



15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

量子概念是 1900 年普朗克首先提出，距今已有 100 多年的历史。其间，经过爱因斯坦、玻尔、德布罗意、玻恩、海森伯、薛定谔、狄拉克等许多物理大师的创新努力，到 20 世纪 30 年代，就建立了一套完整的量子力学理论。

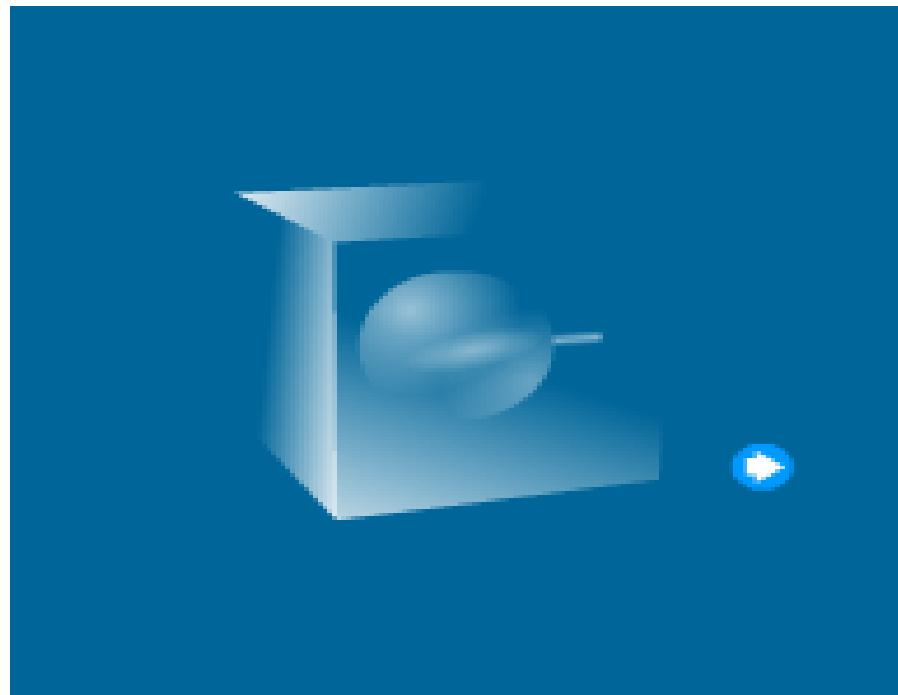


一 黑体 黑体辐射

1 黑体

若物体在任何温度下，能吸收一切外来的电磁辐射，则称此物体为黑体。
(绝对黑体)

黑体是理想
模型





2 热辐射的基本概念

(1) 单色辐射出射度 单位时间内从物体单位表面积发出的频率在 ν 附近单位频率区间内的电磁波的能量.

