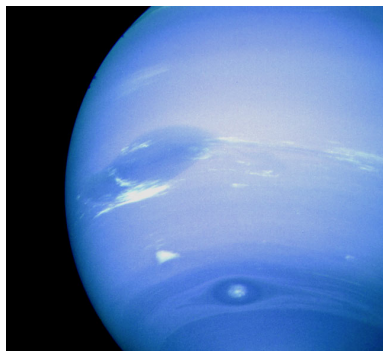


# Zdjęcia w astronomii

William J. PEARSON\*

\*Narodowe Centrum Badań Jądrowych,  
Departament Badań Podstawowych,  
Zakład Astrofizyki



Rys. 1. W rzeczywistości Neptun nie jest ciemnoniebieski. O prawdziwym kolorze Neptuna pisaliśmy w  $\Delta_{24}^8$ . Źródło obrazu: NASA/JPL-Caltech

Astronomia dostarcza nam wiele niesamowitych zdjęć. Od pięknych galaktyk poprzez mgławice, czarne dziury aż po planety Układu Słonecznego. Jednak nie wszystko jest takie, jak się wydaje. Galaktyki, gwiazdy i planety, które widzimy na zdjęciach, są prawdziwe i faktycznie istnieją. Jednak prawie wszystkie kolory prezentowane na zdjęciach są „nieprawdziwe”. Na przykład Neptun nie jest tak naprawdę ciemnoniebieski (jak na zdjęciu obok, rys. 1), ale bardziej zielonkawo-bładoniebieski. Przyczyn, dla których używamy fałszywych kolorów w astronomii, jest kilka, ale główną jest fakt, że obrazy cyfrowe (RGB) są ograniczone do kombinacji trzech kolorów: czerwonego, zielonego i niebieskiego. Natomiast obrazy astronomiczne mogą być wykonywane w dowolnym kolorze (a konkretniej, w dowolnym paśmie widma promieniowania elektromagnetycznego). Ponadto kolory w obrazach RGB przyjmują wartości tylko od 0 do 255, podczas gdy w obrazach astronomicznych te wartości mogą być tak naprawdę dowolne.

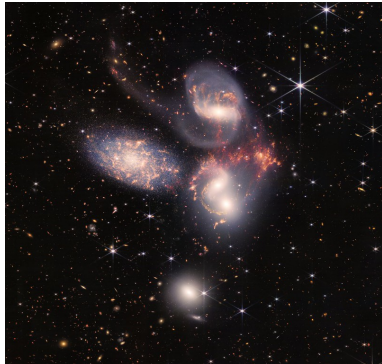
## Czym jest kolor na zdjęciu astronomicznym?

Promieniowanie emitowane przez obiekty astronomiczne zawiera się nie tylko w granicach pasma optycznego. Na przykład galaktyki emitują promieniowanie w zakresie od wysokoenergetycznych promieni gamma do fal radiowych o niskiej energii. Ludzkie oko jest w stanie dostrzec tylko niewielką część pełnego spektrum elektromagnetycznego, a zatem nie może zobaczyć promieni gamma ani fal radiowych. Na wszelkiego rodzaju ekranach oraz papierze również nie jesteśmy w stanie odtworzyć tych części widma elektromagnetycznego (i tak nie moglibyśmy ich zobaczyć, nawet gdyby było to możliwe). Natomiast nasze teleskopy mogą „zobaczyć” wszystkie te długości fal. Możemy obserwować promienie gamma za pomocą urządzeń takich jak Cherenkov Telescope Array lub fale radiowe za pomocą urządzeń takich jak Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. Sytuacja staje się jeszcze bardziej skomplikowana, gdy weźmie się pod uwagę, że teleskopy optyczne, np. Teleskop Kosmiczny Hubble’a, nie robią kolorowych zdjęć (jak aparat w telefonie). Zamiast tego wykonują zdjęcia jednokolorowe w określonych pasmach promieniowania elektromagnetycznego: na przykład czerwonym ( $r$ ) lub niebieskim ( $u$ ). Inaczej mówiąc, teleskopy astronomiczne nie wykonują zdjęć wielokolorowych. Aby uzyskać piękne wielokolorowe zdjęcia RGB, które często można zobaczyć w mediach, astronomowie łączą zdjęcia wykonane w różnych pasmach (kolorach).

