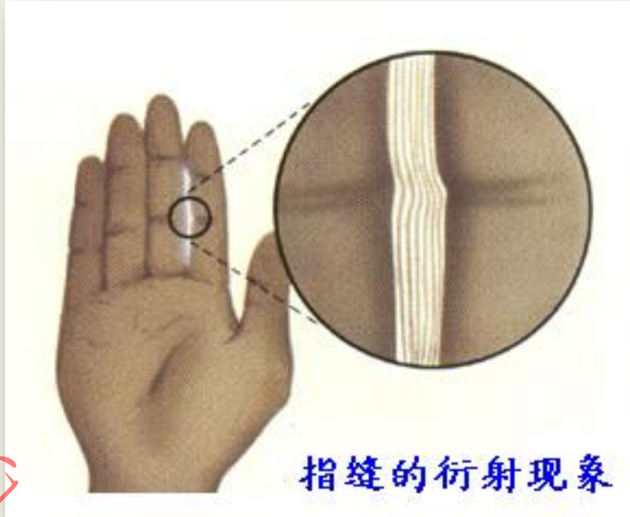
实验2 衍射与信息光学基础实验

博士、副教授 王英

衍射实验现象



光的传输，表现出绕过障碍物传输

1、紧靠小孔处，光斑大小就是几何投影。

2、近场衍射：中央圆斑明暗变化，外产生若干同心圆环。

3、远场衍射：中央光斑不再变暗，越远会增大。

标量场衍射理论

The theory of Diffraction

定性解释：

惠更斯—菲涅尔原理

标量场衍射理论：

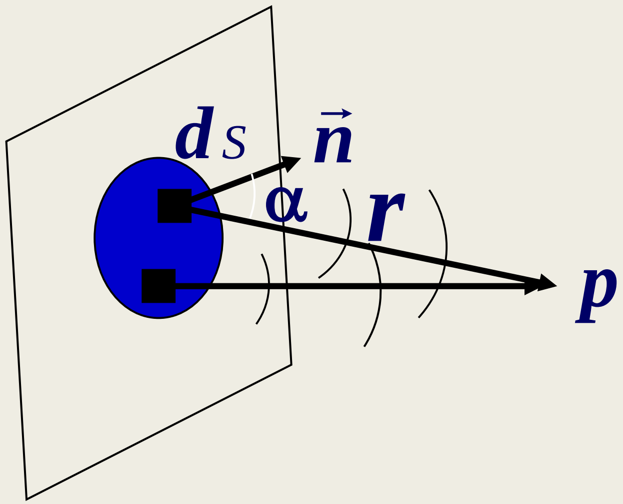
基尔霍夫衍射-点光源分解

傅里叶光学-平面波分解

惠更斯-菲涅尔原理：菲涅尔在惠更斯球面子波之间引入相干性，解释了几何阴影区内光的强弱变化

子波叠加 + 子波干涉的假设。

波阵面上各面积元所发出的球面子波在观察点P的相干叠加决定了P点的合振动及光强。



衍射：无限多、无限小子波的干涉效应。

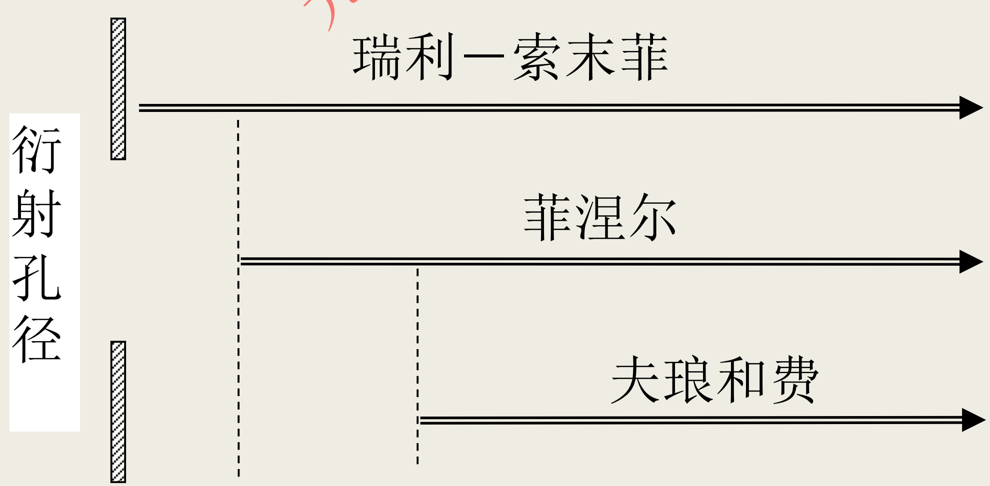
自由空间光束传播 → 有限孔径光束传播 → 衍射屏后光束传输

菲捏尔近场(Fresnel)衍射

$$E(x,y)=\frac{\exp(jkz)}{j\lambda z}\iint_{\Sigma}E(\xi,\eta)\exp\left\{\frac{jk}{2z}\left[(x-\xi)^2+(y-\eta)^2\right]\right\}d\xi d\eta$$

