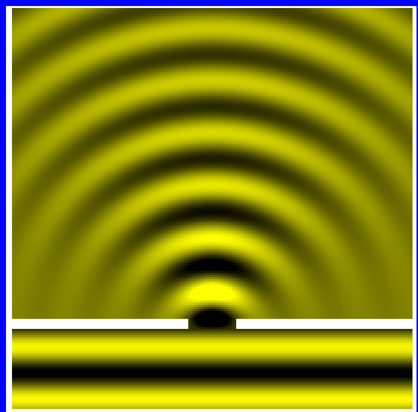
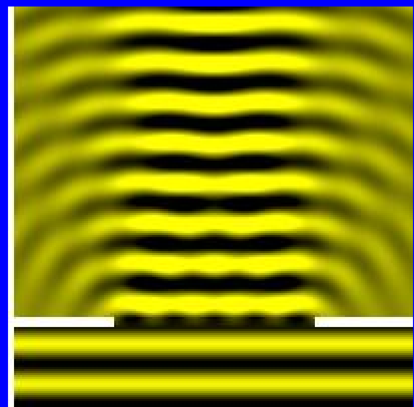
§5 光的衍射现象和惠更斯－菲涅耳原理

5.1光的衍射现象

1）衍射的定义：

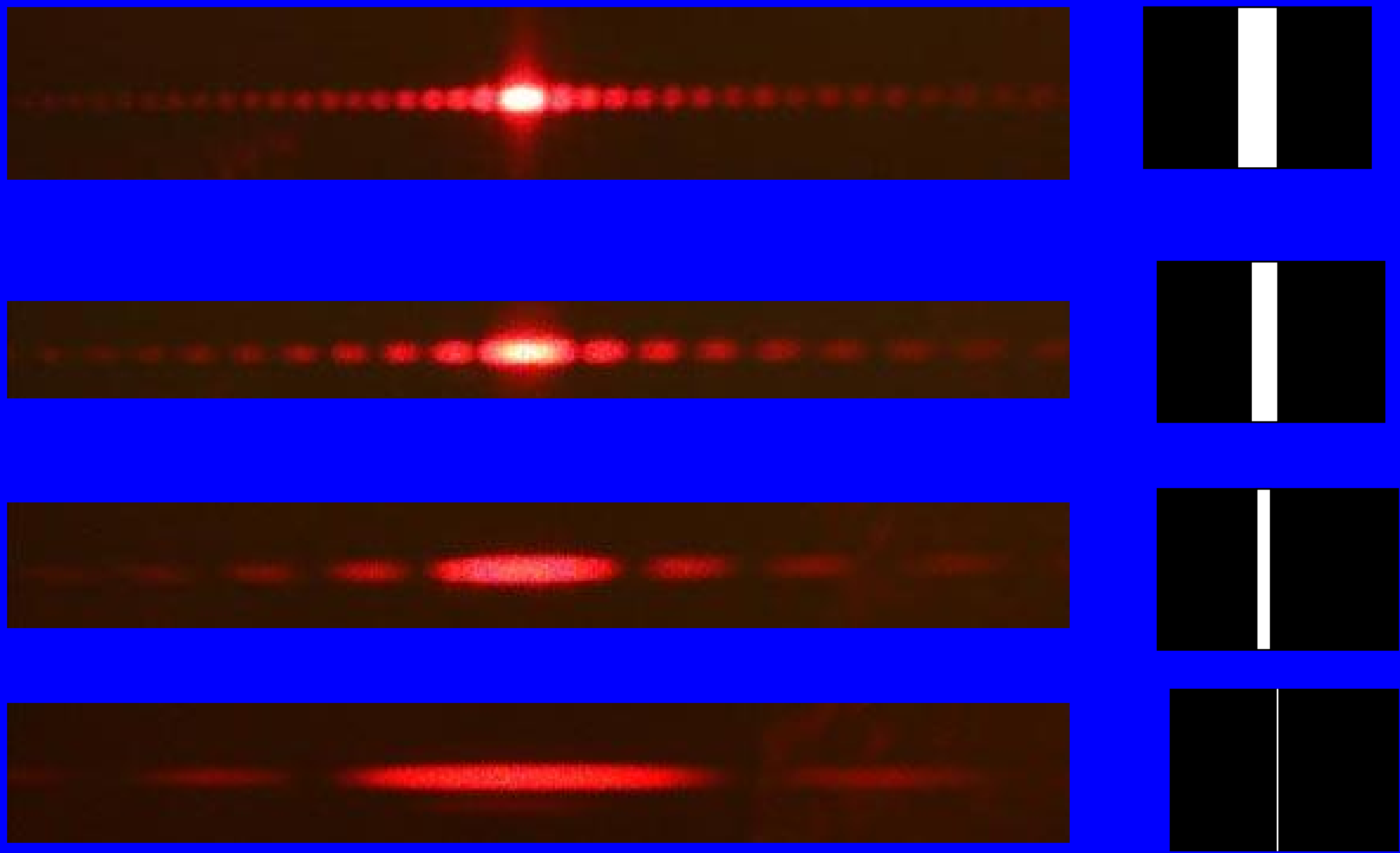
波在传播过程遇到障碍物时偏离直线传播的现象





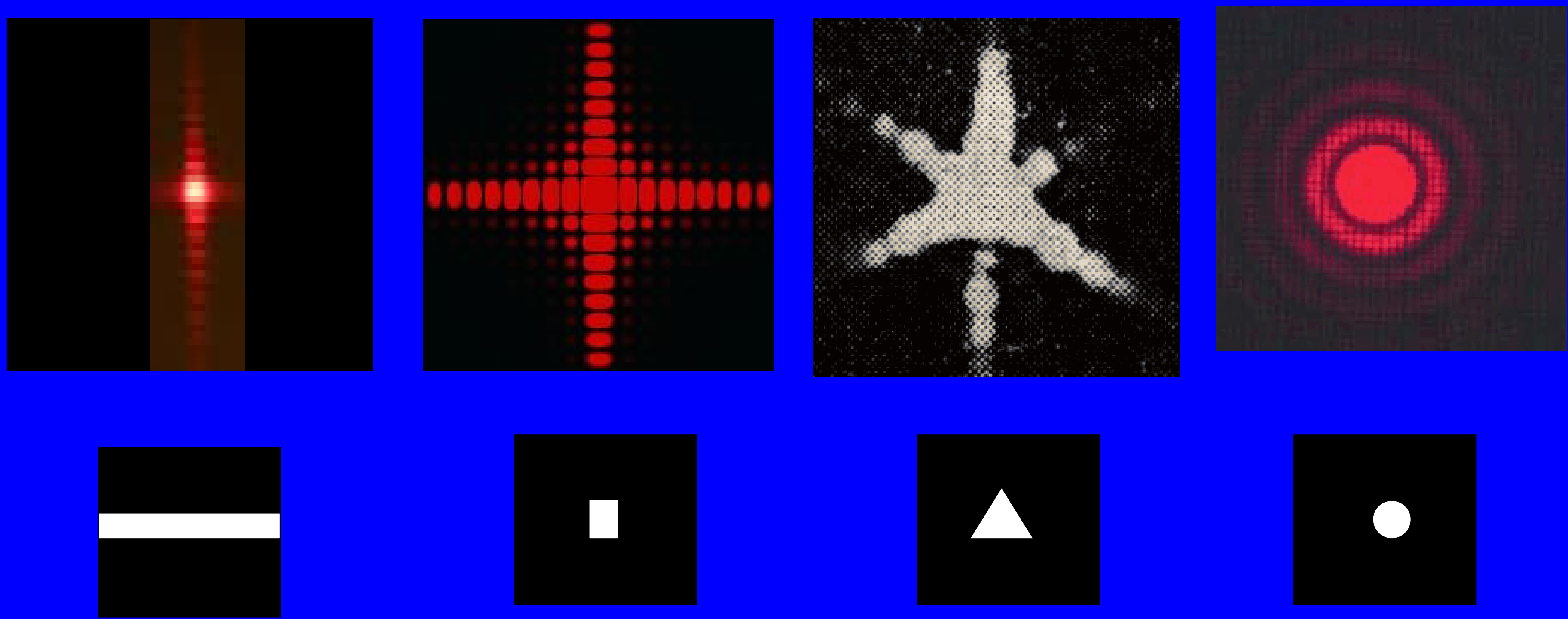
水波的衍射

2）光的衍射现象



