

# Polski 90m radioteleskop - proponowane projekty badawcze

(autorzy poszczególnych działów podani przy tytułach, ogólny wstęp A.Kus)

Duży, nowoczesny radioteleskop o średnicy czaszy parabolicznej 90m (RT90), wyposażony w ultra nowoczesną matrycę odbiorczą na pasmo fal centymetrowych (5-22 GHz) oraz w pojedyncze systemy odbiorników w zakresach fal decymetrowych (0,6 – 2,0 GHz) umożliwi polskim astronomom prowadzenie badań na wysokim konkurencyjnym poziomie światowym. Rola teleskopu w sieci VLBI a także w interferometrii lokalnej, krajowej wzmocni nasz udział w najważniejszych projektach międzynarodowych. Rozwijane technologie e-VLBI, bezpośrednich połączeń światłowodowych pomiędzy elementami interferometru i korelacji sygnałów w czasie rzeczywistym będą powszechnie stosowane w przyszłych planowanych wielkich instrumentach, w tym SKA (Square Kilometer Array). E-EVN, europejska sieć interferometrii wielko bazowej uznana jest jako „Path Finder” dla projektu SKA. Sieci VLBI zajmują się prowadzeniem badań we wszystkich aktualnie „modnych” dziedzinach współczesnej astrofizyki, niemniej ich głównym zadaniem jest uzyskanie obrazów obserwowanych obiektów z rozdzielczościami ~milli sekundy łuku nieosiągalnymi żadną inną metodą. Z natury rzeczy głównym przedmiotem zainteresowania astronomów wykorzystujących możliwości badawcze VLBI są obiekty zwarte i zmienne. Najwięcej czasu obserwacyjnego zyskują studia AGN-ów (aktywnych galaktyk z masywnymi czarnymi dziurami), mikrokwazarów galaktycznych, maserów galaktycznych. Znakomite rezultaty naukowe pozyskuje się ostatnio w zastosowaniach astrometrycznych interferometrii VLBI. Wyznaczone paralaksy roczne do źródeł maserowych (OH, H<sub>2</sub>O, SiO, CH<sub>3</sub>OH) pozwoliły poprawić skale odległości w Naszej Galaktyce i na nowo wyznaczyć prędkość rotacji Galaktyki. Różnicowe pomiary położenia badanych obiektów galaktycznych, w tym także niektórych gwiazd, pozwolą wkrótce dokonywać detekcji planet krążących wokół np. czerwonych karłów. Dodanie do sieci VLBI nowego 90m polskiego radioteleskopu zasadniczo poprawi czułość całej sieci ale też radykalnie umocni naszą pozycję międzynarodową.

W kolejnych artykułach skoncentrujemy się na przeglądzie możliwości badawczych RT90 w trybie pracy jako samodzielny instrument. Zresztą warto przypomnieć, że główne cele badawcze wiązane są z samodzielnymi programami obserwacyjnymi w oparciu o potężną kamerę radiową (radiowe CCD) umożliwiającą równoczesny pomiar mocy sygnału, jego własności polaryzacyjnych i spektralnych w pasmach wielu podpasmach zakresu 5-22 GHz. Jak pokazaliśmy już w poprzednim artykule super czułe szerokopasmowe systemy odbiorcze dające informacje docelowo z ok. 100 równoczesnych wiązek (punktów na niebie), wyposażone w układy cyfrowego przetwarzania danych oparte o technologie FPGA i ultra szybkich procesorów stworzą unikatowe narzędzie badawcze na poziomie światowym.

Ponieważ ma to być teleskop parametrami podobny do co najmniej 2 istniejących (MPIfR, GBT) to absolutnie niezbędne jest posiadanie konkurencyjnego, wyrafinowanego oprzyrządowania typu szerokopasmowy spektrometr do konstrukcji widm dynamicznych gwiazd wybuchowych, spektropolarymetr do syntezy miary rotacji Faraday'a, cyfrowe przetwarzanie w wielowymiarowej przestrzeni parametrów.

Wysoka czułość pomiarów w niższych pasmach (systemy odbiorcze z RT32 mogą natychmiast być przeniesione i eksploatowane na RT90) tworzy nadzwyczajne warunki dla obserwacji wielu odkrytych już obiektów galaktycznych. Zadania badawcze i oczekiwany

wzrost ich efektywności zebrano w kilku podpunktach poniżej. Opracowania przygotowali pracownicy naukowcy z kilku ośrodków krajowych. W przygotowaniu programów badawczych na RT90 uczestniczą także uczeni z zagranicy, w tym głównie z W. Brytanii.

## **Astronomia galaktyczna**

### **1. Struktura Naszej Galaktyki (M.Urbanik, OA UJ)**

#### **Uwaga ogólna**

Planowany instrument będzie podobny z punktu widzenia konstrukcji i parametrów geometrycznych do co najmniej dwu istniejących (MPIfR, GBT). Powinien on zatem posiadać bardziej zaawansowane wyposażenie jak np:

- a. Szerokopasmowy spektrometr pozwalający na gęste pokrycie widma ciągłego w zakresie 1-22 GHz
- b. Spektropolarymetr do badania efektu Zeemana
- c. Możliwość syntezy rotacji Faraday'a - jest to mająca wielką przyszłość metoda badania pól magnetycznych

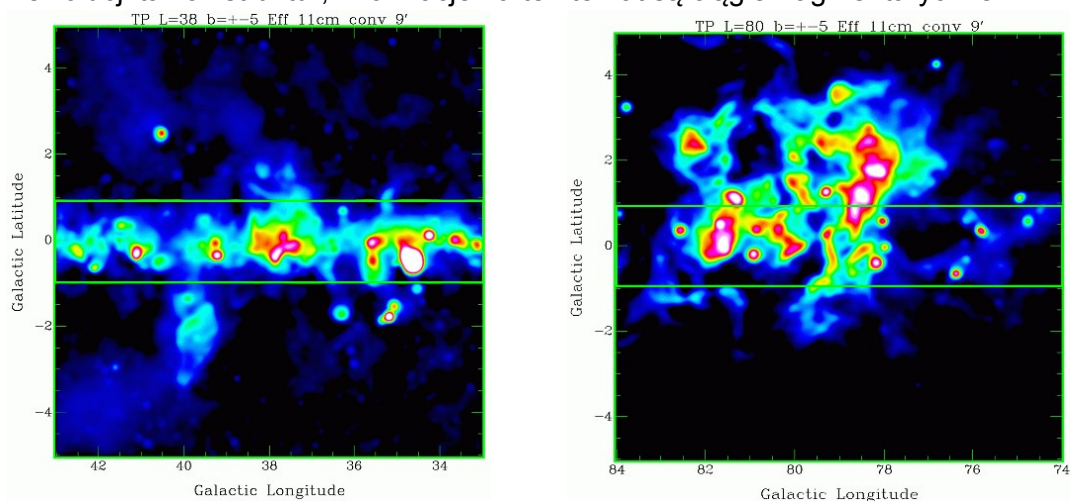
#### **Kontinuum radiowe Naszej Galaktyki**

Radioastronomowie polscy od szeregu lat współpracują z Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) w Bonn. Jednym z programów realizowanych w tej instytucji są wykonywane przez zespół pod kierunkiem Prof. Wielebńskiego systematyczne przeglądy emisji radiowej i polaryzacji Naszej Galaktyki (zwanej Drogą Mleczną) na kilku częstotliwościach: 1.4, 2.7 oraz 5 GHz (ta ostatnia - przy użyciu 26m radioteleskopu w Urumqi - Chiny). Przykładowe wyniki można znaleźć w pracach Uyaniker et al. 1999, Duncan et al. 1999, Reich et al. 1990 oraz Sun et al. 2007). Obserwacje takie dają w wyniku rozkład jasności radiowej w Drodze Mlecznej, a zatem (przy pewnych założeniach) rozkład natężenia całkowitego (tzn. sumarycznego: regularnego i losowego) pola magnetycznego, także gęstości relatywistycznych cząstek - tzw. promieniowania kosmicznego. Są to dynamicznie ważne składniki plazmy międzygwiazdowej, bez znajomości których badania w zakresie fizyki plazmy kosmicznej są niekompletne. Pomiar polarymetryczny daje w wyniku jeszcze więcej: strukturę linii sił regularnego pola magnetycznego rzutowaną na sferę nieba.

