

Grzegorz Nowak

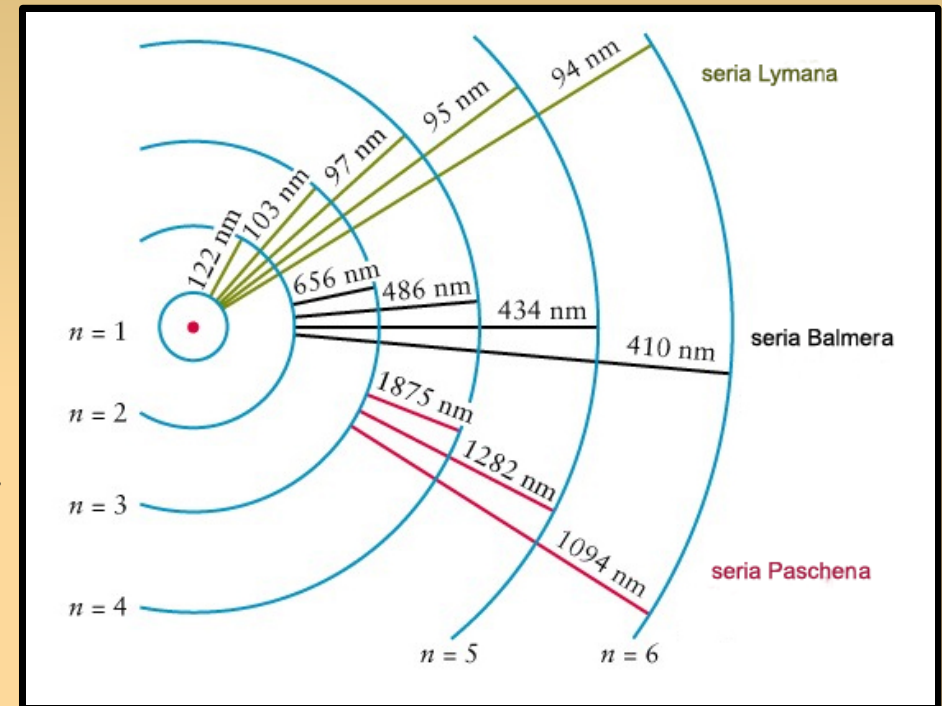


Podstawy spektroskopii gwiazdowej

Plan



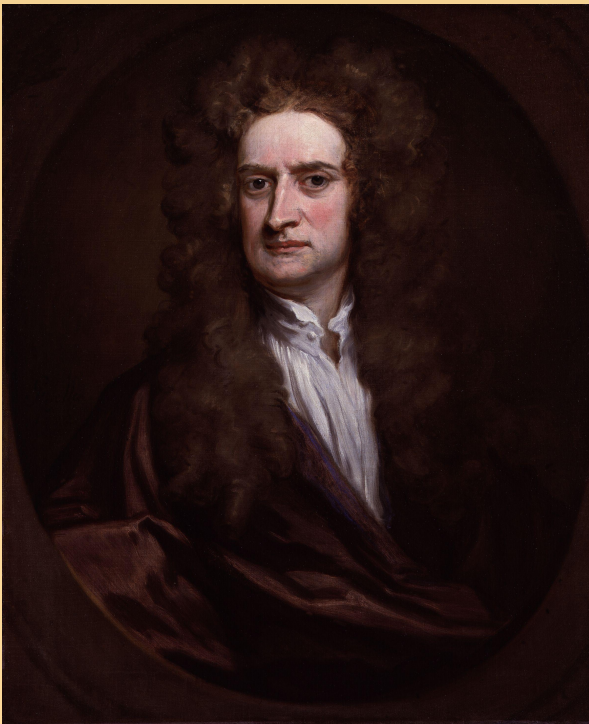
- Historia spektroskopii astronomicznej.
- Powstawanie linii widmowych:
- oddziaływanie światła z materią,
- modele budowy atomów
- Dokonania spektroskopii gwiazdowej:
- badanie składu chemicznego,
- badanie rozszczepienia linii przez pole magnetyczne i poszerzenia przez rotację gwiazd,
- efekt Dopplera i pomiary prędkości radialnych.
- Bazy danych z widmami gwiazdowymi.
- Amatorskie spektrografy.



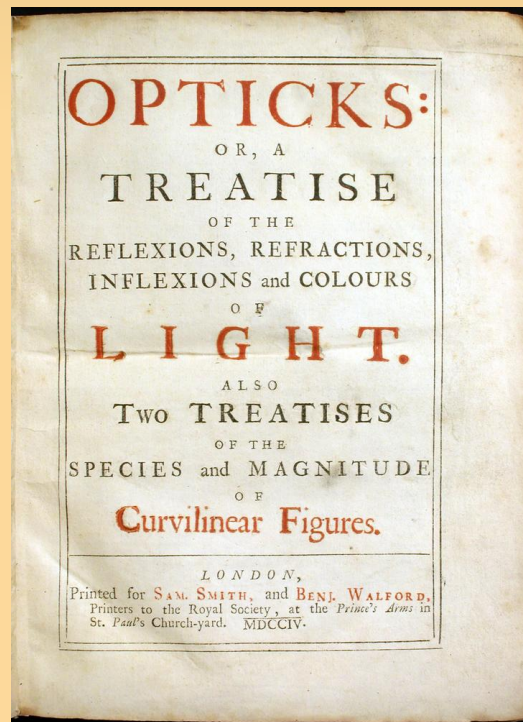
Historia spektroskopii



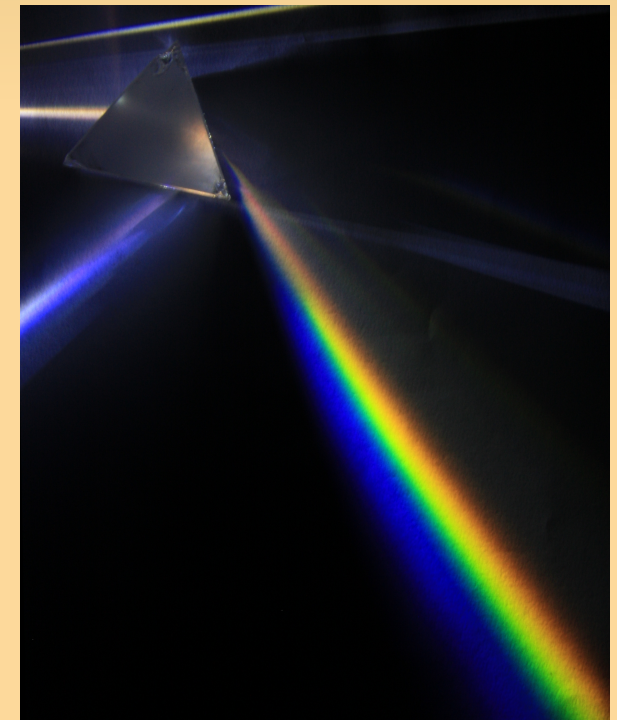
- Pierwszym, który zademonstrował rozszczepienie światła przez pryzmat był Izaak Newton.
- Swoje rozważania o naturze światła zawarł w dziele „Opticks” wydanym w 1704 roku.



