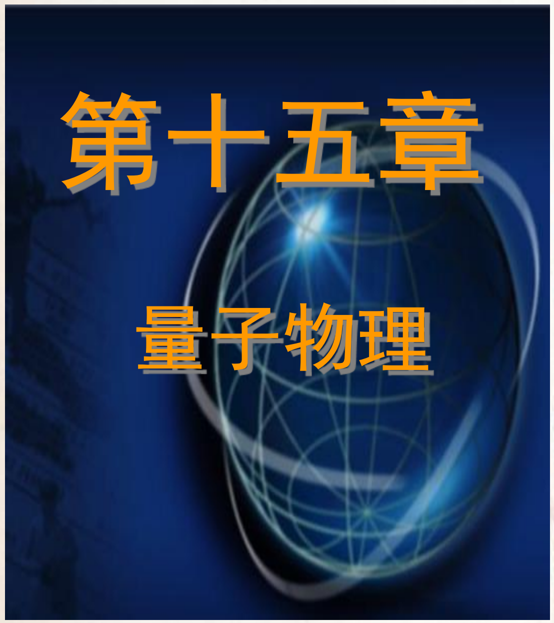
15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

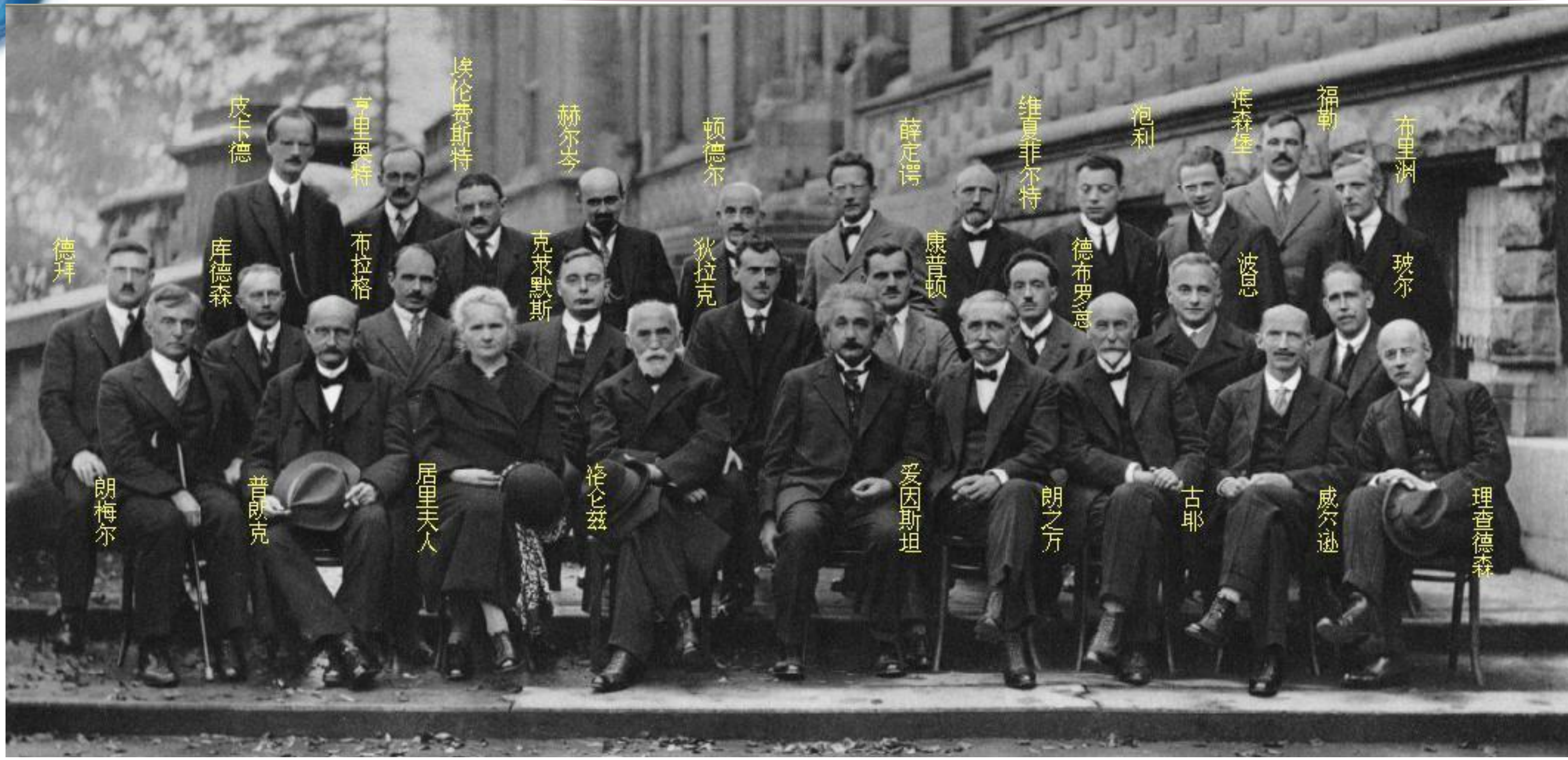


第1节《黑体辐射 普朗克能量子假设》

一 了解热辐射的两条实验定律：斯特藩 - 玻耳兹曼定律和维恩位移定律，以及经典物理理论在说明热辐射的能量按频率分布曲线时所遇到的困难.

二 理解普朗克量子假设.

