Astrofizyka współczesna

Gwiazdy – obserwacje a teoria

Wykład 1. 6.X.2009

I. Wstęp

1. Astronomia jest nauką ścisłą (ang. science)

Nauka ścisła spełnia następujące warunki:

(1) używa ściśle zdefiniowanych terminów (nazw),
(2) jest ilościowa, oraz
(3) fakt (wynik *obserwacji*, dane) jest testem prawdy (hipotezy, teorii).

Astronomowie – w przeciwieństwie do fizyków – nie mogą przeprowadzać eksperymentów.

Ad (1) Terminy (nazwy)

- Można je zdefiniować "operacyjnie", tj. przez podanie procedury, która służy do ich wyznaczenia, albo "modelowo", tj. za pomocą modelu czy teorii. Przykład: lokalny układ odniesienia.
  Jeżeli termin jest nazwą nielicznej klasy obiektów, to można stosować definicję przez enumerację (wyliczenie).
- Zależą od czasu, a raczej – od aktualnego stanu wiedzy. Przykłady: "planeta", "gwiazda helowa".
- Niekiedy są wieloznaczne – znaczenie zależy wówczas od kontekstu, np. "olbrzym".
- Mogą znaczyć co innego niż w języku potocznym (mam na myśli język, jakiego używają ludzie dobrze wychowani i wykształceni), np. w języku potocznym "siła" i "moc" są używane zamiennie. Jednakże, nie można zrozumieć tekstu naukowego, jeżeli nie zna się języka potocznego. Odnosi się to także do języka angielskiego.

Ad (2)

- Wyniki pomiarów czy obserwacji wyraża się za pomocą liczb,
- wyniki teorii tak samo,
- w obu przypadkach należy podać oszacowanie dokładności;
- obrazki i animacje to nie nauka lecz dydaktyka.

Ad (3)

- Hipotezy czy teorii nie można udowodnić; można wykazać, że jest nieprawdziwa,
- wynik obserwacji, który potwierdza teorię jest mało interesujący; postęp dokonuje się dzięki obserwacjom, które nie zgadzają się z teorią.

2. Gwiazdy

- Jedyna gwiazda, której powierzchnię możemy badać szczegółowo to Słońce.
- Kilkadziesiąt gwiazd jest na tyle blisko i ma tak duże rozmiary, że ich średnice kątowe zmierzono interferometrycznie; w niektórych przypadkach interferometria pozwala nawet "zobaczyć" na nich niejednorodności (plamy).
- Pozostałe gwiazdy są świecącymi punktami.
- Mimo to umiemy wyznaczać ich masy, promienie, temperatury, moce promieniowania, powierzchniowy skład chemiczny itd. (Dla niektórych gwiazd o znanych średnicach kątowych promienie, temperatury i moce promieniowania da sie wyznaczyć z definicji tych wielkości.)
- Dzięki tym danym możemy konstruować modele gwiazd.
- Wiemy też, że gwiazdy występują w wielu odmianach.
- Z naszego punktu widzenia, tj. porównania obserwacji i teorii, szczególnie ważne są gwiazdy zmienne.

3. Plan wykładu i zakres materiału, konspekty, zadania, literatura, seminarium do wykładu, pytania egzaminacyjne

- Plan wykładu i zakres materiału: najbliższe wykłady będą poświęcone masom gwiazd, a następne – odległościom i promieniom. Potem przedyskutujemy strumienie, temperatury efektywne, moce promieniowania i poprawki bolometryczne. Nastpnie będzie mowa o wnioskowaniu z widma. Na koniec zostawiamy asterosejsmologię.
- Bieżące konspekty będą umieszczane na stronie internetowej Instytutu.
- Od czasu do czasu pojawią się zadania.
- Odsyłacze do literatury będę podawał w trakcie wykładu.
- Spis literatury zostanie umieszczony na stronie internetowej Instytutu.
- Seminarium do wykładu będzie prowadziła dr Ewa Niemczura.
- Pytania egzaminacyjne zostaną umieszczone w Internecie.

II. Masy gwiazd

1. Wstęp

- Obecny stan gwiazdy zależy od jej wieku, początkowej masy i początkowego składu chemicznego.
- Przypomnienie: elipsa i prawa Keplera.

