



## Klasyfikacja galaktyk



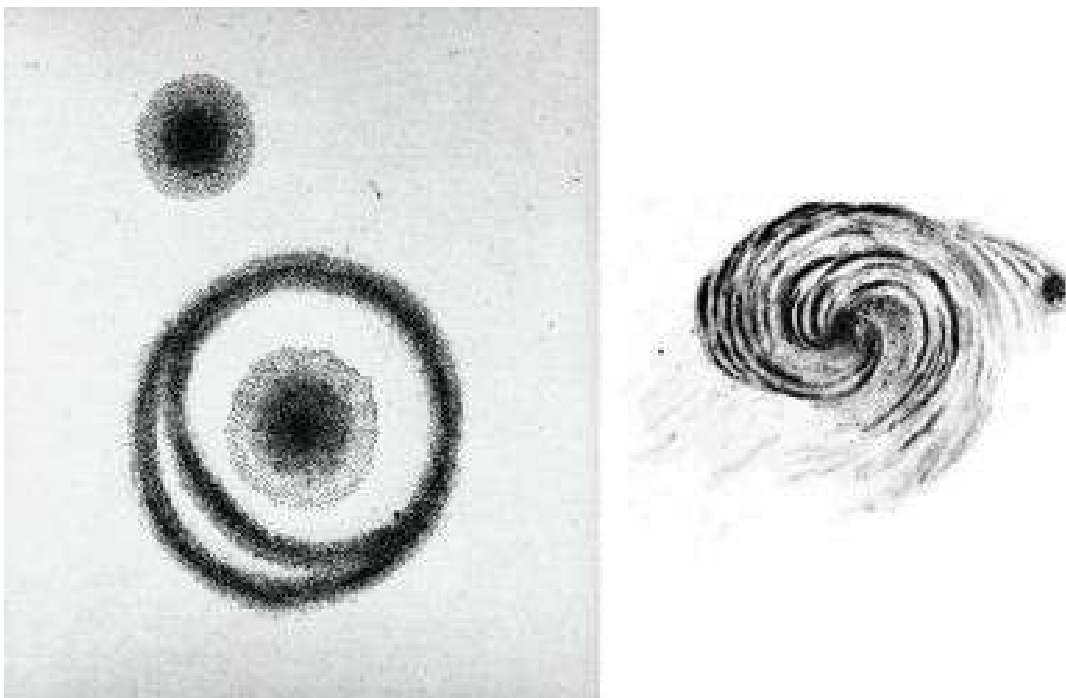
Szkoła średnia  
Klasy I – IV  
Doświadczenie konkursowe 2

Rok 2023

## 1. Wstęp teoretyczny

### Wczesne obserwacje galaktyk

Choć pierwsze odnotowane obserwacje galaktyk poza Drogą Mleczną, dokonane przez perskiego astronoma Al-Sufiego (903-986), pochodzą z X wieku, badania nad klasyfikacją galaktyk rozpoczęły się dopiero wraz z uznaniem, że Droga Mleczna jest w rzeczywistości jedną z wielu galaktyk Wszechświata. Fakt ten został wcześniej (w 1734 r.) przewidziany przez szwedzkiego filozofa Emanuela Swedenborga (1688-1772), ale dopiero w XX wieku stał się pewnikiem naukowym. W XVIII i XIX wieku badania galaktyk były nadal opisowe. Prace te polegały głównie na katalogowaniu i ogólnym opisie struktury galaktyk, zwanych wtedy mgławicami. Charles Messier (1730-1817) i William Herschel (1738-1822) skompilowali katalogi obejmujące obserwowane obiekty rozmyte. Syn Williama, John Herschel (1792-1871), zauważył, że mgławice spiralne i eliptyczne mają różną jasność, rozmiary, kształty i centralne zgrubienia. Szczegóły budowy galaktyk badał też William Parsons, 3. hrabia Rosse (1800-1867), który miał okazję obserwować niebo największym teleskopem owych czasów, zbudowanym przez samego siebie – 1,8-metrowym „Lewiatanem z Parsonstown”, co pozwoliło mu zobaczyć, że niektóre obiekty mają cechy, jakich nigdy wcześniej nie obserwowano: ramiona, pierścienie, belki i pewne struktury pływowe. Zaobserwował co najmniej 75 mgławic spiralnych, później potwierdzonych jako galaktyki spiralne.



Rys. 1.

Po lewej: Szkic M51 (znanej również jako Galaktyka Wir) narysowany przez Johna Herschela w 1833 roku. Po prawej: Ta sama galaktyka naszkicowana przez Williama Parsona w 1845 roku. Kolory są tu odwrócone. Teleskop Parsona pozwolił mu zobaczyć więcej szczegółów tej galaktyki, niż dostrzegał Herschel. Źródło: 'A newly-discovered accurate early drawing of M51, the whirlpool nebula'. Journal of Astronomical History and Heritage, William Tobin.



