

# 第十三章 量子物理

## 13.1 量子物理基本原理

波粒二象性原理 态叠加原理 量子实在论

## 13.2 精细观测

电子显微镜 扫描隧道显微镜 冷原子干涉仪 原子钟

## 13.3 光电器件

## 13.4 量子信息

### 13.1.1 波粒二象性原理

1. 光的波粒二象性
2. 实物粒子的波粒二象性
3. 薛定谔波动方程

### 13.1.2 态叠加原理

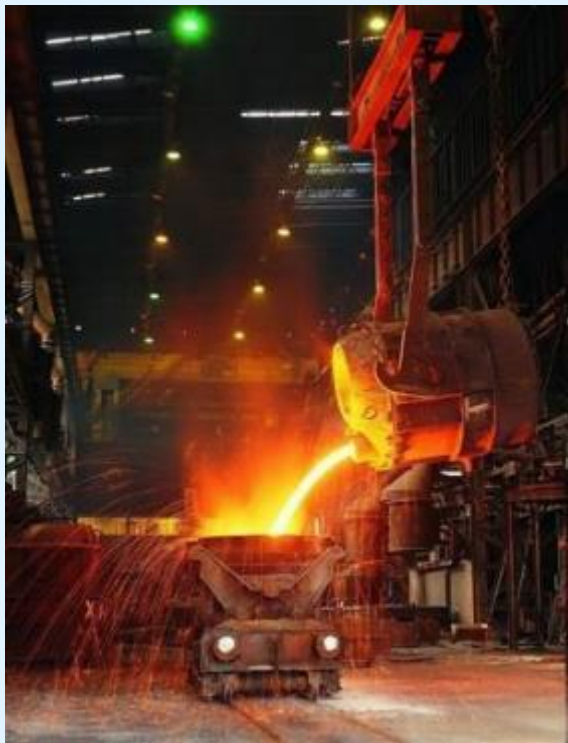
1. 态叠加原理
2. 不确定关系
3. 原子中电子的壳层排布

### 13.1.3 量子实在论

# 13\_01 黑体辐射、量子概念的诞生

## 一、黑体辐射的实验定律

### 1、物体的热辐射



钨丝发光

## 13\_01 黑体辐射、量子概念的诞生

### 一、黑体辐射的实验定律

#### 1、物体的热辐射

任何固体或液体，在任何温度下都在发射各种波长的电磁波，辐射能量随温度上升而增大

—— 物体辐射电磁波的同时

也吸收电磁波

辐射和吸收平衡时

物体处于热平衡状态

—— 平衡热辐射



# 热辐射的应用 ❀

夜视仪

红外成像仪



## 2、平衡热辐射

——辐射和吸收平衡时\_\_\_\_物体处于热平衡状态

单色辐射出射度（光谱辐射出射度）

——描述物体的热辐射能量按波长的分布规律

单色辐射出射度 —— 物体表面单位面积在单位时间

发射频率 $\nu$ 附近单位频率区间的能量

