量子概念是 1900 年普朗克首先提出的，距今已有一百多年的历史. 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.

量子力学 { 微观世界的理论 / 起源于对波粒二相性的认识

量子力学 $\xrightarrow{\text{宏观领域}}$ 经典力学

量子力学、相对论 → 现代物理的理论基础

一 黑体 黑体辐射

（1）热辐射 实验证明不同温度下物体能发出不同的电磁波，这种能量按频率的分布随温度而不同的电磁辐射叫做热辐射.

（2）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（或波长在 λ 附近单位波长区间）的电磁波的能量 .

单色辐射出射度 $M_{\nu}(T)$ 单位：$\mathrm{W/(m^2 \cdot Hz)}$

单色辐射出射度 $M_{\lambda}(T)$ 单位：$\mathrm{W/m^3}$

（3）辐射出射度

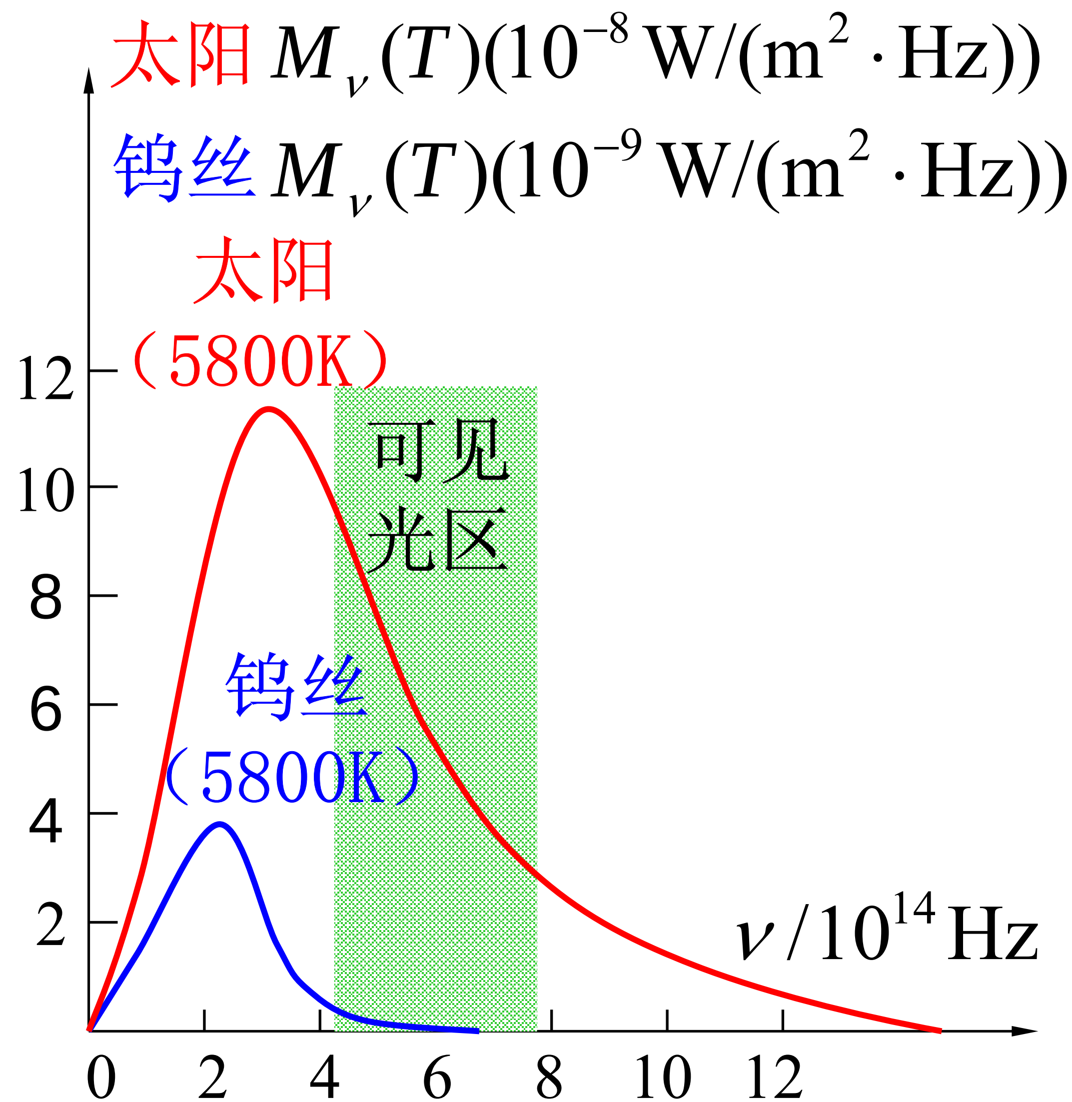
（辐出度）

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.

