

Zjawisko emisji i absorpcji energii przez atomy gazu

Wstęp do tematu: Zjawisko emisji i absorpcji energii przez atomy gazu. Zasób zawiera: ogólny wstęp do tematu, fotografię mgławicy, odwołanie do wcześniejszej wiedzy ucznia oraz cele lekcji sformułowane w języku ucznia.

Zasób zawiera: określenie widma liniowego (dyskretnego); rysunek przedstawiający widma liniowe wodoru, helu, neonu i par rtęci; rys historyczny związany z liniowym widmem promieniowania; film animowany pokazujący widmo wodoru uzyskane za pomocą pryzmatycznego spektrometru optycznego; tabelaryczne zestawienie pt. Widmo atomu wodoru, pokazujące zależność barwy linii w widmie wodoru od długości fali; rysunek przedstawiający widmo liniowe wodoru; wzór Balmera wiążący ze sobą poszczególne długości linii widmowych wodoru; polecenie dla ucznia związane ze wzorem Balmera.

Zasób zawiera: rys historyczny dotyczący badania widma Słońca; rysunek przedstawiający widmo Słońca z zaznaczonymi liniami Fraunhofera wraz z wyjaśnieniem; informację o badaniu widm gwiazd; rysunek przedstawiający kilkanaście typów widm gwiazdowych wraz z wyjaśnieniem; krótkie powiązanie informacji o widmie gwiazdy i pierwiastkach wchodzących w jej skład.

Zasób zawiera: pięć sformułowań podsumowujących dotyczących widma emisyjnego liniowego i widma ciągłego; polecenie dla ucznia dotyczące wyszukania informacji o spektroskopie pryzmatycznym.

Zasób zawiera wyjaśnienie pojęć: analiza widmowa, spektroskop.

Zasób zawiera biogramy: Jan Jakub Balmer, Robert Wilhelm Bunsen, Joseph von Fraunhofer, Gustaw Robert Kirchhoff.

Zasób zawiera jedno ćwiczenie interaktywne typu prawda/ fałsz, zawierające trzy sformułowania dotyczące widm liniowych.

Zjawisko emisji i absorpcji energii przez atomy gazu

Dużym postępowaniem w zrozumieniu budowy atomu było odkrycie liniowego widma promieniowania gazów. Okazało się, że świecące gazy emitują tylko niektóre długości fali promieniowania. Jeżeli światło wysyłane przez gaz skierujemy na szczelinę spektroskopu, to powstający obraz nie będzie widmem ciągłym, lecz liniami o różnych barwach (prawie monochromatycznych). Linie te oznaczają, że świecące gazy wysyłają promieniowanie nieciągłe, w przeciwieństwie do ciał stałych, które po rozgrzaniu emitują widmo złożone z pełnego zakresu długości fal. A jak wygląda widmo nieciągłe i jaki ma ono związek ze zjawiskami emisji i absorpcji? Dowiesz się tego z dzisiejszej lekcji.



Zdjęcie mgławicy w gwiazdozbiórze Kila, wykonane teleskopem Hubble'a w 2010 roku.

Źródło: NASA, ESA, R. O'Connell (University of Virginia), F. Paresce (National Institute for Astrophysics, Bologna, Italy), E. Young (Universities Space Research Association/Ames Research Center), the WFC3 Science Oversight Committee, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA), dostępny w internecie: <https://www.nasa.gov/>, domena publiczna.

Przed przystąpieniem do zapoznania się z tematem, należy znać poniższe zagadnienia

- zakres długości fal charakterystycznych dla światła widzialnego;
- definicję promieniowania termicznego (ciepłego);
- definicję ciała doskonale czarnego;
- jaki charakter ma widmo promieniowania ciała doskonale czarnego;
- czy i dlaczego barwa świecącego ciała zależy od jego temperatury.