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

$M_\lambda(T)$ 单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$



(2) 辐射出射度

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。

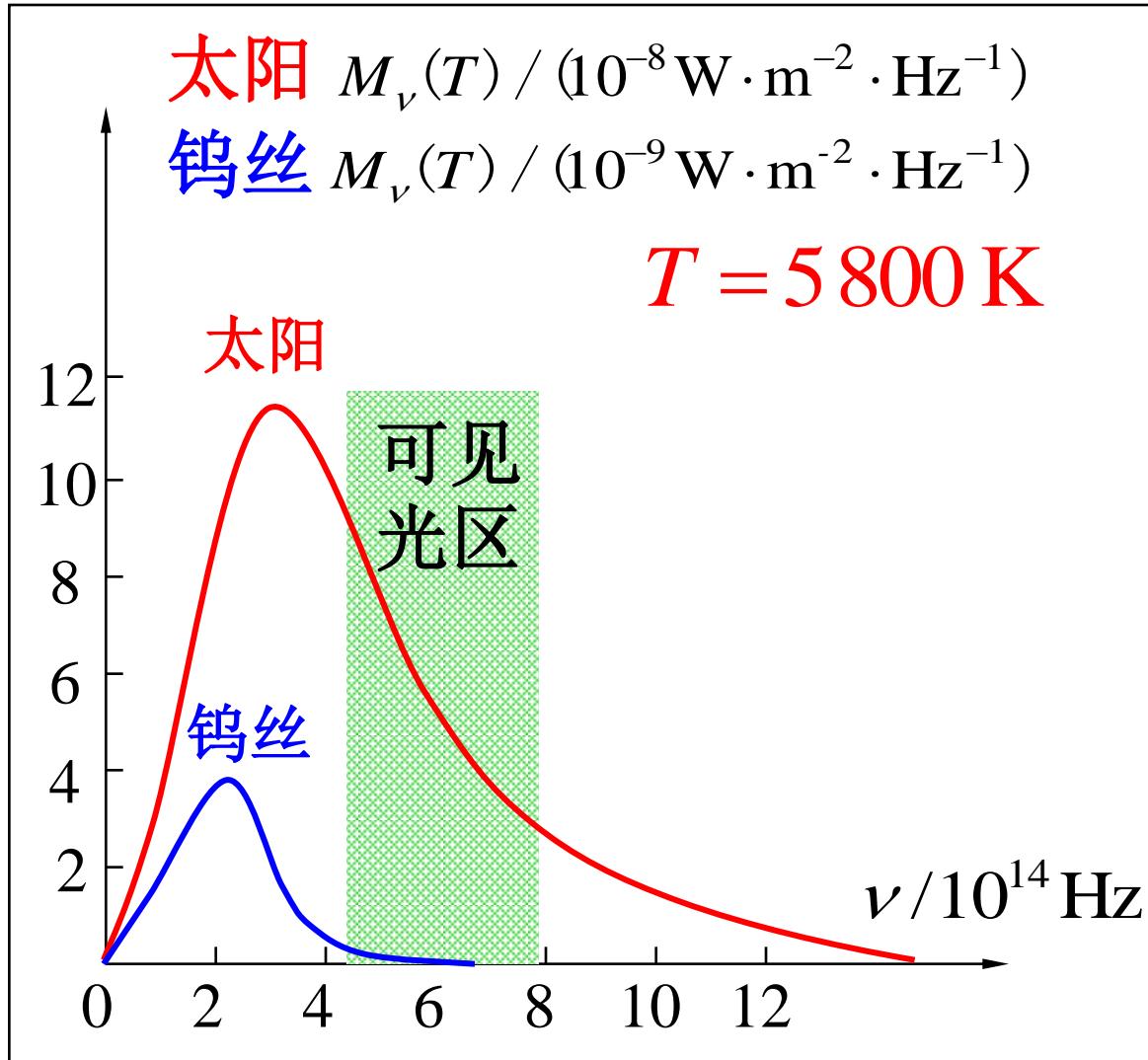
$$M(T) = \int_0^{\infty} M_{\nu}(T) d\nu$$

