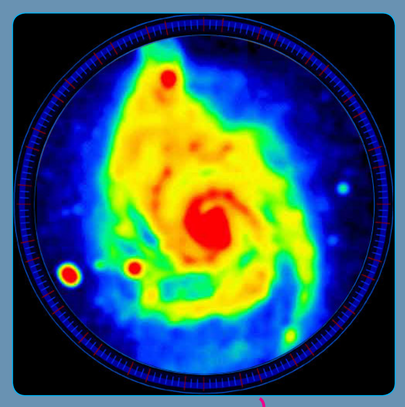


Radiowe okno na Wszechświat

Materiały edukacyjne do projektu EU-HOU

Nowy projekt radioastronomiczny dla uczniów

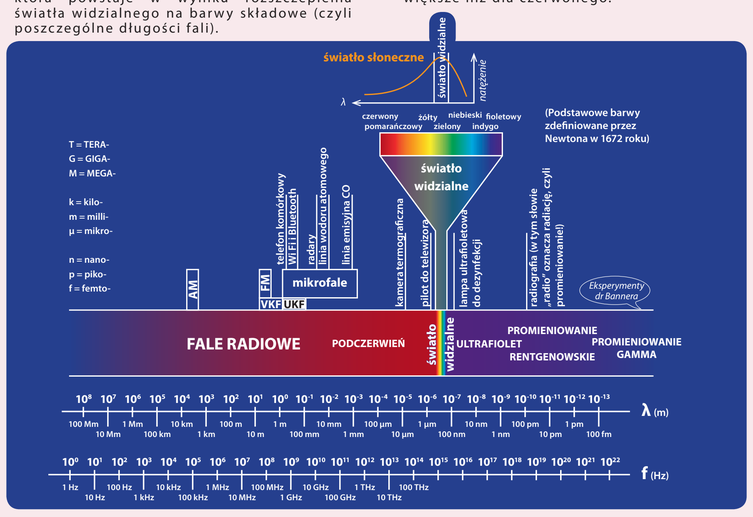
www.euhou.net

Czym jest sygnał radiowy?

Światło jest falą...

Światło widzialne stanowi superpozycję wielu fal o różnych długościach (długość fali to odległość pomiędzy kolejnymi grzbietami fali). **Każdej długości fali odpowiada określona barwa.**
Czy próbowaliście kiedyś oświetlić pryzmat lampą? Otrzymuje się wtedy przepiękną tęczę, która powstaje w wyniku rozszczepienia światła widzialnego na barwy składowe (czyli poszczególne długości fali).

Zakres długości fal rejestrowanych przez ludzkie oko zawiera się pomiędzy 400 a 700 nanometrów (nanometr to 0,000000001 metra). 400 nm widzimy jako barwę niebieską, a 700 nm jako czerwoną. Są również takie długości fali, których nasze oko nie dostrzega – mniejsze niż dla światła niebieskiego bądź większe niż dla czerwonego.



Światło przenosi również energię, której ilość zależy od długości fali – im krótsze fale, tym więcej energii zawiera wiązka światła. Weźmy na przykład światło ultrafioletowe o małej długości fali – w niewielkich dawkach daje piękną opaleniznę, lecz zbyt długa ekspozycja może powodować oparzenia! I odwrotnie, większe długości fali odpowiadają niższym energiom. Emisja radiowa, na przykład na falach ultrakrótkich, jest nieszkodliwa dla człowieka.

We Wszechświecie gwiazdy typu Słońca promieniują **energię cieplną** głównie w świetle widzialnym, znacznie mniej na falach radiowych. Wysokoenergetyczne obiekty, jakimi są np. supernowe, emitują olbrzymie ilości promieniowania rentgenowskiego i gamma. Gorący gaz wokół takich obiektów wysyła również promieniowanie radiowe. **Również elektrony**, jeśli zostaną przyśpieszone w polu magnetycznym do prędkości bliskich prędkości światła, promieniują na falach radiowych.

Do czego one służą?

Zatem fale radiowe są po prostu jednym z rodzajów promieniowania.

Na Ziemi fal radiowych używa się przede wszystkim do komunikacji. Dlaczego? Ponieważ rozchodzą się łatwo w atmosferze, a nawet pod wodą. Fale te obejmują szeroki zakres długości, od kilometrów do milimetrów. Propagacja silnie zależy od długości danej fali, co zostało wykorzystane do stworzenia bardzo złożonych i zróżnicowanych systemów łączności.