Toruń, 6 sierpień 2011

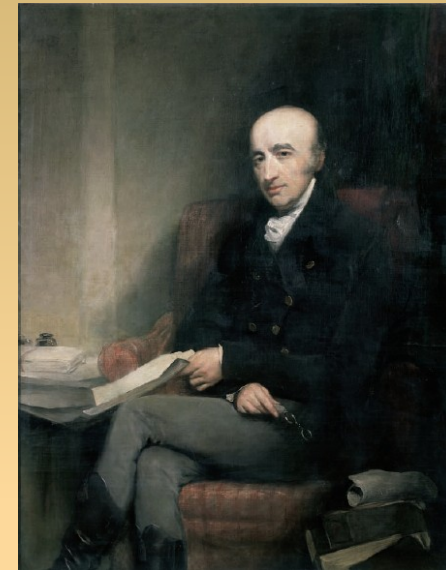


TZMA 2011



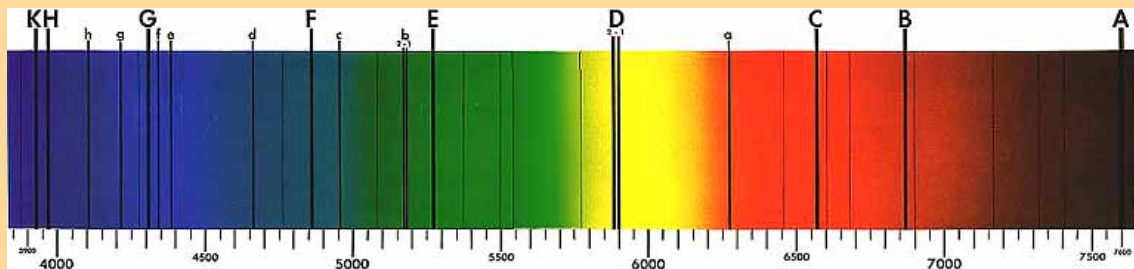
Historia spektroskopii

- Pierwszym, który zauważył ciemne prążki w świetle Słońca przepuszczonego przez pryzmat był angielski chemik Willam Hyde Wollaston. Było to w 1802 roku.
- Niemiecki optyk Joseph von Fraunhofer w 1814 zaczął mierzyć pozycje ciemnych linii, które odkrył w widmie Słońca.



Historia spektroskopii

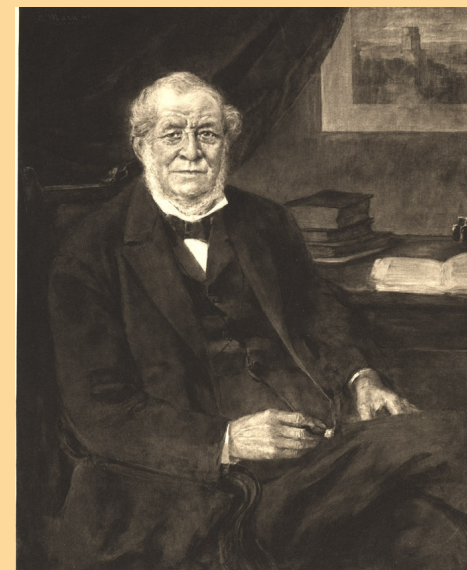
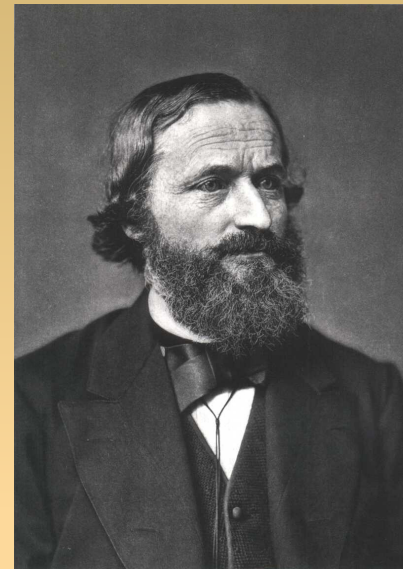
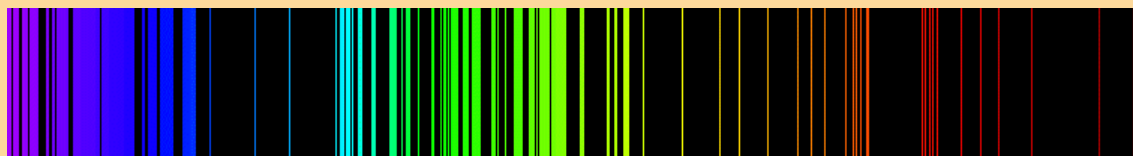
Fraunhofer zidentyfikował ponad 570 linii w widmie Słońca, z których najsilniejsze oznaczył literami alfabetu. Nie interesował się jednak ich pochodzeniem.



Linia	pierwiastek	długość fali [nm]
A - pasmo	O ₂	759.4 - 762.1
B - pasmo	O ₂	686.7 - 688.4
C	H	656.3
a - pasmo	O ₂	627.6 - 628.7
D -1, 2	Na	589.6, 589.0
E	Fe	527.0
b -1, 2	Mg	518.4, 517.3
c	Fe	495.8
F	H	486.1
d	Fe	466.8
e	Fe	438.4
f	H	434.0
G	Fe i Ca	430.8
g	Ca	422.7
h	H	410.2
H	Ca	396.8
K	Ca	393.4

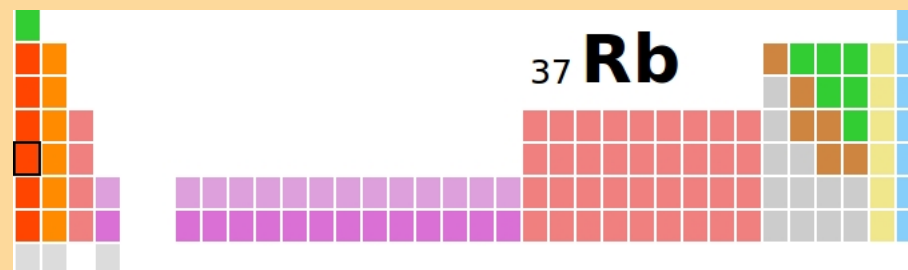
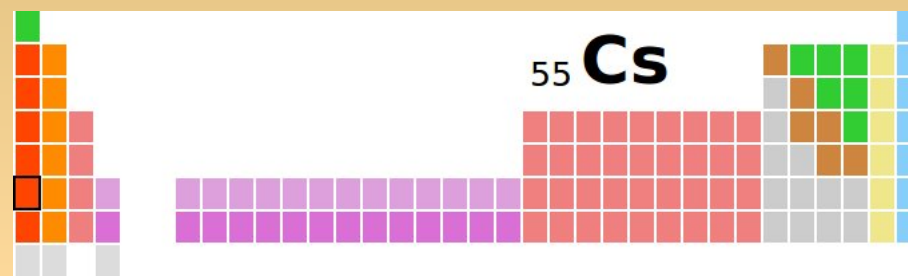
Historia spektroskopii

- Pochodzenie linii w widmie Słońca wyjaśnili Gustav Kirchhoff i Robert Bunsen, którzy wspólnie opracowali i rozwinęli metody analizy spektralnej.
- Bunsen badał zachowanie się par różnych soli w płomieniu. Kirchhoff zasugerował, że światło par soli można analizować przy pomocy pryzmatu.
- Poniżej widmo emisyjne żelaza.



