
第7章热辐射基本定律及 物体的辐射特性

§ 7-1 热辐射的基本概念

一 热辐射

1. 定义

热辐射—thermal radiation

物体由于热的原因（温度高于 0 K）而发射电磁波的现象。

辐射换热—radiation heat transfer

物体之间通过热辐射交换热量的过程。

当系统达到热平衡时，辐射换热量为零，但热辐射仍然不断进行。

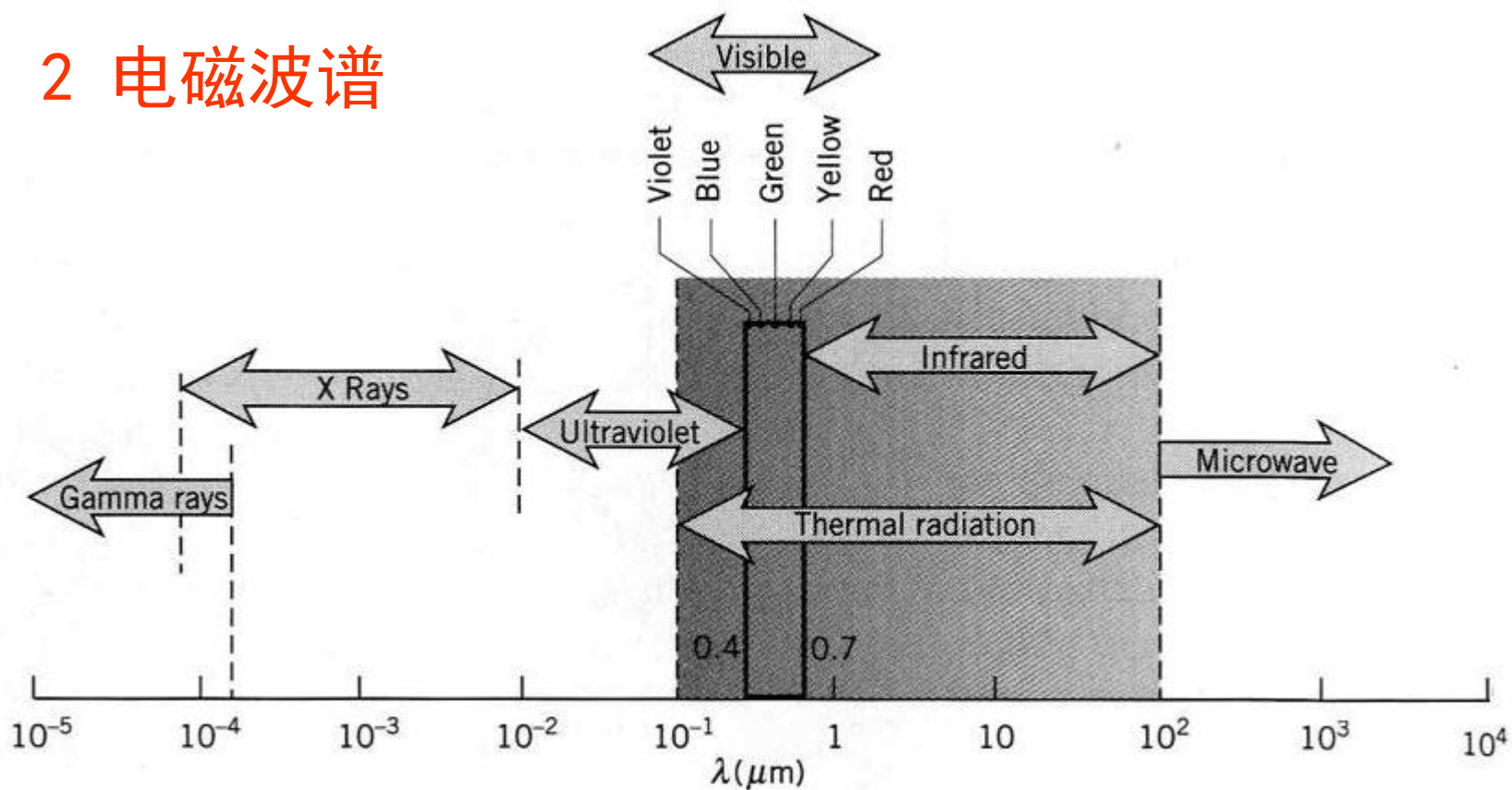
2. 特点

- 任何物体，只要温度高于0 K，就会不停地向周围空间发出热辐射；
- 可以在真空中传播；
- 伴随能量形式的转变；
- 具有强烈的方向性；
- 辐射能与温度和波长均有关