Rys. 2. Akwarela przedstawiająca teleskop „Lewiatan z Parsonstown”. Źródło: wikipedia.org

### Rewolucja w astronomii

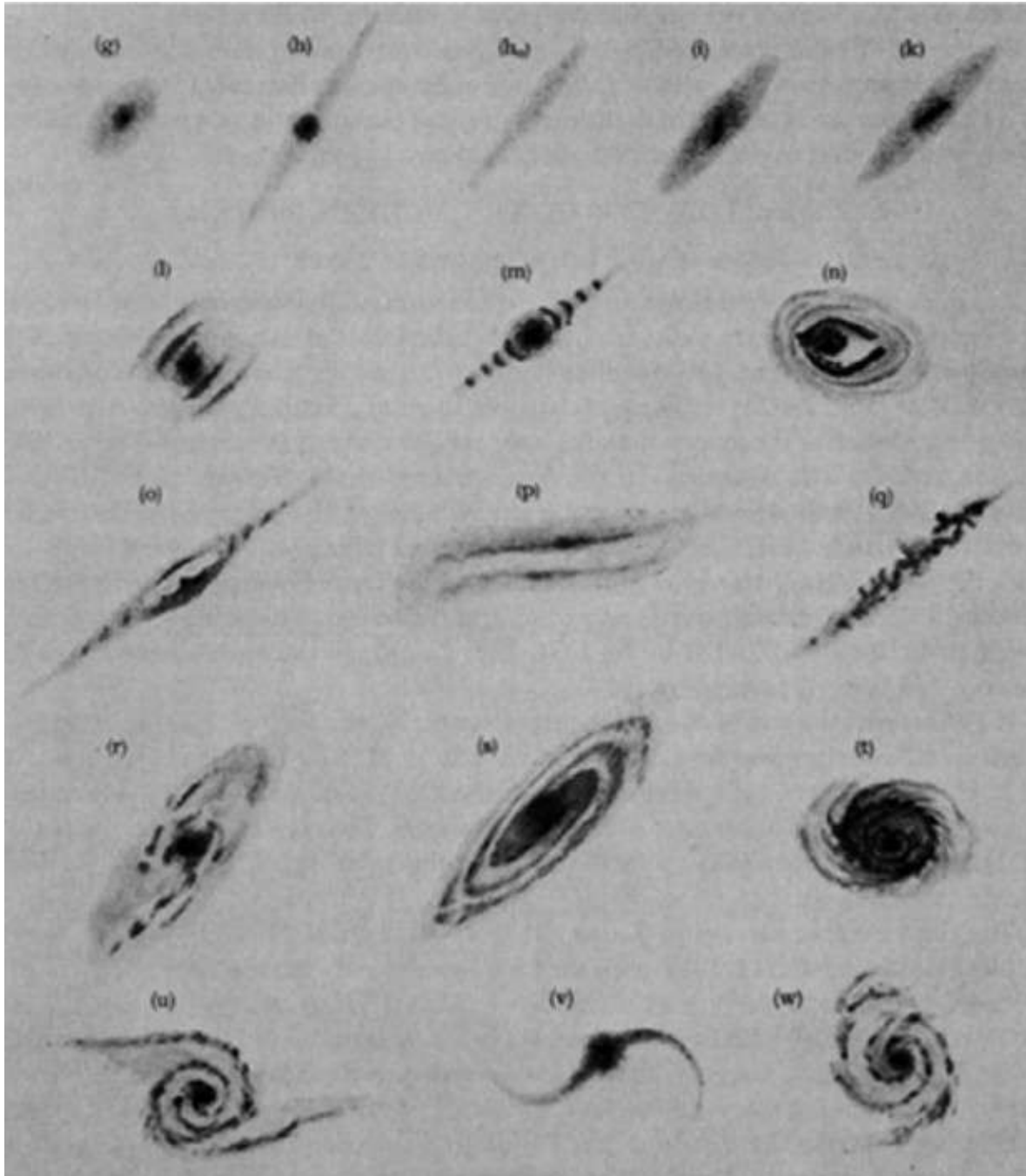
Prawdziwym kamieniem milowym dla badań galaktyk i całej astronomii jako nauki było wprowadzenie fotografii i jej zastosowanie w obserwacjach. Możliwość robienia zdjęć z wykorzystaniem prowadzenia aparatu skutkowało dłuższymi czasami ekspozycji, co pozwalało astronomom dostrzegać o wiele więcej szczegółów obiektów nieba. Na przykład zdjęcie Galaktyki Andromedy wykonane przez Isaaca Robertsa, pioniera w dziedzinie astrofotografii, w 1893 roku doprowadziło do odkrycia spiralnej struktury w jej słabiej świecących, zewnętrznych częściach. Wraz z kolejnymi zdjęciami różnych obiektów powstawały pierwsze systemy ich klasyfikacji.



Rys. 3. Zdjęcie Galaktyki Andromedy wykonane przez Robertsa w 1893 roku, dzięki któremu astronomowie po raz pierwszy zobaczyli jej strukturę spiralną. Źródło: wikipedia.org

### Pierwsze systemy klasyfikacji galaktyk

Max Wolf (1863-1932) zaproponował użycie liter do opisu 17 różnych typów pozagalaktycznych mgławic. Ten system był bardzo prosty i opierał się tylko na ich kształcie oraz obecności szczególnych cech, takich jak belki, ramiona i wypukłości.

