

Wszechświat w mojej kieszeni

Rozszyfrowywanie światła gwiazd



Nr 30

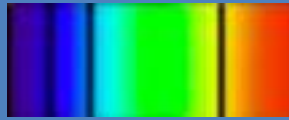
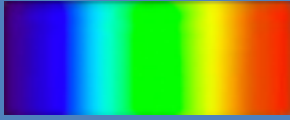
Grażyna Stasińska
Obserwatorium w Paryżu

Rodzaje widm

widmo ciągłe

widmo z liniami absorpcyjnymi

widmo z liniami emisyjnymi



gaz

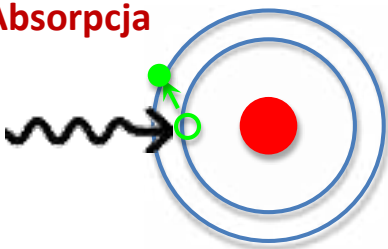
białe światło

białe światło

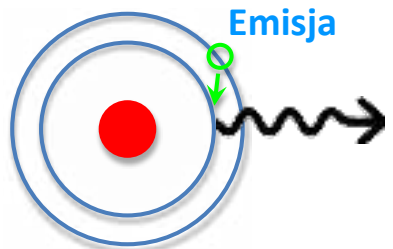
Foton ("ziarno światła") może wzbudzić atom poprzez przeniesienie elektronu na wyższy poziom energetyczny. Jeśli foton ma wystarczającą energię, może zjonizować atom, tzn. usunąć elektron z atomu. W obu przypadkach foton jest **pochłaniany**.

W procesie odwrotnym, deekscytacji lub **rekombinacji**, następuje **emisja** fotonu.

Absorpcja



Emisja

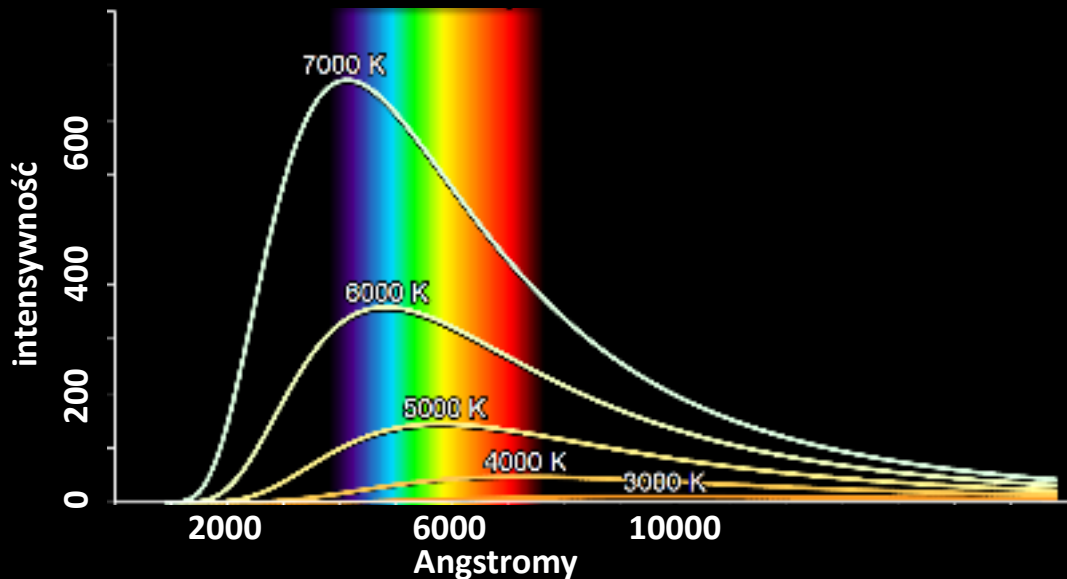


W 1835 roku francuski filozof Auguste Comte stwierdził, że nigdy nie dowiemy się z czego zbudowane są gwiazdy.