二 热辐射具有电磁波的共性

1 $\lambda f = c$

2 电磁波谱



-
- 理论上覆盖整个电磁波谱；
 - 对于太阳辐射（约5800K）：0.2~2 μm ；
 - 可见光0.38~0.76 μm
红外线0.76~25~1000 μm
 - 一般工业范围内（2000K以下）：
0.38~100 μm
0.76~20 μm ?
 - 远红外加热技术

3 物体对热辐射的吸收、反射和穿透

当热辐射投射到物体表面上时，一般会发生三种现象，即吸收、反射和穿透，如图7-2所示。

$$Q = Q_{\alpha} + Q_{\rho} + Q_{\tau} \Rightarrow \begin{array}{c} \frac{Q_{\alpha}}{Q} + \frac{Q_{\rho}}{Q} + \frac{Q_{\tau}}{Q} = 1 \\ \Downarrow \quad \Downarrow \quad \Downarrow \\ \alpha + \rho + \tau = 1 \end{array}$$

absorptivity

reflectivity

transmissivity

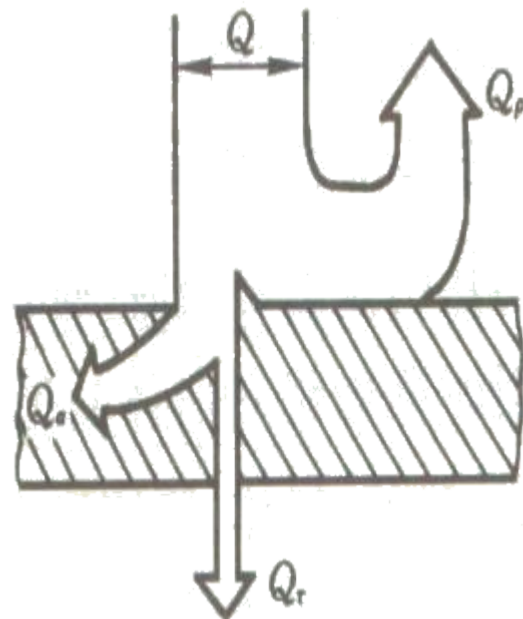


图7.2 物体对热辐射的吸收、反射和穿透

对于大多数的固体和液体

只涉及表面

$$\tau = 0, \alpha + \rho = 1$$

对于不含颗粒的气体

整个气体容积

$$\rho = 0, \alpha + \tau = 1$$

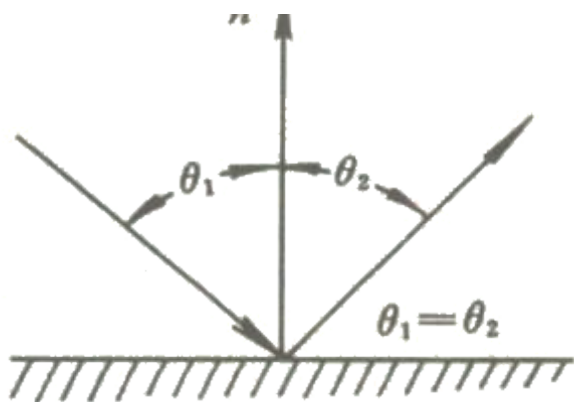
$\alpha = 1$ 对于黑体

镜体或白体 $\rho = 1$

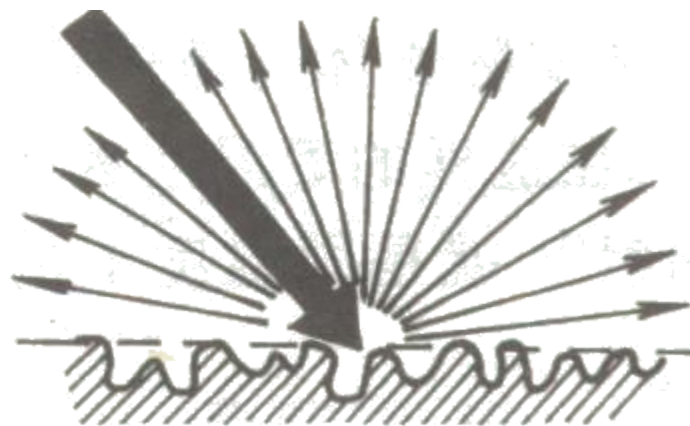
假想的

透明体 $\tau = 1$

4 反射同样具有镜反射和漫反射的分别



镜反射



漫反射

三 黑体模型

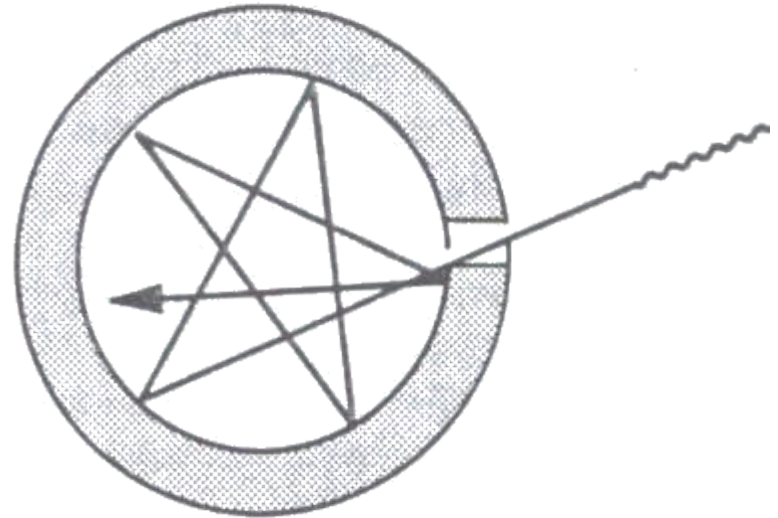
1 为什么？

2 黑体模型

- 可以全部吸收透射到其表面上的所有波长的辐射能；
- 现实世界中并不存在严格意义上的黑体；
- 实验室模型

带有小孔的温度均匀的空腔

- 小孔的孔径越小 α 越大；
- 温度均匀是为了保证辐射均匀且各向同性。



黑体模型

§ 7-2 黑体辐射的基本定律

黑体辐射有三个基本定律

Stefan-Boltzmann's Law