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

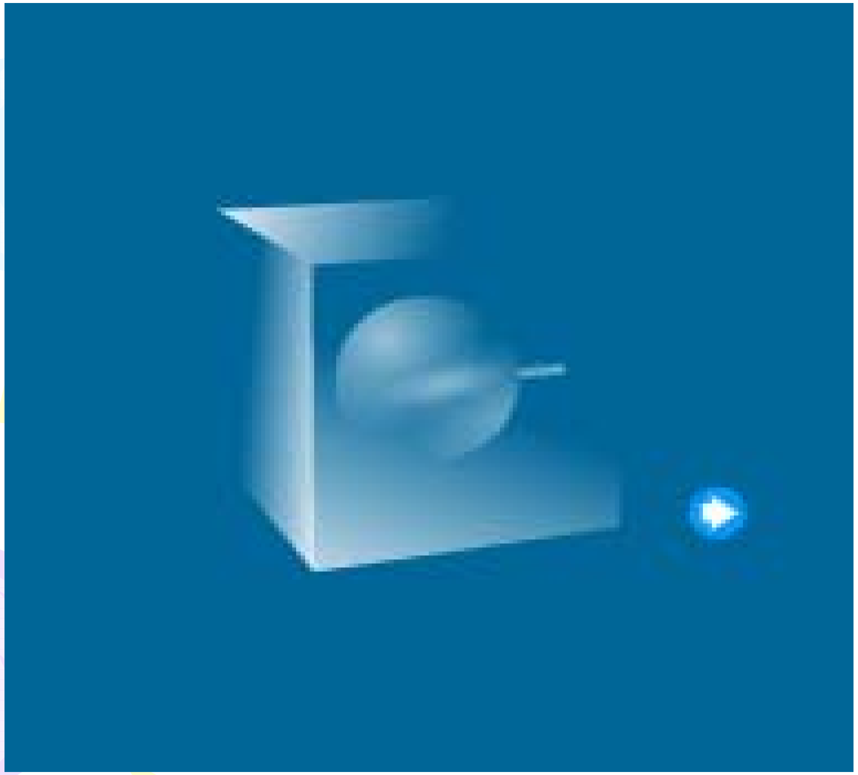
$$M(T)=\int_0^{\infty} M_{\lambda}(T)\mathrm{d}\lambda$$