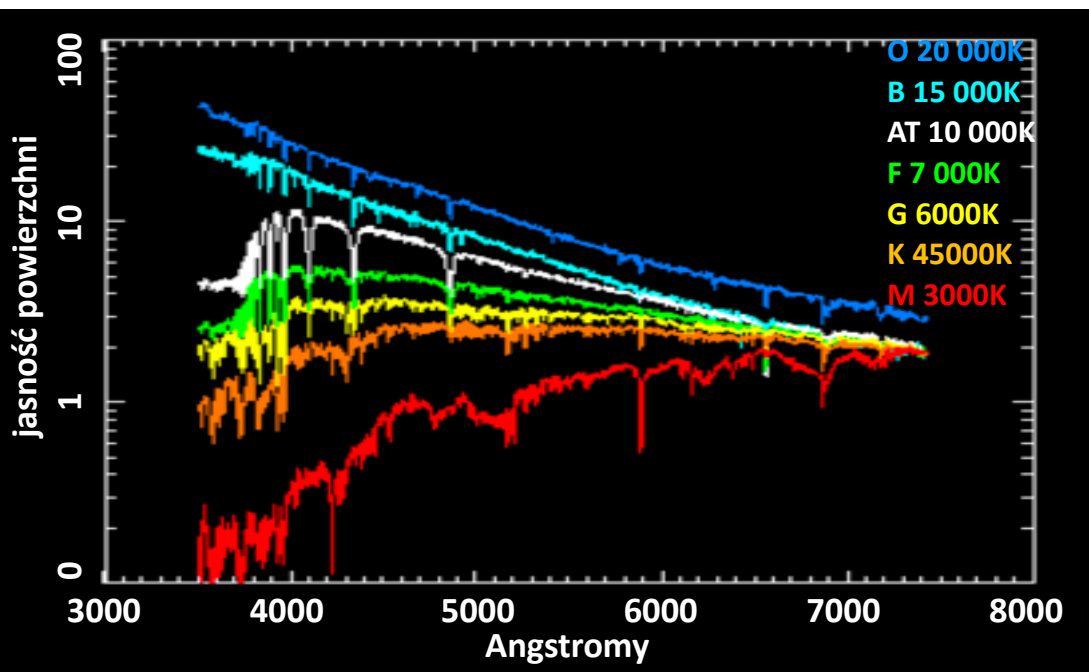
Jednak już Isaac Newton wykazał, że jeśli wiązkę światła ze Słońca rozdzieli się przez pryzmat, to otrzyma się plamę o kolorach tęczy: "**widmo**" (patrz TUIMP 2).

W 1814 roku Joseph von Fraunhofer zbudował spektrograf, którym odkrył ponad 500 ciemnych **linii** w widmie Słońca. Jednak dopiero w 1860 roku Gustav Kirchhoff wykazał, że linie te pochodzą od pierwiastków chemicznych znajdujących się w górnych warstwach Słońca. Wkrótce potem rozpoczęto identyfikację tych linii, co zaprzeczyło pesymistycznym przewidywaniom Comte'a.

Był to początek astrofizyki, dziedziny astronomii zajmującej się badaniem natury gwiazd poprzez analizę emitowanego przez nie promieniowania.



Natężenie promieniowania gorącego ciała w funkcji długości fali dla różnych wartości temperatury.



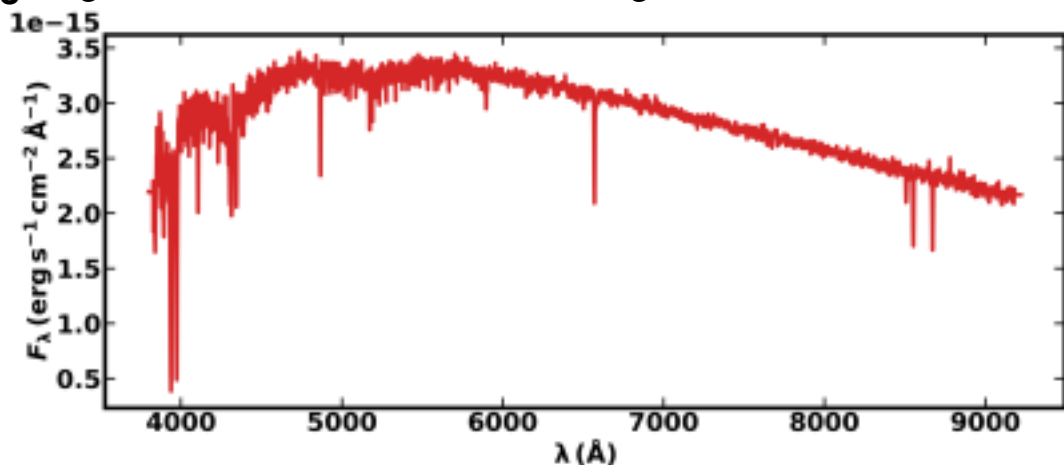
Widma gwiazd różnych typów w zakresie światła widzialnego.