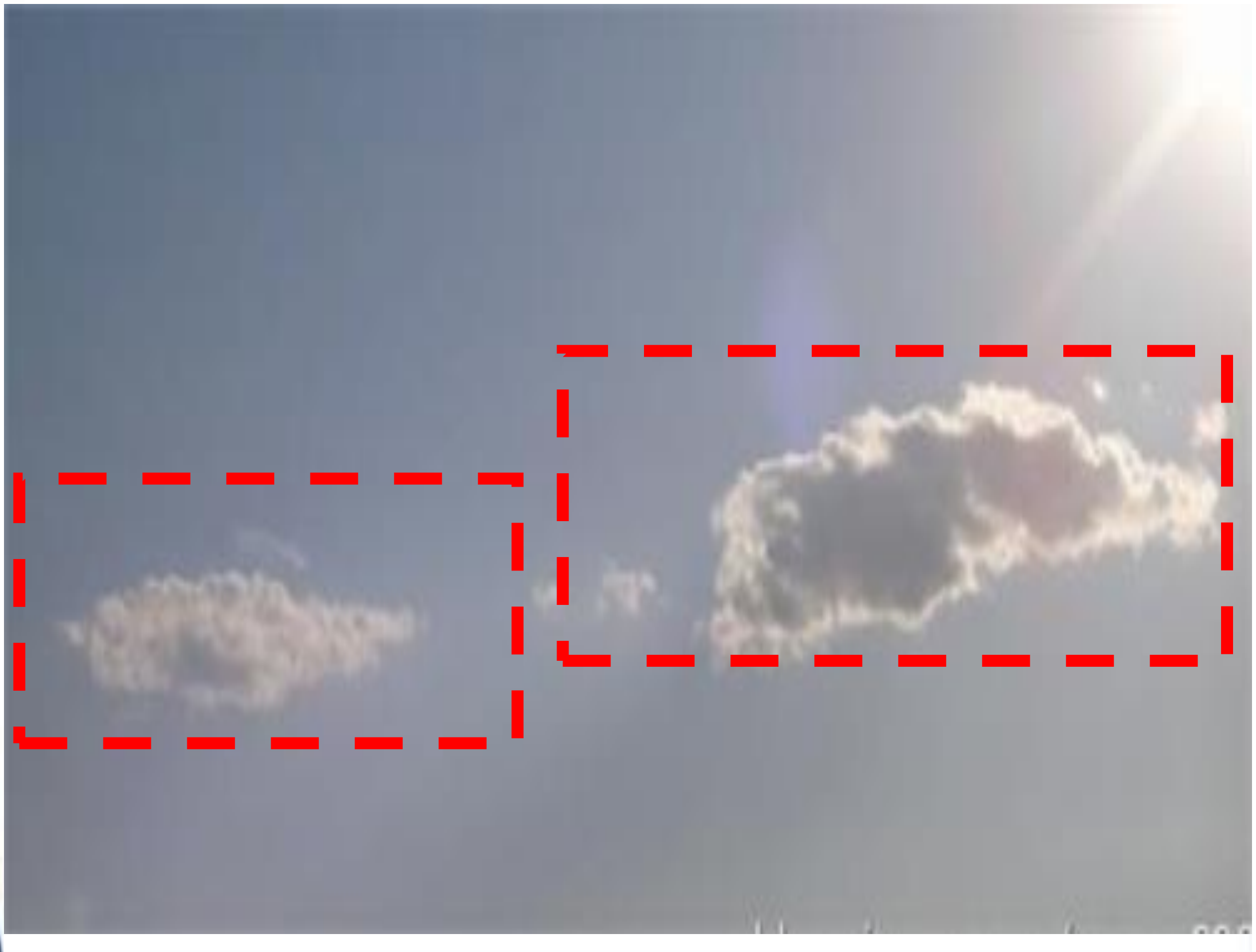
15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设



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.

15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

19世纪末物理学两朵乌云：



迈克耳孙干涉仪零结果

$$\Delta N = 0$$

紫外灾难？

一 热辐射

1 热辐射的基本概念和基本定律

（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：$\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}}$