Kombinacja pomiarów jasności na różnych częstotliwościach daje w rezultacie widmo energetyczne promieniowania kosmicznego (przynajmniej jego składowej elektronowej), a także wiek radiacyjny danej struktury. Z kolei kombinacja pomiarów polaryzacji na kilku częstotliwościach pozwala określić rotację Faraday'a i wyznaczyć natężenie pola magnetycznego prostopadłego do płaszczyzny nieba (czyli równoległego do linii widzenia), dodając trzeci wymiar do geometrii magnetycznych linii sił pola.

Ośrodki radioastronomiczne w Toruniu i Krakowie nawiązały współpracę z MPIfR wykonując przy pomocy skonstruowanego w Bonn polarymetru mapy emisji radiowej i polaryzacji Drogi Mlecznej. Pomiar wykonywane są na częstotliwości 4.8 GHz 32-metrowym radioteleskopem w Toruniu, wstępne rezultaty opublikowano w pracach Ryś et al. 2005, 2006 i 2009. Informacje na innych częstotliwościach są brane z podobnych przeglądów wykonanych w Bonn. Już wyniki uzyskane w MPIfR pokazują ogromne

bogactwo struktur radiowych na pograniczu dysku i halo galaktycznego. Są to jasne radiowo łuki, bąble, kominy itp. spowodowane aktywnością gwiazdotwórczą i wybuchami supernowych w dysku Drogi Mlecznej. Pola magnetyczne prawdopodobnie odgrywają istotną rolę w ewolucji takich struktur, informacje na ten temat są ciągle fragmentaryczne.



Rys. 1. Przykłady wertykalnych struktur radiowych w Drodze Mlecznej. Obrazy wykonano z danych przeglądu effelsberskiego na 2.7 GHz (Duncan et al. 1999, Reich et al. 1990)

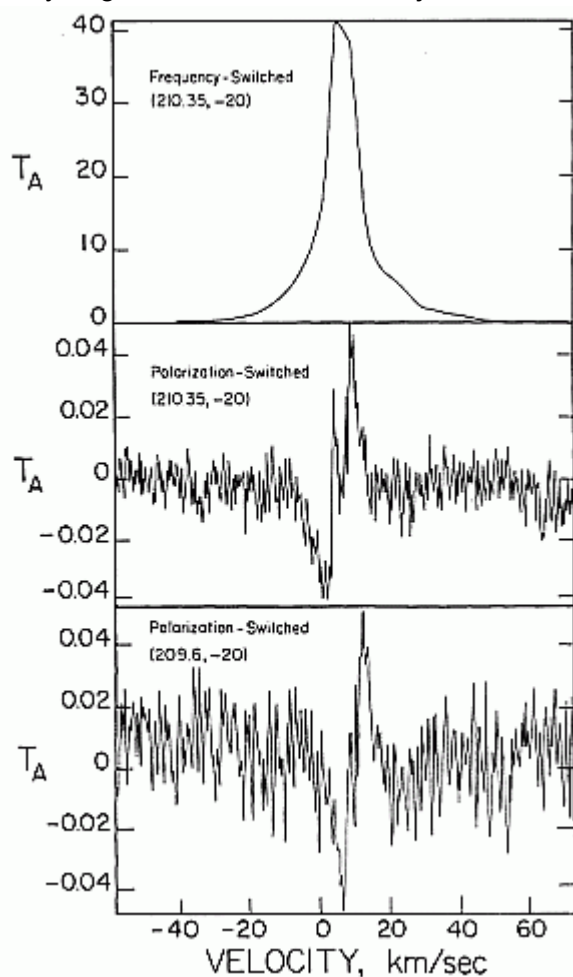
Jednym z programów realizowanych polarymetrem z Bonn na 32-m radioteleskopie są badania relatywnie małych (rzędu  $1^\circ$ ) struktur wertykalnych wznoszących się ponad dysk galaktyczny. Obserwacje są prowadzone z rozdzielczością ok.  $7'$ . Wieloczęstotliwościowe odbiorniki zamontowane na 90-metrowym radioteleskopie umożliwią:

- Zbadanie z wyższą zdolnością rozdzielczą ( $2.7'$  na 4.8 GHz, a nawet lepszą na wyższych częstotliwościach) drobnoskalowej struktury magnetycznej kominów, powłok, pozostałości po supernowych itp. wstępnie wyselekcjonowanych 32-m radioteleskopem
- Wielowiązkowy system planowanego radioteleskopu i szerokie pasma odbiorników zapewnią wysoką czułość. Umożliwi to pogłębienie przeglądu na 2.7 GHz, a zatem śledzenie wertykalnych struktur znacznie dalej od dysku niż w przeglądzie wykonanym w Bonn. Będzie to cenny materiał porównawczy
- Wysoka czułość i dobre pokrycie widma w zakresie wysokich częstotliwości umożliwi skonstruowanie dokładnych map wskaźnika widmowego, a zatem rozkładu wieku radiacyjnego omawianych struktur.
- Synteza rotacji Faraday'a umożliwi dokładne zbadanie rozkładu składowej pola magnetycznego równoległej do linii widzenia. Uzyskamy w ten sposób możliwość trójwymiarowego modelowania omawianych struktur. Szczególną uwagę zamierzamy poświęcić tzw. "ekranom Faraday'a" - regionom o anomalnych efektach Faraday'a. Są to na ogół obłoki zjonizowanego gazu. Badanie ich rotacji Faraday'a stanowi klucz do poznania ich pól magnetycznych (Heiles et al. 1981).

### Neutralny wodór w wertykalnych strukturach Drogi Mlecznej

Bąblom i kominom w kontinuum radiowym często towarzyszą podobne struktury w linii neutralnego wodoru (HI) 21cm. Badania w liniach spektralnych umożliwiają badanie nie tylko kształtu, ale i kinematyki omawianych struktur. Linie HI są na ogół wąskie, co świadczy o uporządkowanym polu prędkości.

Jedną z metod pomiaru kosmicznych pól magnetycznych jest badanie tzw. podłużnego efektu Zeemana - rozszczepienia linii widmowych na dwa składniki o przeciwnych polaryzacjach kołowych (tzw. para zeemanowska). Metoda ta jest szeroko stosowana w pomiarach pól magnetycznych na Słońcu. Z dobrym skutkiem stosowana jest również do wyznaczania pól magnetycznych w maserach międzygwiazdowych i co najważniejsze, również w bąblach HI (Heiles & Troland 1982). Masery międzygwiazdowe to na ogół gromada małych źródeł o skomplikowanym polu prędkości. W takiej sytuacji prawidłowa identyfikacja par zeemanowskich wymaga rozdzielenia gromady na pojedyncze źródła, co wymaga zdolności rozdzielczej milisekund łuku.



Rys. 2 Profile spektralne parametrów Stokesa I oraz V dla bąbla HI w Orionie, wykonane 26-metrowym radioteleskopem Hat Creek. Rysunek z pracy Heiles & Troland (1982)

Struktury HI posiadają charakter ciągły i prostą strukturę kinematyczną co umożliwia badanie efektu Zeemana pojedynczym radioteleskopem. Przy pomocy nowego instrumentu planujemy kontynuację prac Heilesa i Trolanda (1982) dokonując systematycznego przeglądu efektu Zeemana w wertykalnych strukturach nad (i pod) dyskiem Naszej Galaktyki.

