

# **Bilder und Erläuterungen zur Vorlesung 12**

## **Bremsstrahlung**



# Kosmische Radiostrahler





# Kosmische Radiostrahler

Natürliche Strahlungsquellen/Strahlungsmechanismen:

1) **Thermische Emission von (Fest-)Körpern** ( $\lambda \leq 1 \text{ cm}$ )

(Wärmestrahlung verteilt über viele Wellenlängen)

2) **Linienstrahlung (von Gas)**

(Aussenden von schmalbandiger Emission beim Übergang zwischen verschiedenen, diskreten Anregungszuständen von Atomen und Molekülen, Rekombinationsvorgänge)

3) **Thermische Emission von heißem Gas** ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(Elektronen werden im elektrischen Feld von Ionen abgelenkt und abgebremst = Frei-Frei Strahlung ) [Bremsstrahlung]

4) **Nichtthermische Strahlung von heißem Gas** ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(schnelle, freie Elektronen, die sich auf „Spirelli“-Bahnen um Magnetfeldlinien bewegen: Synchrotronstrahlung)

[Gyrostrahlung: nichtrelativistisch  $\Rightarrow$  Zyklotronstrahlung; relativistisch  $\Rightarrow$  Synchrotronstrahlung]

(heiß :  $T > 2000 \text{ K} \Rightarrow$  Plasma)

# Kosmische Radiostrahler

Natürliche Strahlungsquellen/Strahlungsmechanismen:

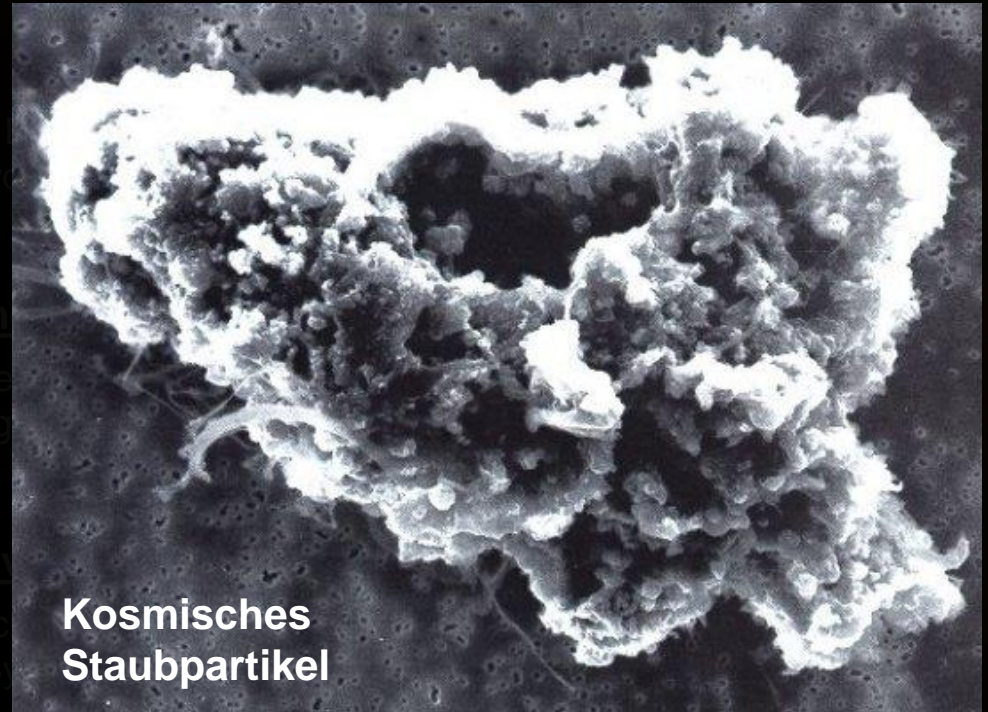
## 1) Thermische Emission von (Fest-)Körpern ( $\lambda \leq 1\text{cm}$ )

... z.B. kalter Staub

( $\lambda \leq 1\text{cm}$ ,

$T = 10 \dots 100\text{ K}$

$= -263 \dots -173^\circ\text{C}$ )

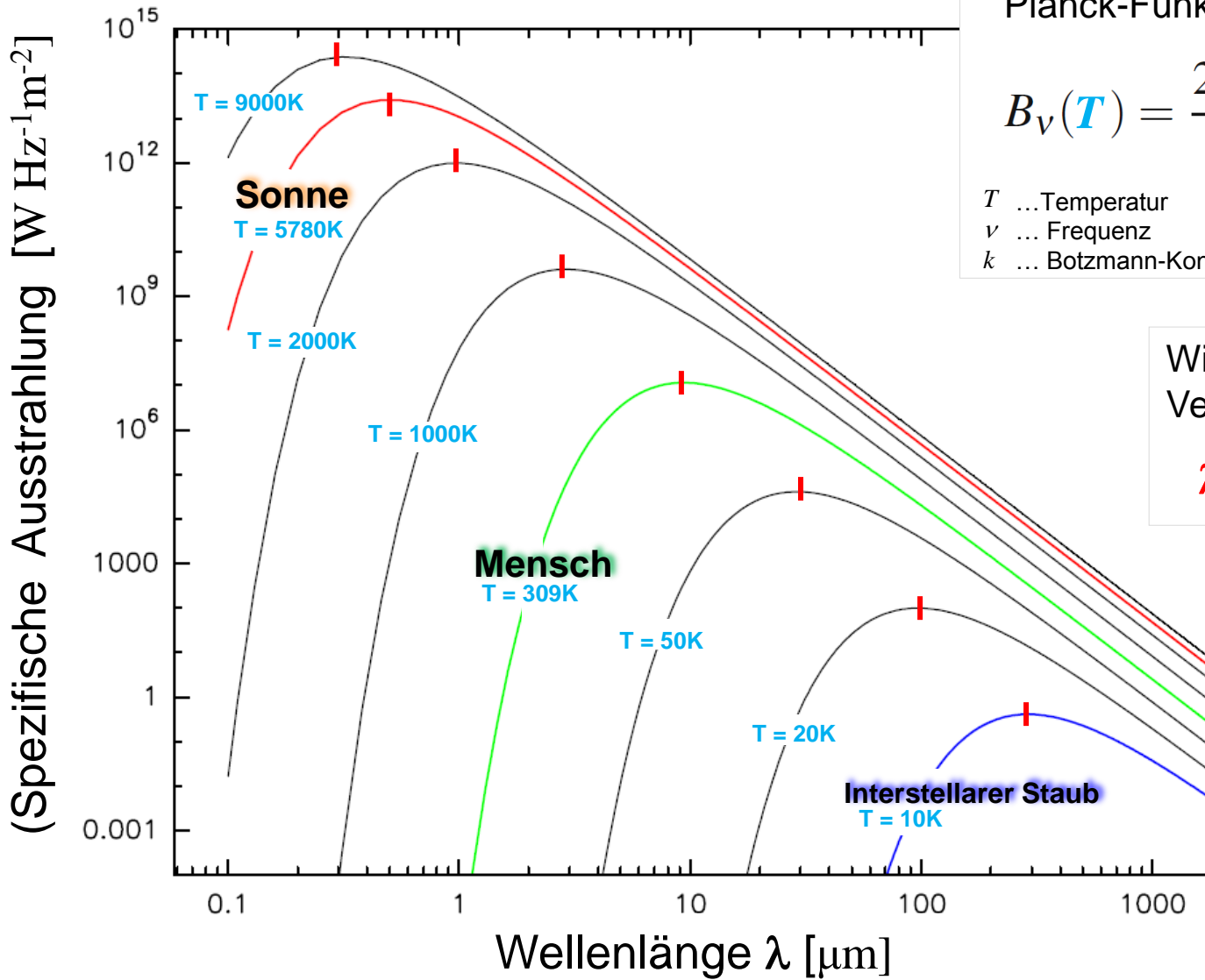


Kosmisches  
Staubpartikel

(heiß :  $T > 2000\text{ K} \Rightarrow$  Plasma)