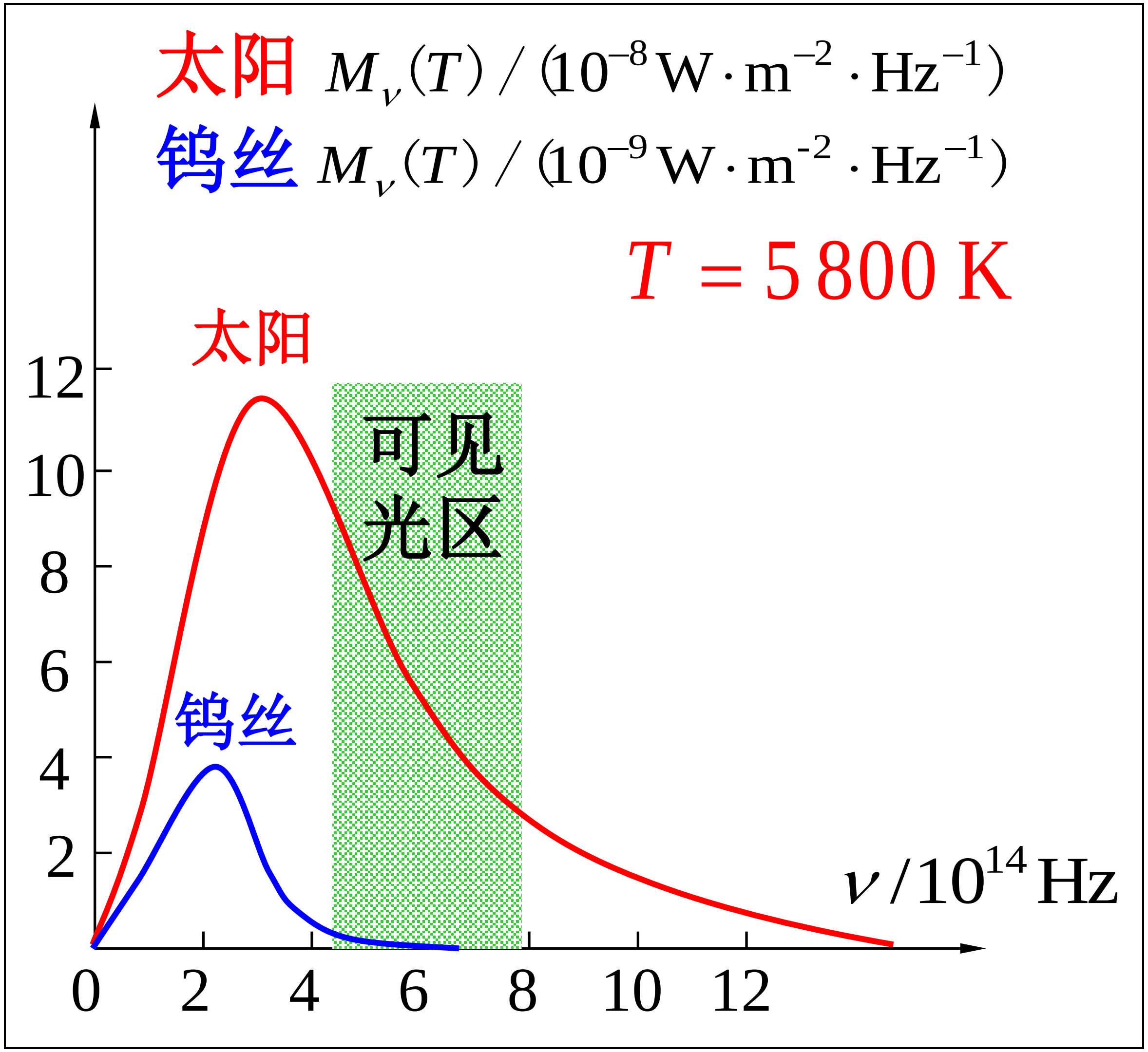
（2）辐射出射度 $M_{\lambda}(T)$ 单位：$\mathrm{W \cdot m^{-3}}$

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.

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

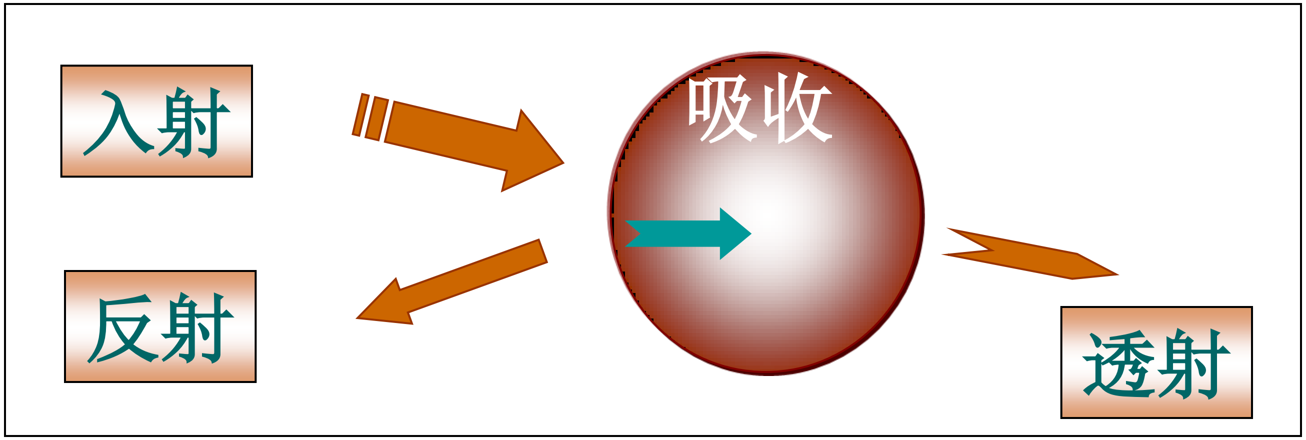
15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