单缝衍射图样　　衍射屏

从矩孔到圆孔的衍射图样



3）衍射现象的特点

(1)在什么方向受限制，衍射图样就沿什么方向扩展

(2)限制越厉害，衍射越强烈

(3) 衍射强弱与障碍物尺寸的关系：

$r \sim 1000 l$ 以上：衍射效应不明显

$r \sim 1000 l - 10 l$ ：衍射效应明显

$r \sim l$ ：向散射过渡

5.2 惠更斯－菲涅耳原理

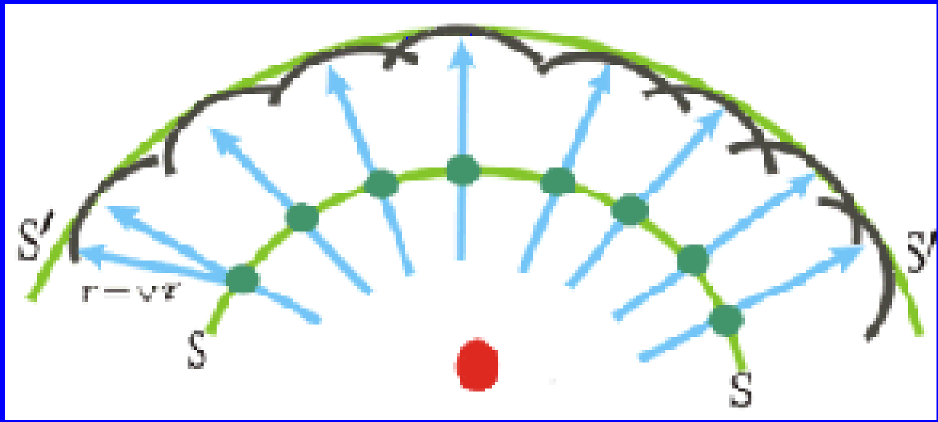
惠更斯，C.

菲涅耳，A.-J.