Planck's Law

Lambert's Law

从不同角度描述了一定温度下的
黑体辐射的基本规律

— Stefan-Boltzmann's Law

1 辐射力E emissive power

- 单位时间内，物体的单位表面积向半球空间发射的所有波长的能量总和。
- 单位： W/m^2
- 从总体上表征了物体辐射能力的大小。

2 表达式

$$E_b = \sigma T^4 \quad E_b = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

- σ —Stefan-Boltzmann常数

$$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

- C_0 —黑体辐射系数

$$5.67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

3 说明

- 1879年由Stefan根据实验结果提出，1884年由Boltzmann用理论分析法予以证实；

- Boltzmann其人

热科学领域杰出的科学家

1906年 亚德里亚海

Boltzmann transport equation

- $E \sim T^4$

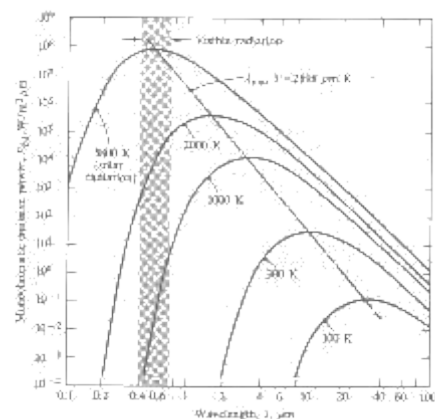
二 Planck's Law

1 光谱辐射力 E_λ spectral emissive power

- 单位时间、单位 $E = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda$ 波长范围内(包含某一特定波长)、物体的单位表面积向半球空间发射出去的辐射能。
- 单位: W/m^2
- E 和 E_λ 关系

2 Planck定律

$$E_{b\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/(\lambda T)} - 1}$$



式中：

λ — 波长， m

T — 黑体温度， K

c_1 — 第一辐射常数， $3.742 \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$;

c_2 — 第二辐射常数， $1.4388 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{K}$;

