

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

336 (LX) indeks 35810X Nr 1 styczeń/luty 2015 CENA 27,50 Zł (w tym 5% VAT)

Metamateriały

Rozbudziły wyobraźnię i nadzieję
na opracowanie przełomowych technologii.
Kiedy wyjdą poza mury
laboratoriów badawczych?

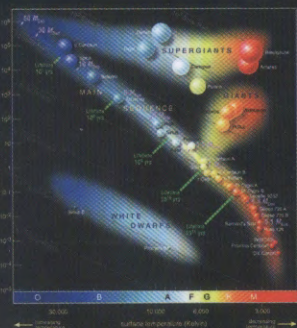
Żywoty fizyków



Nikola
TESLA

Astronomia

DIAGRAM H-R
O EWOLUCJI GWIAZD



NIEBO CELTÓW



WYZNACZANIE WYSOKOŚCI
WZGÓRZ NA KSIĘŻYCU



Diagram H–R

– układ okresowy gwiazd

Krzysztof Rochowicz

Wśród studentów astronomii krąży dowcip, w którym egzaminowany żak na pytanie: „Co jest na osiach diagramu H–R?” obrusza się i śmiało odpowiada: „Jak to co? H i R!”.

W rzeczywistości to nazwiska pierwszych twórców – Hertzsprunga i Russella – dały mu to określenie. Czy jednak nie powinniśmy nazywać go... diagramem Rosenberga? Dlaczego od stu lat pozostaje najsłynniejszym diagramem w astronomii i co rzeczywiście znajduje się na jego osiach? Dlaczego nazywany bywa układem okresowym Kosmosu lub kluczem do zrozumienia ewolucji gwiazd?

W mrowiu gwiazd

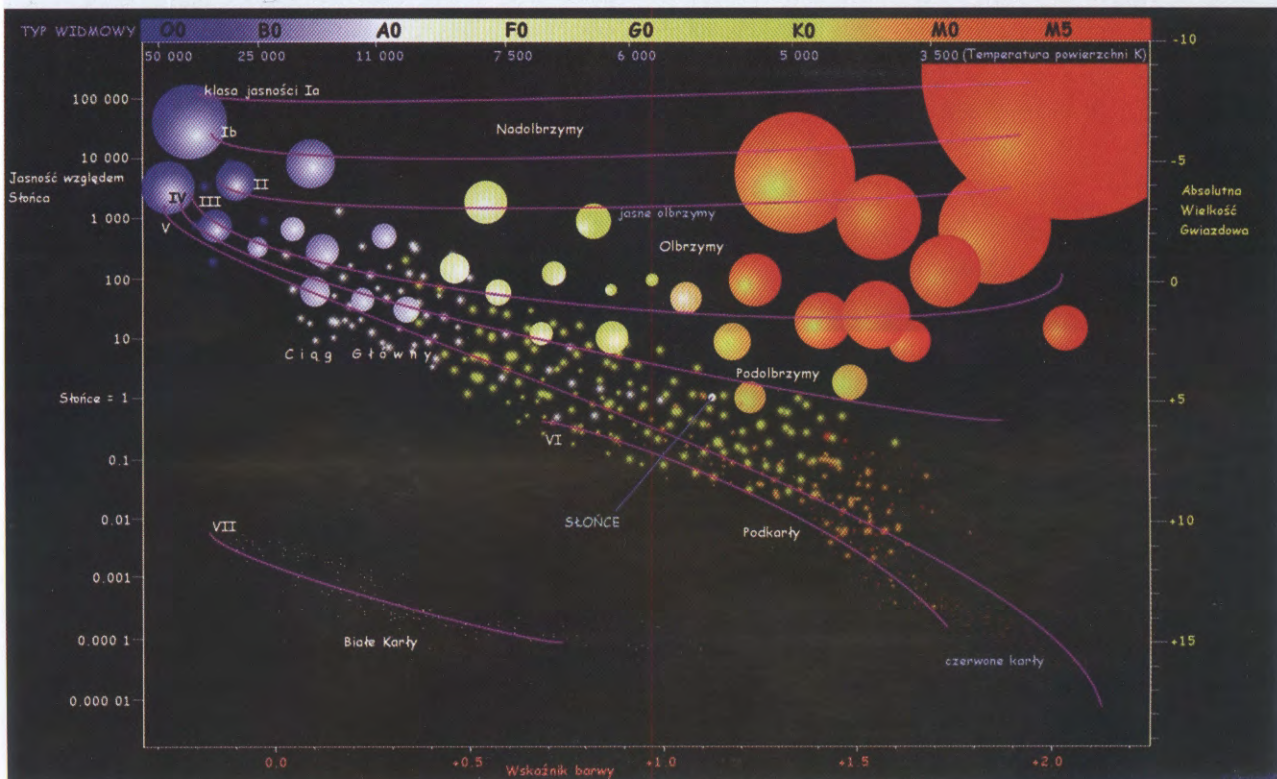
Na całym niebie (północnym i południowym) gołym okiem można dostrzec około 6 tys. gwiazd. Wystarczy niewielka lornetka czy luneta i liczba ta rośnie kilkukrotnie.

