

分光観測について

スペクトルとは

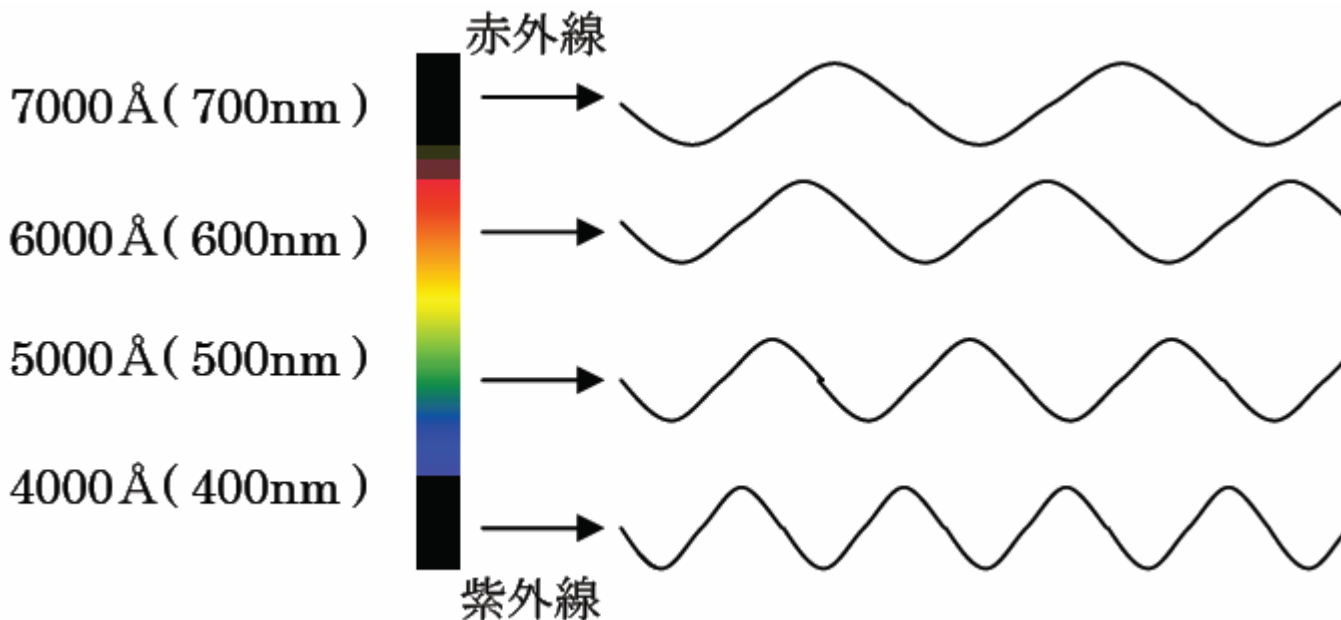
- 光(可視光)は電磁波の一種。
- 波の性質を持つ。



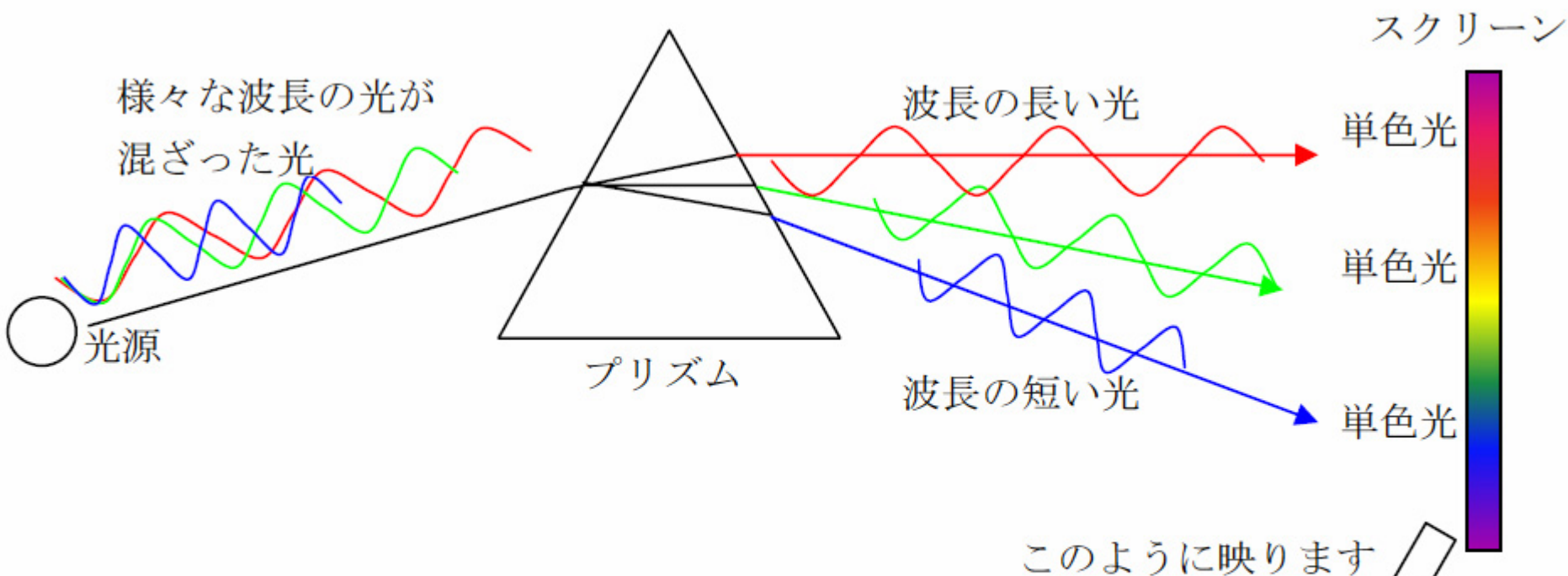
名称	典型的な波長
電波	mm、cm、m、km
赤外線	700nm～1mm 程度
可視光線	400 nm ～ 700 nm 程度 (nm = 10 億分の 1 m)
紫外線	10 nm ～ 400 nm 程度
X 線	0.01 nm ～ 10 nm 程度
γ 線	0.01 nm 程度以下

色の違い

- 赤い→波長の長い光が強い。
- 青い→波長の短い光が強い。
- 波長を表すのに、オングストローム($\text{\AA}$)を用いることが多い。



分光



光源が白熱灯のときスクリーンに映る模様

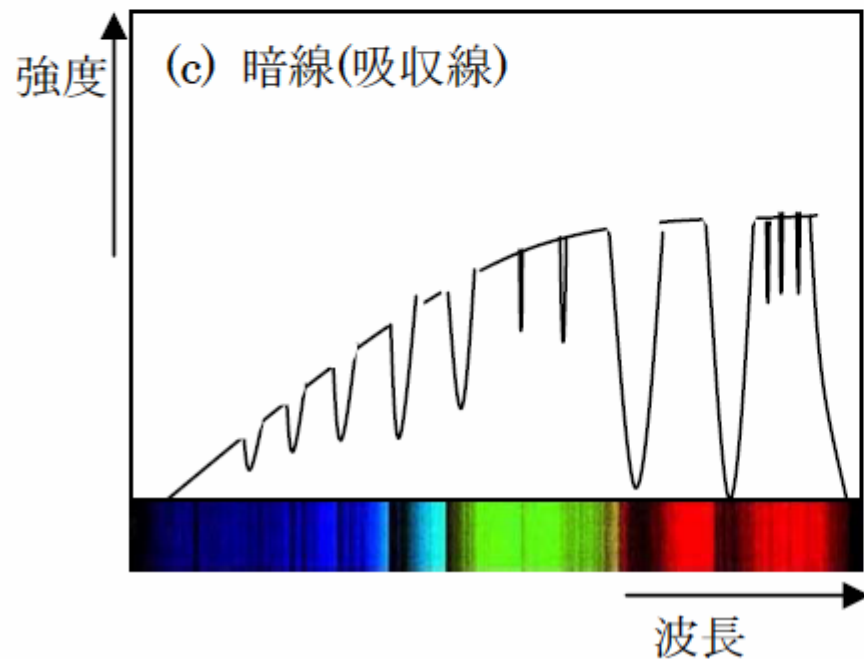
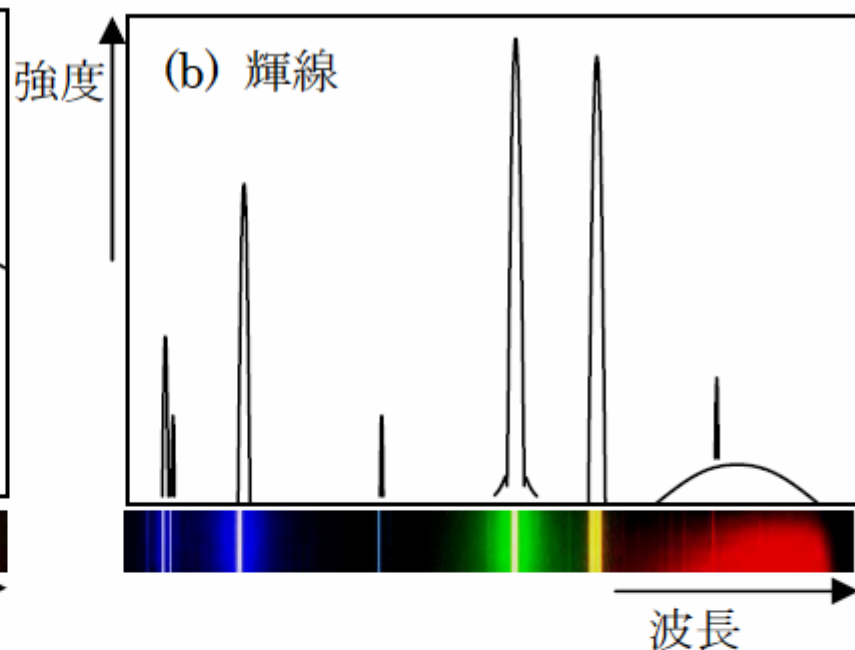
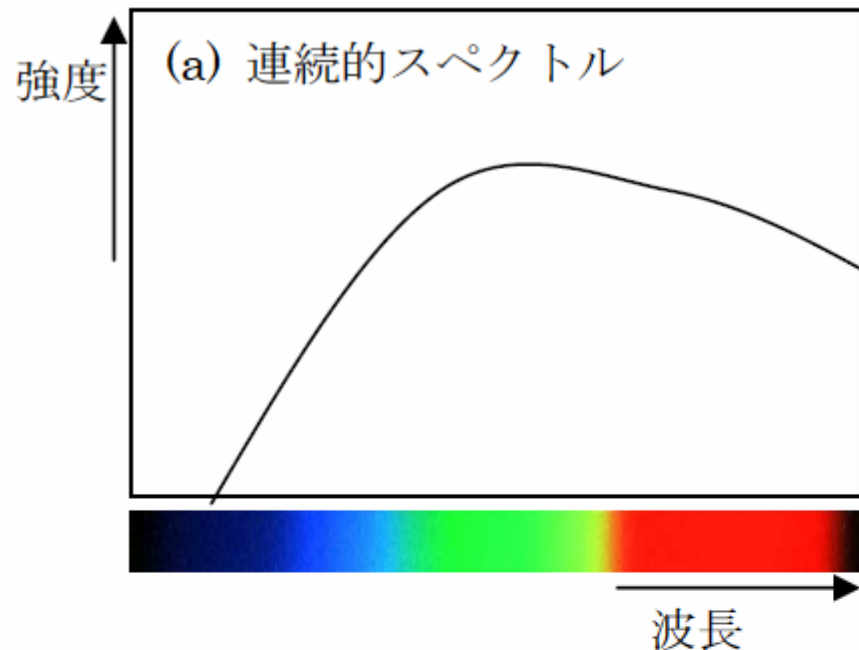


