

# 辐射

## 物理量

### 辐射能 $Q$

电磁辐射的能量；单位：J

### flux 辐射通量/功率 $\Phi$

单位时间内释放、反射、透射或接受的能量；单位：W

$$\Phi = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}$$

### intensity 辐射强度 $I$

单位立体角内由点光源发出的功率

$$I = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}\omega}$$

其中， $\mathrm{d}\omega$  是立体角微元， $\mathrm{d}\Phi$  是点源在  $\mathrm{d}\omega$  内的辐射通量

只有点源才能讨论辐射强度

### Exitance 辐照度 $M$

$$M = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}A}$$

其中， $\mathrm{d}A$  是面元面积， $\mathrm{d}\Phi$  是面元放出的辐射通量

对于兰伯特表面，有：

$$M = \pi I$$

### Irradiance 辐照度 $E$

$$E = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}A}$$

其中， $\mathrm{d}\Phi$  是入射到面元  $\mathrm{d}A$  上的辐射通量

exitance 和 irradiance 的区别仅在于光传播方向的不同

设有一个辐射强度为  $I$  的点源，在距点源  $d$  处有一面元  $\mathrm{d}\vec{A}$ ， $\mathrm{d}\vec{A}$  与从点源指向面元的位矢的夹角为  $\theta$ ，则  $E, I$  的关系为：

$$E = \frac{I \cos^3 \theta}{d^2}$$

### Radiance 辐亮度 $L$

$$L = \frac{\mathrm{d}^2\Phi}{\mathrm{d}\omega \mathrm{d}A \cos \theta}$$

其中， $\mathrm{d}\Phi$  是面元  $\mathrm{d}A$  的辐射通量， $\mathrm{d}^2\Phi$  是投影面元  $\mathrm{d}A \cos \theta$  在  $\mathrm{d}\omega$  内的辐射通量

### BSDF 双向散射分布函数

$$\text{BSDF}(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s) = \frac{\mathrm{d}L(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s)}{\mathrm{d}E(\theta_i, \phi_i)}$$

$\theta_i, \phi_i$  用于描述入射光线方向， $\theta_s, \phi_s$  用于描述散射光线的方向

BSDF 也可写成：

$$\text{BSDF} = \frac{\mathrm{d}\Phi_s/\mathrm{d}\Omega_s}{\mathrm{d}\Phi_i \cos \theta_s}$$

能量守恒要求 BSDF 遵从互易性：

$$\text{BSDF}(\theta_i,\phi_i,\theta_s,\phi_s)=\text{BSDF}(\theta_s,\phi_s,\theta_i,\phi_i)$$

TIS 总散射积分

表面在反射或透射方向上散射的总功率与其入射功率之比被称为总积分散射（TIS），它等于对半球投影立体角内BSDF的积分：

$$\text{TIS}=\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2}\text{BSDF}\sin(\theta_s)\cos(\theta_s)\text{d}\theta_s\text{d}\phi_s$$

出于能量守恒的考虑，任何 BSDF 的 TIS 都必须  $\leq 1$

与发射表面类似，散射表面的BSDF如果不随入射或散射角度变化，则被称为兰伯特散射面。

兰伯特散射体的 BSDF 和 TIS 之间的关系为：

$$\text{BSDF}=\frac{\text{TIS}}{\pi}$$

外差干涉

拍频

设两列波为：

$$x_1=A\cos\omega_1t$$

$$x_2=A\cos\omega_2t$$

叠加后可表示为：

$$x=x_1+x_2=2A\cos\left(\frac{\omega_2-\omega_1}{2}t\right)\times\cos\left(\frac{\omega_2+\omega_1}{2}t\right)$$

拍频定义为单位时间内和振动振幅强弱变换的次数，即：

$$v=|(\omega_2-\omega_1)/2\pi|=|v_2-v_1|$$

波  $x_1,x_2$  合成后的包络线的频率即为拍频，也称为外差频率。

外差拍频信号将完整保留原始信号的相位信息。

对于激光而言，引起频率很高，目前的光电探测器无法响应，但可以探测到两束频率相近的激光产生的拍频。因此拍频被应用到激光领域，发展成激光外差干涉技术。

外差干涉技术

所谓外差，就是将要接收的信号调制在一个已知频率信号上，在接收端再将该调制信号进行解调。高频率的激光信号相位变化难以精确测量，但利用外差干涉技术可以用低频拍频信号把高频信号的相位变化解调出来。

双频激光干涉仪原理

双频激光器发出两列偏振态正交的具有不同频率的线偏振光，经过偏振分光器后光束被分离，设两束激光的波动方程为：

$$E_1=E_{R1}\cos(2\pi f_1t)$$

$$E_2=E_{R2}\cos(2\pi f_2t)$$

偏振态平行于纸面的频率为  $f_1$  的光束透过干涉仪后，被目标镜反射回干涉仪。当被测目标镜移动时，产生多普勒效应，返回光束的频率变为  $f_1\pm\Delta f$ ， $\Delta f$  为多普勒偏移量，它包含被测目标镜的位移信息。经过干涉镜后，与频率为  $f_2$  的参考光束会合，会合后光束发生拍频，其光强  $I_M$  函数为：

$$I_M=\frac{1}{2}(E_1^2+E_2^2)+E_1E_2\cos[2\pi(f_2-f_1\pm\Delta f)t]$$

上面式子包含一个直流量和一个交流量，经光电检测器转换为电信号，再进行放大整形后，去除直流量，将交流量转换为一族频率为  $f_1\pm\Delta f-f_2$  的脉冲信号。

从双频激光器中输出频率为  $f_1 - f_2$  的脉冲信号，作为后续电路处理的基准信号。测试板卡采用减法器通过对两列信号的相减，得到由于被测目标镜的位移引起的多普勒频移  $\Delta f$ 。被测目标镜的位移  $L$  与  $\Delta f$  的关系可表示为：

$$L = \frac{\lambda}{2} \int_0^t \Delta f dt = \frac{\lambda}{2} N$$

其中， $\lambda$  为激光的波长， $N$  为干涉的条纹数。只要测得条纹数，就可以计算出被测物体的位移。