$\nu \rightarrow \nu + d\nu$  范围内的辐射能  $dM_\nu$

$$M_\nu(T) = \frac{dM_\nu}{d\nu} \quad \text{—— 单色辐射出射度}$$

单位：W / m<sup>2</sup>

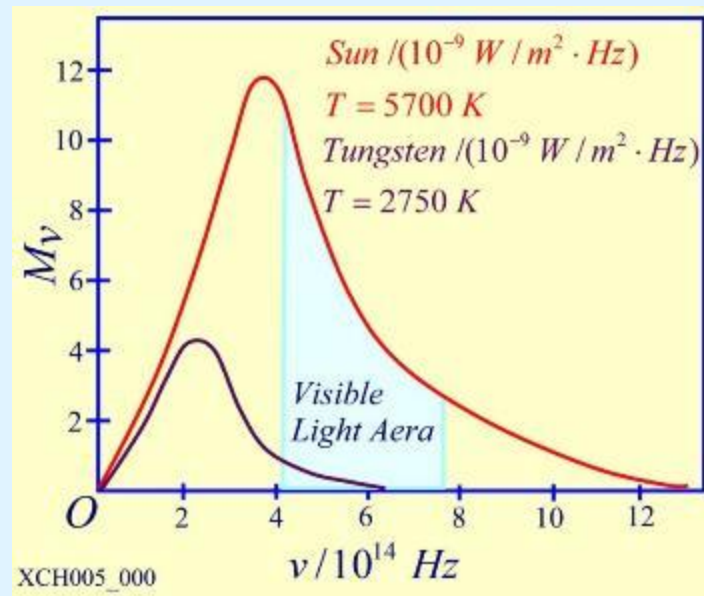
单色辐射出射度

$$M_{\nu}(T) = \frac{dM_{\nu}}{d\nu}$$

辐射出射度

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

单位:  $\text{W} / \text{m}^2$



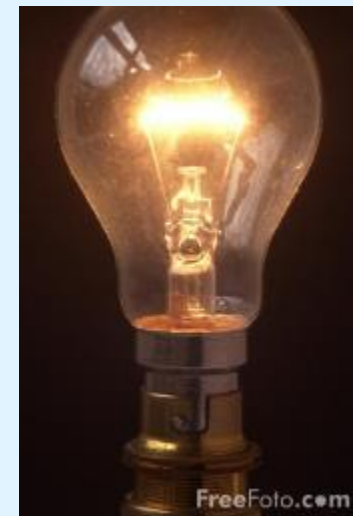
太阳 —— 表面温度

$$T = 5700 \text{ K}$$



金属钨 —— 表面温度

$$T = 2750 \text{ K}$$





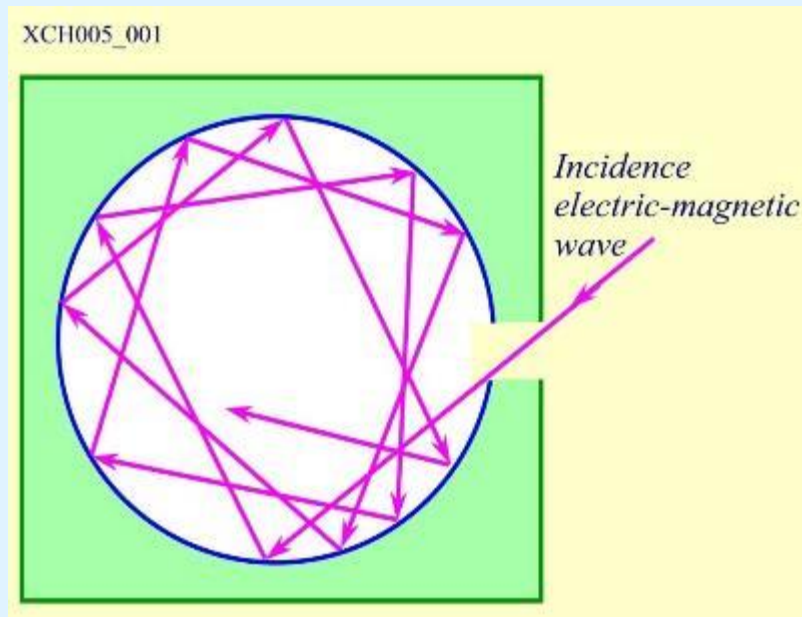
### 3、黑体辐射的实验定律

一个物体

透射      ×      完全不透明

反射      ×

吸收      √      全部吸收



黑体特点 —— 相同温度下\_\_吸收本领最大\_\_辐射本领最大

$M_{B\lambda}(T)$  —— 单色辐射出射度仅与波长和温度有关