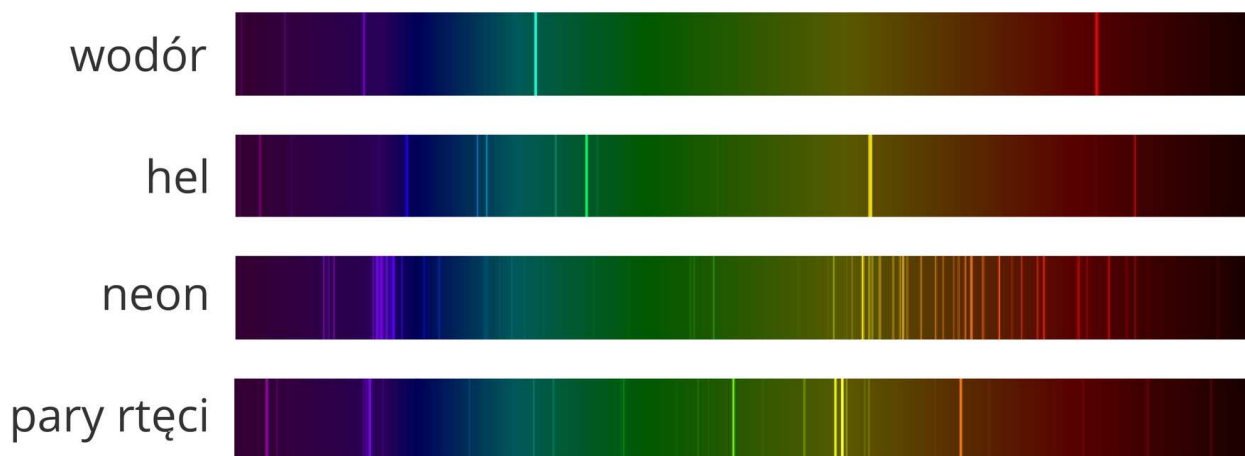
Nauczysz się

- odróżniać widma emisyjne ciągłe i liniowe;

- co jest źródłem widma liniowego;
- że widmo emisyjne emitowane jest przez gorący gaz, a widmo absorpcyjne – przez chłodny gaz pochłaniający promieniowanie elektromagnetyczne (np. światło) o widmie ciągłym, które to promieniowanie przechodzi przez ten gaz.

Emisja energii

Za pomocą [spektroskopu](#) bada się promieniowanie wysyłane przez sód i rtęć w stanie gazowym oraz przez inne gazy, takie jak wodór czy neon. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że widmo tego promieniowania nie jest ciągłe, tzn. występują w nim tylko niektóre długości fali. Takie widmo nazywamy widmem liniowym (dyskretnym lub nieciągłym). Warto wspomnieć, że istotną rolę w badaniach nad tym zjawiskiem odegrali fizycy [Gustav Kirchhoff](#) i [Robert Bunsen](#).



Linie widmowe wodoru, helu, neonu i par rtęci

Źródło: Teravolt (<http://commons.wikimedia.org>), Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

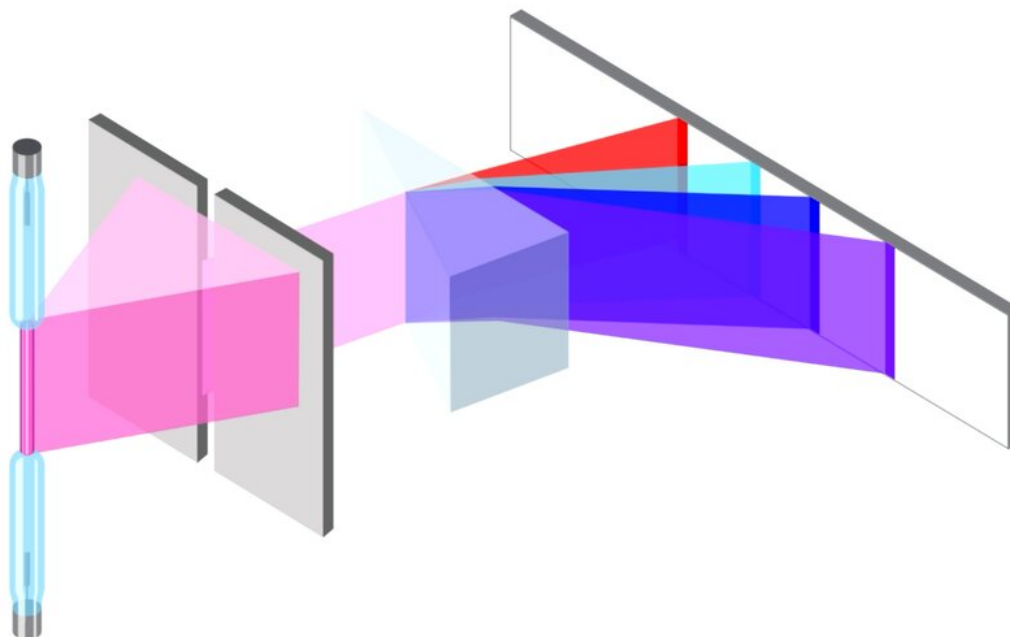
Badania wykazują, że każdy pierwiastek ma inne widmo liniowe, które pozwala na jednoznaczną identyfikację danego pierwiastka. Badanie widma Słońca pokazało, że występują w nim linie pierwiastka nieznanego na Ziemi. Nazwano go helium, czyli „słoneczny”. Późniejsze badania różnych gazów wykazały, że jest to gaz występujący również na Ziemi.

