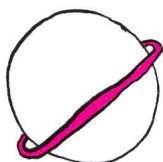


## Najchłodniejszy brązowy karzeł, czyli czym się różni gwiazda od planety i czy istnieją formy pośrednie



≠



### Rozwiązanie zadania M 1342.

Załóżmy nie wprost, że wielomian  $P$  o współczynnikach całkowitych ma cykl  $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}$  długości  $n > 2$ . Mamy  $x_n = P(x_{n-1}) = x_0$ . Kluczowa będzie dla nas obserwacja, że dla dowolnych liczb całkowitych  $a$  i  $b$  zachodzi

$$a - b \mid P(a) - P(b).$$

Mamy bowiem ciąg podzielności

$$(x_0 - x_1) \mid (x_1 - x_2),$$

$$(x_1 - x_2) \mid (x_2 - x_3),$$

...

$$(x_{n-1} - x_0) \mid (x_0 - x_1).$$

Wynika stąd, że

$$x_{j-1} - x_j = \pm(x_j - x_{j+1})$$

dla  $j \leq n$  (przyjmujemy, że  $x_{n+1} = x_1$ ). Znak „-” jest wykluczony, gdyż liczby  $x_0, \dots, x_{n-1}$  są parami różne. Mamy więc  $x_{j-1} - x_j = x_j - x_{j+1}$ . Oznacza to, że ciąg  $(x_0, \dots, x_{n-1}, x_0)$  jest arytmetyczny. Musi on być stały, co daje sprzeczność.

W październiku 2011 roku K.L. Luhman ze współpracownikami ogłosił potwierdzenie swoich wcześniejszych obserwacji, że ciało niebieskie WD 0806-661B (składnik układu podwójnego) jest najchłodniejszym brązowym karłem. Obiekt ten został zidentyfikowany w danych z kamery IRAC satelity *Spitzer* obserwującej na długości fali  $4,5 \mu\text{m}$ . Dalsze obserwacje prowadzone były na wniosek autorów w zakresie  $3,6 \mu\text{m}$  przez ten sam instrument. Dodatkowo wykonane zostały obserwacje teleskopami VLT (Very Large Telescope, 8,2 m) i Magellan Baade Telescope (6,5 m). Zebrane wyniki pozwoliły (przez porównanie z modelami teoretycznymi) na oszacowanie temperatury i masy obiektu.

Jak na brązowego karła WD 0806-661B jest obiektem wyjątkowo mało masywnym – ma zaledwie 6–9 mas Jowisza (6–9  $M_J$ ) – i chłodnym: jego temperatura to 300–345 K. Dla porównania, temperatura efektywna Jowisza wynosi około 124 K. Tak chłodny brązowy karzeł należy do niedawno zaproponowanego typu widmowego Y.

Brązowe karły w gruncie rzeczy nie są gwiazdami, gdyż ich masa jest zbyt mała, aby we wnętrzu mógł zachodzić pełny cykl syntezy helu (cykl pp bądź CNO), co jest cechą charakterystyczną dla gwiazd na ciągu głównym. Czym by nie były – są bardzo ważne z punktu widzenia tworzenia teoretycznych modeli powstawania gwiazd i planet, gdyż ich parametry, w szczególności masy, znajdują się pomiędzy parametrami charakterystycznymi dla gwiazd i dla planet. Nie oznacza to jednak, że łatwo jest wyznaczyć choćby ten przedział mas. Część uczonych uważa, że dolną jego granicą jest 13, natomiast górną 70–80  $M_J$ .

Ustalenie tego przedziału jest trudne niejako z założenia, brakuje bowiem jasnych, a co ważniejsze powszechnie uznanych kryteriów odróżnienia brązowego karła z jednej strony od planety, a z drugiej od gwiazdy.

Jednym z zaproponowanych znaczników jest obecność litu w atmosferze. Każda gwiazda rodzi się z pewną zawartością tego pierwiastka, który szybko zanika w trakcie ewolucji młodej gwiazdy. W skali czasowej rzędu milionów lat lit w widmie gwiazdy staje się niewidoczny. Tak więc w widmach chłodnych brązowych karłów o metaliczności podobnej do słonecznej powinniśmy obserwować linie litu. Rzeczywistość nie jest jednak tak prosta. We wnętrzu brązowych karłów o masach przekraczających około 65  $M_J$  zachodzą reakcje termojądrowe między jądrami litu a protonami, w wyniku których powstają jądra helu ( $^4\text{He}$ ). Jeśli więc brązowy karzeł jest dość masywny, to – po odpowiednio długim czasie – w jego widmie może już nie być linii litu, podobnie jak w widmach gwiazd.

Innym zaproponowanym kryterium są linie metanu, które powinny być obecne w widmach brązowych karłów. Ze względu na niedostateczną ilość obserwacji nie jest jeszcze jednak jasne, czy wszystkie tego typu obiekty mają takie linie.

Z kolei Grupa Robocza do Spraw Planet Pozasłonecznych (*Working Group on Extrasolar Planets* – WGESp) Międzynarodowej Unii Astronomicznej zaproponowała definicję mówiącą, że planetą jest obiekt

1° o masie mniejszej niż najniższa masa, dla której możliwa jest synteza deuteru

(przyjmuje się, że jest to 13  $M_J$ ),

2° krążący wokół gwiazdy (bądź białego karła czy gwiazdy neutronowej)

bez względu na to, jak powstał. Zgodnie więc z tą definicją odkryty najchłodniejszy brązowy karzeł jest w istocie planetą – gazowym olbrzymem.

Istnieje jeszcze inne kryterium odróżniające brązowe karły od planet. Według niego brązowe karły w układach podwójnych powstają razem z gwiazdą macierzystą z obłoku materii międzygwiazdowej, natomiast planeta tworzy się później niż gwiazda w wyniku łączenia się mniejszych fragmentów dysku protoplanetarnego.

Dotychczas nie rozstrzygnięto, którą definicję należy uznać za najtrafniejszą, tym bardziej że za wszystkimi przemawiają mocne argumenty. Sami autorzy wspomnianego wyżej artykułu w innym, opublikowanym w tym samym 2011 roku, ogłaszającym odkrycie WD 0806-661B, stwierdzają, że nie są w stanie rozstrzygnąć, czy jest on brązowym karłem powstałym razem z gwiazdą macierzystą, czy też planetą. Debata trwa.

Agnieszka MAJCYNA