



## **Galaktyki i radiogalaktyki**



**Szkoła Podstawowa  
Klasy IV – VI  
Doświadczenie  
konkursowe 2**

**Rok 2023**



## 1. Wstęp teoretyczny

Na pogodnym nocnym niebie widać wiele obiektów: Księżyc, planety Układu Słonecznego i znacznie dalej położone gwiazdy. Jeśli mamy dobry wzrok lub lornetkę, można też dostrzec najbliższą nas leżącą, inną galaktykę – wielki układ gwiazd, podobny do naszej Galaktyki, czyli Drogi Mlecznej. Na przykład M31, słynną Galaktykę Andromedy, najlepiej widoczną galaktykę nieba północnego. Obecnie wiemy, że w całym Wszechświecie są setki miliardów galaktyk. Niektóre z tych obiektów są jednak nieco inne od reszty. Odmienność ta jest w szczególności dobrze widoczna, gdy galaktyki takie obserwujemy na falach radiowych.

Gdyby nasze oczy były wrażliwe nie tylko na światło, ale i na promieniowanie radiowe, moglibyśmy „widzieć” te same fale radiowe, które docierają do zwykłego odbiornika radiowego, generując w nim odbierany sygnał. Wznosząc nasze „antenooczy” ku niebu, przy założeniu, że znajdowalibyśmy się na przykład w Australii, moglibyśmy ujrzeć obiekt taki jak ten:



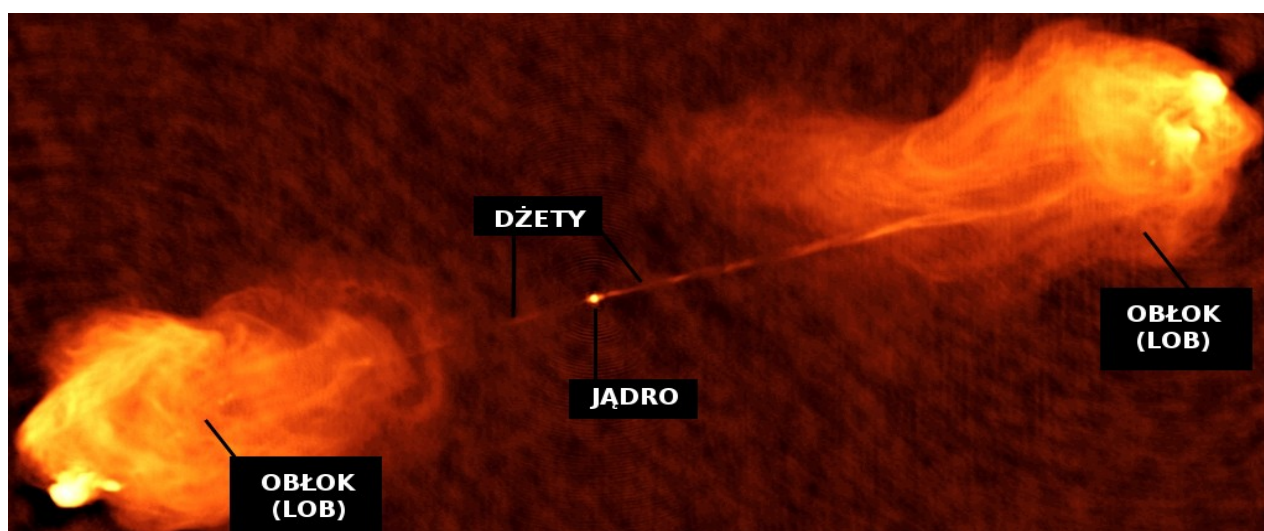
Rysunek 1. Radiogalaktyka Centaurus A obserwowana na falach radiowych. Źródło: Natasha Hurley-Walker, Curtin University/ICRAR.

To niezwykle zdjęcie nieba w „kolorach radiowych” zostało wykonane z użyciem sieci anten znajdującej się właśnie w zachodniej Australii. Kolory, które tu widzimy, wskazują na rodzaj odbieranych z nieba fal. Odcień czerwony obrazuje najniższe częstotliwości radiowe (odpowiednik pasma radiowego FM), niebieski to najwyższe częstotliwości radiowe (takie jak sygnał odbierany przez telewizję), a zielony odpowiada falom radiowym pośrednim. Zwróć uwagę, że na tym obrazie są dziesiątki małych, jasnych kropek. To jednak nie gwiazdy, a odległe galaktyki – w tym przypadku tak zwane galaktyki radiowe, czyli **radiogalaktyki**. Widać tu również znacznie bliżej nas położony obiekt tego typu, czyli słynną radiogalaktykę o nazwie **Centaurus A**.