Fale długie rozchodzą się w postaci fal powierzchniowych, układając się wzdłuż krzywizny Ziemi. Przy dostatecznie dużej mocy nadajnika mogą dochodzić nawet na odległość 1000 km. Propagują się one także pod wodą, dlatego używa się ich do porozumiewania się z łodziami podwodnymi. **Ale nie mylcie tego z sonarem** – techniką opartą na propagacji w wodzie fal dźwiękowych, a nie radiowych!

Fale krótkie, rzędu kilkudziesięciu metrów, używane są przez radioamatorów. Rozchodzą się one w bardzo interesujący sposób, ponieważ ulegają odbiciu od **ziemskiej jonosfery.** Oznacza to, że sygnał nadajnika krótkofalarskiego odbija się od jonosfery z powrotem ku Ziemi i może docierać nadzwyczaj daleko, niekiedy nawet na antypody. Dlaczego tylko niekiedy? Otóż zdolność odbijania fal przez jonosferę zależy od warunków aktualnie w niej panujących.

Fale o długości poniżej metra rozchodzą się od nadajnika po liniach prostych, niemal jak światło widzialne. To jest obszar radiofonii UKF, telewizji, Wi-Fi, Bluetooth, itp. Fale te nie są zatrzymywane przez jonosferę, dlatego potrzebne są satelity, jeśli chcemy je przesyłać z powrotem ku Ziemi.

Fale radiowe to promieniowanie, a nie dźwięk. Jak to się zatem dzieje, że możecie słuchać swoich ulubionych piosenek przez radio? Przypuśćmy, że chcecie się podzielić piosenką z przyjacielem, który stoi 100 m dalej. Moglibyście ją wykrzyczeć na cały głos, ale będziecie musieli w to włożyć wiele energii, a ponadto niechybnie nabawicie się bólu gardła i wkurzycie sąsiadów...

Zamiast tego możecie użyć latarki i przekazać piosenkę przyjacielowi za pomocą alfabetu Morse'a. W ten sposób rozwiązaliście problem z energią i odległością, lecz straciliście pokaźną część informacji.

Aby zachować całą informację, musicie ją zakodować odpowiednio w przesyłanym promieniowaniu tak, aby przyjaciel mógł ją odebrać i łatwo zdekodować. **Nosi to nazwę przetwarzania sygnału.**

Modulacja częstotliwości (FM) to rodzaj przetwarzania sygnału, który jest bardzo prosty i tani w zastosowaniu. Polega on na zmienianiu chwilowej częstotliwości w takt, na przykład, owej piosenki. Modulowany sygnał zostaje „zdemodulowany" w odbiorniku radiowym i przesłany do głośnika, a tym samym promieniowanie przekształca się z powrotem w dźwięk!

Do przekazywania informacji stosuje się także inne metody przetwarzania sygnału, jak modulacja amplitudy (AM) czy modulacja fazy (PM); w technologii Wi-Fi, na przykład, wykorzystuje się zarówno FM, jak i PM.

Modulacja częstotliwości (FM)

Co to jest jonosfera?

Jonosfera to warstwa górnej atmosfery zawierająca elektrony i inne elektrycznie naładowane cząstki. Zaczyna się ona około 80 km od powierzchni Ziemi. Na tej wysokości atmosfera jest tak rozrzedzona, że zawarte w niej atomy i cząsteczki wystawione są na bezpośrednie działanie wysokoenergetycznych składowych promieniowania słonecznego – promieni rentgenowskich i gamma. Powoduje to wybicie części elektronów, co narusza w nich równowagę ładunku i stają się one elektrycznie naładowane. Powstaje mieszanka elektronów i jonów, zwana plazmą, która odpowiada za zdolność odbijania fal krótkich przez jonosferę. Za dnia oświetlona bezpośrednio światłem słonecznym jonosfera staje się mało stabilna i efektywność odbicia sygnału radiowego spada, natomiast w nocy uspokaja się i działa niemal jak idealne lustro. Dlatego właśnie amatorzy krótkofalarstwa wolą nawiązywać łączność na duże odległości w nocy!

