

“在物理学晴朗天空的远处， 还有两朵小小的令人不安的乌云”

# § 15.1 黑体辐射

## 普朗克能量量子假设

# 一 黑体 黑体辐射

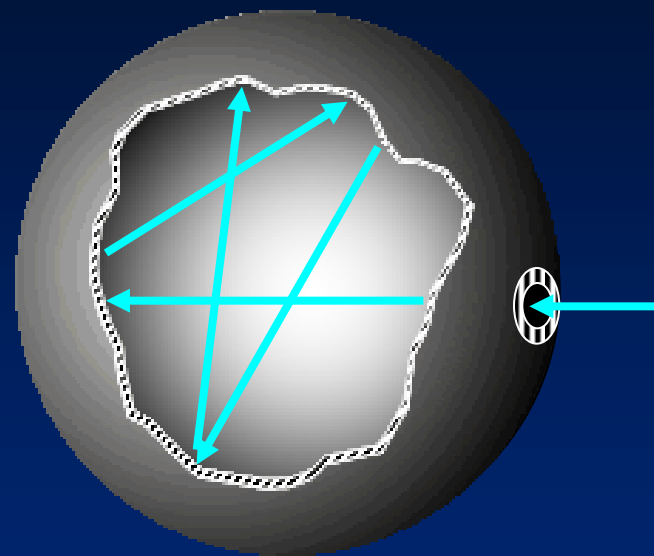
## 1 热辐射现象

由于物体中的分子、原子受到热激发而发射电磁辐射的现象。

## 2 绝对黑体（简称黑体）

在任何温度下，能吸收一切外来电磁辐射的物体。

好的吸收体，也是好的辐射体。



空腔上的小孔  
可作为黑体

### 3 热辐射的基本概念

#### (1) 单色辐射出射度 $M_\lambda(T)$

$$M_\lambda(T) = \frac{dM_\lambda}{d\lambda} \quad (\text{单位: } \text{W} \cdot \text{m}^{-3})$$

**物理意义:** 单位时间内从物体单位表面积发出的波长在  $\lambda$  附近单位波长区间内的电磁波的能量.

$$M_\nu(T) = \frac{dM_\nu}{d\nu} \quad (\text{单位: } \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1})$$

(2) 辐射出射度(单位:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$  )

$$M(T) = \int_0^{\infty} M_{\nu}(T) d\nu$$

$$M(T) = \int_0^{\infty} M_{\lambda}(T) d\lambda$$

物理意义: 单位时间, 单位面积上所辐射出的各种频率 (或各种波长) 的电磁波的能量总和.