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



15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

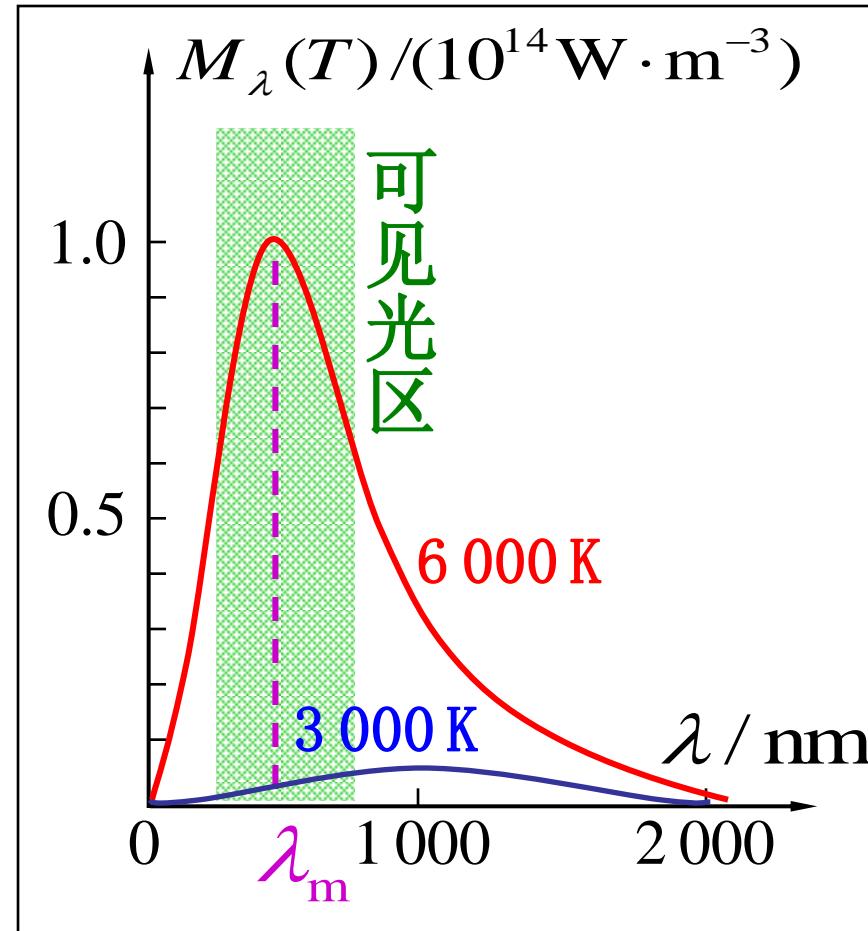
钨丝和太阳的单色辐出度曲线





二 黑体辐射的实验规律

黑体单色辐射度的实验曲线





1 斯特藩 - 玻耳兹曼定律

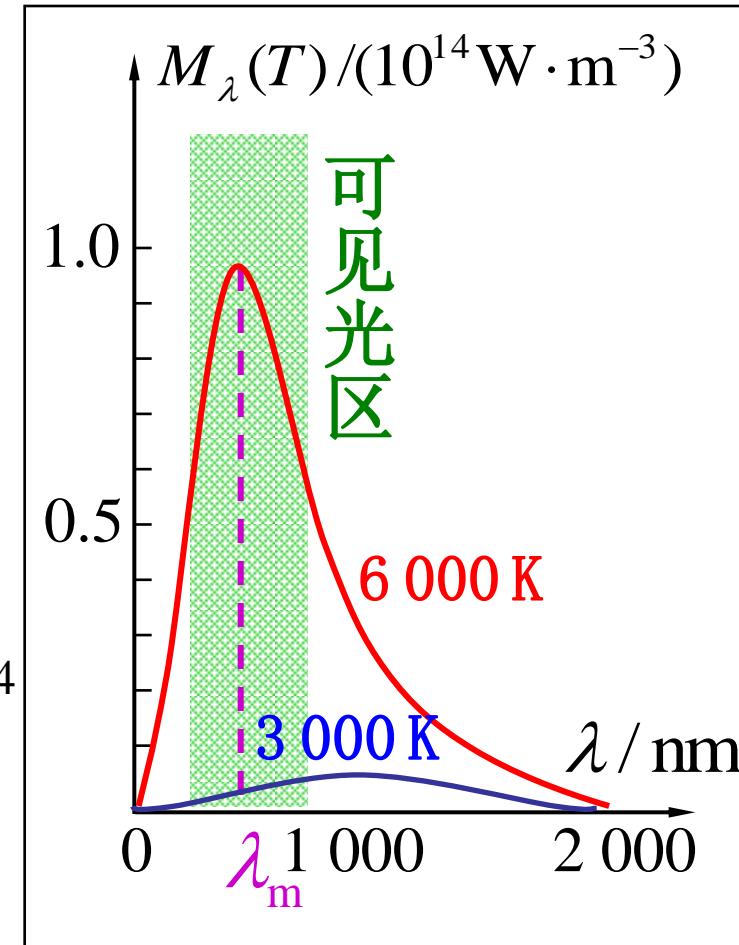
总辐出度

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

式中