### **Struktury absorpcyjne neutralnego wodoru w Drodze Mlecznej**

Linia neutralnego wodoru oglądana w emisji w pobliżu płaszczyzny Drogi Mlecznej jest na ogół szeroka i posiada skomplikowaną strukturę. Jest to wynik superpozycji struktur o różnych prędkościach radialnych (wynikających z rotacji galaktycznej) wzdłuż linii widzenia. Widzimy przy tym mieszankę wkładu od dyskretnych chłodnych (ok. 100K) obłoków i ciepłej składowej międzyobłokowej (ok. 10<sup>4</sup>K). Jasność emisji jest opisana wzorem:

$$I = B(T)(1-e^{-\tau})$$

gdzie:  $B(T)$  funkcja Plancka dla temperatury  $T$ ,  $\tau$  jest grubością optyczną. W emisji chłodne obłoki (małe  $B$ , duże  $\tau$ ) i środowisko między nimi (duże  $B$ , małe  $\tau$ ) mają zbliżony wkład. W absorpcji (np. na tle odległego źródła kontinuum) widzimy wyłącznie obiekty o dużym  $\tau$ , a zatem dyskretne chłodne obłoki. Obserwacje potwierdzają to rozumowanie: w absorpcji linii HI rozpadają się na wiele wąskich linii o szerokości rzędu 1 km/s. Daje to możliwość studiowania małych indywidualnych chłodnych obłoków HI przy umiarkowanej zdolności rozdzielczej radioteleskopu (określają ją rozmiary źródła). Przy wykorzystaniu nowego radioteleskopu możliwe będzie przeprowadzenie obszernego, systematycznego przeglądu małych, chłodnych struktur HI w Drodze Mlecznej oraz ich statystycznego badania np. w funkcji położenia w Naszej Galaktyce.

Pomiar efektu Zeemana w linii emisyjnej neutralnego wodoru (poza strukturami typu bąbli) jest niemożliwy ze względu na znaczną szerokość termiczną (ok. 10km/s) oraz poszerzenie wywołane superpozycją wielu (szerokich) struktur wzdłuż linii widzenia. W absorpcji natomiast, mamy do czynienia z szeregiem dyskretnych, wąskich linii. Ułatwia to znakomicie detekcję efektu Zeemana w absorpcji. W tym przypadku odpowiednią rozdzielczość dla identyfikacji par zeemanowskich uzyskujemy wybierając odpowiednio zwarte źródła tła, pomiary można więc prowadzić przy użyciu pojedynczego radioteleskopu. Planujemy wykorzystanie nowego 90-metrowego instrumentu do wykonania systematycznego przeglądu efektu Zeemana w absorpcji HI dla dużej ilości zwartych źródeł tła. Będzie to rozszerzenie przeglądu zapoczątkowanego w Arecibo dla kilkudziesięciu źródeł, opisanego przez Heiles & Troland (2005). Użyta technika obserwacji jest opisana w pracy Heiles & Troland 2004. Planujemy kontynuację tego przeglądu dla znacznie większej ilości źródeł.

## Literatura

- Duncan A. R., Reich P., Reich W., Fürst E., 1999, AA, 350, 447  
Heiles C., Chu Y.-H., Troland T.H., 1981, ApJ, 247, L77  
Heiles C., Troland T.H., 1982, ApJ, 260, L23  
Heiles C., Troland T.H., 2004, ApJS, 151, 271  
Heiles C., Troland T.H., 2005, ApJ, 624, 773  
Reich W., Fürst E., Reich P., Reif K., 1990, AAS, 85, 633  
Ryś S., Chyży K., Kus A., Pazderski E., Soida M., Urbanik M., 2005, mpge.conf, 257  
Ryś S., Chyży K.T., Kus A., Pazderski E., Soida M., Urbanik M., 2006, AN, 327, 493  
Ryś S., Siemieniec-Oziębło G., Urbanik M., Soida M., Kus A., 2009, AN, 330, 928  
Sun X.H., Han J.L., Reich W., Reich P., Shi W.B., Wielebinski R., Fürst E., 2007, AA, 469, 1003  
Uyaniker B., Fürst E., Reich W., Reich P., Wielebinski R., 1999, AAS, 138, 31

## 2. **Fizyka gwiazd neutronowych - pulsary radiowe** (J.Gil, J.Kijak, W.Lewandowski, IA UZG)

Pulsary radiowe mają na ogół stosunkowo strome, potęgowe widmo energii w odniesieniu do innych nietermicznych źródeł radiowych, charakteryzujące się indeksem widmowym bliskim wartości -2. Jednakże, w wielu pulsarach występuje załamanie widma (turn-over) i spadek energii na niskich częstotliwościach obserwacyjnych (w okolicach 100 MHz). Ostatnio również pokazano, że występuje grupa pulsarów z maksimum energii w widmie powyżej 1 GHz (czyli tzw. Gigahertz-Peaked Spectra; GPS). Widma tego typu były dotychczas znane wśród innych radiowych źródeł punktowych (tzw. GPS *extragalactic compact sources*). Pojawiła się potrzeba przebadania nowo odkrytych pulsarów (około 1200) w kontekście poszukiwania efektu GPS w widmach radiowych. Dobre udokumentowanie istnienia takich obiektów pozwoli przeprowadzić badania nad przyczyną tego zjawiska.

Do tego celu 90 metrowy radioteleskop w zakresie częstotliwości obserwacji od 600 MHz do 10 GHz wydaje się być idealnym instrumentem badawczym. Szeroka analiza pulsarów z efektem *turn-over*, a w szczególności GPS-ów, powinna nas przybliżyć do rozstrzygnięcia kwestii, czy obserwowany efekt załamania widma spowodowany jest absorpcją w magnetosferze pulsara, czy jest to utrata wydajności mechanizmu promieniowania, czy wreszcie zjawisko to występuje wyłącznie na skutek propagacji sygnału przez ośrodek międzygwiazdowy. Bardzo ciekawym jest, że GPS-y w pulsarach są stowarzyszone z bliskim gęstym otoczeniem gwiazd neutronowych, które są interesującymi obiektami badań w wyższych zakresach energii fal elektromagnetycznych (tj. X, gamma). Udokumentowanie istnienia GPS w pulsarach spowoduje przeszacowanie i zmianę strategii w przyszłych projektach badawczych poświęconych pulsarom radiowych, takim jak LOFAR i SKA. Bedzie konieczne uwzględnienie w poszukiwaniach zjawiska GPS, czyli faktu, że energia pulsara może spadać w widmie już w okolicach 1 GHz.

Innym interesującym obiektem badań przy pomocy RT90 mogą stać się tzw. *"part-time pulsars"*, czyli obiekty, które wykazują własności pulsarów, ale przez dłuższe lub krótsze okresy nie promieniają wcale. Do tej grupy zaliczyć trzeba klasyczne *"transients"* takie jak RRAT'y (Rotating RAdio Transients), o których wiemy że są rotującymi gwiazdami neutronowymi, które wysyłają promieniowanie w postaci bardzo krótkich błysków, trwających zazwyczaj wielokrotnie krócej niż ich okres rotacji. Błyski te rozdzielone są długimi - od kilku minut do kilku godzin - okresami ciszy. Osobną podgrupę stanowią tzw. *"intermittent pulsars"*, czyli obiekty podobne do PSR B1931+24, w których okresy promieniowania i ciszy są wielokrotnie dłuższe (zarówno jedne jak i drugie trwać mogą kilka do kilkunastu tygodni). Udało się pokazać, że tempo spowalniania rotacji takich obiektów jest większe w okresach świecenia niż ciszy. Wreszcie pulsary "rozblyskowe", takie jak PSR J1752+2359, które promieniają przez kilkadziesiąt okresów rotacji po czym następuje kilku - kilkunasto minutowy okres ciszy.