1）惠更斯原理：波面+次波

波阵面上各点都看成是子波波源

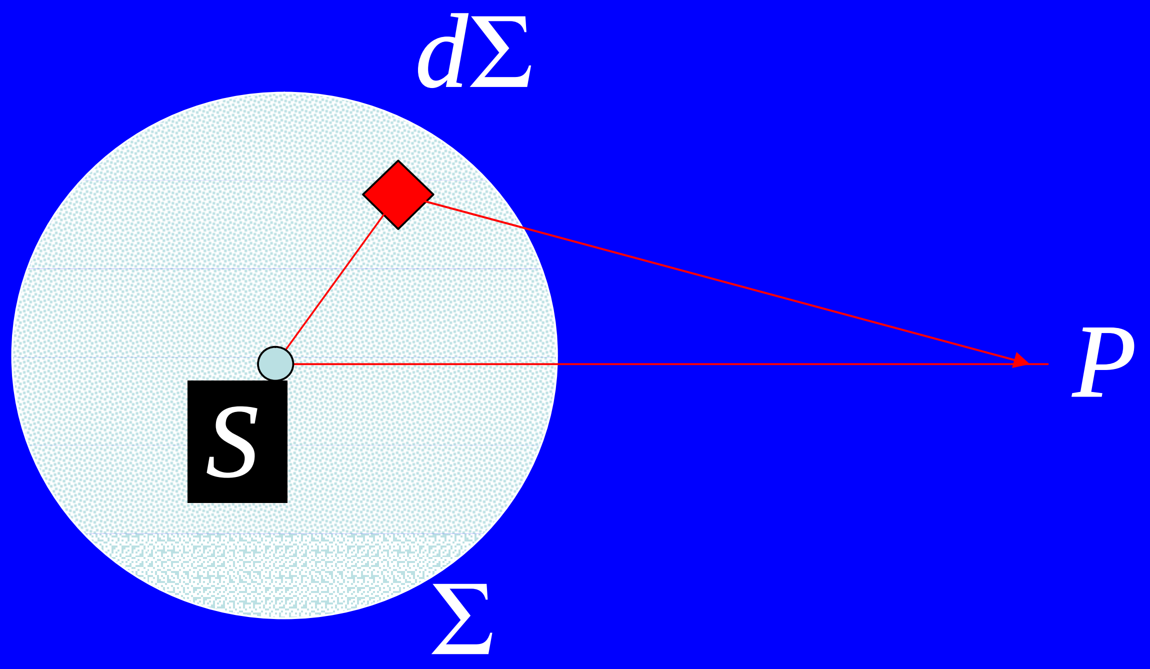
能定性解释光的传播方向问题



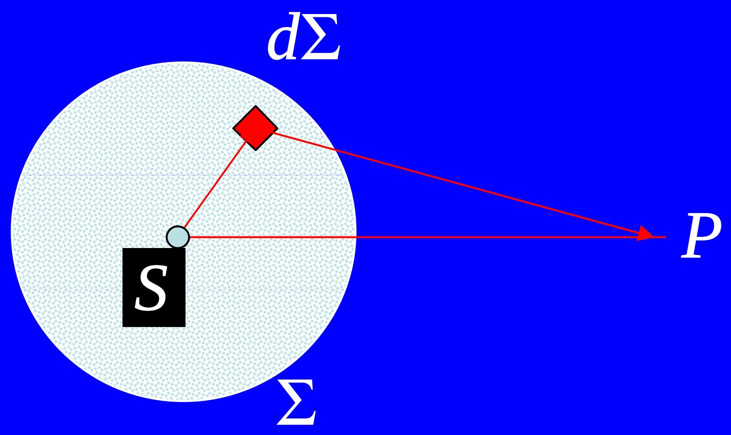
2）菲涅耳原理：次波+相干叠加

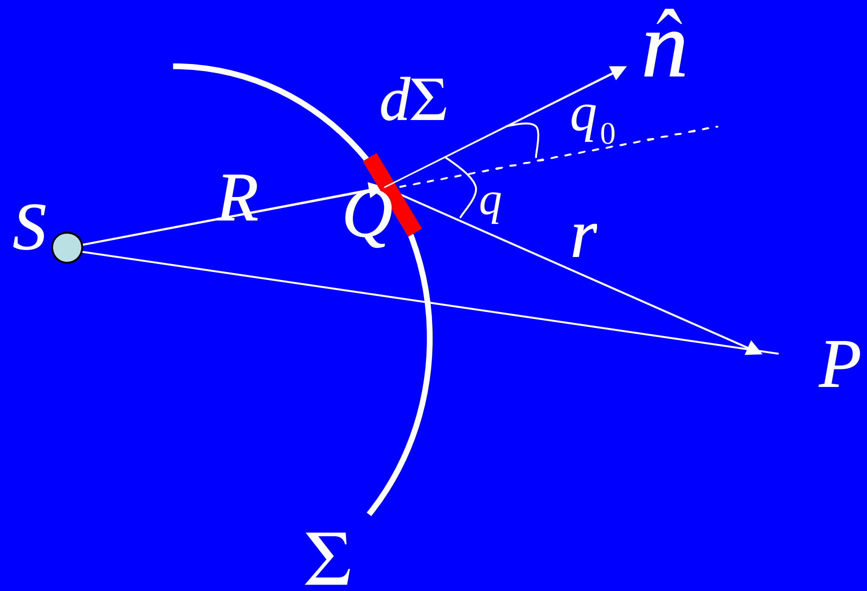
波场中各点的强度由各子波在该点的相干叠加决定

能定量解释衍射图样中的强度分布



波前S上每个面元dS都可以看成是新的振动中心，它们发出次波。在空间某一点P的振动是所有这些次波在该点的相干迭加。





原理的数学表达式：

相干叠加----复振幅线性叠加

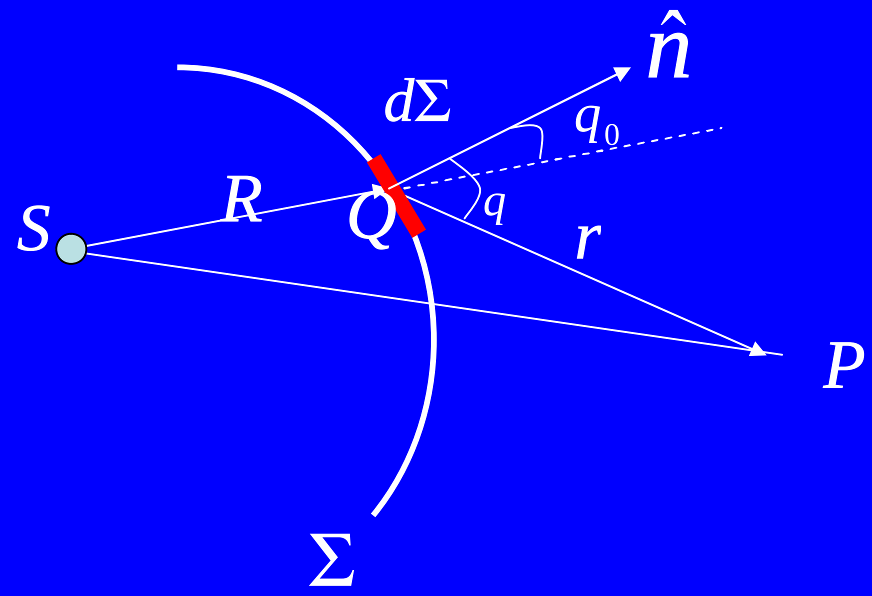
$$\tilde{U}(P)=\oiint_{(\Sigma)} d\tilde{U}$$

$$d\tilde{U}(P) \propto d\Sigma$$

$$\propto \tilde{U}_0(Q)$$

$$\propto \frac{e^{ikr}}{r}$$

$$\propto F(q, q_0)$$



$$\tilde{U}(P) = K \oiint_{(\Sigma)} \tilde{U}_0(Q) F(q, q_0) \frac{e^{ikr}}{r} d\Sigma$$

-----Fresnel衍射积分公式

3）菲涅耳-基尔霍夫衍射公式

$$\tilde{U}(P)=K\oiint_{(\Sigma)}\tilde{U}_0(Q)F(q,q_0)\frac{e^{ikr}}{r}d\Sigma$$