## 二 黑体辐射的实验规律

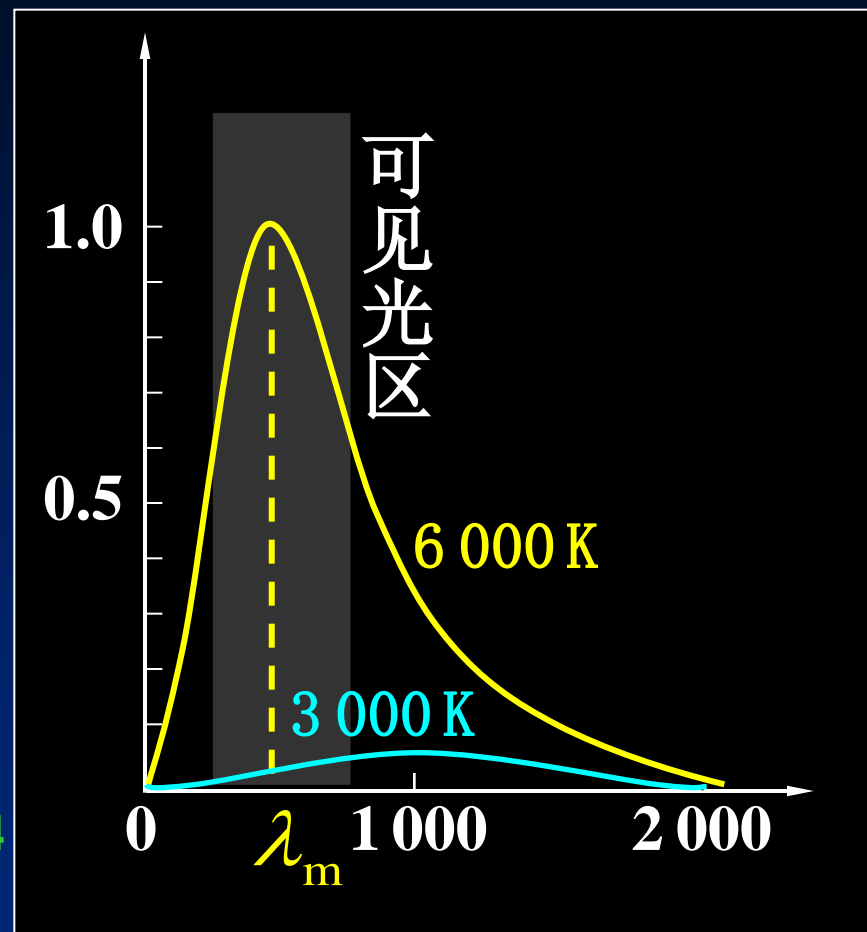
### 1 斯特藩 - 玻耳兹曼定律

总辐出度

$$M(T) = \int_0^{\infty} M_{\lambda}(T) d\lambda = \sigma T^4$$

斯特藩 - 玻耳兹曼常数

$$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$



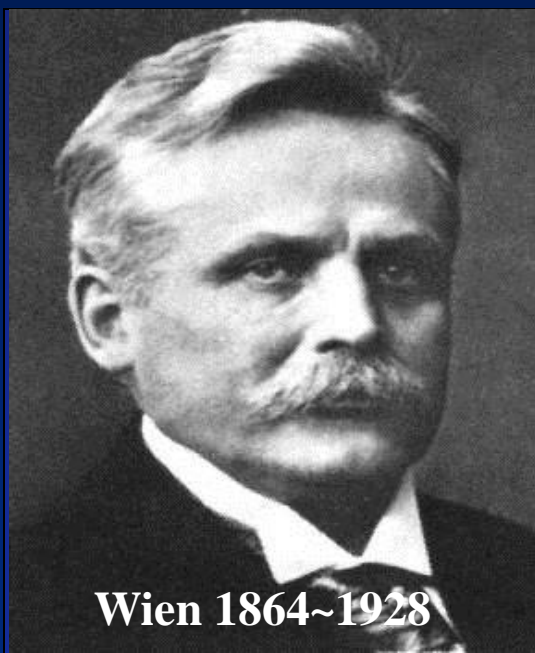
黑体单色辐出度的实验曲线

## 2 维恩位移定律

峰值波长

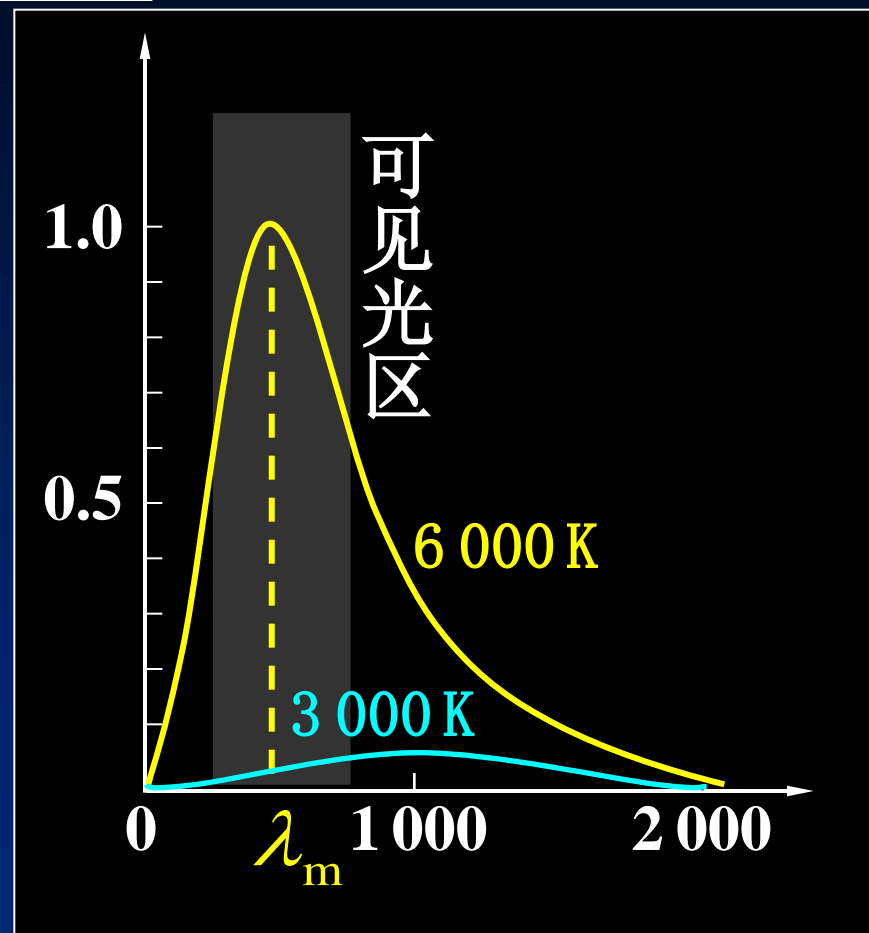
$$\lambda_m T = b$$

常量  $b = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$



Wien 1864~1928

英国数学家，  
因发现热辐射  
规律维恩位移  
定律和建立黑  
体辐射的维恩  
公式，维恩获  
得了1911年度  
诺贝尔物理学  
奖。



黑体单色辐出度的实验曲线

**例** 实验测得太阳辐射波谱的  $\lambda_m = 490nm$ ，若把太阳视为黑体，试计算太阳表面所发射的总功率。

（已知太阳的半径  $R = 6.96 \times 10^8 m$ ）

**解：**  $\lambda_m T = b$

$$\lambda_m T = b$$

$$T = \frac{b}{\lambda_m} = \frac{2.897 \times 10^{-3}}{4.9 \times 10^{-9}} = 5.9 \times 10^3 K$$

单位面积上的发射功率：

$$\begin{aligned} M(T) &= \sigma T^4 = 5.67 \times 10^{-8} \cdot (5.9 \times 10^3)^4 \\ &= 6.87 \times 10^7 W / m^2 \end{aligned}$$

**例** 实验测得太阳辐射波谱的  $\lambda_m = 490nm$ ，若把太阳视为黑体，试计算太阳表面所发射的总功率。

（已知太阳的半径  $R = 6.96 \times 10^8 m$ ）

$$\begin{aligned}
 \text{太阳辐射的总功率: } P &= M 4\pi R^2 \\
 &= 6.87 \times 10^7 \cdot 4\pi \cdot (6.96 \times 10^8)^2 \\
 &= 4.2 \times 10^{26} W \quad (\text{over})
 \end{aligned}$$

单位面积上的发射功率:

$$\begin{aligned}
 M(T) &= \sigma T^4 = 5.67 \times 10^{-8} \cdot (5.9 \times 10^3)^4 \\
 &= 6.87 \times 10^7 W / m^2
 \end{aligned}$$



