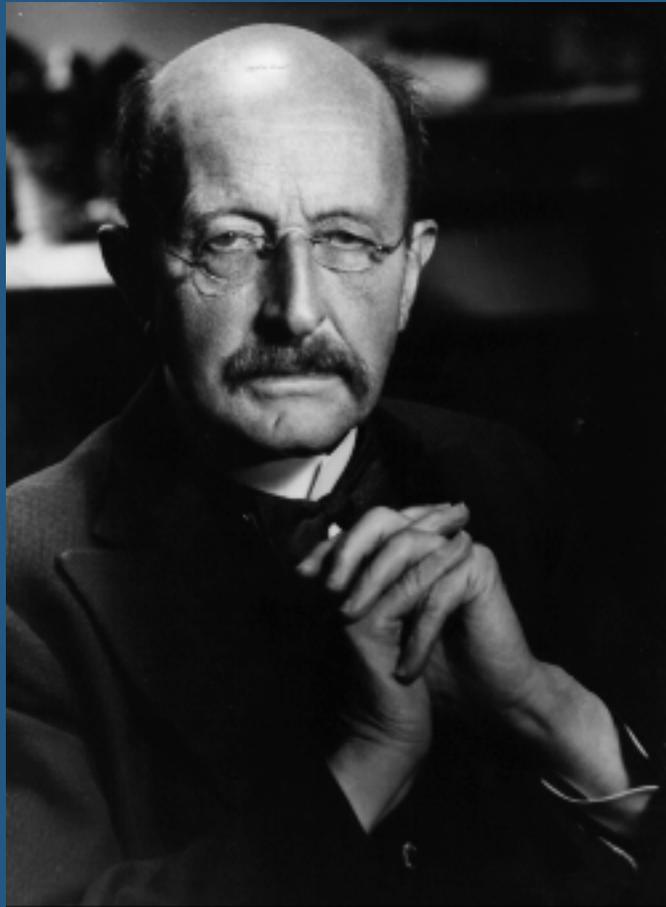


# Max Planck: Das plancksche Wirkungsquantum



# Überblick

- Person Max Planck
- Prinzip schwarzer Strahler
- Klassische Strahlungsgesetze
- Planck'sches Strahlungsgesetz
- Beispiele
  - kosmische Hintergrundstrahlung
  - Sternspektren
  - ...

# Zur Person Max Plancks

- 23.04.1858 • geboren in Kiel
- 1874-1878 • Studium der Physik in München und Berlin
- 1879 • Dissertation: 2. Hauptsatz der mechanischen Wärmelehre
- 1880 • Privatdozent in München
- 1885 • Berufung nach Kiel: außerordentliche Professur für math. Physik
- 1889 • Berufung nach Berlin, als Nachfolger G. Kirchhoffs
- 1900 • **Strahlungsgesetz/Quantisierung**
- 1918 • Nobelpreis der Physik
- 1929 • Auszeichnung Max-Planck-Medaille (zusammen mit A. Einstein)
- 04.10.1947 • gestorben in Göttingen

# Wärmestrahlung

Eigenschaften:

- Jeder Körper der Temperatur  $T$  emittiert Strahlung → Wärmestrahlung
- Körper können jedoch auch Strahlung absorbieren
- Anstieg der Temperatur → Erhöhung der Intensität + Abnahme der Wellenlänge der emittierten Strahlung
- Jeder Körper gelangt in ein thermisches Gleichgewicht, d.h. er absorbiert genau so viel Strahlung wie er emittiert
- Idealer strahlender Körper: schwarzer Strahler