基尔霍夫推导出：

$$F(q,q_0)=\frac{1}{2}(\cos q+\cos q_0)$$

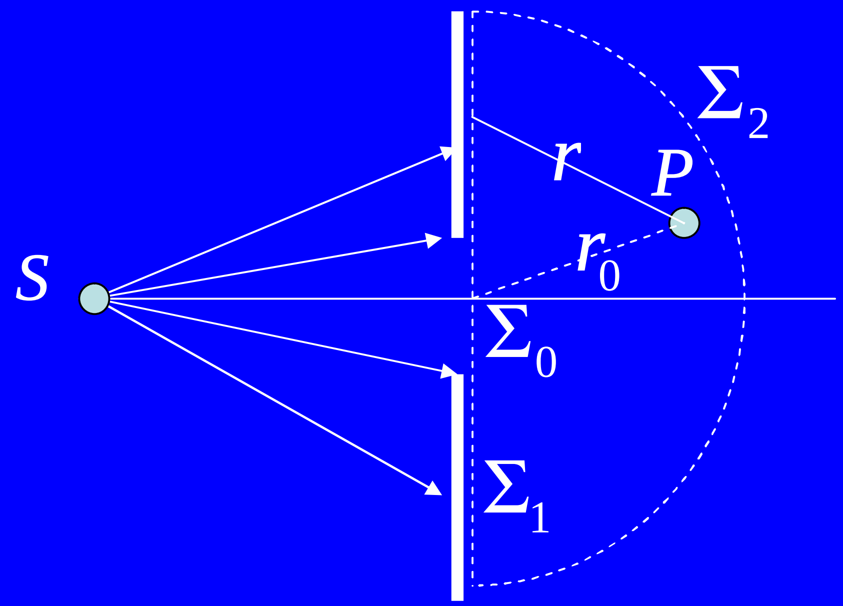
$$K=\frac{-i}{l}=\frac{e^{-ip/2}}{l}$$

$$\tilde{U}(P)=\frac{-i}{2l}\oiint_{(\Sigma)}(\cos q+\cos q_0)\tilde{U}_0(Q)\frac{e^{ikr}}{r}d\Sigma$$

----菲涅耳-基尔霍夫衍射公式

衍射屏情形：

取波前为如下闭合曲面



$$\Sigma = \Sigma_0 + \Sigma_1 + \Sigma_2$$

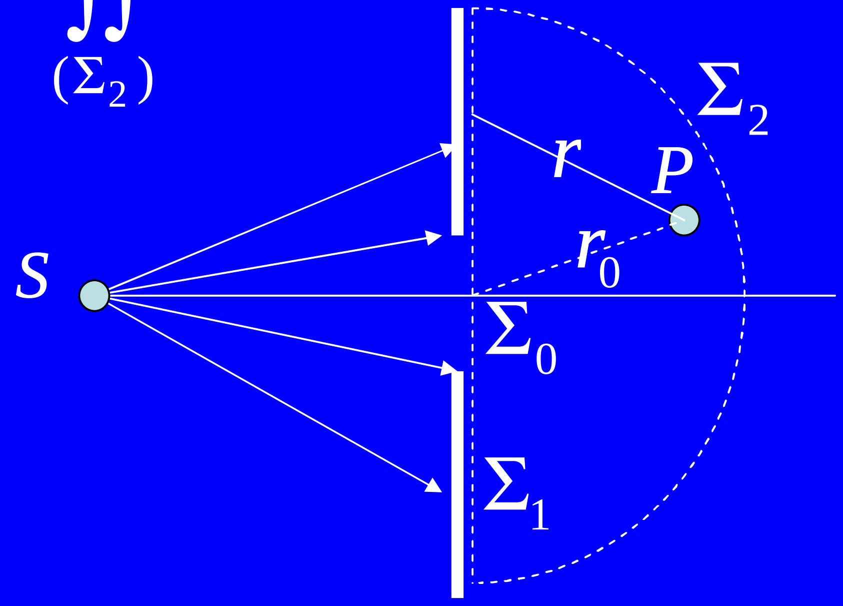
则

$$\tilde{U}(P) = \oiint_{(\Sigma)} = \iint_{(\Sigma_0)} + \iint_{(\Sigma_1)} + \iint_{(\Sigma_2)}$$

$$\tilde{U}_0(Q) = \begin{cases} \tilde{U}_0(Q) & \Sigma_0 \\ 0 & \Sigma_1 \end{cases}$$

---基尔霍夫边界条件

$$\tilde{U}(P) = \oiint_{(\Sigma)} = \iint_{(\Sigma_0)} + \iint_{(\Sigma_1)} + \iint_{(\Sigma_2)}$$