夫琅和费远场(Fraunhofer)衍射

$$\tilde{E}(x,y)=\frac{e^{ikz}}{i\lambda z}e^{\frac{ik}{2z}\left(x^2+y^2\right)}\iint_{-\infty}^{\infty}\tilde{E}(\xi,\eta)e^{-\frac{ik}{z}(x\xi+y\eta)}d\xi d\eta$$



衍射体（光学物体描述）复振幅透过率函数

衍射屏透射系数（透过率函数）：

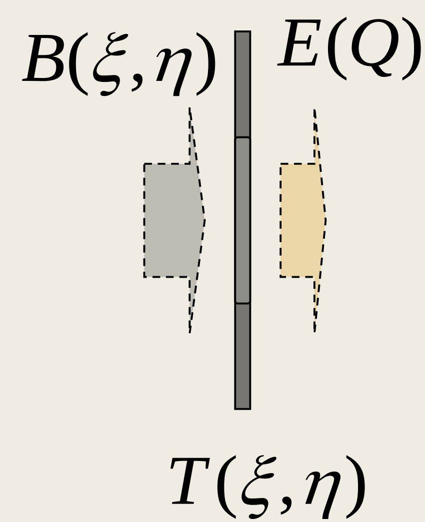
$$T(\xi,\eta)=\begin{cases}|T(\xi,\eta)|\exp[j\Phi_T(\xi,\eta)], & (\xi,\eta)\subset\Sigma \\ 0, & \text{其他}\end{cases}$$

设到达衍射屏的光波复振幅：B(ξ, η)

