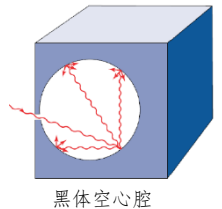


第四章 黑体辐射定律

4.1 黑体辐射

4.1.1 黑体性质

黑体	黑体是一个理想的物体，它能够吸收入射的所有电磁辐射
黑体辐射	处于热平衡状态的黑体发射的辐射称之为黑体辐射,并具有如下特性: ① 辐射具有特定的谱分布和强度，且这些特性只随物体的温度变化 斯特藩-玻尔兹曼定律 ② 黑体是理想的发射体，即在任何频率，在相同温度下，它发射的辐射能都能达到（或超过）任何其他物体（灰体）发射的辐射能 ③ 黑体发射辐射是各向同性的，与方向无关
白体	对入射辐射不吸收
灰体	以定常吸收率吸收不同波长的入射辐射 也是理想物体
实体	对入射辐射部分吸收，且吸收率随波长变化 实际物体



4.1.2 四大定律

普朗克定律	$F_B(\lambda, T)$ 一个温度 T 的物体会在所有可能波长上发射辐射，而在任意给定的波长上，发射辐射存在一个严格的上限(即黑体辐射)，该上限由普朗克函数描述。 ① 要求处于局地热平衡条件，例如激光笔辐射可以轻易超过黑体辐射。 ② 要求物体尺度要远大于波长，该定律对微观粒子也不成立，需通过量子力学修正。
斯蒂芬-玻尔兹曼定律	$F_B(T)$ 在所有可能的波长上对普朗克函数进行积分，可以得到史蒂芬-玻尔兹曼定律。该定律表明黑体发射的最大总辐射能量与绝对温度四次方成正比。
维恩位移定律	$\lambda_m(T)$ 对于任意给定温度，出现普朗克函数最大值的波长与该温度成反比。
基尔霍夫定律	$\varepsilon(\lambda, T)$ 在给定谱带中，好的吸收体也是好的发射体。该事实由基尔霍夫定律描述。

4.2 普朗克函数

公式 一个温度为 T ，且处于热平衡状态下的黑体发射辐射的各向同性单色辐射强度：

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5(e^{hc/k_B\lambda T} - 1)}$$

物理解释	普朗克常数 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ，玻尔兹曼常数 $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
量纲	$B_{\lambda}(T)d\lambda$ 是由 $[\lambda, \lambda + d\lambda]$ 波长区间贡献的总发射辐射强度 物理量纲是每单位波长的辐射强度 $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}\text{Sr}^{-1}$
例题	有些时候普朗克函数 $B(T)$ 不但可以表示成波长 λ 的函数，而且还可以表示成频率 ν 或波数 $\tilde{\nu}$ 的函数。考虑到在 $d\nu$ 和 $d\lambda$ 对应相同窄的光谱区间时， $B_{\lambda}(T)d\lambda$ 必须等于 $B_{\nu}(T)d\nu$ ，由此推导出只随 ν 函数变化的 B_{ν} 正确表达式。

直接将 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ 代入是错误的。由相同波谱区间能量守恒的要求可得 $B_{\nu}(T) = B_{\lambda}(T) \frac{d\lambda}{d\nu}$

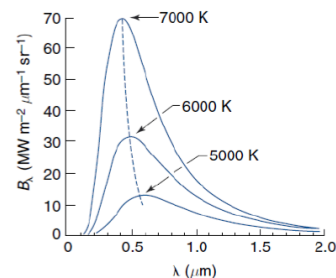
根据波长和频率关系可知 $\lambda = \frac{c}{\nu} \rightarrow d\lambda = \left| \frac{-c}{\nu^2} d\nu \right|$ 注意采用绝对值是因为普朗克函数必须是正值。将其

代入上式可得： $B_{\lambda}d\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5(e^{hc/k_B\lambda T}-1)} \frac{c}{\nu^2} d\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2(e^{h\nu/k_BT}-1)} d\nu$ 因此 $B_{\nu}d\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2(e^{h\nu/k_BT}-1)} d\nu$

基本特征

- ① 对于任意给定的波长，黑体发射随温度升高而**单调增大**
- ② 发射辐射不以它的最大值为中心呈现出对称分布
- ③ 在光谱末端的**短波区域**，发射**快速锐减**
- ④ 在接近**长波末端**时，发射则像尾巴一样非常**缓慢减小**

地球长波辐射各方向都有，太阳短波辐射仅有单一方向，所以可以忽略，然而**太阳辐射的长波辐射仍然大于地球长波辐射**，因此考虑镜面反射等辐射时，必须考虑太阳长波辐射。



具有所示绝对温度的黑体的发射光谱，以线性标度绘制为波长的函数。由这些光谱的集合形成的三维表面是普朗克函数。

4.3 维恩位移定律

定律

黑体辐射**最大通量密度的波长与温度成反比**

$$\lambda_m(T) = \frac{a}{T} = \frac{2897.8 \mu\text{m} \cdot \text{K}}{T}$$

黑体温度 $T = 6000\text{K}$ ， $\lambda_m = 0.42 \mu\text{m}$ ，为可见光

黑体温度 $T = 290\text{K}$ ， $\lambda_m = 10 \mu\text{m}$ ，为红外线

由**维恩位移定律**确定的温度称为**色温**

推导

根据普朗克定律对波长求导可得。