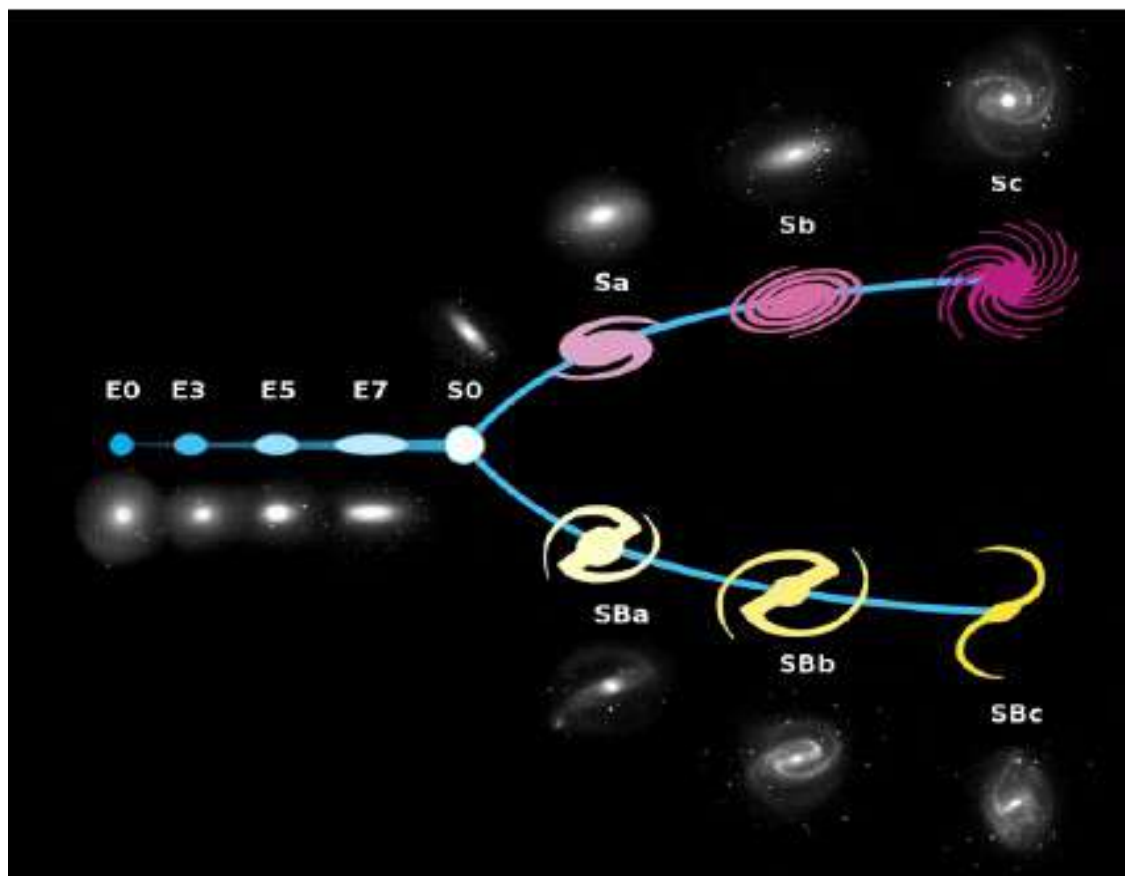


Rys. 4. System Wolfa. Źródło: wikipedia.org

Edwin Hubble (1889-1953) był zaznajomiony z systemem Wolfa i także z niego korzystał, ale zdawał sobie sprawę z jego ograniczeń i widział potrzebę stworzenia nowego, gdy tylko pojawią się nowe dane. Zaproponował w 1926 roku nowy system klasyfikacji, a w 1936 roku został on

zrewidowany i jest stosowany w zmodyfikowanej formie do dzisiaj. Występują w nim dwa główne typy galaktyk – eliptyczne i spiralne, z dalszym podziałem spiralnych na te z poprzeczką i bez poprzeczki. Później system ten został rozwinięty przez Allana Sandage'a (1926-2010) i Gérarda de Vaucouleurs (1918-1995), którzy widzieli ewolucję galaktyk jako ciąg etapów. To sprawiło, że system Hubble'a był wystarczający do klasyfikowania większości jasnych, pobliskich galaktyk. Klasyfikacja Hubble'a może też sugerować, że galaktyki spiralne ewoluowały z galaktyk eliptycznych. Był to powszechnie akceptowany fakt w tamtych czasach i dopiero w 1977 roku Alar Toomre zaproponował hipotezę, zgodnie z którą wszystkie galaktyki eliptyczne powstają w wyniku zderzenia się co najmniej dwóch galaktyk spiralnych. Dziś ta idea jest powszechnie akceptowana, głównie za sprawą badań astronomów, którzy zauważyli między innymi, że odleglejsze rejony Wszechświata zawierają więcej galaktyk spiralnych niż te bliższe nam, a ich zderzenia okazują się wyjaśniać istnienie szerokiego zakresu wcześniej nietypowych galaktyk.

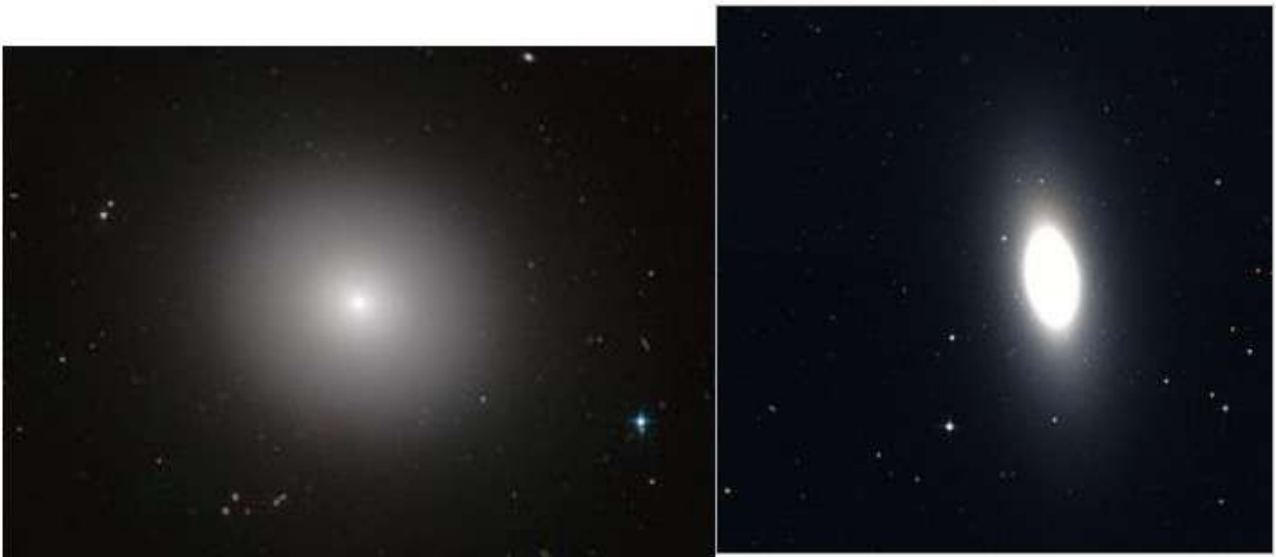
### Klasyfikacja Hubble'a



Rys. 5. Zmodernizowana forma systemu Hubble'a. Źródło: wikipedia.org

Galaktyki według Hubble'a oryginalnie klasyfikowane były z podziałem na trzy podstawowe typy:

1. **Eliptyczne (E)** – ich dwuwymiarowe rzuty mają kształt elipsy, bez wyraźnie widocznych ramion spiralnych i płaskich dysków. Po literze E widnieje dodatnia liczba całkowita mówiąca o eliptyczności danej galaktyki. Ich kształt waha się od kulistego do mocno spłaszczonego. E0 to galaktyki eliptyczne o niemal idealnie kołowym kształcie. Im większa liczba po E, tym większe spłaszczenie. Najbardziej spłaszczone galaktyki eliptyczne to galaktyki typu E7. Więcej o tym, jak wyznaczyć spłaszczenie galaktyki eliptycznej, przeczytasz w następnym rozdziale. Galaktyki eliptyczne zawierają głównie stare gwiazdy i są ubogie w gaz i pył. Nie zachodzą w nich aktywne procesy gwiazdotwórcze i z tego powodu są one bardziej czerwone. Ich masa i gęstość są zwykle znacznie większe niż w przypadku galaktyk spiralnych.



Rys. 6. Po lewej: Galaktyka IC 2006, typ E1. Po prawej: NGC 4033, typ E6. Źródło: wikipedia.org

2. **Spiralne (S)** – mają wyraźne ramiona tworzące spiralną strukturę i dysk centralny. Są bogate w pył i gaz międzygwiazdowy, co ułatwia procesy formowania się gwiazd w ich ramionach spiralnych, gdzie znajdują się młode, gorące gwiazdy oraz obszary HII – rejony zjonizowanego wodoru. Galaktyki spiralne dzielą się następnie na dwa podtypy – z poprzeczką (SB), zawierające charakterystyczną poprzeczkę biegnącą od centrum dysku galaktycznego, z której następnie wychodzą ramiona – oraz bez poprzeczki (S), niezawierające tej struktury. Po literze S (lub literach SB) stawiana jest jedna z trzech małych liter: a – dla galaktyk o ciasno skrzyżowanych ramionach, z dużym, jasnym, centralnym zgrubieniem, b – dla galaktyk o mniej skrzyżowanych ramionach i mniej jasnym centrum niż w przypadku Sa (Sba), oraz c – dla galaktyk o słabo skrzyżowanych, łatwo rozróżnialnych ramionach i mniejszym, mniej jasnym centrum. Występują także galaktyki soczewkowate (S0). Ich jądra są podobne do silnie spłaszczonych galaktyk eliptycznych, a wokół nich znajdują się dyski, ale bez wyraźnych śladów struktury spiralnej.

3. **Nieregularne (I)** - nie pasują do żadnego z powyższych typów, są to galaktyki o nieregularnym, chaotycznym kształcie.

Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”  
Klasyfikacja galaktyk  
Doświadczenie konkursowe rok 2023



Rys. 7. Galaktyki spiralne bez poprzeczki. Od lewej: NGC 4378, typ Sa; M51, typ Sb; NGC 628, typ Sc.



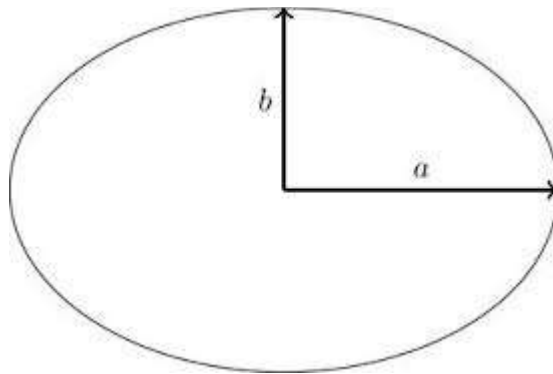
Rys. 8. Galaktyki spiralne z poprzeczką. Od lewej: NGC 4314, typ SBa; NGC 1300, typ SBb; NGC 1073, typ SBc.



Rys. 9. Galaktyki nieregularne. Od lewej: NGC 1427A, UGC 4879, IC 4710.

Źródło (wszystkich pokazanych zdjęć galaktyk): wikipedia.org

## Określanie stopnia spłaszczenia galaktyk eliptycznych



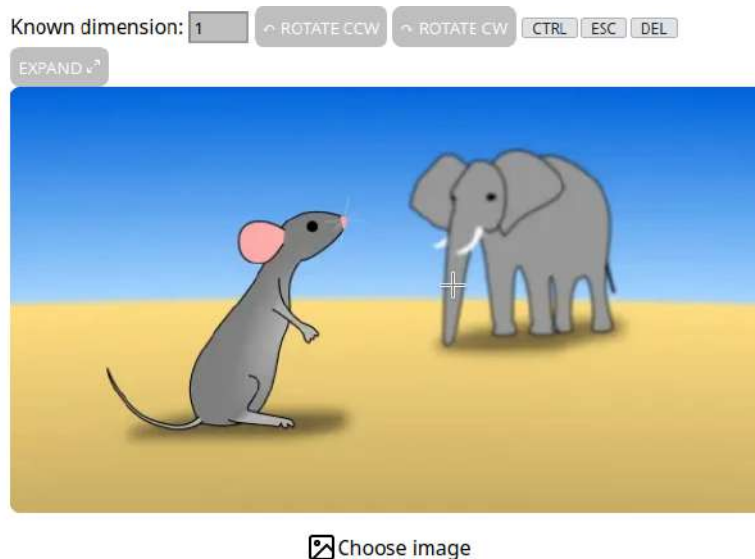
Rys. 10. Elipsa – wielka i mała półoś. Źródło: wikipedia.org