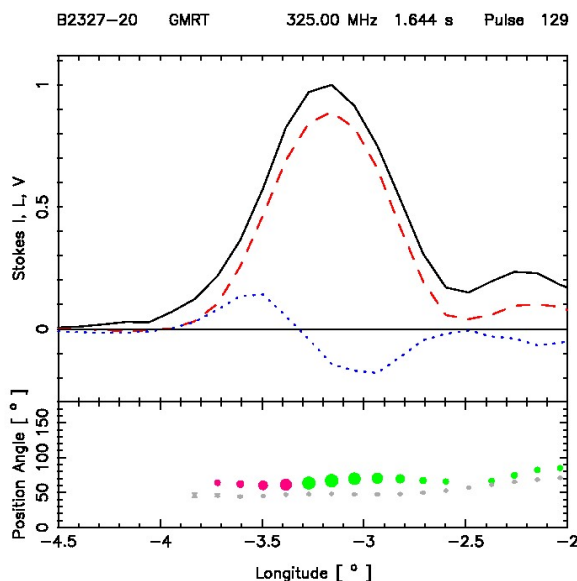
Wszystkie wspomniane obiekty są wdzięcznym celem obserwacji za pomocą 90-metrowego radioteleskopu. Wiemy o nich bardzo mało, a wiele wskazuje na to, że wyjaśnienie mechanizmów rozświetlenia się i gaśnięcia tego typu obiektów może pomóc nam w zrozumieniu mechanizmu promieniowania "normalnych" pulsarów. Duża powierzchnia zbierająca proponowanego teleskopu będzie tu bardzo pomocna, gdyż jednym z ważniejszych aspektów obserwacji "part-time pulsars" jest kwestia promieniowania tych obiektów w okresach ciszy, w szczególności rozstrzygnięcie czy obserwowany brak sygnału

jest absolutny, czy też obiekty te świecą wtedy, tyle że wielokrotnie słabiej - w takim wypadku pozorna cisza wynikać może wyłącznie z niewystarczającej czułości obserwacji. Szeroki zakres częstotliwości obserwacyjnych - od 0.6 do 10 GHz również będzie bardzo pomocny w zrozumieniu mechanizmów promieniowania i gaśnięcia RRAT'ów, pulsarów typu "intermittent", oraz rozbłyskowych.

Do możliwych zastosowań 90-metrowego radioteleskopu w dziedzinie obserwacji pulsarów można również doliczyć chronometraż wybranych obiektów (w tym także pulsarów z grup wymienionych powyżej), badania własności pulsów pojedynczych (*nulling*, dryfujące sub-pulsy, zjawiska pulsów gigantycznych), oraz badanie ośrodka międzygwiazdowego poprzez zjawiska rozpraszania i scyntytacji międzygwiazdowych. We wszystkich tych zastosowaniach zarówno duża apertura teleskopu, jak i szeroki zakres dostępnych częstotliwości może przynieść istotne wyniki naukowe.

Poszukiwanie nowych obiektów jak pokazuje przegląd wykonywany wielowiązkowym systemem na australijskim teleskopie w Parkes, może szczególnie być owocnym programem badawczym prowadzonym systematycznie przy pomocy wielowiązkowego, wielokanałowego nowoczesnego systemu odbiorczego projektowanego dla RT90.

Podsumowując, wymienione cele naukowe nie są jedynymi jakie można z powodzeniem realizować w dziedzinie obserwacji pulsarów dysponując radioteleskopem o dużej aperturze (rzędu 90m), wyposażonym w czułe odbiorniki na częstościach od 0.6 do 10 GHz. Natomiast są to projekty, które gwarantują sukces publikacyjny i rozgłos zarówno środowiskowy jak i medialny.

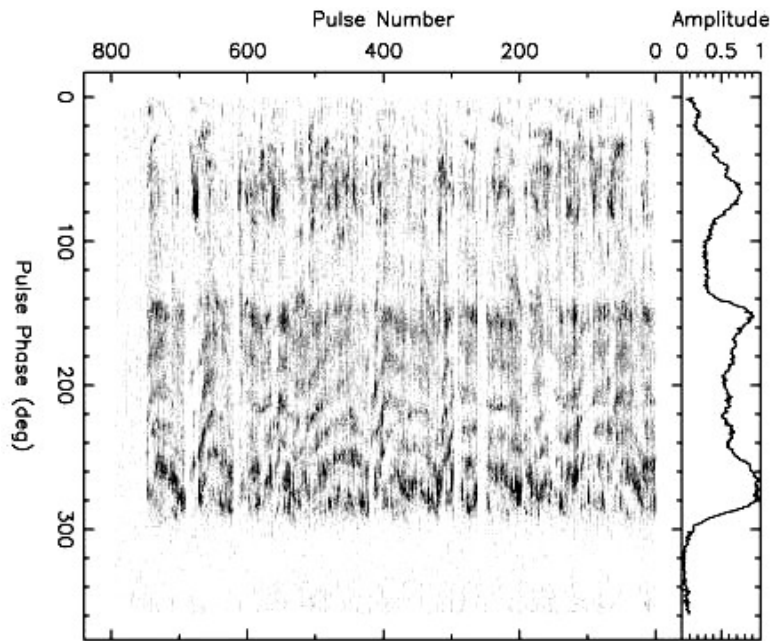


Rys 3. Rysunek pokazuje silny i wysoko spolaryzowany subpuls w pulsie pojedynczym pulsara B2327-20. Czerwona przerywana linia odpowiada polaryzacji liniowej (ponad 90%) a niebieska kropkowana linia odpowiada pola polaryzacji kołowej (zmieniającej kierunek). Na dolnym panelu przedstawiono zmiany kąta pozycyjnego w funkcji fazy pulsu. Kolorowe kropki odpowiadają pulsowi pojedynczemu natomiast kropki szare odpowiadają polaryzacji uśrednionej po kilku tysiącach pulsów. Obserwowana zgodność przebiegów jest bardzo ważna dla diagnostyki mechanizmu koherentnego promieniowania radiowego pulsarów, wciąż do końca nie

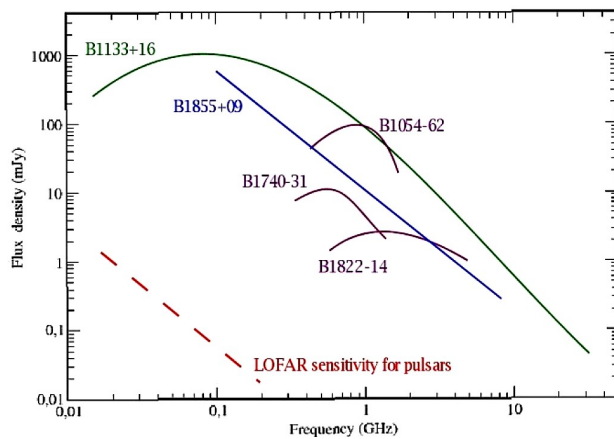
rozpoznanego mimo upływu ponad 40 lat od odkrycia pulsarów. Obserwacji dokonano w GMRT na częstości 325, obserwacje na RT90 pozwolą szczegółowo badać ten mechanizm. 2009ApJ...696L.141M

Mitra, Dipanjan; Gil, Janusz; Melikidze, George I., Unraveling the Nature of Coherent Pulsar Radio Emission





Rys 4. Sekwencja 800 pulsów pojedynczych pulsara B0826-34 o natężeniu kodowanym w odcieniach szarości. W górnym panelu przedstawiony jest profil średni tego pulsara. Widać niezwykle koherentny dryf subpulsów w pełnym zakresie faz rotacyjnych pulsara. Obserwacji dokonań w GMRT na częstotści 610 MHz. 2008MNRAS.383.1538B, Bhattacharyya, B.; Gupta, Y.; Gil, J., Results from multifrequency observations of PSR B0826-34.



Rys 5. Typowe widma pulsarów wraz z przykładami GPS (Gigahertz-Peaked Spectra). Kijak J., Lewnadowski W., Gupta Y., ASPC, 407, 341 (2009). Zakres pracy RT90 0,6 -22 GHz, czułości lepsze niż 0,1 mJy.

## bibliografia

B. Bhattacharyya, Y. Gupta and J. Gil, *Results from multifrequency observations of PSR B0826-34*, MNRAS. 383, 1538–1550 (2008)

Dipanjan Mitra, Janusz Gil, and George I. Melikidze, *Unraveling the Nature of Coherent Pulsar Radio Emission*, The Astrophysical Journal, 693:L1–L5, 2009

Kijak J., Lewandowski W., Gupta Y., *Turn-Over in Pulsar Radio Spectra*, ASPC, 407, 341 (2009)

Kijak, J., Gupta, Y., Krzeszowski, K., *Turn-over in pulsar spectra around 1 GHz*, 2007, A&A, 462, 699



### 3. Radiowa spektroskopia na RT90 (M.Szymczak CA UMK)

Cząsteczki – molekuly, złożone z dwóch lub więcej atomów wirują wokół osi symetrii emitując fale radiowe o określonej częstotliwości. Każda molekula ma jednoznaczny wzorzec takich częstotliwości zwanych liniami widmowymi, które stanowią jakby „odcisk palca” identyfikujący jednoznacznie daną cząsteczkę. Eksperymenty laboratoryjne lub obliczenia modelowe pozwalają odtworzyć wzorzec linii widmowych molekuly i znakomicie ułatwiają astronomom poszukiwanie molekuł międzygwiazdowych za pomocą radioteleskopów. Często jednak obserwacje wybranych obszarów nieba dostarczają najpierw informacji o liniach widmowych, które należy następnie dopasować do wzorców laboratoryjnych i teoretycznych, aby zidentyfikować cząsteczkę. Tym sposobem odkryto w przestrzeni międzygwiazdowej ponad 145 różnych molekuł, niektóre z nich nie były dotąd znane na Ziemi.