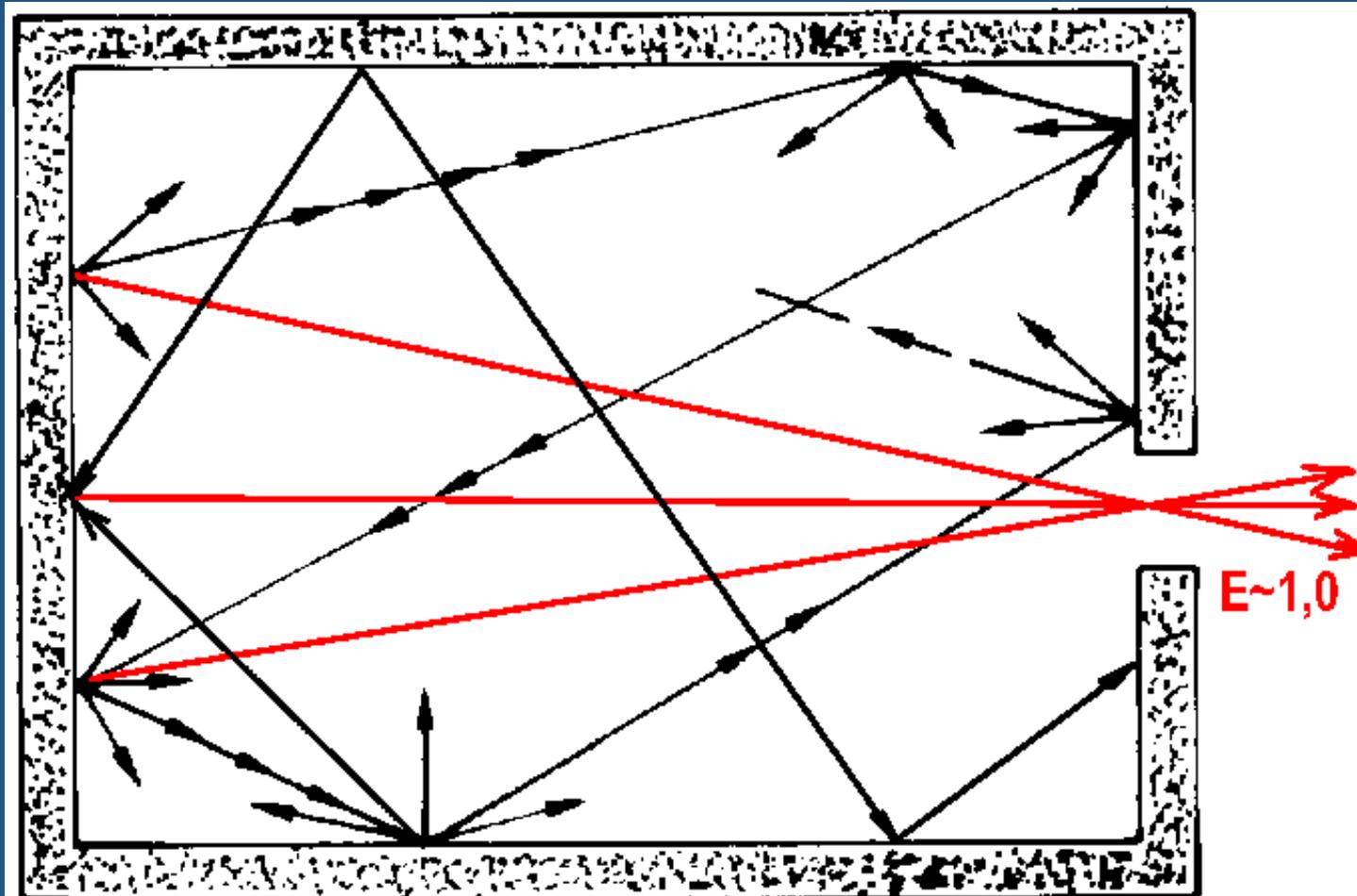
# Schwarzer Strahler

- Eigenschaften:
  - Absorbieren auftreffende Strahlung komplett
  - Keine Transmission
  - Keine Reflexion
  - Nur Emission von Strahlung
- nach kirchhoffschen Strahlungsgesetz:  $E \propto A$
- daher:

Schwarze Strahler sind ideale Absorber bzw. Emitter  $\varepsilon = 1$

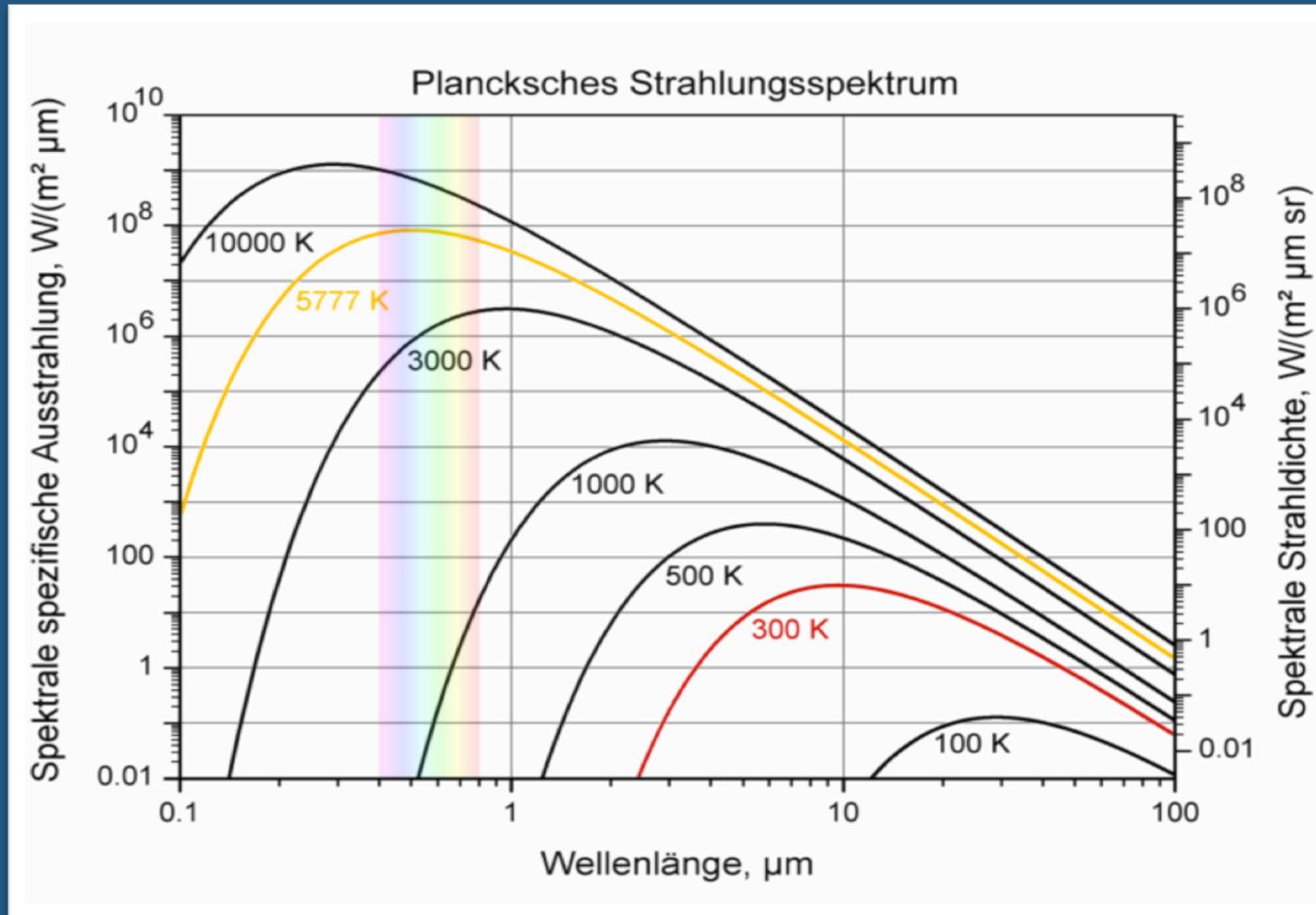
→ Realisierung eines schwarzen Strahlers: Hohlraumstrahler