W odróżnieniu od światła dźwięk nie może się rozchodzić w pustej przestrzeni, ponieważ fale dźwiękowe potrzebują ośrodka, który mógłby drgać. Słyszymy melodię graną na fortepianie, ponieważ za każdym razem, gdy pianista uderzy w klawisz, jeden z młoteczków we wnętrzu instrumentu uderza w strunę, wprawiając ją w drgania, które następnie rozchodzą się w powietrzu, dopóki nie dotrą do jakiegoś odbiornika, na przykład, ludzkiego ucha. Drgania błony bębenkowej w uchu są z kolei przekazywane poprzez kosteczki słuchowe do naszego układu nerwowego.

Czy wiedzieliście?
Zarówno światło, jak i dźwięk są falami, ale o zupełnie odmiennej naturze.

Dlaczego astronomowie używają jak największych teleskopów?

Parametrem odgrywającym istotną rolę przy obserwacjach nieba jest **rozdzielczość** czyli rozmiar najmniejszych detali, jakie da się zaobserwować za pomocą danego instrumentu. Rozdzielczość teleskopu Θ jest proporcjonalna do długości fali λ, na której obserwujemy, a odwrotnie proporcjonalna do średnicy teleskopu. Można to ująć prosto jako:

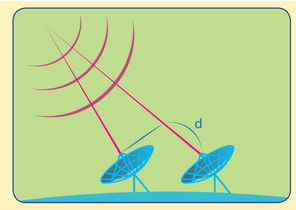
$$\theta \propto \frac{\lambda}{\text{Średnica}}$$

Zatem im większej potrzebujemy precyzji, tym większego musimy użyć teleskopu. Problem z zapewnieniem odpowiedniej rozdzielczości zwiększa się wraz ze wzrostem długości fali. Instrumenty służące do obserwacji na falach radiowych dochodzą do kolosalnych rozmiarów.

Weźmy, na przykład, **Obserwatorium Arecibo** na karaibskiej wyspie Portoryko – przy średnicy 305 m, jest to największy pojedynczy teleskop, jaki kiedykolwiek zbudowano. Pozwala on obserwować szeroki wycinek nieba na falach centymetrowych. Dzięki swym imponującym rozmiarom wiele razy posłużył jako sceneria w filmach fabularnych, między innymi w „Golden Eye" z serii o Jamesie Bondzie.

Średnica 305 m jest imponująca, ponadto technicznym wyzwaniem jest zapewnienie precyzyjnego kształtu czaszy, aby sygnały radiowe skupiane były w jednym punkcie. Czy zatem jest to szczyt tego, na co nas stać?

Na szczęście możemy liczyć na osiągnięcie jeszcze lepszej rozdzielczości. Istnieje technika obserwacyjna pozwalająca pokonać te ograniczenia: interferometria.



Prosty **dwuelementowy interferometr** radiowy składa się z dwóch anten, które jednocześnie odbierają sygnały dochodzące ze źródła. Ponieważ wskutek obrotu Ziemi zmienia się różnica pomiędzy odległościami od radioźródła do każdej z anten (parametr „d" na obrazku) teleskopy będą odbierać sygnały raz w fazie raz w przeciwfazie. Powoduje to utworzenie prążków interferencyjnych. W przypadku radiointerferometru o większej liczbie anten, dla każdej ich pary otrzymuje się inny rozkład prążków, co dostarcza dane pozwalające na odtworzenie rzeczywistego obrazu źródła. Jest to tzw. *synteza apertury.*

Wiemy już, że można odtworzyć obraz radioźródła z prążków interferencyjnych. Ale po co właściwie się to robi? To bardzo ważne pytanie. W interferometrii rozdzielczość nie jest wyznaczana przez średnicę użytych teleskopów, lecz zależy wyłącznie od odległości pomiędzy nimi! Oznacza to, że interferometr, w którym rozstaw teleskopów wynosi 1 km, dostarcza obrazu równie dokładnego, jaki dawałyby obserwacje wykonane pojedynczym teleskopem o takiej średnicy czaszy!

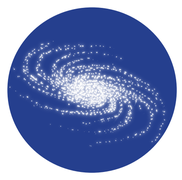
W uznaniu jego zasług dla rozwoju interferometrii radiowej metodą syntezy apertury z wykorzystaniem obrotu Ziemi brytyjski astronom Martin Ryle otrzymał w 1974 roku Nagrodę Nobla z fizyki.

