

# 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?

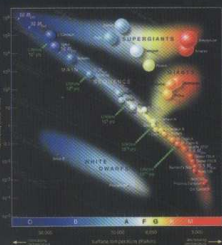
### Żywoty fizyków



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

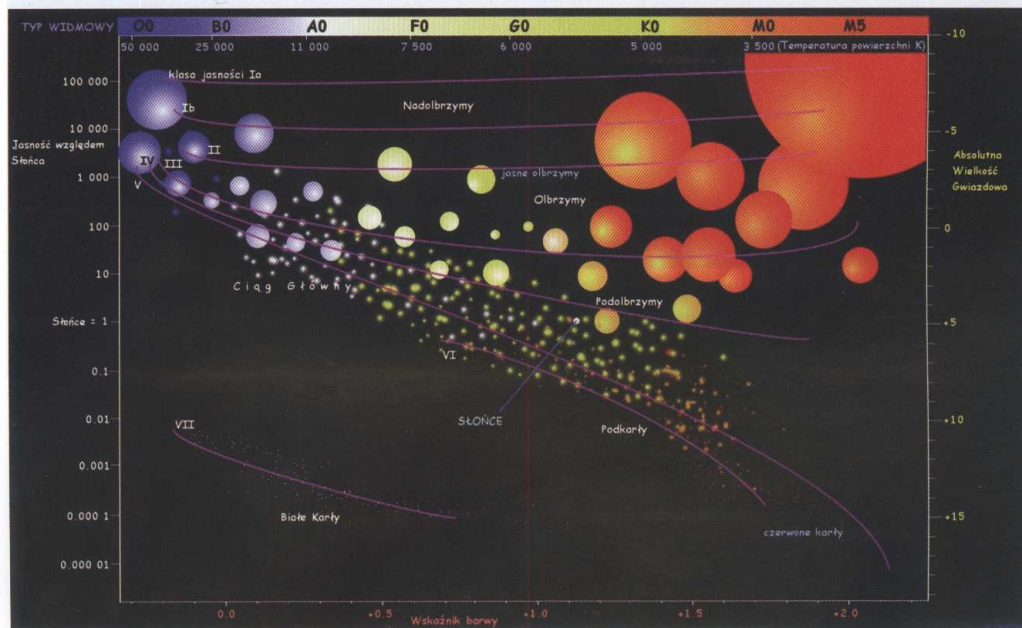
Na całym niebie (północnym i południowym) gołym okiem można dostrzec około 6 tys. gwiazd. Wystarczy niewielka lornetka czy luneta i liczba ta rośnie kilkukrotnie.

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,

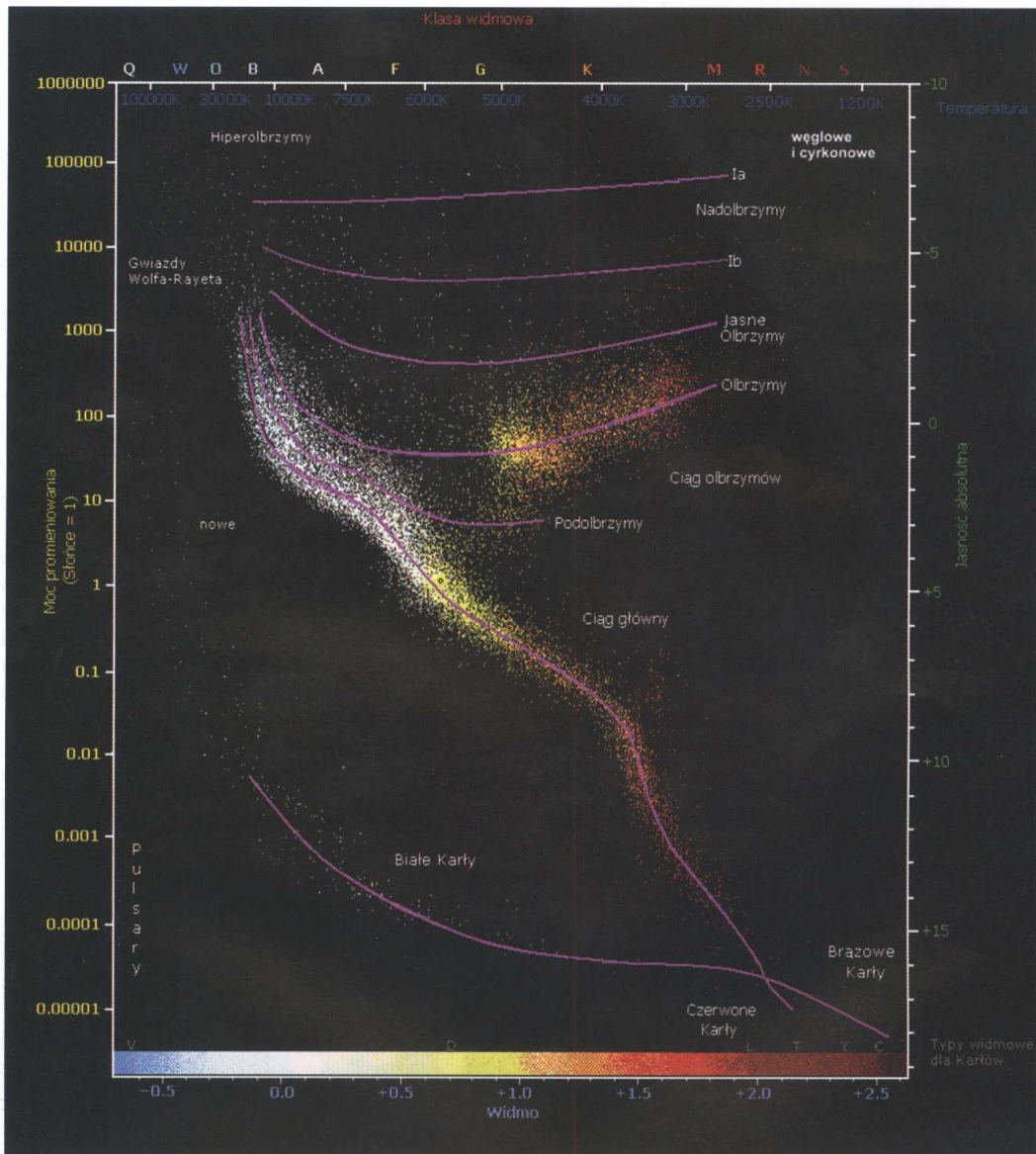
a niezależnie udoskonalony przez amerykańskiego astronoma Henry'ego Norrisa Russella. Na jego osiach odnajdziemy: **temperaturę** powierzchni gwiazdy (uwaga: nie w skali liniowej, a w dodatku rosnącą w lewo!) lub jej miarę (typ widmowy albo tzw. wskaźnik barwy) oraz **jasność** (tu skala jest logarytmiczna) – 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 olbryzy (III) i białe karty (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 kresczkami 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.