钨丝和太阳的单色辐出度曲线



（3）单色吸收比和单色反射比

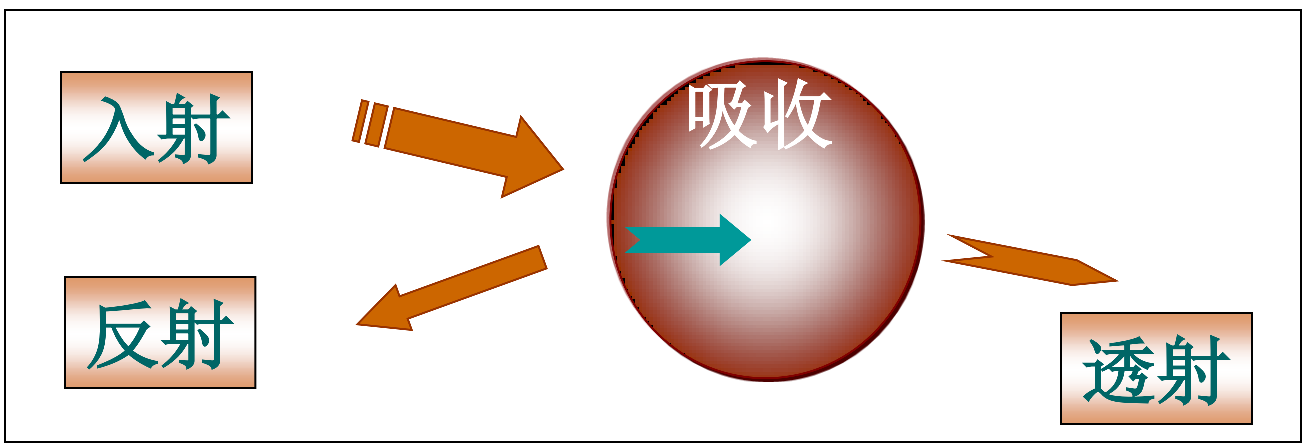
➢ 单色吸收比$\alpha_{\lambda}(T)$： 在波长 λ 到 $\lambda+\mathrm{d}\lambda$范围内吸收的能量与入射的能量之比.



15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

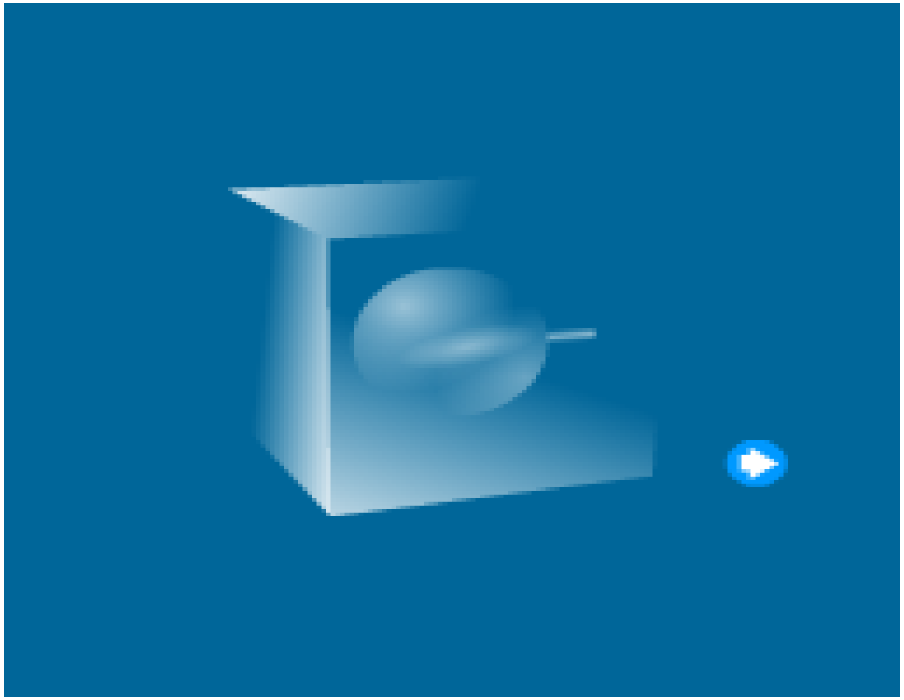
➢ **单色反射比$r_\lambda(T)$**：在波长 λ 到 $\lambda+\mathrm{d}\lambda$ 范围内反射的能量与入射能量之比.

对于不透明物体 $\alpha_\lambda(T)+r_\lambda(T)=1$



（4）黑体

若物体在任何温度下，对任何波长的辐射能的吸收比都等于1， 则称此物体为黑体.



