

# Astrolabium

Konkurs astronomiczny

## Rotacja Drogi Mlecznej



Szkoła podstawowa  
Klasy 7-8  
Doświadczenie konkursowe 5

4

Rok 2024

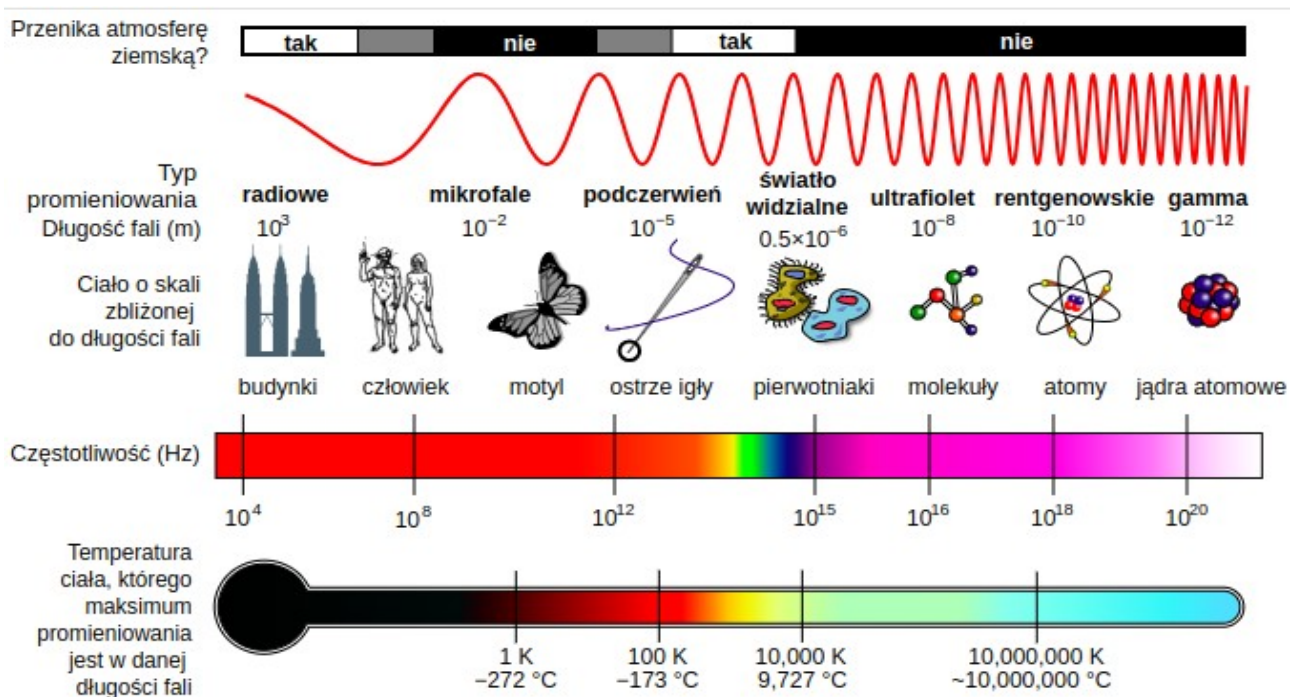
## 1. Wstęp teoretyczny

**Fala elektromagnetyczna** to rozchodzące się w przestrzeni zaburzenie pola elektromagnetycznego. Charakteryzowana jest przez jej **długość ( $\lambda$ , lambda)**, **częstotliwość ( $\nu$ , ni)**, **amplitudę** oraz **okres zmienności**. Wielkości  $\lambda$  i  $\nu$  są ze sobą związane poprzez **stałą  $c$**  – prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w próżni – w następujący sposób:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Oznacza to, że im większa jest długość fali, tym mniejsza jej częstotliwość.

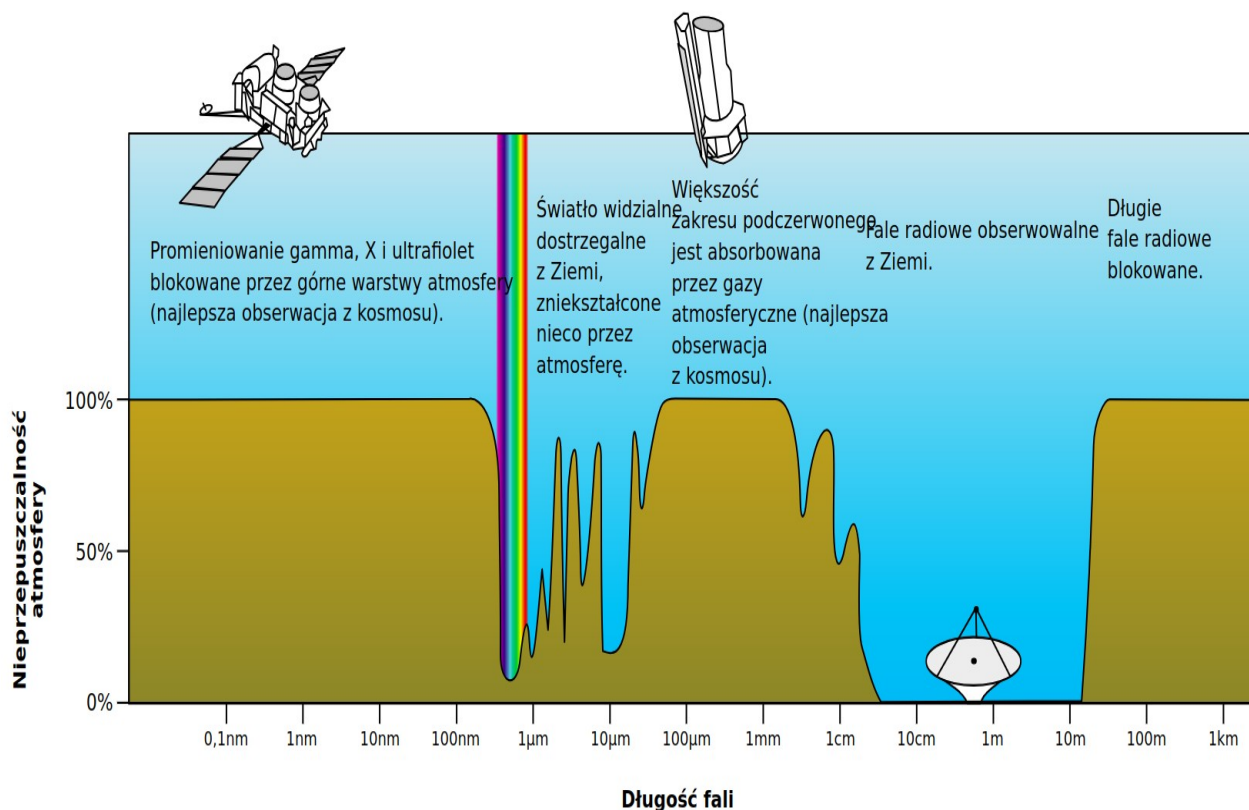
**Widmem fal elektromagnetycznych** nazywamy ich klasyfikację ze względu na długość i częstotliwość. Widmo nie ma ograniczenia na żadnym z końców, ponieważ fale te mogą mieć dowolnie duże lub małe długości.



Rysunek 1. Podział fal elektromagnetycznych. Źródło: Wikipedia<sup>1</sup>.

Na rysunku 1. przedstawiono różne rodzaje fal elektromagnetycznych. Uwzględniona jest również informacja o tym, czy dana fala przenika atmosferę ziemską. Jak można zauważyć, granice między poszczególnymi rodzajami fal bywają umowne. Jednak tylko trzy rodzaje fal elektromagnetycznych mogą „przebić” barierę, jaką jest dla nich ziemska atmosfera, a dzięki temu umożliwić nam obserwacje kosmosu z powierzchni Ziemi. To fale optyczne, część fal podczerwonych (które są w ogólności dość trudne do obserwacji z Ziemi) oraz **omawiane w tym doświadczeniu fale radiowe**.

<sup>1</sup> [https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie\\_elektromagnetyczne](https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_elektromagnetyczne)



Rysunek 2. Przepuszczalność atmosfery dla różnego rodzaju promieniowania elektromagnetycznego. Źródło: Wikipedia<sup>2</sup>.

**Fale radiowe** są najdłuższe w całym widmie elektromagnetycznym. Mają długości od kilku milimetrów do tysięcy kilometrów. Na Ziemi fale radiowe są wytwarzane przez nadajniki radiowe i telewizyjne, radary, nadajniki Wi-Fi czy telefony komórkowe. W przestrzeni kosmicznej są emitowane przez różne obiekty (gwiazdy, galaktyki, pulsary, pozostałości po supernowych, a także materię poruszającą się w pobliżu czarnej dziury).

**Radioastronomia** to nauka badająca kosmos właśnie za pomocą fal radiowych. Zapoczątkował ją amerykański inżynier Karl Jansky, który w **1931 roku** odkrył, że część rejestrowanych na Ziemi szumów radiowych pochodzi z Drogi Mlecznej. Przełom w tej dziedzinie przypadł na okres II wojny światowej ze względu na konieczność rozwoju **radarów** na potrzeby wojska. Kolejną motywacją do rozwoju tych technologii było odkrycie silnych źródeł radiowych, takich jak mgławica Krab i Cygnus A (lata 1940-1950). Naukowcy zainteresowali się także badaniami nieba na falach radiowych po odkryciu szybko wirujących gwiazd neutronowych – pulsarów (1967 r.). Późniejszy rozwój **interferometrii radiowej**, czyli techniki łączenia ze sobą danych pochodzących z wielu teleskopów radiowych, umożliwił z czasem tworzenie bardziej precyzyjnych map emisji radiowej dochodzącej z kosmosu. Dziś ogromne radioteleskopy, takie jak półkilometrowy FAST w Chinach, oraz ich sieci interferometryczne (np. Teleskop Horyzontu Zdarzeń – EHT) pozwalają także astronomom badać czarne dziury i najodleglejsze obiekty we Wszechświecie.