# Hohlraumstrahler



Schematische Darstellung eines Hohlraumstrahlers zur Annäherung an das phys. Ideal "Schwarzer Stahler"

# Spektralverteilung eines schwarzen Strahlers



# Klassische Strahlungsgesetze

- Rayleigh-Jeans-Strahlungsgesetz:

→ Elektromagnetische Wellen im Hohlraum werden als stehende Wellen aufgefasst

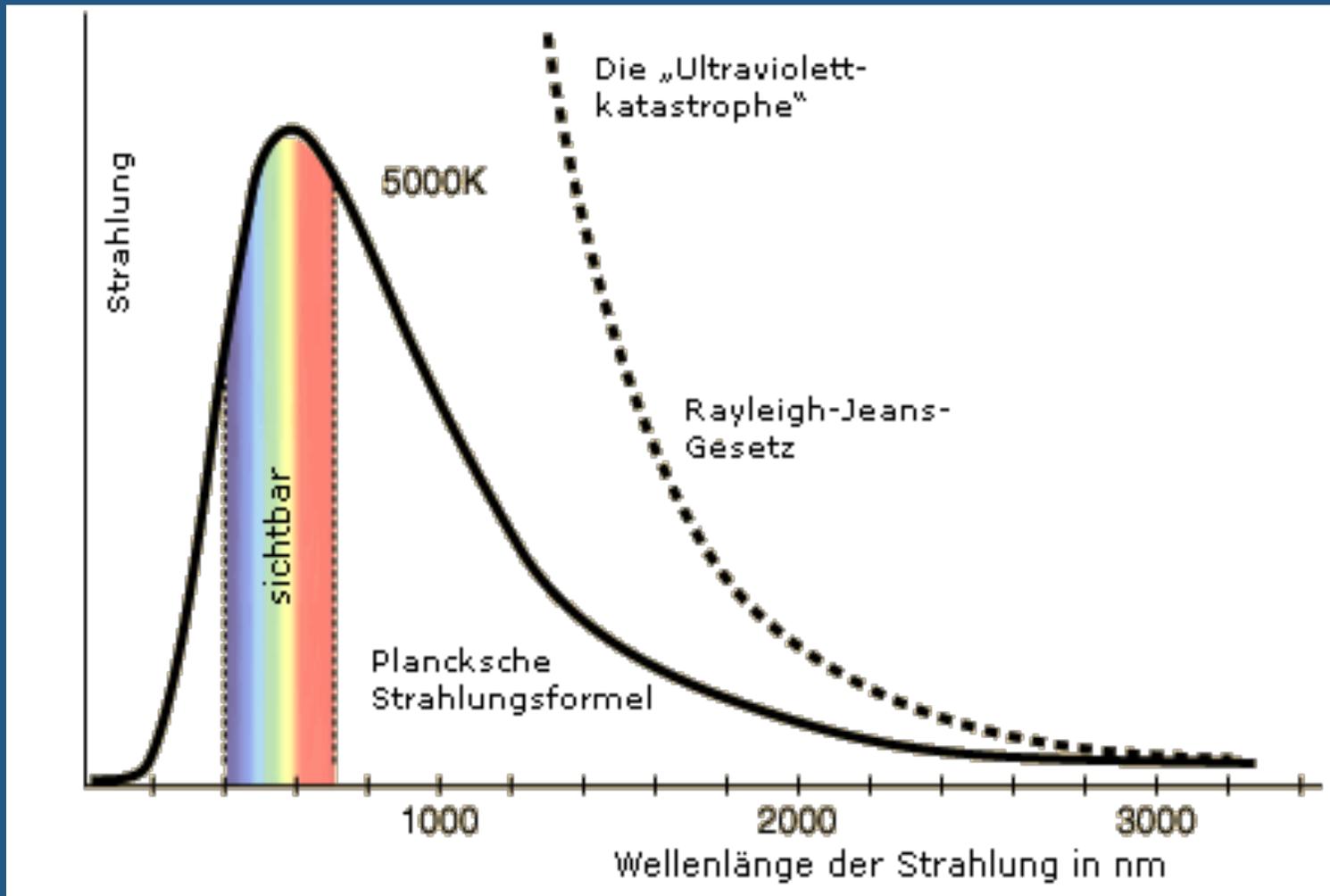
→ elektromag. Wellen können nur in bestimmten Moden schwingen:

$$n(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}$$

→ Mittlere Energie einer solchen Schwingung:  $\bar{E} = k_B \cdot T$

Dies führt zu: 
$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} k_B \cdot T \Rightarrow L(\nu, T) = \frac{2\nu^2}{c^2} k_B \cdot T$$

→ Diskrepanzen in Richtung UV → „Ultraviolett-Katastrophe“ ( $W \rightarrow \infty$ )



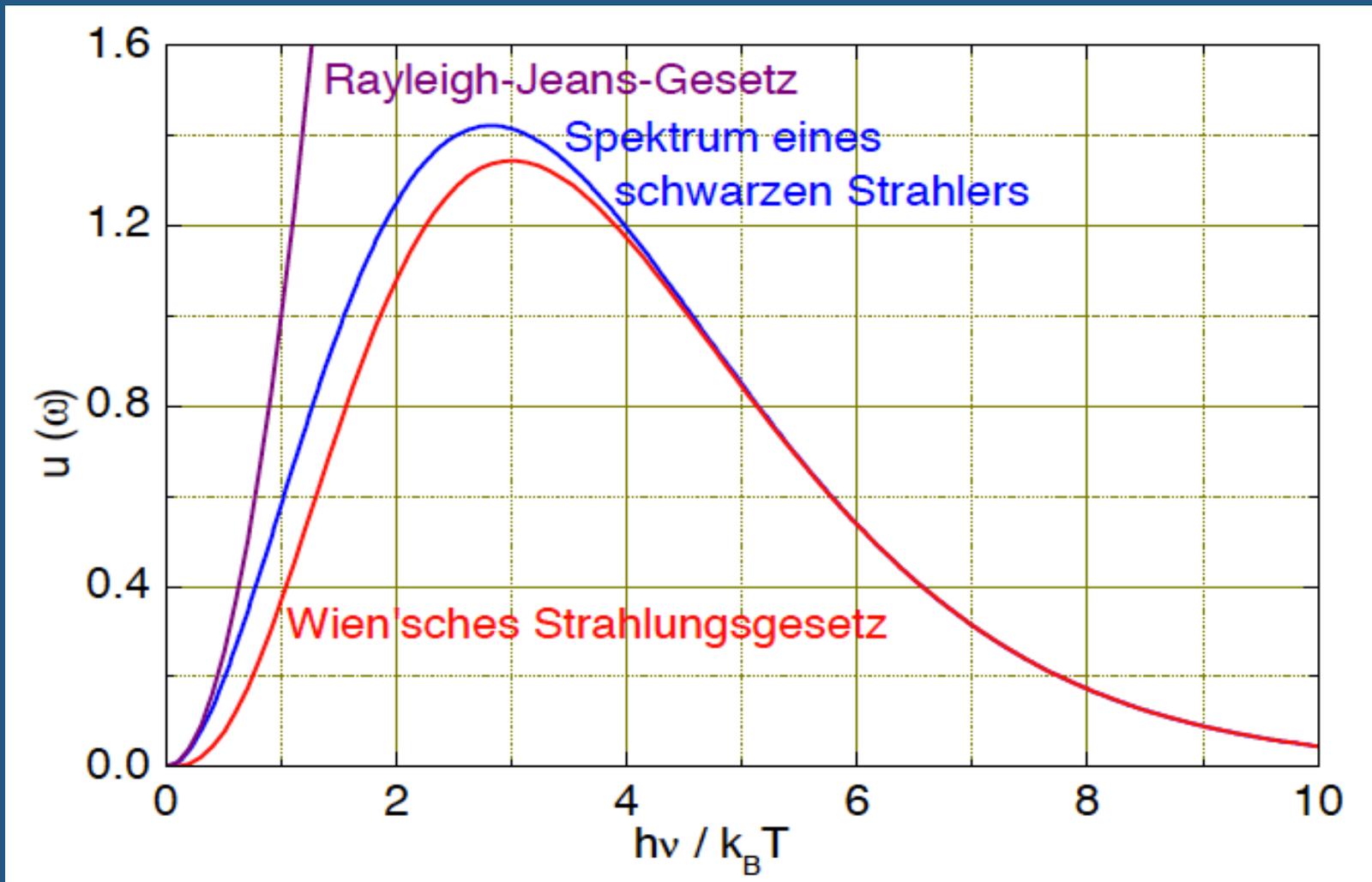
# Wiensches Strahlungsgesetz (1896)

