

# 維基百科

# 菲涅耳方程

维基百科，自由的百科全书

**菲涅耳方程**（或称**菲涅耳条件**）是由法国物理学家奥古斯丁·菲涅耳推导出的一组光学方程，用于描述光在两种不同折射率的介质中传播时的反射和折射。方程中所描述的反射因此还被称作“菲涅耳反射”。

## 目录

### 简介

[s 和 p 偏振](#)

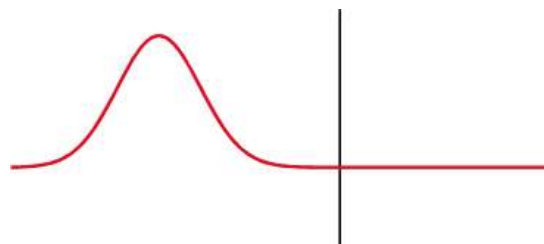
### 光强方程

### 多重界面的效应

### 参见

### 参考文献

### 外部链接



波的部分的振幅经过由低到高折射率的介质的反射和折射

## 简介

当光从一种折射率为***n*<sub>1</sub>**的介质向另一种折射率为***n*<sub>2</sub>**的介质传播时，在两者的交界处（通常称作界面）可能会同时发生光的反射和折射。菲涅尔方程描述了光波的不同分量被折射和反射的情况，也描述了波反射时的相变。

方程成立的条件是：界面是光滑平面，入射光是平面波，边缘效应可被忽略。

## s 和 p 偏振

计算结果取决于入射光的偏振态。以下是两种情况（由于电场分量、磁场分量、光的传播方向由右手螺旋关系确定，所以仅讨论电场方向的偏振）

- 偏振入射光的电场分量与入射光及反射光所形成的平面相互垂直。此时的入射光状态称为“s偏振态”，源于德语“*senkrecht*”。
- 偏振入射光的电场分量与入射光及反射光所形成的平面相互平行。此时的入射光状态称为“p偏振态”，源于德语“*parallel*”。

## 光强方程

在右图中，入射光线**PO**到达两种介质交界面上的点**O**时，部分光线被反射，反射光为**OQ**，而另一部分被折射，折射光为**OS**。定义入射光线、反射光线和折射光线各自与法线形成的夹角分别为***θ<sub>i</sub>***、***θ<sub>r</sub>***和***θ<sub>t</sub>***。

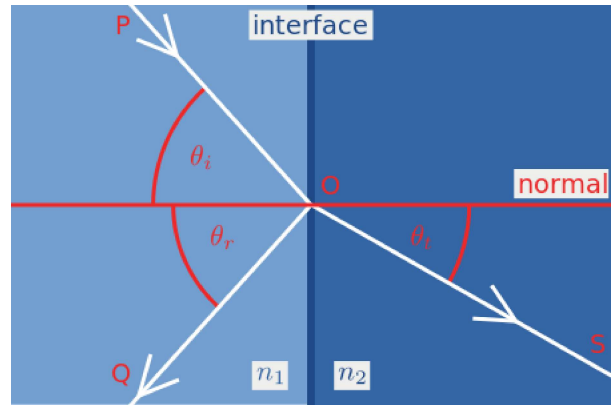
入射光线与反射光线的方向由反射定律约束：

$\theta_i = \theta_r$

入射光线与折射光线的方向由斯涅尔定律约束：

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{n_2}{n_1}$$

一定功率的入射光被界面反射的比例称为反射比***R***；折射的比例称为透射比***T***<sup>[1]</sup>。对反射比和透射比的计算需要用到电动力学中的电磁波传播理论，具体方法可参考玻恩的《光学原理：光的传播、干涉和衍射的电磁理论》<sup>[2]</sup>以及杰克逊的《经典电动力学》<sup>[3]</sup>。



菲涅耳方程中所用的变量

反射比和透射比的具体形式还与入射光的偏振有关。如果入射光的电矢量垂直于右图所在平面（即s偏振），反射比为

$$R_s = \left[ \frac{\sin(\theta_t - \theta_i)}{\sin(\theta_t + \theta_i)} \right]^2 = \left( \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right)^2 = \left[ \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i\right)^2}}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i\right)^2}} \right]^2$$