Obserwatorium Very Large Array pokazane w słynnym filmie „Kontakt". Interferometr ten, usytuowany na pustynnych równinach stanu Nowy Meksyk, służy do obserwacji nieba na falach centymetrowych. Stanowi on układ 27 ruchomych anten, które połączone w sieć pozwalają osiągnąć niewiarygodnie dużą rozdzielczość, dzięki możliwości ustawiania w konfiguracjach o rozstawie od 1 km do 36 km!

Czy wiedzieliście?

A co z gazem pomiędzy gwiazdami? Wszędzie dookoła są gwiazdy, czyż nie powinien on być zatem gorący? Wprawdzie galaktyka może zawierać nawet sto miliardów gwiazd, lecz odległości między nimi są zaiste olbrzymie! Na przykład, Proxima Centauri, najbliższa nam gwiazda po Słońcu, odległa jest od nas o 4,2 lat świetlnych. A to jest 40 000 000 000 000 km! Będąc tak daleko od siebie, gwiazdy nie są w stanie ograć znajdującego się pomiędzy nimi gazu! Dlatego właśnie astronomowie obserwują gaz międzygwiazdowy w podczerwieni i na falach radiowych!

Światło może być uważane zarówno za fale, jak i cząstki. Może ono tworzyć wzory interferencyjne, niczym dwie fale na wodzie nachodzące na siebie, lecz może też być emitowane jako pojedyncze fotony, które są następnie zliczane w odbiorniku!
Trudno to sobie wyobrazić? Może nam w tym pomóc przykład walca. Jeśli oświetlimy go z boku, jego cień jest prostokątny, lecz jeśli światło pada od strony jego podstawy, cień staje się okrągły!

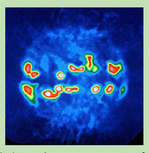


Radioźródła we Wszechświecie

Co promieniuje radiowo na niebie?

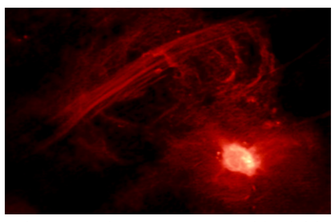
Słońce
jest jednym z najbliższych radioźródeł. Większość jego emisji radiowej pochodzi z korony, warstwy leżącej ponad fotosferą, gdzie występują duże ilości cząstek naładowanych, tworzących to, co określamy jako plazmę. Silnym źródłem fal radiowych mogą być również burze magnetyczne, które widać w postaci plam na powierzchni Słońca.

Słońce tak, jak je widzi ludzkie oko. W czasie wykonywania tego zdjęcia w środku tarczy są dwie ciemne plamy słoneczne.



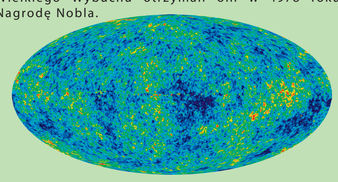
Słońce obserwowane na falach radiowych. Plamy słoneczne na równiku to miejsca silnej emisji radiowej (zaznaczone na czerwono).

Centrum Galaktyki
Jądro Drogi Mlecznej było pierwszym radioźródłem zaobserwowanym przez Karla Jansky'ego w 1932 roku. Zawiera ono szereg radioźródeł, w tym Sagittarius A i supermasywną czarną dziurę Sagittarius A*.



Na obrazie tym uzyskanym przy użyciu VLA widać spektakularną strukturę włóknistą położoną w kierunku jądra Galaktyki (jasna kropka) obserwowaną na falach centymetrowych. Źródłem tej emisji jest plazma, która porusza się wzdłuż linii pola magnetycznego, tworząc formacje łukowe. (Udostępnione przez NRAO/AUI/NSF/F. Zadeh et al.)

Modele kosmologiczne
przewidywały, że jeśli Wszechświat rozpoczął się od Wielkiego Wybuchu, to powinien po tym pozostać ślad w postaci promieniowania. Kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła zostało odkryte w 1964 roku przez amerykańskich radioastronomów Arno Penziasa i Roberta Wilsona. Za to pierwsze jednoznaczne obserwacyjne potwierdzenie teorii Wielkiego Wybuchu otrzymali oni w 1978 roku Nagrodę Nobla.