### 三 瑞利 - 金斯公式 经典物理的困难



Rayleigh 1842~1919

英国物理学家。20岁入剑桥大学三一学院学习。毕业后第二年选为三一学院研究员。

1873 年被选为英国皇家学会会员

1879~1884年任卡文迪什实验室主任

1885 ~1896 年任皇家学会秘书

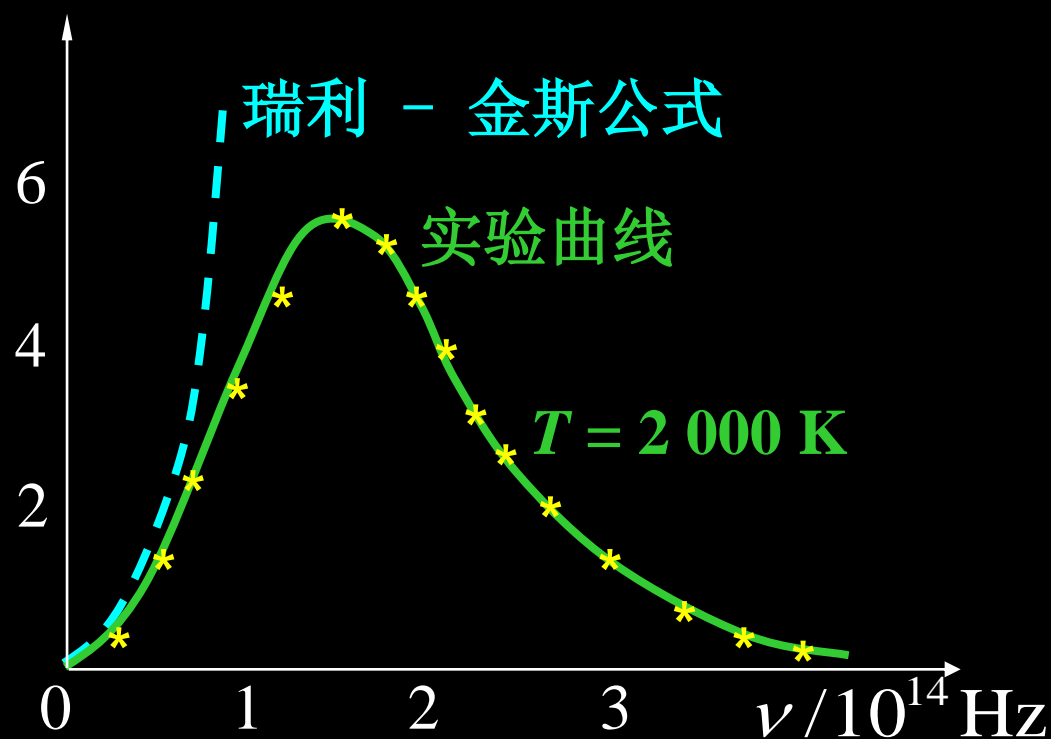
1905~1908 年任会长

1908 年起任剑桥大学校长

瑞利与金斯共同建立了瑞利-金斯辐射公式，阐明波长较长，温度较高对黑体辐射能量的分布与波长的变化关系。瑞利的再一贡献是精确测定了大气的密度及其组分，从而导致后来氟和其它惰性气体的发现，1904年获诺贝尔物理学奖金。

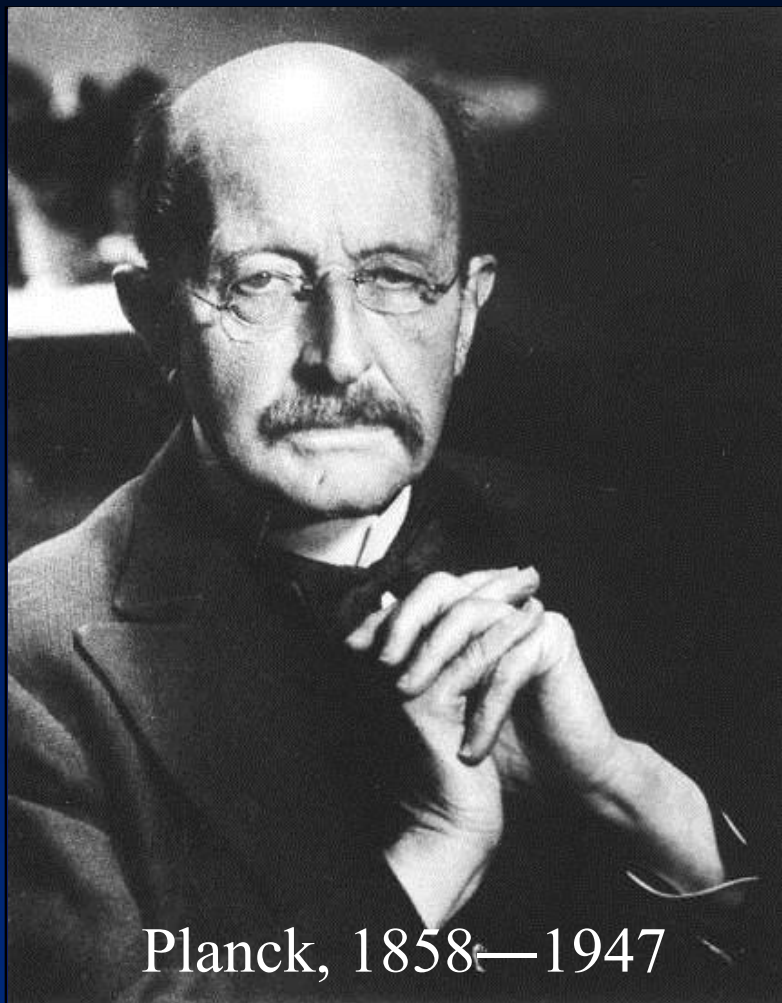
### 三 瑞利 - 金斯公式 经典物理的困难

$$M_{\nu}(T)d\nu = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT d\nu$$



但瑞利、金斯两人得出的共识，是根据经典物理的理论严密推导的，瑞利和金斯也是物理学界公认的治疗严谨的人，理论值与实验值在短波区的北辙南辕，使人们不得不称之为“紫外灾难”。

## 四 普朗克假设 普朗克黑体辐射公式



Planck, 1858—1947

德国理论物理学家，量子论的奠基人。1900年12月14日他在德国物理学会上，宣读了以《关于正常光谱中能量分布定律的理论》为题的论文，提出了能量的量子化假设。劳厄称这一天是“量子论的誕生日”。

普朗克由于创立了量子理论而获得了1918年诺贝尔物理学奖。

## 四 普朗克假设 普朗克黑体辐射公式

### 1 普朗克量子假设

$$\varepsilon = nh\nu \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

普朗克常数  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

### 2 普朗克黑体辐射公式

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