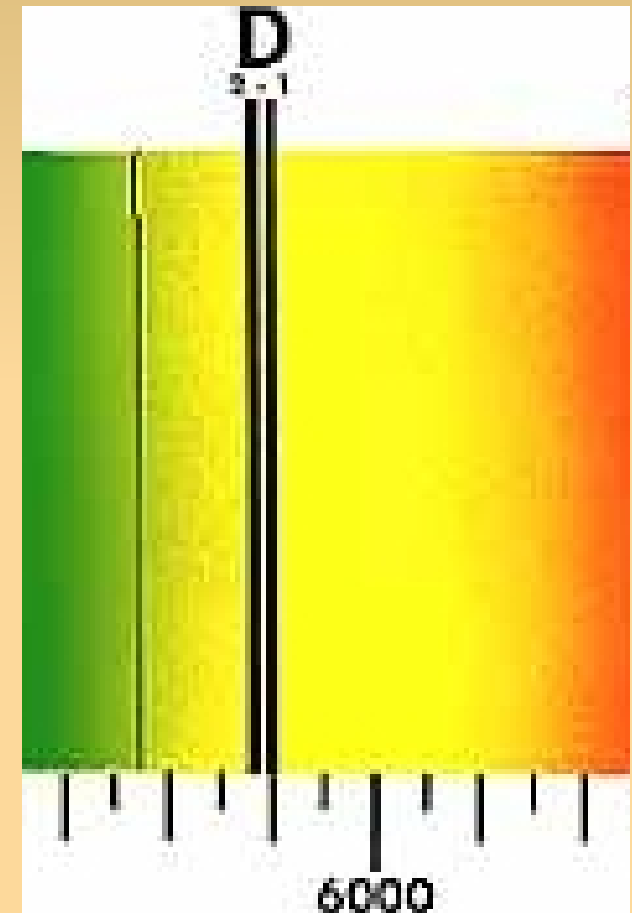
Historia spektroskopii

- Niedługo potem zrozumieli oni, że każdy pierwiastek chemiczny wykazuje w swoim świetle przepuszczonym przez pryzmat charakterystyczny zestaw linii.
- Dzięki zastosowanej przez siebie metodzie odkryli dwa nieznane wcześniej pierwiastki - cez i rubid.
- Dzięki wynalezionej przez nich spektroskopii do końca XIX wieku odkryto jeszcze 10 nieznanymi wcześniej pierwiastków.



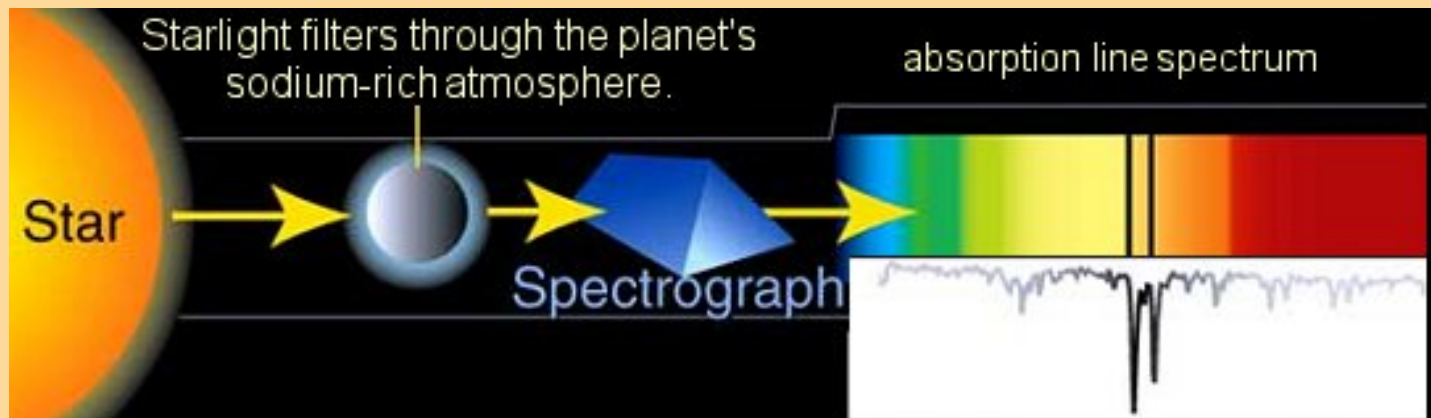
Historia spektroskopii

- Analizując linie widmowe badanych przez siebie pierwiastków Kirchhoff zauważył, że żółta linia sodu pokrywa się z pozycją linii D Fraunhofera w widmie Słońca.
- Po przepuszczeniu światła słonecznego przez płomień sodu Kirchhoff zaobserwował, że linia D pociemniała jeszcze bardziej.
- Kirchhoff zrozumiał, że linie Fraunhofera w widmie Słońca muszą być efektem pochłaniania światła przez pierwiastki w jego atmosferze.



Historia spektroskopii

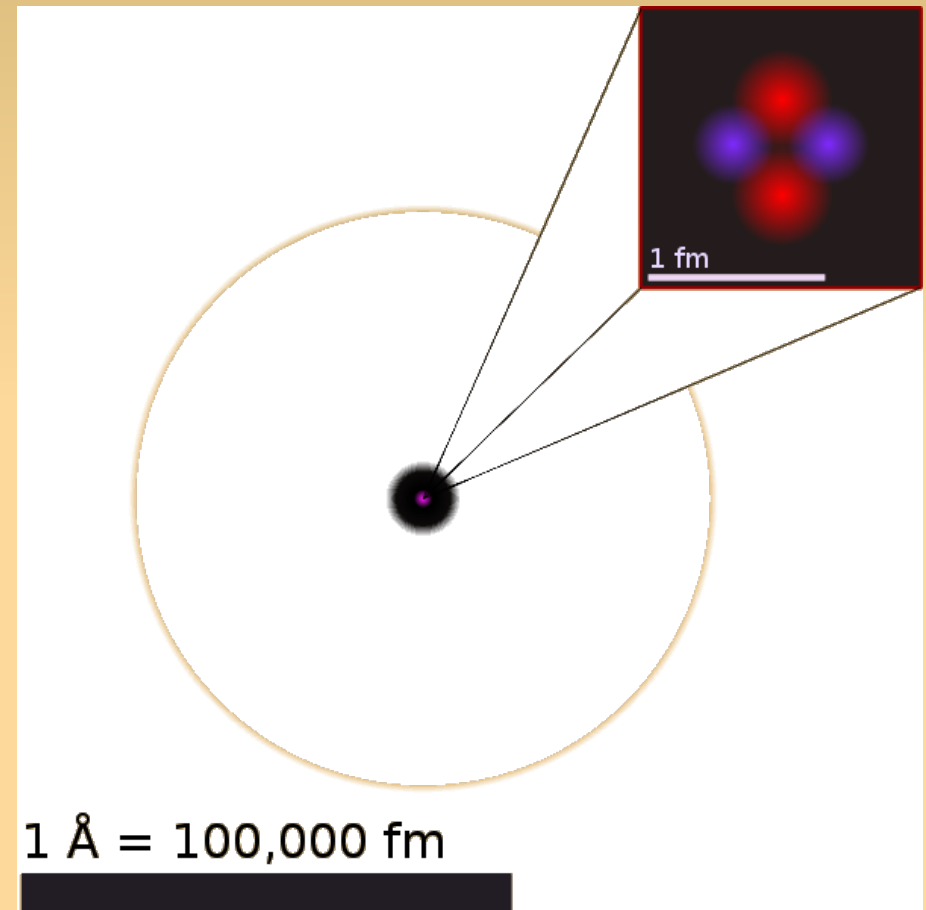
- Porównując linie w widmie Słońca z liniami badanych przez siebie pierwiastków Kirchhoff i Bunsen wykryli w widmie Słońca inne pierwiastki, m.in. magnez i wapń.
- Uświadomili sobie, że opracowana przez nich metoda analizy spektralnej pierwiastków może pozwolić na analizę chemiczną nie tylko Słońca, ale i gwiazd, co było do tej zupełnie niemożliwe.
- W ten sposób otworzyła się możliwość rozwoju spektroskopii gwiazdowej.