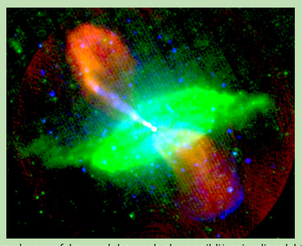


Rozkład kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła na falach milimetrowych sporządzony na podstawie obserwacji przeprowadzonych przy użyciu satelity WMAP.

Pulsary
to takie kosmiczne radiolatarnie. Niczym wirujący bąk, pulsar nieprzerwanie obraca się wokół swej osi. Wiązka fal radiowych emitowana przez pulsar obraca się razem z nim, na podobieństwo światła latarni na brzegu morskim. Na Ziemi odbieramy to jako krótkie przerywane sygnały („pi, pi, pi!"). W naszej Galaktyce zaobserwowano prawie 2500 pulsarów, a w całym Wszechświecie są ich miliardy.

Efekt latarni morskiej w pulsarze.

W skład galaktyk
wchodzi oprócz gwiazd gorący gaz, świecący w promieniach rentgena, ciepły gaz emitujący m.in. radiowo, chłodny gaz oraz pył, który świeci w podczerwieni. Niektóre galaktyki wykazują nadzwyczaj silną emisję radiową, pochodzącą z ich aktywnych jąder. Są to tak zwane radiogalaktyki.



Sporządzony w fałszywych barwach obraz najbliższej radiogalaktyki Centaurus A z zaznaczonymi obszarami emisji radiowej (czerwony), podczerwonej (zielony) i rentgenowskiej (niebieski).

Czy wiedzieliście?
W roku 1054 p.n.e Chińczycy zobaczyli na niebie nową jasną gwiazdę – był to wybuch supernowej. W ponad tysiąc lat później obserwujemy w tym miejscu przepiękną mgławicę, zwaną mgławicą Krab. Kryje ona w sobie gwiazdę szczególnego typu - pulsara.

Nieco historii...

Linia chronologiczna radioastronomii

James Clerk Maxwell
1865

James Clerk Maxwell: Właśnie opublikowałem pracę pod tytułem „Dynamiczna teoria pola elektromagnetycznego". Wyjaśniam w niej, dlaczego promieniowanie elektromagnetyczne (na przykład światło) ma ciągły rozkład długości fali!

Lubię to! - Dodaj komentarz - Udostępnij

Thomas Alva Edison: Jeśli tak, to ciała niebieskie muszą również emitować jakieś fale radiowe…
1890

Max Planck: Według moich wyliczeń, jeśli uznamy Słońce za ciało doskonale czarne, to jego emisja radiowa powinna być bardzo słaba. Na chwilę obecną nie przypuszczam byśmy byli w stanie ją wykryć, nawet jeśli użyjemy naszych najlepszych instrumentów.
1900

Charles Nordmann: Myślę, że masz rację, Max, umieściłem antenę na szczycie Mont Blanc we Francji, ale nic nie zarejestrowałem.
1900

37 osób lubi to

Dodaj komentarz...

Karl Jansky
1933

Coś niewiarygodnego! To był normalny dzień w Bell Telephone Company. Zajmowałem się moją anteną radiową, usiłując nawiązać transatlantyckie połączenie telefoniczne na falach o długości 14,5 m, kiedy nagle uświadomiłem sobie, że codziennie odbieram regularny sygnał dochodzący ze sfery niebieskiej. Po przeanalizowaniu wszystkich parametrów okazało się, że jest to emisja radiowa z centrum naszej galaktyki!

Lubię to! - Dodaj komentarz - Udostępnij

James Stanley Hey: Mamy tu podobny problem. Zajmujemy się budową radarów przeciwlotniczych dla wojska. Ilekroć skierujemy radar na Słońce, coś zakłóca rejestrowany sygnał. Moim zdaniem, to Słońce emituje na falach metrowych.
1942

Martin Ryle: Dzięki Karl! Twojemu wielkiemu odkryciu zawdzięczamy to, że mogliśmy za pomocą interferometru w Cambridge sporządzić radiową mapę nieba. Zaobserwowaliśmy całe mnóstwo radioźródeł!
1950

Grote Reber, John Kraus lubią to

Dodaj komentarz...