# Planckkurven der Strahlungsverteilung idealer Schwarzer Körper mit verschiedenen Temperaturen



Planck-Funktion  $B_\nu(T)$ :

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

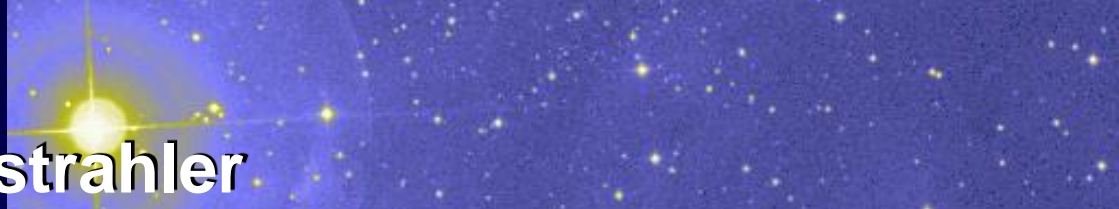
$T$  ... Temperatur       $h$  ... Plancksche Wirkungsquantum  
 $\nu$  ... Frequenz       $c$  ... Lichtgeschwindigkeit  
 $k$  ... Boltzmann-Konstante

Wiensches Verschiebungsgesetz:

$$\lambda_{\max} = \frac{2897,8 \mu\text{m K}}{T}$$

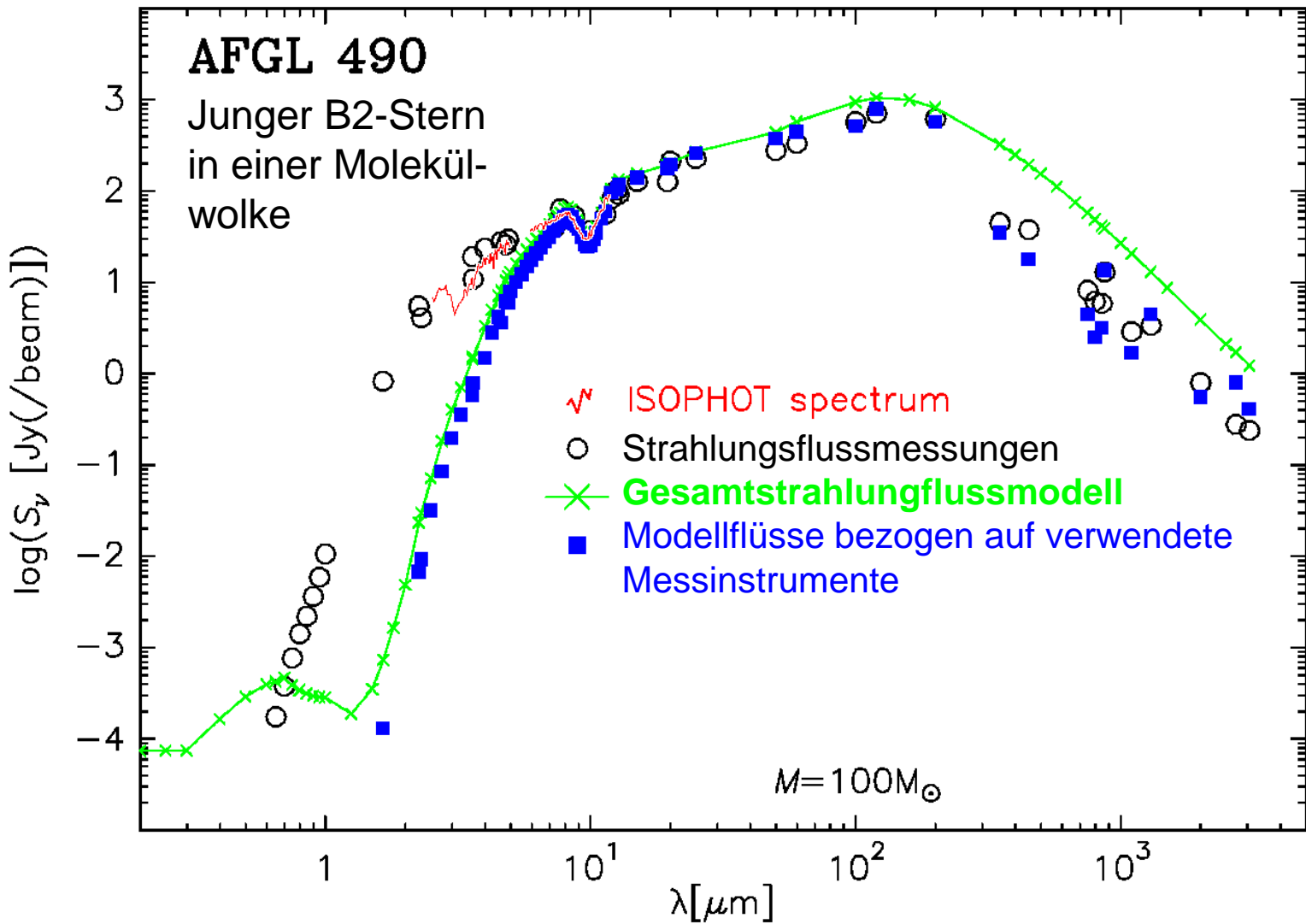
- Sonne  $T_{\text{eff}} = 5780 \text{ K}$   
 $\lambda_{\max} = 500 \text{ nm}$
- Mensch  $T = 36^\circ\text{C} = 309 \text{ K}$   
 $\lambda_{\max} = 9 \mu\text{m}$
- Interstellarer Staub  
 $T = 10 \text{ K}$   $\lambda_{\max} = 290 \mu\text{m}$
- Kosmische Hintergrundstrahlung  
 $T = 2.725 \text{ K}$   $\lambda_{\max} = 1.06 \text{ mm}$

# Kosmische Radiostrahler



## AFGL 490

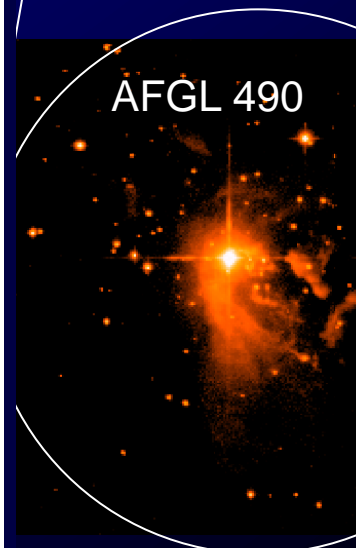
Junger B2-Stern  
in einer Molekül-  
wolke



Optisches Bild



AFGL 490



Infrarot-  
bild (2.2 $\mu\text{m}$ )

Beispiel einer gemessenen Energieverteilung

# Kosmische Radiostrahler

Natürliche Strahlungsquellen/Strahlungsmechanismen:

1) **Thermische Emission von (Fest-)Körpern** ( $\lambda \leq 1 \text{ cm}$ )

(Wärmestrahlung verteilt über viele Wellenlängen)

2) **Linienstrahlung** (von Gas)

(Aussenden von schmalbandiger Emission beim Übergang zwischen verschiedenen, diskreten Anregungszuständen von Atomen und Molekülen, Rekombinationsvorgänge)

3) **Thermische Emission von heißem Gas** ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(Elektronen werden im elektrischen Feld von Ionen abgelenkt und abgebremst = Frei-Frei Strahlung ) [Bremsstrahlung]