Jest też rzeczą powszechnie wiadomą, że są gwiazdy karły i gwiazdy olbrzymy. Białe, żółte i czerwone. Sto tysięcy razy jaśniejsze od Słońca. Ale i sto tysięcy razy słabsze. Nie każda jednak kombinacja jasności z temperaturą (czyli barwą) występuje w Kosmosie. Na rys. 1 znajduje się aktualny i nieco uproszczony przegląd gwiazdnej menażerii.

Diagram ten po raz pierwszy został stworzony przez duńskiego astronoma Ejnara Hertzsprunga,

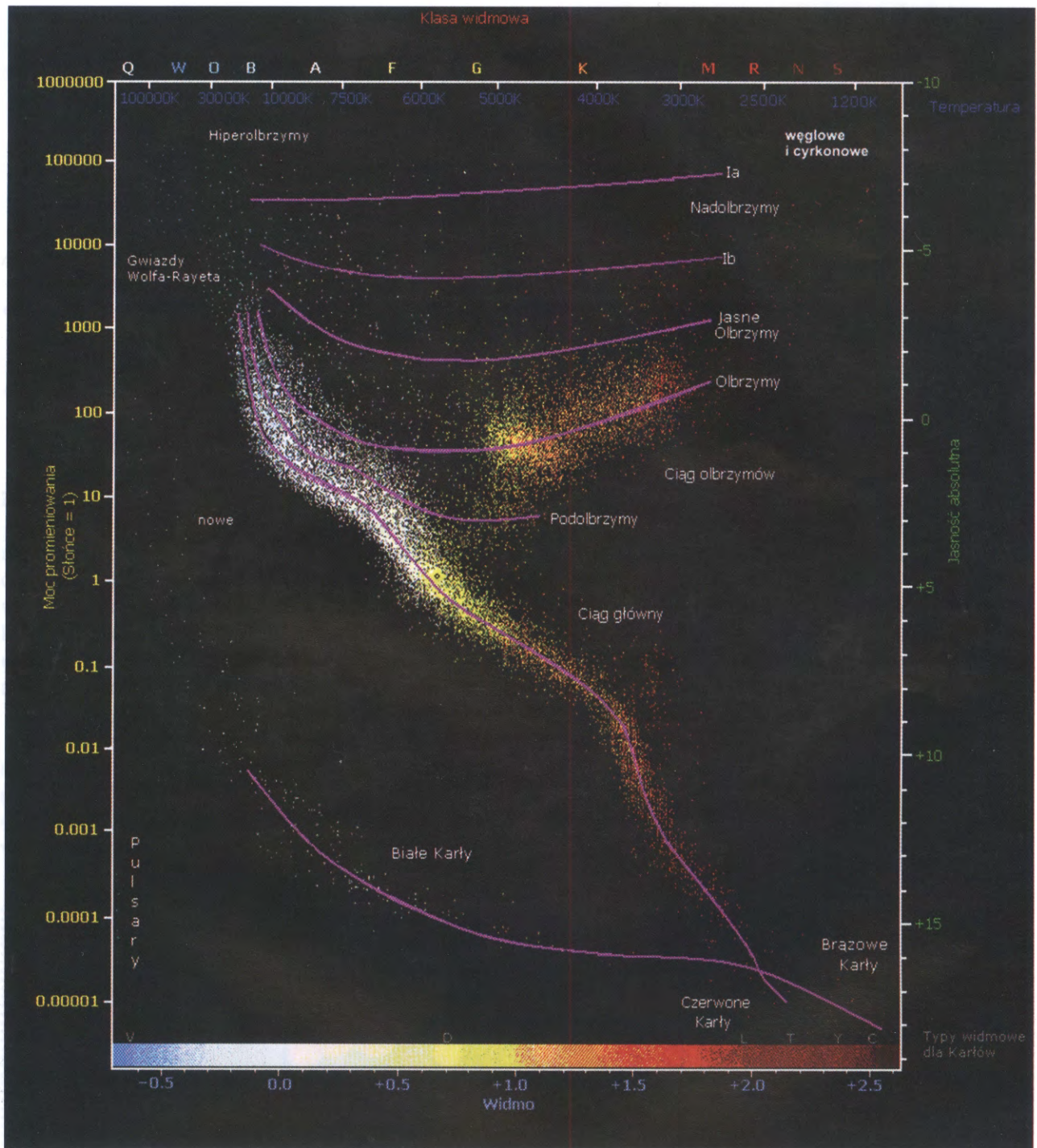
a niezależnie udoskonalony przez amerykańskiego astronoma Henry’ego Norrisa Russella. Na jego osiach odnajdziemy: **temperaturę** powierzchni gwiazdy (uwaga: nie w skali liniowej, a w dodatku rosnącą w lewo!) lub jej miarę (typ widmowy albo tzw. wskaźnik barwy) oraz **jasność** (tu skala jest logarytmiczna) – nie tę obserwowaną z Ziemi, ale odniesioną do umownej jednakowej odległości, tzw. jasność absolutną albo moc promieniowania wyrażoną w stosunku do mocy naszego Słońca (przyjętej jako jednostka).