#### *Bogactwo linii widmowych w paśmie 4-24GHz*

W zakresie częstotliwości 4-24GHz znanych jest obecnie prawie 600 linii widmowych 74 molekuł (Lovas 2010, <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Micro/Html/contents.html>). Większość z nich, bo prawie 90% została odkryta przez wielkie radioteleskopy o średnicy  $\geq 100\text{m}$ , a ponad 90 linii nie jest jeszcze zidentyfikowanych z żadną molekulą. Mimo tak dużej liczby linii widmowych, tylko kilkanaście najsilniejszych ma szerokie zastosowania astrofizyczne z powodu zbyt niskiej czułości większości dostępnych instrumentów. Są to przede wszystkim linie emisyjne molekuł OH, H<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>OH i H<sub>2</sub>CO wzmacniane w ośrodku nie będącym w równowadze termodynamicznej (efekt maserowy). Badania tych linii przyczyniły się istotnie do identyfikacji gwiazd o silnej utracie masy i obszarów formowania gwiazd w całej Galaktyce, poznania kinematyki wiatrów gwiazdowych i dysków wokół czarnych dziur oraz rodzących się gwiazd.

#### *Sondowanie właściwości chłodnej i rozrzedzonej materii w Galaktyce*

Możliwość detekcji setek linii widmowych o strumieniu rzędu  $\sim 1\text{mJy}$  poprzez jednoczesne obserwacje kilkudziesięciu 200MHz pasm otwiera nowe i szerokie perspektywy diagnostyki warunków fizycznych ośrodka międzygwiazdowego w Galaktyce w szczególności jego chłodnej ( $10 - 100\text{K}$ ) i rozrzedzonej ( $10^2 - 10^5\text{ cm}^{-3}$ ) składowej. Obecnie wiedza o tej składowej ośrodka w skali Galaktyki opiera się głównie na obserwacjach widm HI, CO i OH. W połączeniu z obserwacjami w zakresie milimetrycznym próbującym przede wszystkim obszary o wyższej temperaturze i gęstości, obserwacje RT90 przyczynią się do stworzenia dokładniejszego obrazu warunków fizycznych i składu chemicznego neutralnej składowej materii międzygwiazdowej całej Galaktyki oraz jej ewolucji. Przedmiotem szczegółowych badań widmowych w zakresie 4-24GHz może być szereg obiektów astronomicznych takich jak: atmosfery planet, komety, obszary formowania gwiazd w skalach przestrzennych od 100pc (olbrzymie obłoki molekularne) do 0.1pc (rdzenie ciemnych obłoków) oraz różne klasy obiektów pozagalaktycznych.

#### *Poszukiwanie fizyko-chemicznych uwarunkowań powstania życia*

Obok przeglądów widmowych wybranych obiektów ważne będą poszukiwania nowych i obserwacje już znanych molekuł organicznych, m.in. takich jak metanimina (CH<sub>2</sub>NH) i cyjanowodor (HCN), które w połączeniu z cząsteczką wody tworzą glicynę - najprostszy aminokwas. W paśmie 13-24GHz znane są od niedawna cztery linie glikoaldehydu (CH<sub>2</sub>OHCHO) oraz dwie linie glikolu etylenowego (HOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH).

Wyznaczenie obfitości złożonych molekuł organicznych będzie bardzo ważnym krokiem do zrozumienia przebiegu ewolucji chemicznej od dysku protogwiazdowego do dysku protoplanetarnego w obszarach formowania małych masywnych gwiazd. Kompletny atlas takich cząsteczek w zakresie fal centymetrowych uzupełniony przez dane z fal milimetrowych i submilimetrowych przyczyni się do olbrzymiego postępu w zrozumieniu warunków fizycznych i pierwotnych uwarunkowań chemicznych sprzyjających powstawaniu życia.

#### *Możliwe niespodzianki*

Systematyczne badania setek linii widmowych może przynieść także nieoczekiwane wyniki. Znamienny w tym względzie jest przypadek molekuly metanolu ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). Po raz pierwszy emisję tej cząsteczki w przestrzeni międzygwiazdowej odkryto w 1971 (Barrett i in.) jako serię profili w pobliżu 25GHz. Z powodu dużej ilości obserwowanych przejść widmowych stała się ona bardzo dobrym, ale jednym z wielu próbników gęstości i temperatury w obłokach molekularnych i takim pozostała przez kolejne prawie 20 lat. Dopiero w 1991 Menten odkrył przejście 6.7GHz, które „przeoczone” w poprzednich przeglądach stało się niezwykle popularnym narzędziem identyfikacji obszarów formowania masywnych gwiazd, obrazowania dysków i wpływów molekularnych, a także precyzyjnego wyznaczenia odległości w Galaktyce.

#### *Bezpośrednie pomiary pól magnetycznych*

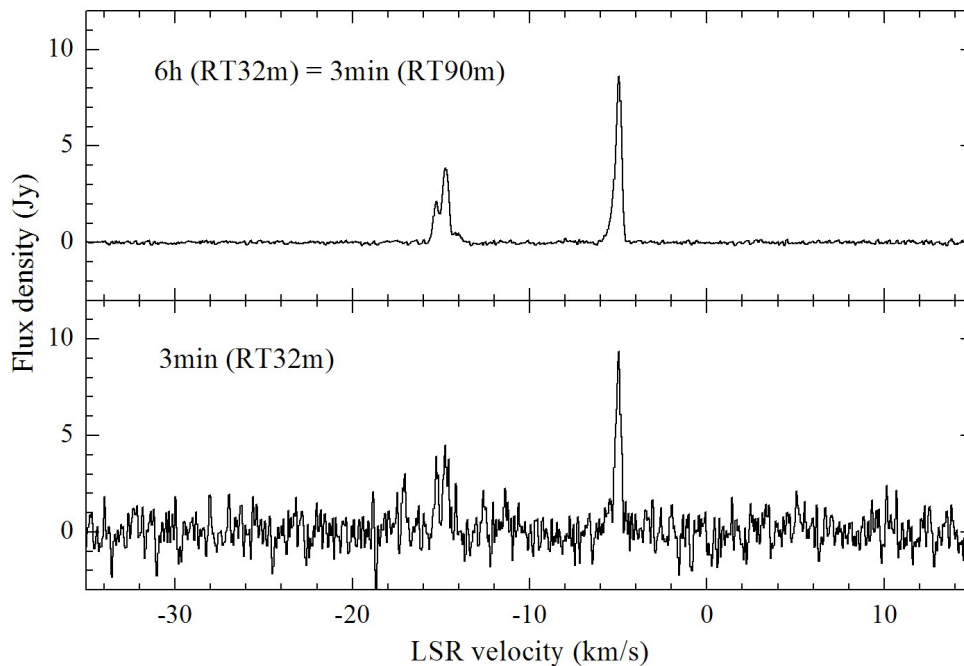
Ważną cechą wielu omawianych linii widmowych jest to, że ich szerokość dopplerowska jest mniejsza od szerokości rozszczepienia zeemanowskiego. Dla przejść o dużym współczynniku rozszczepienia (współczynnik g Landé) łatwo można mierzyć pole nawet o natężeniu ułamków mG.