4) **Nichtthermische Strahlung von heißem Gas** ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(schnelle, freie Elektronen, die sich auf „Spirelli“-Bahnen um Magnetfeldlinien bewegen: Synchrotronstrahlung)

[Gyrostrahlung: nichtrelativistisch  $\Rightarrow$  Zyklotronstrahlung; relativistisch  $\Rightarrow$  Synchrotronstrahlung]

(heiß :  $T > 2000 \text{ K} \Rightarrow$  Plasma)



# Kosmische Radiostrahler

Natürliche Strahlungsquellen/Strahlungsmechanismen:

1) Thermische Emission von (Fest-)Körpern ( $\lambda \leq 1\text{cm}$ )

(Wärmestrahlung verteilt über viele Wellenlängen)

2) Linienstrahlung (von Gas)

(Aussenden von schmalbandiger Emission bei diskreten Anregungszuständen von Atomen)

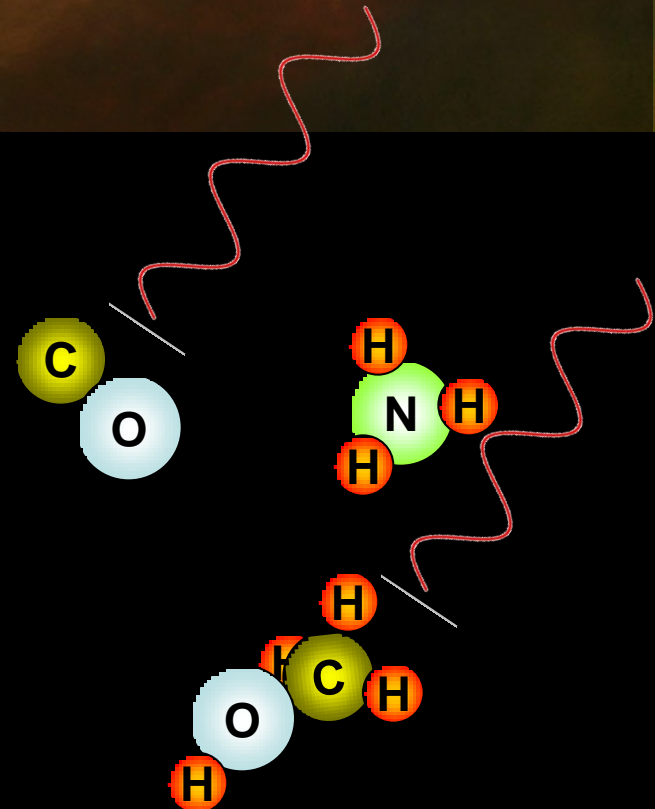
3) Thermische Emission von heißem Gas

(Elektronen werden im elektrischen Feld von Ionen abgebremst = Frei-Frei Strahlung) [Bremsstrahlung]

4) Nichtthermische Strahlung von heißem Gas

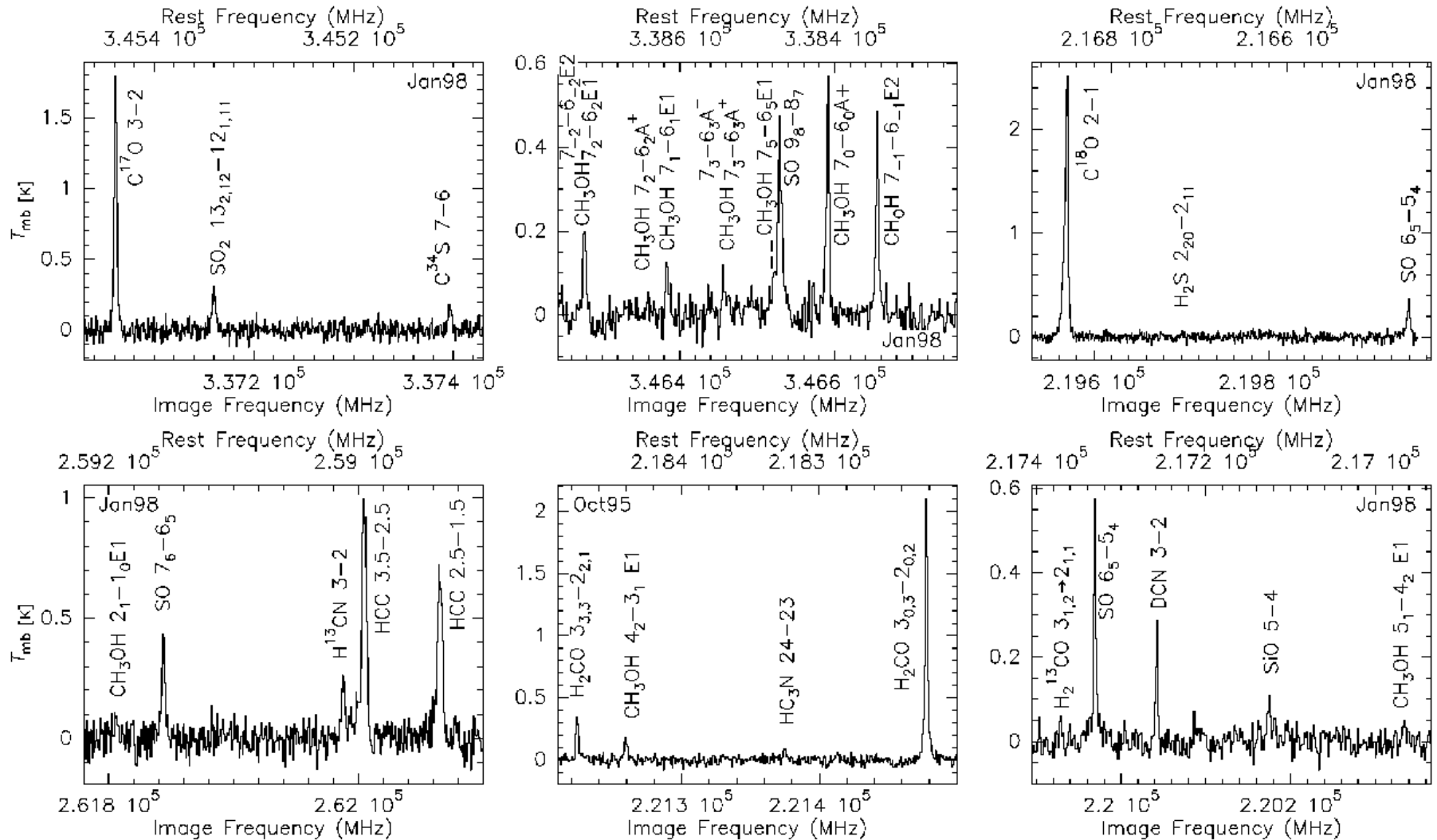
(schnelle, freie Elektronen, die sich auf „Spirel“ um Magnetfeldlinien bewegen: Synchrotronstrahlung)  
[Gyrostrahlung: nichtrelativistisch  $\Rightarrow$  Zyklotronstrahlung]

Gasmoleküle





# Kosmische Radiostrahler



Linienpektren eines Molekülwolkenkerns NGC 2264 IRS1

# Kosmische Radiostrahler

Natürliche Strahlungsquellen/Strahlungsmechanismen:

1) **Thermische Emission von (Fest-)Körpern** ( $\lambda \leq 1 \text{ cm}$ )

(Wärmestrahlung verteilt über viele Wellenlängen)

2) **Linienstrahlung** (von Gas)

(Aussenden von schmalbandiger Emission beim Übergang zwischen verschiedenen, diskreten Anregungszuständen von Atomen und Molekülen, Rekombinationsvorgänge)

3) **Thermische Emission von heißem Gas** ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(Elektronen werden im elektrischen Feld von Ionen abgelenkt und abgebremst = Frei-Frei Strahlung ) [Bremsstrahlung]