其中 $\theta_t$ 是由斯涅尔定律从 $\theta_i$ 导出的，并可用三角恒等式化简。

如果入射光的电矢量位于右图所在平面内（即p偏振），反射比为

$$R_p = \left[ \frac{\tan(\theta_t - \theta_i)}{\tan(\theta_t + \theta_i)} \right]^2 = \left( \frac{n_1 \cos \theta_t - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \right)^2 = \left[ \frac{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i\right)^2} - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i\right)^2} + n_2 \cos \theta_i} \right]^2$$

透射比无论在哪种情况下，都有***T* = 1 - *R***。

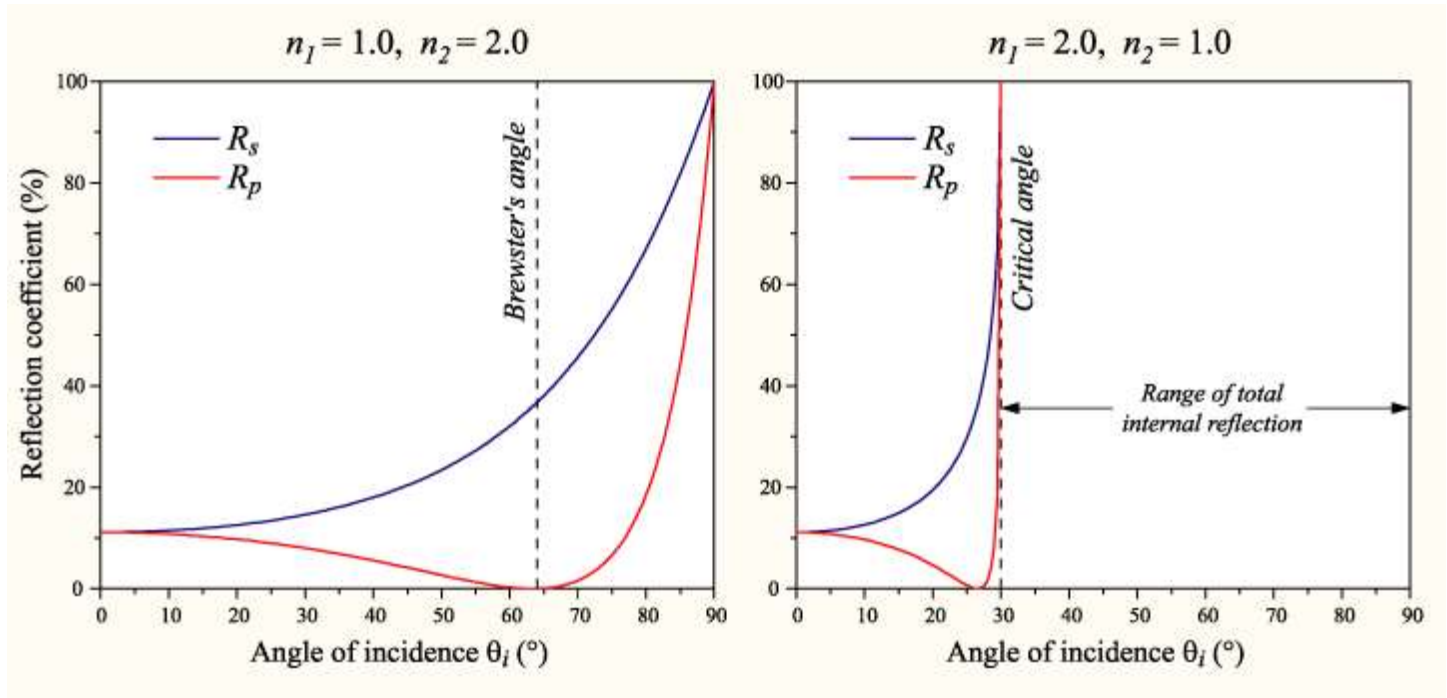
如果入射光是无偏振的（含有等量的s偏振和p偏振），反射比是两者的算数平均值：***R* =  $\frac{R_s + R_p}{2}$** 。

反射和折射光波的振幅与入射光波振幅的比值（通常称为反射率和透射率）也可用类似的方程给出，这些方程也称作菲涅耳方程。根据不同的体系和符号习惯，它们可以有不同形式。反射率和透射率通常用小写的***r***和***t***表示。在某些体系中，它们满足条件：

$$R = r^2 \text{ and } T = \left( \frac{n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i} \right) t^2 \text{ [4]}$$