W II połowie XIX wieku kłopoty sprawiało wyjaśnienie zarówno rozkładu energii w widmie ciała stałego, jak i powstawania liniowego widma pierwiastków w stanie gazowym. Wyniki eksperymentalne były nie do pogodzenia z ówczesnym stanem wiedzy. Poprawna interpretacja wymaga wprowadzenia opisu kwantowego, który wtedy jeszcze nie był znany.

Widma atomowe bada się przy użyciu prostych układów pomiarowych. Typowy układ do pomiaru [widma](#) posiada:

- źródło światła w postaci jednoatomowego gazu, który emituje światło kiedy przepuszczony jest przez niego prąd elektryczny,
- szczelinę kolimującą, która służy do zwiężenia światła w wiązkę,
- pryzmat lub siatkę dyfrakcyjną, które rozszczepiają i załamują światło o różnych długościach fali,
- ekran, na którym wyświetlane są rozdzielone kolorowe wiązki światła, z którego możemy odczytać ich długości.

Taki przykładowy układ możemy zobaczyć na filmie:



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R8EHovaEVYdTI>

Widmo wodoru

Źródło: Anita Mowczan, Kevin MacLeod (<http://incompetech.com>), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o, licencja: CC BY 3.0.

Materiał dotyczący widma wodoru.

Poniżej znajduje się tabela przedstawiająca długości fali i barwy widma liniowego wodoru.

Widmo atomu wodoru

Lp.	Długość fali λ [nm]	Barwa
1	410, 17	fioletowa
2	434, 05	fioletowa
3	486, 13	niebieska
4	656, 27	czerwona

Fizycy często poszukują zależności matematycznych pomiędzy wielkościami wyznaczonymi doświadczalnie. Jedną z nich w 1884 roku wykrył matematyk [Johann Jakob Balmer](#) ze Szwajcarii – udało mu się to zrobić na podstawie analizy wyników uzyskanych przez fizyków wykonujących doświadczenia.



Linie widmowe H_α , H_β , H_γ i H_δ

Widmo wodoru

Źródło: Merikanto, Adrignola (<http://commons.wikimedia.org>), Dariusz Kajewski, edycja: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Balmerowi udało się opracować wzór wiążący ze sobą poszczególne długości linii widmowych wodoru:

$$\lambda = b \frac{n^2}{n^2 - 2^2}$$

dla: $n = 3, 4, 5, 6$; $b = 364,6 \text{ nm}$.

Ćwiczenie 1

Sprawdź, dla jakiego n we wzorze Balmera otrzymujemy długości fali poszczególnych linii podanych w tabeli powyżej. Wyniki podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Dla $n = 3$ otrzymujemy falę o długości nm (H_α).

Dla $n = 4$ otrzymujemy falę o długości nm (H_β).

Dla $n = 5$ otrzymujemy falę o długości nm (H_γ).