光源が水銀灯のときスクリーンに映る模様



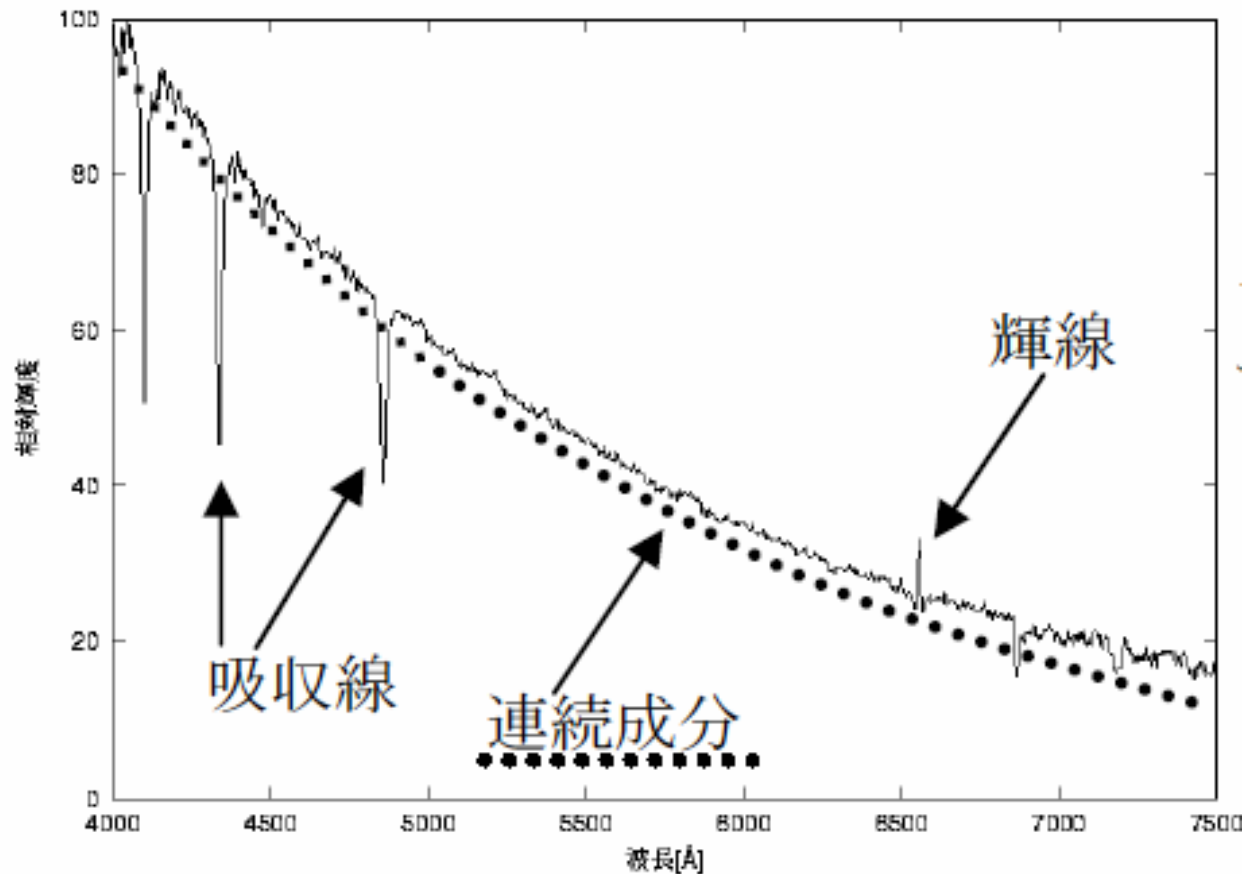
スペクトル

- どんな波長の光がどの程度の強さであるのか示したものを「スペクトル」と呼びます。
- 横軸に光の波長、縦軸にその波長の光の強さを描いたグラフが良く使われます。



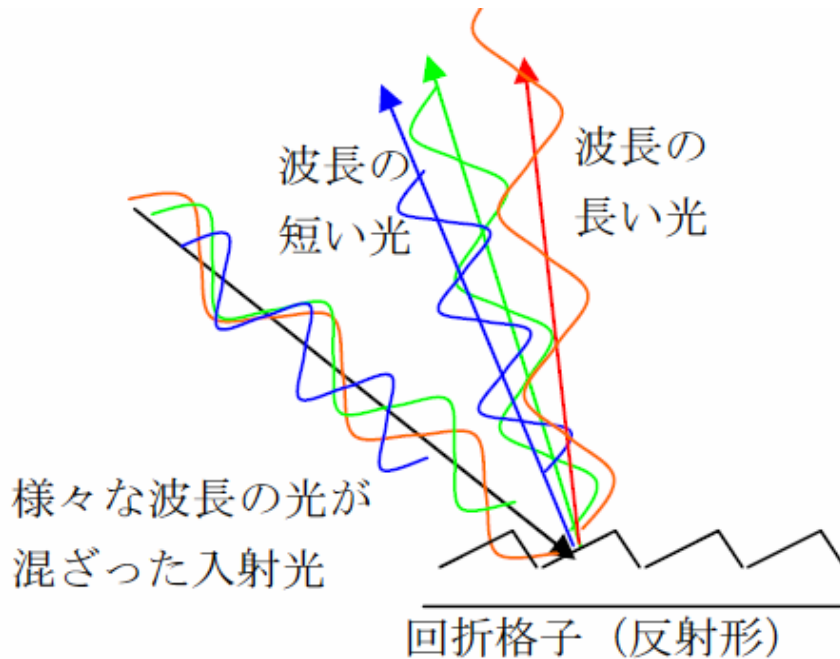
明るく見える色に相当する波長のところで、グラフの曲線が上がります。

β Cyg bのスペクトル



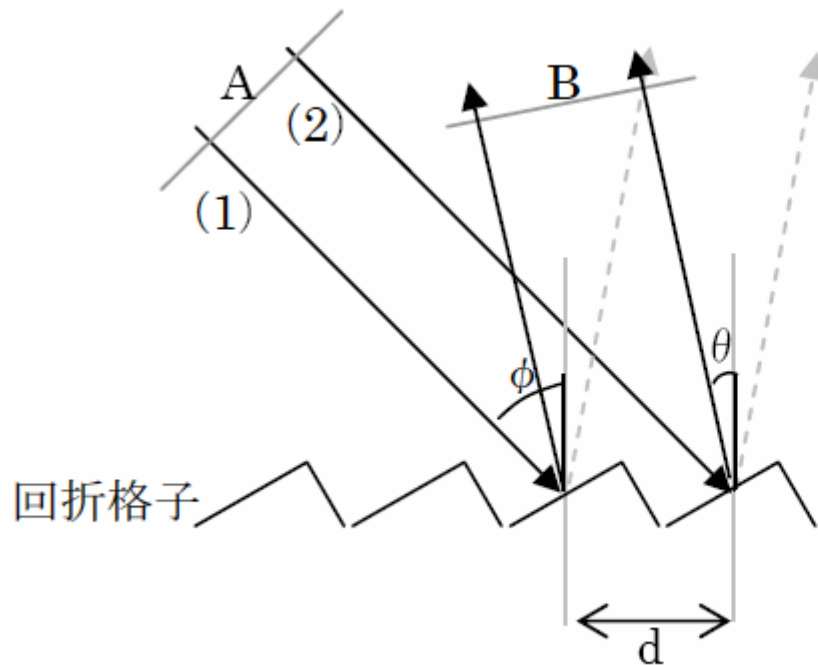
- 吸収線や輝線が見えるのは、さまざまな元素の原子や分子がそれぞれ特定の波長の光を吸収したり放出したりする性質を持つため。

回折格子による分光



- 回折格子は多数の細長い刻み(隙間)を等間隔で平行に並べたものです。
- 光の波長ごとに干渉により強めあう角度が異なるため、波長ごとに光を分けることができます。