Typowa radiogalaktyka składa się z aktywnego centrum, w którym

znajduje się napędzający ją całą „silnik” – supermasywna czarna dziura o masie milionów lub miliardów mas Słońca. Supermasywne czarne dziury leżące w centrach radiogalaktyk pochłaniają okoliczny gaz i pył macierzystej galaktyki, który jest na nie ściągany przez ich potężną grawitację. Proces ten uwalnia ogromne ilości energii – mówimy wówczas, że taka galaktyka jest **aktywna**.

Choć większość materii, która ma „nieszczęście” znaleźć się za blisko krawędzi czarnej dziury, wpada ostatecznie do jej środka, jej pewna część może ustrzec się schwytania w tę grawitacyjną pułapkę. Wówczas materia ta zostaje wyrzucona z bardzo dużą prędkością daleko w przestrzeń kosmiczną, z dala od czarnej dziury i samej galaktyki. W ten sposób powstają tak zwane dżety, czyli wąskie kanały przepływu tej wystrzeliwanej materii, ostatecznie formujące rozległe struktury radiowe (tzw. obłoki lub loby radiowe), rozciągające się na bardzo duże odległości poza obszar samej „normalnej”, obserwowanej w świetle widzialnym galaktyki.

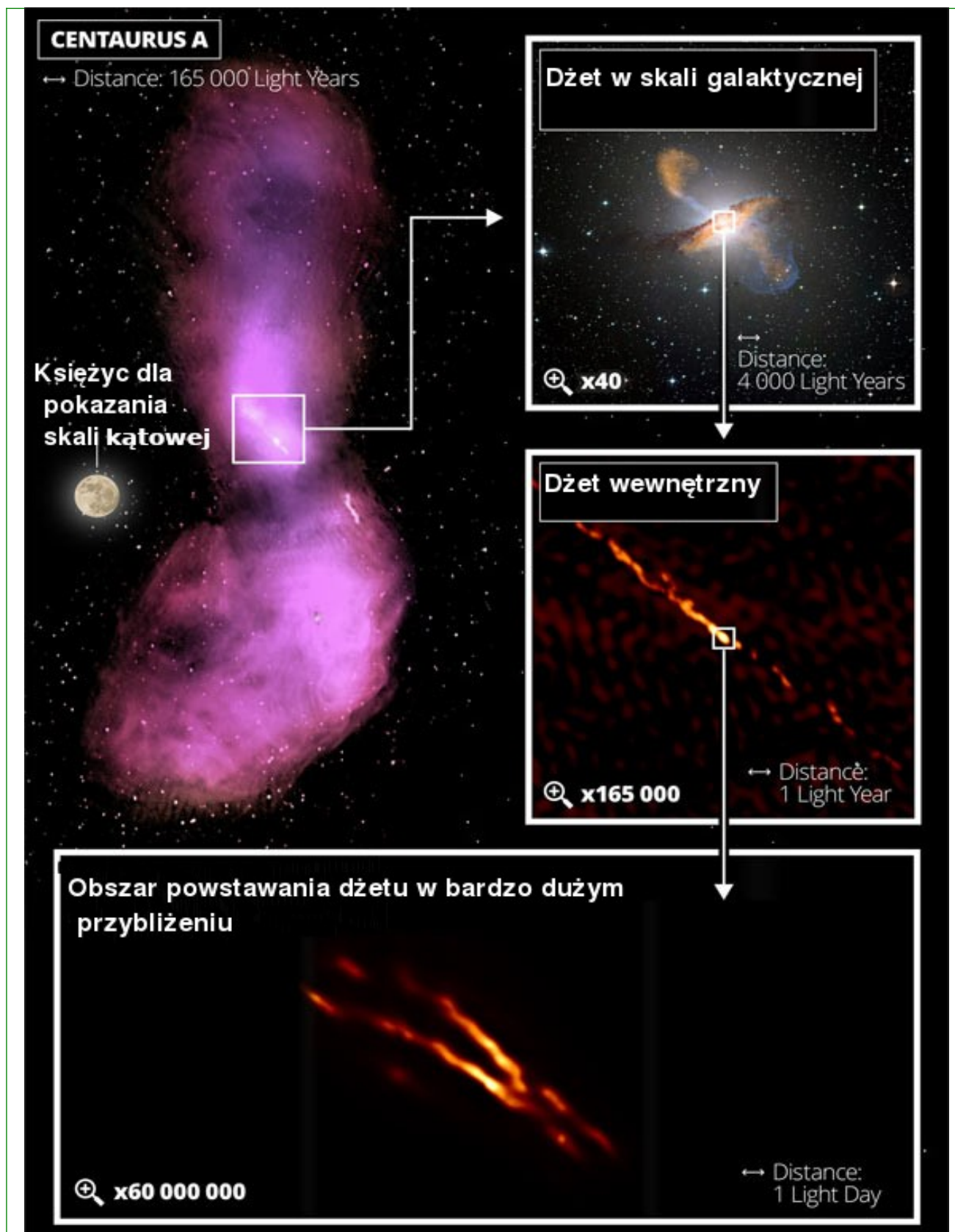


Rysunek 2. Radiogalaktyka Cygnus A i jej części. To jedna z najjaśniejszych radiogalaktyk na niebie. Ma wąskie dżety i rozbudowane obłoki – struktury widoczne na falach radiowych, położone po obu stronach aktywnego jądra. Obiekt oznaczony jako jądro radiogalaktyki to miejsce, w którym na zwykłym zdjęciu nieba moglibyśmy ujrzeć zwykłą galaktykę, widoczną w świetle widzialnym. Jądro jest stowarzyszone z supermasywną czarną dziurą o masie ponad 2 miliardy masy Słońca. Wypływają z niego w przeciwnych kierunkach dżety złożone z naładowanych elektrycznie, silnie przyśpieszonych cząstek, tworzące na bardzo dużych odległościach rozległe obłoki radiowe. Rzeczywisty rozmiar całej tej struktury radiowej to około 400 tysięcy lat świetlnych. Powyższa mapa radiowa została wykonana na bazie obserwacji prowadzonych na częstotliwości 5 GHz przez sieć VLA (poniżej). Źródło: VLA