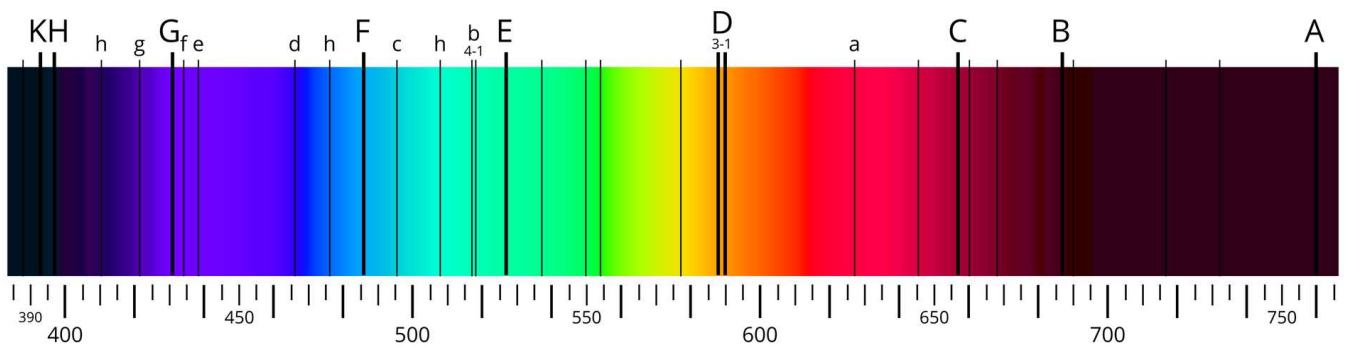
Dla $n = 6$ otrzymujemy falę o długości nm (H_δ).

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Widmo absorpcyjne

Na początku XIX wieku zaobserwowano w widmie światła słonecznego obecność ciemnych linii. Od 1814 r. niemiecki fizyk [J. Fraunhofer](#) zaczął systematycznie badać widmo Słońca. Wyznaczał przede wszystkim długości fali odpowiadających ciemnym liniom. Doszedł do wniosku, że w widmie Słońca znajduje się ich ponad 500. Późniejsze

badania Kirchhoffa i Bunsena dowiodły, że długości fali dla niektórych linii są dokładnie równe długościom czterech linii wodoru (patrz: tabela powyżej) wyznaczonych z analizy widma emisyjnego.

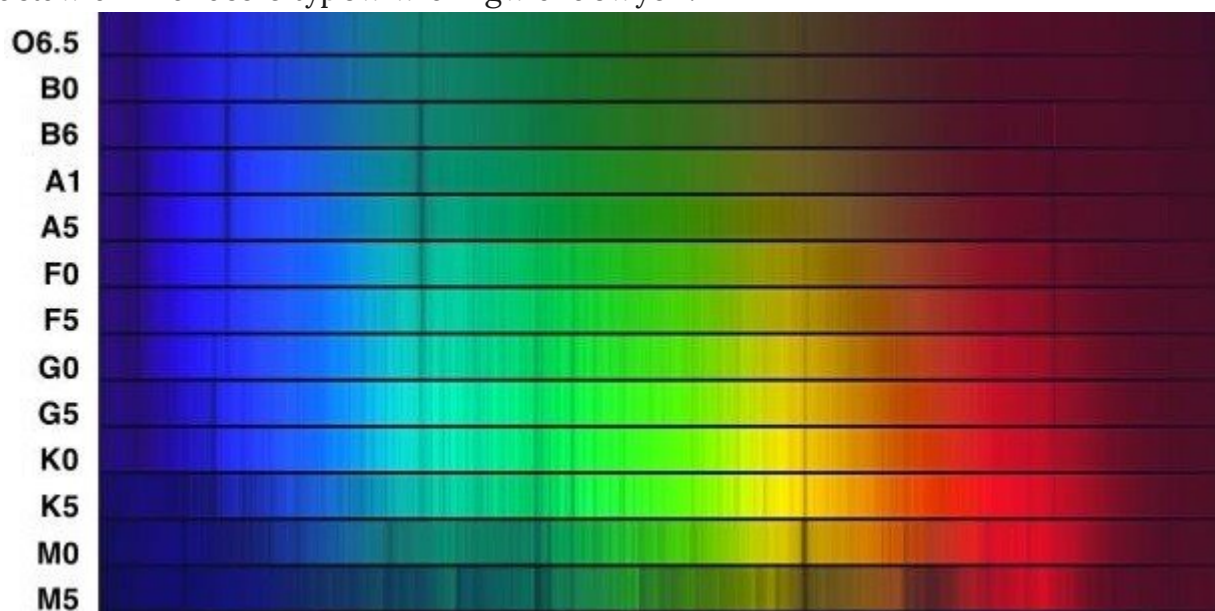


Linie Fraunhofera. C, F – linie absorpcyjne wodoru; D1, D2 – linie sodu; H, K – linie wapnia zjonizowanego (pozbawionego jednego elektronu); E – jedna z linii żelaza (jest ich bardzo dużo); A i B – linie otrzymane w wyniku absorpcji światła przez cząsteczki tlenu znajdujące się w atmosferze ziemskiej

Źródło: Saperaud, Cepheiden, Eric Bajart, edycja: Krzysztof Jaworski, dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org>, licencja: CC BY 3.0.