光の干渉

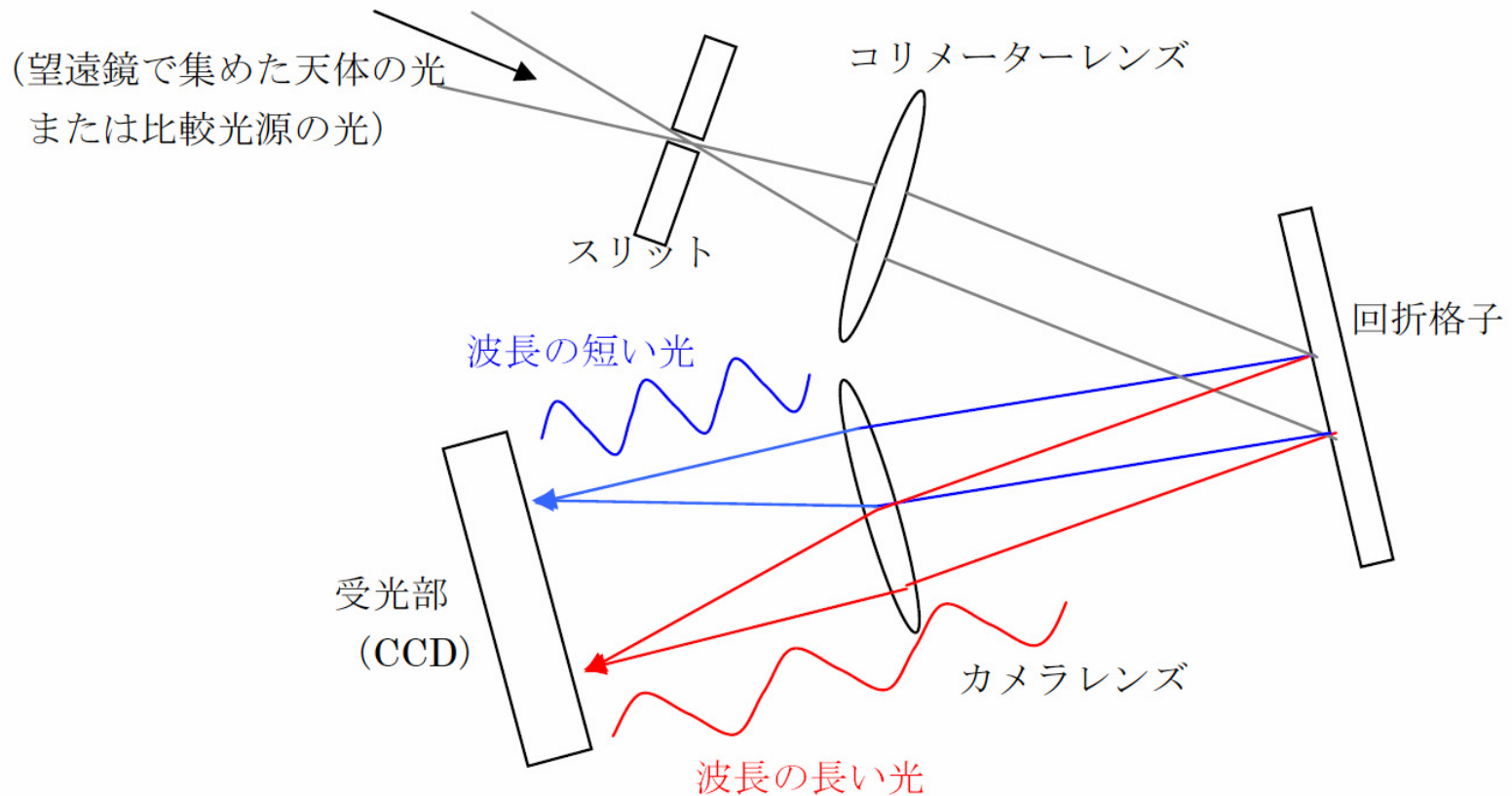


光路の長さの差 $= d (\sin \theta + \sin \phi)$
が波長 λ の整数倍 (n 倍) となる角度
に回折する

$$d (\sin \theta + \sin \phi) = n \lambda$$

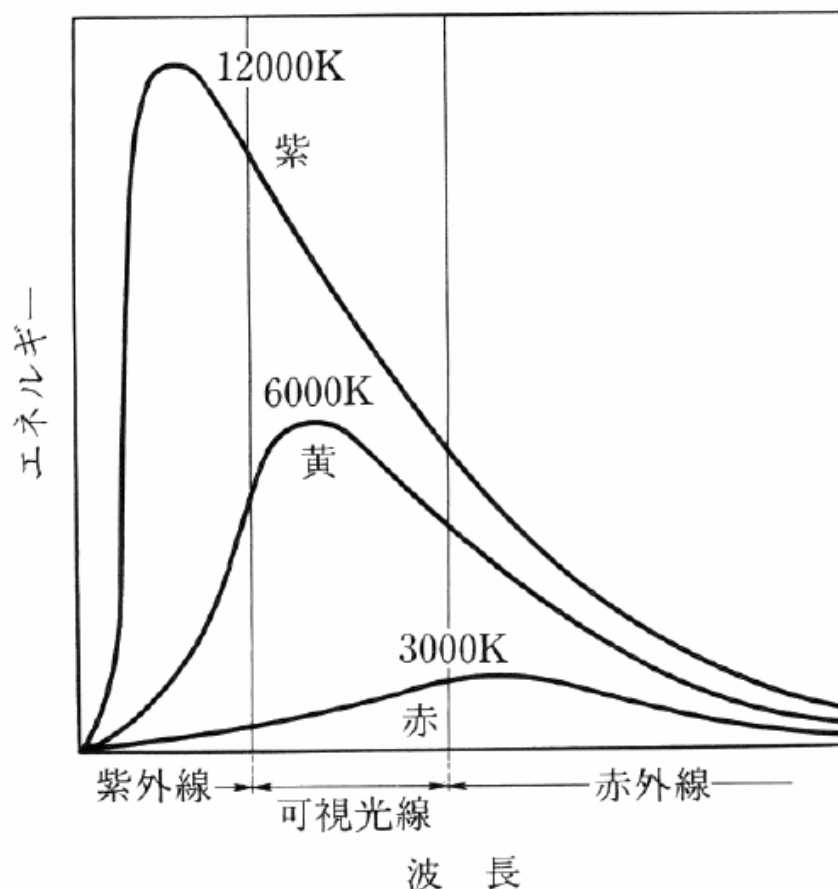
- AからBまでで、(1)と(2)では光路差があり、これが波長の整数倍になると強め合う。
- 強め合う角度 θ は波長により異なるので、波長によって異なる角度に光が出て行く。