<sup>2</sup>[https://pl.wikipedia.org/wiki/Okno\\_radiowe](https://pl.wikipedia.org/wiki/Okno_radiowe)



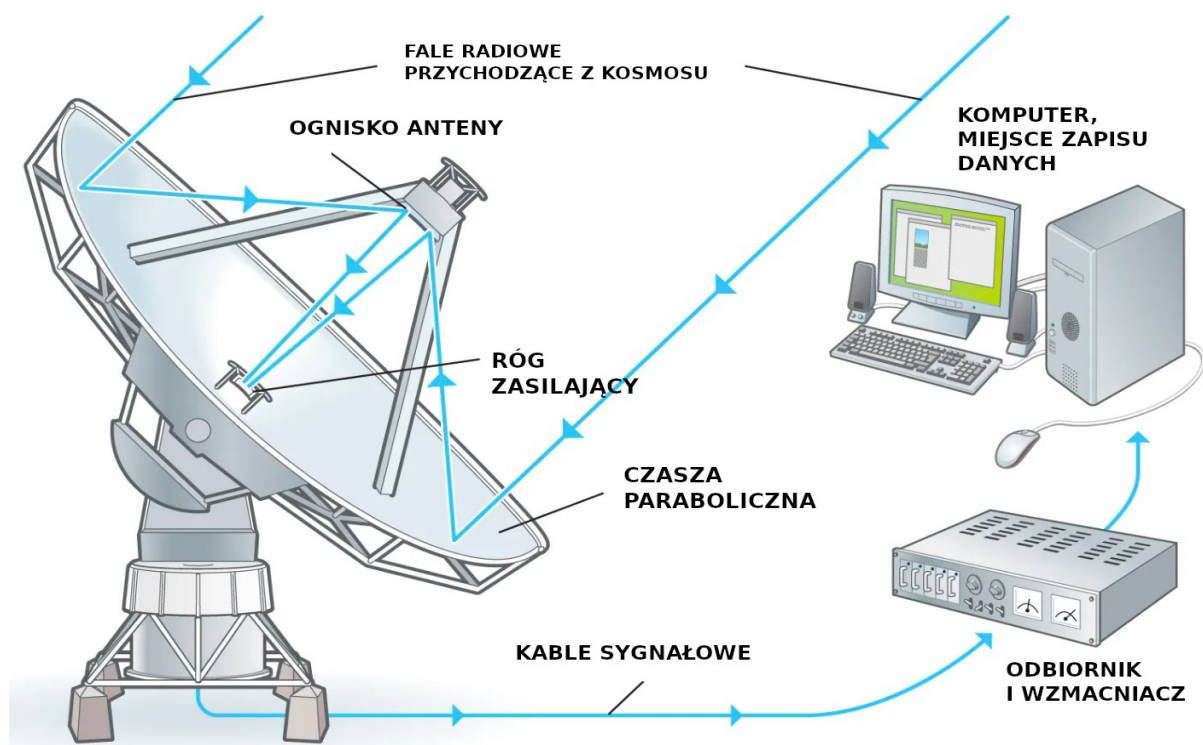


Rysunek 3. Radioteleskop Five hundred meter Aperture Spherical Telescope (FAST). Autor: Liu Xu /Xinhua/Getty Images



Rysunek 4. Sieć interferometryczna Very Large Array składa się z 27 ogromnych anten, każda o średnicy 25 metrów, co pozwala im działać podobnie jak jeden wielki teleskop o średnicy 36 kilometrów. (Źródło: Shutterstock)

**Teleskop radiowy (nazywany radioteleskopem)** to instrument astronomiczny do odbioru i analizy promieniowania radiowego emitowanego przez ciała niebieskie. Anteny używane jako radioteleskopy różnią się od siebie znacznie pod względem rozmiaru i konfiguracji. Konstrukcja typowego radioteleskopu często składa się jednak z tak zwanego reflektora<sup>3</sup>, czyli **parabolicznie ukształtowanej czaszy**, będącej elementem skupiającym fale radiowe w miejscu, w którym umieszczony jest ich **odbiornik**. Odebrane w ten sposób dane radiowe przesyła się następnie światłowodami do centrum obliczeniowego, gdzie poddawane są analizie.



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

Rysunek 5. Schemat konstrukcji radioteleskopu. Źródło: [www.britannica.com/science/radio-astronomy](http://www.britannica.com/science/radio-astronomy)

Największy radioteleskop w Polsce<sup>4</sup> znajduje się w Piwnicach niedaleko Torunia. Jego czasza ma średnicę 32 metrów. Innym bardzo istotnym urządzeniem do badań radioastronomicznych, znajdującym się w Polsce i jednocześnie w kilku innych krajach, jest **LOFAR** (ang. *Low-Frequency Array for radio astronomy* – co oznacza *sieć radiową pracującą na niskiej częstotliwości*). To rozproszony po Europie układ złożony z wielu niewielkich anten, które pracują wspólnie, wykorzystując wspomnianą już wcześniej technologię interferometrii radiowej.

Obserwacje radiowe można prowadzić zarówno w dzień, jak i w nocy. Fale radiowe nie są silnie blokowane przez chmury i nie są zwykle w sposób istotny zakłócone

<sup>3</sup><https://pl.wikipedia.org/wiki/Reflektor>

<sup>4</sup><https://www.urania.edu.pl/wiadomosci/obserwacje-radiowe-w-praktyce>



przez atmosferę Ziemi. Dlatego radioteleskopy mogą odbierać sygnały także podczas pochmurnej pogody, która uniemożliwia obserwacje optyczne. Wyjątkiem są silne wiatry, które wpływają na duże anteny, i burze. Fale radiowe ukazują też często astronomom zupełnie nowe obiekty w kosmosie. Wiele z nich w świetle widzialnym przesłania nam pył, za który nie są w stanie "zajrzeć" teleskopy optyczne. Ten pył nie pochłania jednak fal radiowych, więc radioastronomia pozwoliła nam zobaczyć te nieznane przez długi czas rejony Wszechświata.

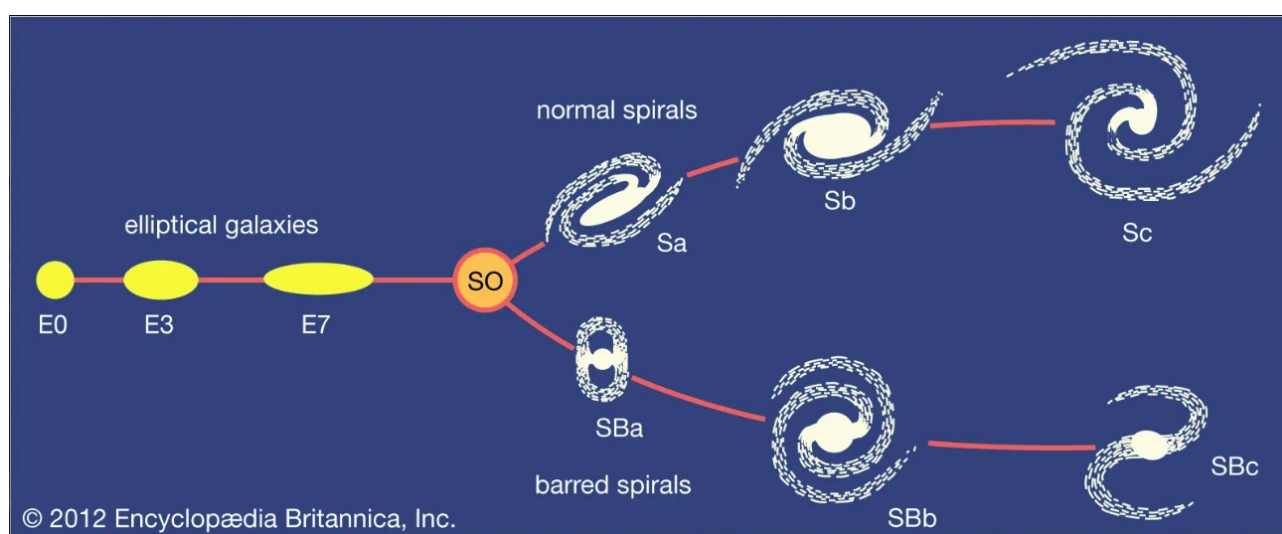
Oprócz licznych zalet obserwacji nieba na falach radiowych istnieją też wady. Słabe, trudne do wychwycenia sygnały radiowe docierające z przestrzeni kosmicznej są często łatwo zagłuszone przez źródła fal radiowych na Ziemi. Zatem podobnie jak teleskopy optyczne muszą być umieszczane z dala od miejskich świateł, profesjonalne radioteleskopy należy budować jak najdalej od sztucznych źródeł fal radiowych. Można powiedzieć, że również w dziedzinie radiowej widma elektromagnetycznego mamy do czynienia z problemem zanieczyszczenia nieba sztucznymi sygnałami.



Rysunek 6. Stacja anten sieci LOFAR w Holandii. Pozostałe takie stacje znajdują się w Niemczech, Polsce, Szwecji, Wielkiej Brytanii, Francji, Irlandii i na Łotwie. Źródło: LOFAR-ASTRON

## Rotacja Drogi Mlecznej

Galaktyki można podzielić ze względu na ich **typ morfologiczny**, czyli kształt. Najbardziej popularną taką klasyfikacją jest **klasyfikacja Hubble'a**. Zgodnie z nią nasza Galaktyka Droga Mleczna jest galaktyką spiralną z poprzeczką (na rysunku poniżej to typ SBc lub SBb). Droga Mleczna jako całość obraca się, czyli **rotuje** wokół własnego centrum masy: supermasywnej czarnej dziury i skupionej wokół niej materii. Gwiazdy, gaz i inne obiekty w dysku Galaktyki poruszają się wokół tego centrum. Prędkość rotacji tych ciał zależy od ich odległości od centrum. Wewnętrzne obszary Galaktyki (leżące blisko centrum) obracają się szybciej. Skąd jednak wiemy, że Droga Mleczna porusza się w ten właśnie sposób?