Szczególnie linie powstające wskutek efektu maserowego, które są węższe od linii termicznych (np: dla molekuly OH szerokość termiczna linii w ośrodku o temperaturze 100K wynosi  $0.5 \text{ km s}^{-1}$ , podczas gdy obserwowane szerokości linii maserowych tej molekuly są 5 razy węższe) niosą ważne informacje o natężeniu i kierunku pola magnetycznego. W paśmie 4-24GHz jest kilkadziesiąt przejść widmowych o dużym współczynniku rozszczepienia Zeemana. Ich obserwacje pozwolą bezpośrednio wyznaczyć natężenia pól magnetycznych w ośrodku o zróżnicowanych temperaturach i gęstości dając ważny wkład do opisu pól magnetycznych w obłokach molekularnych i wpływach gwiazdowych, jego roli w regulacji procesów gwiazdotwórczych w Galaktyce. Planowane czułości RT90 umożliwią ponadto eksplorację pól magnetycznych w obiektach pozagalaktycznych. Niezwykle interesujące wydają się spektropolarymetryczne badania megamaserów za pomocą największych radioteleskopów połączonych w sieci VLBI, w których RT90 będzie kluczowym ogniwem. (Poszerzenie sieci VLBI o nowy wielki teleskop to również wielka szansa nowych szans i odkryć w dziedzinie spektroskopii, tutaj nieomówionych.)

#### *Jak powstają galaktyki i ewoluują galaktyki ?*

RT90 będzie bardzo użytecznym instrumentem w badaniu emisji molekularnej obiektów w odległościach kosmologicznych. Linie milimetrowe molekuł odległych obiektów ( $z > 5$ ) są widoczne w paśmie centymetrowym. I tak, powszechnie obserwowana linia 110GHz molekuly CO emitowana przez obiekt przesunięty ku czerwieni o  $z > 5$  będzie odbierana przez radioteleskopy na częstotliwościach  $< 18\text{GHz}$ . Dotychczasowe badania w tych

zakresach dotyczyły tylko wybranych najjaśniejszych w podczerwieni galaktyk i kwazarów. Informacje widmowe w szerokim zakresie częstotliwości dostarczane przez wieloelementową kamerę w ognisku rt90 pozwolą badać obiekty w zakresie  $4.5 < z < 26.5$ . (Warto zauważyć, że obserwacje spektralne na rt90 będą prowadzone jednocześnie z obserwacjami kontinuum.) Oszacowania kinematyki, gęstości gazu z obserwacji CO i innych molekuł w zakresie fal centymetrowych będą bez wątpienia kluczowe do lepszego zrozumienia procesów i mechanizmów powstawania galaktyk i gwiazd we wczesnym wszechświecie.



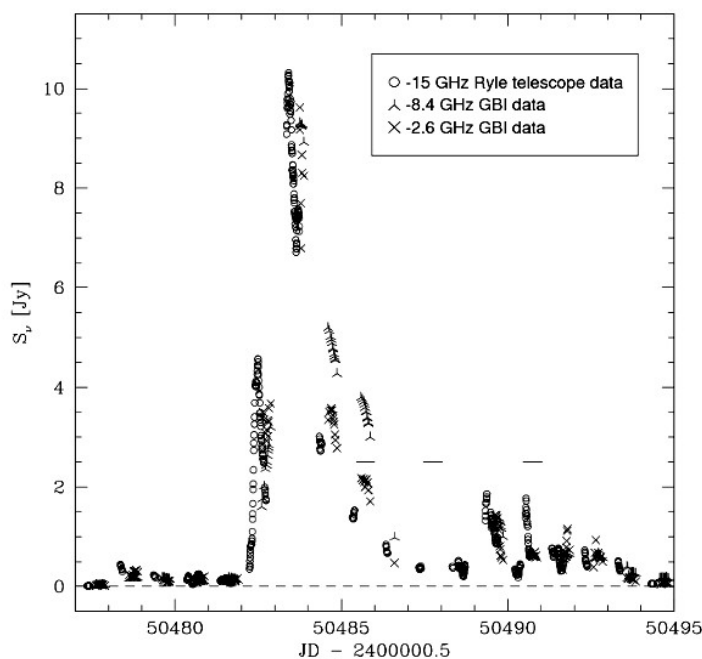
Rys. 6. Profil linii widmowej 6.7GHz metanolu – zależność gęstości strumienia ( $1\text{Jy}=10^{-26}\text{ W m}^{-2}\text{ Hz}^{-1}$ ) od prędkości radialnej względem lokalnego standardu odniesienia, protogwiazdy G183.34+0.59. Jakość widma mierzona stosunkiem sygnału do szumu po 3 minutowej obserwacji na 32m RT wynosi tylko 10 (dolny panel), po 6 godzinach obserwacji wzrasta do 140 (górny panel) co będzie równoważne 3 minutowej obserwacji na 90m RT.

#### 4. Dyskretne źródła galaktyczne (M.Gawroński, CA UMK)

Jednym z najważniejszych projektów naukowych, który będzie można realizować za pomocą nowego radioteleskopu, jest regularny przegląd płaszczyzny Drogi Mlecznej. Oprócz badania kształtu pola magnetycznego oraz poszukiwania słabych struktur radiowych w naszej Galaktyce, takich jak pozostałości po wybuchach supernowych, można także badać przejściowe zjawiska, które nieregularnie będą pojawiać się na naszym niebie. Za tego rodzaju „rozbłyski” radiowe odpowiedzialne jest kilka różnych klas obiektów astronomicznych.

## Transjenty galaktyczne

W ostatnim czasie obserwuje się wzmożone wysiłki naukowców związane z badaniem tzw. rentgenowskich układów podwójnych (ang. X-Ray Binaries, XRBs). Sądzi się, że są to gwiazdy podwójne, gdzie jednym ze składników jest czarna dziura lub gwiazda neutronowa. Charakteryzują się te układy nieregularnymi gwałtownymi rozbłyskami w X, kiedy obserwujemy u nich wzmożoną aktywność. Kiedy podczas fazy aktywności kreowane są również dzęty obserwujemy pojaśnienie na falach radiowych. Większą część czasu XRBs spędzają jednak w stanie „uśpienia”. Średnio w XRBs występuje jeden wybuch rocznie, zaś liczbę tych układów w Galaktyce ocenia się na  $10^3 - 10^4$  (Romani 1992). Obecnie znamy kilkanaście układów tego typu. Panuje powszechne przekonanie, że XRBs są przeskalowaną wersją kwazarów i zrozumienie zjawisk fizycznych tam zachodzących zdecydowanie zbliży nas do rozwikłania fenomenu aktywnych jąder galaktyk. Szczególnie ważny jest fakt, że skala czasowa procesów w XRBs jest rzędu kilku dni. Na falach radiowych również obserwuje się nieregularne pojaśnienia. Na rys.1 przedstawiona jest zmiana gęstości strumienia radiowego jednego z XRBs, Cyg X-3. W tym przypadku notowane są wybuchy strumienia aż do kilku Jy.

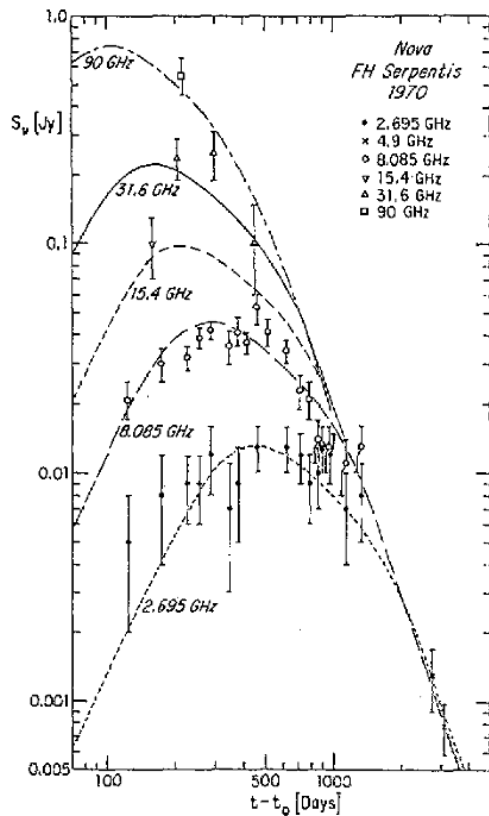


Rys.7 Jeden z wybuchów radiowych obserwowanych u Cyg X-3 (Mioduszewski et al., 2001). Na rysunku złożono pomiary radiowe wykonane na trzech różnych częstotliwościach. Samo zjawisko trwało około tydzień.