分光器



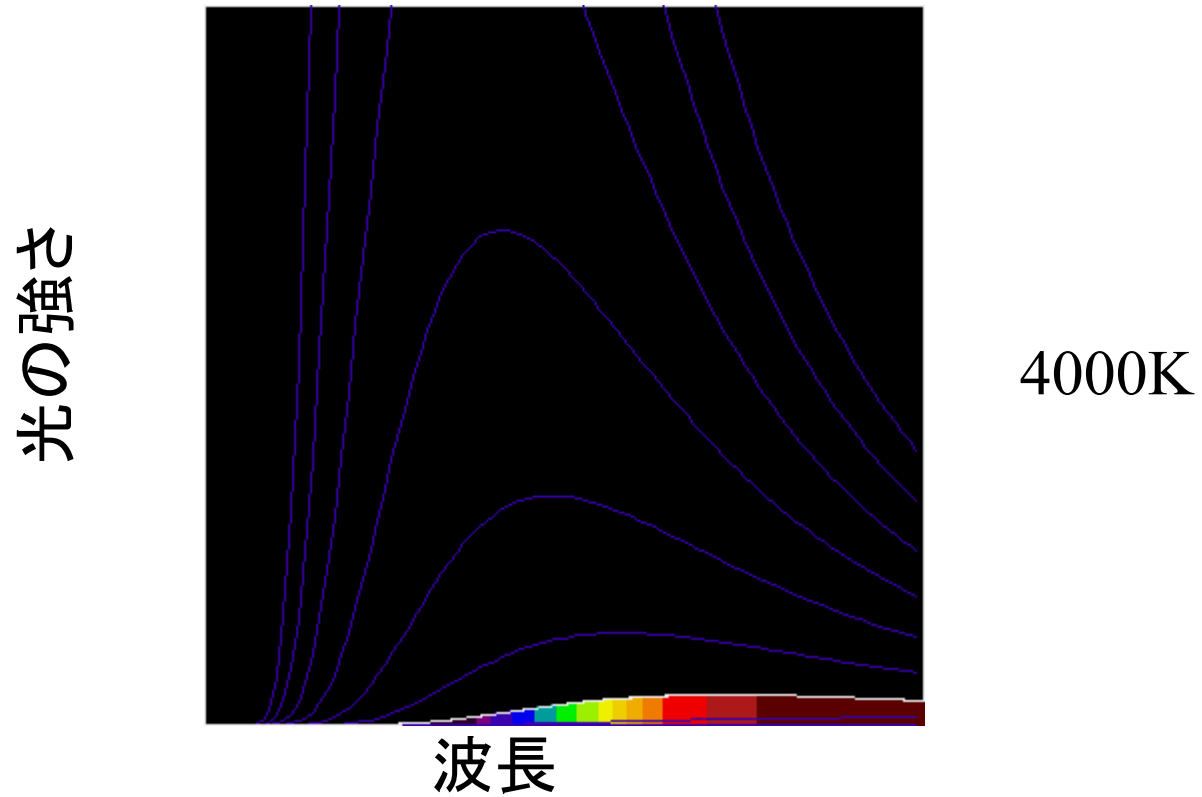
- 展示コーナーの模型をご覧ください。

スペクトルから温度を調べる

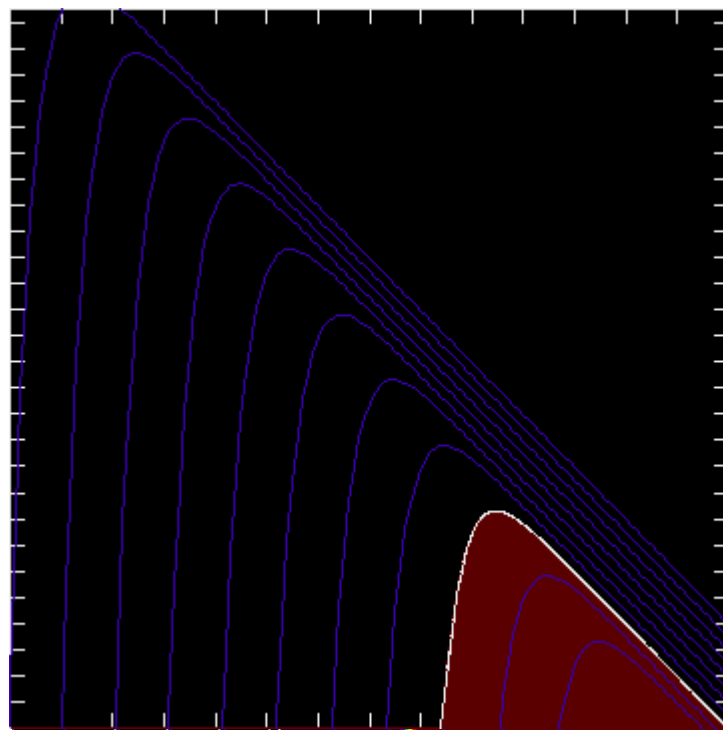


- 恒星から出てくる光は黒体輻射で近似できる。
- 黒体とは、熱力学的平衡で、すべての波長域において光を吸収する物質
- 黒体輻射はある温度を持った黒体が出す光

黒体輻射スペクトル



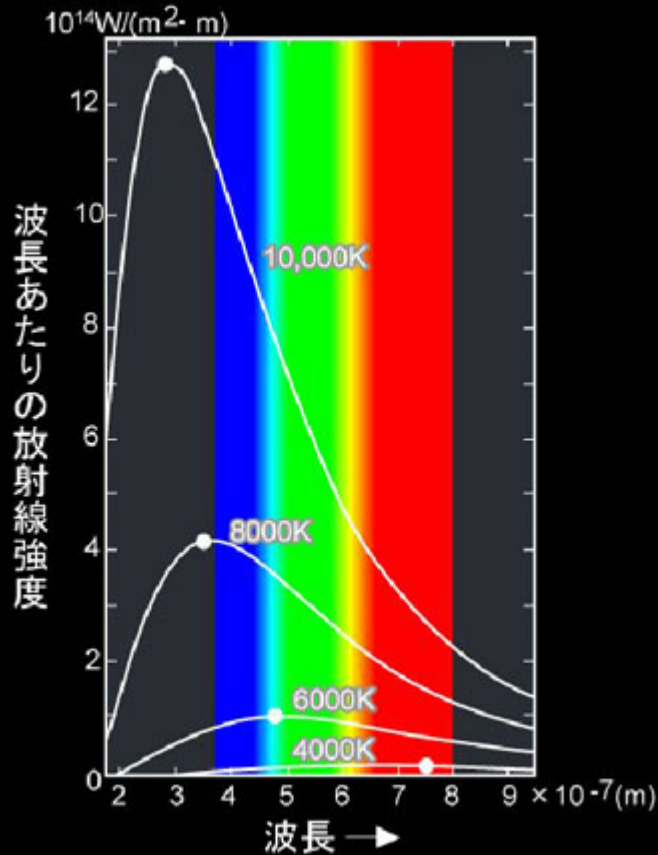
光の強さの対数



波長の対数

10^2

星の温度を決めるには



- 色の違いを測定する。
 - 多色フィルターを用いた測光観測など。
- スペクトルの形を調べる
 - 強度が最大の波長を求める。

有効温度

- 黒体からの放射エネルギーはプランクの放射公式によって得られる。

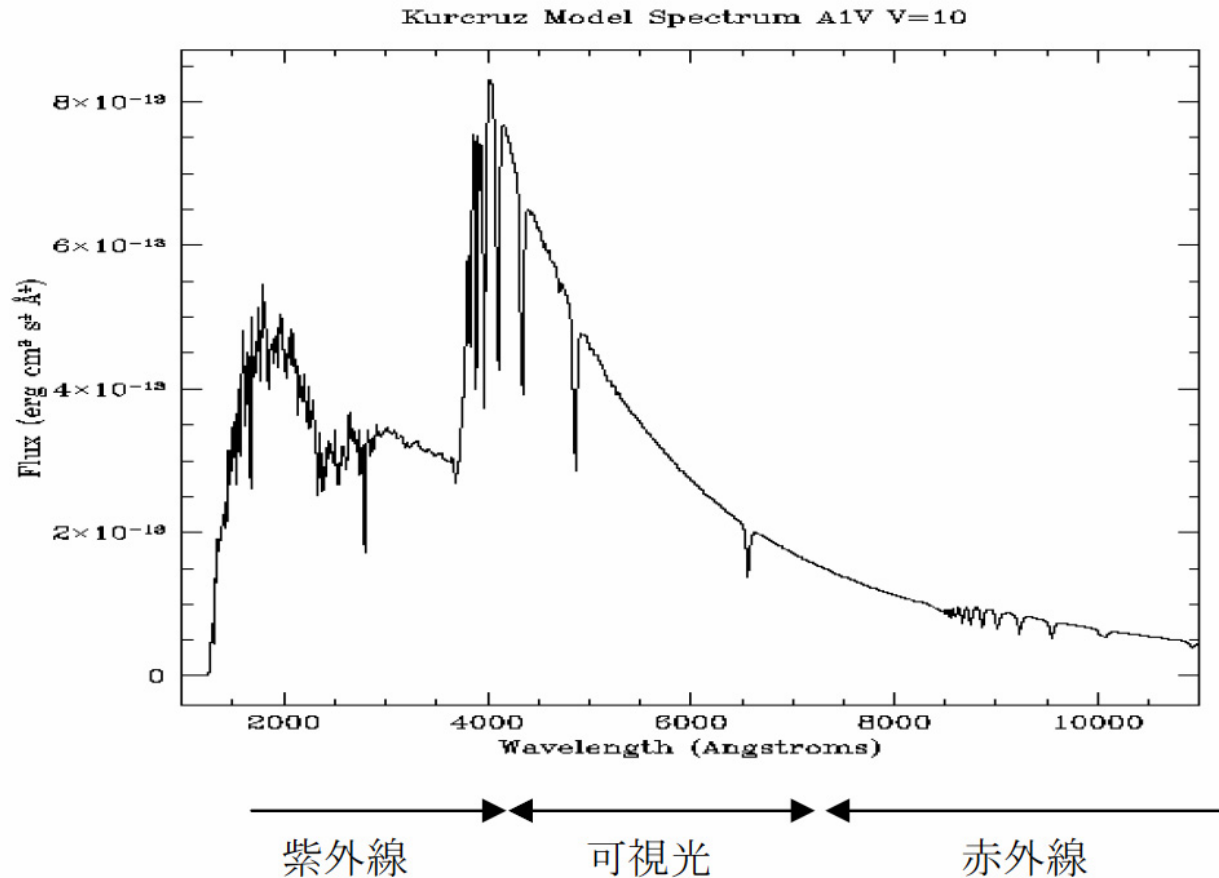
$$B(T, \lambda) = \frac{2hc^2 \mu^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad [\text{erg /cm}^2/\text{sec /strad /cm}]$$

- エネルギーの総量は波長について積分して得られる。

$$B(T) = \sigma T^4 \quad [\text{erg /cm}^2/\text{sec /strad}]$$

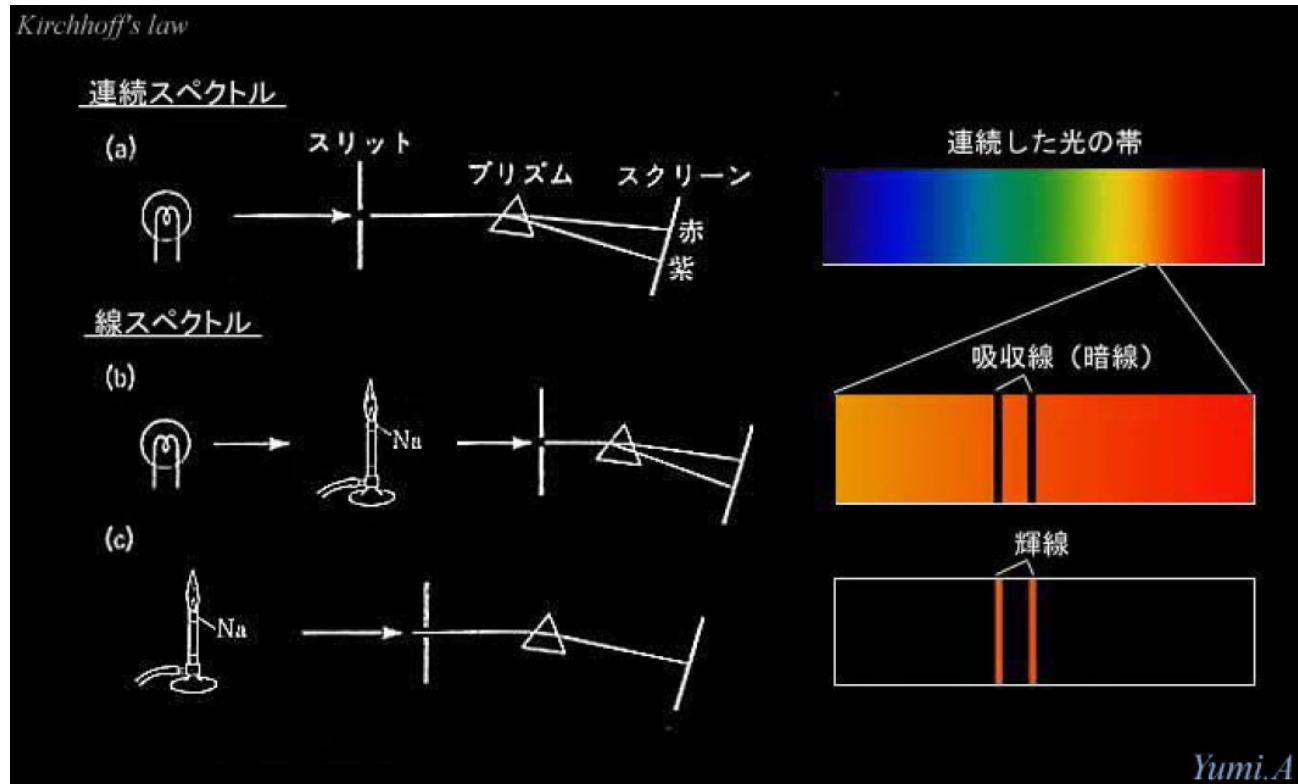
- 星の単位面積あたり、単位時間あたりに放射されるエネルギー量はその表面温度の4乗に比例する。

