλλεται από ένα νέφος θερμού υδρογόνου το οποίο εκτείνεται μέχρι το πολύ 40 αστρονομικές μονάδες (300×10^6 km). Αν στην περιοχή υπάρχει μια μελανή οπή μάζας $4 \times 10^6 M_{\odot}$, η εργοσφαιρά της (βλ. Βάρβογλη, Σειραδάκη, 1995, σελ.266), δε μπορεί να υπερβαίνει τα 100×10^6 km. Επομένως η περιοχή ιονισμένου υδρογόνου που έχει ανιχνευθεί, πρέπει να συμπίπτει με το δίσκο προσαύξεσης (accretion disk) της μελανής οπής.

Η αθροιστική, κατανομή της μάζας της περιοχής (η μάζα, δηλαδή, $M(r)$ που περιέχεται σε μια σφαίρα ακτίνας r) περιγράφεται από τη σχέση (βλέπε και Σχήμα 5.16):

$$M(r) \sim r^{1.3} \quad (5.3)$$

Επομένως η ταχύτητα περιστροφής ενός σωματιδίου σε ισορροπία στην περιοχή θα έπρεπε να μεταβάλλεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$v^2(r) \sim M(r)/r \sim r^{0.3} \quad (5.4)$$

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι ταχύτητες που έχουν μετρηθεί στην περιοχή της πηγής Sgr A* αποκλίνουν σημαντικά από τις ταχύτητες που προβλέπονται από τη σχ. 5.4.

5.5.1. Κατάρρευση ή έκλυση μάζας;

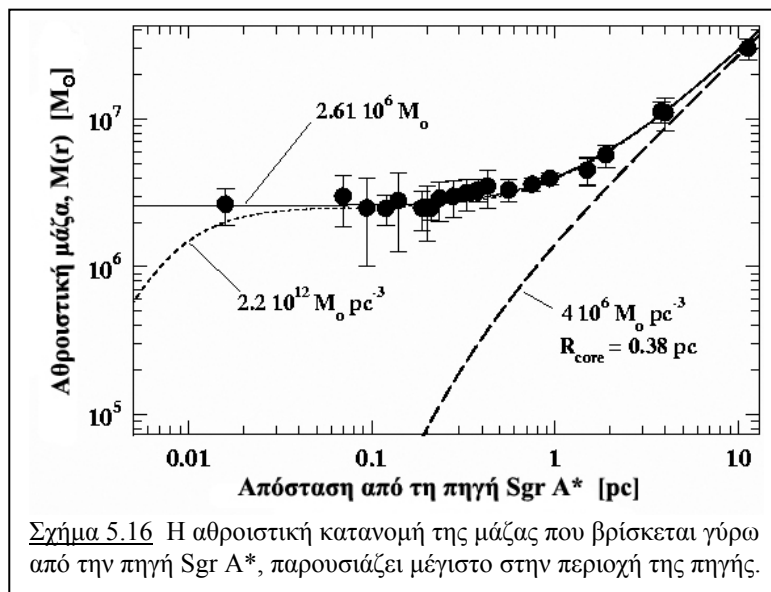
Η κατανομή ταχυτήτων στο μοριακό δακτύλιο δεν αποκλείει την ύπαρξη κατάρρευσης μάζας εντός αυτού. Η συνολική όμως μάζα που πρέπει να περιέχει ο δακτύλιος για να έχουμε

κατάρρευση είναι ελαφρώς μεγαλύτερη ($5.5 \cdot 10^6 M_\odot$) από το ανώτερο όριο που υπολογίσαμε παραπάνω ($2-5 \cdot 10^6 M_\odot$).

Αντίθετα οι μεγάλες ταχύτητες που παρατηρούνται κατά μήκος της ράβδου συνηγορούν με την άποψη έκλυσης μάζας. Οι παρατηρήσεις σε ραδιοφωνικά και υπέρυθρα μήκη κύματος συνεχίζονται εντατικά και ελπίζεται ότι σύντομα θα υπάρξει μια σαφής απάντηση στο παραπάνω ερώτημα.