钨丝和太阳的单色辐出度曲线

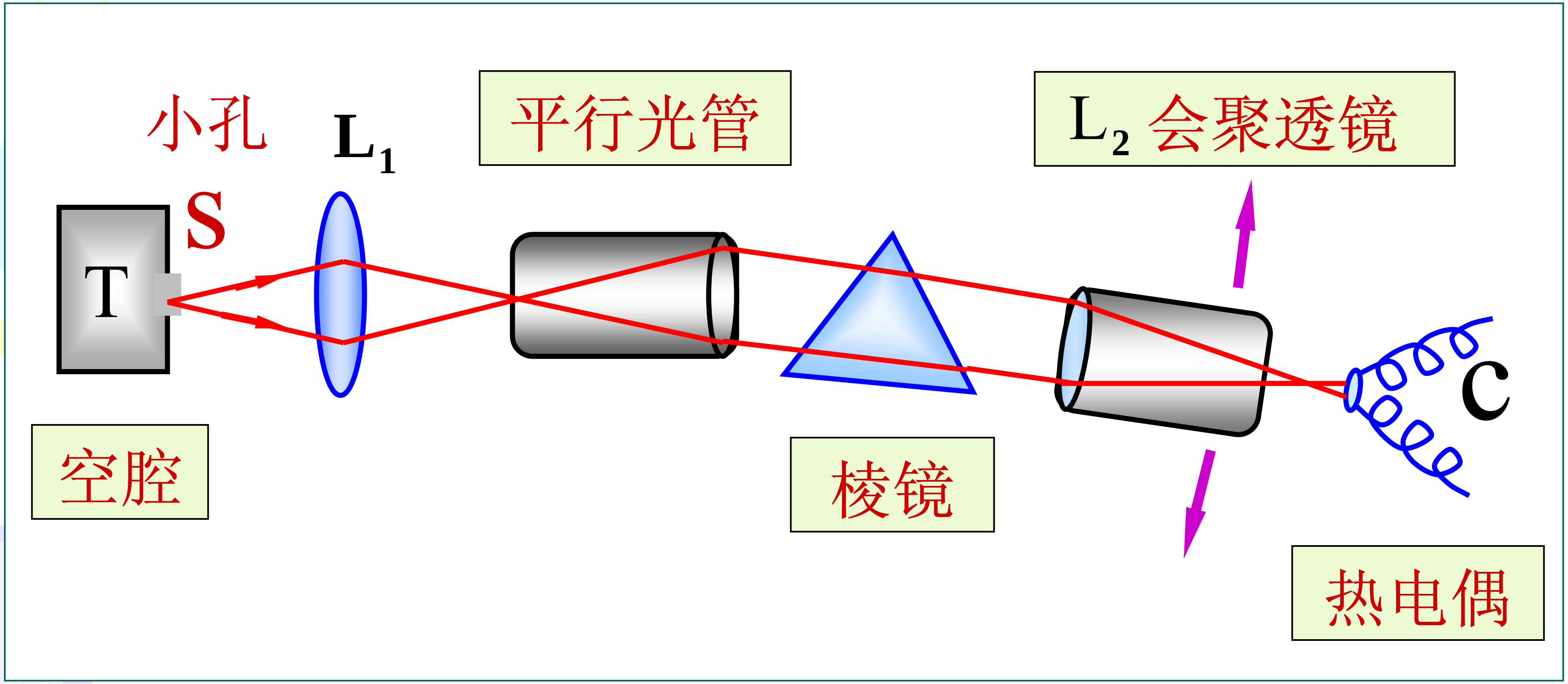


实验表明 辐射能力越强的物体，其吸收能力也越强.

（4）黑体 能完全吸收照射到它上面的各种频率的电磁辐射的物体称为黑体 .（黑体是理想模型）



测量黑体辐射出射度实验装置



二 斯特藩 — 玻尔兹曼定律 维恩位移定律

（1）斯特藩—玻尔兹曼定律

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

斯特藩—玻尔兹曼常量

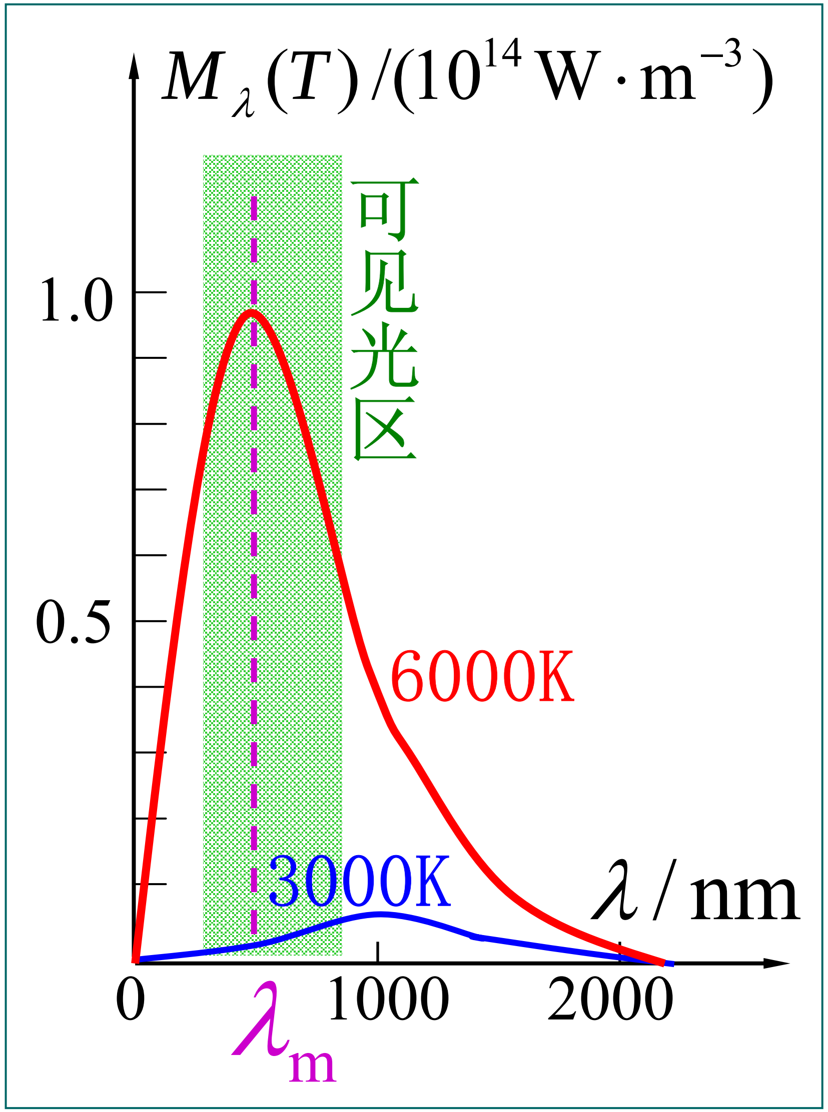
$$\sigma=5.670\times10^{-8}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot K^{-4}}$$