Liczba **n** stawiana po **E** w klasyfikacji Hubble wyliczana jest na podstawie stosunku małej półosi elipsy do jej wielkiej półosi, jako:

$$10 \cdot \left(1 - \frac{b}{a}\right)$$

Następnie wynik jest zaokrąglany do najbliższej liczby całkowitej. Na przykład dla idealnie kulistej galaktyki, gdzie  $a=b$ , dostajemy wartość E0. Aby określić eliptyczność galaktyki, potrzebujemy też narzędzia do mierzenia odległości na zdjęciu, np. tego dostępnego na stronie internetowej <https://eleif.net/photomeasure>.

1. Wchodzimy na stronę i klikając *Choose image* wybieramy zdjęcie naszej galaktyki.

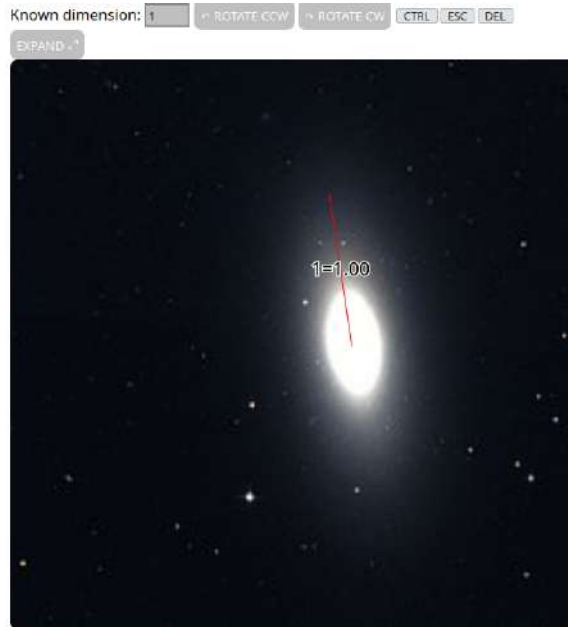


Rys. 11. Wybór zdjęcia.



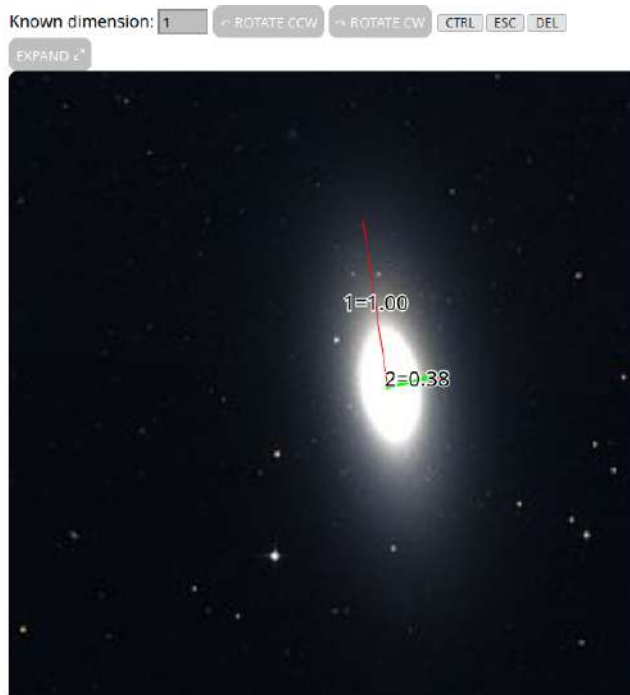
Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”  
Klasyfikacja galaktyk  
Doświadczenie konkursowe rok 2023

2. Rysujemy linię od środka galaktyki do jej brzegu, wzdłuż jej wielkiej półosi. Pojawi się linia o długości 1. Długość osi małej będzie następnie podana jako ułamek długości osi wielkiej.



Rys. 12. Zaznaczona oś wielka.

3. Podobnie rysujemy linię od środka galaktyki wzdłuż jej małej osi i odczytujemy jej względną długość w stosunku do linii pierwszej. W tym przypadku to 0.38.



Rys. 13. Zaznaczona oś mała.

3. Korzystamy ze wzoru 1:

$$10 \cdot \left(1 - \frac{b}{a}\right) = 10 \cdot \left(1 - \frac{0.38}{1}\right) = 6.2$$