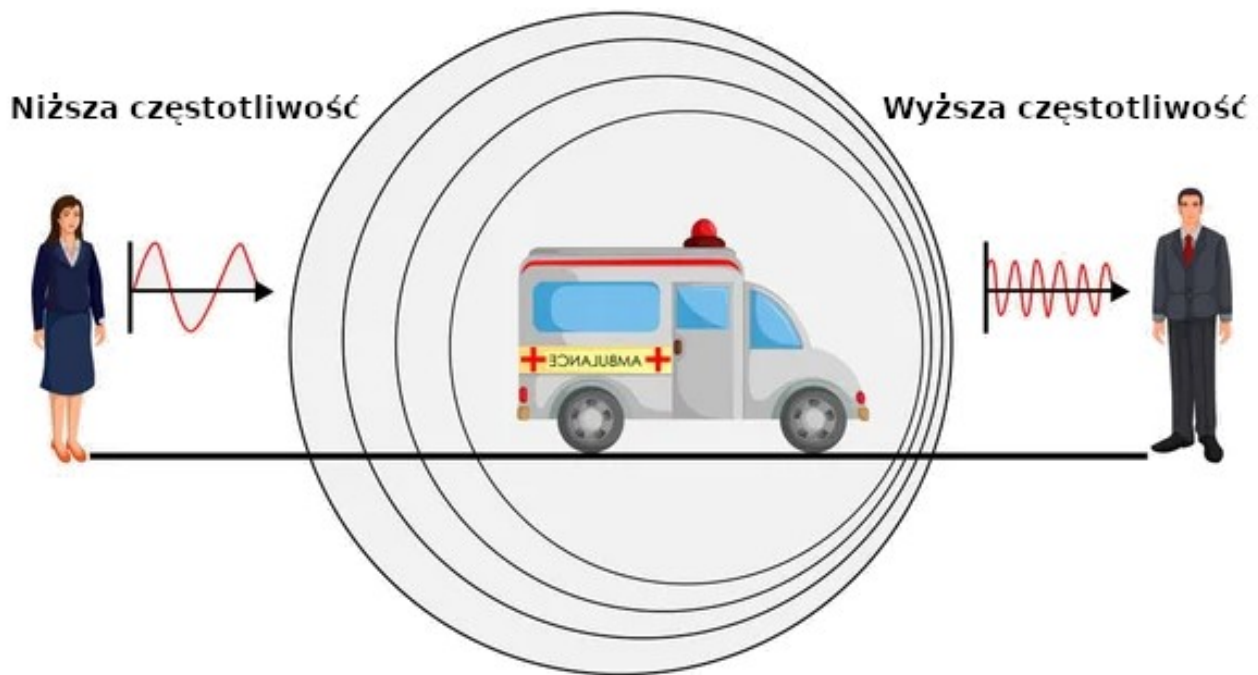


Rysunek 7. Klasyfikacja galaktyk Hubble'a. Źródło: [www.britannica.com/science/galaxy/Types-of-galaxies](http://www.britannica.com/science/galaxy/Types-of-galaxies)

**Neutralny wodór** (oznaczany często skrótem HI) wypełniający naszą Galaktykę emituje fale radiowe o długości **21 cm**. Zatem właśnie na tej długości fali możemy badać rozkład gazu wodorowego nawet w bardzo odległych obszarach Drogi Mlecznej, co nie jest możliwe w świetle widzialnym (blokowanym przez pył galaktyczny). Za pomocą obserwacji radiowych można obserwować fale o tej długości, a także ich **przesunięcie dopplerowskie**.

**Efekt Dopplera** to zjawisko fizyczne polegające na zmianie obserwowanej częstotliwości (i długości) fal, gdy ich źródło i obserwator poruszają się względem siebie. Gdy na przykład źródło fal zbliża się do obserwatora, fale (z perspektywy ich obserwatora) ulegają **skróceniu**. Ich częstotliwość rośnie, a zarazem długość fali – zgodnie z podanym wcześniej wzorem – maleje. Gdy z kolei źródło fal oddala się, dla obserwatora fale ulegają **wydłużeniu**. Większość z nas słyszała kiedyś sygnał karetki pogotowia zbliżającej się, a następnie oddalającej od nas. Różnica w odbieranym przez nas sygnale dźwiękowym podczas tego ruchu wynika właśnie z efektu Dopplera. W przypadku światła widzialnego fale przesuwają się w stronę **niebieską** (to krótsze fale) przy zbliżaniu się do nas lub **czerwona** (dłuższe fale) przy oddalaniu się od nas.

# Efekt Dopplera

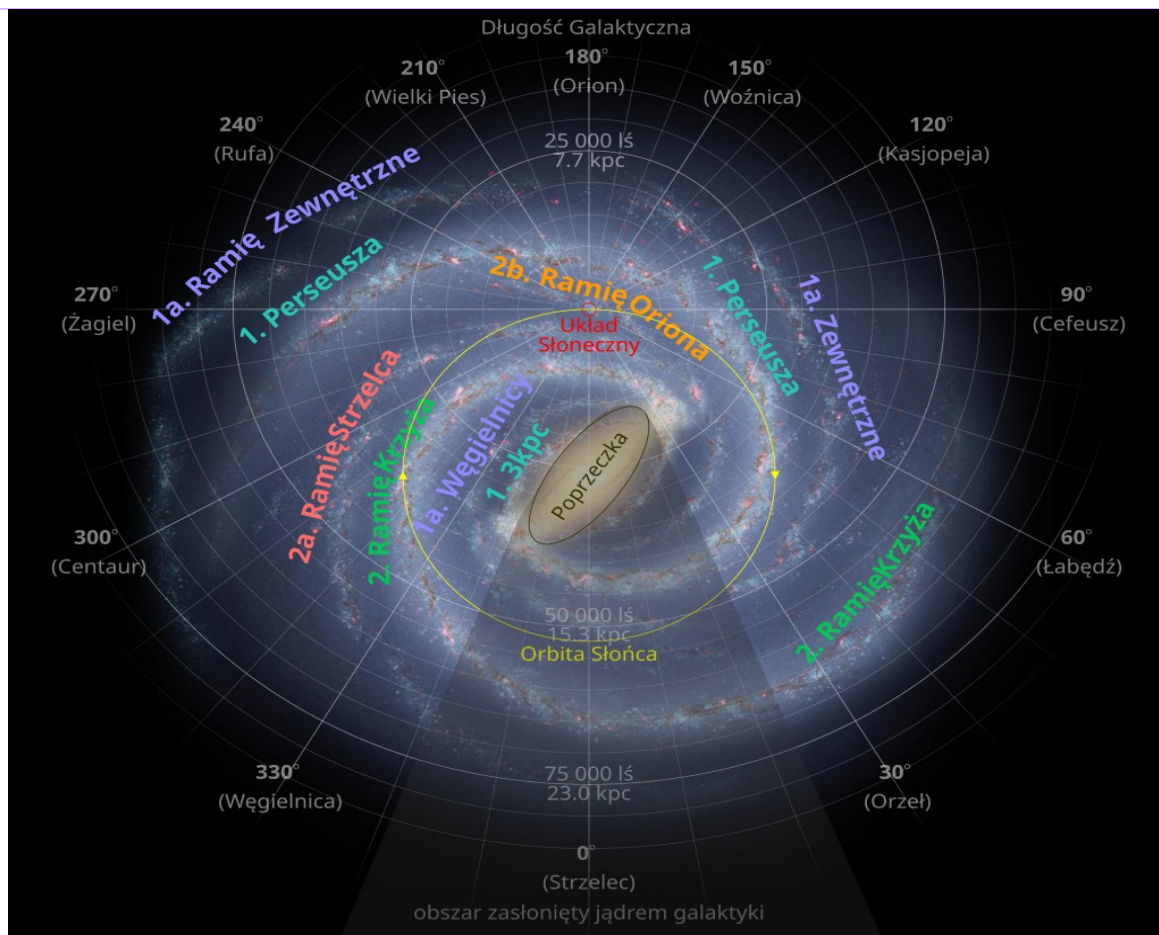


Rysunek 8. Efekt Dopplera dla fal dźwiękowych. Źródło: Depositphotos.

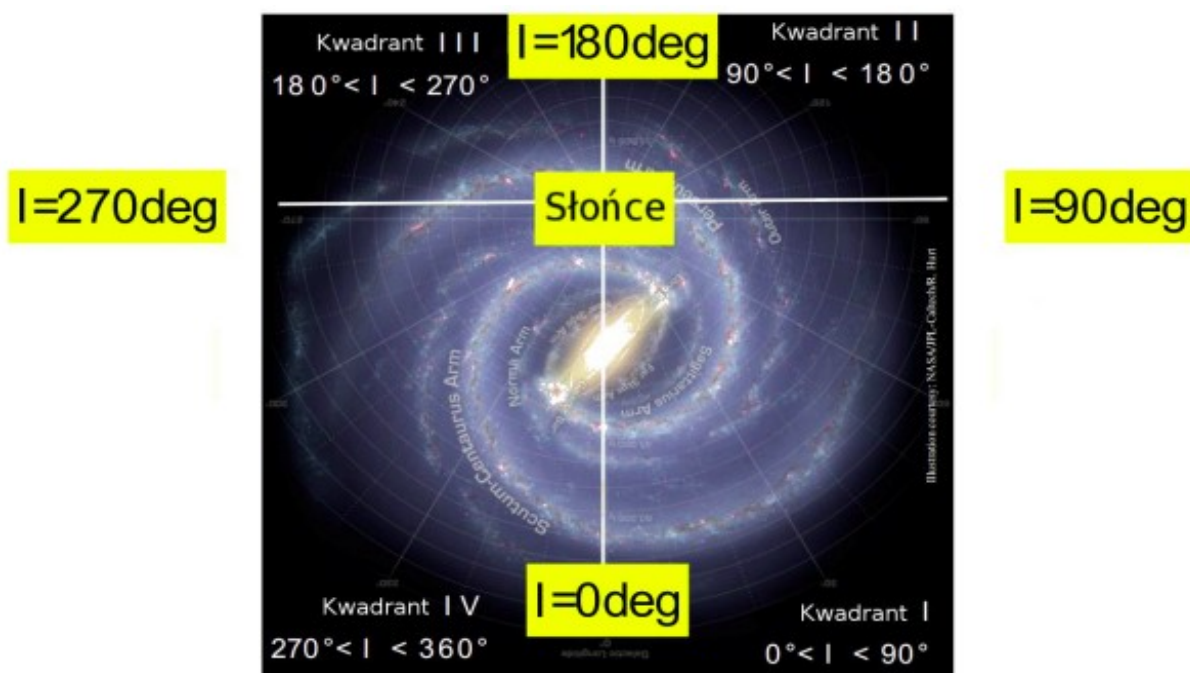
Fale radiowe emitowane przez neutralny wodór wypełniający Drogę Mleczną i obserwowane w różnych kierunkach z Ziemi też ulegają efektowi Dopplera. Gdy obserwujemy naszą Galaktykę na falach radiowych, pewne jej części są przesunięte względem nas ku „czerwieni” (fale radiowe docierają do nas jako dłuższe, więc te części Galaktyki oddalają się od nas), podczas gdy inne są przesunięte w stronę niebieską (fale te docierają do nas jako krótsze, czyli zgodnie z efektem Dopplera zbliżają się do nas). Takie przesunięcia w stronę fal radiowych dłuższych lub krótszych pozwalają jednocześnie na wyznaczanie prędkości radialnych (czyli mierzonych wzdłuż naszej linii widzenia) obłoków gazu wodorowego poruszających się w Galaktyce w stosunku do obserwatora na Ziemi.