Formel des Wienschen Strahlungsgesetzes:

$$u(\nu, T) = c_1 \nu^3 \frac{1}{e^{\left(\frac{c_2}{T}\right)}} \Rightarrow L(\lambda, T) = \frac{c \cdot c_1}{4\pi} \frac{1}{e^{\left(\frac{c_2}{T}\right)}}$$

Mit  $c_1$  und  $c_2$  als empirisch zu bestimmende Konstanten

- gibt gut die spektrale Energiedichte für das ultraviolette und sichtbare Spektrum wieder
- die Wellenlängen-Maxima sind vorhanden (Wiensche Verschiebungsgesetz)
- Unterschiede im Infrarot-Bereich



# Plancksches Strahlungsgesetz

Planck nutzte als Ansatz das Wiensche Strahlungsgesetz:

- Einfügen der „-1“ in den Exponential-Nenner (Bose-Einstein-Statistik)  $c_1 = \frac{8\pi h}{c^3}$
- Ausdruck der Konstanten  $c_1$  und  $c_2$  durch Naturkonstanten:  $c_2 = \frac{h\nu}{k}$

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} - 1} \Rightarrow L(\nu, T) = \frac{2\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} - 1}$$

$$h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$k = 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

- neue Konstante  $h$  mit der Dimension einer Wirkung [ $\text{J} \cdot \text{s}$ ],
- Begründung für diese Größe gab es in der klassischen Physik nicht
- Außerdem Quantelung der Energie:  $E = h\nu$

# Plancksches Strahlungsgesetz

- Rayleigh-Jeans Strahlungsgesetz:  $E = h\nu \ll k_B \cdot T$
- Wiensche's Strahlungsgesetz:  $E = h\nu \gg k_B \cdot T$
- Stefan-Boltzmann-Gesetz: Integration über den gesamten Frequenzbereich