（2）维恩位移定律

$$\lambda_{\mathrm{m}} T=b$$

峰值波长

常量 $b=2.898\times10^{-3}\,\mathrm{m\cdot K}$



例1 （1）温度为室温 (20°C)的黑体，其单色辐出度的峰值所对应的波长是多少？（2）若使一黑体单色辐出度的峰值所对应的波长在红色谱线范围内，其温度应为多少？（3）以上两辐出度之比为多少？

解 （1）由维恩位移定律

$$\lambda_{\mathrm{m}} = \frac{b}{T} = \frac{2.898\times10^{-3}}{293}\ \mathrm{nm} = 9890\ \mathrm{nm}$$

（2）取 $\lambda_{\mathrm{m}} = 650\mathrm{nm}$

$$T' = \frac{b}{\lambda_{\mathrm{m}}} = \frac{2.898\times10^{-3}}{6.5\times10^{-7}}\mathrm{K} = 4.46\times10^{3}\,\mathrm{K}$$

（3）由斯特藩—玻尔兹曼定律

$$M(T')/M(T) = (T'/T)^{4} = 5.37\times10^{4}$$

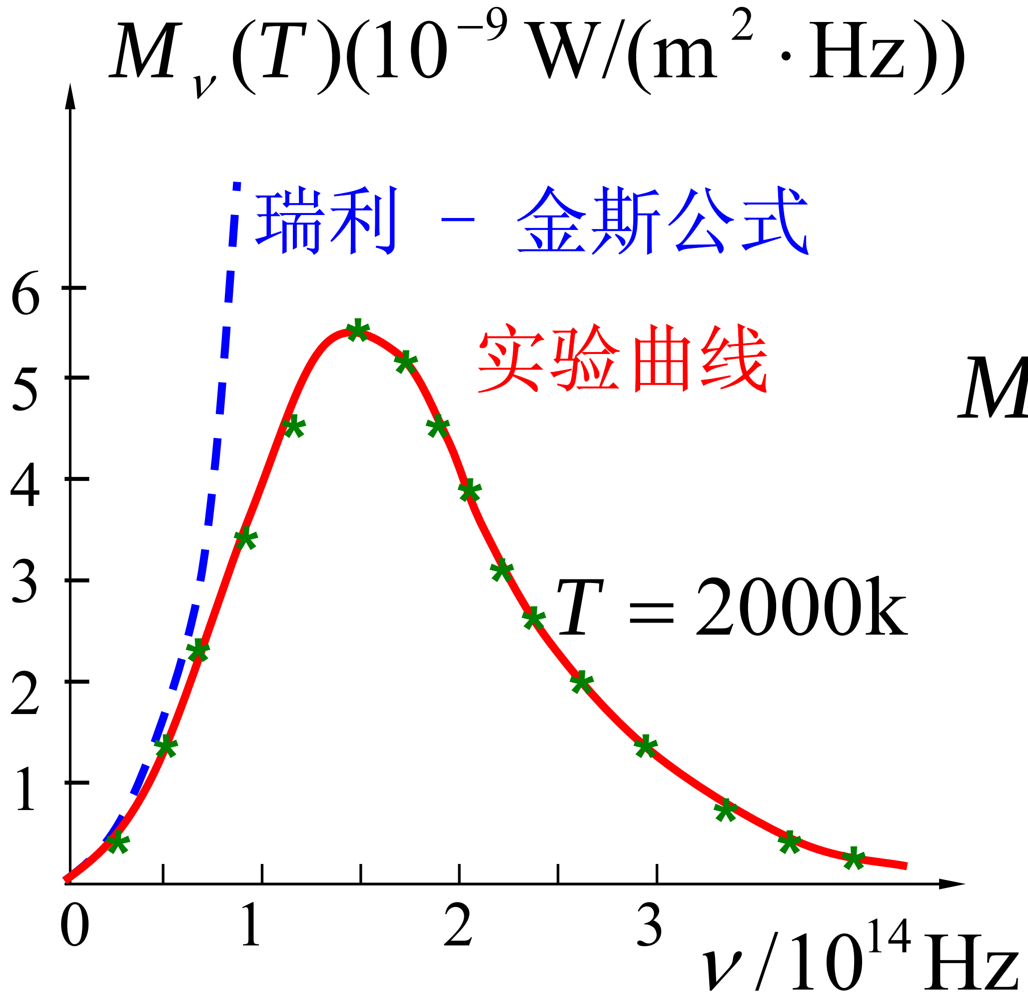
例2 太阳的单色辐出度的峰值波长 $\lambda_{\mathrm{m}} = 483\mathrm{nm}$，试由此估算太阳表面的温度.