3 Planck定律和Stefan-Boltzmann定律的关系

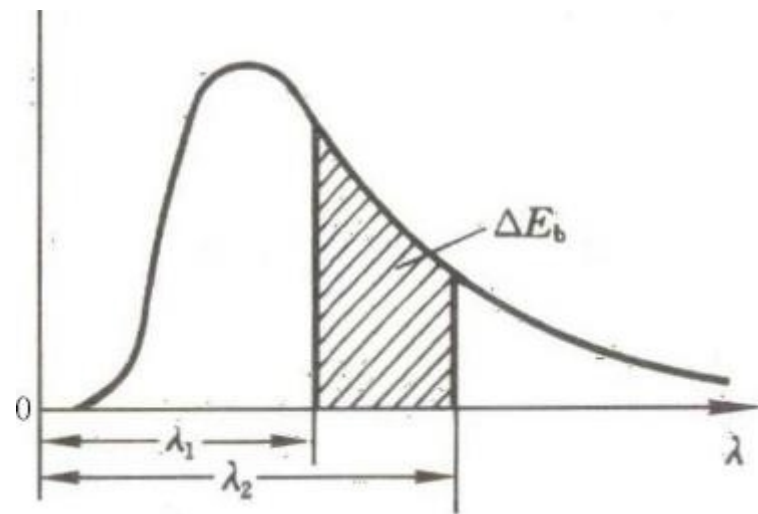
$$E_b = \int_0^{+\infty} E_{b\lambda} d\lambda$$

4 Wien位移定律

$$\lambda_{\max} T = 2.9 \times 10^{-3} m \cdot K$$

5 黑体辐射函数

$$\Delta E_b = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{b\lambda} d\lambda$$



$$\begin{aligned} F_{b(\lambda_1 \sim \lambda_2)} &= \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{b\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{b\lambda} d\lambda} = \frac{1}{\sigma T^4} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{b\lambda} d\lambda \\ &= \frac{1}{\sigma T^4} \left(\int_0^{\lambda_2} E_{b\lambda} d\lambda - \int_0^{\lambda_1} E_{b\lambda} d\lambda \right) \end{aligned}$$

$$F_{b(0\sim\lambda)} = \frac{\int_0^\lambda E_{b\lambda} d\lambda}{\sigma T^4} = f(\lambda T)$$

$$E_b(\lambda_1 \sim \lambda_2) = F_b(\lambda_1 \sim \lambda_2) \cdot E_b$$

$$F_b(\lambda_1 \sim \lambda_2) = F_b(0 \sim \lambda_2) - F_b(0 \sim \lambda_1)$$