Dzieje się tak z wielu powodów. Różne pasma promieniowania elektromagnetycznego dostarczają różnych informacji o danym obiekcie astronomicznym. Na przykład pasma optyczne pokazują aktualne rozmieszczenie gwiazd w galaktykach, podczas gdy pasma ultrafioletowe i podczerwone pokazują miejsca, gdzie powstają nowe gwiazdy. Gdyby astronom chciał sprawdzić, gdzie w galaktyce powstają nowe gwiazdy w odniesieniu do tego, gdzie znajdują się obecne gwiazdy, to chciałby zobaczyć dane ultrafioletowe, dane optyczne  $r$  i dane w podczerwieni na jednym obrazie. Może to zrobić, wybierając jakiś jeden kolor dla każdego z tych różnych pasm. Na przykład danym ultrafioletowym przypisze kolor niebieski na ostatecznym obrazie, danym optycznym w paśmie  $r$  przypisze kolor zielony, a danym podczerwonym kolor czerwony (przykład różnego przypisania kolorów znajduje się na rys. 2). Wybór ten jest nieco arbitralny, więc inny astronom może ustawić dane optyczne  $r$  jako niebieskie, podczerwone jako zielone, a ultrafioletowe jako czerwone. Taki obraz nie będzie „piękny”, ale za to będzie niósł wiele informacji interesujących astronoma. To oczywiście tylko przykład. Zazwyczaj w zdjęciach zachowuje się kolejność kolorów: danym o większej długości fali przypisuje się kolor czerwony, danym o pośredniej długości fali zielony, a danym o krótkiej długości fali kolor niebieski.



Rys. 2. Jedna z galaktyk Kwintetu Stefana. Na zdjęciu po lewej stronie promieniowaniu podczerwonym przypisano kolor czerwony, promieniowaniu o pośrednich długościach fali przypisano kolor zielony, a promieniowaniu o krótkich długościach fali przypisano kolor niebieski. Na zdjęciu po prawej stronie przypisano kolory odwrotnie: długim falom kolor niebieski, pośrednim zielony, a krótkim czerwony. Źródło zdjęcia: NASA, ESA, CSA, STScI oraz W. J. Pearson



Rys. 3. Ten obraz Kwintetu Stefana składa się ze zdjęć wykonanych w ośmiu pasmach promieniowania elektromagnetycznego, z których większość znajduje się w podczerwieni i nie jest widoczna dla ludzi. Źródło obrazu: NASA, ESA, CSA oraz STScI

Kolory fioletowy, turkusowy i pomarańczowy są kombinacjami kolorów czerwonego, zielonego i niebieskiego na obrazie RGB.

Trochę inaczej sprawa ma się, gdy zdjęcie astronomiczne tworzy się w celu wywołania zachwyty u szerokiego grona odbiorców niebędących astronomami. W tym przypadku priorytetem jest, aby obraz wyglądał ładnie i niekoniecznie był przydatny naukowo. Osoba odpowiedzialna za stworzenie takiego obrazu wybierze tylko te pasma, w których dany obiekt astronomiczny będzie najbardziej atrakcyjny wizualnie. Na przykład w niektórych długościach fali będą widoczne pewne atrakcyjne detale na powierzchni planety. W takim przypadku pasma, które pokazują te detale, zostaną wykorzystane do utworzenia obrazu. Przypisanie kolorów będzie teraz mniej istotne naukowo, dlatego twórca zdjęcia skupi się na takim doborze kolorów, aby ostateczny obraz wyglądał jak najładniej.

Nie wszystkie pasma wykorzystane do stworzenia końcowego obrazu zawierają się w zakresie widocznym dla ludzkiego oka. W tym wypadku musimy sprawić, aby niewidoczne stało się widoczne. W powyższym przykładzie obszarów formowania się gwiazd wykorzystano niewidzialne (dla człowieka) światło ultrafioletowe i podczerwone. Gdyby astronomowie byli zmuszeni do używania tych samych kolorów, które zostały zaobserwowane, nigdy nie zobaczylibyśmy niewidocznych części widma elektromagnetycznego i przegapilibyśmy ogromną większość informacji dostępnych z kosmosu.