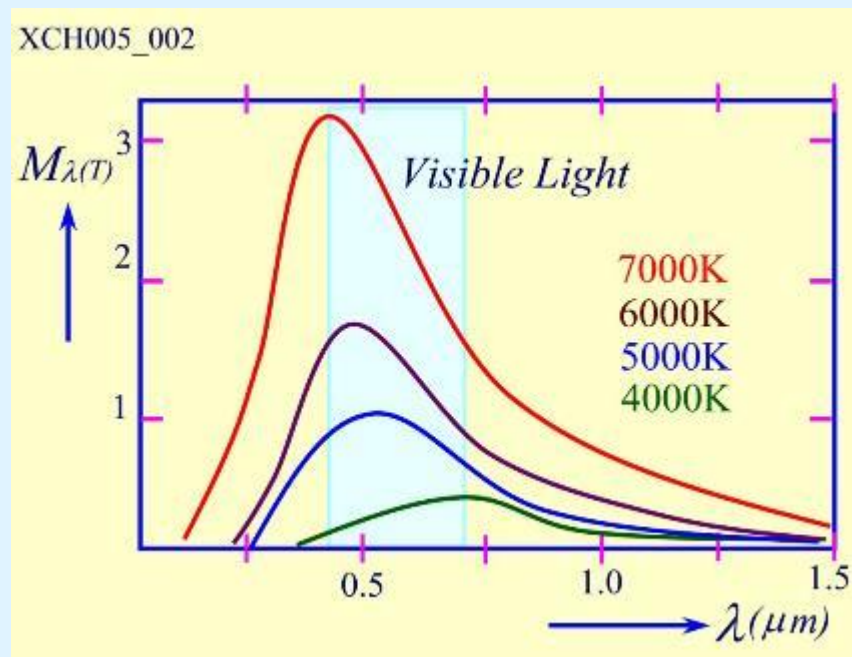
与材料的种类和表面情况等无关



实验结果 —— 单色辐射出射度的最大值

温度越高 \_\_\_\_ 向短波方向移动

温度越低 \_\_\_\_ 向长波方向移动



黑体辐射实验的理论解释与研究 —— 19世纪中叶的难题

#### 4、斯特藩—玻耳兹曼定律

黑体辐射的全部辐射出射度  $M = \int_0^{\infty} M_{\nu} d\nu = \sigma T^4$

$$\sigma = 5.670\,51 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

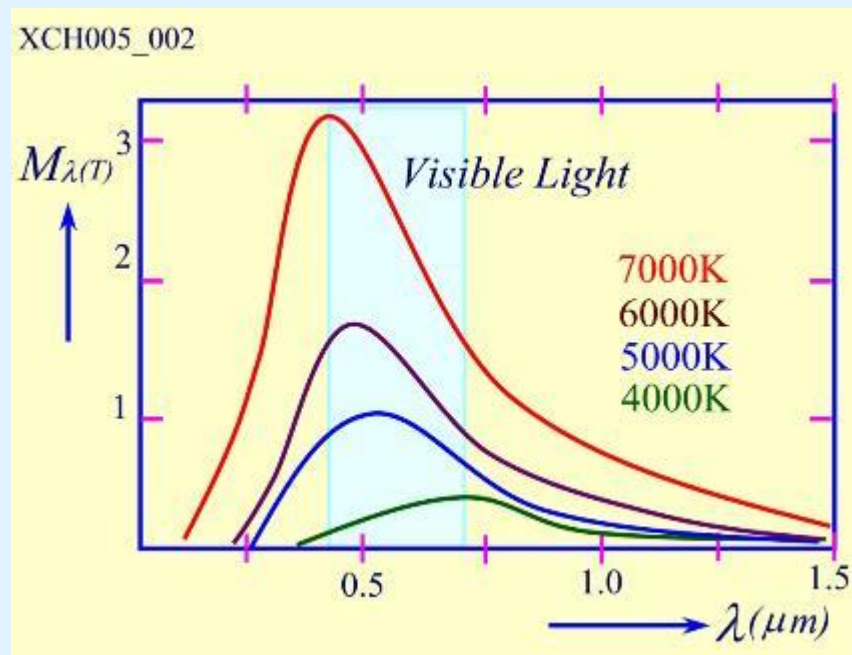
—— 斯特藩—玻耳兹曼常数

#### 5、维恩位移定律

$$T\lambda_m = b$$

$\lambda_m$  峰值波长

$$b = 2.897 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$



例题. 根据维恩位移律和斯特藩—玻耳兹曼定律  
计算太阳和北极星的表面温度和全部辐射出射度

太阳和北极星光谱辐射  
出射度的最大光的波长

$$\begin{cases} \lambda_{m1} = 510 \text{ nm} \\ \lambda_{m2} = 350 \text{ nm} \end{cases}$$