$$\boxed{E(Q)=B(\xi,\eta)\cdot T(\xi,\eta)}$$

$$\tilde{E}(P)=C\iint_{\Sigma}\tilde{E}(Q)\frac{e^{ikr}}{r}d\sigma$$

$$C=\frac{1}{i\lambda}$$

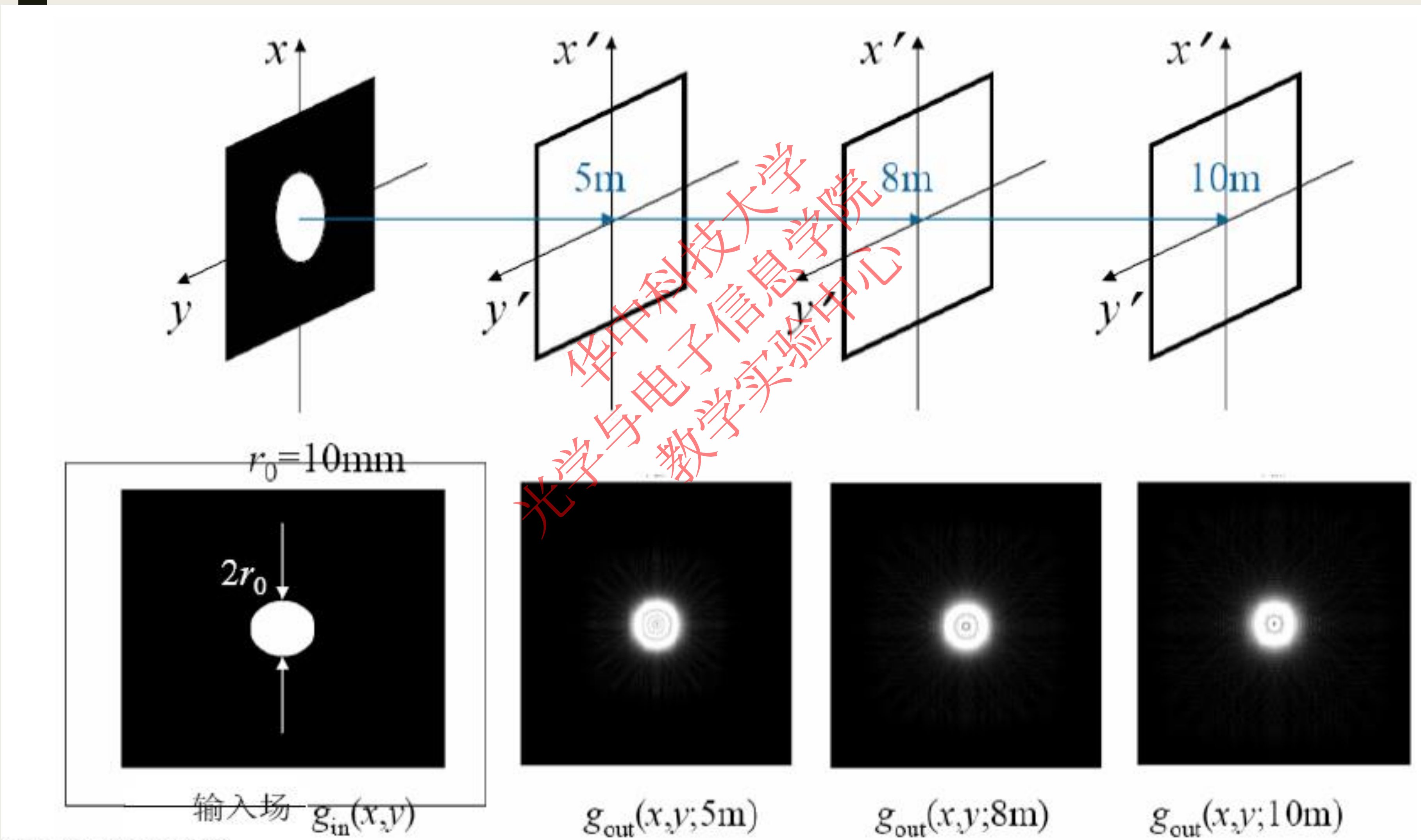


透镜的复振幅透过率函数

- 透镜可看成一个衍射物体
- 当振幅为A的平面波垂直入射衍射物体时，从衍射物体出射的是向焦点会聚的球面波。因此，透镜的复振幅透过率函数为

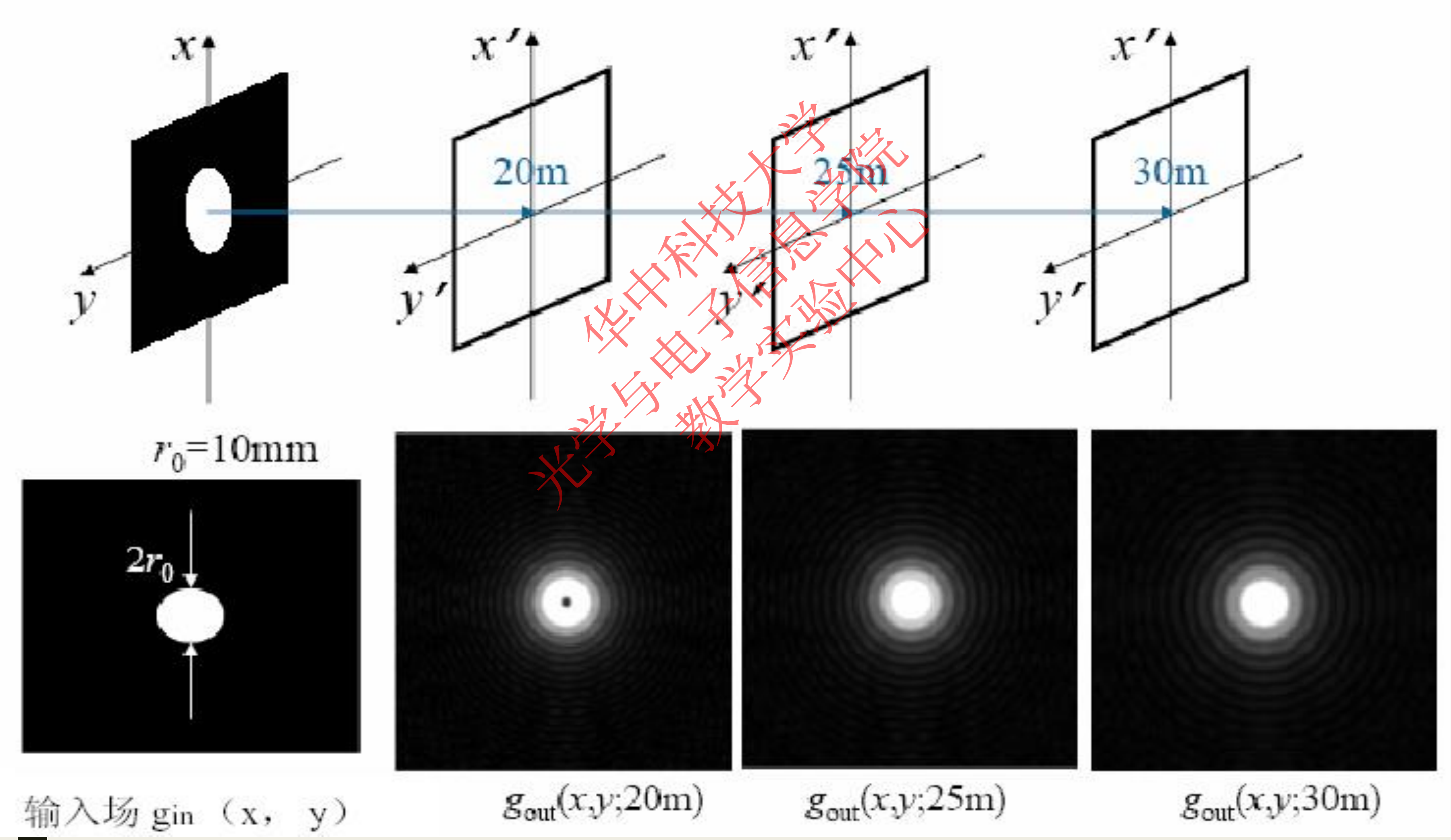
$$t_l(\xi,\eta)=E'(\xi,\eta)/E(\xi,\eta)$$
$$=\exp\left[-jk\left(\xi^2+\eta^2\right)/(2f)\right]$$