5.5.2. Το κέντρο μάζας και ενέργειας

Απ' όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα είναι προφανές ότι το δυναμικό κέντρο του Γαλαξία (γαλαξιακές συντεταγμένες $\ell = b = 0$) δεν συμπίπτει με την περιοχή που παρατηρούνται οι λαμπρότερες πηγές της περιοχής. Το δυναμικό κέντρο έχει ορισθεί με πολύ μεγάλη ακρίβεια με μετρήσεις της κατανομής της συνολικής ύλης από την οποία αποτελείται ο Γαλαξίας (αστέρες, σκόνη, αέριο). Στα ραδιοκύματα η ισχυρότερη σημειακή πηγή Sgr A* ($E = 2 \cdot 10^{34}$ erg/s) συμπίπτει με μια ασθενή υπέρυθρη πηγή και πιθανώς με μια πηγή ακτίνων X ($E = 10^{35}$ erg/s). Η πηγή αυτή είναι συμπαγής ($d < 0.0021''$) και μεταβλητή. Στο υπέρυθρο, η ισχυρότερη πηγή είναι η πηγή IRS 16, ιδιαίτερα σε μικρά μήκη κύματος ($\lambda < 5 \mu\text{m}$). Η πηγή αυτή δεν είναι συμπαγής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, πρόσφατες παρατηρήσεις απέδειξαν ότι αποτελείται από τουλάχιστον τέσσερις συνιστώσες. Η πηγή Sgr A* φαίνεται να συγκεντρώνει τις περισσότερες πιθανότητες να βρίσκεται στο κέντρο δραστηριότητας του Γαλαξία. Παρόλ' αυτά δεν συμπίπτει ούτε με το δυναμικό κέντρο του, ούτε με κάποιο τοπικό κέντρο συμμετρίας της περιοχής. Είναι



πάντως βέβαιο ότι, εάν η ίδια δεν αποτελεί το (ακίνητο) κέντρο, η καταπληκτική ακρίβεια με την οποία έχουν προσδιορισθεί οι συντεταγμένες της θα επιτρέψουν την ανίχνευση μετατόπισής της ως προς το πραγματικό κέντρο μέσα στα επόμενα λίγα χρόνια.

Τα επικρατέστερα πρότυπα για το κέντρο του

Γαλαξία είναι: (α) Πριν από 10^8 χρόνια υπήρξε μια εποχή έντονης δραστηριότητας κατά την οποία δημιουργήθηκαν πολλοί αστέρες προγενέστερου φασματικού τύπου ($< O8$, $T > 35000$ K). Οι αστέρες αυτοί, λόγω της μεγάλης μάζας τους, εξελίχθηκαν πολύ γρήγορα (υπερκαινοφανείς, έκλυση ενέργειας) έτσι ώστε σήμερα να απομένουν μόνο περί τους 100 αστέρες φασματικού τύπου O8, οι οποίοι φωτίζουν και ιονίζουν την περιοχή. (β) Στην περιοχή υπάρχει μια μελανή οπή η οποία είναι υπεύθυνη για τα έντονα φαινόμενα που παρατηρούνται εκεί. Η μάζα της μελανής αυτής οπής είναι $10^2 M_{\odot} < M < 10^6 M_{\odot}$. Το τελευταίο πρότυπο είναι το επικρατέστερο.

5.6 Ακτίνες X και ακτίνες γ – Ο μέγας εξαϋλωτής

Η ανακοίνωση, το 1978, ύπαρξης γραμμικής εκπομπής στα 511 keV (γραμμή που αντιστοιχεί στην ενέργεια εξαϋλωσης ενός ηλεκτρονίου κι ενός ποζιτρονίου)

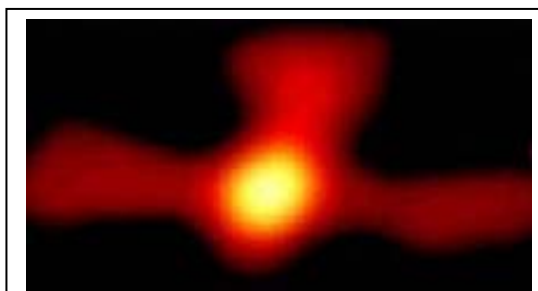
$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma \quad (5.5)$$

από τη γενική διεύθυνση του κέντρου του Γαλαξία, σημαίνει ότι στην περιοχή αυτή υπάρχει **αντι-ύλη**. Η εξαφάνιση της γραμμικής εκπομπής το 1982 και η επανεμφάνισή της το 1989 έχει θεωρηθεί από πολλούς ερευνητές ως επιβεβαίωση ύπαρξης μελανής οπής στο κέντρο του Γαλαξία.