解 由维恩位移定律

$$T = \frac{b}{\lambda_{\mathrm{m}}} = \frac{2.898\times 10^{-3}}{483\times 10^{-9}}\mathrm{K} \approx 6000\ \mathrm{K}$$

对宇宙中其他发光星体的表面温度也可用这种方法进行推测

三　黑体辐射的瑞利—金斯公式　经典物理的困难



瑞利 – 金斯公式

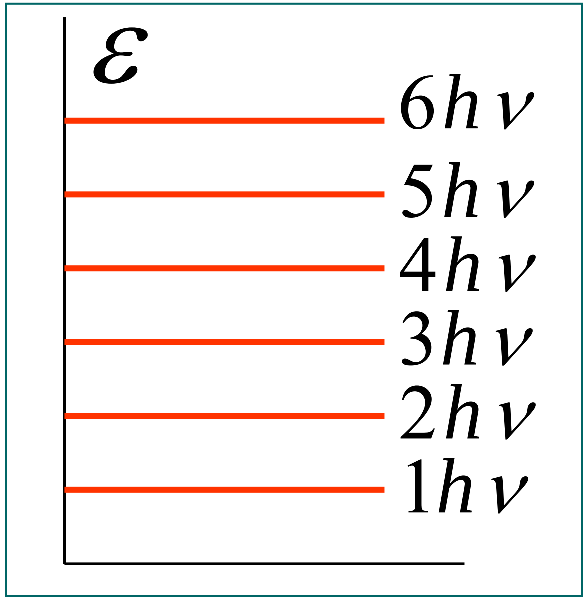
$$M_\nu(T)=\frac{2\pi\nu^2}{c^2}kT$$

⇓

紫外灾难

四　普朗克假设　普朗克黑体辐射公式（1900 年）

普朗克认为：金属空腔壁中电子的振动可视为一维谐振子，它吸收或者发射电磁辐射能量时，不是过去经典物理认为的那样可以连续的吸收或发射能量，而是以与振子的频率成正比的能量子 $\varepsilon = h\nu$ 为单元来吸收或发射能量．空腔壁上的带电谐振子吸收或发射能量应为