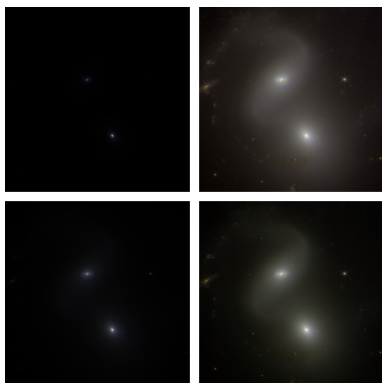
Jeśli astronom chce stworzyć obraz końcowy z więcej niż trzech zdjęć w różnych pasmach (na przykład obraz Kwintetu Stefana wykonany przez Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba, widoczny na rysunku obok, zawiera dane z 8 pasm) musi do podstawowych trzech kolorów: czerwonego, zielonego i niebieskiego, dołożyć dodatkowe kolory: na przykład fioletowy, turkusowy lub pomarańczowy. Alternatywnie może wykorzystać „kolory astronomiczne”, czyli różnicę wartości sygnału pomiędzy dwoma pasmami, takimi jak na przykład  $u - r$ , przypisać do kanału czerwonego, zielonego lub niebieskiego.

### Jasność i kontrast zdjęć astronomicznych

Astronomowie dokonują również edycji względnej jasności pikseli podczas tworzenia obrazów RGB. Dane astronomiczne są dużo bardziej szczegółowe niż typowe zdjęcie RGB w naszym komputerze. Zmierzone przez teleskop wartości naświetlenia pojedynczego piksela mogą mieć rozdzielczość od 0 do 100 000, a często nawet większą. Wartości pikseli w obrazie RGB mogą mieć tylko wartości czerwone, zielone i niebieskie w zakresie od 0 do 255 (w kodowaniu 8-bitowym). Aby „przetłumaczyć” obraz astronomiczny na obraz RGB, konieczne jest zastosowanie mapowania między danymi astronomicznymi a wartościami 0–255 dostępnymi w obrazach RGB.

Jednym ze sposobów jest liniowe skalowanie obrazów. Zasada takiego skalowania jest prosta. Należy przyporządkować największej wartości w danych astronomicznych (na przykład 100 000) wartość 255, a najmniejszej wartości (na przykład 10) przyporządkować 0 i dopasować liniowo wszystko pomiędzy. Metoda ta zadziała, ale niestety niezbyt dobrze. Trudność jest taka, że w danych astronomicznych zazwyczaj nie ma wielu jasnych pikseli w porównaniu do ilości pikseli o słabym sygnale. W rezultacie końcowy obraz RGB będzie miał jeden jasny punkt otoczony ciemnością. W tej ciemności będą znajdowały się detale, które chcemy zobaczyć.

Jednym z rozwiązań tego problemu jest przycięcie danych. Zamiast przyporządkowywać najjaśniejszej wartości w danych astronomicznych liczbę 255, wybierana jest mniejsza wartość (na przykład 10 000 zamiast 100 000), której ma odpowiadać 255. Każda wartość w danych astronomicznych, która jest wyższa niż to wybrane odcięcie (czyli w tym przykładzie 10 000), jest również ustawiana na 255. Podobnie, zamiast tłumaczyć najsłabszą wartość na 0, wybierana jest większa wartość (na przykład 100), której przyporządkowujemy wartość 0, a wszystkim wartościom poniżej tej granicy również przypisujemy wartość 0. Może to pomóc wydobyć miejsca o słabszym sygnale, ale może również „stworzyć” brzydko wyglądające plamy na ostatecznym obrazie, w miejscach, gdzie dane astronomiczne nasyciły przestrzeń kolorów RGB.



Rys. 4. Dwie galaktyki Kwintetu Stefana. Na zdjęciach zastosowano skalowanie liniowe (lewy górny róg), logarytmiczne (prawy górny róg), pierwiastkowe (lewy dolny róg) i odwrotności sinusa hiperbolicznego (prawy dolny róg). Źródło obrazu: NASA, ESA, CSA, STScI oraz W. J. Pearson



Lupton R. et al., 2004, The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 116, Issue 816.