A1型の星のスペクトル



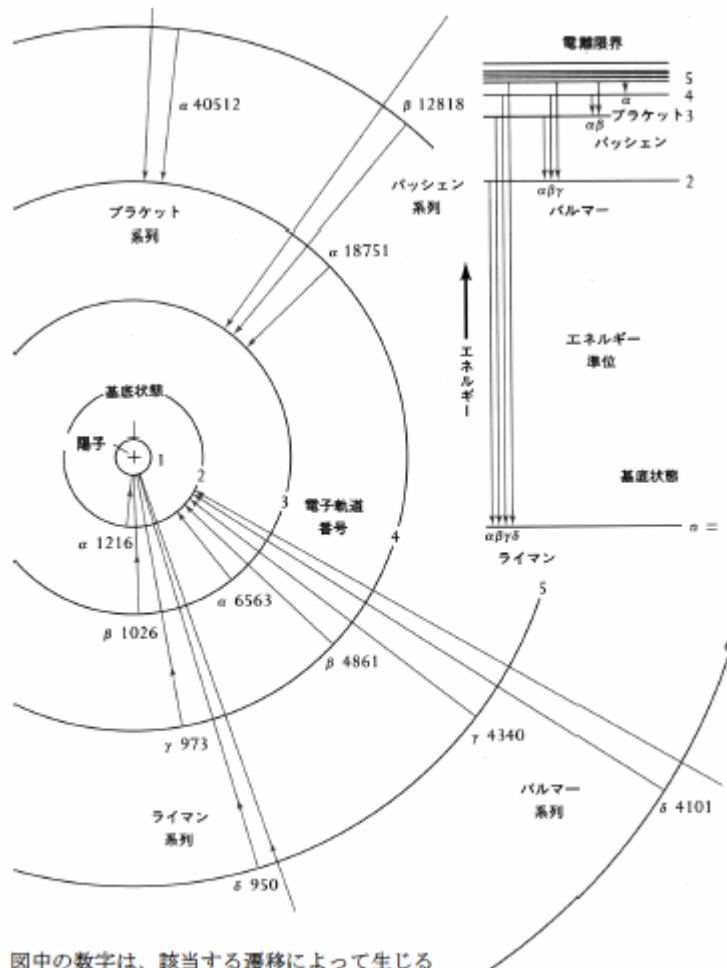
- 実際には元素の吸収などによって、黒体輻射からずれる。

スペクトルから組成を調べる



- 白熱電球の光をそのままプリズムで分解すると、連続スペクトルになります。
- 電球とプリズムの間にナトリウムを燃やすと、スペクトルに暗い線が生じます。これはナトリウムの原子が電球の中にある特定の波長の成分を吸収するためで、**吸収線**と呼びます。
- ナトリウムを燃やした光だけを見ると、吸収線の波長と同じ波長だけの光が出ていることがわかります。これはナトリウムの原子がその同じ波長の光を放出するためで、**輝線**と呼びます。

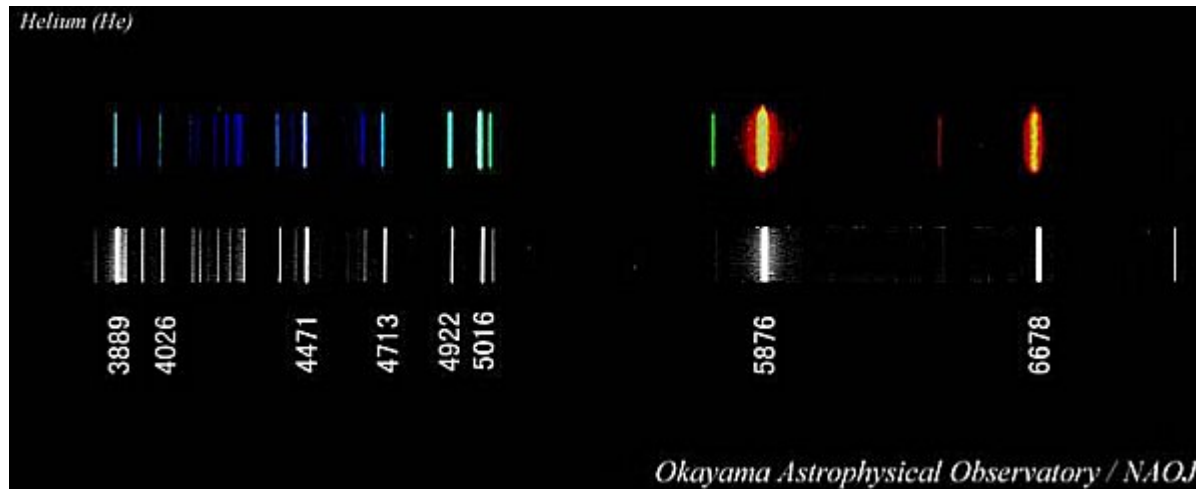
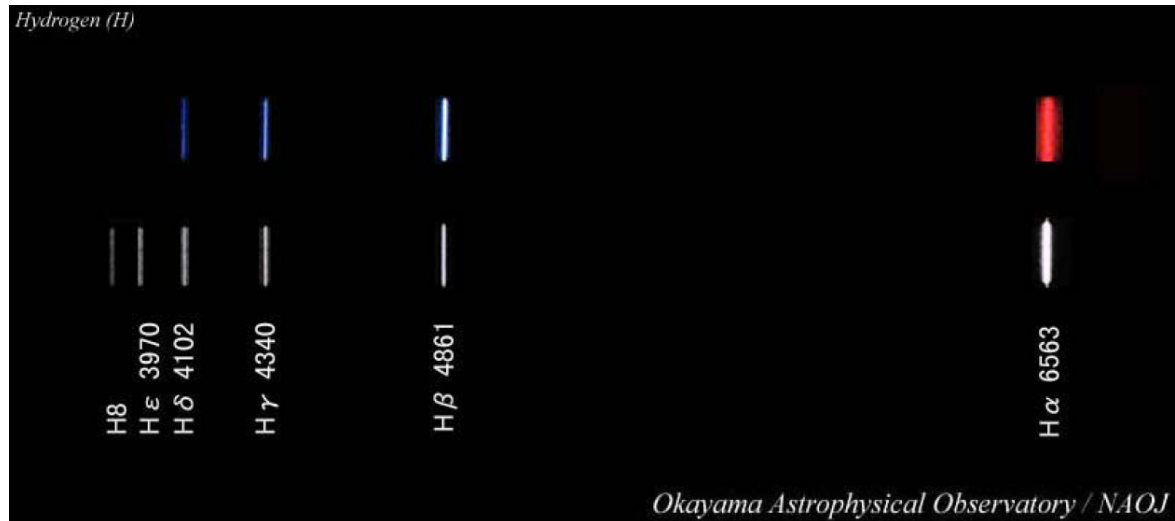
吸収線と輝線



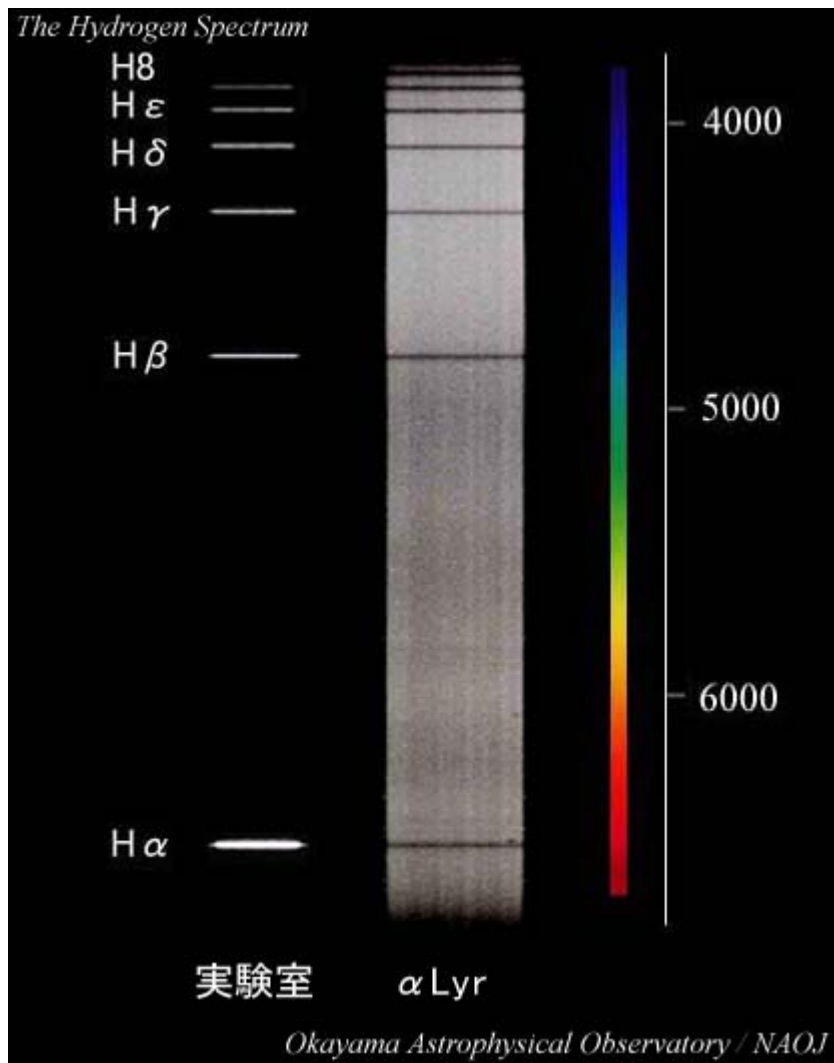
図中の数字は、該当する遷移によって生じる輝線の波長を示したものです（単位はÅ）。

- 原子はとびとびのエネルギー状態しか持てません、原子が高いエネルギー状態から低いエネルギー状態へ変化するとき、エネルギーの差に相当する特定の波長の輝線が放射されます。
- 詳しくは量子力学の教科書を読んでください。