Aby dobrze zrozumieć obserwacje rotacji Drogi Mlecznej, należy jeszcze pamiętać o tym, w jakim położeniu w Galaktyce sami się znajdujemy. Nasze obserwacje ruchu obiektów galaktycznych wykonywane są z miejsca, które samo porusza się w układzie współrzędnych związanych z Galaktyką. Można przyjąć, że środek tego układu znajduje się w Układzie Słonecznym, a **długość galaktyczna ( $l$ ) jest to nasz kierunek obserwacji** w płaszczyźnie Drogi Mlecznej, gdzie  $l = 0$  oznacza kierunek na samo centrum naszej Galaktyki.





Rysunek 9. Artystyczna mapa Drogi Mlecznej z punktu widzenia Bieguna Galaktycznego z opisanymi ramionami Galaktyki i długością galaktyczną odpowiadającą poszczególnym gwiazdozbiorom. Autor: CMG Lee / NASA/JPL-Caltech/R. Hurt.



Rysunek 10. Schemat przedstawiający definicję długości galaktycznej l i jej cztery ćwiartki (kwadranty). Kierunek rotacji Galaktyki jest zgodny z ruchem wskazówek zegara. Źródło: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC)

## 2. Cel doświadczenia

Ćwiczenie ma na celu jak najlepsze zrozumienie budowy, składu i rotacji materii Drogi Mlecznej. Pozwala na wyznaczenie jej struktury przy pomocy rzeczywistych danych, zbieranych przez znajdujący się w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie radioteleskop o średnicy 3 metrów. Uczniowie poznają proste metody analizy danych astronomicznych. Dowiadują się, na czym polega radioastronomia i obserwacje na falach radiowych.

## 3. Opis wykonania doświadczenia

### Zrozumienie rotacji Galaktyki

1. Zapoznaj się z informacjami zawartymi w pliku „Zrozumienie rotacji Drogi Mlecznej przez obserwacje radioastronomiczne” dołączonym do tego doświadczenia. Jeśli nie rozumiesz w pełni matematyki stojącej za wspomnianymi w nim wzorami, nie przejmuj się – będzie można je zastosować w wersji już wyprowadzonej w tym opisie. Warto też obejrzeć nagranie na stronie <https://www.youtube.com/watch?v=oSR3-m9czUE>.

### Rejestracja w serwisie

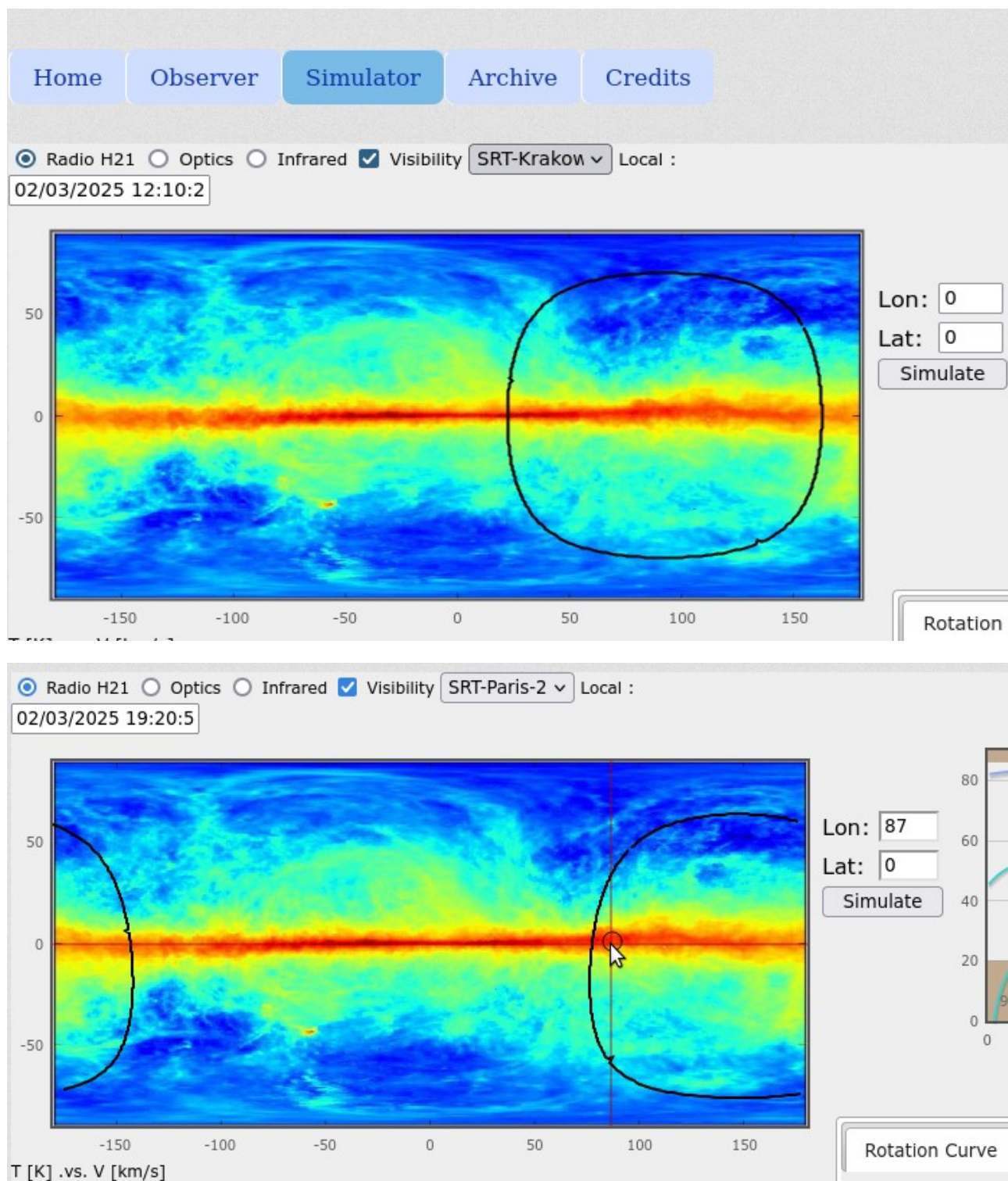
2. Załóż konto dostępne do panelu sterowania radioteleskopem RT3 w OAUI na stronie <http://euhou.obspm.fr/public/>. W polu „Motivation” wpisz „Astrolabium”. Otrzymasz e-mail z potwierdzeniem, a po zatwierdzeniu przez administratora (może to potrwać do 48 godzin) następny e-mail informujący o możliwości logowania się do systemu. Odtąd możesz już obserwować Drogę Mleczną krakowskim radioteleskopem należącym do sieci EUHOU.

### Symulacje obserwacji i proste ćwiczenie

3. Przejdź na stronę Symulatora obserwacji: <http://euhou.obspm.fr/public/simu.php> i wybierz radioteleskop krakowski (SRT-Krakow) z rozwijanego menu (zob. rysunek poniżej). Po lewej stronie ekranu przedstawiona jest emisja wodoru Drogi Mlecznej na fali (w linii) 21 cm we współrzędnych galaktycznych. Silny pas tej emisji (czerwonawy kolor) to promieniowanie dochodzące do nas z obszarów położonych w pobliżu płaszczyzny dysku Galaktyki. Możesz również przełączyć się na widok w dziedzinie optycznej i w podczerwieni – obejrzyj, jak wygląda Nasza Galaktyka na tych falach.

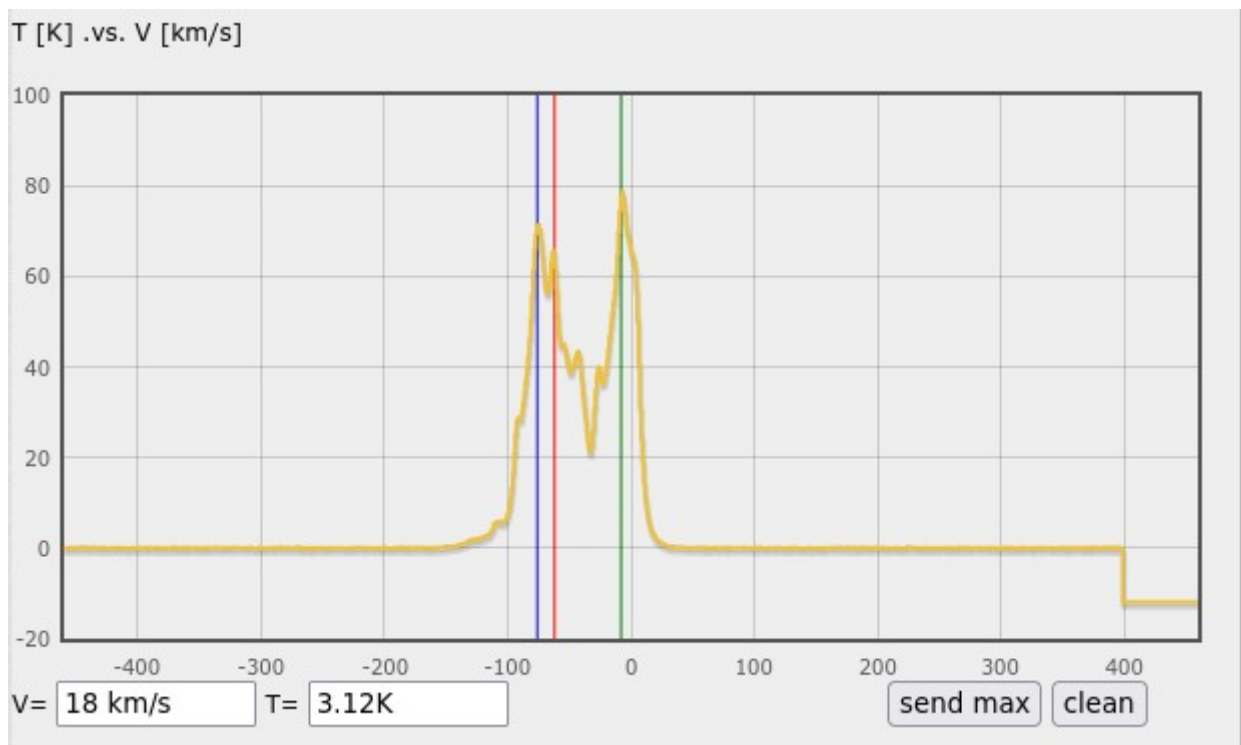
Z prawej strony ekranu przedstawiona jest widoczność sfery niebieskiej we współrzędnych azymut-wysokość. Płaszczyzna Drogi Mlecznej w tej projekcji to niebieska krzywa. Brązowe pasy to obszary nieba niedostępne w danej chwili do obserwacji ze względu na porę dnia i konstrukcję radioteleskopu. Wróć do okna z kolorową mapą Galaktyki po lewej stronie i w obszarze zaznaczonym jako w danej chwili dostępny do obserwacji (na ilustracji poniżej za pomocą grubej czarnej, owalnej linii) wybierz jakiś punkt położony w płaszczyźnie Drogi