维恩位移律

斯特藩—玻耳兹曼定律

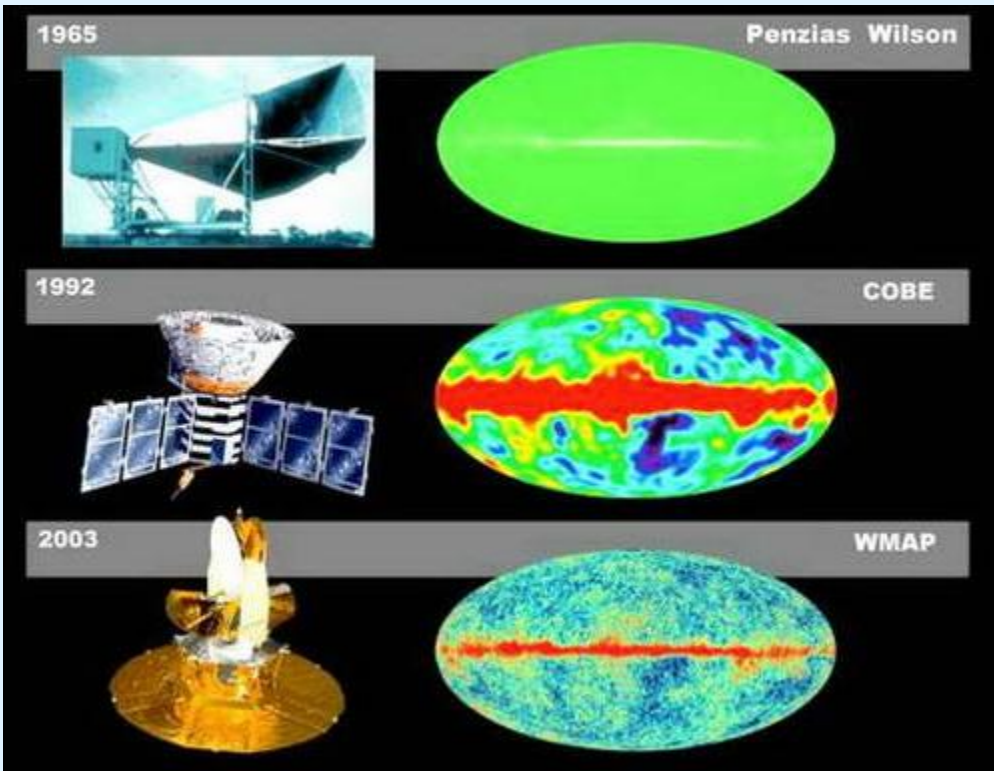
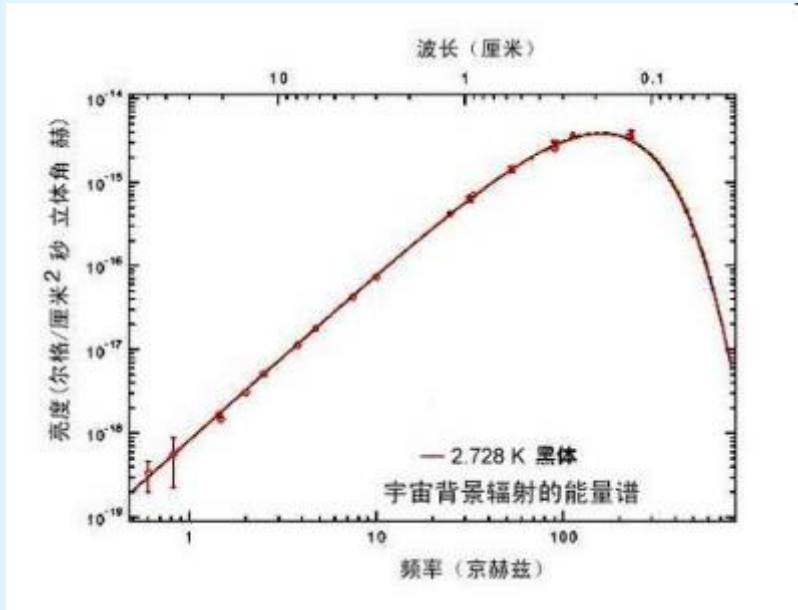
太阳  $T_1 = \frac{b}{\lambda_{m1}} = 5700 \text{ K}$