Jak widać (lepiej na rys. 2, gdzie mamy prawdziwe dane dla kilku tysięcy obiektów), zdecydowana większość gwiazd tworzy pas biegnący z lewego górnego rogu wykresu do prawego dolnego, nazywany ciągiem głównym (do którego należy także nasze Słońce). W symbolicznym opisie jest to jedna z tzw. klas jasności gwiazd, oznaczana rzymską piątką (V). Takich klas wyróżniono siedem.



Rys. 1. Schematyczny współczesny diagram H–R – na osi poziomej typ widmowy (miara temperatury) lub tzw. wskaźnik barwy (też oczywiście powiązany z temperaturą powierzchni), na pionowej – jasność (absolutna, czyli odpowiadająca całkowitej mocy promieniowania) względem Słońca. Gwiazdy układają się wzdłuż kilku ciągów oznaczonych rzymskimi cyframi

Źródło: Wikimedia Commons



Rys. 2. Diagram H-R uzyskany współcześnie na podstawie obserwacji kilku tysięcy gwiazd
 Źródło: Wikimedia Commons

Oprócz ciągu głównego stosunkowo liczne są jeszcze olbrzymy (III) i białe karły (VII). Klasa jasności podawana jest jako uzupełnienie typu widmowego gwiazdy, co pozwala uniknąć niejednoznaczności – przykładowo obiekt typu widmowego G2 (jak nasze Słońce) może być zarówno olbrzymem (i świecić np. 100 razy jaśniej od naszej

dziennej gwiazdy), jak i białym karłem (świecącym około 10 000 razy słabiej). Przy tej samej temperaturze widmo będzie w zasadzie identyczne, tzn. pojawi się ten sam zestaw linii różniących się jedynie „grubością” (ze względu na różnice ciśnienia w warstwach, w których one powstają). Naturalnie działa to i w drugą stronę: wy-

gląd linii widmowych (to, czy są one wąskie, czy szerokie) pozwala stwierdzić, czy mamy do czynienia z olbrzymem, czy też z karłem (to podstawa wyznaczania odległości obiektów na podstawie tzw. paralaksy spektroskopowej).
 A skąd wzięły się tajemnicze literki: O, B, A, F, G, K i M oznaczające sekwencję typów widmowych?