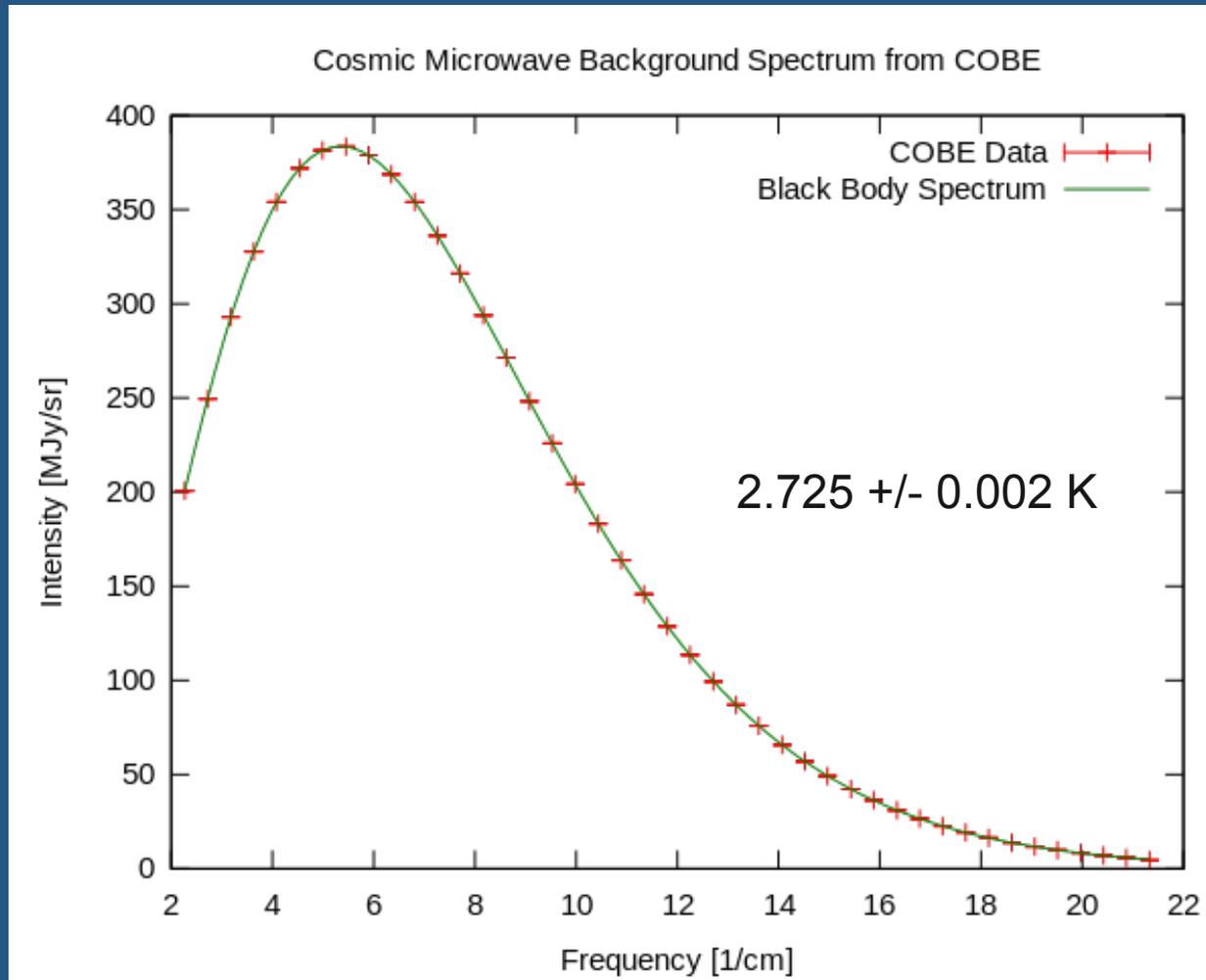
$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