近场：圆孔菲涅尔衍射



x
y
x′
y′
5m
8m
10m
r_0=10mm
$2r_0$
输入场 $g_{in}(x,y)$
$g_{out}(x,y;5m)$
$g_{out}(x,y;8m)$
$g_{out}(x,y;10m)$

远场：圆孔夫琅禾费衍射


x
x′
x′
x′
20m
25m
30m
y
y′
y′
y′
r_0=10mm
$2r_0$
输入场 gin （x， y）
$g_{out}(x,y;20m)$
$g_{out}(x,y;25m)$
$g_{out}(x,y;30m)$

近距离上夫琅和费衍射

- 通过加入透镜L，可把远处的夫琅和费衍射转移到焦平面处实现
- 衍射由衍射物体产生，夫琅和费衍射平面Π由光源位置S决定，S和Π对L满足成像关系
- 夫琅和费衍射图样的中心就是光源像中心

成像系统：像的光场也就是衍射屏的夫琅禾费衍射场

以空间频率(u,v) 表示平面波在z=z0平面复振幅

设平面波k在xyz平面内传播，$z = z_0$处的复振幅：

$$E(x,y,z) = A'\cdot \exp\left[i2\pi\left(x\frac{\cos\alpha}{\lambda} + y\frac{\cos\beta}{\lambda} \right)\right]$$