Fot. 1. „Harwardzkie komputery” około 1890 roku. Blisko środka stoi Williamina Fleming
 Źródło: Wikimedia Commons



Fot. 2. „Harem” Pickeringa 13 maja 1913 roku przed wejściem do obserwatorium Uniwersytetu Harvarda. W gronie pań otaczających dyrektora m.in. Annie Jump Cannon
 Źródło: Wikimedia Commons

To też ciekawa historia sprzed około 100 lat, po której niezwykłą pamiątkę znajdziemy w Polsce.

„Harwardzkie komputery” albo... „harem” Pickeringa

Edward Charles Pickering w latach 1877–1919 był dyrektorem obserwatorium na Uniwersytecie Harvarda. Skrupulatnie dzieląc fundusze obserwatorium, wpadł na pomysł zatrudnienia taniej, ale rzetelnej i pracowitej siły roboczej (jaką stanowiły wówczas kobiety) do analizy danych (zdjęć) astronomicznych. Te „harwardzkie komputery” (jak je później nazwano) wykonały gigantyczną pracę u podstaw współczesnej astrofizyki. Warto wspomnieć Henriette Swan Leavitt, która m.in. odkrywała i katalogowała gwiazdy zmienne w Obłoku Magellana. W okresie 1912–1913 zauważyła też wiele zależności związanych z cefeidami, w tym relację między okresem cefeidy a jej jasnością absolutną, co okazało się niezwykle ważne dla wyznaczania odległości we Wszechświecie.

Pierwsza wersja katalogu HD (od imienia i nazwiska Henry’ego Drapera, fundatora teleskopu przeznaczonego do fotografowania widm gwiazd) pojawiła się już w 1890 roku i obejmowała przeszło 10 tys. gwiazd sklasyfikowanych

głównie przez Williaminę Fleming (wcześniej służącą w domu Pickeringa) literami alfabetu w kolejności od A do Q – więcej szczegółów dotyczących pierwszych klasyfikacji oraz najnowszych trendów w tej „kosmicznej daktyloskopii” można znaleźć w jednym z wcześniejszych artykułów autora [1]. Ten schemat klasyfikacji został zmodyfikowany m.in. przez Annie Jump Cannon, która na pracę klasyfikacyjną (prawie ćwierć miliona gwiazd, a trzeba pamiętać, że ich widma były maleńkimi kreszczkami na kilkudziesięciu tysiącach szklanych płyt fotograficznych!) poświęciła prawie trzy dekady swojego życia. To jej zawdzięczamy ostateczną kolejność typów widmowych gwiazd: od O do M. Jeśli ktoś ma problem z zapamiętaniem porządku tych literowych oznaczeń, pomocne może być zdanie: *Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me!* Więcej mnemotechnicznych zabaw astronomicznych można znaleźć na stronie: <http://www.astronomia.pl/astrozarty/?id=2>.

Wspomniany teleskop Drapera, którym wykonano kilkadziesiąt tysięcy szklanych klisz z widmami gwiazd, można dziś obejrzeć w... Piwnicach koło Torunia. Po II wojnie światowej został on bowiem przekazany przez Uniwersytet Harvarda nowo powstającemu

obserwatorium astronomicznemu Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