Historia spektroskopii

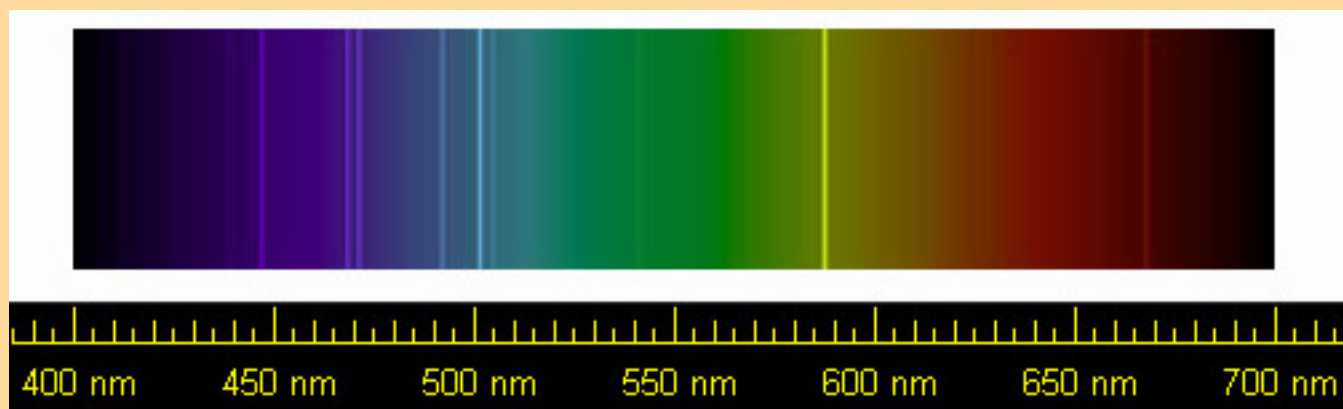
- W 1862 roku szwedzki fizyk i astronom Andreas Ångström zidentyfikował w widmie Słońca linie wodoru, a łącząc spektroskopię z fotografią stworzył atlas widma słonecznego (1868) zawierający dokładne pozycje ponad 1000 linii.

- Jego nazwiskiem określana jest jednostka długości fali
 $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$.



Historia spektroskopii

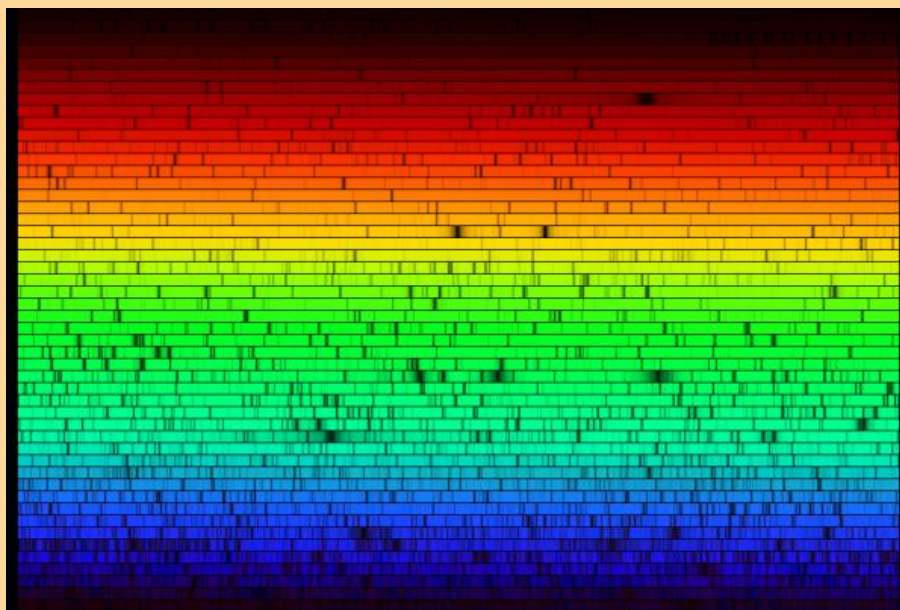
18.08.1868 roku francuski astronom Pierre Janssen odkrył podczas obserwacji korony słonecznej w trakcie całkowitego zaćmienia Słońca w Indiach nieznaną wcześniej linię leżącą pomiędzy liniami sodu. 20.10.1968 roku angielski astronom Joseph Norman Lockyer (założyciel i pierwszy wydawca „Nature”) niezależnie odkrył tę samą linię, którą oznaczył D_3 i wspólnie z angielskim chemikiem Edwardem Franklandem doszedł do wniosku, że musi ona pochodzić od nie odkrytego do tej pory na Ziemi pierwiastka, który nazwali helem.



Historia spektroskopii

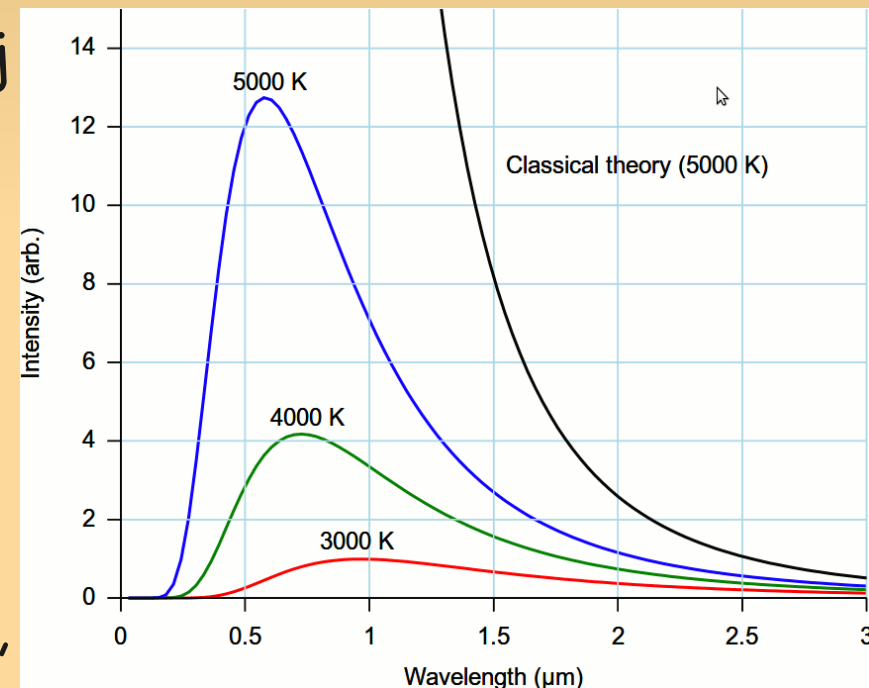


- W 1882 włoski fizyk Luigi Palmieri zarejestrował hel w lawie Wezuwiusza, a w 1895 roku szkocki chemik William Ramsay odkrył linie helu w procesie prażenia minerału o głównej zawartości uranu.
- Amerykański fizyk Henry August Rowland dzięki skonstruowanej przez siebie siatce dyfrakcyjnej wysokiej zdolności rozdzielczej wykonał liczący 20 000 linii atlas widma słonecznego (1888) oraz zmierzył ich długości fali (1898).