黑体是理想模型

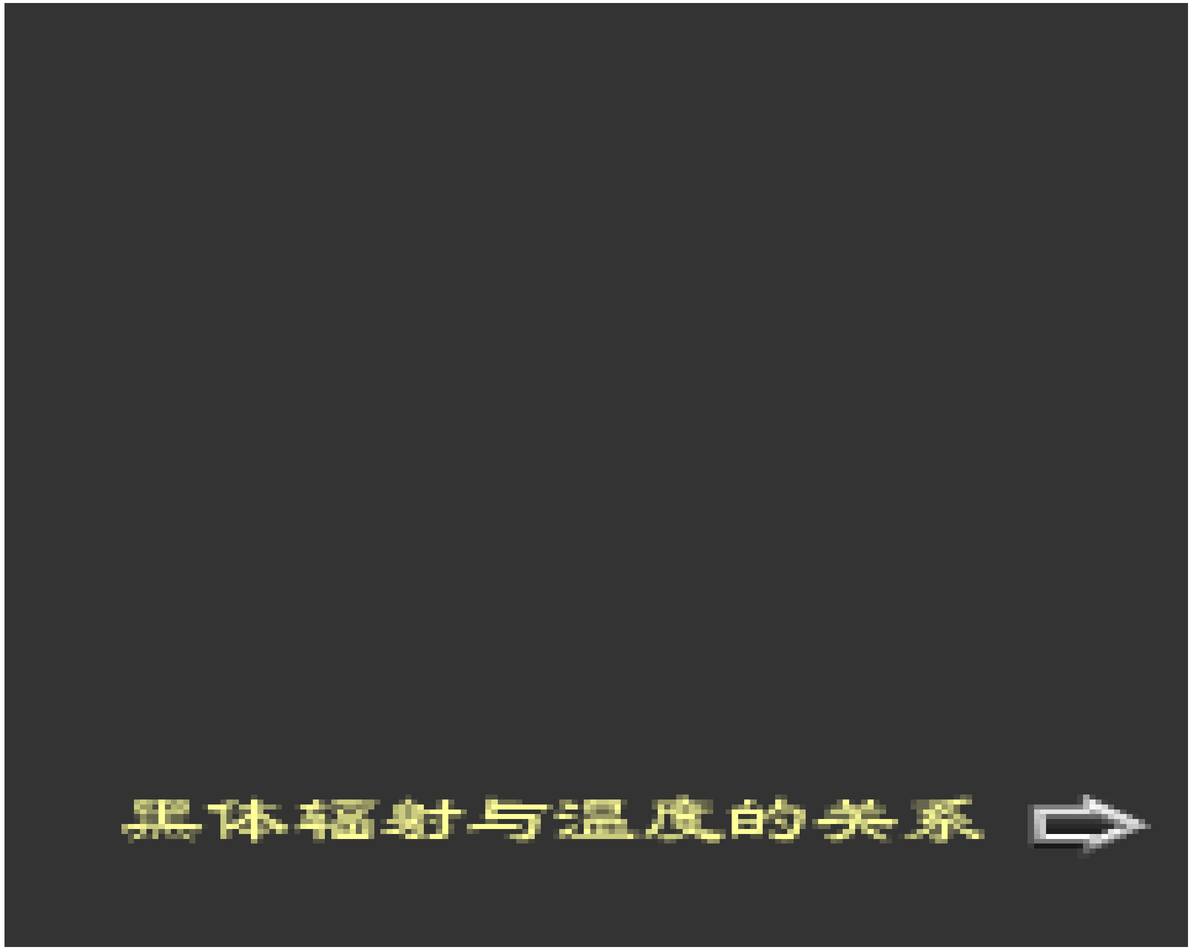
（5） 基尔霍夫定律

任何物体单色辐出度 $M_{\lambda}(T)$ 和单色吸收比 $\alpha_{\lambda}(T)$ 之比，等于同一温度 T 时的绝对黑体对同一波长的单色辐出度 $M_{B}(\lambda,T)$，即

$$\frac{M_{\lambda}(T)}{\alpha_{\lambda}(T)}=M_{B}(\lambda,T)$$

通俗地讲，好的吸收体是好的辐射体.

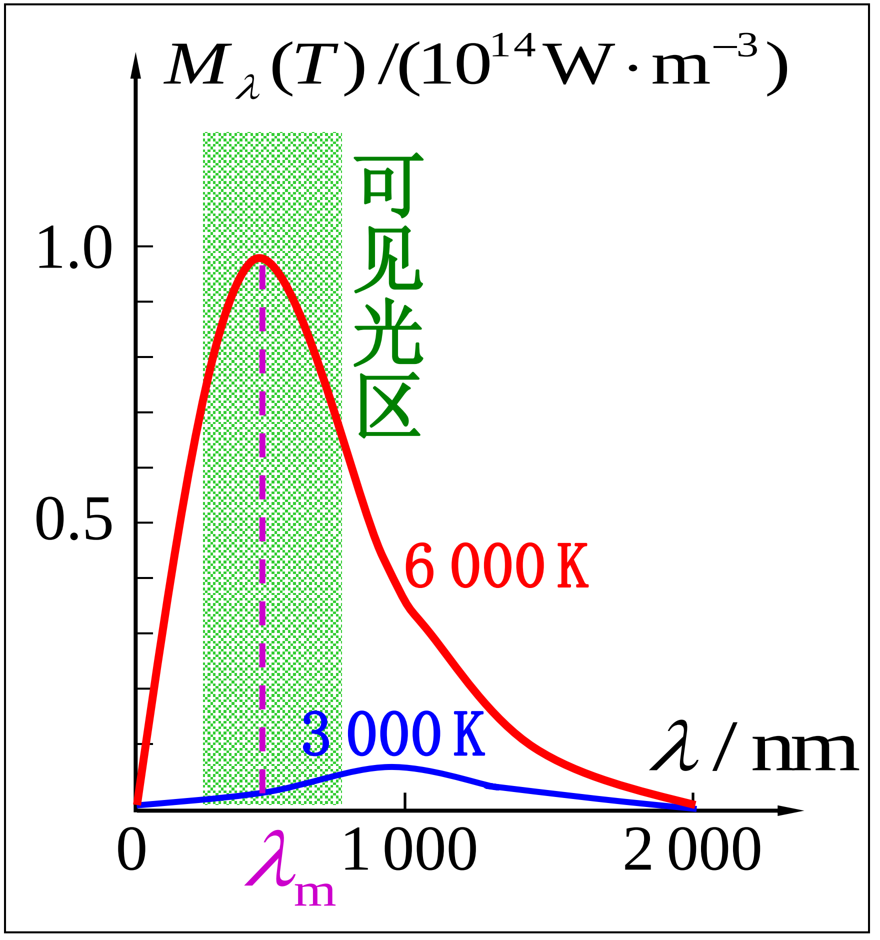
15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设