表7-1 黑体辐射函数表（注意单位）

6 黑体辐射力中不同波长辐射能的比例

(1) 例7-3

温度 (K)	可见光	红外线
1000	< 0.1%	> 99.9%
3000	11.4%	88.5%
6000	45.5%	43.0%

(2) 定性上实际物体的光谱辐射力按波长分布的规律.....一致

三 Lambert's Law

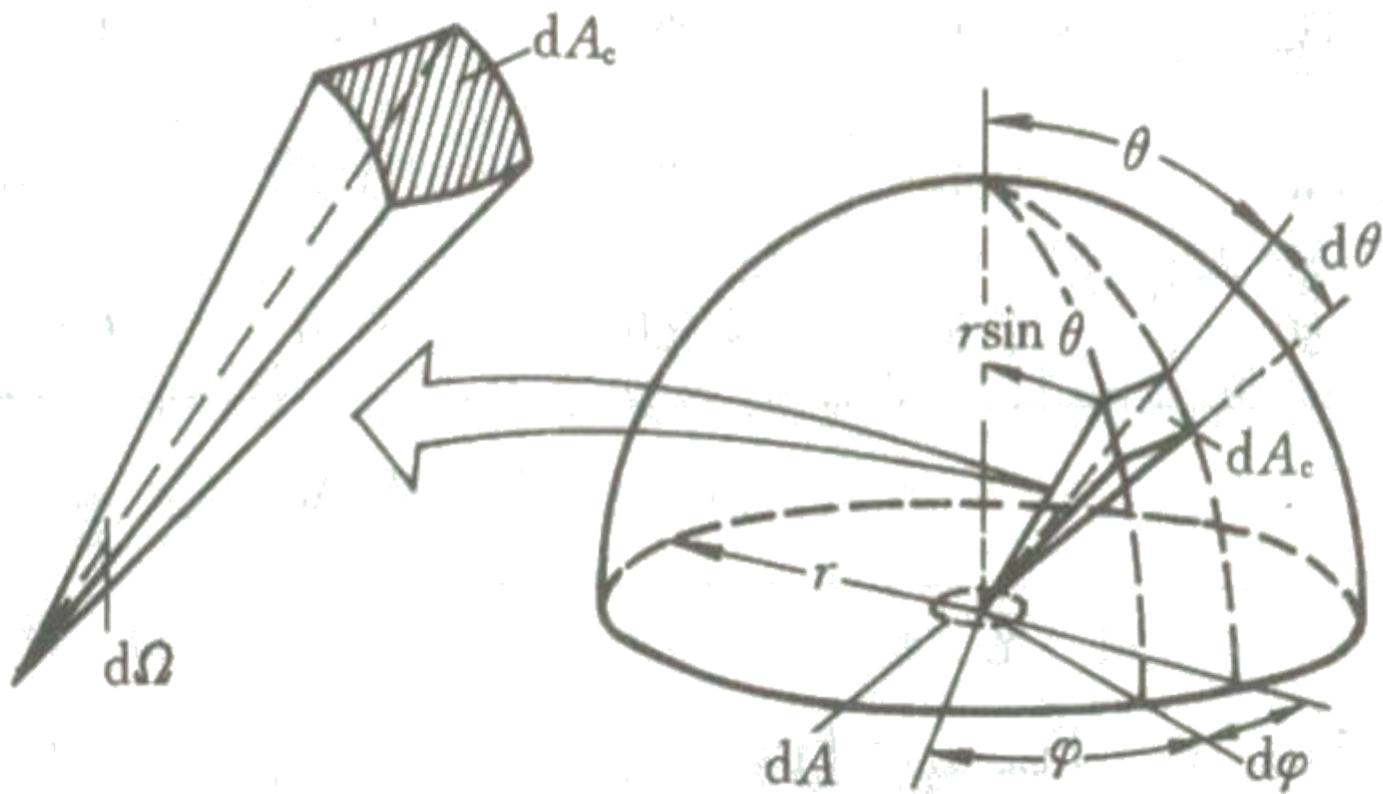
1 立体角

平面角

定义：球面面积除以球半径的平方

单位：sr (球面度)