4) **Nichtthermische Strahlung von heißem Gas** ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(schnelle, freie Elektronen, die sich auf „Spirelli“-Bahnen um Magnetfeldlinien bewegen: Synchrotronstrahlung)

[Gyrostrahlung: nichtrelativistisch  $\Rightarrow$  Zyklotronstrahlung; relativistisch  $\Rightarrow$  Synchrotronstrahlung]

(heiß :  $T > 2000 \text{ K} \Rightarrow$  Plasma)



# Kosmische Radiostrahler

Natürliche Strahlungsquellen/Strahlungsmechanismen:

1) Thermische Emission von (Fest-)Körpern ( $\lambda \leq 1 \text{ cm}$ )

(Wärmestrahlung verteilt über viele Wellenlängen)

2) Linienstrahlung (von Gas)

(Aussenden von schmalbandiger Emission beim Übergang zwischen verschiedenen, diskreten Anregungszuständen von Atomen und Molekülen, Rekombinationsvorgänge)

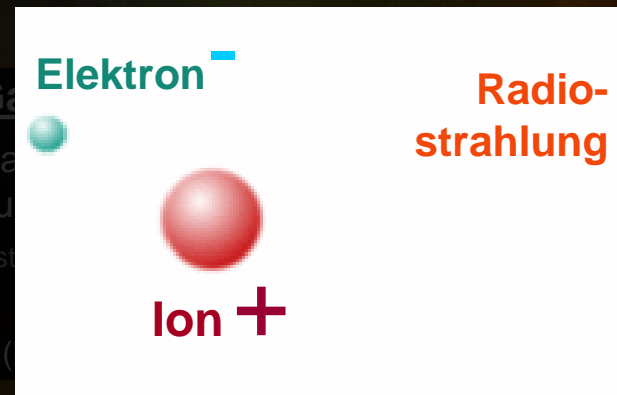
3) Thermische Emission von heißem Gas ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(Elektronen werden im elektrischen Feld von Ionen abgelenkt und abgebremst = Frei-Frei Strahlung ) [Bremsstrahlung]

4) Nichtthermische Strahlung von heißem Gas

(schnelle, freie Elektronen, die sich auf „Spirelli“-Bahnen um Magnetfeldlinien bewegen: Synchrotronstrahlung)

[Gyrostrahlung: nichtrelativistisch  $\Rightarrow$  Zyklotronstrahlung; relativistisch  $\Rightarrow$  Gyrosynchrotronstrahlung]





# Kosmische Radiostrahler

Natürliche Strahlungsquellen/Strahlungsmechanismen:

1) **Thermische Emission von (Fest-)Körpern** ( $\lambda \leq 1 \text{ cm}$ )

(Wärmestrahlung verteilt über viele Wellenlängen)

2) **Linienstrahlung (von Gas)**

(Aussenden von schmalbandiger Emission beim Übergang zwischen verschiedenen, diskreten Anregungszuständen von Atomen und Molekülen, Rekombinationsvorgänge)

3) **Thermische Emission von heißem Gas** ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(Elektronen werden im elektrischen Feld von Ionen abgelenkt und abgebremst = Frei-Frei Strahlung ) [Bremsstrahlung]

4) **Nichtthermische Strahlung von heißem Gas** ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(schnelle, freie Elektronen, die sich auf „Spirelli“-Bahnen um Magnetfeldlinien bewegen: Synchrotronstrahlung)

[Gyrostrahlung: nichtrelativistisch  $\Rightarrow$  Zyklotronstrahlung; relativistisch  $\Rightarrow$  Synchrotronstrahlung]

(heiß :  $T > 2000 \text{ K} \Rightarrow$  Plasma)

# Kosmische Radiostrahler

Natürliche Strahlungsquellen/Strahlungsmechanismen:

1) Thermische Emission von (Fest-)Körpern ( $\lambda \leq 1\text{cm}$ )

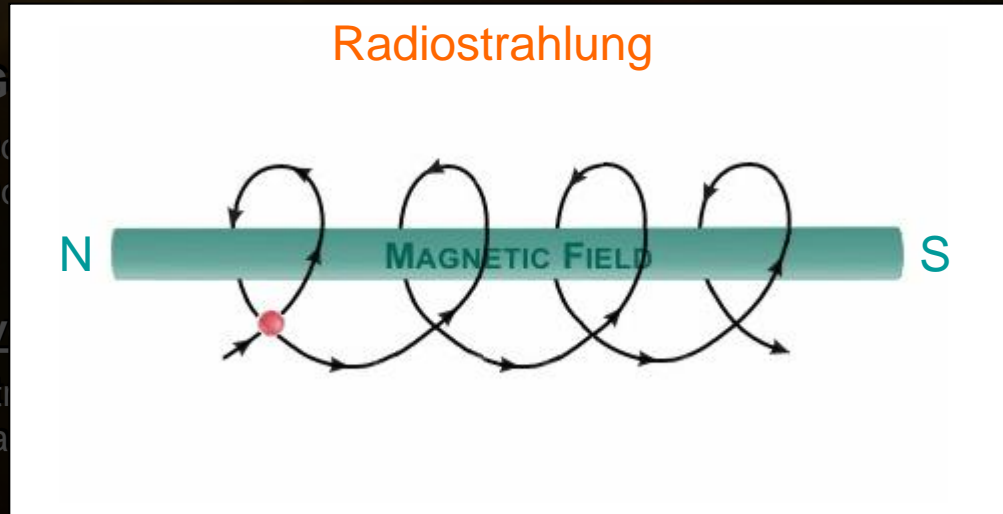
(Wärmestrahlung verteilt über viele Wellenlängen)

2) Linienstrahlung (von Gasen)

(Aussenden von schmalbandigen  
diskreten Anregungszuständen)

3) Thermische Emission von freien Elektronen

(Elektronen werden im elektrischen  
abgebremst = Frei-Frei Strahlung)



4) Nichtthermische Strahlung von heißem Gas ( $\lambda \geq 1\text{ cm}$ )

(schnelle, freie Elektronen, die sich auf „Spirelli“-Bahnen  
um Magnetfeldlinien bewegen: Gyrostrahlung)

[Gyrostrahlung: nichtrelativistisch  $\Rightarrow$  Zyklotronstrahlung; relativistisch  $\Rightarrow$  Synchrotronstrahlung]

(heiß :  $T > 2000\text{ K} \Rightarrow$  Plasma)



# Kosmische Radiostrahler

## Frage $\Rightarrow$ Unterscheidung ?

### 1) Thermische Emission von (Fest-)Körpern ( $\lambda \leq 1 \text{ cm}$ )

(Wärmestrahlung verteilt über viele Wellenlängen)

### 2) Linienstrahlung (von Gas)

(Aussenden von schmalbandiger Emission beim Übergang zwischen verschiedenen, diskreten Anregungszuständen von Atomen und Molekülen, Rekombinationsvorgänge)

### 3) Thermische Emission von heißem Gas ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(Elektronen werden im elektrischen Feld von Ionen abgelenkt und abgebremst = Frei-Frei Strahlung ) [Bremsstrahlung]

### 4) Nichtthermische Strahlung von heißem Gas ( $\lambda \geq 1 \text{ cm}$ )

(schnelle, freie Elektronen, die sich auf „Spirelli“-Bahnen um Magnetfeldlinien bewegen: Synchrotronstrahlung)