二 黑体辐射的实验规律

黑体单色辐出度的实验曲线

在一定温度下，曲线有一极大值，对应的波长称为峰值波长λ_m。各种单色辐出度随温度的升高而增加。



几组描述规律

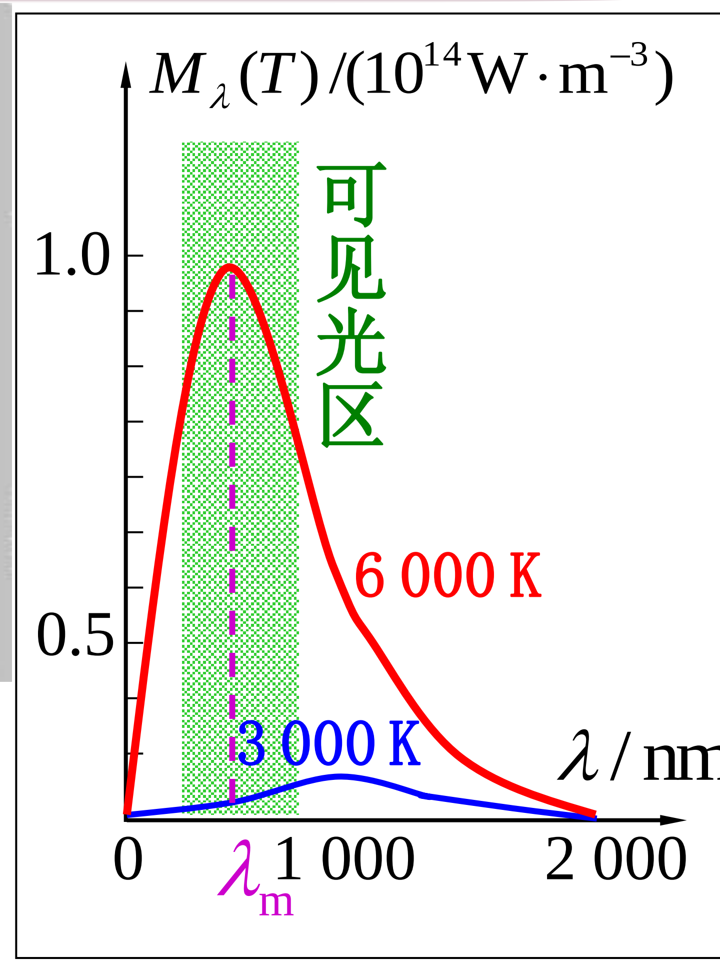
1 斯特藩 - 玻耳兹曼定律

2 维恩位移定律

3 瑞利 - 金斯公式

15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

奥地利物理学家、哲学家，热力学和统计物理学的奠基人之一



1 斯特藩 – 玻耳兹曼定律

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

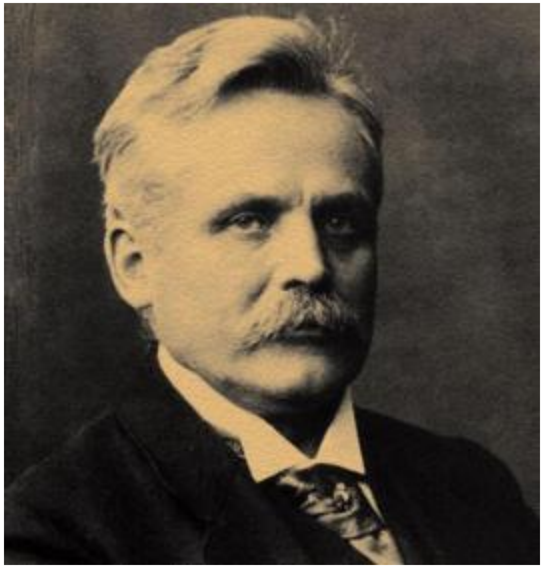
$$\sigma=5.670\times10^{-8}\ \mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot K^{-4}}$$

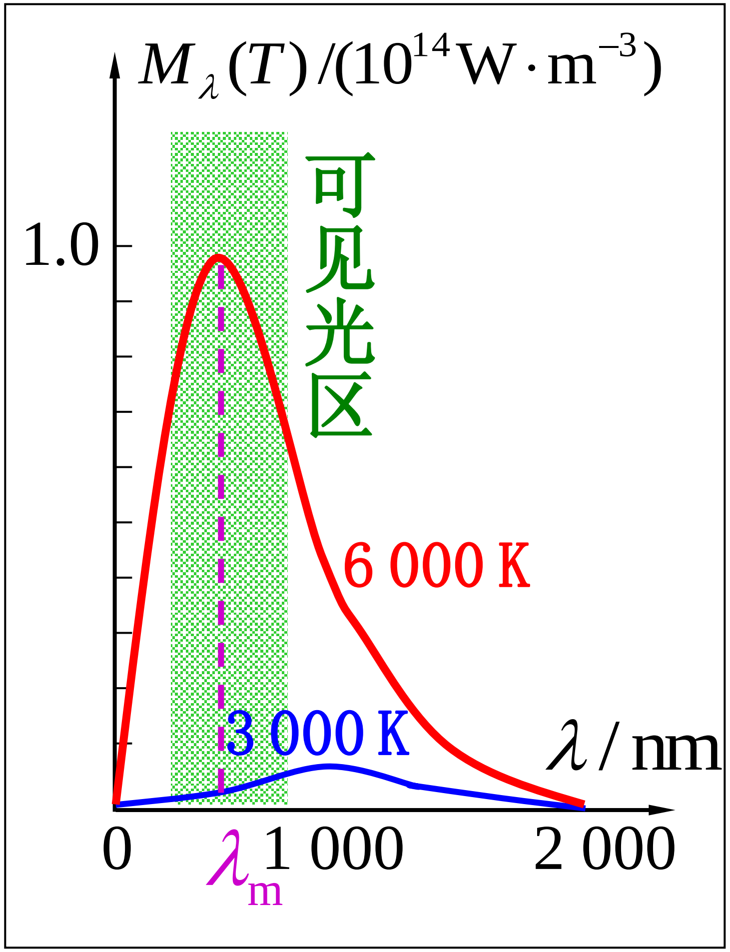
斯特藩 – 玻耳兹曼常量，定律表示单位时间单位表面积上辐射出的各种波长电磁波的总能量与温度之间的关系。