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

斯特藩 - 玻耳兹曼常数



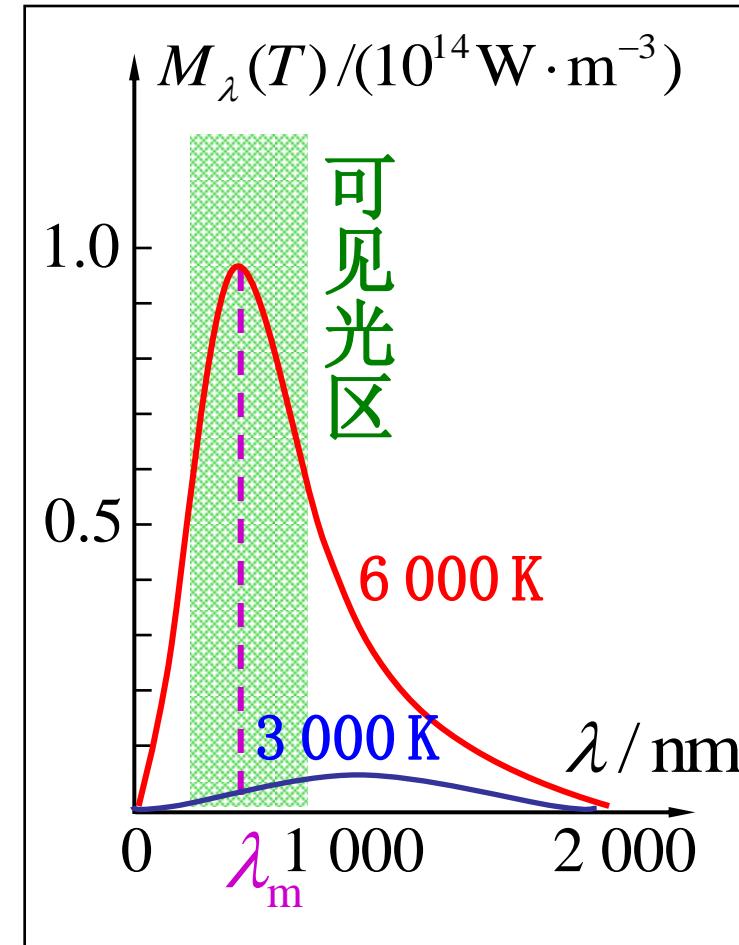


2 维恩位移定律

$$\lambda_m T = b$$

峰值波长

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





例1 (1) 温度为 20°C 的黑体，其单色辐射度的峰值所对应的波长是多少？**(2)** 太阳的单色辐射度的峰值波长 $\lambda_m = 483 \text{ nm}$ ，试由此估算太阳表面的温度。**(3)** 以上两辐射度之比为多少？