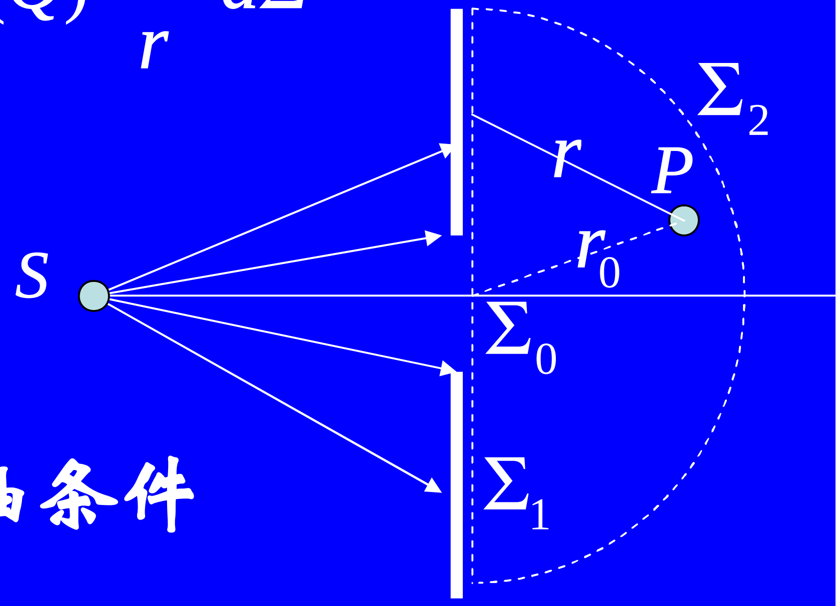
$$\tilde{U}_0(Q) = \begin{cases} \tilde{U}_0(Q) & \Sigma_0 \\ 0 & \Sigma_1 \end{cases}$$

可证明： $\iint_{(\Sigma_2)} = 0$

有：

$$\tilde{U}(P) = \frac{-i}{2l} \iint_{(\Sigma_0)} (\cos q + \cos q_0) \tilde{U}_0(Q) \frac{e^{ikr}}{r} d\Sigma$$

$$\tilde{U}(P)=\frac{-i}{2l}\iint\limits_{(\Sigma_0)}(\cos q+\cos q_0)\tilde{U}_0(Q)\frac{e^{ikr}}{r}d\Sigma$$



公式简化：

光孔和接收范围满足傍轴条件

$$q\approx q_0\approx 0 \qquad r\approx r_0$$

有：

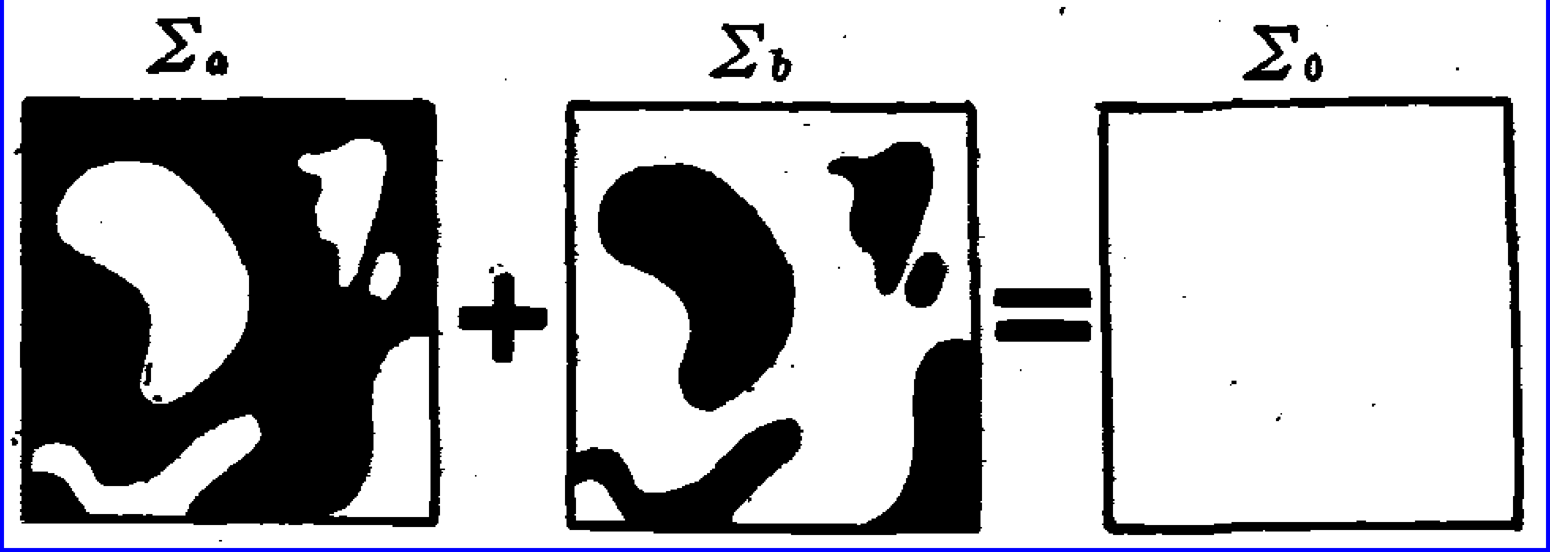
$$\tilde{U}(P)=\frac{-i}{l r_0}\iint\limits_{(\Sigma_0)}\tilde{U}_0(Q)e^{ikr}d\Sigma$$