Mlecznej, czyli na tle czerwonej emisji. Kliknij w ten punkt. Jeśli wybierzesz obszar dostępny do obserwacji, obok w okienkach oznaczonych „Lon” i „Lat” (czyli długość i szerokość galaktyczna) pojawią się nowe wartości współrzędnych galaktycznych wybranego punktu. Postaraj się, aby wartość „Lat” była bliska zeru (punkt ma leżeć w płaszczyźnie dysku Galaktyki), a wartość „Lon” zawierała się w przedziale od 0 do 90 stopni, czyli należała do tzw. I kwadrantu (I ćwiartki) pokazanej na Rys. 10. Kliknij przycisk „Simulate”.

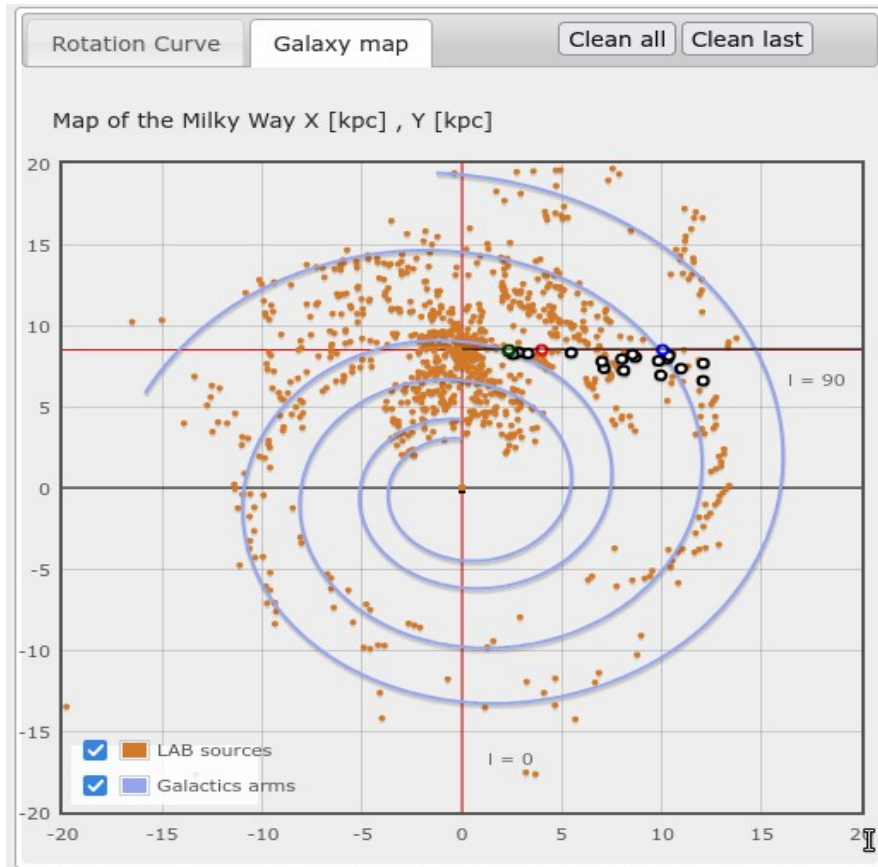
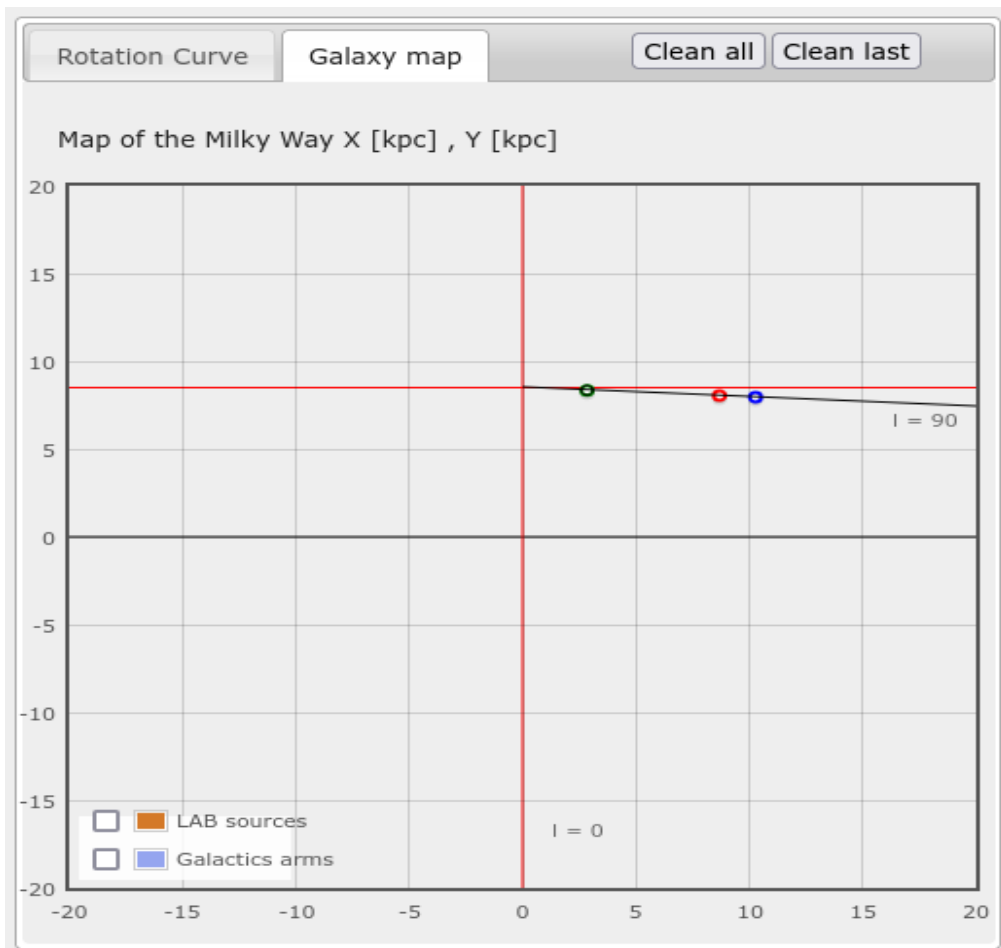




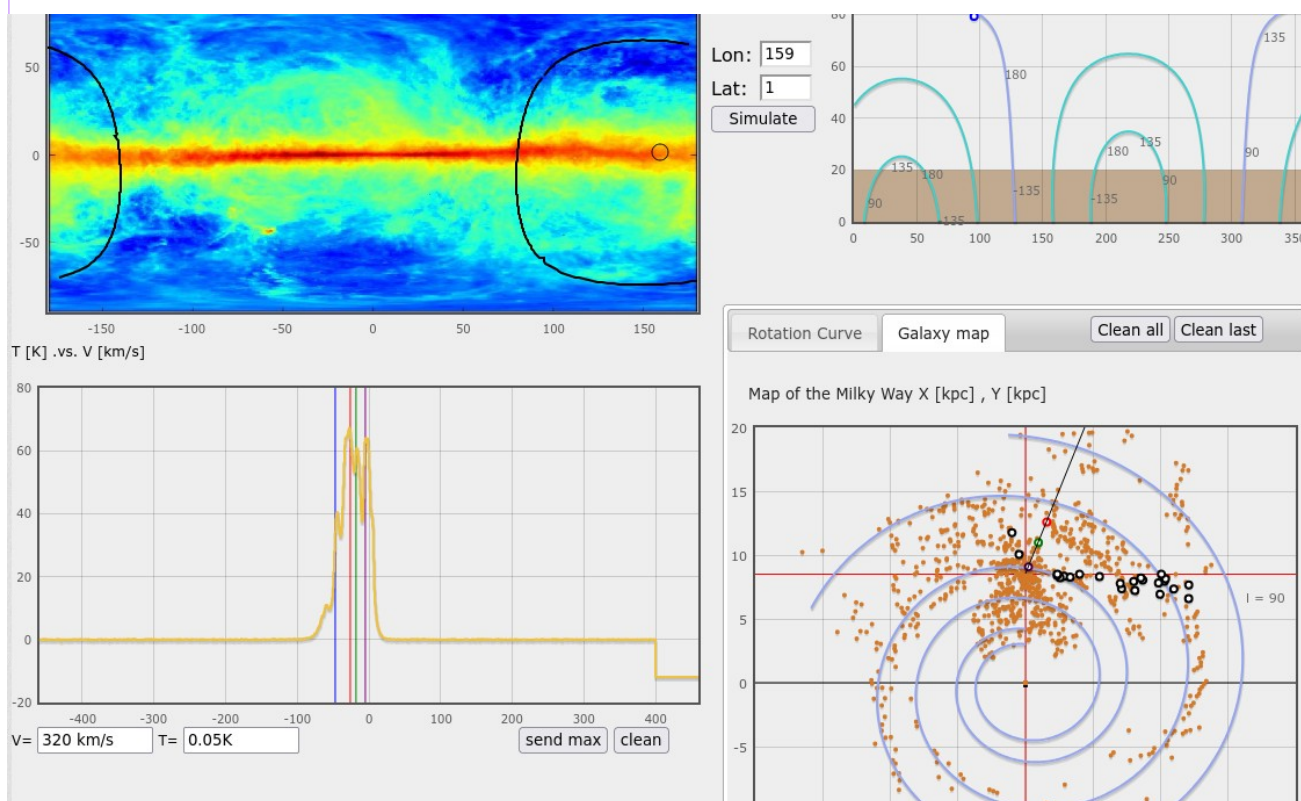
W oknie na dole po lewej znajduje się teraz wykres zależności prędkości ( $V$  (km/s)) widocznych na mapie Galaktyki obłoków wodoru w zależności od wartości (mocy) sygnału radiowego, który pochodzi z odpowiadających im lokalizacji w dysku galaktycznym, tu podanej w temperaturze  $T$  (K). Zauważ, że po zaznaczeniu wybranego punktu i włączeniu trybu symulacji w oknie tego wykresu pojawiła się linia krzywa z charakterystycznymi maksimumami wartości  $T$ . Przejdź do tego okna i wybierz „najwyższe” wyraźne maksimum. Kliknij w nie – powinno zostać podświetlone kolorowym odcinkiem. Wybierz teraz kolejne silne maksimum. W ten sposób zaznacz wszystkie wyraźne maksima, zwracając szczególną uwagę na te, dla których bezwzględne wartości prędkości obłoków (na osi X) są największe. Na poniższym wykresie wybrano trzy maksima. Po ich zaznaczeniu kliknij w przycisk „send max”.