15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

2 维恩位移定律

1911年，他因对于热辐射等物理法则贡献，而获得诺贝尔物理学奖。





$$\lambda_m T = b$$

峰值波长

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

在短波波段与实验符合的很好，而在长波波段有明显的差异

例1（1）温度为 $20^{\circ}\mathrm{C}$ 的黑体，其单色辐出度的峰值所对应的波长是多少？**(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.**（3）**以上两辐出度之比为多少？

解 **（1）**由维恩位移定律

$$\lambda_{\mathrm{m}}=\frac{b}{T_1}=\frac{2.898\times10^{-3}}{293}\,\mathrm{nm}=9\,890\,\mathrm{nm}$$

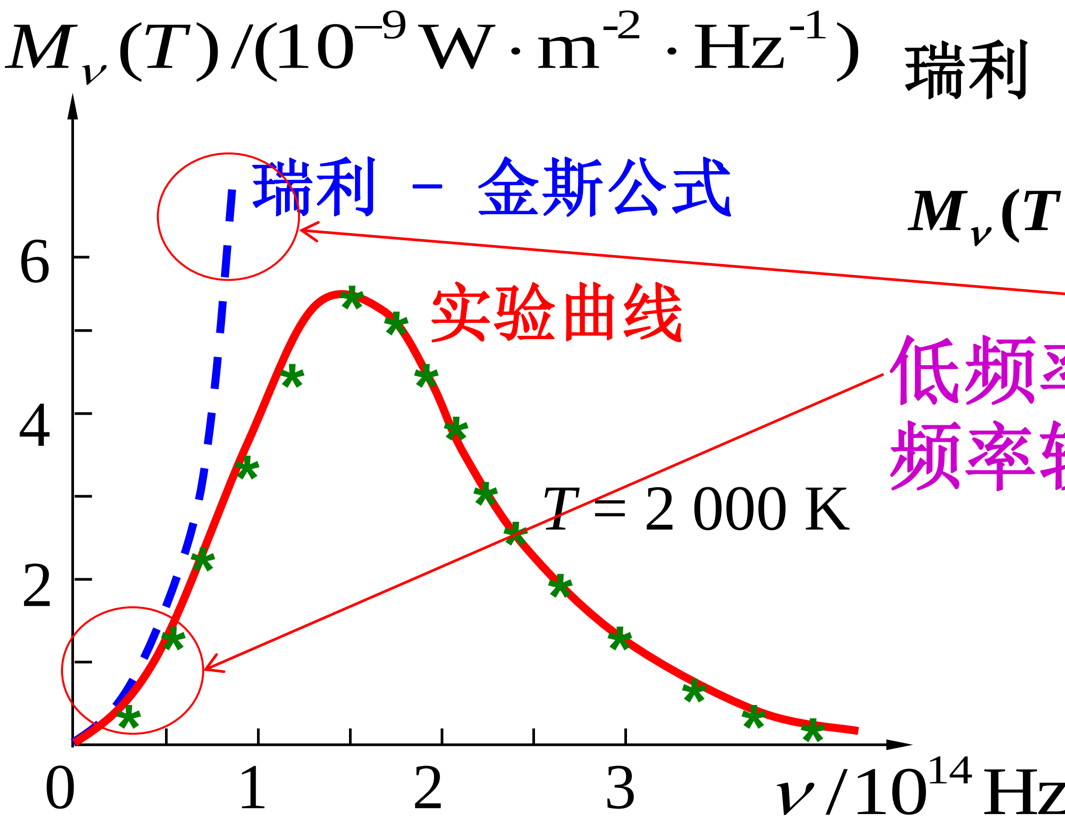
（2） 由维恩位移定律

$$T_2=\frac{b}{\lambda_{\mathrm{m}}}=\frac{2.898\times10^{-3}}{483\times10^{-9}}\,\mathrm{K}\approx6\,000\,\mathrm{K}$$

（3）由斯特藩 - 玻耳兹曼定律

$$M(T_2)/M(T_1)=(T_2/T_1)^4=1.76\times10^5$$

三 瑞利 - 金斯公式 经典物理的困难



瑞利 － 金斯公式(1900)