空间频率：　$u = \cos\alpha/\lambda, v = \cos\beta/\lambda$

$$\boxed{E(x) = A'\exp[2\pi i(ux + vy)]}$$

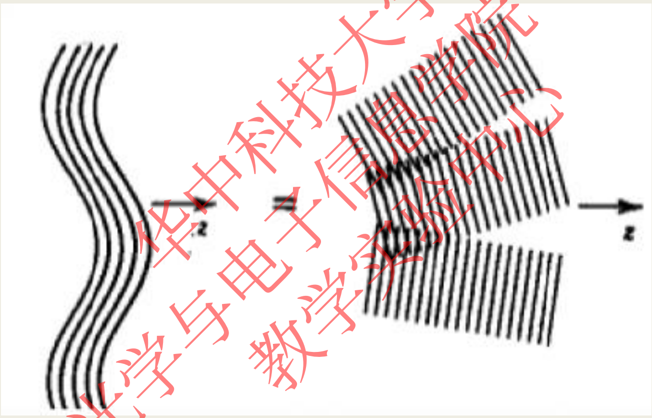
空间角频率：　$k_x = 2\pi u\,,\, k_y = 2\pi v$

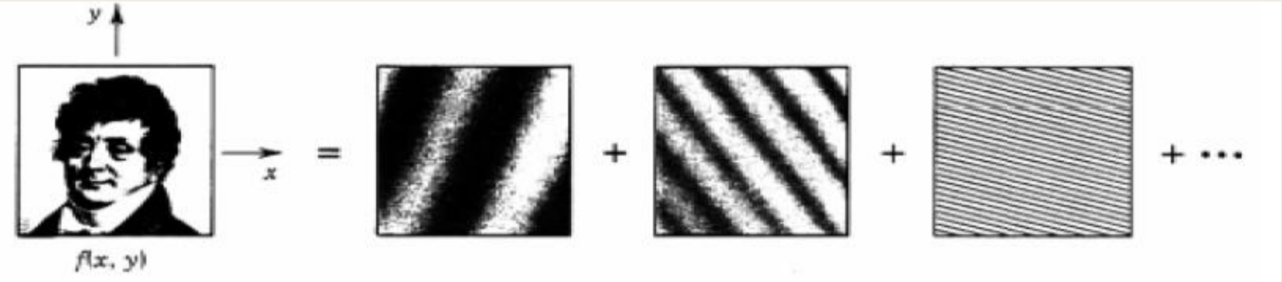
$$\boxed{E(x) = A'\exp\left[i\left(k_x x + k_y y\right)\right]}$$

平面上的空间频率($u = \cos\alpha/\lambda, v = \cos\beta/\lambda$),完备的描述沿方向($\cos\alpha$, $\cos\beta$， $\cos\gamma$)传播的单色平面波。

单色波场中的复杂复振幅

不同传播方向的单色平面波照射在一个观察屏上，观察屏上的复振幅分布由这些平面波叠加而成为一个复杂的复振幅分布。





$$\int^{\infty} F(u,v)\exp[j2\pi(ux+vy)]dudv$$

复杂复振幅的傅里叶分析

对于单色波场中的复杂复振幅分布，可以采用傅里叶分析法，分析其中不同空间频率的平面波各占多少比重，每个空间频率对应一个传播方向的单色波。

（**傅里叶分析**或傅里叶逆变换）：

$$E(x,y)=\iint_{-\infty}^{+\infty}\mathcal{E}(u,v)\exp\left[i2\pi\left(ux+vy\right)\right]dudv$$

$$\boxed{E(x,y)=\mathcal{F}^{-1}\left\{\mathcal{E}(u,v)\right\}}$$

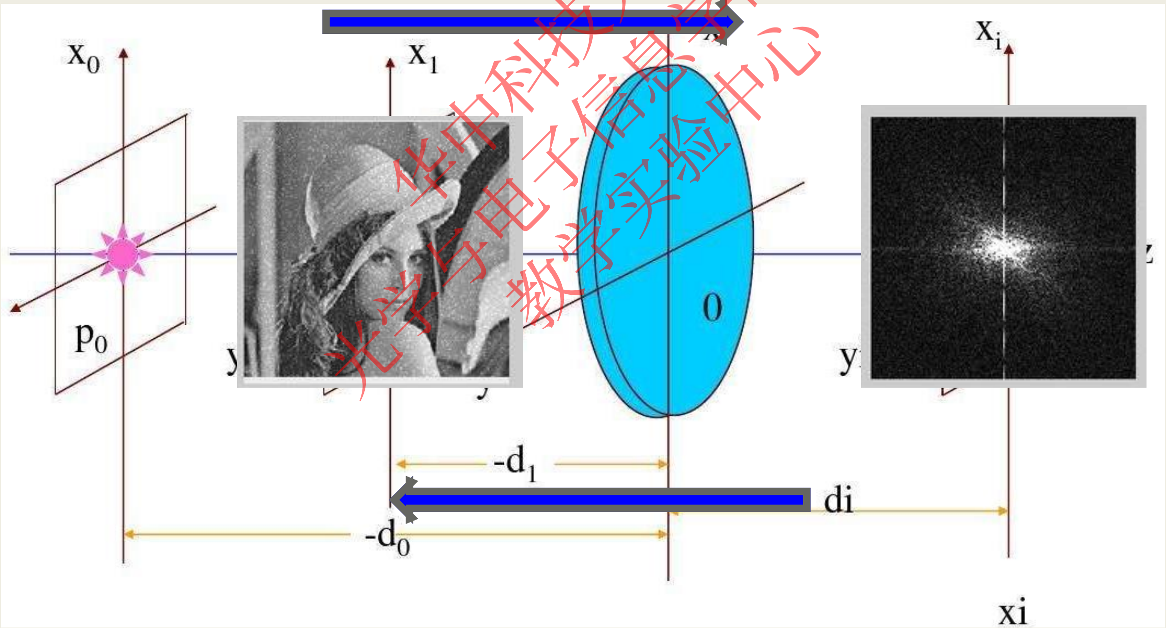
频谱：各频率的单色波成份所占比重（**傅里叶变换**）：

$$\mathcal{E}(u,v)=\iint_{-\infty}^{+\infty}E(x,y)\exp\left[-i2\pi\left(ux+vy\right)\right]dxdy$$