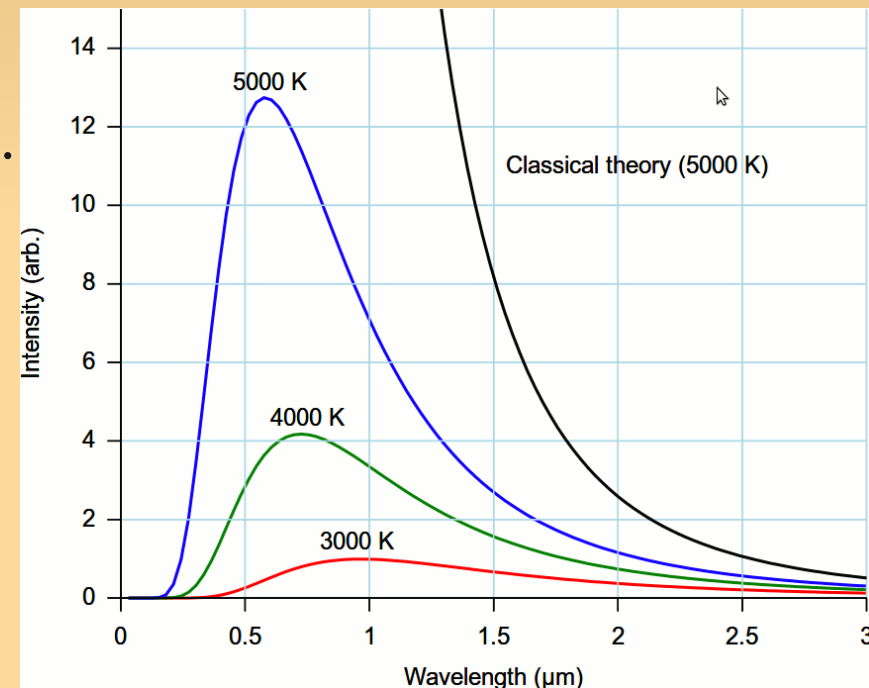
Historia spektroskopii

- W wyniku badań nad liniami widmowymi i w oparciu o termodynamikę Kirchhoff sformułował również ogólne prawo emisji i absorpcji promieniowania.
- W tej samej temperaturze zdolność danej substancji do absorpcji promieniowania odpowiada zdolności do jego emisji.
- To prawo doprowadziło go do sformułowania wniosku, że ciało doskonale czarne, czyli takie które pochłania całkowicie padające na nie promieniowanie, emituje też promieniowanie w sposób zależny tylko od jego temperatury.



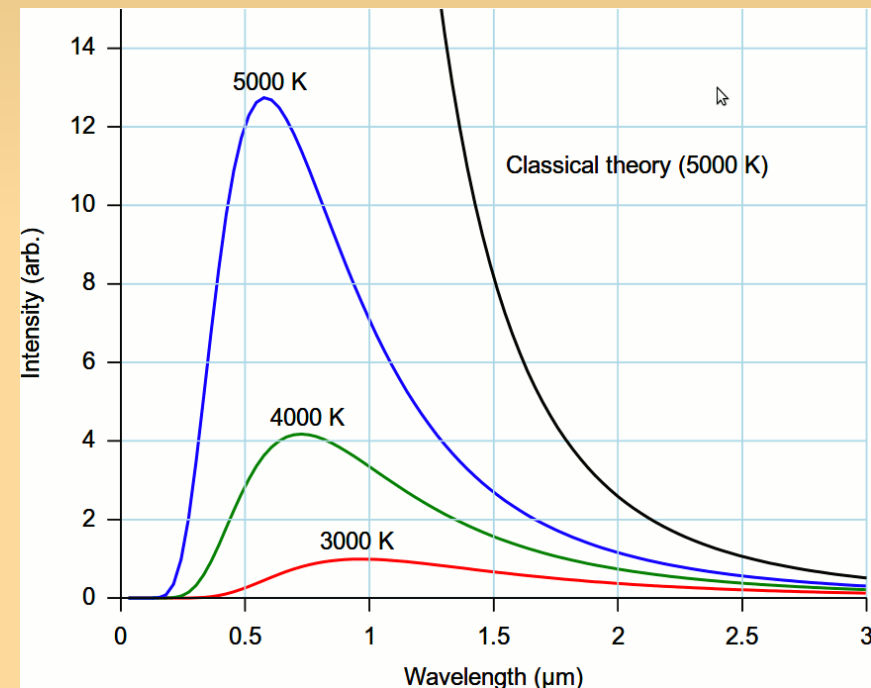
Historia spektroskopii

- Próby wyjaśnienia promieniowania ciała doskonale czarnego doprowadziły do sformułowania prawa Rayleigha-Jeansa - ilość emitowanego promieniowania zależy od czwartej potęgi częstotliwości promieniowania (odwrotności długości fali).
- Tymczasem prawo Wiena pokazywało, że maksimum natężenia promieniowania przypada w zakresie widzialnym.
- Poza tym scałkowanie wzoru Rayleigha-Jeansa po wszystkich częstotliwościach prowadzi do nieskończonej gęstości energii.



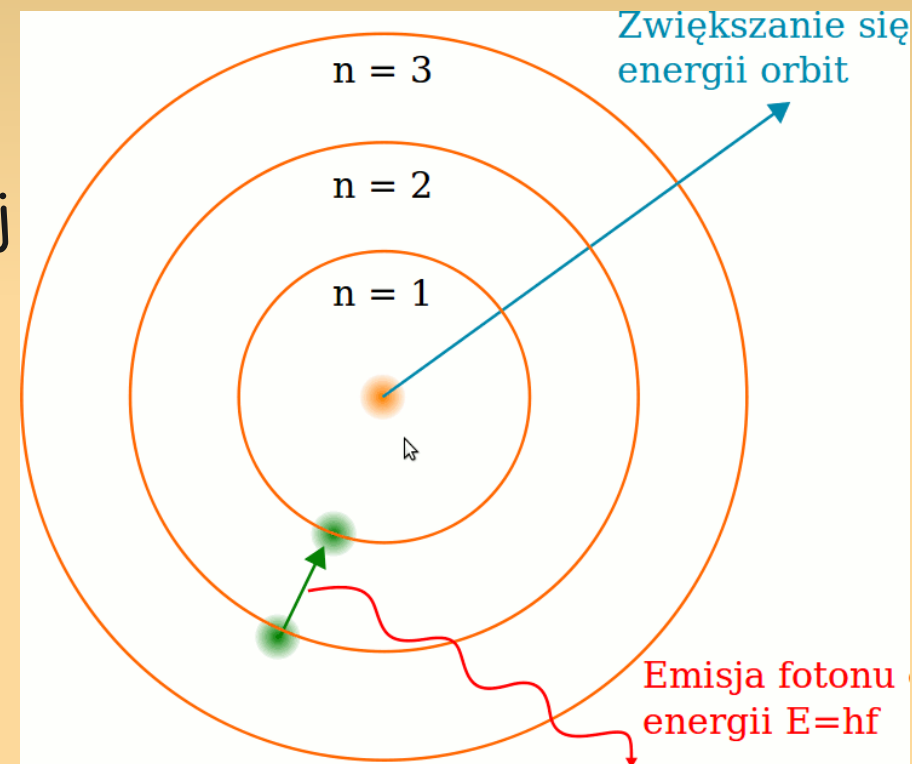
Historia spektroskopii

- Austriacki fizyk i matematyk Paul Ehrenfest nazwał to katastrofą w nadfiolecie. Na gruncie klasycznej termodynamiki nie można było opisać promieniowania ciał doskonale czarnych, a więc i promieniowania gwiazd.
- Rozwiązanie problemu podał w 1900 roku Max Planck, który zaproponował formułę opartą na tym, że ciało doskonale czarne emituje promieniowanie w określonych porcjach, co początkowo traktował jako matematyczną „sztuczkę”. W rzeczywistości rozpoczęła się era fizyki kwantowej.