北极星  $T_2 = \frac{b}{\lambda_{m2}} = 8300 \text{ K}$

$$\begin{cases} M = \sigma T^4 \\ M_1(T) = 6 \times 10^7 \text{ W} / \text{m}^2 \\ M_2(T) = 2.7 \times 10^8 \text{ W} / \text{m}^2 \end{cases}$$

# 宇宙背景辐射

1964年，美国射电天文学家彭齐亚斯（A.Penzias）和威尔逊（R.W.Wilson）发现宇宙背景辐射，获得1978年诺贝尔物理学奖。



## 二、黑体辐射的经典理论

热辐射 —— 物体中大量带电粒子无规则热运动引起

—— 分子\_\_原子或离子在平衡位置附近

以各种频率作微小振动 \_\_\_\_ 谐振子体系

—— 向空间发射与振动频率相同的电磁波

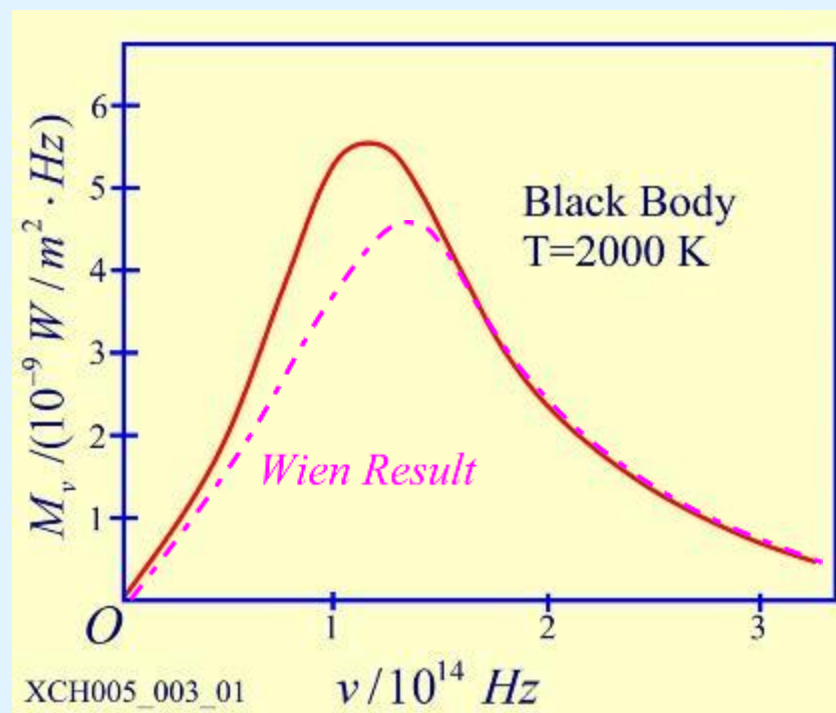
构成连续的热辐射能谱

—— 黑体单色辐射出射度的实验结果

维恩公式 —— 从热力学和麦克斯韦分布律推导出的公式

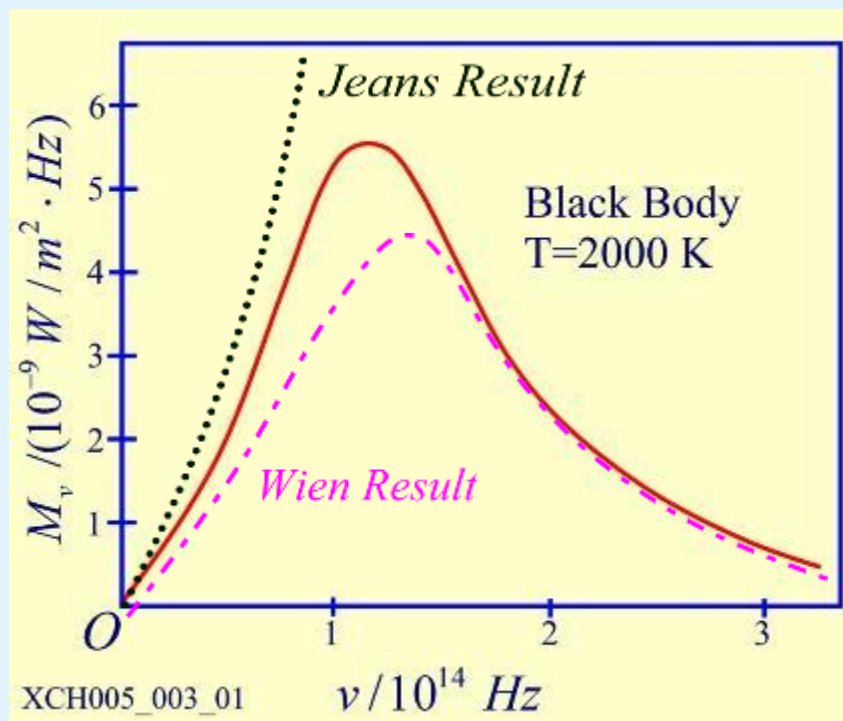
$$M_{\nu}(T) = \alpha \nu^3 e^{-\frac{\beta \nu}{T}}$$

—— 长波范围与实验不符



## —— 黑体单色辐射出射度的实验结果

瑞利 — 金斯——把统计物理学中的能量按自由度均分定理应用到电磁辐射上，提出每个线性谐振子的平均能量都等于  $kT$