Rysunek 3. Sieć radioteleskopów Very Large Array w Nowym Meksyku (USA). Źródło: NRAO





Rysunek 4. Radiogalaktyka Centaurus A pokazana w różnych powiększeniach. W tle (kolor różowy) widać jej całą strukturę radiową, wraz z Księżycem dla ukazania skali katowej wielkości na niebie. W górnej wstawce widzimy aktywne centrum i radiowe dżety nałożone na obraz optyczny samej galaktyki. Poniżej widać zbliżenie na dżety. Źródło: projekt EHT

Obecnie wiemy, że w kosmosie są tysiące radiogalaktyk. Mogą one przyjmować różne rozmiary i kształty. Nie do końca wiemy, czemu niektóre z nich – tak zwane radiogalaktyki gigantyczne – mogą rosnąć do bardzo, bardzo dużych rozmiarów. Są to największe pojedyncze obiekty obserwowane we Wszechświecie – obłoki radiowe niektórych z nich rozciągają się na miliony lat świetlnych. Dla porównania gwiazda położona najbliżej Słońca, Proxima Centauri, znajduje się w odległości zaledwie 4,3 roku świetlnego od niego. Na poniższym zestawieniu obrazów różnych obiektów (w tym radiogalaktyk) z zachowaniem skali wielkości Droga Mleczna (podpisana na żółto) wygląda z kolei jak mała galaktyka.



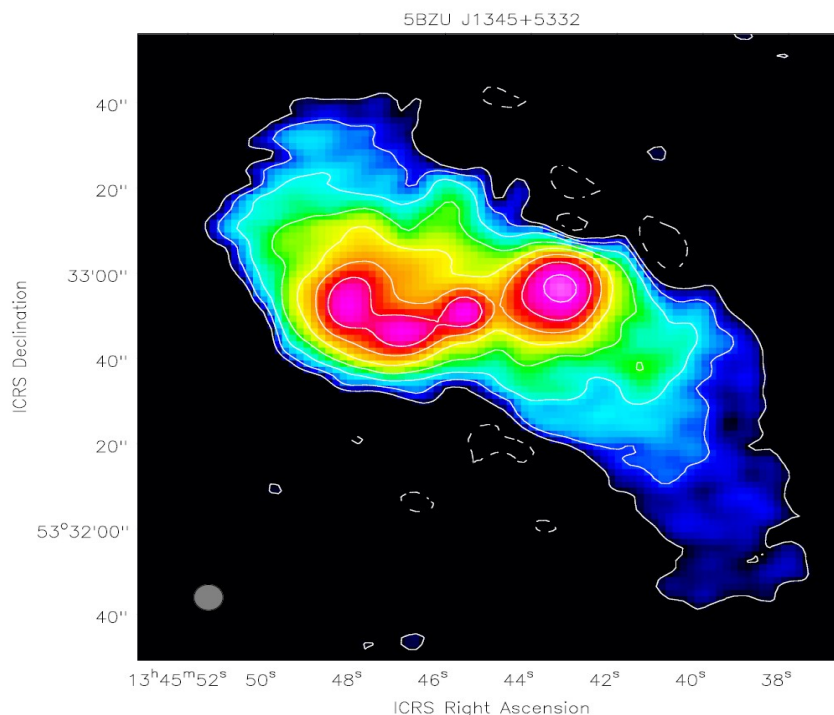
*Rysunek 5. Porównanie rozmiarów kilku dużych galaktyk i radiogalaktyk. Droga Mleczna jest galaktyką o średnicy 100 000 lat świetlnych, złożoną z około 200-400 miliardów gwiazd. W porównaniu z większymi galaktykami, takimi jak M100, M 87, NGC 4921 czy Hercules A, wygląda już jak mała galaktyka. Źródło: NASA/ESA/Rhys Taylor. Zdjęcie w oryginalnych rozmiarach można pobrać ze strony*