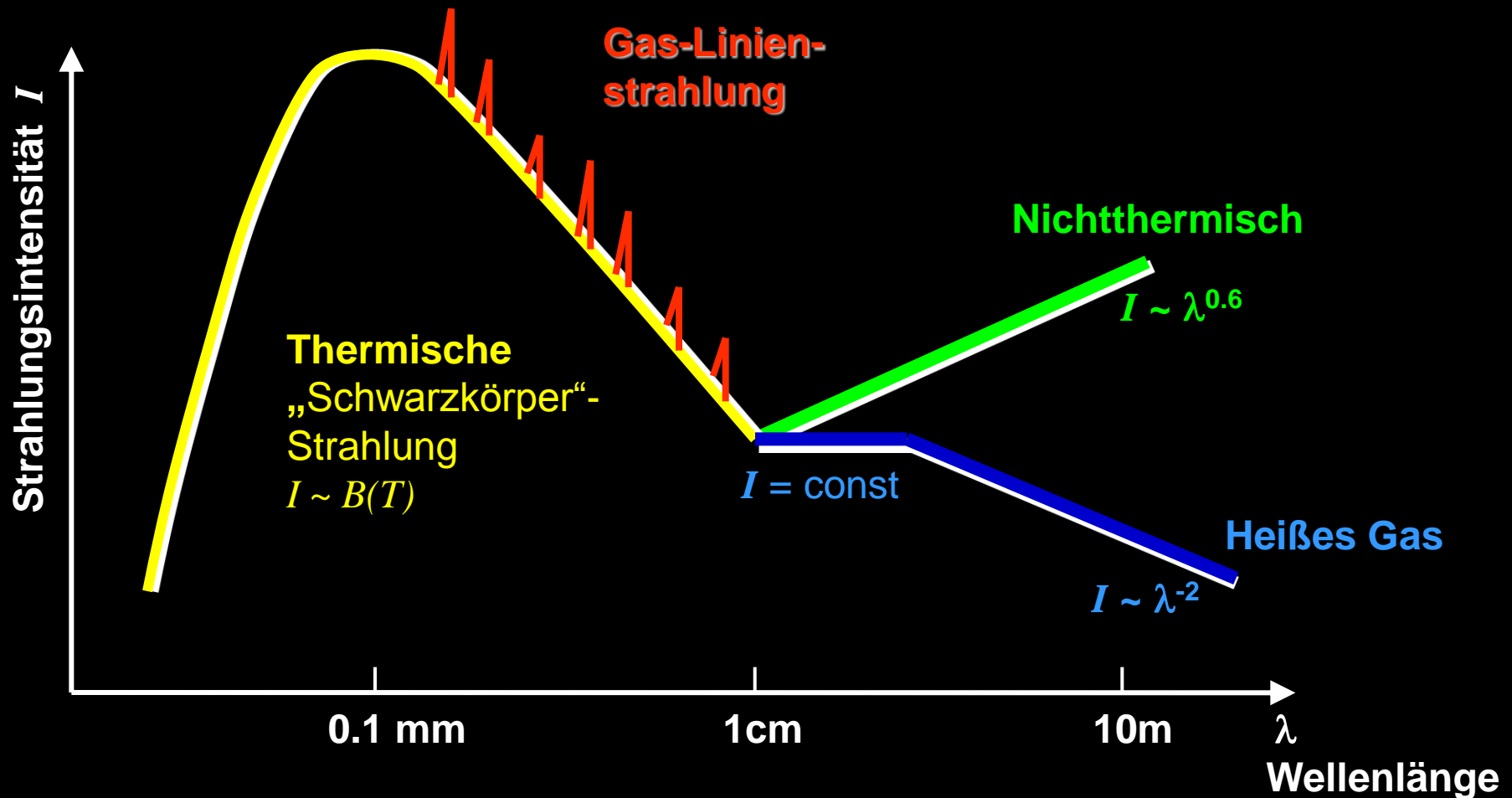
[Gyrostrahlung: nichtrelativistisch  $\Rightarrow$  Zyklotronstrahlung; relativistisch  $\Rightarrow$  Synchrotronstrahlung]

(heiß :  $T > 2000 \text{ K} \Rightarrow$  Plasma)