- Wiensches Verschiebungsgesetz: Extremwertbestimmung für  $\lambda$

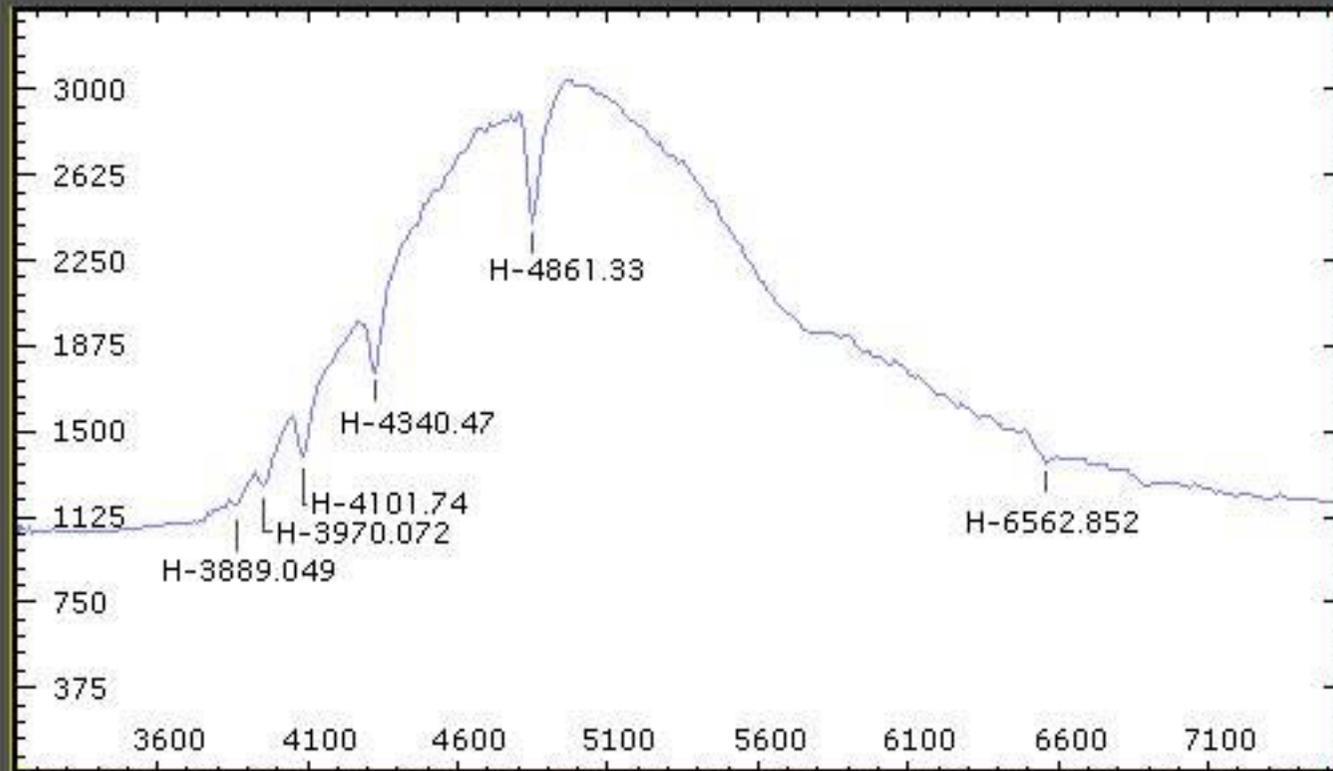
$$\lambda_{\max} \cdot T = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

- Die „klassischen“ Strahlungsgesetze kann man als Grenzfälle des planckschen Strahlungsgesetzes betrachten

# Kosmische Hintergrundstrahlung



# Sirius



# Zusammenfassung

- klassische Physik nicht in der Lage alle Phänomene hinreichend genau zu beschreiben
- neuer Ansatz: Quantisierung der Energie (Planck)  $E = h\nu$
- „Energiepakete“ wurden von Planck als Quanten bezeichnet
- Planck versuchte Quantisierung mit klassischer Physik in Einklang zu bringen
- Einstein konnte im Zuge der Photonentheorie die Quantisierung festigen
  
- Quantisierung der Energie trifft nur für mikrokosmische Systeme zu
- Eine Quantisierung im makrokosmischen Systemen ist zu klein um messbar zu sein
- Die klassische Physik kann als Grenzfall der Quantenphysik betrachtet werden

# Quellen

## Inhalt:

W.Zinth/H.-J.Körner Physik III (R. Oldenburg Verlag München Wien 1998)

## Abbildungen:

6: <http://www.thermokameras.com>

8: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/imgmod/uvcatas.gif>

10: Gross, Physik 3, Kapitel 9

11: [www.regulusastro.com/regulus](http://www.regulusastro.com/regulus)

15: <http://www.uni-muenster.de/Physik.AP/Demokritov/Forschen/Forschungsschwerpunkte/mBECwatdfimps.html>