Historia spektroskopii

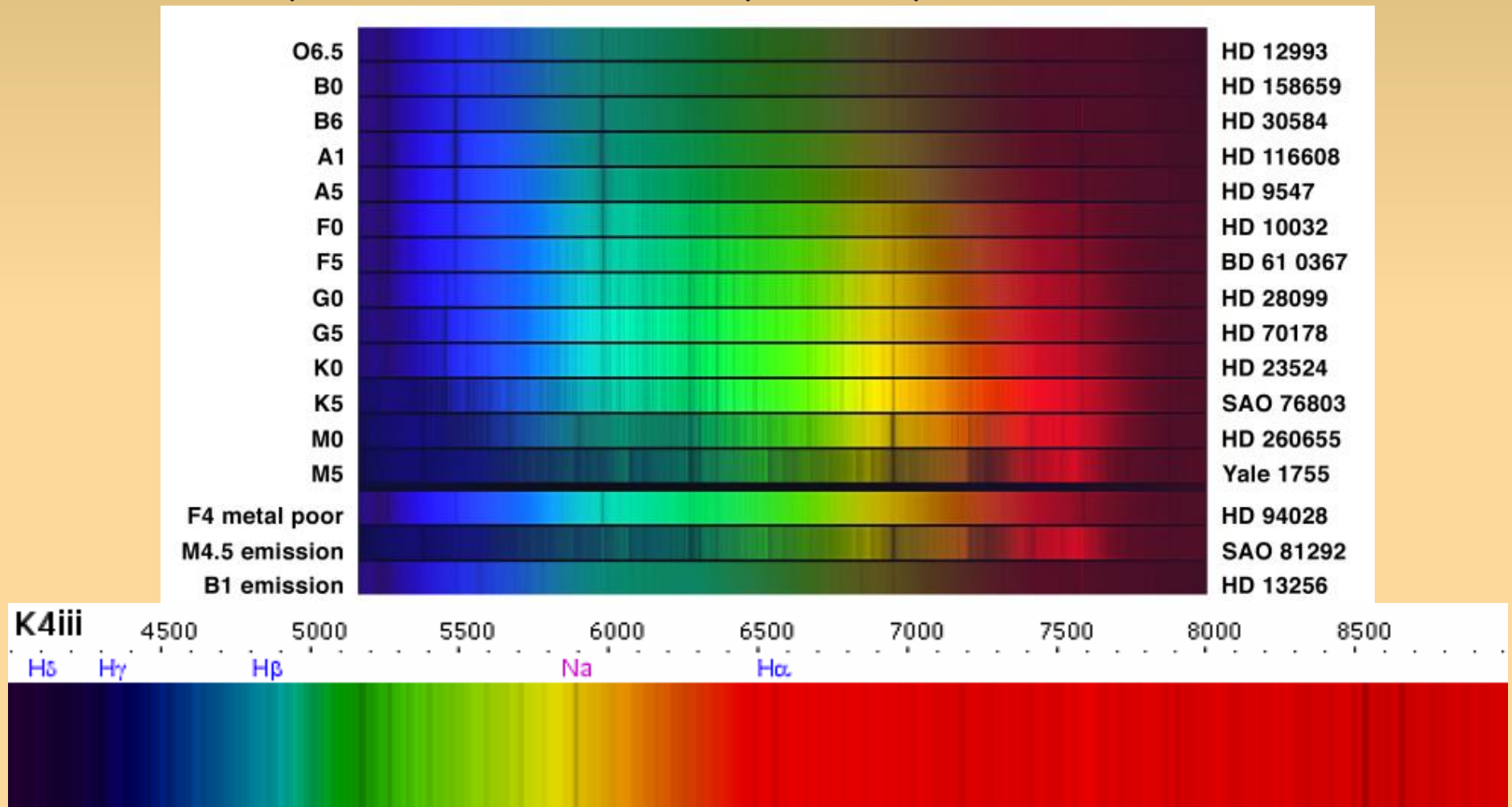
- W 1913 roku duński fizyk Niels Bohr zaproponował model budowy atomu wodoru, w którym:
- elektron może krążyć tylko po wybranych orbitach,
- elektron przechodząc z orbity o wyższej energii na orbitę o energii niższej powoduje, że atom emituje foton,
- absorpcja fotonu przez atom powoduje przejście elektronu z orbity niższej energii na orbitę o energii wyższej
- Zrozumiął stał się liniowy, nieciągły charakter widm.



Badania składu chemicznego

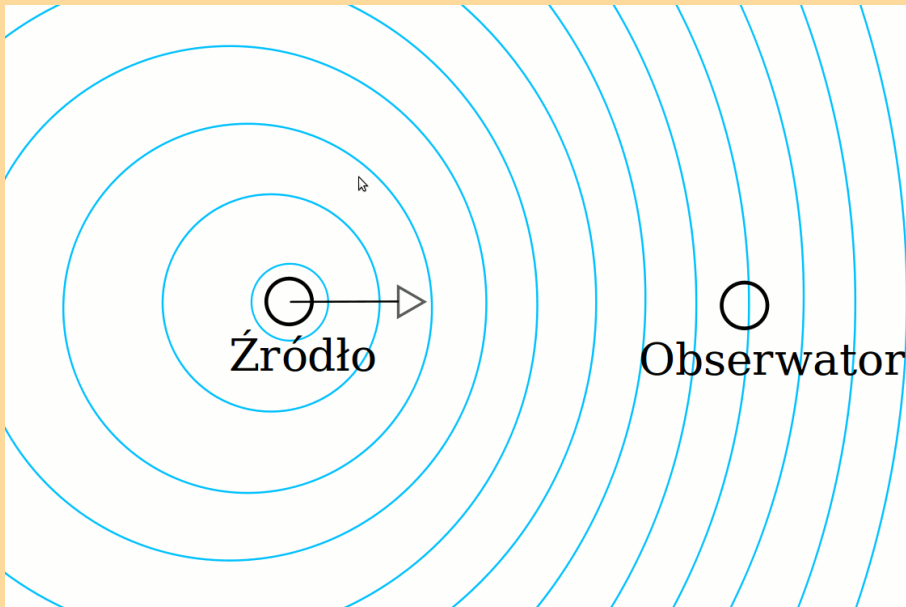


- Informacje o liniach w widmach gwiazd można było przełożyć nie tylko na skład chemiczny, ale również na temperatury.



Efekt Dopplera

W 1842 roku austriacki matematyk i fizyk Christian Doppler zauważył, że fale (a więc i światło) dochodzące od źródła światła zbliżającego się do obserwatora, mając mniejszą drogę do przebycia, ulegną zagęszczeniu, przychodząc częściej, co spowoduje wzrost ich częstotliwości, a więc spadek długości fali ($\lambda = c/f$) – przesuną się więc ku fioletowi. W przypadku gwiazdy oddalającej się od obserwatora linie w jej widmie przesuną się ku czerwieni.