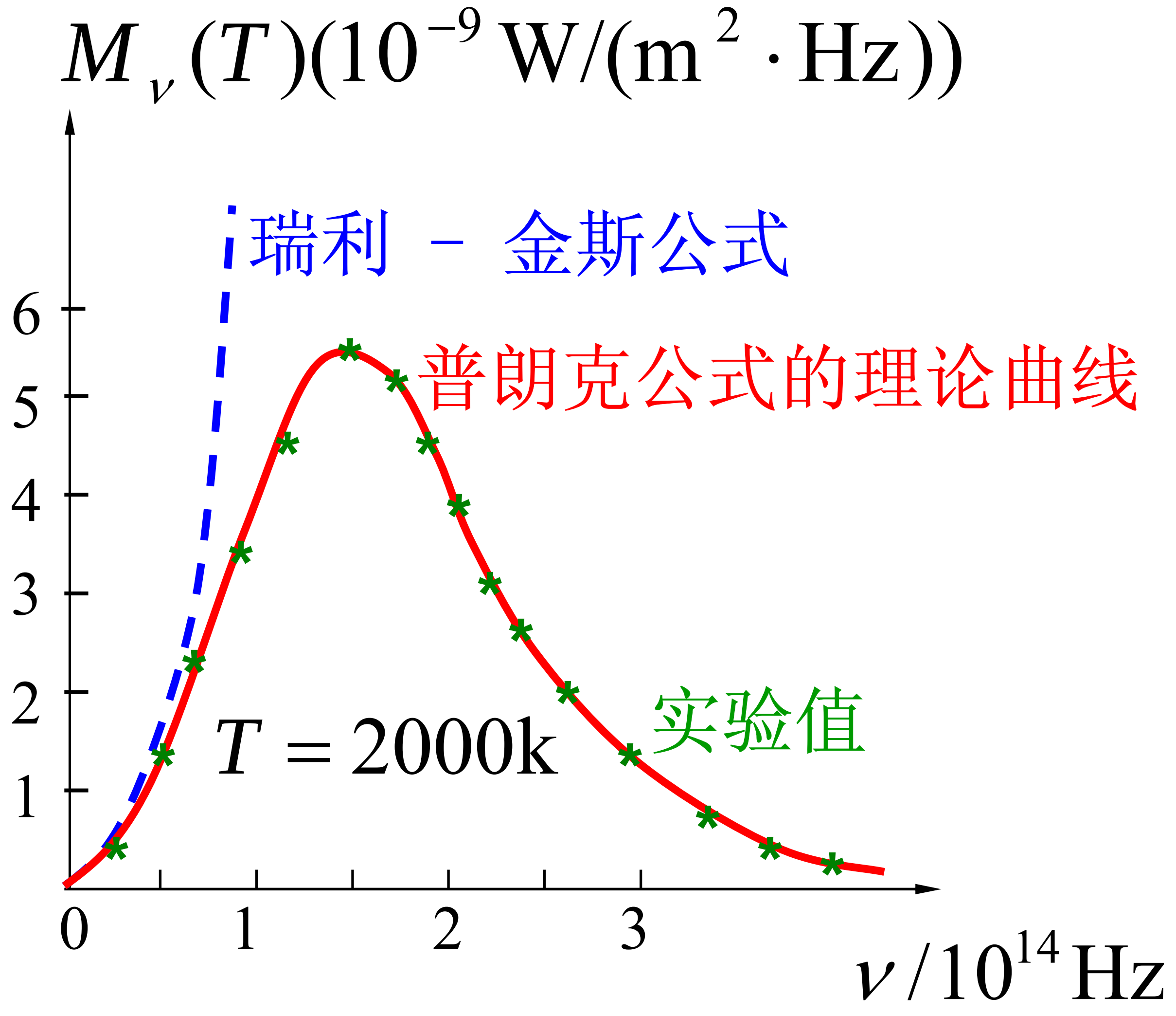


$$\varepsilon = nh\nu \quad (n = 1,2,3,\cdots)$$

普朗克常量

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

普朗克黑体辐射公式 $M_\nu(T)\mathrm{d}\nu = \dfrac{2\pi h}{c^2}\dfrac{\nu^3 \mathrm{d}\nu}{\mathrm{e}^{h\nu/kT} - 1}$


$M_\nu(T)(10^{-9}\,\mathrm{W/(m^2 \cdot Hz)})$
瑞利 － 金斯公式
普朗克公式的理论曲线
实验值
$T = 2000\mathrm{k}$
6
5
4
3
2
1
0
1
2
3
$\nu/10^{14}\,\mathrm{Hz}$

例3　设有一音叉尖端的质量为0.050kg，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）$E = \dfrac{1}{2} m\omega^2 A^2 = \dfrac{1}{2} m(2\pi\,\nu)^2 A^2 = 0.227\text{J}$

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

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

（2） $$E = nh\nu$$

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

$$2A\mathrm{d}A = \frac{h}{2\pi^2 m\nu}\mathrm{d}n$$

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

$$\Delta A = 7.01\times10^{-34}\,\mathrm{m}$$

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.