水素とヘリウムの線スペクトル



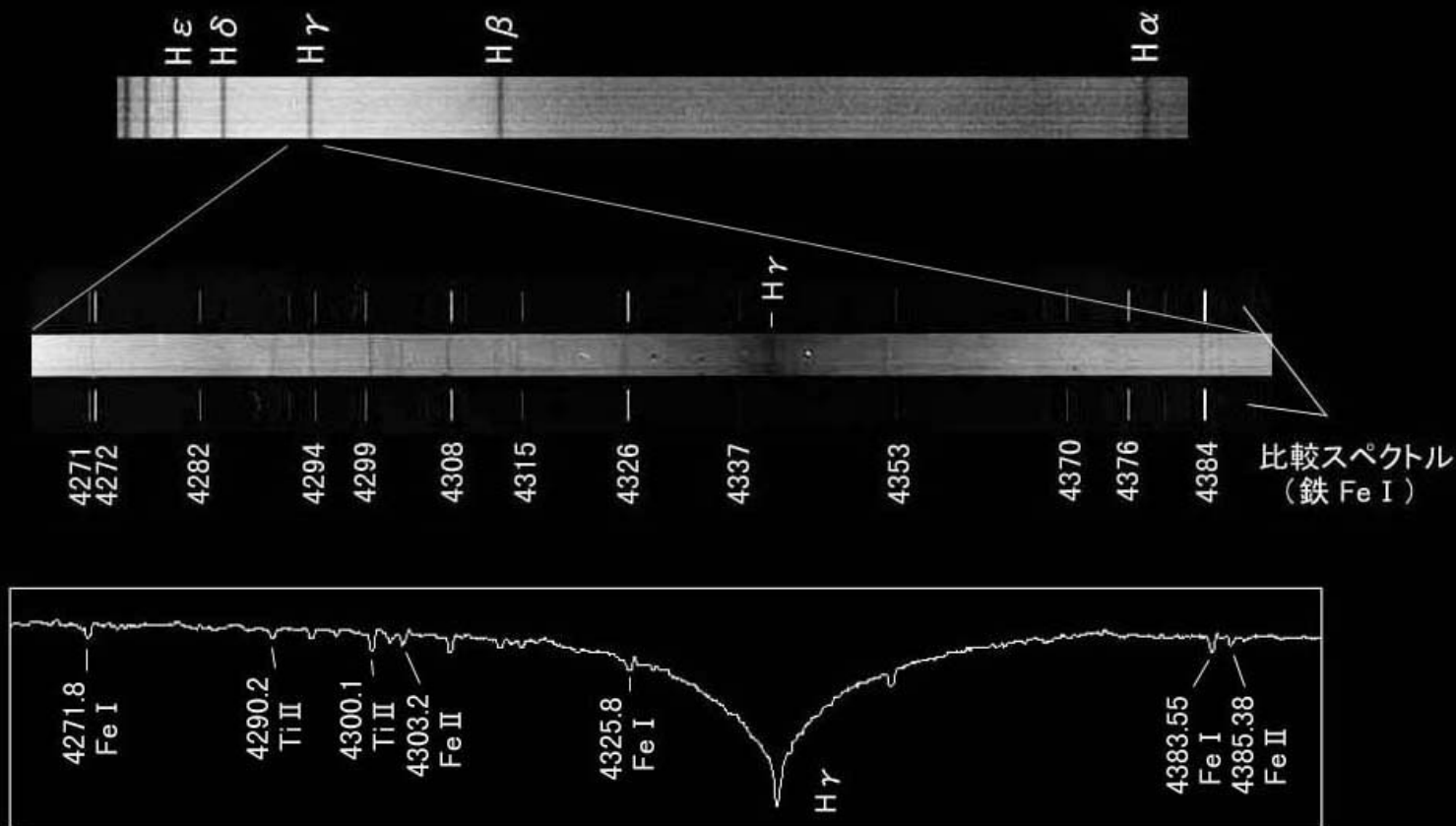
ベガのスペクトル



- 2つのスペクトル線の並びが一致している。
- ベガのスペクトル線は水素によるものであることが分かる。

高分散スペクトル

High Dispersion Spectrum of α Lyr



188cm Coude Spectrograph

Okayama Astrophysical Observatory / NAOJ

ヘールボップ彗星とアルコールランプ

Comet Hale Bopp and C₂ Molecular bands

アルコールランプ



HB彗星



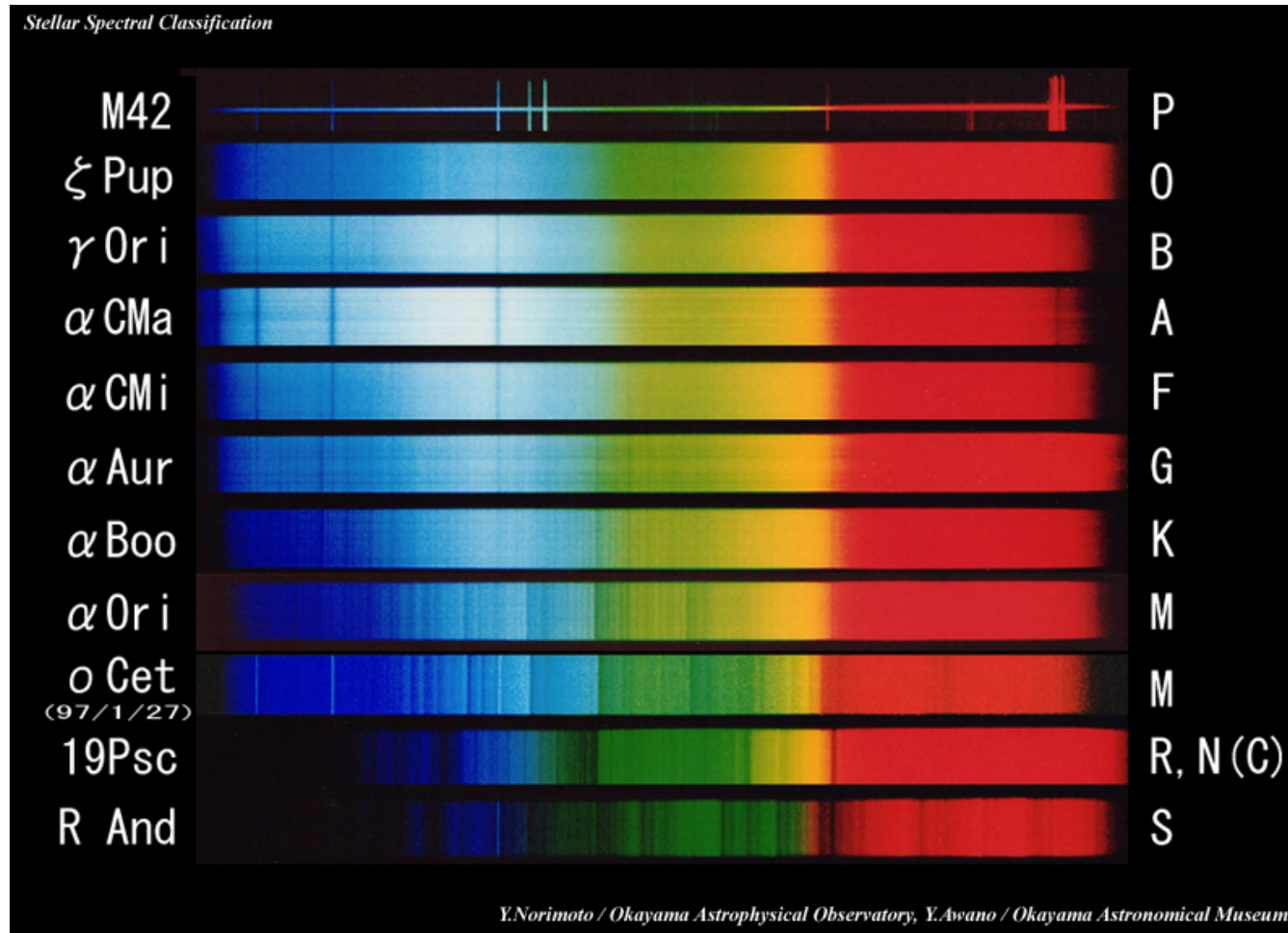
C₂

C₂

C₂

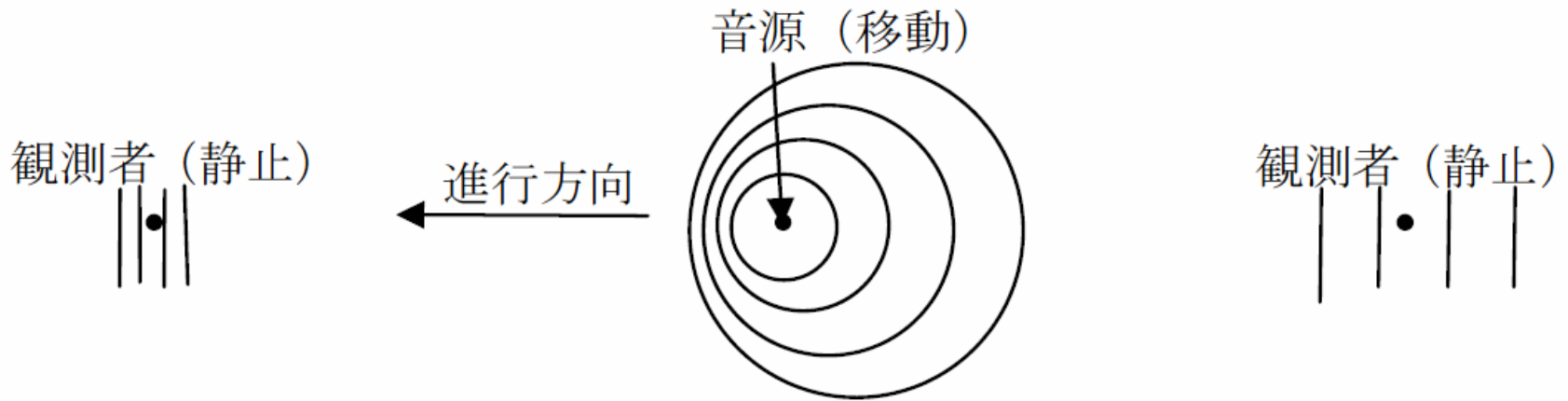
Okayama Astrophysical Observatory / NAOJ