W oknie na dole po prawej (opcja „Galaxy map”) pojawią się trzy zmierzone punkty na mapie Galaktyki. To obłoki wodoru odpowiadające wskazanym przez Ciebie prędkościom i maksimum sygnału. Zwróć uwagę, że jeśli na górnej mapie wybrałeś wcześniej punkt o długości galaktycznej zawierającej się w przedziale 0–90 stopni, wskazane na symulacji pomiary leżą faktycznie w I kwadrancie. Wróć teraz do górnej lewej mapy i wybierz inny punkt na mapie radiowej, na przykład z większą wartością długości galaktycznej, i powtórz procedurę wskazywania maksimum emisji radiowej. Dodaj kolejne punkty do mapy na dole po prawej. Powtórz takie pomiary kilka razy. Na koniec wybierz punkt o współrzędnych (90, 0). Te maksima emisji także dodaj do mapy na dole. Jeśli masz już na niej co najmniej kilkanaście ręcznie wyznaczonych pozycji galaktycznych obłoków, możesz teraz zaznaczyć opcje „LAB sources” i „Galactic arms”, aby nanieść w tło mapy znane pozycje galaktycznych źródeł i ramion Drogi Mlecznej. Jeśli ćwiczenia było wykonywane uważnie, możesz się teraz przekonać, że ramiona i rzeczywiste dane obserwacyjne (LAB) mniej więcej pokrywają się z wyznaczonymi przez Ciebie pozycjami wodorowych obłoków.



Możesz teraz zaznaczyć na mapie galaktyki także dane symulacyjne z innych dostępnych ćwiartek. W tym celu zaznaczaj np. dostępne punkty o długości galaktycznej większej niż 90 stopni. Przykład dla kilku takich punktów z ćwiartki II pokazano poniżej.

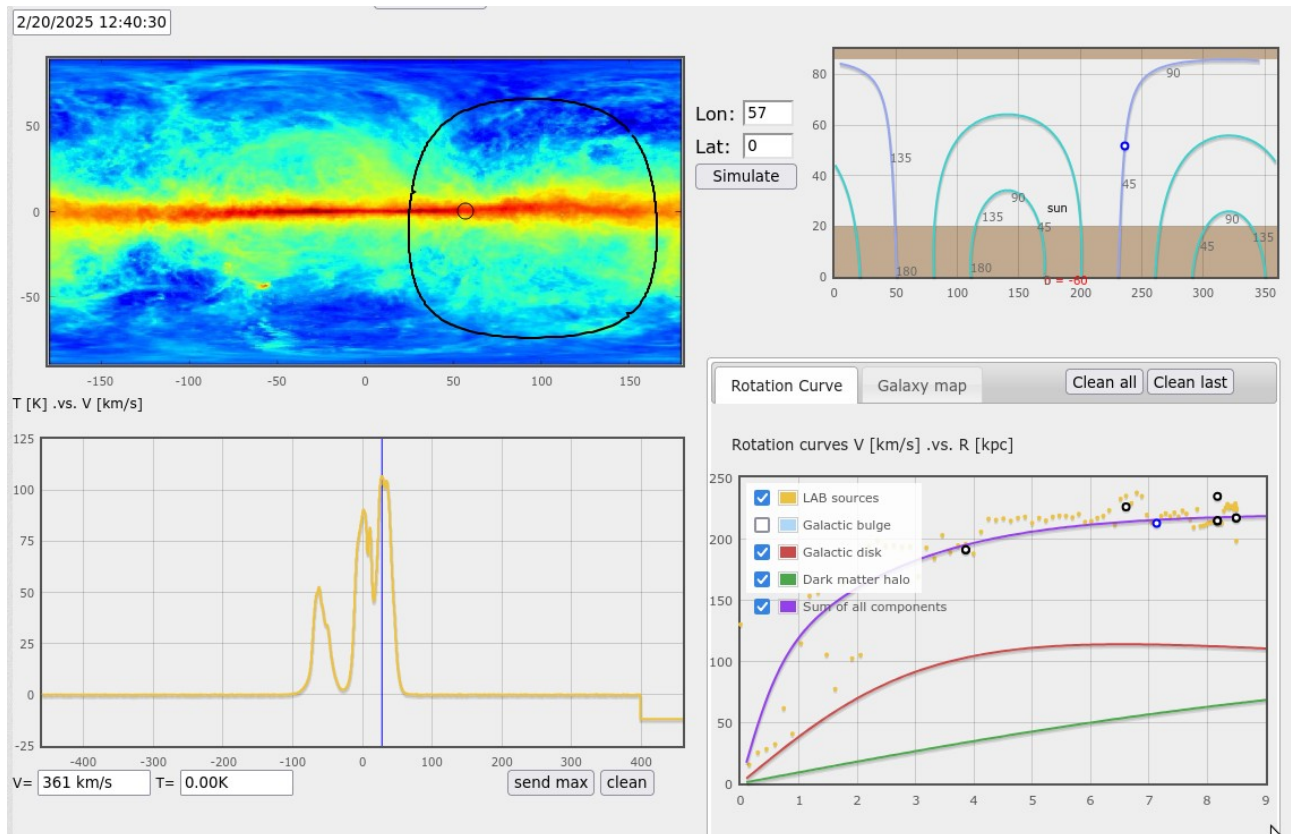


4. Symulacje możesz też powtórzyć, wykreślając w oknie na dole po prawej krzywą rotacji Galaktyki – w tym celu przełącz się na tryb „Rotation curve”. Wskazówka: wybierz czas symulacji, w którym duża część dysku galaktyki o długości galaktycznej zawierającej się w przedziale 0–90 stopni jest możliwa do obserwacji przy użyciu opcji zmiany daty i godziny (u góry, nad oknami). W oknie krzywej rotacji zaznacz opcję „LAB sources”, a także „Sum of all components”, aby wyświetlić w tle rozkład rzeczywistych źródeł promieniowania obłoków wodoru w Galaktyce oraz modelową sumę jej masywnych składników razem wziętych. Możesz też wyświetlać inne opcje, np. wkłady w rotację pochodzące od różnych składników Galaktyki:

1. Widocznego w świetle widzialnym dysku Drogi Mlecznej (*Galactic disc*)
2. Halo ciemnej materii otaczającego całą naszą Galaktykę (*Dark matter halo*)
3. Jej zgrubienia centralnego (*Galactic bulge*).

Zaznaczaj punkty należące do I kwadrantu i wskazuj dla nich najwyższe prawe maksimum sygnału radiowego (o największej, dodatniej prędkości  $V$ ) w oknie na dole po lewej. Sprawdź, czy wskazane przez Ciebie punkty pokrywają się mniej więcej z krzywą fioletową, czyli sumą wszystkich tych składników.