Το 1991, όμως, παρατηρήσεις καλύτερης διακριτικής ικανότητας, με το δορυφόρο Compton GRO (Compton Gamma Ray Observatory), έδειξαν ότι η εκπομπή δεν προέρχεται από την περιοχή του Sgr A αλλά από μια περιοχή κοντά στην πηγή Sgr C. Στην περιοχή αυτή αργότερα (1992) εντοπίστηκε μια ασθενής ραδιοπηγή, η οποία αποτελείται από δύο λοβούς συμμετρικά τοποθετημένους ως προς μια σημειακή ραδιοπηγή. Το όλο σύστημα θυμίζει έντονα τη δομή των quasars (βλ. Κεφ. 12) στο κέντρο των οποίων, σύμφωνα με πολλούς αστροφυσικούς, πρέπει να υπάρχει μια μελανή οπή. Εξαιτίας της γραμμής εξαϋλωσης ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων (στα 511 keV) που κυριαρχεί στο φάσμα της, η πηγή ακτίνων γ , ονομάστηκε **μέγας εξαϋλωτής** (great annihilator). Η ολική ισχύς της είναι τεράστια, $E > 6 \times 10^{37}$ erg/s, όπως είδαμε όμως, δεν είναι πολύ σταθερή (έχει μεταβληθεί έντονα τα τελευταία χρόνια). Η διάμετρος d της περιοχής από την οποία προέρχεται η ακτινοβολία μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση $d = c t$, όπου t είναι ο ελάχιστος χρόνος κατά τη διάρκεια του οποίου

έχει παρατηρηθεί μεταβολή της εκπεμπόμενης ενέργειας (~ 1 έτος). Η διάμετρος αυτή είναι $d < 10^{18}$ cm (~ 1 pc). Παράλληλα, από την υψηλή τιμή του λόγου $p = E_{\text{γραμμ}}/E_{\text{συνεχ}}$ της ενέργειας που εκπέμπεται στη γραμμή των 511 keV προς την ενέργεια που εκπέμπεται στο συνεχές υπόβαθρο του φάσματος ($p \approx 0.3$), συνάγεται ότι στην περιοχή αυτή υπάρχουν άφθονα ποζιτρόνια και ηλεκτρόνια. Η παραγωγή των σωματιδίων αυτών προϋποθέτει την ύπαρξη πηγής φωτονίων πολύ μεγάλης ενέργειας ($E_{\text{φωτ}} > 6 \times 10^{37}$ erg, παραγωγή ενέργειας από την αλληλεπίδραση φωτονίου-φωτονίου, (photon-photon pair production). Μια τέτοια πηγή, όμως, θα ήταν εύκολα ανιχνεύσιμη και σε άλλα μήκη κύματος (πράγμα που δεν συμβαίνει). Οδηγούμεθα επομένως αναγκαστικά στο συμπέρασμα ότι η διάμετρος της πηγής πρέπει να είναι πολύ μικρή. Υπολογίζεται ότι η διάμετρος της πηγής δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 2×10^8 cm (≈ 2000 km $\approx 1/3 R_{\oplus}$). Δηλαδή και στον μεγάλο εξαύλωτή υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις ύπαρξης μιας μελανής οπής, όχι αναγκαστικά μεγάλης μάζας ($10^2 M_{\odot} < M < 10^4 M_{\odot}$).

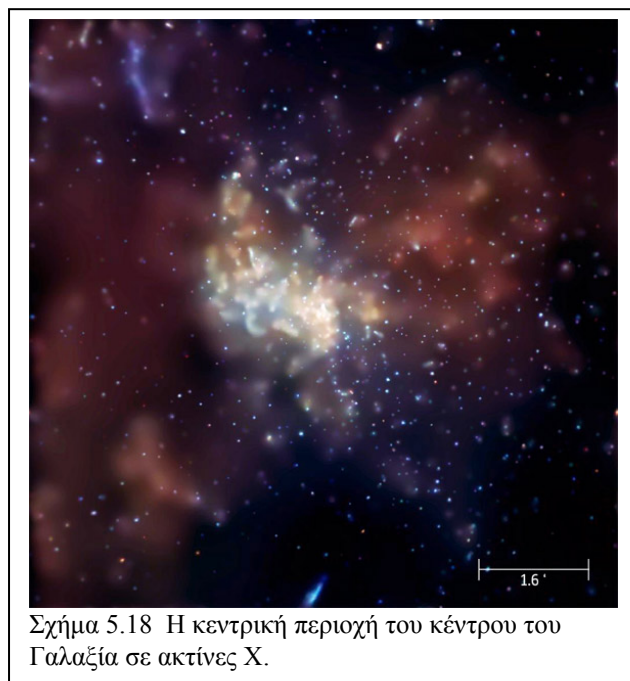
Στην άμεση περιοχή του κέντρου του Γαλαξία (Sgr A) υπήρχαν αρχικά ενδείξεις



Σχήμα 5.17 Η περιοχή πάνω από την πηγή Sgr A, όπου ανιχνεύθηκε γραμμική ακτινοβολία στα 511 keV. Η έντονη ακτινοβολία στο κέντρο της φωτογραφίας εκπέμπεται από την πηγή Sgr A. Ο οριζόντιος κλάδος αντιστοιχεί στο επίπεδο του Γαλαξία.