对于给定的折射率***n*<sub>1</sub>**和***n*<sub>2</sub>**且入射光为p偏振光时，当入射角为某一定值时***R*<sub>p</sub>**为零，此时p偏振光被完全透射而无反射光射出。这个角度被称作布儒斯特角，对于空气或真空中的玻璃介质约为56°。注意这个定义只是对于两种折射率都为实数的介质才有意义，对于会吸光的物质，例如金属和半导体，折射率是一个复数，从而***R*<sub>p</sub>**一般不为零。

当光从光密介质向光疏介质传播时（即***n*<sub>1</sub>** > ***n*<sub>2</sub>**时），存在一个临界的入射角，对于大于此入射角的入射光***R*<sub>s</sub>** = ***R*<sub>p</sub>** = **1**，此时入射光完全被界面反射。这种现象称作全内反射，临界角被称作全反射临界角，对于空气中的玻璃约为41°。



当光线以近法线入射（ $\theta_i \approx \theta_t \approx 0$ ）时，反射比和透射比分别为：

$$R = R_s = R_p = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2$$
$$T = T_s = T_p = 1 - R = \frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2}$$

对于普通的玻璃，反射比大约为4%。注意窗户对光波的反射包括前面一层以及后面一层，因而少量光波会在两层之间来回振荡形成干涉。如忽略这种干涉效应，这两层合并后的反射比为  $\frac{2R}{1 + R}$ （见下）。

需要指出的是这里所有的讨论都假设介质的磁导率  $\mu$  都等于真空磁导率  $\mu_0$ 。对于大多数电介质而言这是近似正确的，但对其他类型的物质来说不正确，因而若考虑这一点则菲涅耳方程的形式会更加复杂。

## 多重界面的效应

当光在两层以上平行表面发生多重反射时，多列反射光波往往会互相发生干涉，从而有可能会使系统总的透射光和反射光振幅表达起来相当复杂，这通常是波长（或频率）的函数。一个例子是漂浮在水面上的油膜，在光照下会产生多种色彩；其他例子还包括法布里-珀罗干涉仪、透镜等光学仪器表面所用的能极大降低反射率的镀膜（增透膜），以及各种光学滤波器。对这些效应的定量计算仍然是基于菲涅耳方程的，但也要考虑额外产生的干涉所带来的影响，通常可以采用光学中的传递矩阵方法来计算这些问题。

## 参见

- 菲涅耳棱镜，菲涅耳用于产生圆偏光的仪器。
- 镜面反射
- 反射系数
- 透射系数

## 参考文献

1. Hecht (1987), p. 100.
  2. Max Born; Emil Wolf. Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light (7th Edition) (Hardcover). Cambridge University Press. October 13, 1999: 334. ISBN 0521642221.
  3. Jackson, J D. Classical Electrodynamics (3rd). New York: Wiley. 1999. ISBN ISBN 0-471-30932-X.
  4. Hecht (2002), p. 120.
- Hecht, Eugene. Optics 2nd. Addison Wesley. 1987. ISBN 0-201-11609-X.
  - Hecht, Eugene. Optics 4th. Addison Wesley. 2002. ISBN 0-321-18878-0.

## 外部链接

---

- Fresnel Equations (<http://scienceworld.wolfram.com/physics/FresnelEquations.html>) – Wolfram Research
  - FreeSnell (<http://people.csail.mit.edu/jaffer/FreeSnell>) – 免费的计算机软件，用于计算多层材料的光学性质
  - Thinfilm (<http://thinfilm.hansteen.net/>) – 计算薄膜以及多层材料光学性质（反射和透射系数等）的Web网页
  - 计算单界面的反射和折射角、以及光强的Web网页. ([http://www.calctool.org/CALC/phys/optics/reflec\\_refrac](http://www.calctool.org/CALC/phys/optics/reflec_refrac))
  - ReflectionCoefficient.INFO (<https://web.archive.org/web/20151118063203/http://reflectioncoefficient.info/>) – 光学反射率计算器
  - Reflection and transmittance for two dielectrics (<http://wm.eecs.umich.edu/webMathematica/eecs434/f08/ideliz/final.jsp>) - 用Mathematica编写的演示折射率与反射关系的工具
- 

取自 “<https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=菲涅耳方程&oldid=55967376>”

---

**本页面最后修订于2019年9月5日 (星期四) 02:56。**

本站的全部文字在知识共享 署名-相同方式共享 3.0协议之条款下提供，附加条款亦可能应用。（请参阅使用条款）  
Wikipedia®和维基百科标志是维基媒体基金会的注册商标；维基™是维基媒体基金会的商标。  
维基媒体基金会是按美国国内税收法501(c)(3)登记的非营利慈善机构。