## Kręci się!

Dzięki Mikołajowi Kopernikowi wiemy, że planety krążą wokół Słońca. Satelity – w tym Księżyc Ziemi – okrążają z kolei planety. Później zauważono, że gwiazdy wraz z planetami krążą wokół centrów galaktyk. Zdarza się też, że sama galaktyka jest okrążana przez mniejsze i mniej masywne galaktyki. Nasza Droga Mleczna ma ich ponad 50! A co z ogromnymi radiogalaktykami, których rozmiary wielokrotnie, co widać na Rysunku 5, przekraczają rozmiary ich galaktyk macierzystych? Czy i one mogą się obracać?



Ruch obiegowy galaktyk i radiogalaktyk wokół innych, jeszcze bardziej masywnych obiektów może być dość złożony, a ich orbity znacznie bardziej skomplikowane niż te znane z Układu Słonecznego. Ciekawostką jest to, że jeśli jakaś radiogalaktyka zderzy się z inną – i zarazem jej supermasywna czarna dziura zderzy się z supermasywną czarną dziurą drugiej radiogalaktyki – może nastąpić wyraźna zmiana kierunku, pod jakim dżety wypływają z aktywnego centrum radiogalaktyki. Dawna aktywność obiektu pozostawia wówczas na niebie ślad radiowy w postaci dużych, słabych i starych struktur radiowych (na poniższej mapie odpowiadają im odcienie niebieskie), ułożonych w innym kierunku niż nowa, późniejsza emisja dżetu, pojawiająca się już po zderzeniu (kolor czerwony i różowy). Dżety mogą też ulegać obrotom, formując w wyniku struktury radiowe w kształcie litery S. Przykład taki widoczny jest właśnie poniżej: obserwujemy dwa wygięte dżety tworzące rozległe płyty. Ta radiogalaktyka jest dosłownie pokręcona!





Rysunek 6 (na poprzedniej stronie). Radiowy obraz poskręcanej galaktyki aktywnej 5BZU J1345+5332. Obserwacje pochodzą z sieci teleskopów LOFAR. W centrum obiektu znajduje się supermasywna czarna dziura. Najprawdopodobniej dwa przeciwległe dżety ulegają precesji, przez co rozległa radiowa emisja przybiera kształt „S”. Źródło: Pajdosz-Śmierciak U., Śmierciak B. i Jamroz M., [Possible jet reorientation in low-frequency radio structures of blazars](#), MNRAS, 512, 2122 (2022).

## 2. Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest nauka rozpoznawania podstawowych struktur radiowych w radiogalaktykach. Dodatkowo uczniowie uzyskują podstawy wiedzy na temat radiogalaktyk i radiogalaktyk gigantycznych, największych pojedynczych obiektów obserwowanych w kosmosie.

Poza astronomią: uczniowie nabywają kompetencje informatyczne na przykładzie układania interaktywnych puzzli i używania edytora tekstu z opcją edycji grafik. Ćwiczą przeliczanie dużych liczb i porównywanie wielkości typowych dla dalekiego kosmosu, zapoznają się wstępnie z pojęciem roku świetlnego i parseka.