Hendrik Christoffel Van de Hulst
1945

Hendrik Christoffel Van de Hulst: Mój opiekun naukowy, słynny Jan Oort, poprosił mnie, bym poszukał linii atomowych w zakresie radiowym. Znalazłem jedną, bardzo interesującą, która powstaje w wyniku przejścia pomiędzy dwoma poziomami struktury nadsubtelnej neutralnego wodoru. Jeśli moje obliczenia są prawidłowe, linia ta odpowiada długości fali 21 cm. Emisja ta jest bardzo słaba, ale przecież wodór to najbardziej rozpowszechniony pierwiastek we Wszechświecie. Dobrze byłoby sprawdzić, czy nie da się jej zaobserwować.

Lubię to! - Dodaj komentarz - Udostępnij

Edward Mills Purcell i Harold Irving Ewen: Masz rację! Zbudowaliśmy antenę o rozmiarach 1 m x 1 m i za jej pomocą wykryliśmy linię 21 cm! Pomyśl tylko o wszystkich konsekwencjach, jakie to ma dla radioastronomii! Promieniowanie wodoru neutralnego na fali 21 cm dociera o wiele dalej niż światło widzialne i jego atomów jest najwięcej we Wszechświecie! Oznacza to, że jesteśmy w stanie obserwować wielkie struktury, takie jak inne galaktyki, na bardzo dużych odległościach.
1951

164 osoby lubią to

Dodaj komentarz...

Robert Wilson and Arno Penzias
1964

Sądzimy, że odkryliśmy rzecz bardzo interesującą dla radioastronomii. Jako pracownicy Bell Telephone Company zbudowaliśmy antenę, przeznaczoną pierwotnie do łączności z satelitami Echo i Telstar 1 - pierwszymi na świecie satelitami telekomunikacyjnymi. Podczas prowadzenia nasłuchu na długości fali 7,35 cm przypadkowo stwierdziliśmy występowanie dodatkowego szumu niewiadomego pochodzenia, odpowiadającego temperaturze 2,7 K i dochodzącego niemal jednorodnie ze wszystkich kierunków na niebie! Jesteśmy przekonani, że jest to kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła przewidywane przez teorię Wielkiego Wybuchu.

Robert Henry Dicke: No cóż, chłopcy, ktoś nas ubiegł.
1964

Komitet Noblowski: Hej, dostarczyliście właśnie najważniejszego argumentu na rzecz teorii Wielkiego Wybuchu. Może by tak Nagrodę Nobla?
1978

Robert Wilson i Arno Penzias lubią to

Hands-On Universe, Europe

Radiowe obserwacje Drogi Mlecznej

Projekt EU-HOU (Hands-On Universe, Europe) daje satysfakcję uczniom z prowadzenia prawdziwych obserwacji astronomicznych i przyczynia się do podniesienia poziomu nauczania przedmiotów przyrodniczych w krajach europejskich. Ma na celu rozbudzać zainteresowanie nauką wśród uczniów przy użyciu najnowszych rozwiązań technicznych w zakresie instrumentów obserwacyjnych.

Na stronie **www.euhou.net** dostępne są zarówno zasoby dydaktyczne różnego rodzaju – w tym eksperymenty do samodzielnego wykonania - jak i narzędzia do prowadzenia w czasie rzeczywistym obserwacji na teleskopach z całej Europy.

Wraz z realizacją projektów Atacama Large Millimetre Array i Square Kilometre Array, mających na celu zbudowanie największych jak dotąd radiointerferometrów, radioastronomia wkracza w nową złotą erę, ukazując nam Wszechświat, jakiego dotąd nie znaliśmy!

W tej perspektywie, w ramach projektu EU-HOU zdecydowaliśmy się na rozpropagowanie radioastronomii i uruchomiliśmy **pierwszą europejską sieć radioteleskopów do celów edukacyjnych.** Umożliwia ona uczniom samodzielne eksplorowanie Drogi Mlecznej, a nauczycielom udostępnia odpowiednie zasoby dydaktyczne.