Pierwszy diagram: temperatura – jasność

Wróćmy jednak do historii samego diagramu H–R. Najprawdopodobniej w roku 1908 Ejnar Hertzsprung (wówczas jeszcze w zasadzie astronom amator, z wykształcenia chemik) wykonał roboczą wersję wykresu ilustrującego zależność jasności od tzw. efektywnej długości fali, która w pewien sposób odpowiadała barwie (warto wspomnieć, że wykres ten miał odwrotnie przyjęte oznaczenia osi) [2]. Zanim jednak tego typu wykresy opublikował (w roku 1911 dla gwiazd w gromadach otwartych Hiad i Plejad), w druku ukazała się praca *Relacja między jasnością a typem widmowym gwiazd w Plejadach* [3] autorstwa Hansa Rosenberga, astronoma z obserwatorium w Getyndze, powstała zapewne z inspiracji, a może nawet na zamówienie Hertzsprunga. Niemniej według dzisiejszych standardów to Rosenberga uznalibyśmy za autora pierwszego diagramu. I mielibyśmy diagram R, nie H–R...

Co ciekawe, przez wiele lat mieliśmy diagram R, ale był to diagram Russella (pod tą nazwą upowszechnił się początkowo w literaturze anglojęzycznej).

Tymczasem, nie mając świadomości, nad czym pracują astronomowie w Europie, w roku 1913 amerykański astronom Henry Norris Russell niezależnie doszedł do tych samych wniosków na podstawie innych obserwacji gwiazd [4]. Opublikował m.in. wykres przedstawiony na rys. 3.

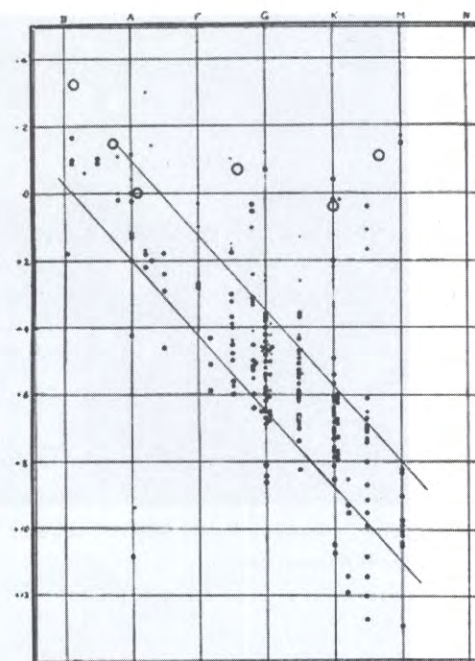
Ostatecznie pod koniec lat 40. na łamach „Astrophysical Journal” zdecydowano o przyjęciu w dalszych publikacjach formy: diagram Hertzsprunga–Russella. Dopiero w tym czasie na dobre zdano sobie sprawę z jego znaczenia i można było pokusić się o właściwą interpretację na podstawie świeżo opracowanej teorii gwiazdnej nukleosyntezy.

Wiemy już, że nowo powstające gwiazdy zajmują na ciągu głównym miejsce zależne od swojej masy: najokazalsze lokują się w lewym górnym rogu, mniej masywne zaś kierują się w prawy dolny róg. Spędzają w tym miejscu zdecydowaną większość swojego życia (i dlatego jest ich tu najwięcej), a potem stopniowo „dryfują” w kierunku gałęzi olbrzymów (zwykle w prawo). To, ile czasu spędzą na ciągu głównym, również zależy od masy: dla gwiazd kilkadziesiąt razy masywniejszych od Słońca cały cykl życia zamyka się w czasie rzędu kilku milionów lat, Słońce spędzi na ciągu głównym lub w jego okolicy około 10 mld lat, gwiazdy mniej masywne jeszcze więcej. Jest to doskonały sposób na sprawdzenie, w jakim wieku są poszczególne gromady gwiazd: ich słońca rozpoczynały swe życie praktycznie w tym samym momencie, wystarczy więc rzut oka na diagram H–R, by określić, gdzie znajduje się tzw. punkt odejścia (czyli najbardziej wysunięta część ich ciągu głównego), aby oszacować wiek gromady (rys. 4).