διάχυτης ακτινοβολίας γ . Η ακτινοβολία αυτή ήταν σχετικά χαμηλής ενέργειας. Πρόσφατα όμως (2004) με παρατηρήσεις από το Ευρωπαϊκό διαστημικό τηλεσκόπιο INTEGRAL (International Gamma Ray Astrophysical Observatory) η ακτινοβολία αυτή διαπιστώθηκε ότι προέρχεται από συγκεκριμένες πηγές. Ήδη έχουν καταγραφεί 91 εξ αυτών, η ακριβής φύση των οποίων παραμένει ακόμα άγνωστη.

Το 1993, ανακοινώθηκαν παρατηρήσεις από τον Αμερικανικό δορυφόρο Compton GRO, μιας δεύτερης περιοχής, πολύ κοντά στην πηγή SgrA, από την οποία εκπέμπεται ακτινοβολία στα 511 keV (Σχήμα 5.17). Στην περιοχή αυτή υπάρχει προφανώς αντιύλη. Ποζιτρόνια (και αντιύλη) είναι δυνατόν να δημιουργηθούν από ραδιενεργά στοιχεία που παράγονται κατά τη διάρκεια εκρήξεων υπερκαινοφανών και καινοφανών αστέρων, ή και σε αστέρες τύπου Wolf Rayet, που παρατηρούνται σχετικά άφθονα στο Γαλαξία και σε άλλους γαλαξίες. Ένας άλλος μηχανισμός συνδέεται με υπερθέρμανση της ύλης σε θερμοκρασία που αντιστοιχεί ($E = kT$) σε ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση προς 511 keV. Τέτοια υπερθέρμανση συμβαίνει όταν ύλη προσπίπτει σε μελανές οπές. Το δεύτερο σενάριο είναι και το πλέον πιθανό, δεδομένου ότι σύμφωνα με το πρώτο, θα έπρεπε να παρατηρείται άφθονη ακτινοβολία γ στα 511 keV σε όλο τον Γαλαξία, πράγμα που δεν συμβαίνει.



Το Μάρτιο 2002, με το διαστημικό τηλεσκόπιο ακτίνων X, Chandra, εντοπίστηκαν περίπου 2000 πηγές ακτίνων X στην περιοχή του κέντρου του Γαλαξία (Σχήμα 5.18), μεταξύ των οποίων βέβαια και η πηγή Sgr A*. Κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων, παρατηρήθηκαν μεταβολές στην ένταση των ακτίνων X της πηγής Sgr A* αρκετά απότομες, όχι όμως ιδιαίτερα έντονες, ώστε, τελικά, να συμπεραίνεται ότι (α) οι απότομες μεταβολές προέρχονται από προσαύξηση μάζας σε μια μελανή οπή και (β) ότι η μάζα αυτή

είναι πολύ μικρότερη από αστρικές μάζες. Στην περιοχή, επομένως, της μελανής οπής δεν υπάρχουν αστέρες. Όσοι τυχόν υπήρχαν έχουν προ πολλού απορροφηθεί από τη μελανή οπή.

Βιβλιογραφία

Βάρβογλη Χ., Σεираδάκη Ι.Χ. (1995): "Εισαγωγή στη Σύγχρονη Αστρονομία", ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Brown R.L., Liszt H.S. (1984): *Ann Rev. Astr. Astrophys.*, **22**, 263.

Ekers R.D., van Gorkom J.H., Schwarz U.J., Goss W.M. (1983): "The radio structure of Sgr A", *Astron. Astrophys.*, **122**, 143.

Haslam C.G.T., Salter C.J., Stoffel H., Wilson W.E. (1982): "A 408 MHz all-sky continuum survey", *Astron. Astrophys. Suppl.*, **47**, 1.

Kundt W.: (1990): "The galactic centre", *Astrophys. Sp. Sci.*, **172**, 109.

List H.S. (1988): "The galactic center", in *Galactic and extragalactic radio astronomy* (eds. G.L. Verschuur and K.I. Kellermann), Springer Verlag.

Morris M. (ed.) (1989): *The center of the Galaxy*, IAU Symp. No. 136.

Reich W. (1986): "A 1420 MHz radio continuum survey", *Astron. Astrophys. Suppl.*, **58**, 197.

Reich W., Furst E., Steffen P., Reif K., Haslam C.G.T. (1985): "A radio continuum survey of the galactic plane at 11-cm wavelength", *Astron. Astrophys. Suppl.*, **58**, 197.