Regularne przeglądy Galaktyki na falach radiowych, prowadzone z dużą czułością, pozwolą na odkrywanie nowych układów XRBs i zdecydowane powiększenie bazy obserwacyjnej. Pozwoli to na wyselekcjonowanie wystarczającej ilości obiektów do badań statystycznych i ewolucyjnych, m.in. oszacowanie rozkładu mas „gwiazdowych” czarnych dziur. Ma to fundamentalne znaczenie, jeśli chodzi o powstawanie i ewolucje układów podwójnych.

Jednoczesny monitoring rozbłysków w szerokim paśmie radiowym, wraz z informacjami polarymetrycznymi, umożliwi zdobycie unikatowych danych obserwacyjnych, za pomocą których można badać relatywistyczne dzęty produkowane okresowo w tych układach.

Kolejną klasą „przejściowych” obiektów radiowych są gwiazdy nowe. W tym przypadku za promieniowanie radiowe odpowiedzialny jest szok tworzący się podczas eksplozji nowej w materii otaczającej układ. Zjawisko gwiazdy nowej na falach radiowych trwa o wiele dłużej niż w domenie optycznej i może trwać nawet kilka lat. Za pomocą obserwacji poświaty radiowej gwiazd nowych można oszacować na przykład ilość materii wyrzuconej podczas eksplozji czy nawet masę białego karła, na powierzchni którego doszło do „zapalenia” gwiazdy nowej (m.in. Eyres et al., 2009). Rys. 2 przedstawia zmiany gęstość strumienia radiowego na różnych częstościach obserwowane podczas eksplozji gwiazdy nowej FH Ser w 1970 roku.



Rys. 8 Krzywe zmian gęstości strumienia radiowego na różnych częstościach gwiazdy nowej FH Serpentis, która wybuchła 13 lutego 1970r. (Hjellming 1990). Widoczna jest zmiana zachowania tego obiektu w zależności od długości fali. Całość zjawiska na falach radiowych może trwać nawet kilka lat.

Odkrywanie/obserwowanie gwiazd nowych będzie naturalną konsekwencją monitorowania Galaktyki. Szczególnie interesujące może być znajdowanie nowych, które nie są widoczne optycznie ze względu na zasłaniającą materię międzygwiazdową. Pozwoli to na nowe oszacowania ilości tego typu zjawisk w Drodze Mlecznej oraz zweryfikowanie obecnych modeli teoretycznych powstawania i ewolucji układów podwójnych.

#### Bibliografia:

- Eyres et al., 2009, MNRAS, 395, 1533
- Hjellming, 1990, Lecture Notes in Physics, 369, 167
- Mioduszewski et al., 2001, ApJ, 553, 766
- Romani, 1992, ApJ, 399, 621

# **Astronomia pozagalaktyczna**

## **1. Badania widm galaktyk (K.Chyży OA UJ)**

Widma radiowe pobliskich galaktyk wykazują załamania na częstotliwościach około 300 MHz i niższych Ich natura nie jest poznana. Mogą one odzwierciedlać straty energetyczne relatywistycznych elektronów na zderzenia z cząstkami gazu lub z wielkoskalowym wiatrem galaktycznym albo wynikać z absorpcji termicznej promieniowania synchrotronowego przez zjonizowany ośrodek międzygwiazdowy. Według Israel i Mahoney (1990) absorpcja taka może również wskazywać na mało znaną, niskotemperaturową ( $T < 1000\text{K}$ ) fazę ośrodka międzygwiazdowego. Częstość występowania tego efektu, jego pochodzenie i powiązanie z innymi parametrami galaktyk nie są znane z powodu braku masowych przeglądów galaktyk na bardzo niskich i na bardzo wysokich częstotliwościach radiowych. Paradoksalnie, do interpretacji załamań widm niskoczęstotliwościowych konieczne są wysokiej jakości widma na wysokich częstotliwościach aby możliwe było odseparowanie składowej termicznej i synchrotronowej widma (ta pierwsza dominuje właśnie na wysokich częstotliwościach). Zbadanie powiązania załamania niskoczęstotliwościowego widma z emisją termiczną powinno pozwolić na ostateczną identyfikację procesu fizycznego prowadzącego do załamań widm. W najbliższych latach widma niskoczęstotliwościowe galaktyk zostaną uzyskane z obserwacji powstającego systemu interferometrycznego LOFAR (Low Frequency Array). Proponujemy pierwsze kompletne badania widm wysokoczęstotliwościowych galaktyk za pomocą RT90. Dotychczasowe obserwacje galaktyk m.in. za pomocą 100m teleskopu w Effelsbergu i interferometru Very Large Array obejmowały częstotliwości do 8GHz. Ze względu na obserwacje pojedynczą wiązką systemu odbiorczego w Effelsbergu i z drugiej strony na gubienie (do 50%) rozciąętej emisji galaktyk przez interferometr VLA (problem tzw. brakujących baz) nawet obserwacje galaktyk na 8 GHz były do tej pory prowadzone sporadycznie. Z naszych badań wynika, że do wiarygodnego rozdzielania składowych widm radiowych potrzebne są obserwacje na jeszcze wyższych częstotliwościach. Czuła macierz odbiorników umieszczona na radioteleskopie RT90 i zdolna pracować na częstotliwościach 10 GHz i wyższych umożliwiłaby po raz pierwszy kompleksowe zbadanie widm galaktyk.

Wartości natężeń pól magnetycznych w galaktykach obliczane są obecnie na podstawie wysoko-częstotliwościowych obserwacji radiowych. Z uwagi na brak szczegółowej informacji o wkładzie emisji termicznej, wyliczane z emisji radiowej wartości galaktycznych pól magnetycznych są obarczone dużą niepewnością. Uzyskanie widm radiowych na częstotliwościach powyżej 10 GHz pozwoli na precyzyjne wyznaczenie wkładu termicznego i po raz pierwszy na wyznaczenie bez tej niepewności średnich wartości pól magnetycznych dla dużej próbki galaktyk. Pozwoli to następnie na poszukiwanie związków natężeń pól magnetycznych i emisji synchrotronowej z typem morfologicznym galaktyk, tempem formowania gwiazd oraz własnościami galaktyk w innych składowych ośrodku międzygwiazdowego.

Niewiele obecnie wiemy o własnościach radiowych galaktyk we wczesnym Wszechświecie oraz zależności tempa powstawania w nich gwiazd od wieku i własności tych protogalaktyk. Jednak już obecnie możliwe jest podjęcie próby rozpoznania tych relacji, wykorzystując radiowe obserwacje populacji galaktyk o bardzo dużej emisji w podczerwieni (*Luminous InfraRed Galaxies* – LIRG). Pobliskie LIRG ( $z < 0.1$ ) to najprawdopodobniej pary



galaktyk w fazie zderzenia i łączenia prowadzącego do powstania galaktyk eliptycznych. Obserwowana duża aktywność gwiazdotwórcza ( $\geq 20$  mas Słońca na rok) stymulowana jest w nich najprawdopodobniej przez oddziaływania grawitacyjne. W przypadku LIRG o dużych przesunięciach ku czerwieni ( $z > 2$ ) obserwuje się jeszcze większą aktywność formowania się gwiazd z uwagi na silniejsze procesy oddziaływań. Zatem populacja pobliskich LIRG może posłużyć nam jako bliski odpowiednik populacji galaktyk bardzo odległych i tworzących się – protogalaktyk. Analogicznie do zwykłych galaktyk proponujemy szczegółowe badanie widm obiektów LIRG oraz badanie występowanie w nich załamań i ich powiązania z aktywnością gwiazdotwórczą galaktyk. Jeśli załamania wynikają z absorpcji termicznej, to powinny być silniejsze dla galaktyk typu LIRG, a wtedy należałoby oczekiwać jeszcze silniejszej absorpcji i modyfikacji widm radiowych dla protogalaktyk. Uzyskanie z widm wysokoczęstotliwościowych składowej termicznej umożliwi precyzyjne, niezależne wyznaczenie tempa formowania w nich gwiazd. Stosowane do tej pory indykatory w dziedzinie podczerwieni, optycznej i ultrafioletu obarczone są dużymi niepewnościami.