Temperatury gwiazd

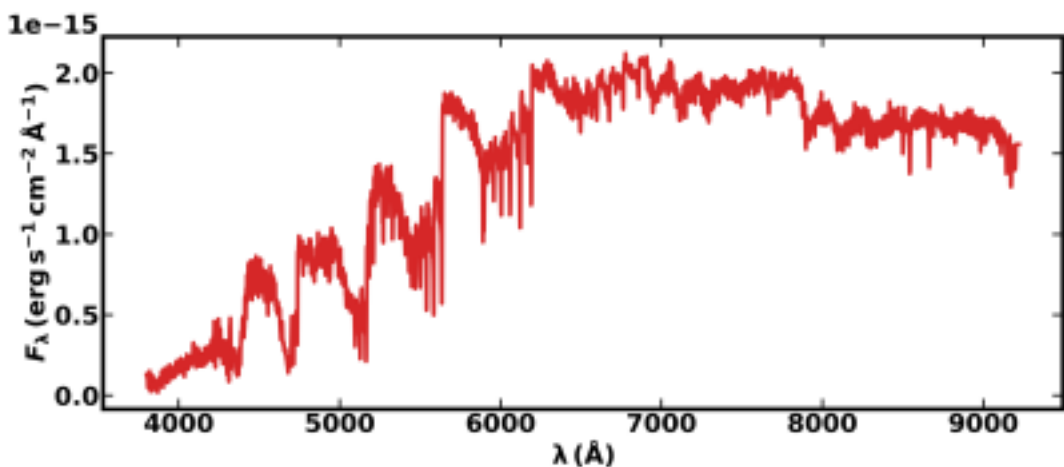
Nie wszystkie gwiazdy mają ten sam kolor. Te chłodniejsze są czerwone. Najgorętsze są niebieskie. Słońce, o temperaturze powierzchni 5500°C (5800 K), jest żółte. Różnice w kolorach wynikają z tego, że kształt widma promieniowania gwiazdy zmienia się w zależności od temperatury, jak pokazano na rysunku na przeciwnej stronie.

Poniżej znajdują się widma widzialne prawdziwych gwiazd różnych typów (O, B, A, F, G, K, M). Każdy typ ma swoją charakterystyczną temperaturę. Oprócz ogólnego rozkładu natężenia promieniowania występują również linie **absorpcyjne** o różnej głębokości, spowodowane obecnością pierwiastków występujących w atmosferze gwiazd w postaci atomów lub jonów.

Oto widma dwóch gwiazd, które różnią się jedynie składem chemicznym.



Powyżej: gwiazda typu G o normalnym składzie (podobna do Słońca).



Powyżej: gwiazda typu G z powierzchnią bardzo bogatą w węgiel (wytwarzany we wnętrzu gwiazdy i wynoszony na powierzchnię przez konwekcję). Głębokie, szerokie linie i depresja przy krótszych falach są wynikają z obecności molekuł węgla.

Skład gwiazd

Dziś, dzięki liniom **absorpcyjnym** obserwowanym w widmach gwiazd, astronomowie wiedzą, jakie pierwiastki są obecne w ich atmosferach i mogą zmierzyć ich liczebność.