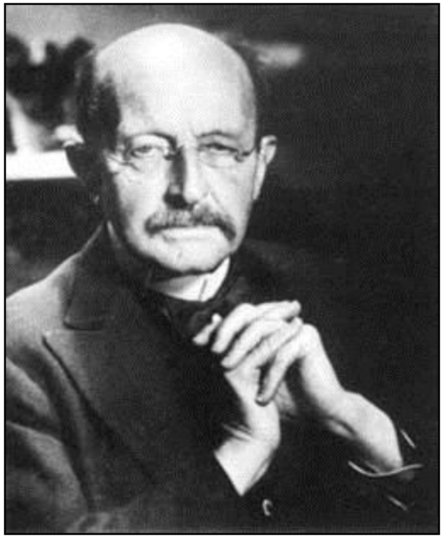
$$M_\nu(T)=\frac{2\pi\nu^2}{c^2}kT$$

低频率符合较好，高频率较差

紫外灾难

普朗克（1858 — 1947）

德国理论物理学家，量子论的奠基人．1900年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．



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

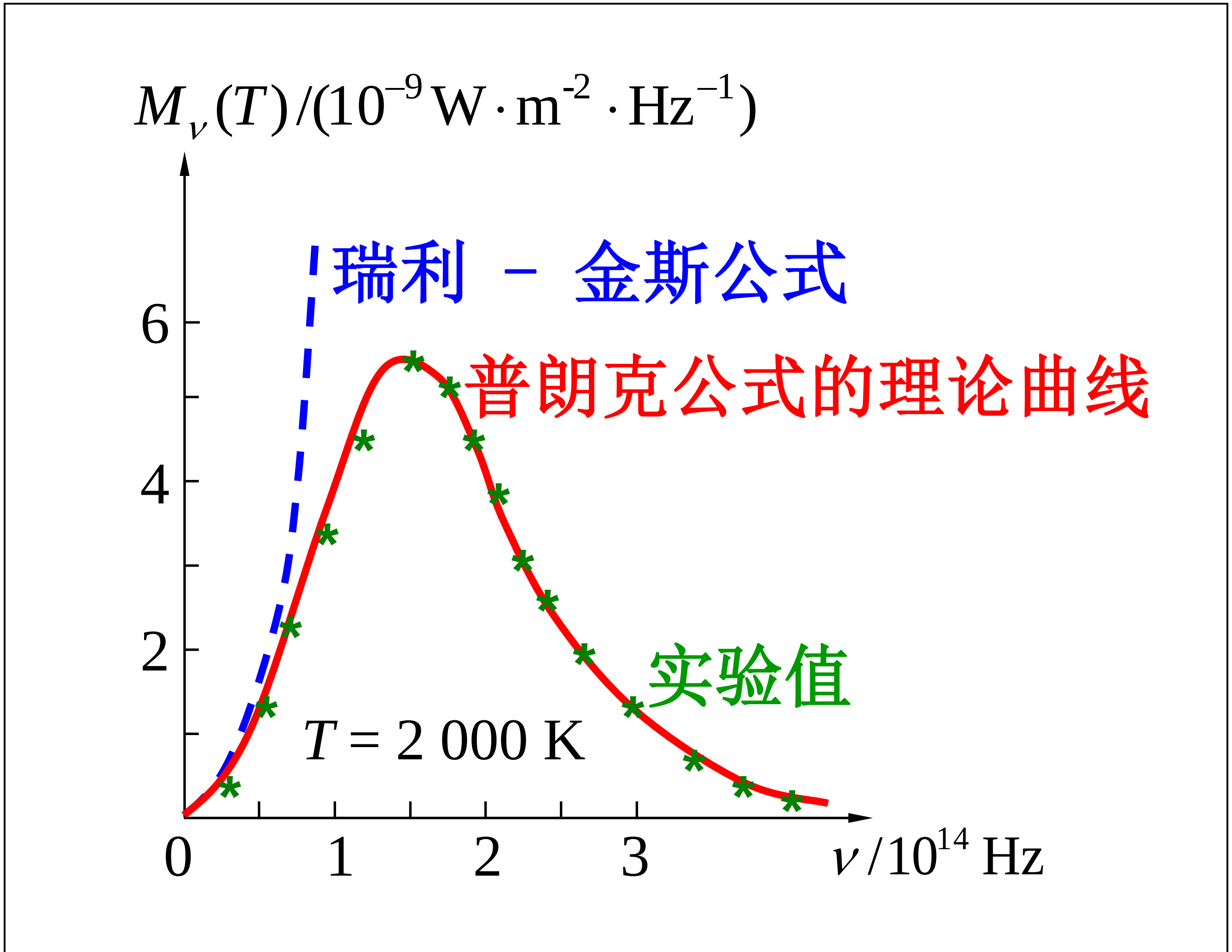
$$M_{\nu}(T)\mathrm{d}\nu=\frac{2\pi h}{c^{2}}\frac{\nu^{3}\mathrm{d}\nu}{\mathrm{e}^{h\nu/kT}-1}$$

普朗克常数

$$h=6.63\times10^{-34}\mathrm{J}\cdot\mathrm{s}$$

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ε，2ε，3ε，…$n\varepsilon$，ε称为能量子，n为量子数.

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

普朗克量子假设是量子力学的里程碑.普朗克的量子假设突破了经典物理学的观念，第一次提出了微观粒子具有分立的能量值,既微观粒子的能量是量子化的。

例2 设一音叉尖端质量为 0.050 kg，将其频率调到 $\nu = 480\,\mathrm{Hz}$，振幅 $A = 1.0\,\mathrm{mm}$.

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）

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

15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

$$E = nh\nu \qquad n = \frac{E}{h\nu} = 7.13\times10^{29}$$

基元能量 $h\nu = 3.18\times10^{-31}\mathrm{J}$

（2） $E = nh\nu$

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

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

15-1 黑体辐射 普朗克能量子假设

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

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

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.