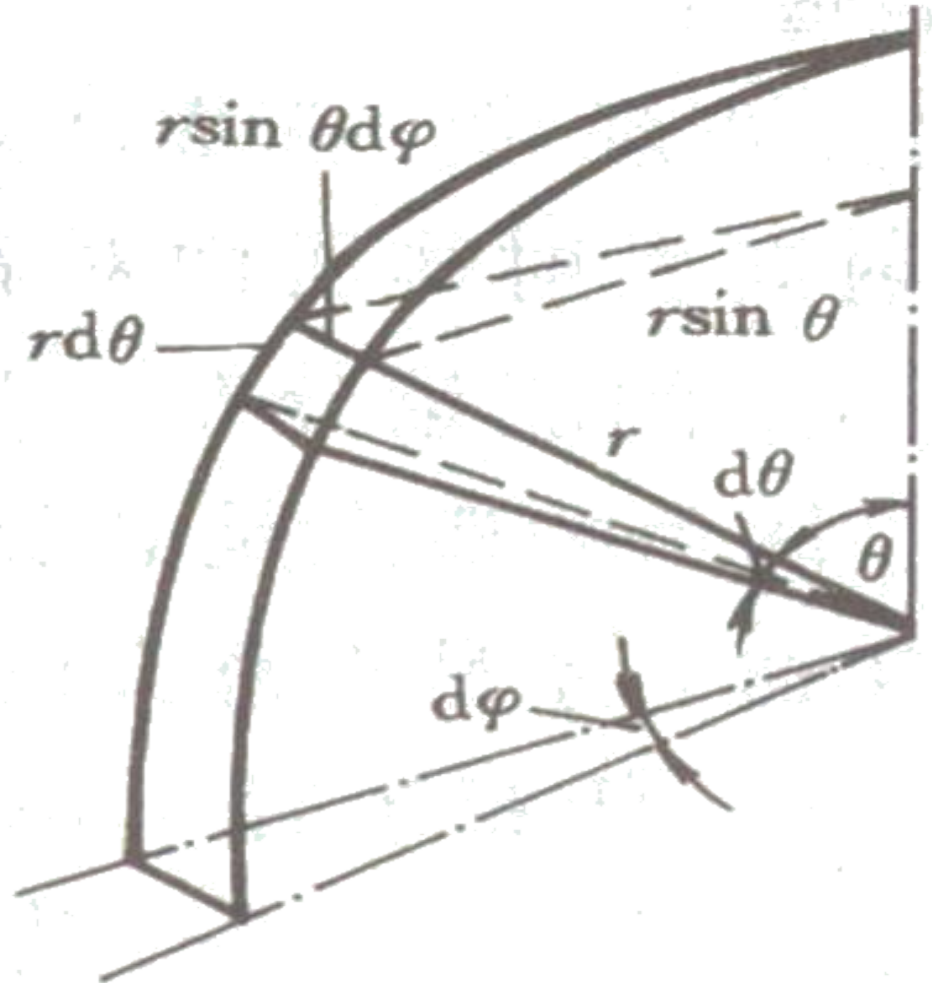
$$d\Omega = \frac{dA_c}{r^2}$$



$$d\Omega = \frac{dA_c}{r^2}$$

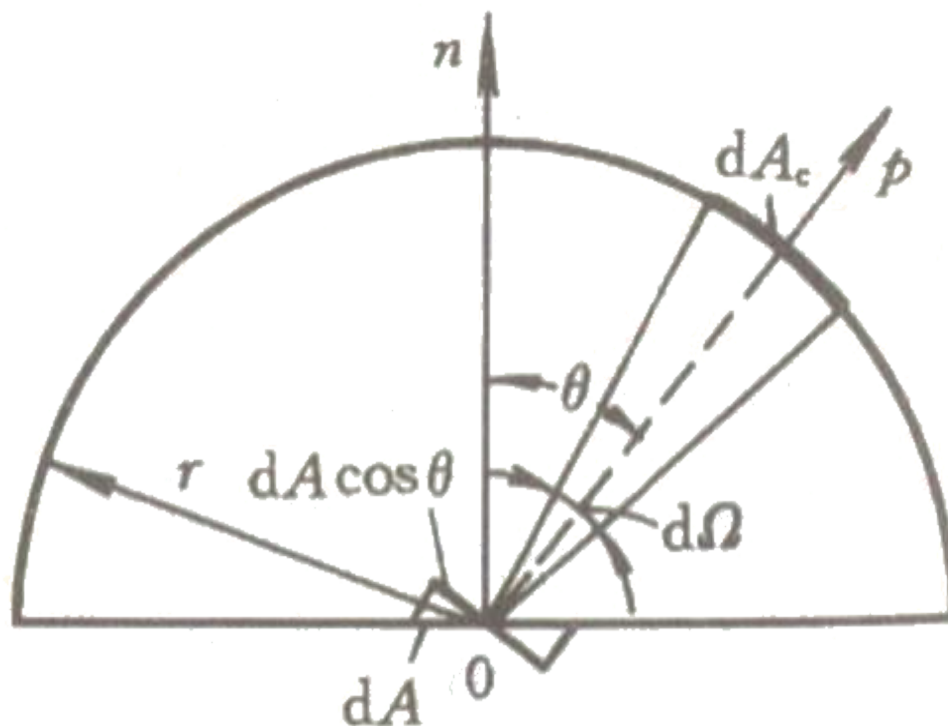
$$dA_c = rd\theta \cdot r \sin \theta d\varphi$$

$$d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$$



在相同的立体角的基础上比较！

2 单位可见辐射面积



在相同的可见辐射面积的基础上比较！

3 定向辐射强度 $L(\theta, \varphi)$

1) 定义

在单位时间内、单位可见辐射面积上、单位立体角内发射的一切波长的能量

$$L(\theta) = \frac{d\Phi(\theta)}{dA \cos\theta d\Omega}$$

单位：W/m²·sr

2) 黑体的定向辐射强度 L_b

$$L_b(\theta) = L = C$$

4 Lambert定律

- 1) 定向辐射强度与方向无关的规律
- 2) 对于服从Lambert定律的辐射

$$\frac{d\Phi(\theta)}{dA d\Omega} = L \cos\theta$$

又称余弦定律

- 3) 黑体辐射法向方向最大，切线方向为零

5 黑体定向辐射强度与辐射力之间的关系

$$\frac{d\Phi(\theta)}{dA d\Omega} = L \cos \theta$$

$$\begin{aligned} E_b &= \int \frac{d\Phi(\theta)}{dA} = \int L_b \cos \theta d\Omega \\ &= L_b \iint \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi \\ &= L_b \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta \\ &= \pi L_b \end{aligned}$$

四 小结

Stefan-Boltzmann's

Law

Planck's Law

Lambert's Law

总体

按波长分布

在空间分布

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/247010050061010020>