2. Słońce

- Zacznijmy od trzeciego prawa Keplera, które napiszemy w postaci:

$$\frac{4\pi^2 a^3}{T^2} = k^2(1+M), \tag{1}$$

gdzie a jest wielką półosią orbity punktu materialnego o masie M, wyrażonej w jednostkach masy Słońca, $\mathrm{M}_\odot$, T jest okresem orbitalnym (gwiazdowym), wyrażonym w dniach (ściślej, dobach), a k jest tzw. stałą grawitacyjną Gaussa.
- Dynamiczna definicja jednostki astronomicznej, A, jest następująca: a w rów. (1) jest wyrażone w A, jeżeli $k = 0.01720209895$.
- Odległości planet w układzie słonecznym mierzy się obecnie radarowo. Z tych pomiarów wyznaczono czas, τ_A, jakiego potrzebuje światło na przebycie jednostkowej odległości, tj. A. Okazało się, że

$$\tau_\mathrm{A} = 499.004782 \pm 0.000006 \text{ s}. \tag{2}$$

- W 1976 r. MUA (ang. IAU) przyjęła powyższą wartość jako jedną ze stałych w systemie stałych astronomicznych. (Patrz *The Astronomical Almanac Online* http://asa.usno.navy.mil/SecK/1976/IAU_1976.pdf). Ponieważ prędkość światła w próżni jest równa (defincja z 1983 r.) $c = 299792458 \text{ m s}^{-1}$, więc

$$\mathrm{A} = 149597870 \pm 2 \text{ km}. \tag{3}$$

- Podstawienie roku gwiazdowego i masy układu Ziemia-Księżyc do rów. (1) daje a = 1.000000036 A. A więc, jednostka astronomiczna nie równa się średniej odległości Ziemi od Słońca.
- Znamy odległości i gwiazdowe okresy orbitalne, więc z trzeciego prawa Keplera możemy wyliczyć masę Słońca. Jednakże, dokładną wartość otrzymujemy dla tzw. heliocentrycznej stałej grawitacyjnej $G\mathrm{M}_\odot = (1.32712440 \pm 0.0000000005) \times 10^{20} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$.
- Według Gundlacha & Merkowitza (2000)

$$G = (6.674215 \pm 0.000092) \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}. \tag{4}$$

- A więc, masa Słońca

$$\mathrm{M}_\odot = G\mathrm{M}_\odot/G = (1.988435 \pm 0.000027) \times 10^{30} \text{ kg}. \tag{5}$$

- Dokładność.
  Liczby, które znajdują się po "±" to tzw. odchylenia standardowe, często oznaczane grecką literą σ. Jeżeli rozkład wyników pomiarów wielkości Y jest gaussowski, a y jest oszacowaniem Y (np. średnią z wielu pomiarów), to prawdopodobieństwo, że $y - \sigma < Y < y + \sigma$ równa się ok. 68 %.

Zadanie 1. Stix (2002) podaje $G = (6.67259 \pm 0.00085) \times 10^{-11}$ m^{3}kg^{-1}s^{-2}. Wyliczyć $M_\odot$ i odchylenie standardowe używając tej wartości.

Zadanie 2. Wyrazić k przez G.

3. Gwiazdy (układy) wizualnie podwójne z orbitami absolutnymi i paralaksą

Literatura: van de Kamp (1958)
Internet: www.chara.gsu.edu/CHARA, ad.usno.navy.mil./wds/dsl.html
(dsl=double star library)

- Pomiary separacji, ρ, i kąta pozycyjnego, ϑ,
- orbita względna widoma,
  Przykłady: Kastor, ξ Boo (Burnham 1978)
- orbita względna,
- paralaksa (odległość) i suma mas,
- obserwacje względem zewnętrznego układu odniesienia, orbity w układzie inercjalnym (tzw. absolutne), stosunek mas,
- masy składników,
- elementy orbity gwiazdy wizualnie podwójnej (Rybka 1983, str. 376).

  Przykłady: Table 1 z Söderhjelm (1999).

4. Gwiazdy wizualnie podwójne z orbitą względną i krzywymi prędkości radialnych obu składników (SB2)

- Przykład: Mizar A = HR 5054 = ζ^1 UMa ($V = 2.27$, $B - V = 0.02$, A1V+A1V), odkryty jako SB2 przez Pickeringa w 1889 r., $P = 20.5386$ d, rozdzielony interferometrycznie przez Pease'a na Mt. Wilson w 1925 r. (separacja ok. 10 mas), orbita względna z pomiarów za pomocą Navy Prototype Optical Interferometer (www.nofs.navy.mil/projects/npoi/)