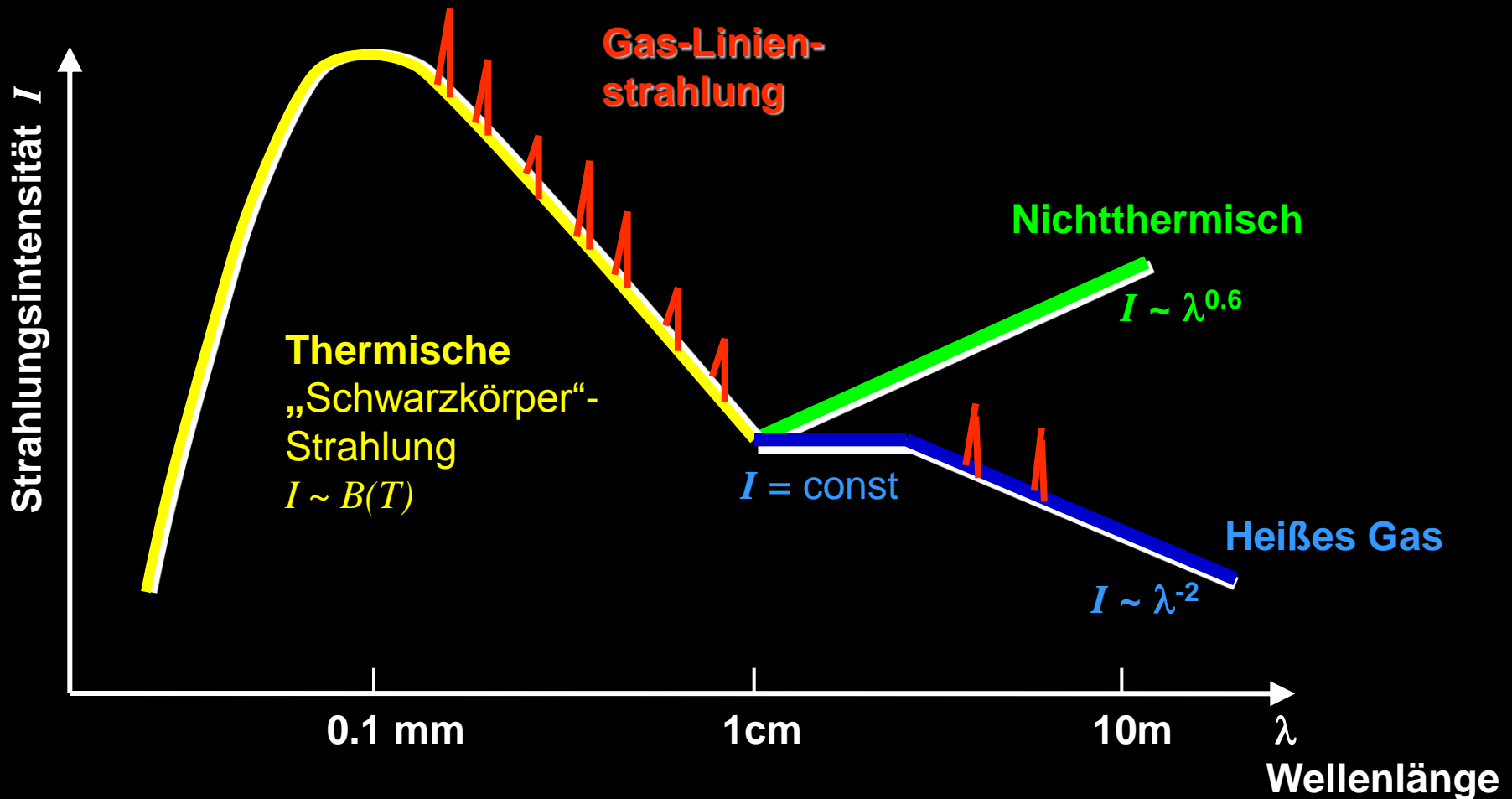
# Kosmische Radiostrahler

## Unterscheidung verschiedener Strahlungsmechanismen



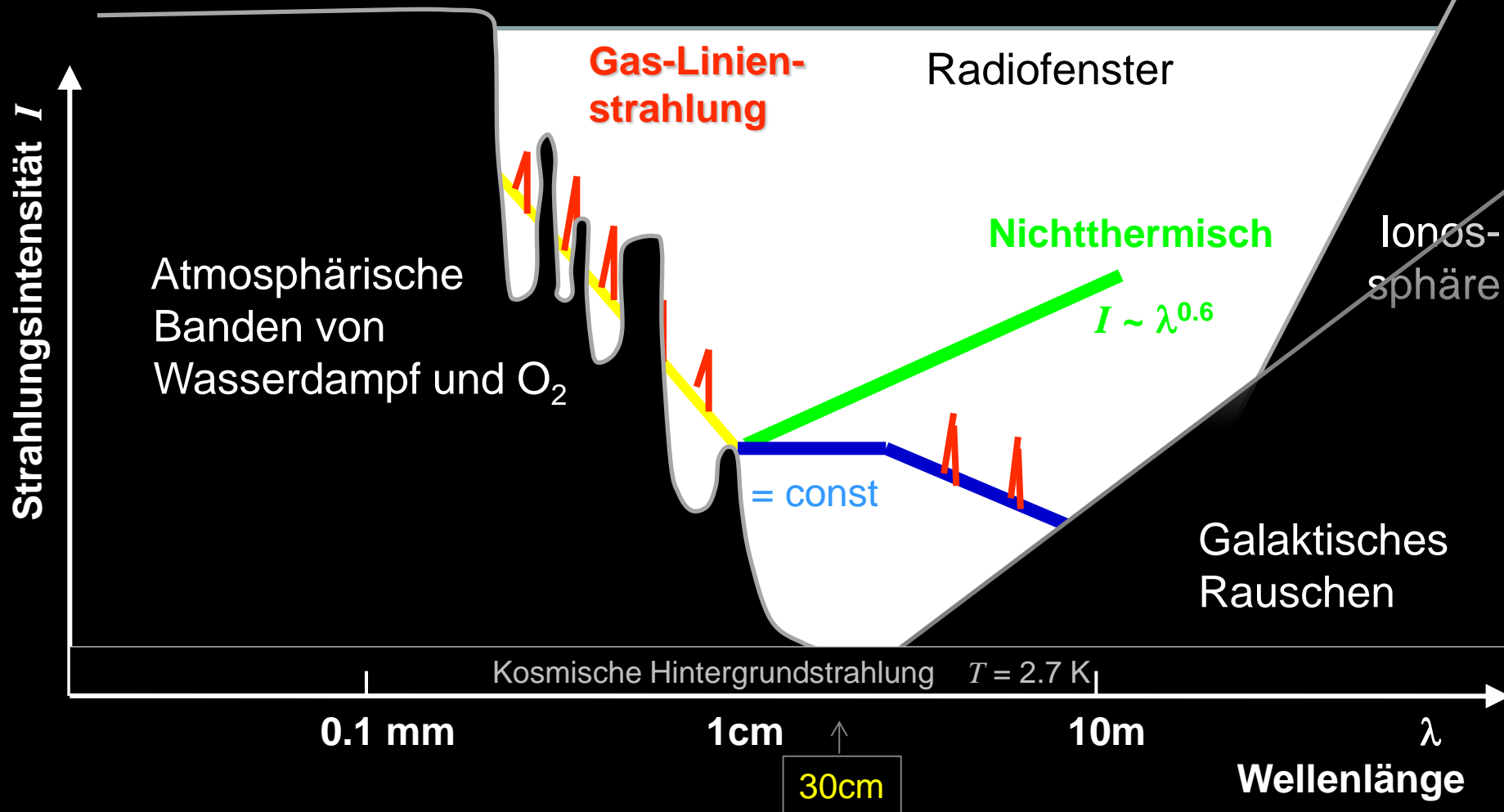
# Kosmische Radiostrahler

## Unterscheidung verschiedener Strahlungsmechanismen



# Kosmische Radiostrahler

Welcher Strahlungsbereich ist von der Erde sichtbar ?