解 **(1)** 由维恩位移定律

$$\lambda_m = \frac{b}{T_1} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{293} \text{ nm} = 9890 \text{ nm}$$



(2) 由维恩位移定律

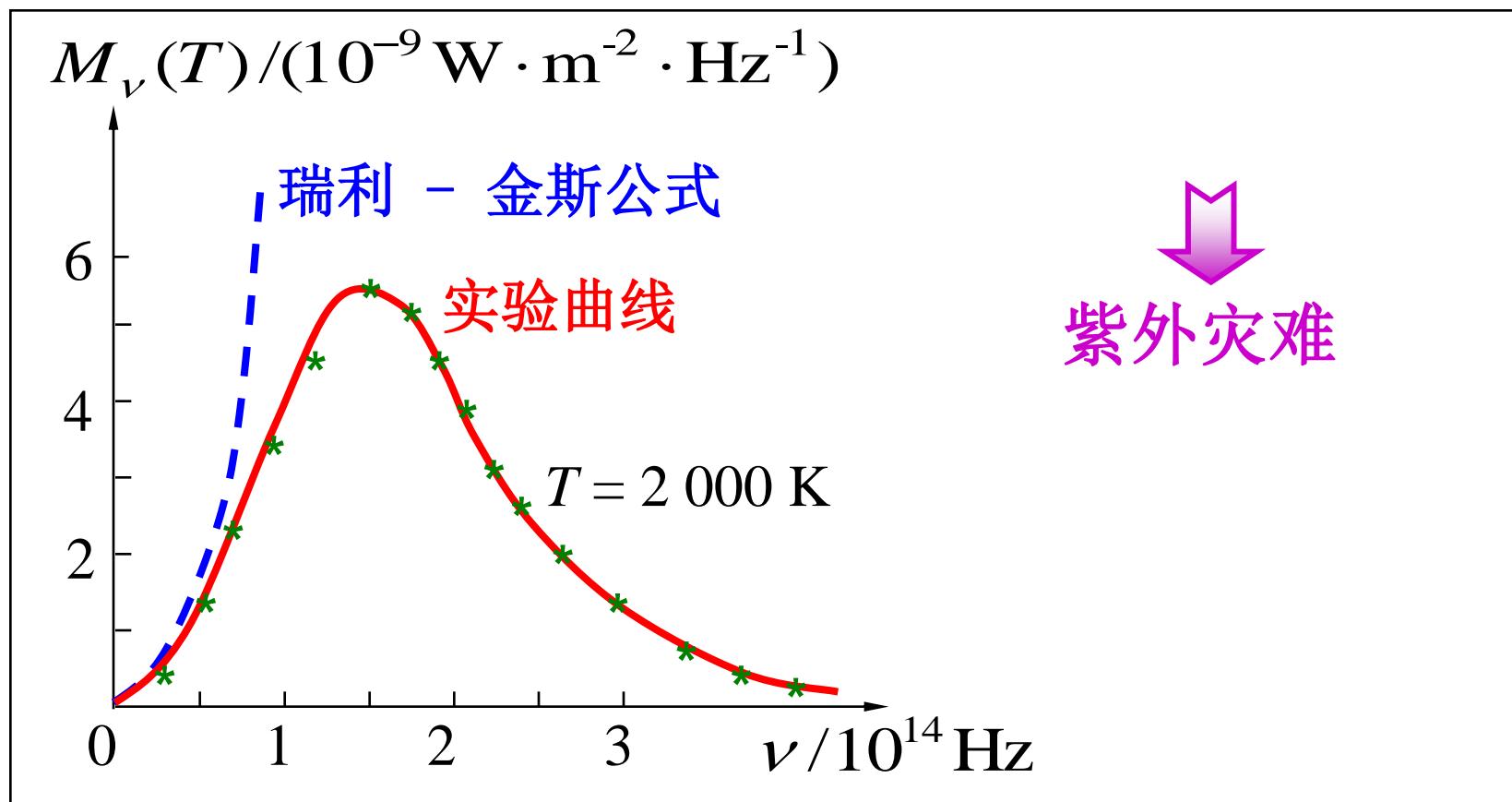
$$T_2 = \frac{b}{\lambda_m} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{483 \times 10^{-9}} \text{ K} \approx 6000 \text{ K}$$