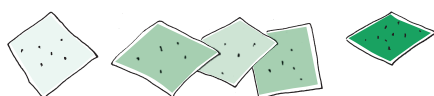


Alternatywnie można zastosować skalowanie nieliniowe – zazwyczaj skalowanie logarytmiczne, pierwiastkowe lub odwrotności sinusa hiperbolicznego (*arsinh*). Tak przeskalowane wartości są następnie odwzorowywane liniowo w zakresie 0–255. Zmniejsza to zakres dynamiki jasnych części danych astronomicznych i zwiększa zakres dynamiki bledszych części danych. W rezultacie słabsze struktury w danych stają się bardziej widoczne.

Obie te metody, przycinania danych i stosowania nieliniowego skalowania, są wykorzystywane do tworzenia obrazów astronomicznych. Popularna metoda skalowania Luptona *arsinh* skaluje dane astronomiczne przed ich przycięciem. Odbywa się to dla każdego pasma używanego indywidualnie, aby uwydatnić pewne cechy.

### Podsumowanie

Wynik wszystkich tych zabiegów jest taki, że obrazy astronomiczne, które widzimy na stronach internetowych lub w telewizji, nie są do końca prawdziwe. Nie odzwierciedlają obrazu, który zobaczylibyśmy, patrząc na dany obiekt bezpośrednio gołym okiem z odpowiedniej odległości, ponieważ kolory i jasności na zdjęciu zostały „podrasowane” w procesie obróbki cyfrowej. To, co jest prawdziwe, to dane i obserwacje astronomiczne. Obiekty widoczne na tych zdjęciach są prawdziwe. Istnieją w przestrzeni kosmicznej. Ich zdjęcia zostały po prostu wykonane tak, aby wyglądały imponująco, podkreślały pewne detale lub pokazywały szczegóły, których inaczej nie byłibyśmy w stanie zobaczyć.



## Zadania

Przygotował Dominik BUREK

**M 1795.** Liczbę całkowitą dodatnią nazywamy *dobrą*, jeśli wśród jej dzielników znajdują się dokładnie dwie liczby pierwsze. Udowodnić, że wśród dowolnych 18 kolejnych liczb całkowitych dodatnich co najmniej jedna z liczb nie jest dobra.

**M 1796.** Kwadratowa plansza jest podzielona na  $n^2$  prostokątnych pól za pomocą  $n - 1$  prostych poziomych i  $n - 1$  prostych pionowych. Pola pomalowane są w szachownicę. Wiadomo, że na jednej przekątnej wszystkie pola są czarne i kwadratowe. Udowodnić, że całkowita powierzchnia wszystkich czarnych pól jest nie mniejsza niż całkowita powierzchnia wszystkich białych pól.

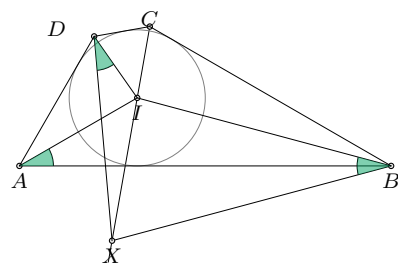
**M 1797.** Punkt  $I$  jest środkiem okręgu wpisanego w czworokąt wypukły  $ABCD$ . Udowodnić, że na prostej  $CI$  istnieje punkt  $X$  taki, że

$$\sphericalangle XBI = \sphericalangle XDI = \sphericalangle BAI.$$

Przygotował Andrzej MAJHOFER

**F 1105.** Mgła jest zawiesiną kropelek wody w powietrzu. Oszacuj gęstość mgły  $n$ , to jest liczbę kropelek o średnicy  $d = 20 \mu\text{m}$  w metrze sześciennym powietrza, jeśli skutkiem mgły jest ograniczenie widoczności do  $l = 100 \text{ m}$ . Jaka masa kropelek mgły (wody) zawarta jest w metrze sześciennym powietrza? Gęstość wody  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

**F 1106.** Soczewka skupiająca tworzy rzeczywisty obraz przedmiotu. Poprzeczne rozmiary obrazu są  $p$  razy większe od rozmiarów przedmiotu. Ile wynosi powiększenie podłużne obrazu? Po obu stronach soczewki znajduje się ten sam ośrodek (powietrze).



Rozwiązania na str. 24