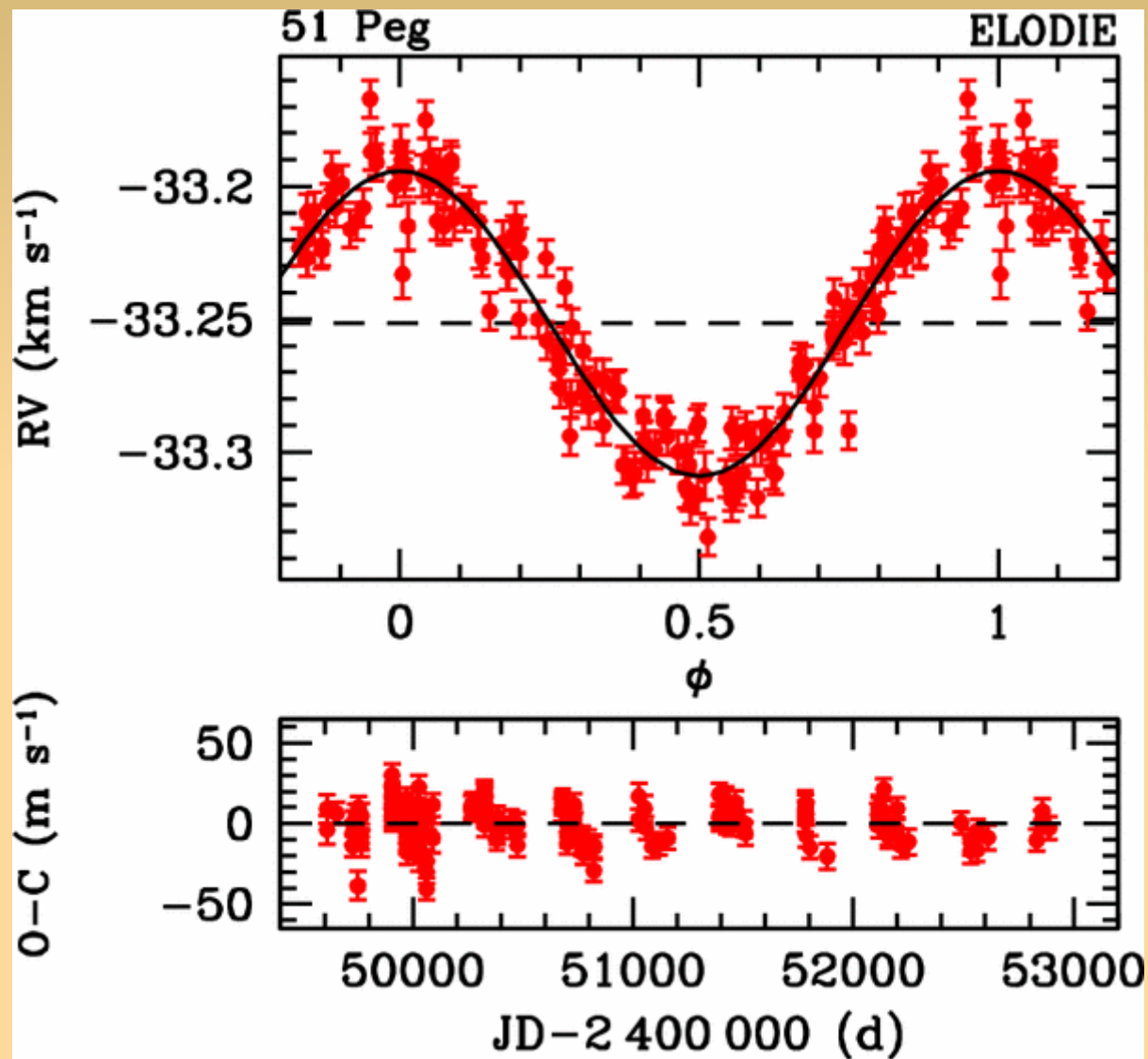


$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c}$$

Efekt Dopplera

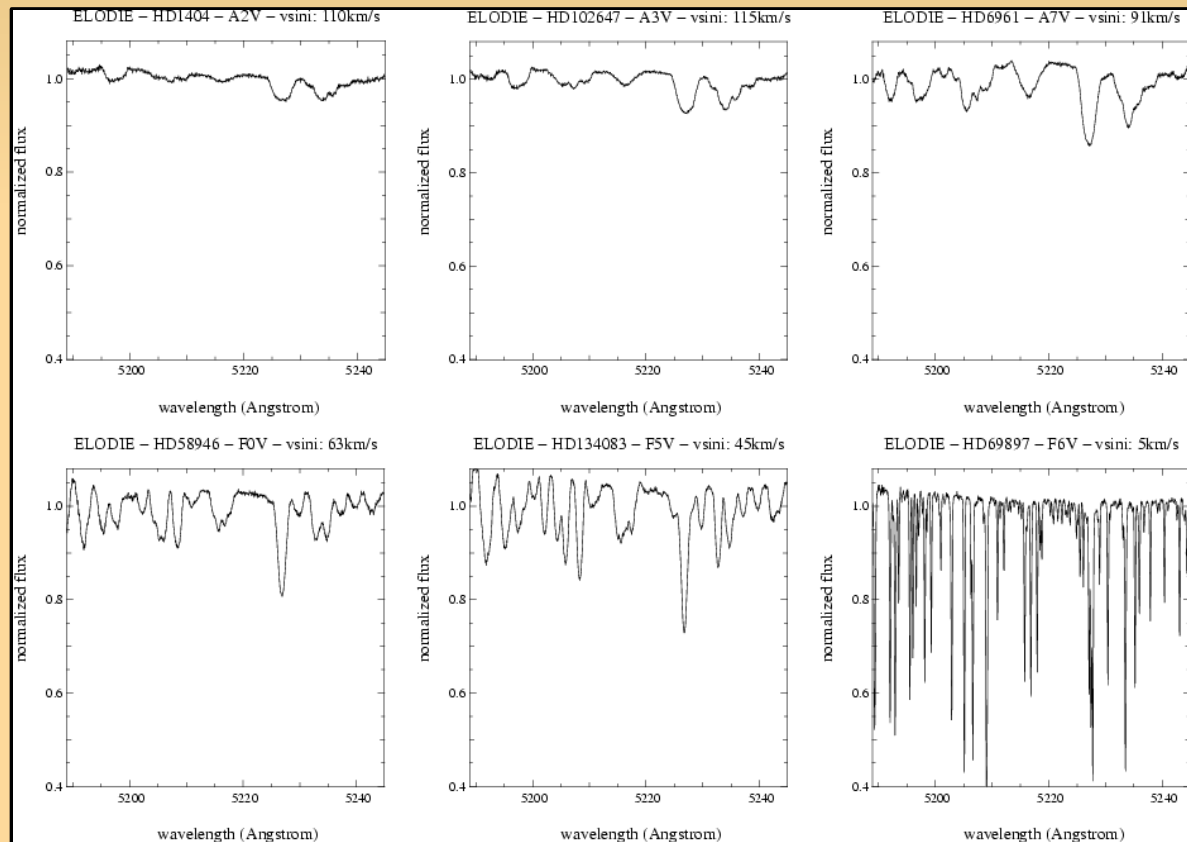
- Doppler próbował wyjaśnić w ten sposób różnice barw gwiazd. Chociaż tak nie jest (różnice barw gwiazd wynikają z różnicy ich temperatur), to efekt Dopplera miał i nadal ma kolosalne znaczenie w astronomii.
- W 1868 roku angielski astronom William Huggins zauważył różnice w pozycjach linii w widmie Syriusza i słusznie przypisał je efektowi Dopplera. Chociaż zmierzona przez niego prędkość radialna Syriusza wynosiła ok. +40 km/s (rzeczywiście jest ona równa -7.6 km/s), to jednak dała początek pomiarom prędkości radialnych gwiazd.
- Obecnie głównie dzięki pomiarom prędkości radialnych gwiazd astronomowie poszukują planet wokół innych gwiazd i potrafią mierzyć ich prędkości radialne z dokładnością poniżej 1 m/s, dążąc do dokładności rzędu 10 cm/s.

Efekt Dopplera – RV 51 Pegasi



Pomiary prędkości rotacji

Na skutek obrotu gwiazdy następuje poszerzenie linii w jej widmie. Wynika to z tego, że prawa strona gwiazdy oddala się od nas przesuając zgodnie z efektem Dopplera linie w kierunku fal dłuższych (czerwieni), a lewa przybliża, przesuując linie w kierunku fal krótszych (fioletu).



Bazy danych z widmami

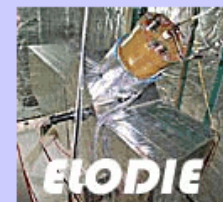


- Archiwum spektrografu ELODIE, przy pomocy którego Michel i Dider Queloz dokonali odkrycia pierwszej planety wokół gwiazdy podobnej do Słońca, czyli 51 Pegasi.