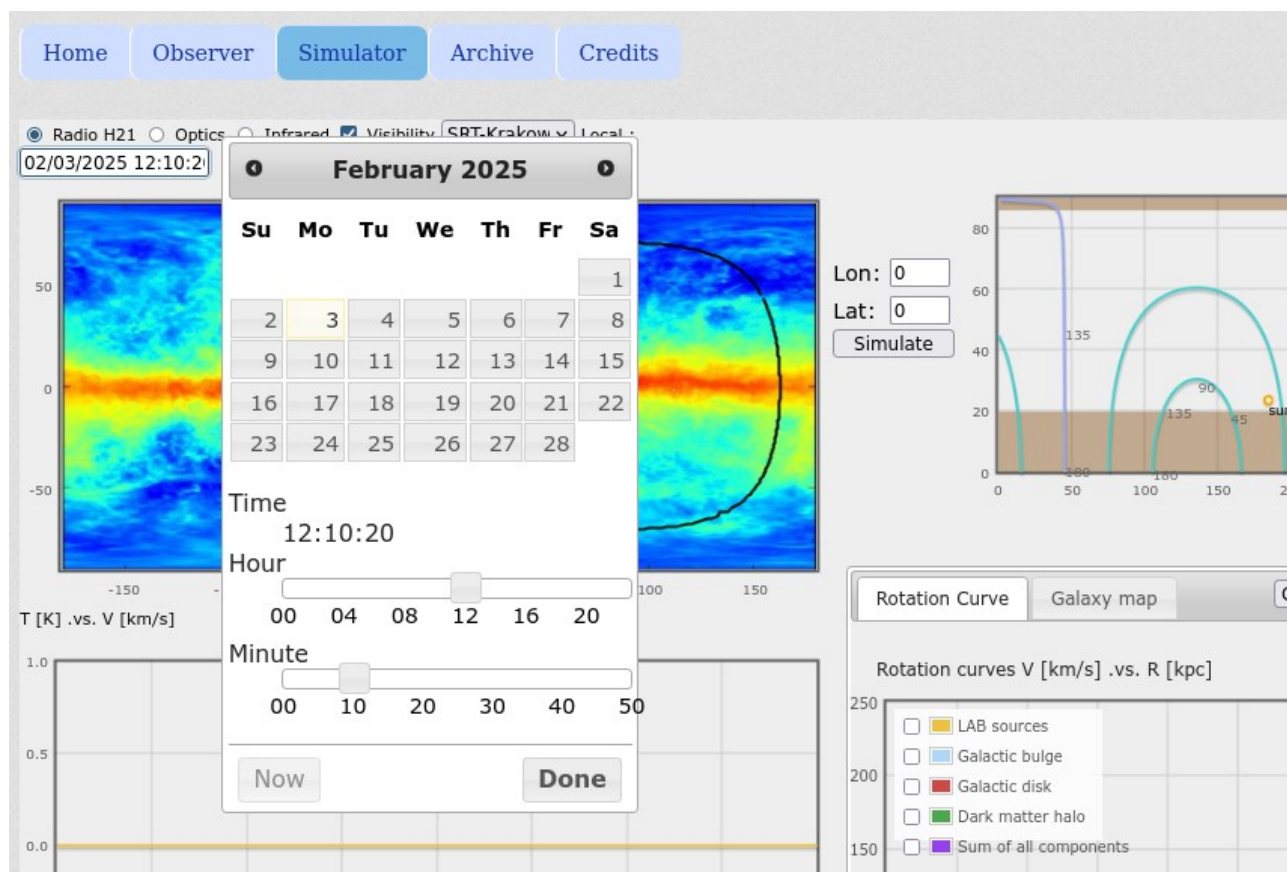




## Własne obserwacje

5. Aby przeprowadzić własne obserwacje emisji radiowej wodoru w Drodze Mlecznej, starannie wybierz ich odpowiedni czas. Stosowana w tym ćwiczeniu metoda „stycznego punktu” (opisana w załącznikach)

wymaga obserwacji Galaktyki w pierwszej ćwiartce (tzw. kwadrancie I) długości galaktycznej (od 0 do 90 stopni, podział na kwadranty zaprezentowany jest na Rys. 10). Aby sprawdzić, kiedy ta część Drogi Mlecznej będzie możliwa do obserwacji radioteleskopem, na stronie <http://euhou.obspm.fr/public> z menu u góry ekranu wybierz opcję „Symulator” i wybierz radioteleskop krakowski z rozwijanego menu. Kliknij w białe pole z datą i czasem (strefowym lokalnym). Otworzy się okno, w którym możesz wybrać datę i godzinę obserwacji. Zmieniaj je i obserwuj zmieniającą się wówczas widoczność Drogi Mlecznej w przedziale 0-90 stopni długości galaktycznej. Na bazie tej symulacji widoczności samodzielnie wybierz dogodny czas obserwacji.



6. Powrót na stronę główną EUHOU i (po zalogowaniu się do serwisu) wybierz z prawej strony przycisk rezerwacji czasu („Booking”). Wybierz radioteleskop krakowski z rozwijanego menu i upewnij się, że w czasie zaplanowanych przez Ciebie obserwacji jest on dostępny. Wszystkie rezerwacje zobaczysz jako białe pola w głównym oknie, w centralnej części ekranu. Jeśli radioteleskop jest „wolny”, kliknij w białe pole z datą i wybierz z kalendarza datę i godzinę rozpoczęcia obserwacji. Moment obserwacji podawany jest w czasie uniwersalnym UTC (1h wcześniejszym od czasu zimowego w Polsce i 2h od czasu letniego – jeśli chcesz rozpocząć obserwacje np. 10 lutego o 21:00 czasu zimowego w Polsce, ustaw godzinę 20:00 tego dnia). Datę i godzinę możesz też wpisać ręcznie w polu z datą.

Z rozwijanej listy z prawej strony pola daty wybierz czas trwania obserwacji (domyślnie: 1h, w razie potrzeby możesz zwiększyć ten czas do 2h). Naciśnij przycisk „Zarezerwuj” i upewnij się, czy zarezerwowany czas jest przedstawiony graficznie w głównym oknie ekranu. Otrzymasz również e-mail z potwierdzeniem rejestracji.

Dokładnie na początku zarezerwowanego przez Ciebie czasu obserwacyjnego na stronie głównej (<http://euhou.obspm.fr/public/>) kliknij w zdjęcie krakowskiego radioteleskopu. Możesz też przejść na stronę „Obserwator” i z niej wybrać odpowiedni radioteleskop. Z prawej strony ekranu dostępny jest aktualny widok radioteleskopu z kamery, odświeżany co około 2s. Po lewej stronie ekranu ujrzysz okno przedstawiające emisję wodoru w Galaktyce we współrzędnych galaktycznych.

## Scheduler

Please give UTC time NOT your local time  
 UTC Time Now: Mon, 03 Feb 2025 11:18:50 +0000 UTC  
 Local Time Now: Mon, 03 Feb 2025 12:18:50 +0100 Europe/Berlin

Date of reservation (UTC)  Duration  SRT-Krakow-3m

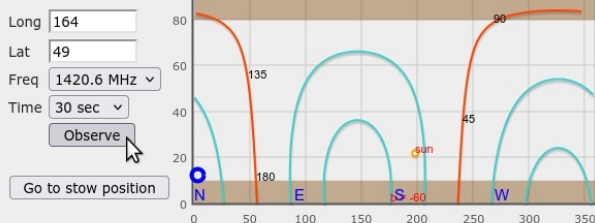
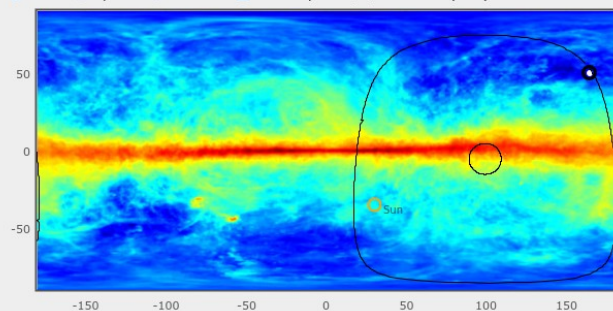
Reserve

<< this Week >>

heure	Mon 10 Feb	Tue 11 Feb	Wed 12 Feb	Thu 13 Feb	Fri 14 Feb	Sat 15 Feb	Sun 16 Feb
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h							
8h							
9h							
10h							
11h							
12h							
13h							
14h							
15h							
16h							
17h							
18h							
19h							
20h							
21h							

14h15 - asicilia

☒ Radio ☐ Optical ☐ Infrared ☒ Visibility 2025/2/3 12:6:18 (UTC)



Status: Radioteleskop gotowy (Radiotelescope is ready).  
 Gdy teleskop nie reaguje na komendy kliknij najpierw przycisk "Go to stow position"  
 Prędkość wiatru: 0 km/h. [METEO](#)

Poniżej znajduje się okno widzialności sfery niebieskiej. Okna są identyczne względem tych w omówionym wyżej „symulatorze”. Z lewej strony okna umiejscowione są pola do wprowadzania parametrów obserwacji. W polu częstotliwości (Freq) warto przesunąć centrum okna spektrometru wybierając wartość 1420,2 lub 1420,6 MHz. Długość lub szerokość galaktyczną kierunku na niebie, w którym chcesz dokonać obserwacji, możesz ustalić na różne sposoby. W tym ćwiczeniu kliknij bezpośrednio na wybrany punkt leżący w płaszczyźnie Galaktyki w oknie przedstawiającym „kolorową” emisję wodoru na mapie we współrzędnych galaktycznych.

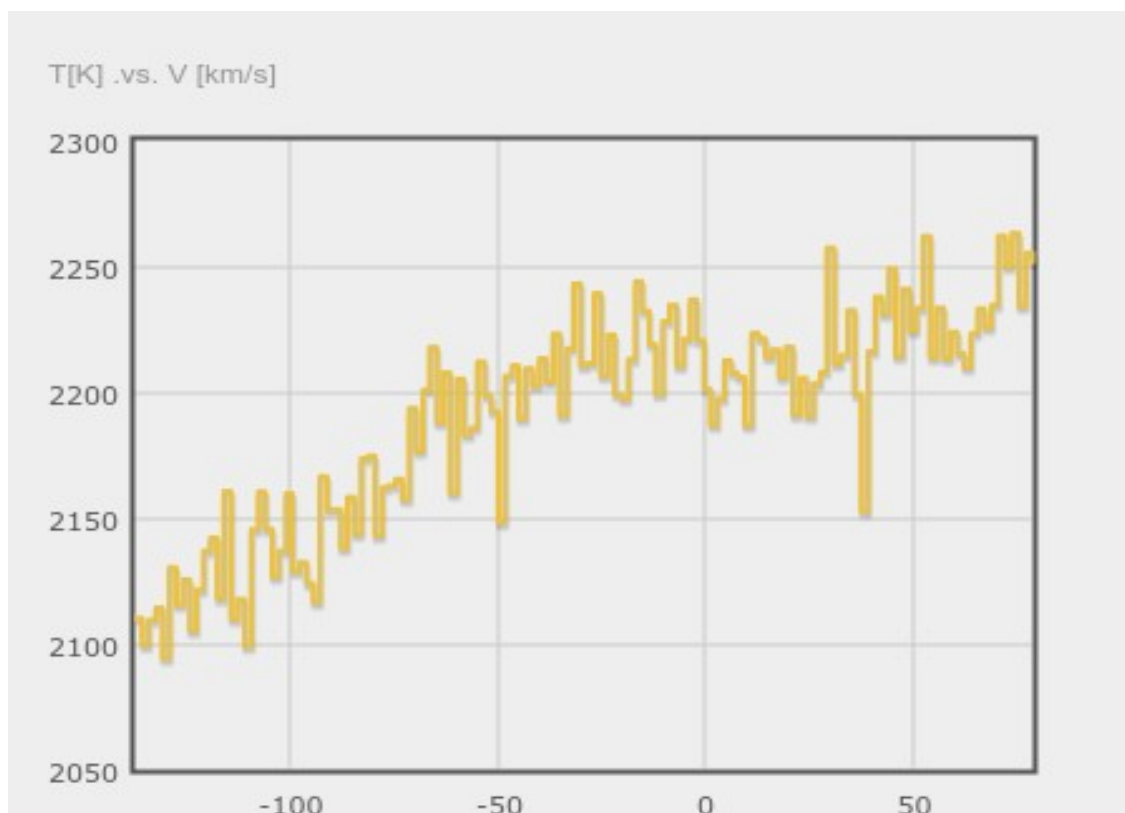


Wybranie współrzędnych obszaru nieba, który jest w danym momencie niedostępny (niewidoczny, zbyt nisko nad horyzontem lub zbyt blisko zenitu) spowoduje, że pola ze współrzędnymi podświetlą się na czerwono, a przycisk „Obserwuj” będzie niedostępny. Wybierz wówczas inny kierunek obserwacji.