## 3. Opis wykonania doświadczenia

1. Przejdź na stronę:

<https://puzzlefactory.pl/pl/puzzle/graj/edukacja/485651-radiowa-mapa-nieba-z-projektu-lofar#6x5>

To nietypowe puzzle. Jest na nich wycinek jednej z najdokładniejszych w historii map Wszechświata wykonanych w zakresie niskich częstotliwości radiowych, stworzonej z udziałem europejskiej sieci anten LOFAR i wielu polskich astronomów, w tym naukowców z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Dzięki niej możliwe było wykrycie słabych poświat radiowych wielu nieznanych wcześniej radiogalaktyk. Ułóż puzzle dostępne na stronie. Zastanów się i spróbuj przyporządkować obiektom, które identyfikujesz tu jako radiogalaktyki, ich typowe części: aktywne jądra galaktyczne, dżety i obłoki radiowe. Zastanów się – czy któraś z tych radiogalaktyk wykazuje cechy świadczące o „skręceniu” jej struktury?

2. Wydrukuj lub otwórz na komputerze **Kartę badacza radiogalaktyk** znajdującą się w załączonym pliku. To radiowa mapa nieba przedstawiająca radiogalaktykę 3C 348, znaną także jako **Hercules A**. Dane radiowe wykorzystane do opracowania jej mapy zostały zebrane przez sieć Very Large Array (Rysunek 3) w latach 2010-2011, na częstotliwościach 4 do 9 GHz. Zostały one połączone z optycznym obrazem galaktyki centralnej (jądra) pochodzącym z teleskopu Hubble'a.

Cała struktura radiowa tej radiogalaktyki rozciąga się na około 1,5 miliona lat świetlnych. Porównaj tę wielkość z wielkościami innych obiektów, pokazanymi na Rysunku 5 (Hercules A to duża radiogalaktyka z czerwonymi obłokami radiowymi). Wydrukuj mapę tej radiogalaktyki w konturach czarno-białych i przyporządkuj jej typowe części (jądro galaktyczne, dżety i obłoki

radiowe). Możesz także użyć w tym celu (metodą wytnij-wklej lub po prostu przenosząc je myszką na obraz radiogalaktyki) gotowych podpisów dostępnych pod ilustracją bezpośrednio w karcie; w takim przypadku po wprowadzeniu zmian zapisz kartę pracy na komputerze.

**3.** Spójrz na tabelę na drugiej stronie **Karty badacza radiogalaktyk**. Znajdziesz tam porównanie rozmiarów różnych dużych obiektów kosmicznych i odległości we Wszechświecie. Uzupełnij brakujące wpisy w tabelce. Możesz w tym celu skorzystać z poniższych wzorów przeliczania kosmicznych wielkości, a także z wyszukiwarki internetowej lub z gotowego narzędzia przeliczającego lata świetlne na kiloparseki, dostępnego na stronie:

<https://multi-converter.com/pl/lata-swietlne-na-kiloparsek>

**Rok świetlny** (ls) to odległość, jaką światło pokonuje w próżni w ciągu jednego roku.

To około 9,5 biliona kilometrów.

**Parsek** (pc) to inna popularna jednostka odległości używana w astronomii, równa około 3,26 roku świetlnego. Kiloparsek (kpc) to po prostu tysiąc parseków, podobnie jak kilometr to tysiąc metrów.

### Jak przeliczyć lata świetlne na kiloparseki?

1 [rok świetlny] = 0,0003066 [kiloparseka] (w przybliżeniu)

Aby przeliczyć rozmiar lub odległość w latach świetlnych na kiloparseki, pomnóż rozmiar (odległość) podaną w latach świetlnych przez liczbę 0,0003066.

### Przykład

Radiogalaktyka Hercules A ma rozmiar równy około 1,5 miliona lat świetlnych.

1,5 miliona = 1500000

$1500000 * 0,0003066 =$  (w przybliżeniu) 460 [kpc]

Pamiętaj, by na podanej wyżej stronie przeliczającej lata świetlne na parseki w okienku służącym do wprowadzania odległości w latach świetlnych podawać zawsze wartości liczbowe (bez liter i słów typu miliony, tysiące) i bez spacji, jak na poniższym przykładzie. Wyniki zaokrąglaj do części całkowitej – podaj je w tabelce w karcie pracy bez liczb po przecinku, jako wartości przybliżone.



[Multi-converter.com](https://multi-converter.com) / [Przelicznik Długości](#) / Lata Światłne na Kiloparsek

# Lata Światłne na Kiloparsek

Przelicz ly na kpc

lata światłne


919.83038579

kiloparsek

**Wynik:**

3000000 lata światłne = 919.83038579 kiloparsek

 Wyczyść

 Zamień

Rysunek 7. Fragment okna narzędzia <https://multi-converter.com/pl/lata-swietlne-na-kiloparsek>