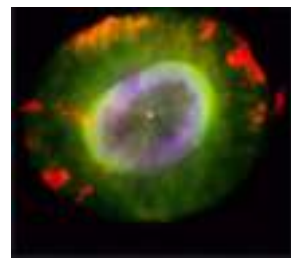
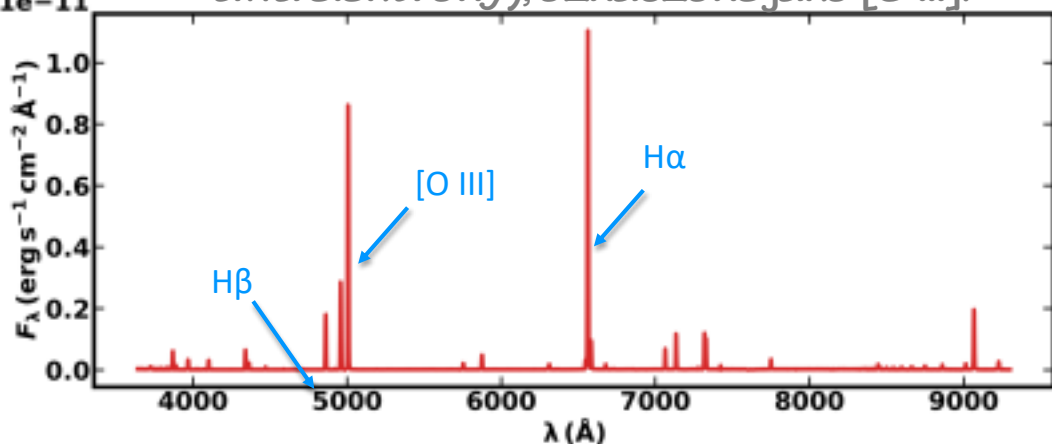
Skład chemiczny atmosfery gwiazdy jest zasadniczo identyczny ze składem obłoku molekularnego, w którym gwiazda się uformowała. Wnętrze gwiazdy ma inny skład chemiczny niż atmosfera ze względu na zachodzące tam reakcje nukleosyntezy (patrz **TUIMP14**), ale nie jest to mierzone bezpośrednio.

Ogólnie rzecz biorąc, widać, że gwiazdy mają skład chemiczny podobny do Słońca. Jednak gwiazdy w najbardziej oddalonych częściach Galaktyki są zwykle mniej bogate w pierwiastki cięższe od helu, ponieważ są mniej wzbogacone w produkty nukleosyntezy.

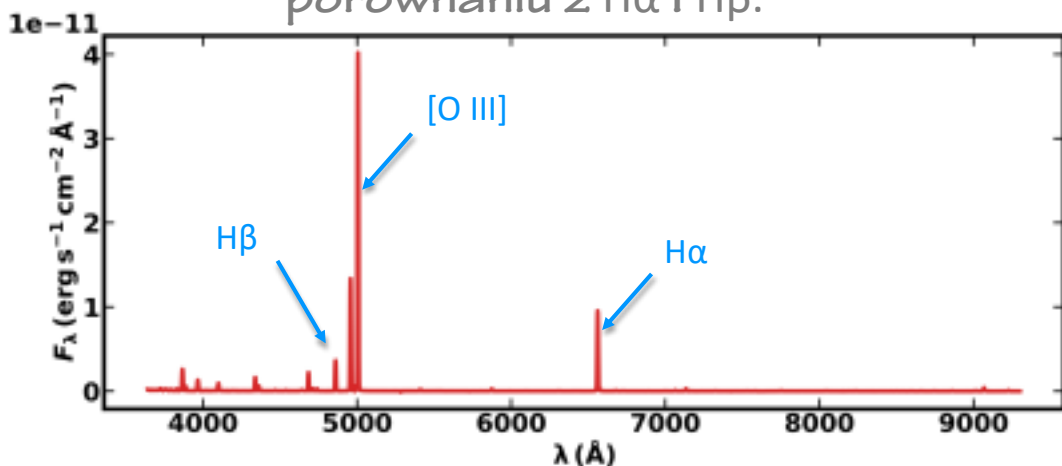


(ESA/Hubble)

Mglawica planetarna Hb 1 2, zjonizowana przez gwiazdę o temperaturze 48 000 K. Najsilniejsze linie w jej widmie to linie **rekombinacji** wodoru $H\alpha$ i $H\beta$ oraz **zakazane** linie jonów O^{++} (atom tlenu, który stracił dwa elektrony), oznaczone jako $[O III]$.



Mglawica planetarna NGC 7662 zjonizowana przez gwiazdę o temperaturze 130 000 K. Ponieważ gwiazda ta jest gorętsza, wytwarza większą ilość jonów O^{++} , a linie $[O III]$ są bardziej intensywne w porównaniu z $H\alpha$ i $H\beta$.