**Uwaga!** Dla każdych pojedynczych obserwacji zanotuj wybraną w tym kroku długość galaktyczną punktu obserwacji (l), czyli wartość parametru „Lon” dla Twojego wybranego punktu w oknie emisji radiowej. Warto wykonać szereg takich osobnych obserwacji, na przykład dla punktów leżących w płaszczyźnie Galaktyki, których długość galaktyczna różni się o 3, 5 lub 10 stopni.

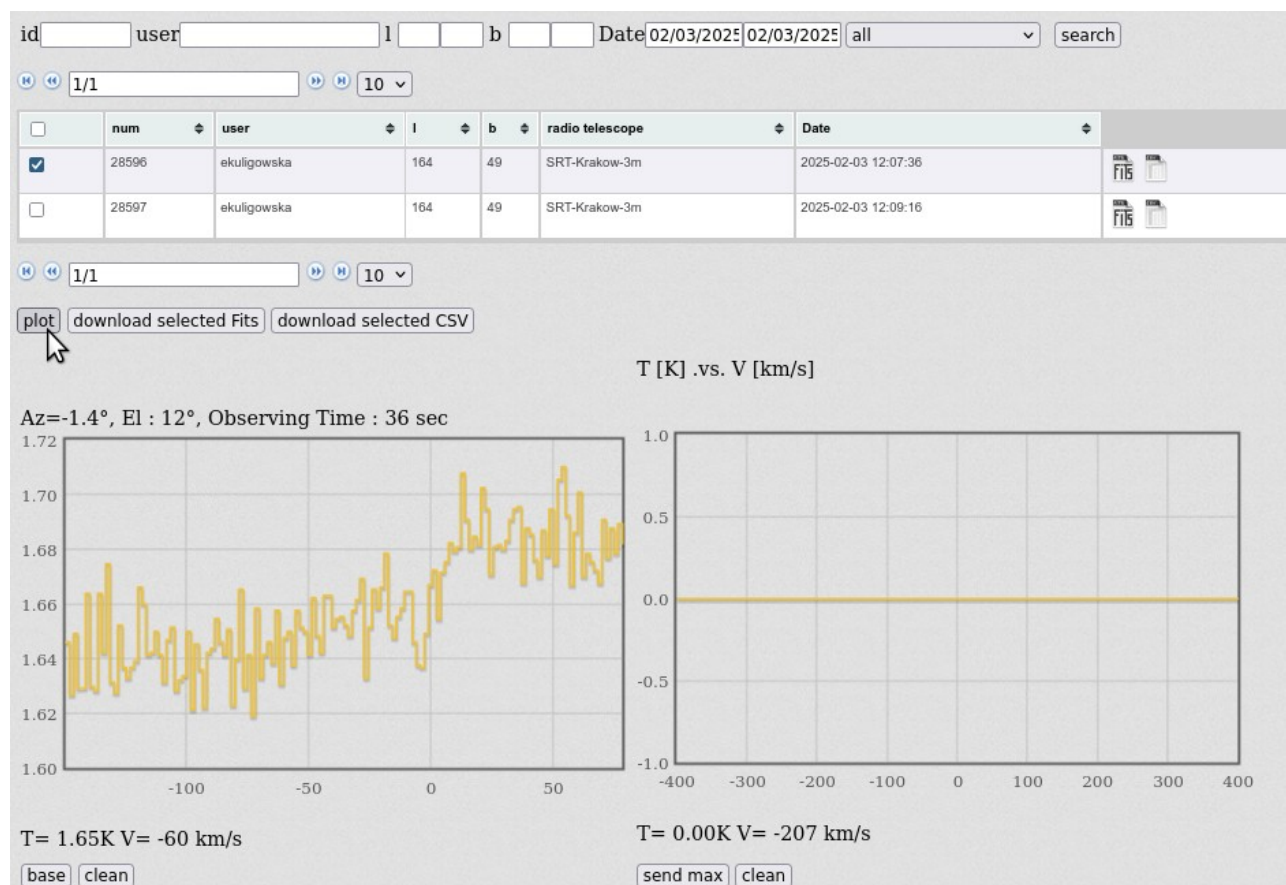
7. Po wybraniu miejsca na niebie w obrębie Galaktyki, które chcesz obserwować, naciśnij przycisk „Obserwuj”. Poczekaaj na wykonanie obserwacji. Podczas przejazdu radioteleskopu możesz śledzić jego ruch w widoku kamery. Po zakończeniu zbierania danych pojawi się nowe aktywne okno wyników „Results” – to Twoje obserwacje emisji wodoru w Drodze Mlecznej. Po lewej stronie przedstawione jest uzyskane widmo, czyli zależność względnej prędkości radialnej obłoków od wartości (mocy) odbieranego sygnału radiowego. Możesz teraz przejść do obserwacji następnych miejsc w płaszczyźnie Galaktyki, o innej wartości współrzędnej długości galaktycznej, wracając do zakładki „Command”.

Gdy skończy się czas Twojej rezerwacji, kliknij przycisk „Go to stow position” (pozycja parkowania anteny) na dole okna „Obserwacje”.



## Opracowanie wyników: krzywa rotacji Galaktyki

Twoje obserwacje (oraz obserwacje innych użytkowników) zostały automatycznie zapisane w Archiwum („Archive”) serwisu. Przejdź do niego z głównego menu. Zobaczysz listę pól wyboru, dzięki którym wybierzesz zapisane widma radiowe do dalszego opracowania. Przykładowo, dostęp do wszystkich swoich obserwacji osiągniesz wpisując swoją nazwę użytkownika i klikając „Search”. Możesz także wybrać w polu daty właściwą datę Twoich obserwacji. Następnie po lewej stronie zaznacz dane widmo i kliknij poniżej przycisk „Plot”, aby je przedstawić graficznie.



Skopiuj swoje dane z archiwum na swój komputer poprzez kliknięcie przy wybranym widmie w ikonę CSV z prawej strony wiersza z opisem widma. Plik zawiera dwie interesujące dla nas kolumny: częstotliwość (*Frequency*) i wartość sygnału radiowego (*Temperature*). Wczytaj pojedynczy plik z widmem w formacie .csv do programu typu Excel i zamień w nim kropki dziesiętne na przecinki. Tak przygotowane wyniki możesz przenieść (skopiować) w odpowiednie kolumny do załączonego do tego doświadczenia arkusza **widmo\_radiowe.xls** (w nim również znajdziesz skróconą instrukcję postępowania). W ramach tego arkusza wykreśl krzywą rotacji Galaktyki<sup>5</sup>, czyli wykres prędkości orbitalnej obłoków wodoru krążących w Galaktyce w funkcji odległości od jej centrum:

- Stosując wzór na efekt Dopplera, przekształć częstotliwości obserwowane w widmie na

<sup>5</sup> [https://pl.wikipedia.org/wiki/Krzywa\\_rotacji\\_galaktyki](https://pl.wikipedia.org/wiki/Krzywa_rotacji_galaktyki)

prędkości radialne galaktycznych obłoków wodoru:

$$V_r = \frac{(f_0 - f)}{f_0} \cdot c$$

gdzie:

$c = 299790 \text{ km/s}$ ,

$f_0 = 1420,406 \text{ MHz}$  (jest to częstotliwość emisji neutralnego wodoru wypełniającego Galaktykę).

- Sporządź wykres widma (zależności wartości sygnału radiowego od prędkości obłoków) i wyznacz na jego podstawie prędkość maksymalną  $V_r$  odpowiadającą tzw. punktowi tangencjalnemu (szerszy opis w pliku .xls)

- Wyznacz (dla każdego widma radiowego, czyli dla każdej swojej pojedynczej obserwacji) odległości  $R$  (odległości obłoków wodoru od centrum Drogi Mlecznej) i prędkości  $V$  obłoków w punkcie tangencjalnym ze wzorów wyprowadzonych i podanych w załączniku „Zrozumienie rotacji Drogi Mlecznej przez obserwacje radioastronomiczne”:

$$R = R_0 \sin(l)$$

$$V = V_r + V_0 \sin(l)$$

gdzie:

$R_0 = 8,5 \text{ kpc}$ ,

$V_0 = 220 \text{ km/s}$ .

- Przygotuj wykres zaobserwowanej krzywej rotacji Drogi Mlecznej. Do wykreślenia krzywej należy oczywiście użyć większej liczby punktów obserwacyjnych z obserwacji własnych lub innych użytkowników serwisu – znajdziesz je w archiwum. Pomocny może być przykładowy arkusz **krzywa\_rotacji.xls** dołączony do doświadczenia. Jeśli Twoja krzywa rotacji jest płaska, jest to oznaka istnienia ciemnej materii w naszej Galaktyce!

Uwaga! W powyższych wzorach wykorzystywana jest funkcja trygonometryczna sinus. Jest to funkcja stabelaryzowana, jej wartości przy obliczeniach pobiera się z wcześniej przygotowanych tablic matematycznych.

Więcej informacji na przykład tutaj: <https://zpe.gov.pl/a/sinus-cosinus-i-tangens-kata-ostrego/DtTIRqwdI>



## Do przemyślenia i sprawdzenia

1. Jakie możesz wskazać możliwe źródła błędów pomiarowych w przeprowadzonych przez siebie obserwacjach radiowych obłoków w Drodze Mlecznej?
2. Na wykresach zmierzonych widm radiowych prędkości radialne mogą być ujemne lub dodatnie. Jak sądzisz, jaki ma to związek z ćwiartkami na mapie współrzędnych galaktycznych? Jak możesz fizycznie zinterpretować ujemne wartości tych prędkości?
3. Rzeczywiste krzywe pomiarowe w tym Doświadczeniu nie są tak gładkie, jak krzywe symulacyjne. Co jest przyczyną? Czy to złe wykonanie obserwacji?