$$\boxed{\mathcal{E}(u,v)=\mathcal{F}\left\{E(x,y)\right\}}$$

透镜可以实现傅里叶变换，利用透镜分析

分析复杂波中都有哪些空间频谱（角谱）成份，各空间频率成份所占比重-傅里叶分析。



空间频率成份分布，按照给定的权重进行叠加，可以合成最初的复杂波-傅里叶变换。

图像的空间频谱

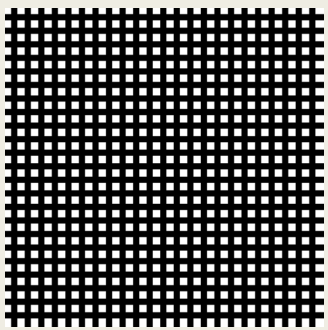
透镜实现空间的傅里叶变换

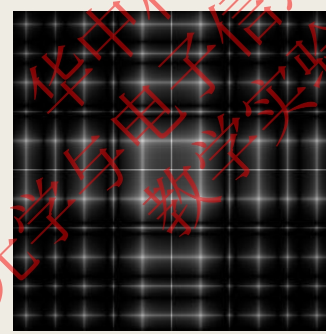
图像的频谱分布

图像

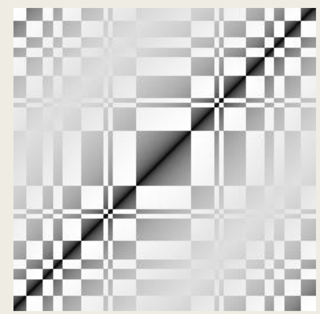
$$E(x,y)=\iint_{-\infty}^{+\infty}\mathcal{E}(u,v)\exp\left[i2\pi\left(ux+vy\right)\right]dudv$$

$$\boxed{\mathcal{E}(u,v)=\mathcal{F}\left\{E(x,y)\right\}}$$





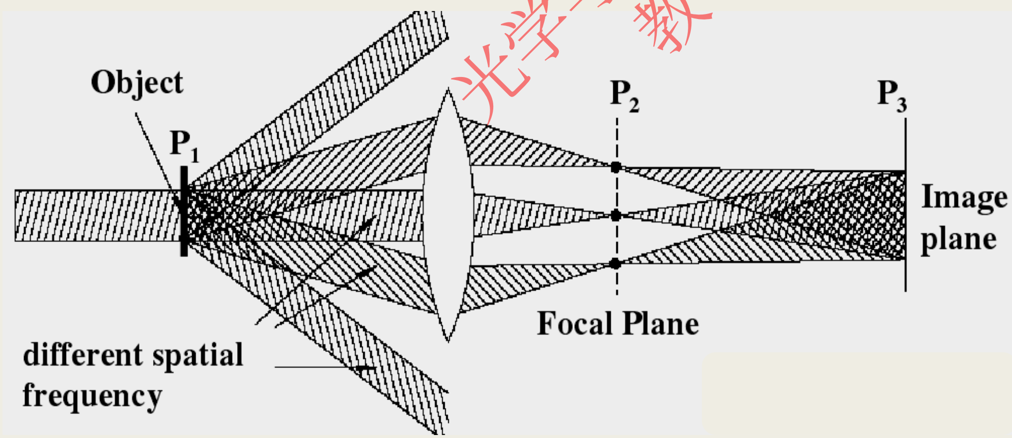
频谱的振幅分布



频谱的相位分布

阿贝成像

- 物体是不同空间频率信息成分的叠加集合。
- 成像过程可分为两步：入射光场经物面发生衍射，形成频谱；频谱面上每一点作为次波源发出次级球面波，这些次级球面波在像面叠加，形成物体的像。



阿贝成像：
物与谱是一个FT
谱与像是一个FT

空间滤波

- 若物面上的所有空间频率成分都能参与成象，则象面的复振幅分布将与物面相同，将得到与原物完全相似像（放大或缩小）。
- 若在空间频谱面上插入滤波器(如狭缝、圆孔等等)，则某些频谱成分将被除去或改变(振幅减小或相位改变)，所成的像就会发生变化，称为空间滤波。