(3) 由斯特藩 - 玻耳兹曼定律

$$M(T_2)/M(T_1) = (T_2/T_1)^4 = 1.76 \times 10^5$$



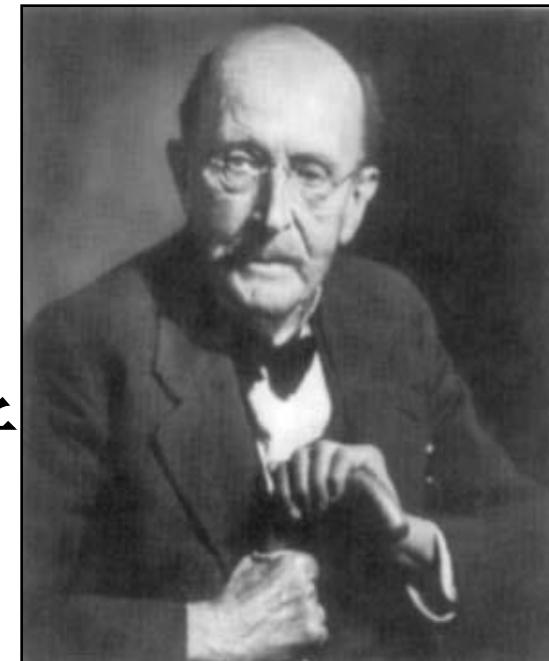
三 瑞利 - 金斯公式 经典物理的困难





普朗克 (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“**量子论的诞生日**”。



量子论和相对论构成了近代物理学的研究基础。



四 普朗克假设 普朗克黑体辐射公式

1 普朗克黑体辐射公式

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

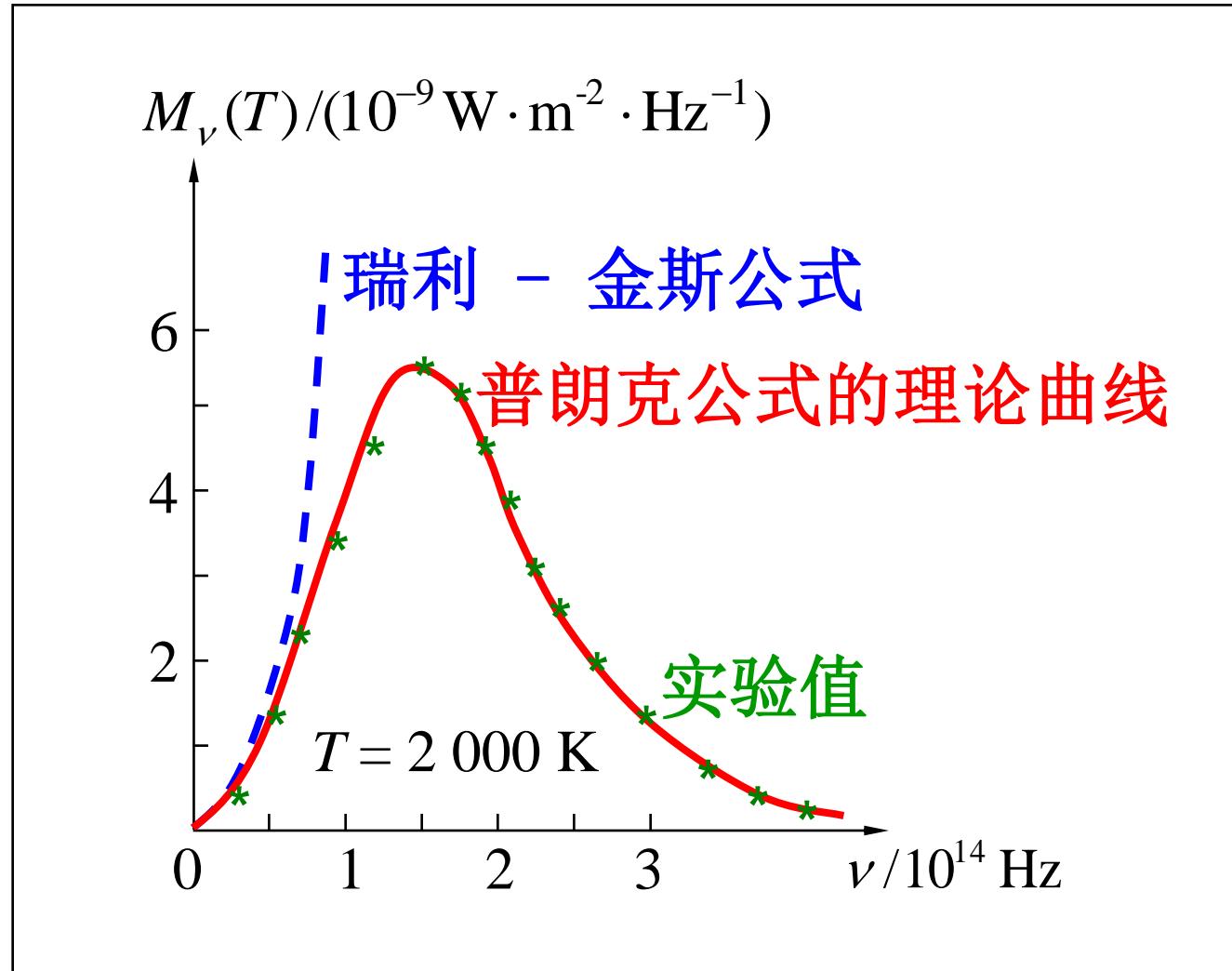
普朗克常数

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



15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

实验值与普朗克公式理论曲线比较





2 普朗克量子假设

黑体中的分子、原子的振动可看作谐振子，这些谐振子的能量状态是分立的，相应的能量是某一最小能量的整数倍，即 $\varepsilon, 2\varepsilon, 3\varepsilon, \dots n\varepsilon$ ， ε 称为能量子， n 为量子数。

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

普朗克量子假设是量子力学的里程碑。



例2 设一音叉尖端质量为 0.050 kg ，将其频率调到 $\nu = 480 \text{ Hz}$ ，振幅 $A = 1.0 \text{ mm}$ 。
求 (1) 尖端振动的量子数；
(2) 当量子数由 n 增加到 $n+1$ 时，振幅的变化是多少？

解 (1)

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} m (2\pi\nu)^2 A^2 = 0.227 \text{ J}$$



15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

$$E = nh\nu \quad n = \frac{E}{h\nu} = 7.13 \times 10^{29}$$

基元能量 $h\nu = 3.18 \times 10^{-31} \text{ J}$

(2) $E = nh\nu$

$$A^2 = \frac{E}{2\pi^2 m \nu^2} = \frac{nh}{2\pi^2 m \nu}$$

$$2A dA = \frac{h}{2\pi^2 m \nu} dn$$



15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

$$\Delta A = \frac{\Delta n}{n} \frac{A}{2} \quad \Delta n = 1$$

$$\Delta A = 7.01 \times 10^{-34} \text{ m}$$

在宏观范围内，能量量子化的效应是极不明显的，即宏观物体的能量完全可视作是连续的。