Wykres H–R grupuje więc gwiazdy znajdujące się na tym samym etapie ewolucji. Jest też podsumowaniem w skondensowanej formie naszej wiedzy o ży-

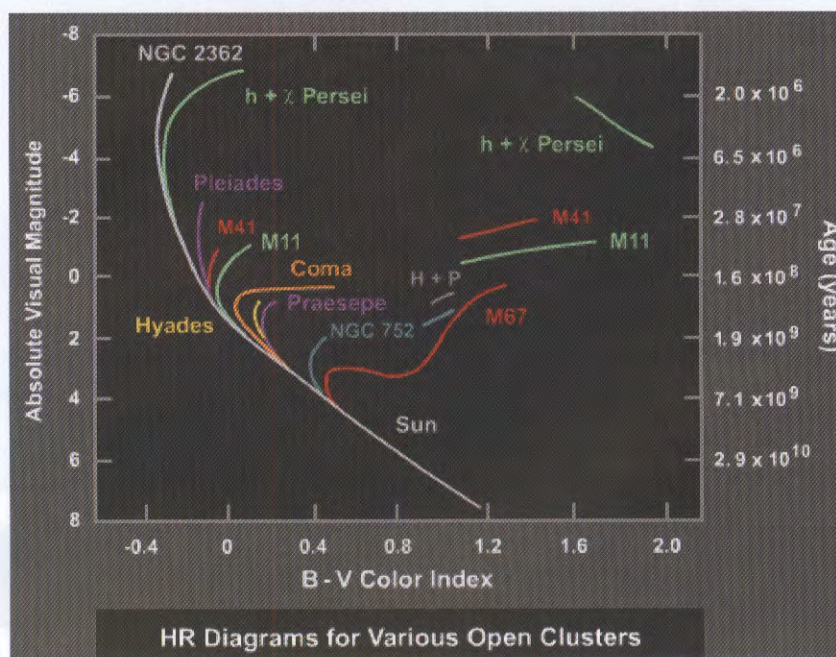
ciu gwiazd. Współczesne badania umożliwiają jego rozbudowanie, zwłaszcza w prawej dolnej części, dla słabych obiektów [1]. Ponadto wielkie nadzieje w uściśleniu diagramu wiąże się z misją sondy kosmicznej Gaia, umieszczonej na docelowej orbicie na początku 2014 roku. Celem sondy będzie przede wszystkim sporządzenie najdokładniejszej trójwymiarowej mapy Drogi Mlecznej. Wykonane zostaną pomiary astrometryczne i fotometryczne około miliarda gwiazd w naszej Galaktyce i niektórych obiektów pozagalaktycznych. Misja ma trwać 5 lat, ale opracowanie wszystkich danych zajmie zapewne więcej czasu. Po 100 latach od pierwszych publikacji prace nad diagramem H–R nadal trwają.

dr Krzysztof Rochowicz
Zakład Dydaktyki Fizyki,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu



Rys. 3. Na pierwszym diagramie opublikowanym w 1914 roku w „Nature” przez Russella dominuje ciąg główny (zaznaczony jako pas w poprzek wykresu), jest tylko kilka olbrzymów i jeden biały karzeł

Źródło: Wikimedia Commons



Rys. 4. Schematyczny diagram H–R dla kilkunastu gromad otwartych gwiazd. Położenie (w praktyce wysokość – zgodnie ze skalą po prawej stronie) punktu, w którym ich ciąg główny „odgina się” od teoretycznego, jest miarą wieku

Źródło: Australia Telescope Outreach and Education

LITERATURA

- [1] Rochowicz K., *Kosmiczna daktyloskopia, czyli o klasyfikacji widmowej gwiazd*, „Delta” 2005, nr 12, s. 1–3.
- [2] Pasachoff J.M., *The H–R diagram’s 100th anniversary*, „Sky and Telescope” 2014, No. 6, s. 32–37.
- [3] Ondra L., *The first Hertzsprung–Russell diagram*, internet: <http://www.leosondra.cz/en/first-hr-diagram/> [dostęp: 19.11.2014].
- [4] Crosswell K., *Układ okresowy kosmosu*, „Świat Nauki” 2011, nr 8, s. 32–37.