恒星スペクトル



- 恒星のタイプによって線スペクトルの見え方は違う。

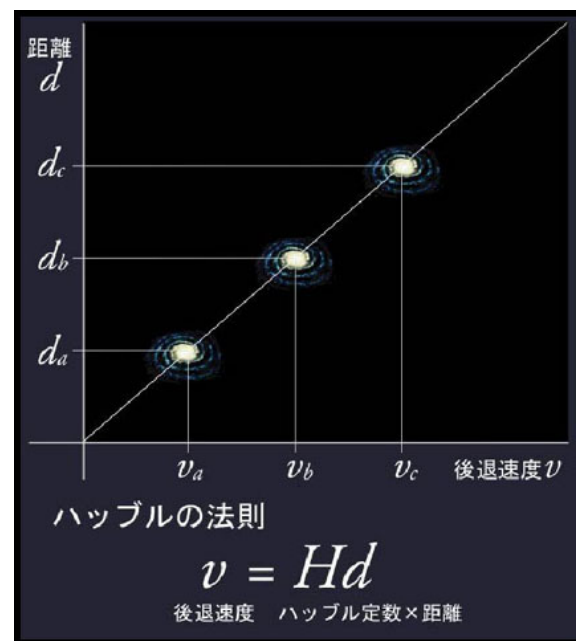
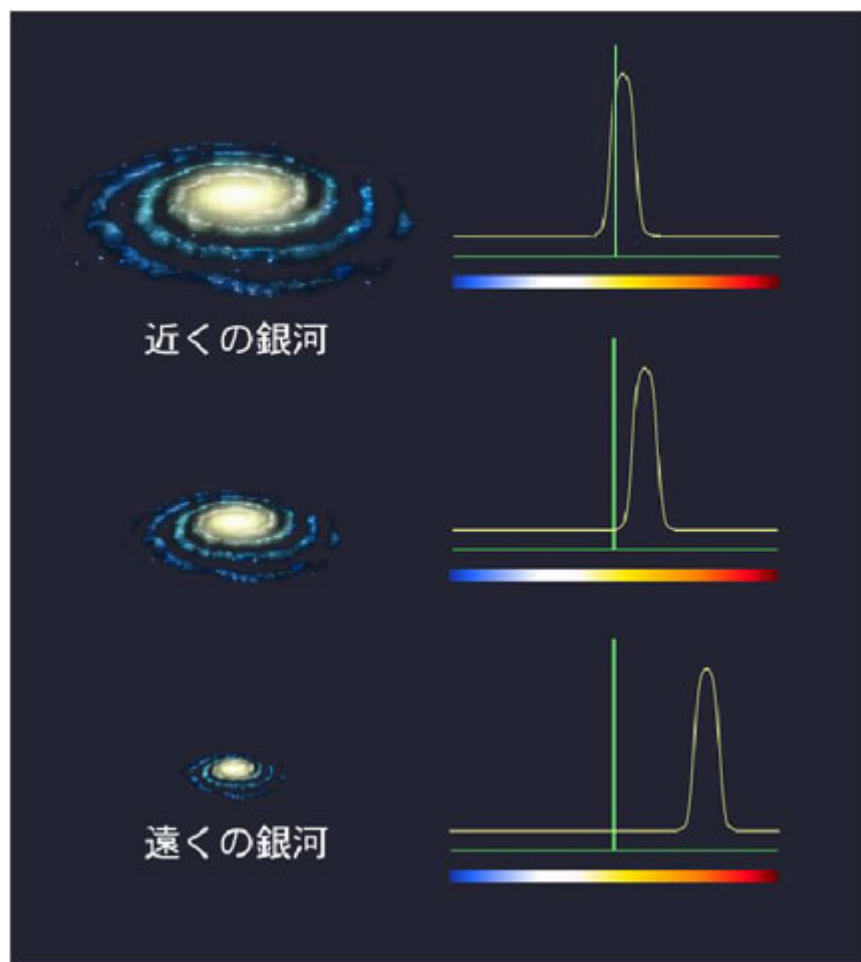
光のドップラー効果



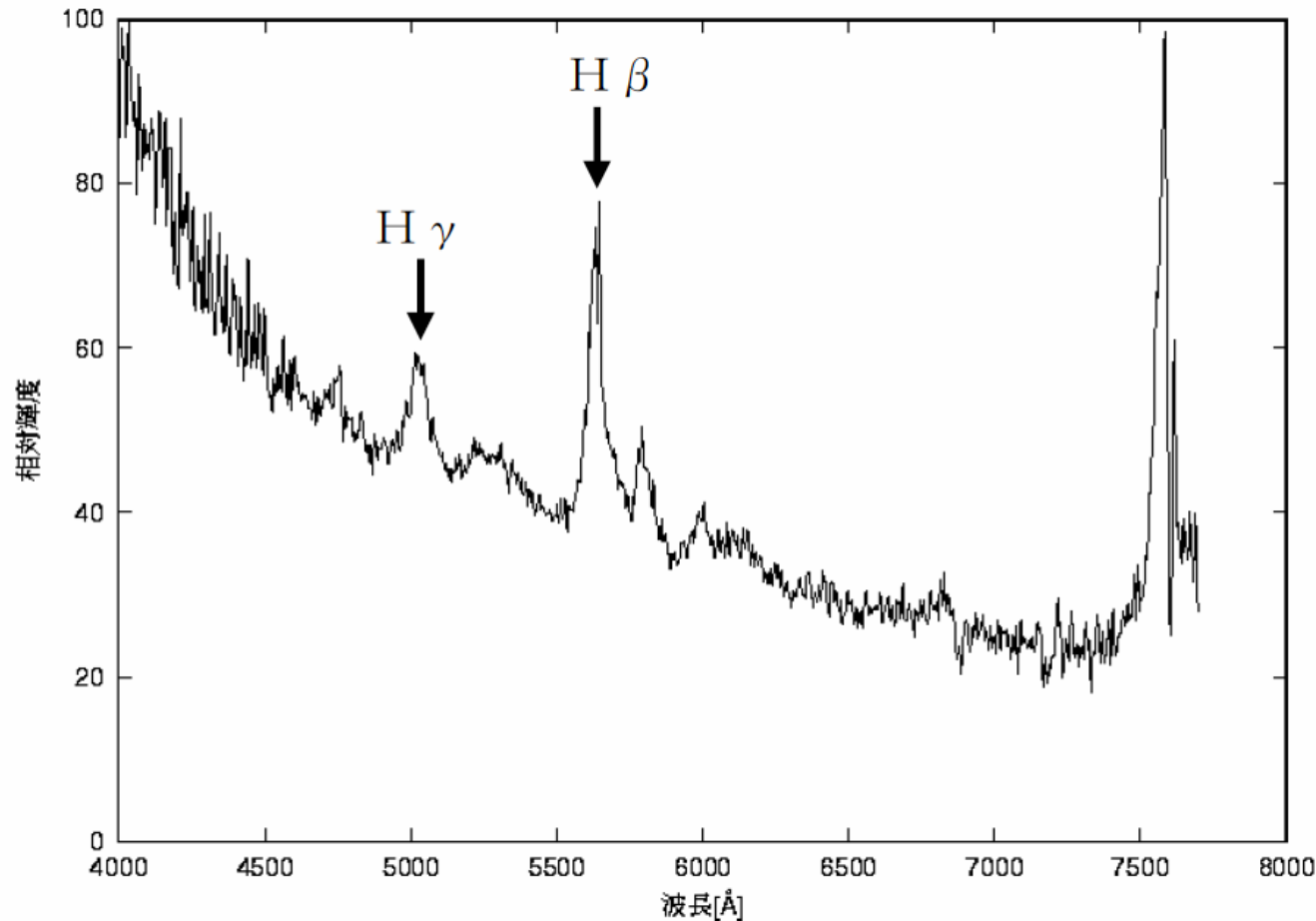
- 音源(天体)と観測者の相対運動によって音波(光)の波長が伸ばされたり、縮められたりする。
- 光源と観測者が近づくときには青くなり、遠ざかるときには本来より赤く見える。