Ciemne linie absorpcyjne oznaczają, że energia fal o tych długościach jest pochłaniana. Promieniowanie wychodzące z wnętrza Słońca przechodzi przez chłodniejsze warstwy atmosfery słonecznej i jest pochłaniane przez znajdujące się tam atomy. Badania doprowadziły do wniosku, że w atmosferze Słońca znajdują się atomy wodoru, żelaza, sodu, wapnia i dziesiątków innych pierwiastków.

Badania widm absorpcyjnych i emisyjnych są podstawowymi i najbardziej powszechnymi metodami dającymi wgląd w skład chemiczny gwiazd – nie możemy przecież polecieć tak daleko. Zdecydowana większość widm gwiazdowych to widma absorpcyjne – wynika to z faktu, że gaz znajdujący się blisko powierzchni gwiazdy jest chłodniejszy niż wnętrze samej gwiazdy i pochłania promieniowanie emitowane z jej środka. Poniższy rysunek przedstawia kilkanaście typów widm gwiazdowych.



Ze względu na temperaturę powierzchni i skład chemiczny, gwiazdy można podzielić na siedem podstawowych typów widmowych: O, B, A, F, G, K, M. Typy te, w zależności od linii absorpcyjnych występujących w widmach

gwiazd, można z kolei podzielić na podtypy oznaczane cyframi od 0 do 9. Widmo Słońca jest widmem typu G2.

Źródło: KPNO 0.9-m Telescope, AURA, NOAO, NSF, dostępny w internecie: <https://apod.nasa.gov/apod/ap010530.html>, domena publiczna.

Najwyższą temperaturę na powierzchni mają gwiazdy typu O – sięga ona 25000 K. Widma typu G (widoczne na powyższym rysunku) są charakterystyczne dla gwiazd chłodniejszych. Do tego typu zalicza się nasze Słońce, które ma temperaturę powierzchniową ok. 6000 K. Gwiazdy typu M5 osiągają temperaturę ok. 3000 K. Istnieją również gwiazdy o temperaturze zarówno powyżej 25000 K, jak i poniżej 3000 K.

Na przykładowym zestawie widać, że położenie linii absorpcyjnych jest stałe, ale nie wszystkie z nich są jednakowo dobrze widoczne. Powodem jest przede wszystkim temperatura powierzchni gwiazdy, która wpływa na stan atomów i ich prędkość. W wysokich temperaturach atomy są zjonizowane i ich widmo jest inne, niż gdyby znajdowały się one w stanie neutralnym. Ważne są również czynniki, takie jak gęstość gwiazdy oraz skład chemiczny, jednak – wbrew pozorom – nie jest on najistotniejszy. Astronomowie twierdzą bowiem, że jeżeli w widmie są widoczne linie jakiegoś pierwiastka, to na pewno znajduje się on w atmosferze gwiazdy. Natomiast jeżeli jakiś pierwiastek się tam znajduje, to w wypadku wystąpienia pewnych niekorzystnych okoliczności możemy nie zobaczyć jego linii.

Podsumowanie

- Widmo, które składa się z oddzielnych linii widmowych, nazywamy widmem liniowym.
- Wszystkie pierwiastki w stanie gazowym mają charakterystyczne widmo liniowe.
- Widmo liniowe jest typowe dla gazów składających się z atomów lub cząsteczek. Przykładem są gazy takie jak wodór, hel, neon, argon, opary rtęci lub sodu.
- Odkrycie linii widmowych wodoru oraz innych pierwiastków przyczyniło się do zrozumienia budowy atomu.
- Gorące gazy wysyłają promieniowanie liniowe emisyjne. Jeżeli jednak promieniowanie mające widmo ciągłe przechodzi przez obszar zawierający chłodny gaz, to następuje absorpcja energii fal dokładnie o tych długościach, które dany atom może emitować.

Ćwiczenie 2

Opisz budowę i zasadę działania spektroskopu przyzmatycznego.