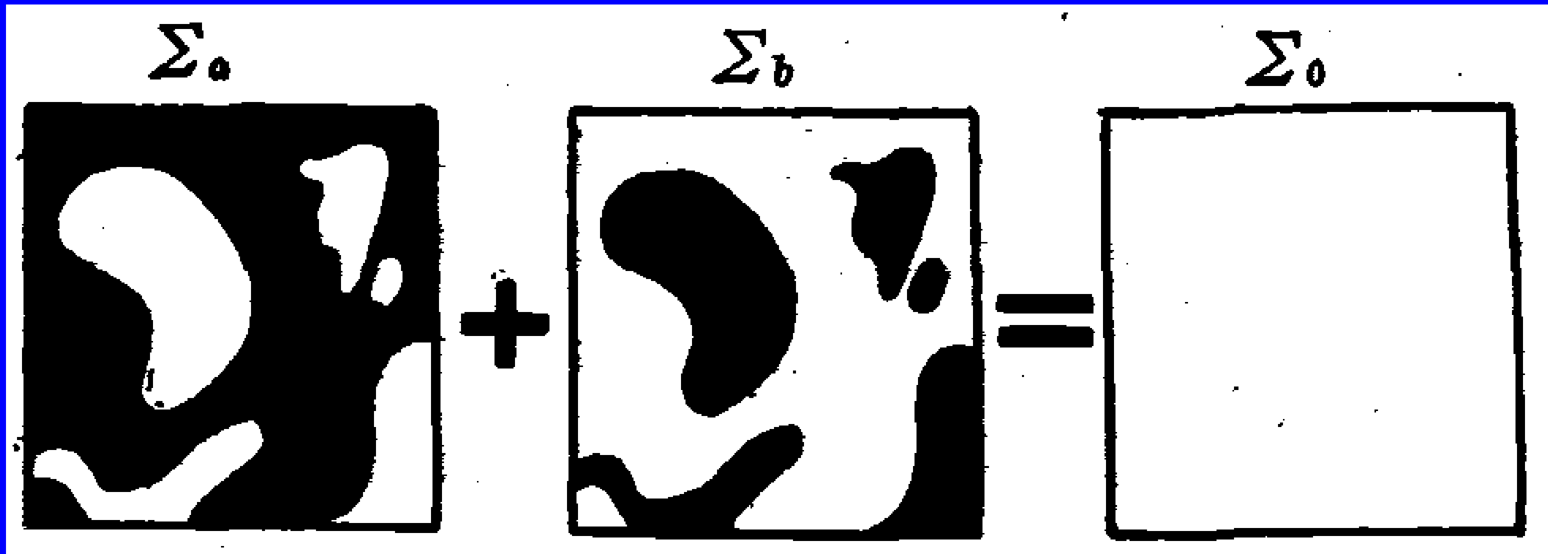
5.3 巴俾涅原理

菲涅耳-基尔霍夫衍射公式

$$\tilde{U}(P)=\frac{-i}{2l}\iint_{(\Sigma_0)}(\cos q+\cos q_0)\tilde{U}_0(Q)\frac{e^{ikr}}{r}d\Sigma$$

设有衍射屏： $\Sigma_0=\Sigma_a+\Sigma_b$ 两屏互补





$$\tilde{U}(P)=\iint\limits_{(\Sigma_0)}=\iint\limits_{(\Sigma_a)}+\iint\limits_{(\Sigma_b)}=\tilde{U}_a(P)+\tilde{U}_b(P)$$