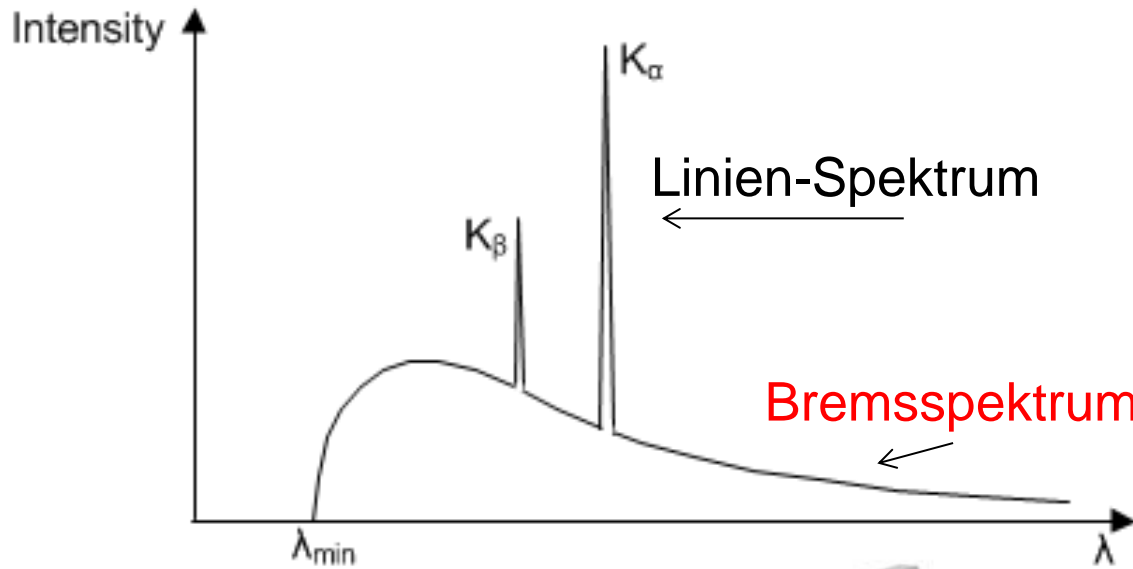




# Bremsstrahlung

= **Frei-Frei – Emission**

z.B. optische Tiefe für die frei-frei Emission  $\tau_{ff}$

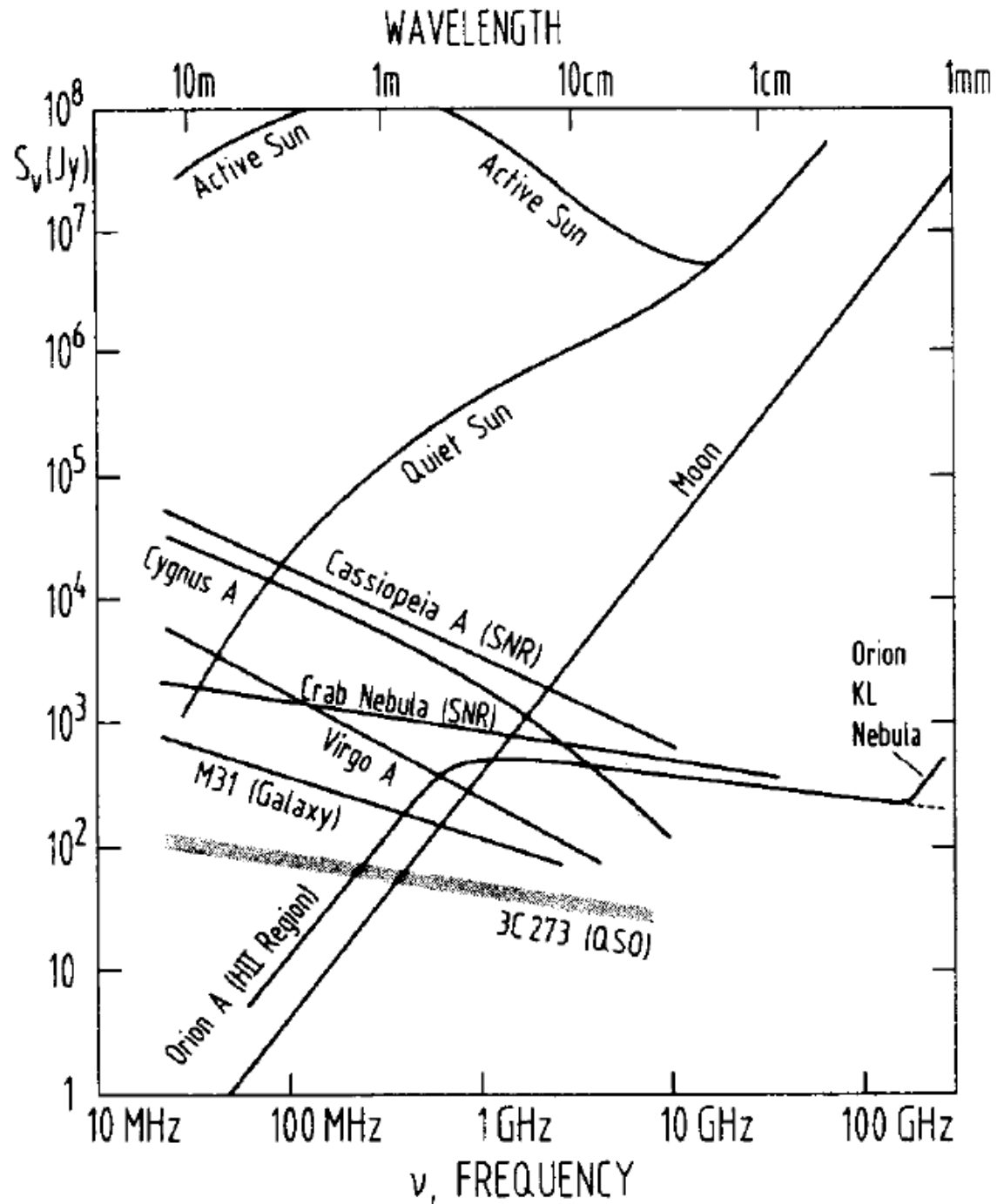


Spektrum  
einer  
Röntgenröhre  
(Molybdän-Röhre)



Erinnerung  
Physikpraktikum:

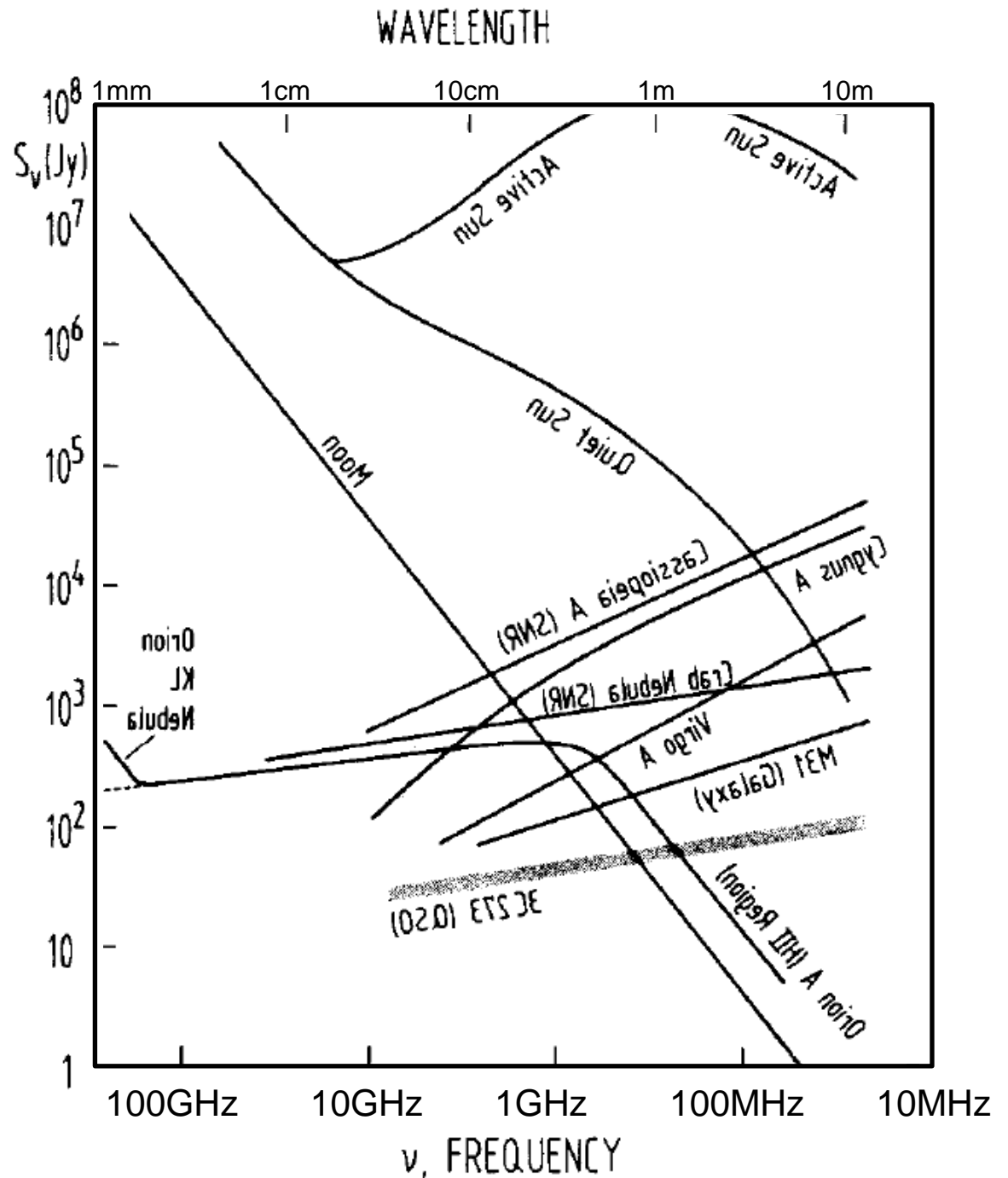
Abb. 11.1  
 Spektrale  
 Energieverteilungen  
 für verschiedene  
**astronomische  
 Objekte**