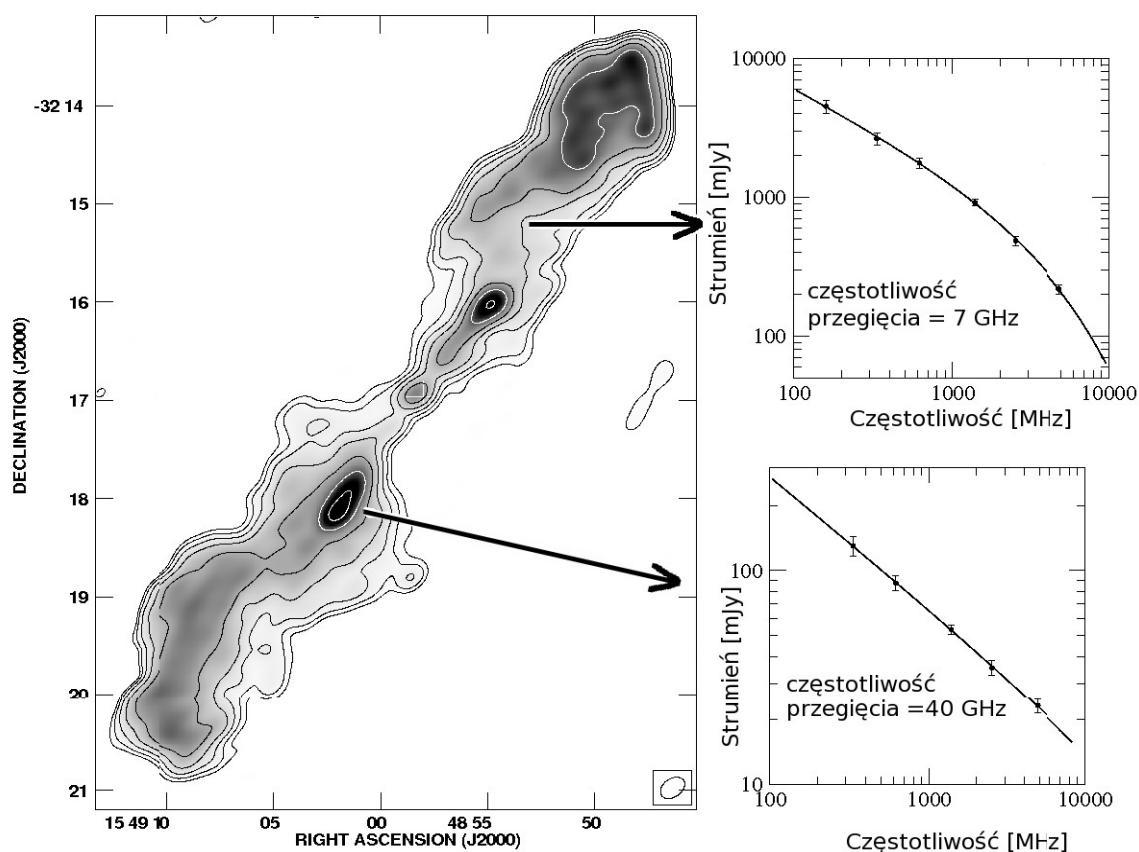
Wyłuskanie emisji synchrotronowej pozwoli po raz pierwszy na oszacowanie natężeń średniego pola magnetycznego w dużej liczbie obiektów bardzo aktywnych gwiazdotwórczo (LIRGi) i porównanie ich z typowymi, nieoddziałującymi galaktykami spiralnymi. To z kolei da nam odpowiedź na pytanie, jak tempo formowania gwiazd wpływa na proces generacji pól magnetycznych w galaktykach (a więc na efektywność procesu dynamo) i umożliwi predykcję tych pól dla jeszcze bardziej aktywnych gwiazdotwórczo protogalaktyk. Jest to istotne zagadnienie dla problemu genezy pierwotnych pól magnetycznych we Wszechświecie.

Proponowane badania własności galaktyk w daleko wykraczają poza granice problemu bliskich galaktyk i emisji radiowej. Możliwość rozdzielenia wpływu składowej termicznej i nietermicznej w widmach galaktyk postawi w nowym świetle niewyjaśnioną dotąd zależność radio–podczerwień i określi udział w niej promieniowania synchrotronowego.

## **2. Badania widm młodych radiogalaktyk (M.Jamrozy OA UJ)**

Wyznaczenie wartości parametrów fizycznych radiogalaktyk jest bardzo istotne dla poznania natury procesu generacji energii w pobliżu supermasywnych czarnych dziur rezydujących w centrach galaktyk aktywnych. Obserwacyjne wyznaczenie niektórych charakterystyk (np. objętości, natężenia promieniowania, mocy) jest stosunkowo proste. Określenie innych, takich jak np. wieku - wymaga przeprowadzenia żmudnych wieloczęstotliwościowych obserwacji radiowych i ich precyzyjnej analizy. Naładowane relatywistyczne cząstki poruszające się w polu magnetycznym tracą swoją początkową energię głównie w procesie wyświecania synchrotronowego. Teoria tego promieniowania pozwala dokładnie określić czas jaki upłynął od momentu, w którym cząstki te, znajdujące się w różnych częściach radiogalaktyki, zaczęły promieniować w zakresie radiowym. Do obserwacyjnego wyznaczenia tego czasu - zwanego wiekiem synchrotronowym - dla konkretnej radiogalaktyki konieczne jest posiadanie map jej struktury na kilku częstotliwościach w możliwie szerokim zakresie fal radiowych (od dziesiątek MHz do kilkudziesięciu GHz). Na podstawie tych danych możemy skonstruować obserwacyjną zależność, tzw. widmo, jej jasności od częstotliwości. Dla bardzo młodych radiogalaktyk zależność ta będzie miała charakter potęgowy, a rozkład energii cząstek będzie niewiele odbiegał od pierwotnego. Natomiast, wraz z upływem czasu energia elektronów będzie

maleć w taki sposób, że najszybciej będą ją tracić te, które posiadają największą energię. Dlatego w widmie starszej radiogalaktyki (lub jej starszej części) będzie widoczne wyraźne odejście od pierwotnej zależności potęgowej. Czym starsza radiogalaktyka, tym odejście to - tzw. częstotliwość przegięcia - będzie występować na coraz mniejszych częstotliwościach. Dopasowując do widma zależność teoretyczną jesteśmy w stanie precyzyjnie określić częstotliwość przegięcia, a tym samym wiek. Znając wiek radiogalaktyki możemy określić jej całkowitą energię wygenerowaną w aktywnym jądrze. Przykładowo, dla wartości pola magnetycznego rzędu kilku mikro-Gaussów i częstotliwości przegięcia widma w okolicy 7 GHz, wiek synchrotronowy wynosi w przybliżeniu 40 milionów lat. Zaś, dla częstotliwości przegięcia ok. 18 i 40 GHz, odpowiednio, 25 i 10 milionów lat. Dlatego też dla precyzyjnego określenia wieku młodych struktur konieczne są obserwacje w zakresie kilkudziesięciu GHz. Z drugiej strony, do rozdzielenia struktury wymagana jest odpowiednio dobra zdolność rozdzielcza teleskopu. Ze względu na potężowy charakter widma radiogalaktyk, konieczna jest również duża czułość detektora. Wymogi te da się spełnić przy uwzględnieniu odpowiednio dużej powierzchni czaszy radioteleskopu oraz długiego czasu obserwacji. Obecnie działające instrumenty nie pozwalają na łączne spełnienie tych wymogów. Planowany RT90 będzie idealnym narzędziem w badaniu własności radiogalaktyk na wysokich częstotliwościach.



Rys. 9. Obiekt J1548-3216 jest przykładem radiogalaktyki z powtarzającymi się cyklami aktywności. Zewnętrzna struktura pochodzi z wcześniejszej fazy aktywności – jej widmo (prawy górny panel) wykazuje wyraźne zakrzywienie. Widmo wewnętrznej młodszej struktury (prawy dolny panel) posiada formalne zakrzywienie (wynikające z teoretycznego dopasowania) na ok. 40 GHz – czyli poza obszarem dostępnymi obserwacji radiowych.