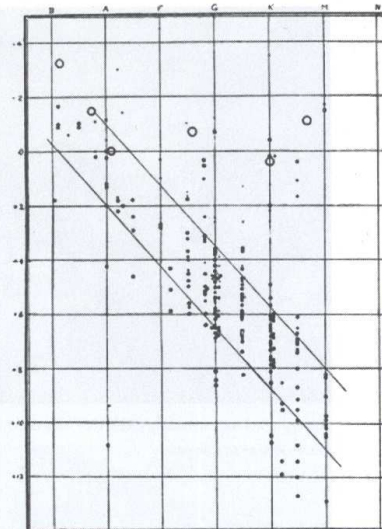
Ostatecznie pod koniec lat 40. na łamach „Astrophysical Journal” zdecydowano o przyjęciu w dalszych publikacjach formy: diagram Hertzsprunga–Russella. Dopiero w tym czasie na dobre zdano sobie sprawę z jego znaczenia i można było pokusić się o właściwą interpretację na podstawie świeżo opracowanej teorii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

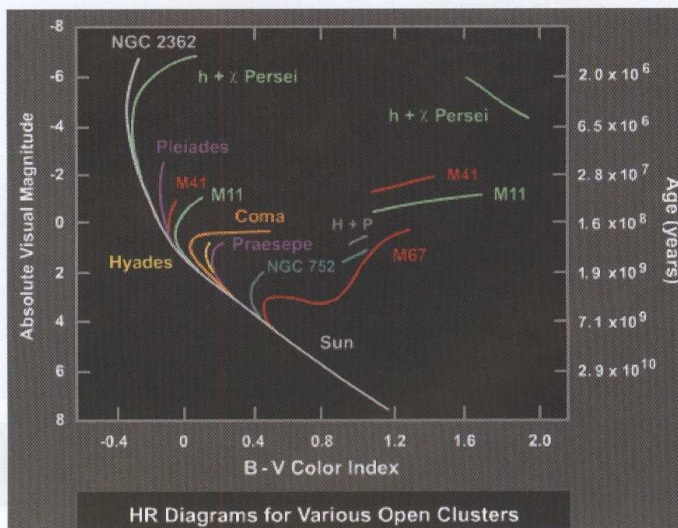
ciu gwiazd. Współczesne badania umożliwiają jego rozbudowanie, zwłaszcza w prawej dolnej części, dla słabych obiektów [1]. Ponadto wielkie nadzieje w uściśleniu diagramu wiąże się z misją sondy kosmicznej Gaia, umieszczonej na docelowej orbicie na początku 2014 roku. Celem sondy będzie przede wszystkim 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 100<sup>th</sup> 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.