aus Wilson et al.  
 „Tools of Radioastronomie“

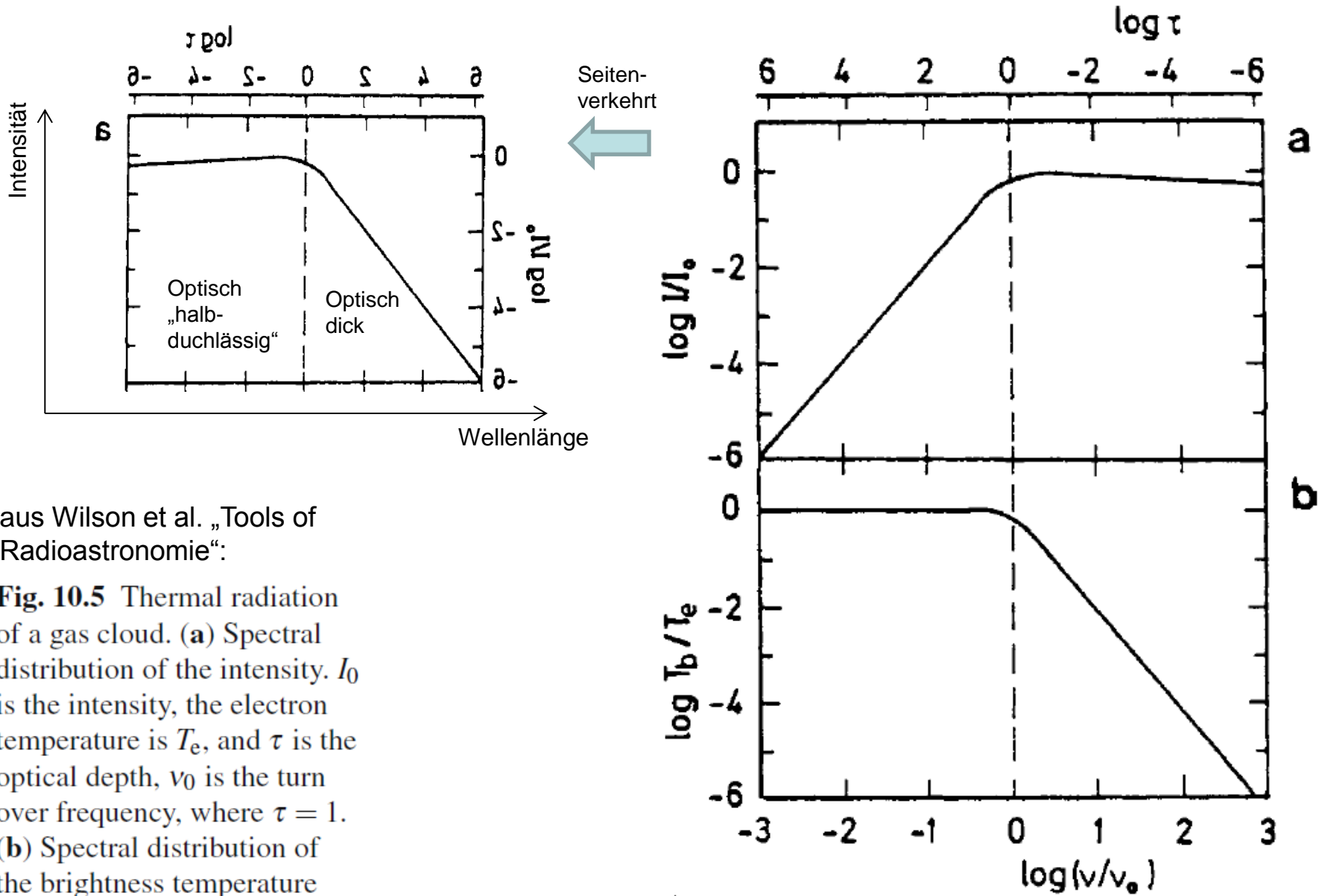


Abb. 11.1  
 Spektrale  
 Energieverteilung  
 für verschiedene  
**astronomische  
 Objekte**



aus Wilson et al.  
 „Tools of Radioastronomie“

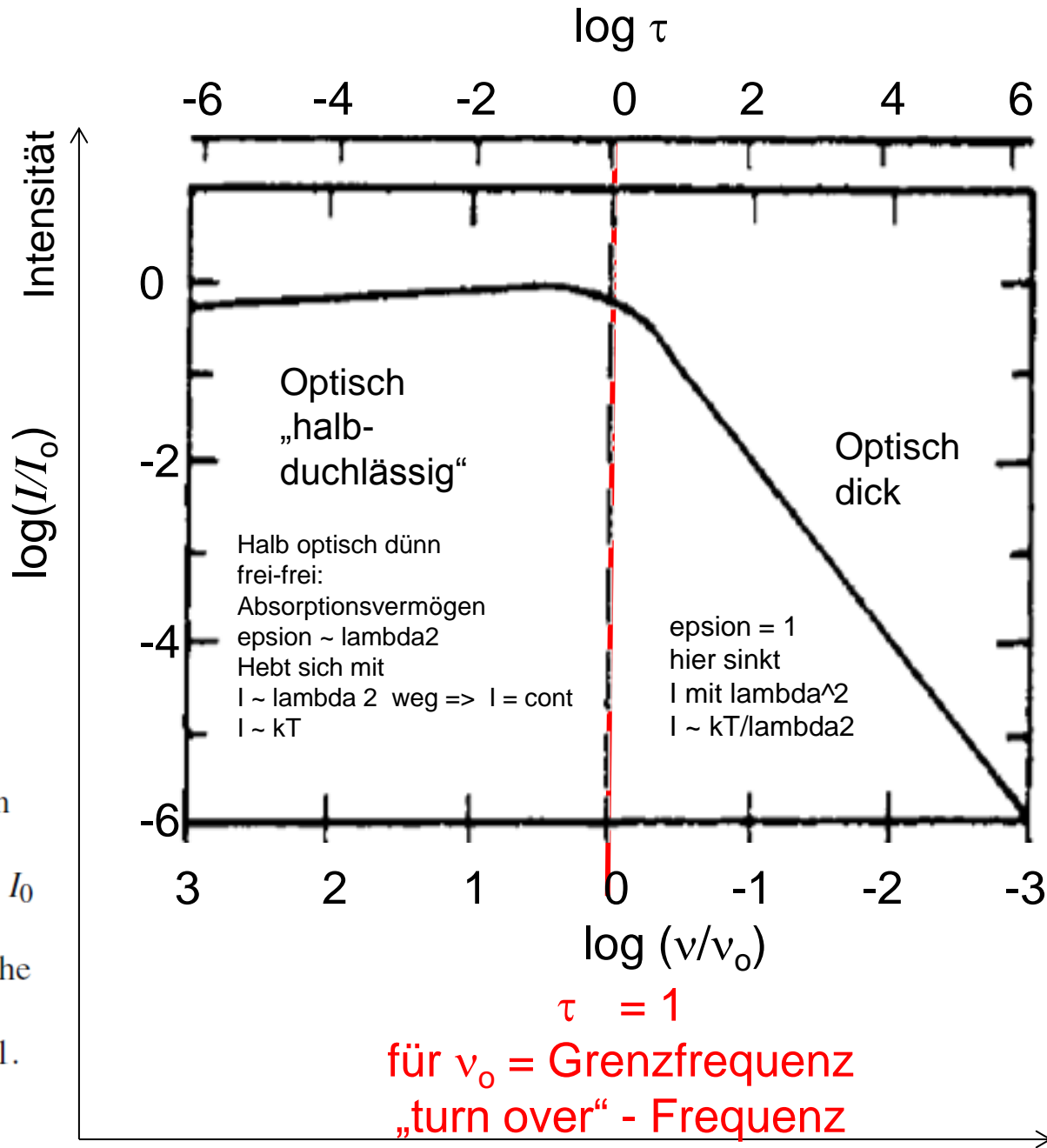
Abb. 11.2.



aus Wilson et al. „Tools of Radioastronomie“:

**Fig. 10.5** Thermal radiation of a gas cloud. (a) Spectral distribution of the intensity.  $I_0$  is the intensity, the electron temperature is  $T_e$ , and  $\tau$  is the optical depth,  $\nu_0$  is the turn over frequency, where  $\tau = 1$ . (b) Spectral distribution of the brightness temperature

Abb. 11.2.



aus Wilson et al. „Tools of Radioastronomie“:

**Fig. 10.5** Thermal radiation of a gas cloud. (a) Spectral distribution of the intensity.  $I_0$  is the intensity, the electron temperature is  $T_e$ , and  $\tau$  is the optical depth,  $\nu_0$  is the turn over frequency, where  $\tau = 1$ . (b) Spectral distribution of the brightness temperature

$\tau = 1$   
für  $\nu_0 =$  Grenzfrequenz  
„turn over“ - Frequenz

Wellenlänge