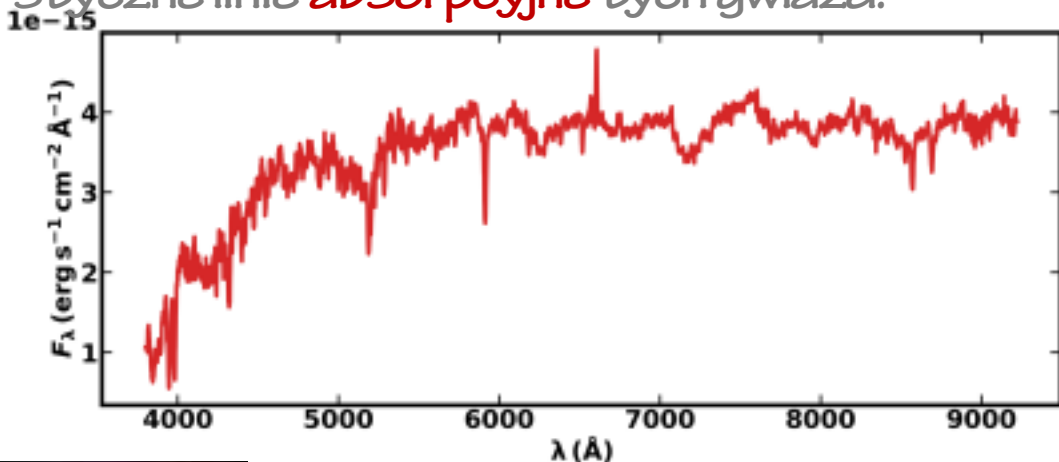
Widma zjonizowanych mgławic

Mgławice są obłokami rozproszonego gazu. Mogą być zjonizowane przez młode masywne gwiazdy o temperaturze około 40 000 K (są to "regiony HII") lub przez mniej masywne, wyewoluowane gwiazdy, których temperatura może przekraczać 100 000 K (są to "mgławice planetarne"). Widma zjonizowanych mgławic bardzo różnią się od widm gwiazdowych. Podczas gdy te ostatnie pokazują głównie linie **absorpcyjne**, większość światła w mgławicach jest **emitowana** w zaledwie kilku liniach, które pochodzą albo z **rekombinacji** wodoru i helu, albo ze **zderzeń** z elektronami swobodnymi w gazie.

Te **kolizyjne** linie nie są obserwowane w gwiazdach i początkowo przypisywano je nieznanemu pierwiastkowi, zwanemu "nebulium". Dopiero w 1928 r. Ira Bowen wykazał, że linie te pochodzą od znanych pierwiastków, ale występują tylko przy bardzo małych gęstościach. Nazwano je "**liniami zakazanymi**".

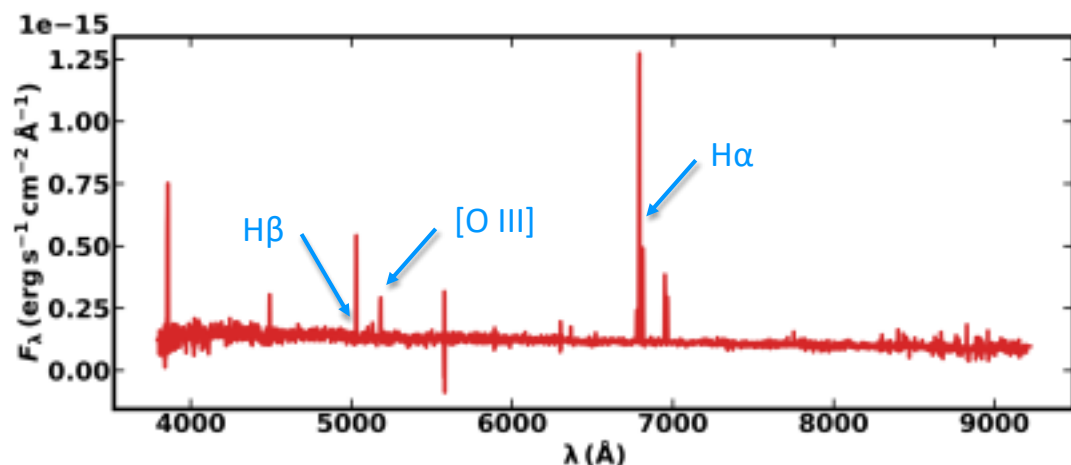
Galaktyka eliptyczna. Jej widmo, uzyskane w ramach Sloan Digital Survey (SDSS), wykazuje malejącą intensywność w kierunku krótszych długości fal, ponieważ większość gwiazd galaktyki mają kolor czerwony. Widoczne są charakterystyczne linie **absorpcyjne** tych gwiazd.