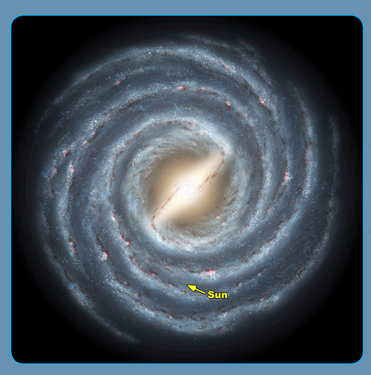
Na zdjęciu od lewej do prawej i od góry do dołu: Cecilia Kozma Maria Loizou Yannick Libert F. Miranda Eleni Chatzichristou Sotira Trifourki Krzysztof Chyży Rosa Doran Peter Kalberla Roger Ferlet Rodrigo Alvarez Cezar Lesanu Radu Constantinescu Lech Mankiewicz Anne-Laure Melchior

W naszym projekcie aktualnie uczestniczy 11 krajów: Niemcy, Belgia, Cypr, Hiszpania, Francja, Grecja, Polska, Portugalia, Szwecja, Rumunia i Wielka Brytania. Służy on pomocą nauczycielom i innym osobom związanym z edukacją.

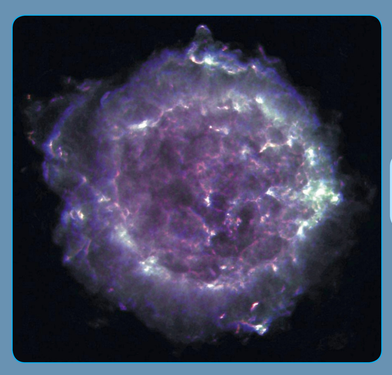
Czy wiedzieliście?
Działalność EU HOU zainspirowała programy edukacyjne w wielu krajach europejskich, a niektóre z ćwiczeń podanych na naszej stronie wykorzystywane są w materiałach edukacyjnych oraz podręcznikach.

Sieć sześciu radioteleskopów w Polsce, Francji, Portugalii, Hiszpanii, i Rumunii umożliwia prowadzenie obserwacji online obłoków wodoru w Drodze Mlecznej. Instrumenty te pozwalają uczniom na obserwowanie nieba w zakresie radiowym o dowolnej porze, zarówno w dzień, jak i w nocy, bez względu na pogodę.
Chcecie spróbować? Wejdźcie na naszą stronę internetową http://euhou.net

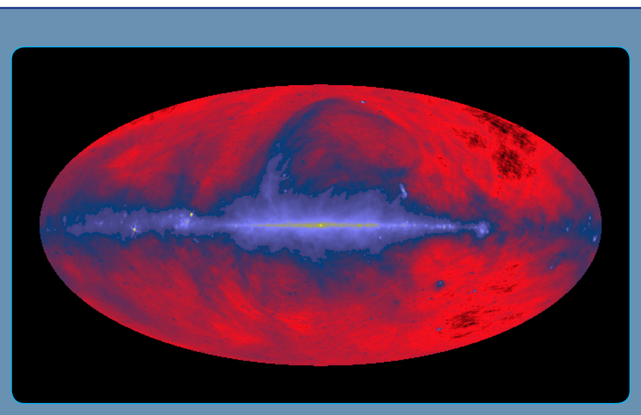
Chcecie powtórzyć to sami w domu? Nie jest to trudne, jeśli macie pod ręką wskaźnik laserowy i wkłady grafitowe do ołówka. Weźcie trzy wkłady i przytrzymując je pomiędzy kciukiem a palcem wskazującym tak, by były ułożone jak najbardziej równolegle, umieśćcie na drodze wiązki świetlnej wskaźnika. Spójrzcie teraz, co widać na ścianie – tak, to jest właśnie interferencja!



Droga Mleczna ma ciekawą strukturę, ramiona spiralne wychodzą z poprzeczki" w centrum Galaktyki. Tę strukturę możesz badać w projekcie EU-HOU „Radiowe obserwacje D rogi Mlecznej".



Radiowy obraz pozostałości po gwieździe supernowej, która wybuchła 300 lat temu w naszej galaktyce, 11 tys. lat św. od nas.



Całe niebo na falach radiowych o długości 73 cm. W środku centrum Galaktyki. Najjaśniejsze miejsca (kolor niebieski) tworzą dysk galaktyczny, rozciągający się horyzontalnie od centrum.

Ten projekt został zrealizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej. Publikacja odzwierciedla jedynie stanowisko jej autora i Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za umieszczoną w nich zawartość merytoryczną.

Projekt: Yannick Libert, tłumaczenie: Marek Krośniak, adaptacja: Krzysztof Chyży

Źródła: NASA, ESO, ESA, NRAO, Haslam i in. 1982, JPL/CALTECH, R. Jurt, University of Wisconsin-Madison