4. Zaokrąglamy otrzymaną liczbę do najbliższej liczby całkowitej i otrzymujemy typ galaktyki (tu: E6).

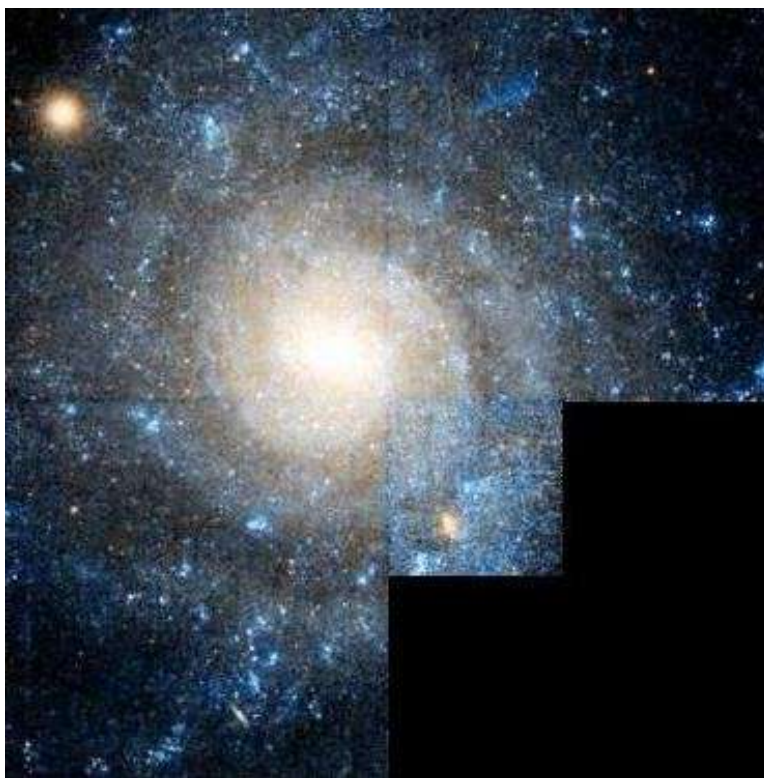
## 2. Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest nauka klasyfikacji galaktyk na bazie przedstawionych zdjęć przykładowych. Uczniowie zaznajamiają się też z historią odkryć i badań galaktyk.

## 3. Opis wykonania doświadczenia

1. Spójrz na każde z poniższych zdjęć. Określ, czy zawiera ono galaktykę spiralną, eliptyczną czy nieregularną.
2. Określ typ galaktyki. Dla spiralnych: czy jest to galaktyka z poprzeczką, czy bez? Jaki podtyp – a, b czy c – najlepiej pasuje do tej galaktyki? Dla eliptycznych – oblicz ich eliptyczność.
3. Wypisz cechy galaktyk, według których dokonałeś(-aś) klasyfikacji.
4. Spróbuj dopasować galaktykom odpowiedni typ wg. klasyfikacji Wolfa.

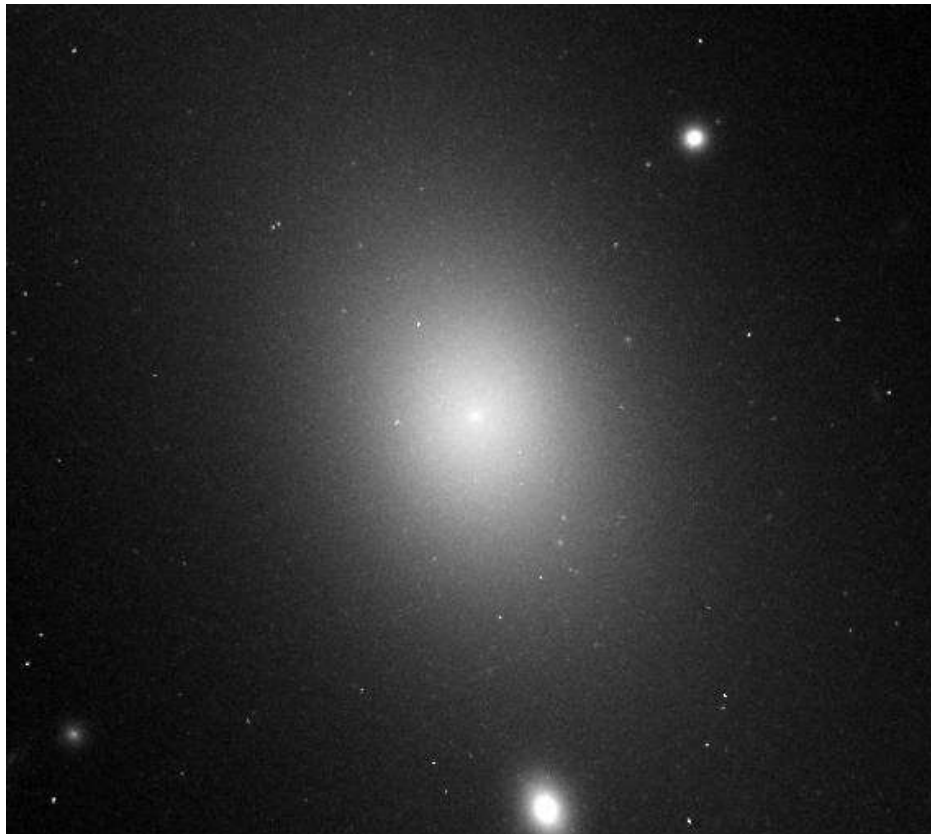
Galaktyka 1:



Galaktyka 2:



Galaktyka 3:



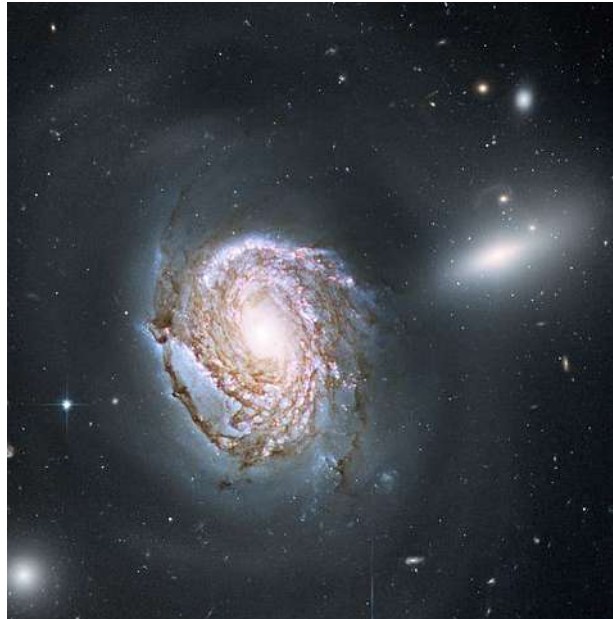
Galaktyka 4:



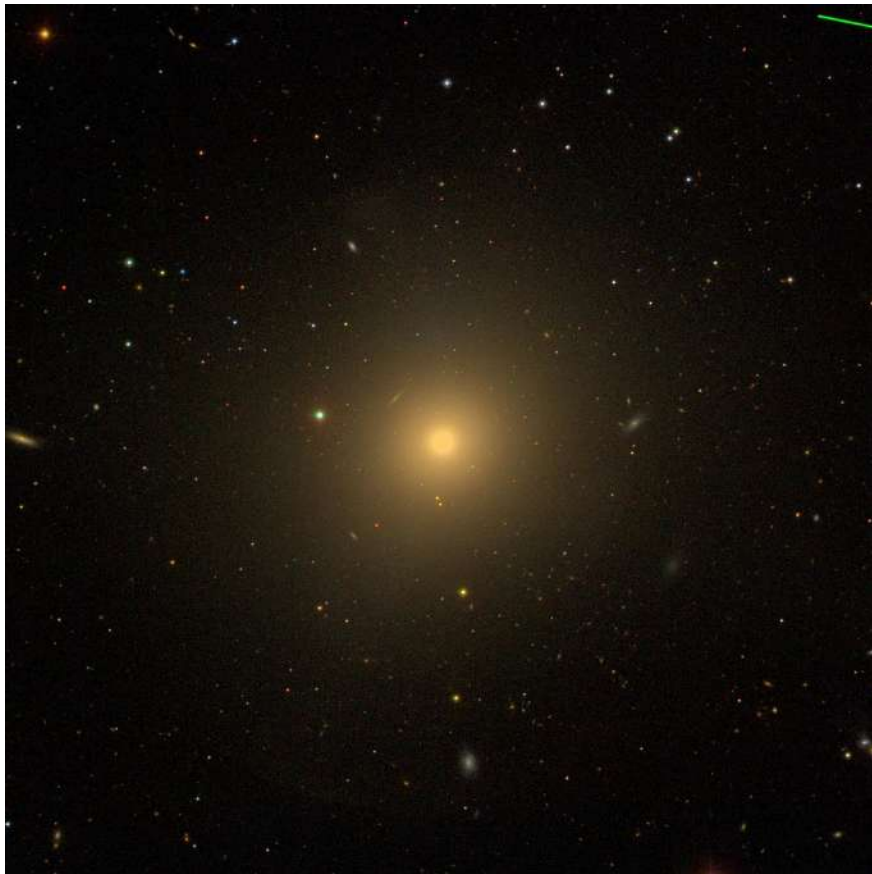
Galaktyka 5:



Galaktyka 6:



Galaktyka 7:



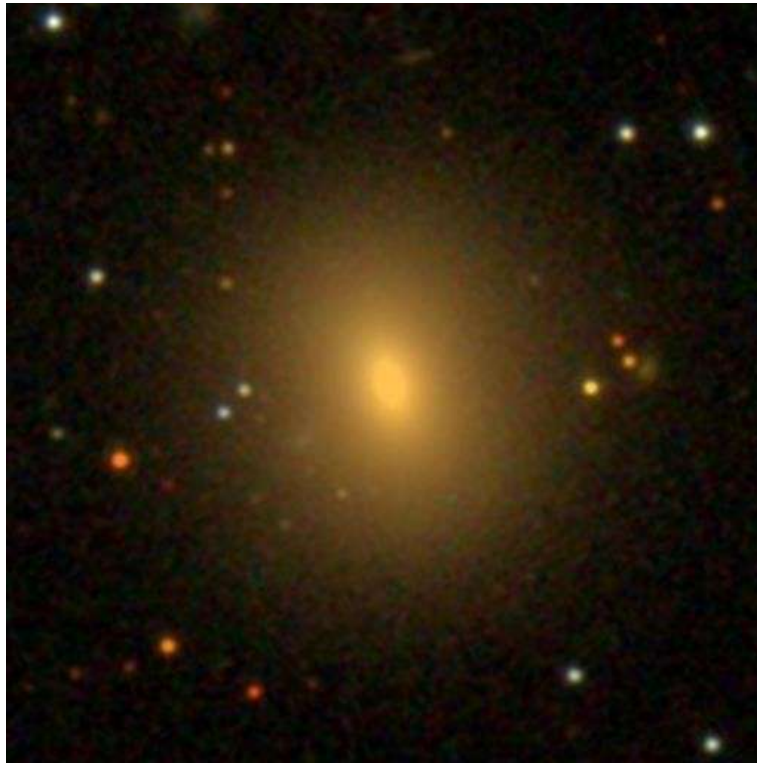
Galaktyka 8:



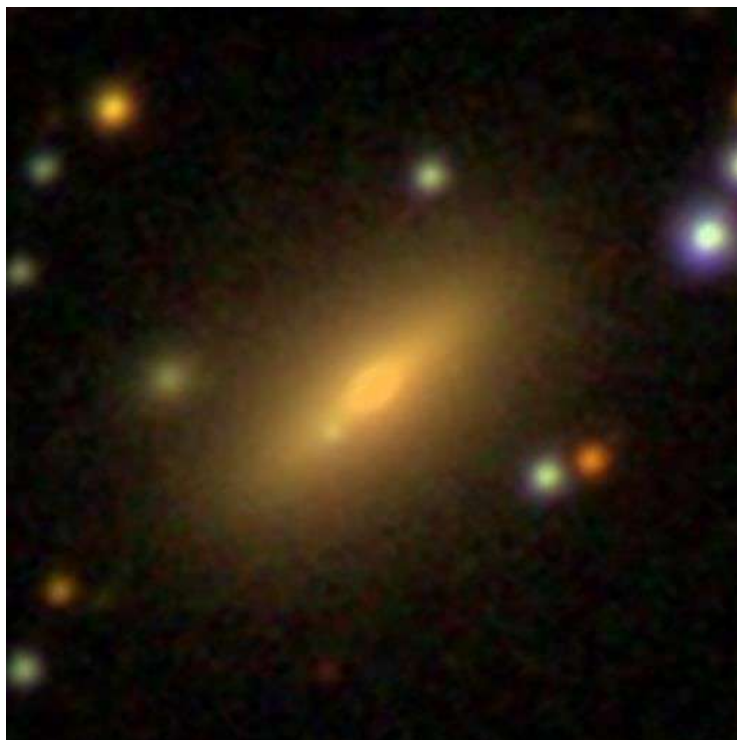
Galaktyka 9:



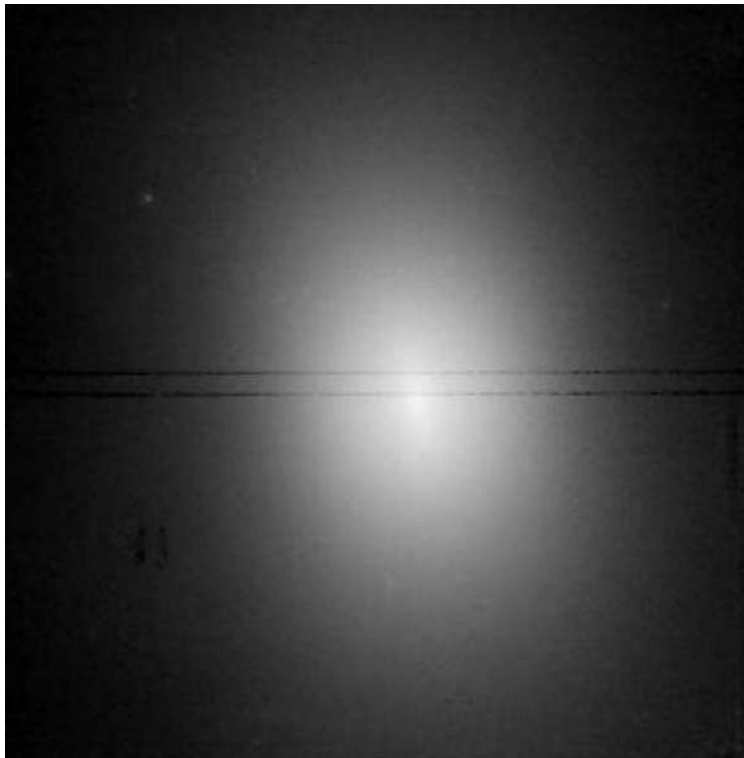
Galaktyka 10:



Galaktyka 11:



Galaktyka 12:



Galaktyka 13:

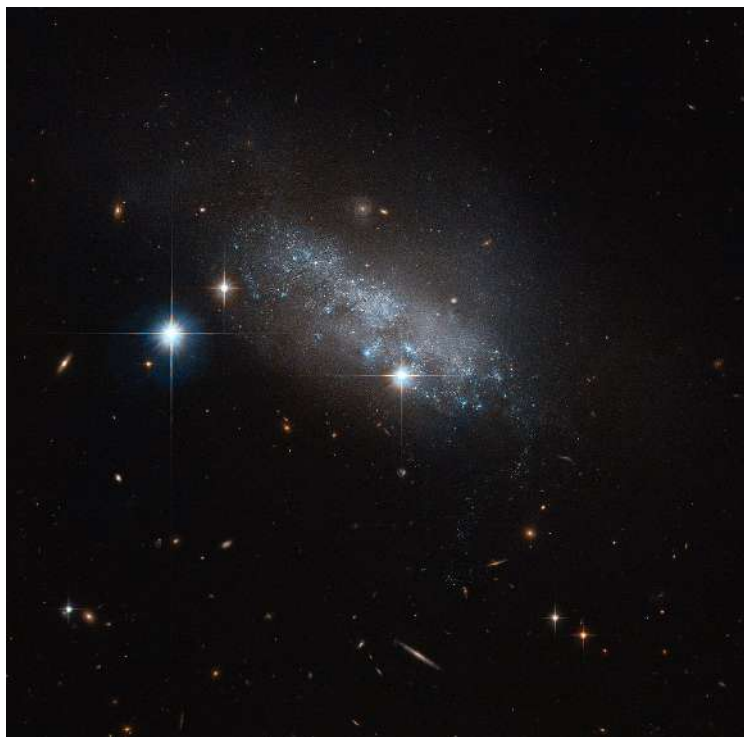




Galaktyka 14:



Galaktyka 15:



**Do przemyślenia:**

1. Dowiedz się więcej na temat historii obserwacji galaktyk i ich ewolucji, czytając artykuł Ronalda Buty 'Galaxy Morphology' (w szczególności rozdziały 1, 2, 3) dostępny na stronie <https://arxiv.org/pdf/1102.0550.pdf>. W razie problemów ze zrozumieniem skorzystaj z jednego z popularnych silników tłumaczących, np. DeepL, ChatGPT, Google Translate.
2. Galaktyki eliptyczne mogą zostać omyłkowo sklasyfikowane jako soczewkowate – kolejny typ galaktyk dodany do oryginalnej klasyfikacji Hubble'a. To samo może się stać, gdy patrzymy na galaktykę spiralną z boku, czyli obserwujemy ją prostopadle do jej osi rotacji. Przeczytaj więcej na ten temat i zastanów się, czy w podanych przykładach mogą być także galaktyki soczewkowate?