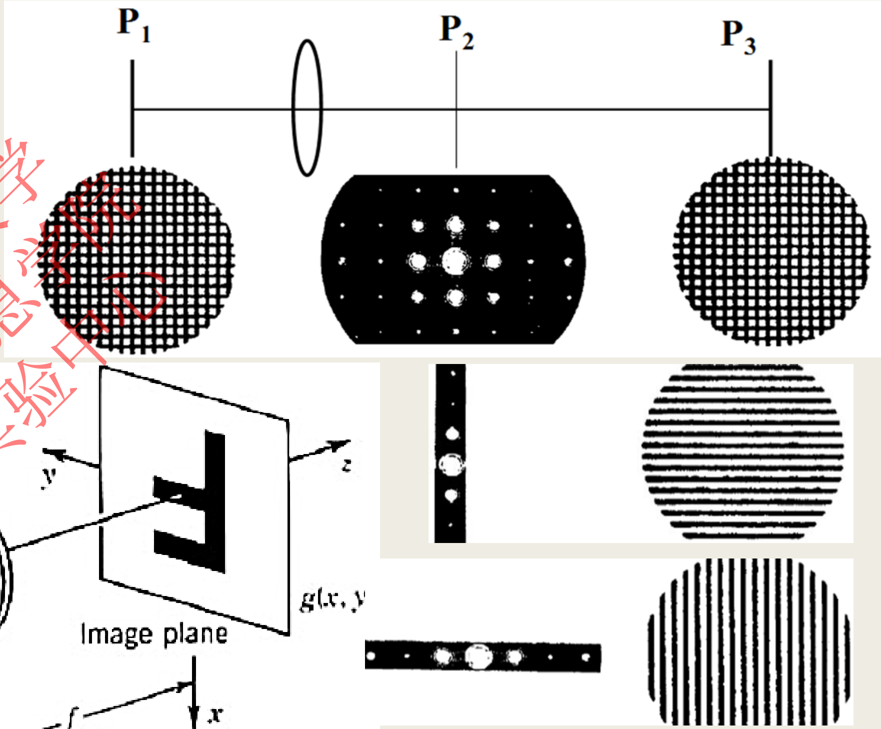
$$f(x,y) \xrightarrow{FT} F(u,v)$$

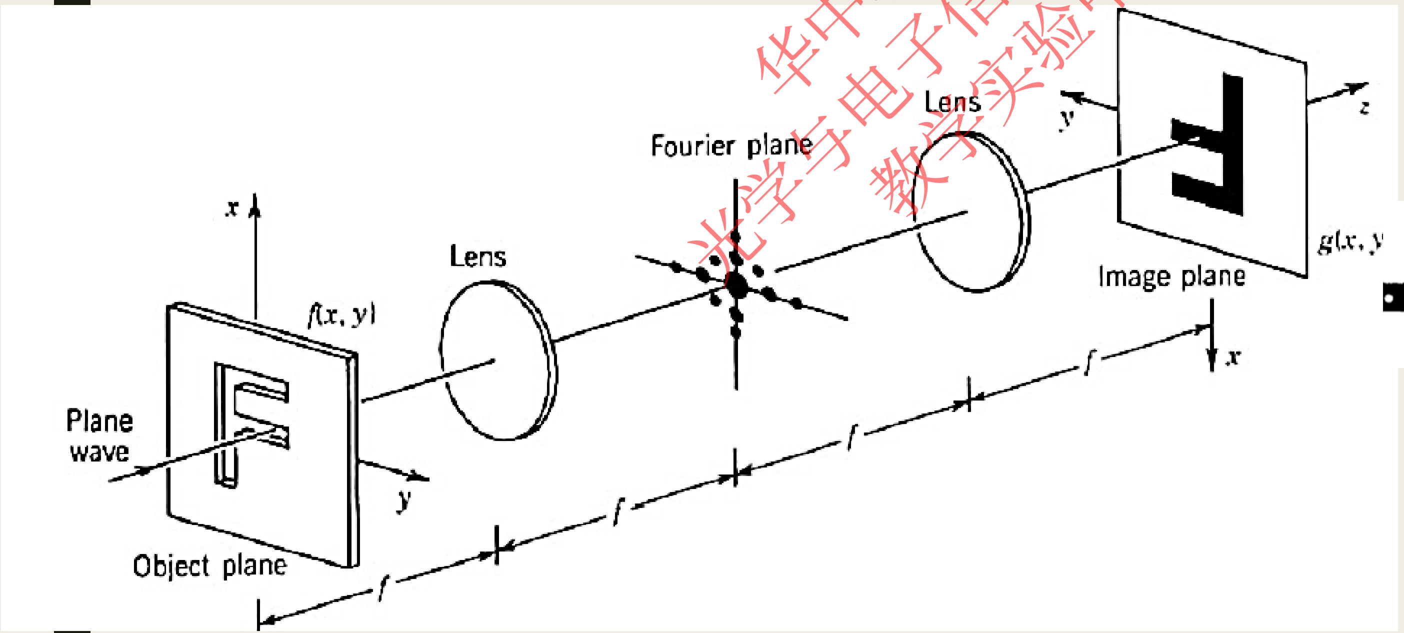
$$\boxed{\begin{array}{c}\underline{F(u,v)H(u,v)}\\ F'(u,v)\end{array}} \xrightarrow{IFT} f'(x,y)$$