$$M_v(T) = \left( \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \right) kT$$

—— 短波范围与实验不符

—— 紫外灾难！



### 三、普朗克能量量子假设

#### 1、普朗克能量量子假设

—— 1900年12月 Max Planck 提出能量量子假说

—— 1918年获诺贝尔物理学奖

1) 黑体腔壁的原子看作带电谐振子\_\_可吸收和放出电磁波

2) 带电谐振子的能量不能连续变化—— 只能取分立的值

$$E = nh\nu \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

$h\nu$  —— 带电谐振子的能量子

# Planck 黑体辐射公式

—— Max Planck在热力学的基础上

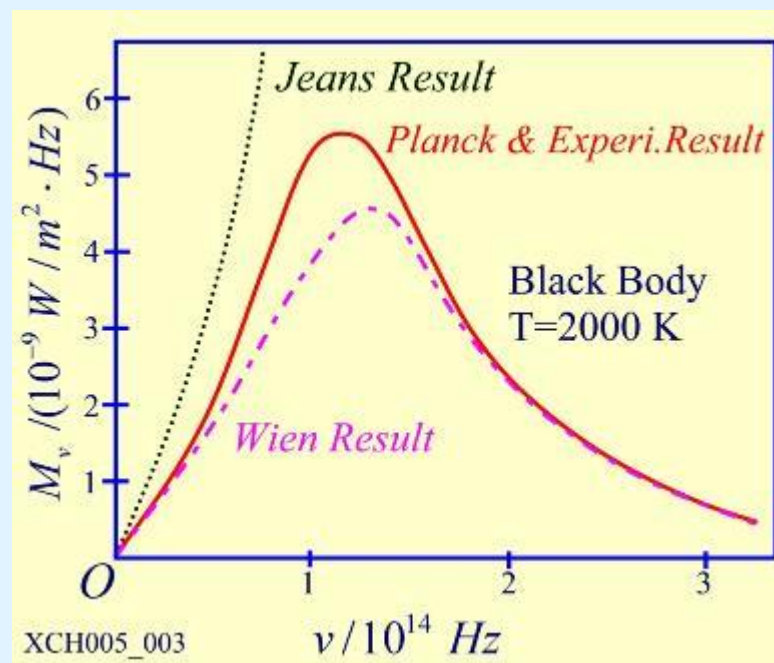
用玻尔兹曼的统计方法得到一个经验公式

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

$$h = 6.6260755 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

—— Planck常数

—— 与实验结果相吻合



# 作业：W11 黑体辐射 光电效应