The ELODIE archive

An on-line database
of high-resolution stellar spectra



[Introduction](#) | [Help](#)

- [Archive News](#) | [Publications using ELODIE Archive](#)

Enter a designation or coordinates

Examples:

[HIP117998](#), [J04 14 57 15 32 10](#), [simbad:procyon](#), [HD190007](#), [HD190073](#), [GJ%](#)

a. For identifiers

you can choose to query :

only this object

b. For coordinate and around object queries, define a radius :

[arcmin]

c. Choose a sample in the list:

Whole archive

Bazy danych z widmami



- ELODIE:

- <http://atlas.obs-hp.fr/elodie/>
- <http://www.obs-hp.fr/www/archive/elodie-for-dummies.html>
- http://www.obs.u-bordeaux1.fr/m2a/soubiran/elodie_library.html

- SOPHIE:

- <http://atlas.obs-hp.fr/sophie/>
- http://www.obs-hp.fr/guide/sophie/data_products.shtml

- UVES:

- <http://www.sc.eso.org/santiago/uvespop/>

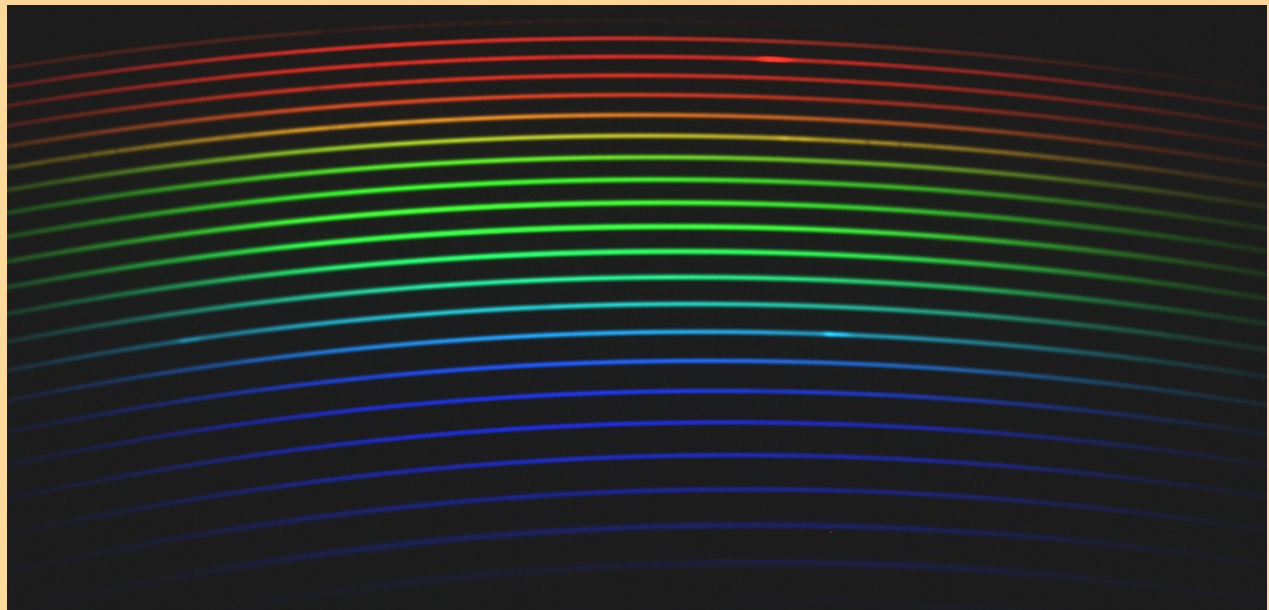
Widmo Słońca i widma syntetyczne



- Widmo Słońca w trybie do przeglądania:
 - http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.php
 - http://hebe.as.utexas.edu/2dcoude/read_atlas.cgi
 - <http://www.eso.org/observing/dfo/quality/GIRAFFE/pipeline/solar.html>
- Pakiety do tworzenia syntetycznych widm:
 - SPTOOL
 - <http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~takeda/sptool/>
 - SPECTRUM:
 - <http://www1.appstate.edu/dept/physics/spectrum/spectrum.html>

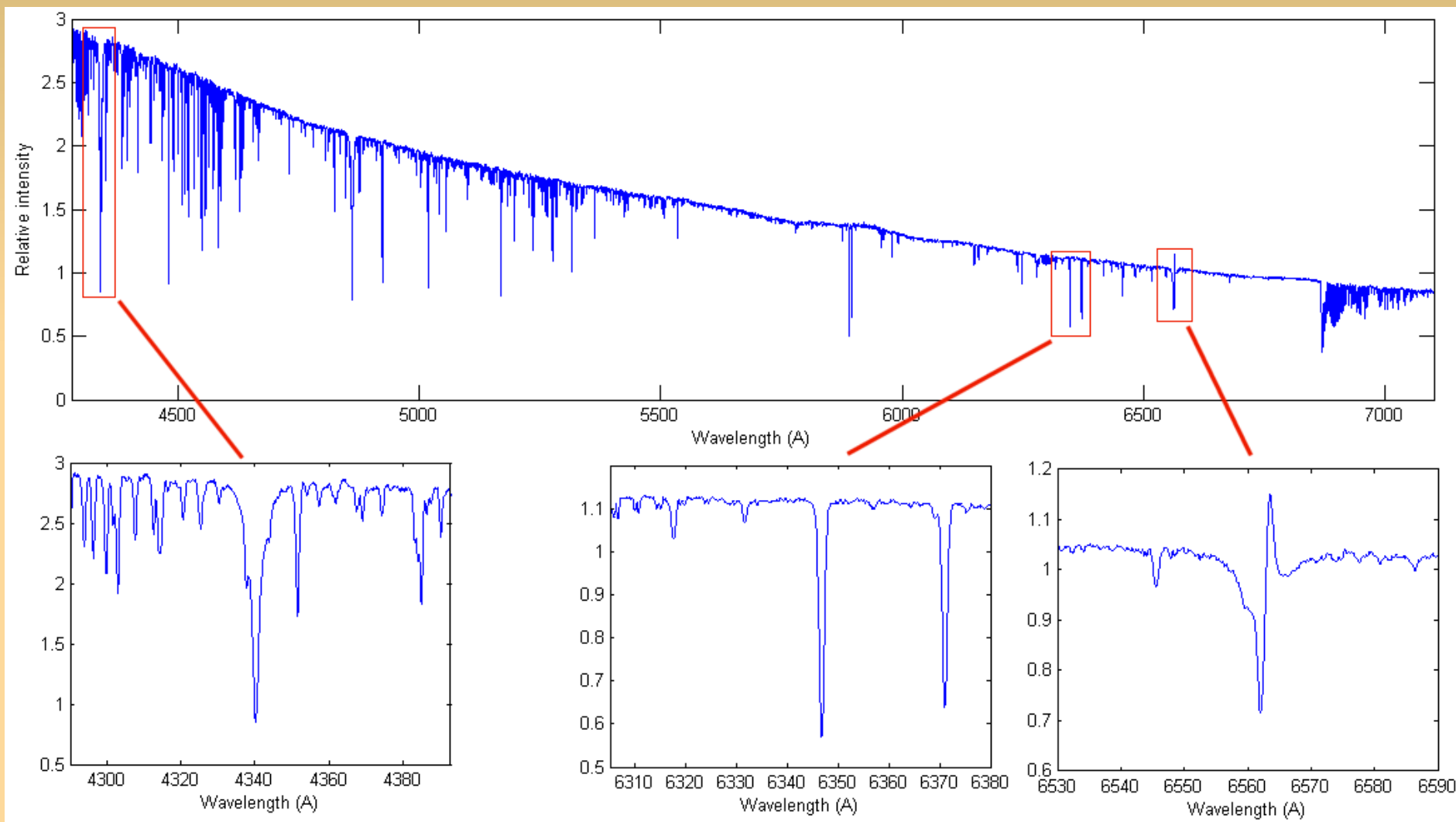
Spektrografy amatorskie

- Shelyak Instruments - <http://www.shelyak.com/>
- Star Analyser (pryzmat), R ~ 100 - 125 €,
- Lhires Lite - 1090 €,
- LISA, R ~ 600 - 1000, 2650 €
- Lhires III, R ~ 18 000 - 2 850 €,
- eShel, R > 10 000 - 13 740 €.



Spektrografy amatorskie

<http://astrosurf.com/~buil/>



Spektrografy amatorskie



• <http://astrosurf.com/~buil/>