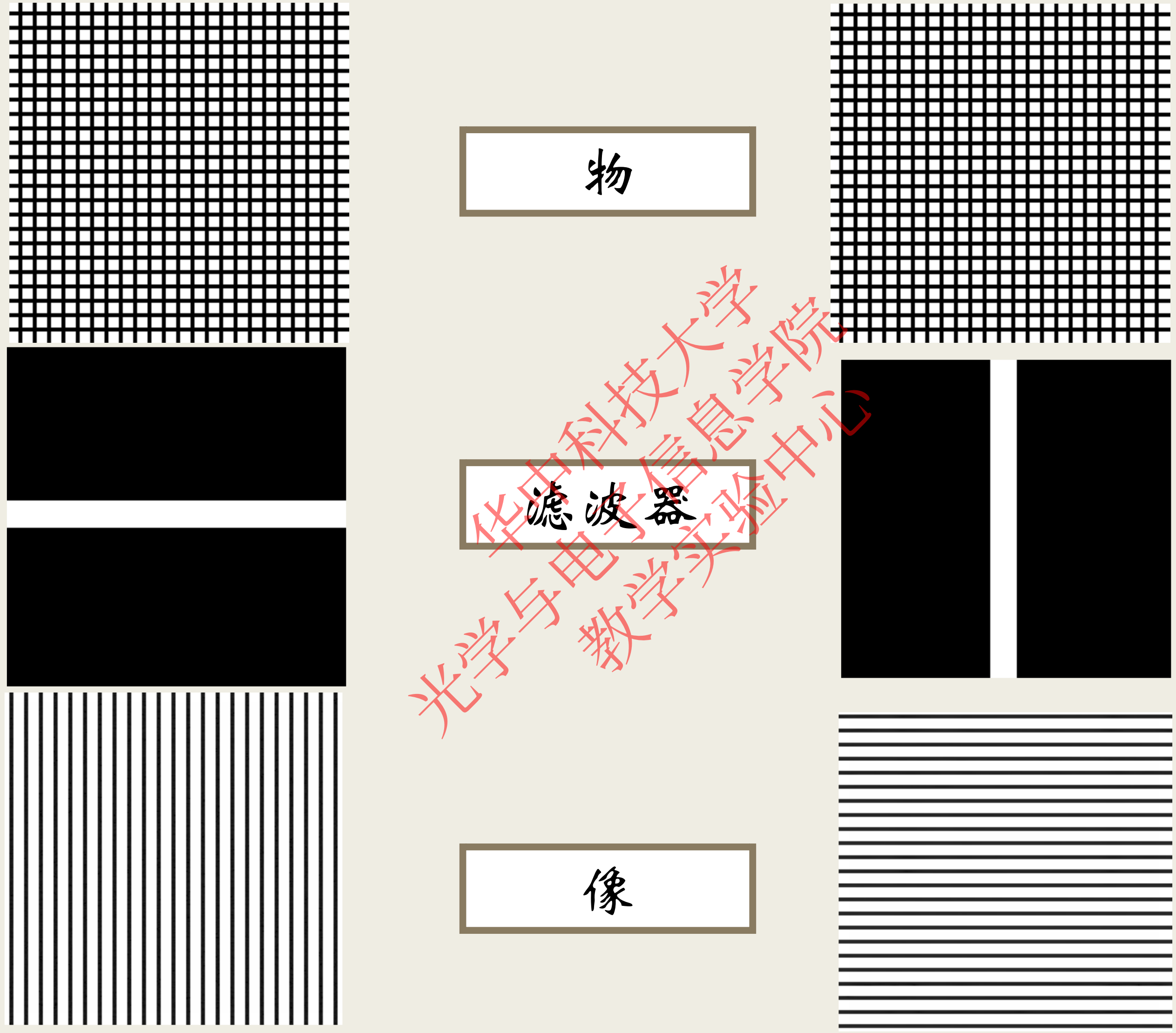
在频域中，滤波操作是乘积：$F'(u,v) = F(u,v)H(u,v)$

在空域中，滤波操作是卷积：$f'(x,y) = f(x,y)*h(x,y)$

光学傅里叶变换和空间滤波






物
滤波器
像

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!