SDSS



Galaktyka spiralna. Jej widmo, ukazujące linie **emisyjne**, jest podobne do widma regionu HII.

SDSS



Widma galaktyk

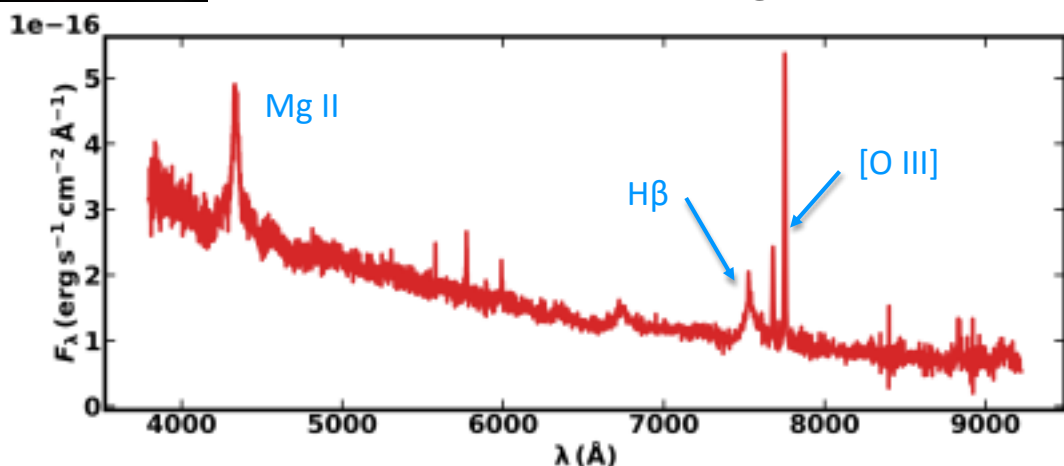
Galaktyka zawiera miliony lub nawet miliardy gwiazd i czasami gaz. Widmo galaktyki powinno zatem wyglądać jak kombinacja widm gwiazdowych i ewentualnie mgławicowych.

Galaktyki eliptyczne (patrz TUIMP 3 i 23) nie zawierają gazu i od dłuższego czasu nie powstały w nich nowe gwiazdy. Są one zamieszkane tylko przez stare, czerwone gwiazdy. Wszystkie masywne gwiazdy, które kiedyś w nich były, eksplodowały jako supernowe. Ich widma pokazują jedynie linie **absorpcyjne**.

Galaktyki spiralne zawierają gaz i masywne gwiazdy (typu **O** i **B**) zdolne do jonizacji gazu. Dlatego w ich widmach widoczne są intensywne linie **emisyjne**, nałożone na widmo zdominowane przez gorące gwiazdy.

SDSS

Kwazar znajdujący się w redshifcie z równym $0,548$, co odpowiada odległości około 10 miliardów lat świetlnych.



Przy tym przesunięciu ku czerwieni, linie są przesunięte w długości fali o ponad 50%. Na przykład, linia wodoru H β jest obserwowana na 7524 $\text{\AA}$, podczas gdy jej długość fali spoczynkowej wynosi 4861 $\text{\AA}$. Widzimy nawet linię zjonizowanego magnezu (Mg II), która nigdy nie pojawia się w widmach optycznych pobliskich galaktyk.

Niektóre linie (H β , Mg II) są bardzo szerokie, ponieważ powstają w pobliżu czarnej dziury, w strefie, gdzie prędkość rotacji sięga 20 000 km/s.