銀河の後退と赤方偏移

- 遠くの銀河ほど早い速度で遠ざかっていると、遠い銀河ほど本来観測される波長より赤い方にずれて見える。

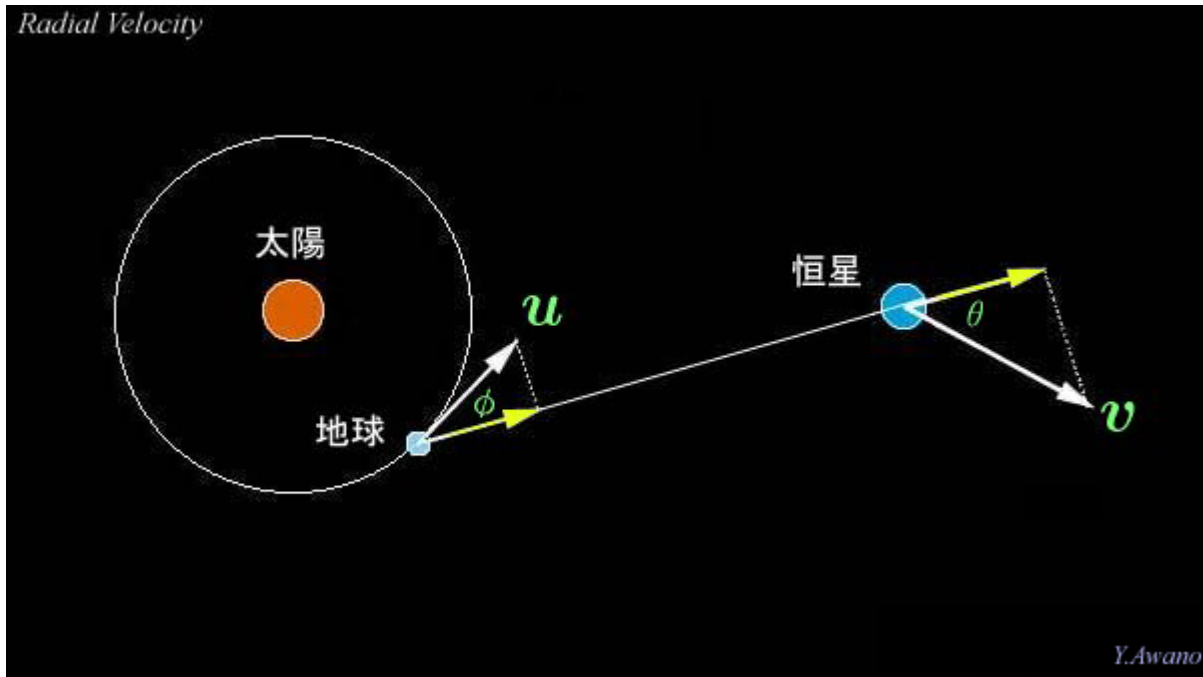


QSO 3C273のスペクトル



- 実験室系での測定ではH β 4861 Å、H γ 4340 Å

視線速度と赤方偏移

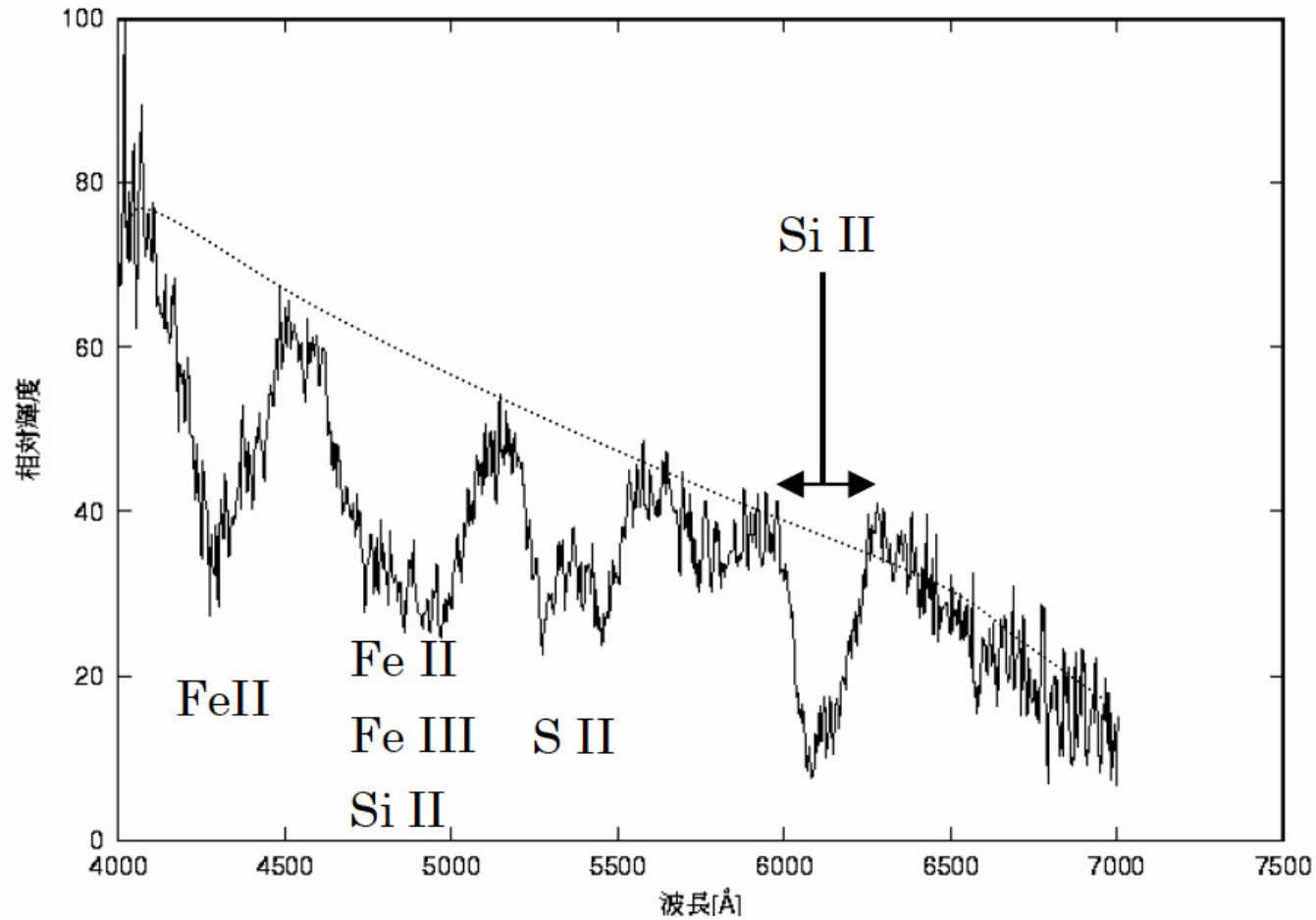


$$z \equiv \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{V}{c}$$

$$z \equiv \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v \cos \theta - u \cos \phi}{c}$$

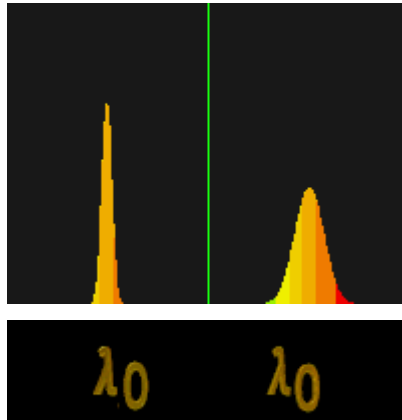
- 観測される波長 λ はもとの波長 λ_0 からドップラー効果によってずれます。
- z : 赤方偏移

吸収線の幅

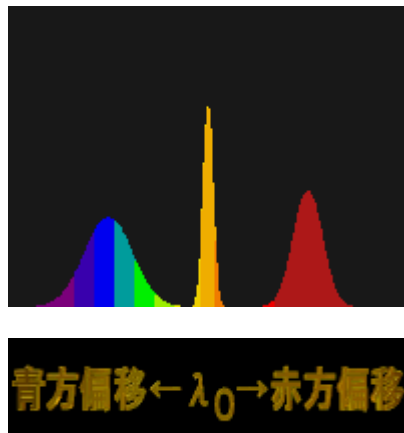


- 超新星のスペクトル

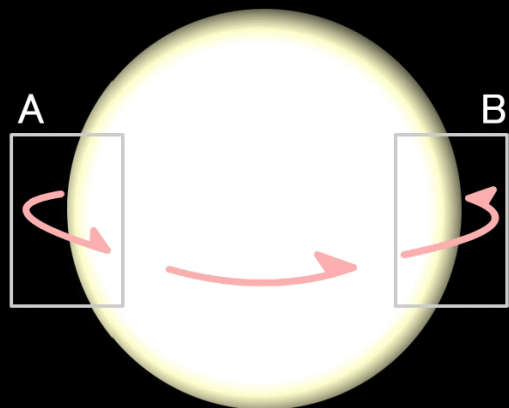
スペクトルの広がり



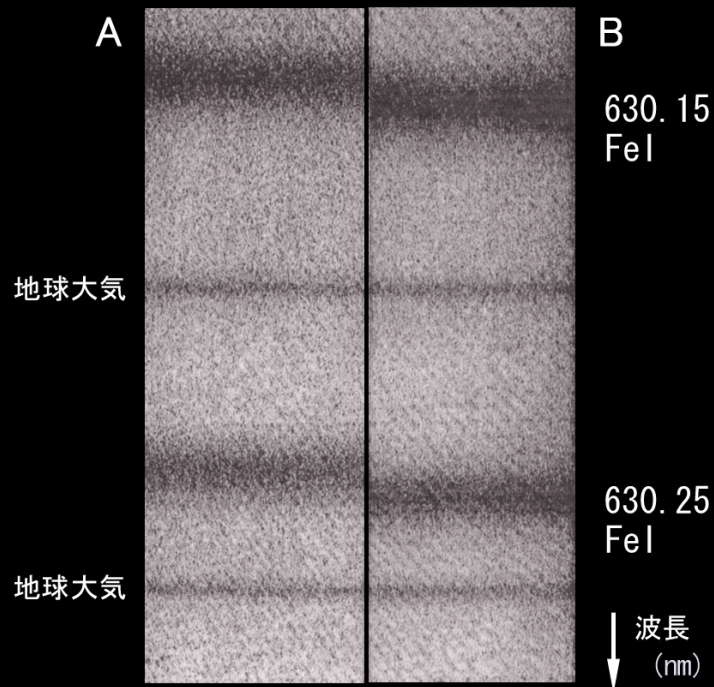
- 天体はほとんどガスで出来ており、ガスの温度に応じて、ガスの粒子は運動する。ランダムな熱運動によるドップラー効果で、スペクトル線が広がる。



- スペクトル線から、天体のガスの運動、温度、密度などの物理状態がわかる。



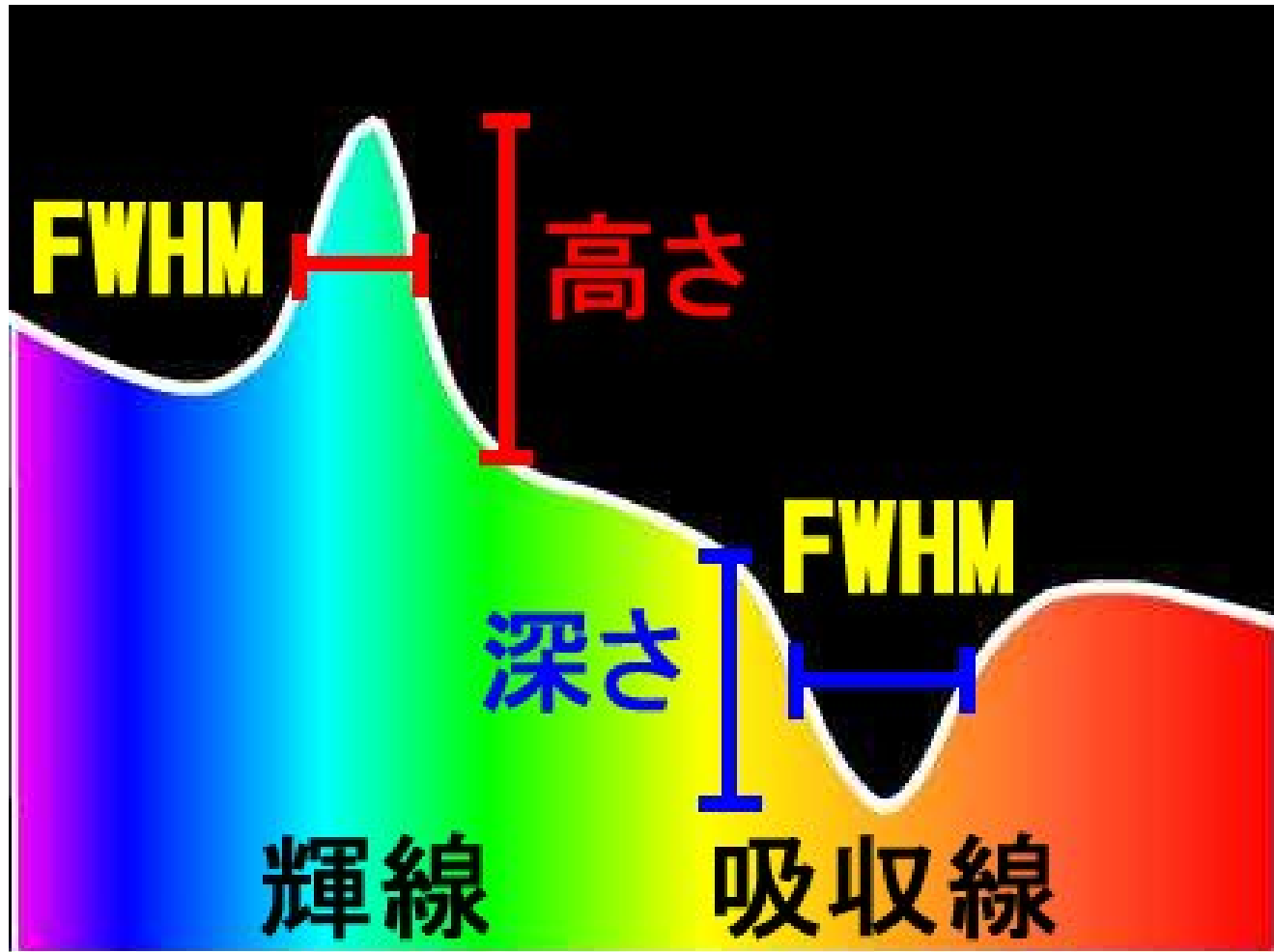
y.a



太陽の自転

- 太陽の西と東にスリットを当てて観測すると、自転に伴うドップラー効果が見られる。
- 太陽の自転速度が分かる。

線幅の求め方



連続光のレベルから測った高さ/深さの半分の位置での全幅を半値幅 (Full Width at Half Maximum) と呼ぶ。