当 $\Sigma_0 \to \infty$

则 $\tilde{U}(P)=\tilde{U}_0(P)$ ---自由波场在P点的复振幅

$$\tilde{U}_0(P)=\tilde{U}_a(P)+\tilde{U}_b(P)$$

利用巴俾涅原理，已知一种衍射屏形成的波场的复振幅或光强，往往可以计算出其互补屏的复振幅和光强。

5.4 衍射的分类

1）衍射系统

光源，衍射屏，接收屏

2）衍射分类

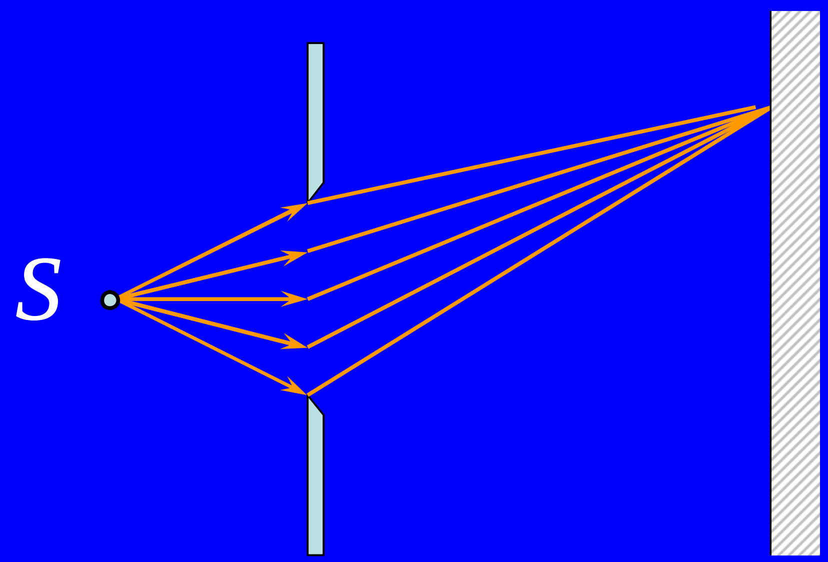
按光源和考察点（光屏）到障碍物距离的不同进行分类

（1）菲涅耳衍射

（2）夫琅和费衍射

(1) 菲涅耳衍射（近场衍射）

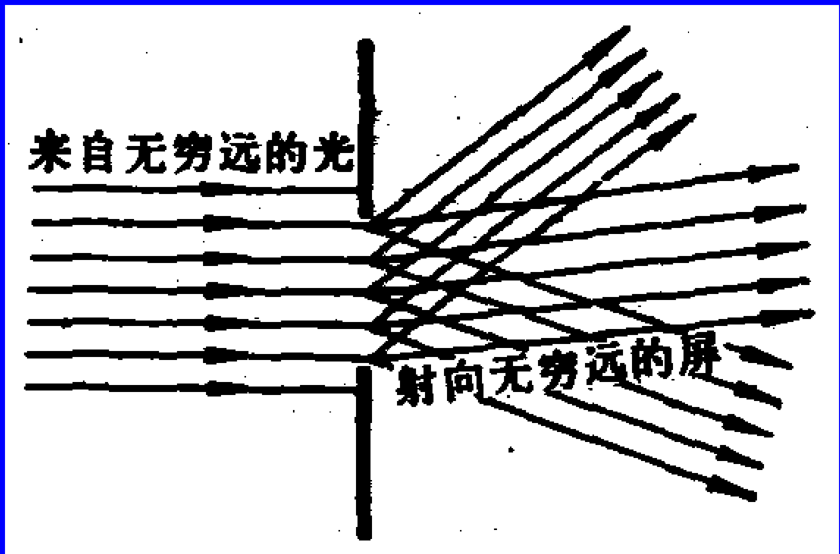
障碍物（孔隙）距光源和光屏的距离都是有限的，或其中之一是有限的。

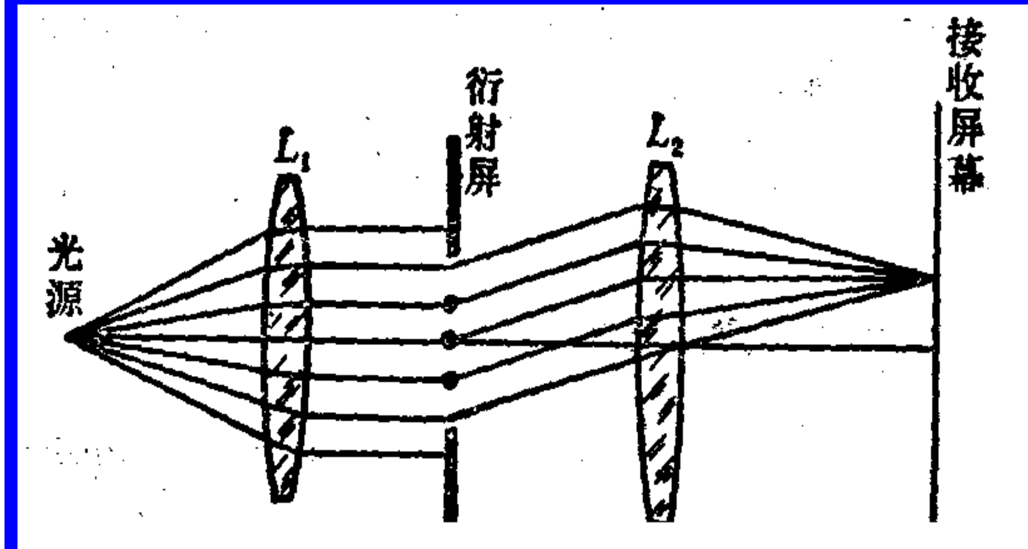


观察比较方便，但定量计算却很复杂（需完成复杂的Fresnel积分）。

(2) 夫琅和费衍射（远场衍射）

光源和接收屏幕距离衍射屏幕无限远





等效形式

作业：

习题：