Widmo wznosi się ku błękitowi z powodu emisji z dysku akrecyjnego, który jest bardzo gorący.

Widma kwazarów

Kwazary są obiektami znajdującymi się w bardzo dużych odległościach i zawierają w swoim centrum supermasywną czarną dziurę, która przyciąga otaczającą ją materię (patrz TUIMP 6). Przed wpadnięciem do czarnej dziury, materia jest zwijana w "dysk akrecyjny" i podgrzewana do setek tysięcy stopni. Powoduje to wyraźnie niebieskie widmo.

Linie **emisyjne** ulegają poszerzeniu i przesunięciu ku czerwieni (przesunięcie to nazywane jest "redshiftem").

Poszerzenie i przesunięcie linii wynikają z efektu Dopplera (patrz TUIMP 15), który zmienia częstotliwość fali świetlnej w zależności od prędkości źródła wobec obserwatora. Linie są przesunięte ku czerwieni w wyniku recesji kwazarów spowodowanej rozszerzaniem się Wszechświata i poszerzone w wyniku rotacji materii wokół czarnej dziury.



Quiz

Który z tych obiektów ma linie emisyjne w jego widmie?



Odpowiedź na odwrocie



Obraz Słońca.
(prawa autorskie:
NASA).

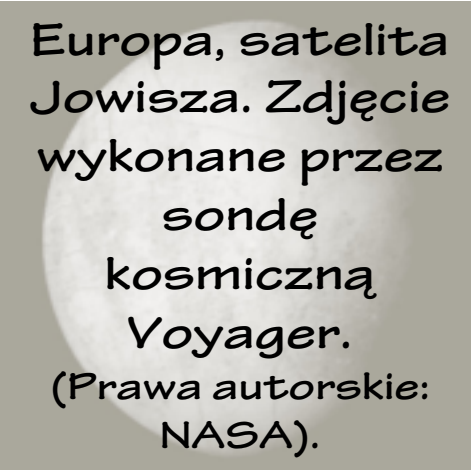


Gromada kulista
M80 (prawa
autorskie:
AURA/STScI/NASA).

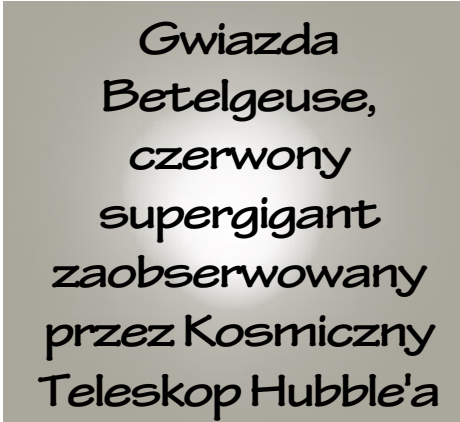


Mgławica
planetarna
Abell 39
(prawa autorskie:
NOAO).

Tylko
mgławica planetarna
posiada w swoim widmie
linie emisyjne.



Europa, satelita
Jowisza. Zdjęcie
wykonane przez
sondę
kosmiczną
Voyager.
(Prawa autorskie:
NASA).



Gwiazda
Betelgeuse,
czerwony
supergigant
zaobserwowany
przez Kosmiczny
Teleskop Hubble'a
(Prawa: NASA/AURA)

Wszystkie pozostałe
obiekty mają widma
podobne do gwiazdowych.

Wszechświat w mojej kieszeni Nr 30

Książeczka ta została napisana w 2021 roku przez Grażynę Stasińską z Obserwatorium Paryskiego, z pomocą Natalii Vale Asari (UFSC, Brazylia).

Zdjęcie na okładce: Widmo Słońca pocięte na pasma i ułożone jedno na drugim. Widać na nim wszystkie linie absorpcyjne powstałe w atmosferze Słońca w zakresie widzialnym. Jest to "kod kreskowy" Słońca. Widmo zostało uzyskane za pomocą teleskopu słonecznego w National Solar Observatory w Kitt Peak, Arizona (USA).



Aby dowiedzieć się więcej o tej kolekcji i tematach przedstawionych w tej książeczce, można odwiedzić stronę <http://www.tuimp.org>.

Tłumaczenie: Anna Wójtowicz
TUIMP Creative Commons