Zadanie podsumowujące moduł

Ćwiczenie 3



Które z poniższych zdań są prawdziwe, a które fałszywe? Przy każdym zdaniu w tabeli zaznacz „Prawda” albo „Fałsz”.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Każde ciało o temperaturze powyżej zera absolutnego emituje widmo liniowe.	☐	☐
Linie absorpcyjne pierwiastków powstają gdy przez gaz składający się z tych pierwiastków przechodzi promieniowanie z zewnątrz.	☐	☐
Odległości pomiędzy liniami Balmera są jednakowe.	☐	☐

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Słownik

analiza widmowa

metoda badania składu substancji na podstawie analizy długości fal widma emitowanego przez tę substancję. Analiza widm pozwala na wyznaczanie temperatury gwiazdy, jej składu chemicznego, gęstości gazu w jej atmosferze, a nawet prędkości wirowania gwiazdy wokół własnej osi.

spektroskop

przyrząd służący do rozkładu promieniowania widzialnego na poszczególne barwy składowe (widmo) według długości fali. Pozwala na wyznaczenie długości fali danego promieniowania.

Biogramy



Szwajcarski fizyk i matematyk

Źródło: N.N., dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org>, domena publiczna.

Johann Jakob Balmer

1825.05.1 Lausen – 1898.03.12 Bazylea

[balmer]

Zajmował się głównie geometrią i spektroskopią. Opracował wzór opisujący linie widmowe wodoru.



Niemiecki fizyk i chemik

Źródło: C. H. Jeens, dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org>, domena publiczna.

Robert Wilhelm Bunsen

1811.03.30 Getynga – 1899.08.16 Heidelberg

[bunsen]

Wspólnie z Kirchhoffem prowadził badania w dziedzinie spektroskopii. Jest też wynalazcą palnika (1850 r.), który do dziś jest stosowany w szkolnych pracowniach chemicznych (fizycznych), a nawet w budownictwie.



Joseph von Fraunhofer – odkrywca linii absorpcyjnych w widmie Słońca

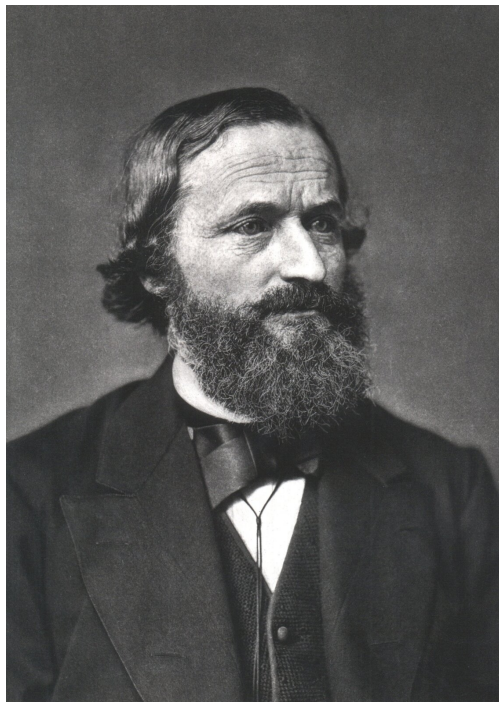
Źródło: N.N., dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org>, domena publiczna.

Joseph von Fraunhofer

1787.03.6 Straubing – 1826.06.7 Monachium

[jozef von fraunhofer]

Największe odkrycia Josepha von Fraunhofera dotyczą optyki i astronomii. Jego wynalazkami są: siatka dyfrakcyjna, {spektroskop}spektroskop pryzmatyczny i heliometr. Fraunhofer, niezależnie od A. Fresnela, opisał zjawisko dyfrakcji i zaobserwował linie absorpcyjne w widmie Słońca.



Odkrywca prawa promieniowania ciała doskonale czarnego i metody analizy widmowej

Źródło: QWerk, edycja: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org>, domena publiczna.

Gustaw Robert Kirchhoff

1824.03.12 Królewiec – 1887.10.17 Berlin

[gustaw robert kirshof]

Niemiecki fizyk, w latach 1850-54 profesor uniwersytetu we Wrocławiu. Znany jest przede wszystkim z prac nad teorią obwodów elektrycznych i temperaturowym promieniowaniem ciał. Skonstruował **spektroskop** (razem z R. W. Bunsenem), badał linie widmowe pierwiastków. Zastosował spektroskopię do badania atmosfery słonecznej i widma jaśniejszych gwiazd stałych.