# 阿贝成像原理与空间滤波实验报告

来源：网络 作者：夜幕降临 更新时间：2025-06-03

*阿贝成像原理和空间滤波【实验目的】1．了解阿贝成像原理，懂得透镜孔径对成像的影响．2．了解透镜的傅里叶变换功能及空间频谱的概念．3．了解两种简单的空间滤波．4．掌握在相干光条件下调节多透镜系统的共轴．【实验仪器】光具座，氦氖激光器，溴钨灯(...*

阿贝成像原理和空间滤波

【实验目的】

1．了解阿贝成像原理，懂得透镜孔径对成像的影响．

2．了解透镜的傅里叶变换功能及空间频谱的概念．

3．了解两种简单的空间滤波．

4．掌握在相干光条件下调节多透镜系统的共轴．

【实验仪器】

光具座，氦氖激光器，溴钨灯(12V，50W)及直流电源，薄透镜若干，可变狭缝光阑，可变圆孔光阑，调制用光阑，光栅(一维、正交及调制各一)，光学物屏，游标卡尺，白屏，平面镜．

【实验原理】

阿贝在1873年为德国蔡斯工厂改进显微镜时发现，大孔径的物镜能导致较高的分辨率，这是因为较大的孔径可以收集全部衍射光，这些衍射光到达像平面时相干叠加出较细的细节．例如，用一定空间频率的光栅作为物，并且用单色光加以照明，物后的衍射光到达透镜时(这里先考虑±1级衍射)，当O级与级衍射光到达像平面时，相干叠加成干涉条纹，就是光栅的像；如果单色光波长较长或者L孔径小，只接收了零级光而把级光挡去，那么到达像平面上的只有零级光，就没有条纹出现，我们说像中缺少了这种细节．根据光栅方程，不难算出，物体上细节d能得以在像平面有反映的限制为

(1)

为透镜半径对物点所张的角．换句话说，可分辨的空间频率为

(2)

物平面上细节越细微、即空间频率越高，其后衍射光的角度就越大，更不可能通过透镜的有限孔径到达像平面，当然图像就没有这些细节．透镜就成像光束所携带的空间频率而言，是低通滤波器，其截止频率就是(2)式所示的，．瑞利在1896年认为物平面每一点都发出球面波，各点发出的波在透镜孔径上衍射，到达像面时成为爱里斑，并给出分辨两个点物所成两个模糊像——两个爱里斑的判据．其实阿贝与瑞利两种方法是等价的．

波特在1906年把一个细网格作物(相当于正交光栅)，但他在透镜的焦平面上设置一些孔式屏对焦平面上的衍射亮点(即夫琅和费衍射花样)进行阻挡或允许通过时，得到了许多不同的图像．设焦平面上坐标为，那么与空间频率相应关系为

(3)

(这适用于角度较小时，为焦距，)．焦平面中央亮点对应的是物平面上总的亮度(称为直流分量)，焦平面上离中央亮点较近(远)的光强反映物平面上频率较低(高)的光栅调制度(或可见度)．1934年译尼克在焦平面中央设置一块面积很小的相移板，使直流分量产生位相变化，从而使生物标本中的透明物质不须染色变成明暗图像，因而可研究活的细胞，这种显微镜称为相衬显微镜．为此他在1993年获得诺贝尔奖．在20世纪50年代，通信理论中常用的傅里叶变换被引入光学，60年代激光出现后又提供了相干光源，一种新观点(傅里叶光学)与新技术(光学信息处理)就此发展起来．

物的内容中如含周期性结构，可以看成是各种频率的光栅组合而成，用数学语言讲就是把物展开成空间的傅里叶级数．如物的内容不是周期性的，在数学上就要作傅里叶变换，在物理上可由透镜来实现．可以证明，由于透镜作为位相变换器能把平面波转换为球面波，当单色平面波照射在透明片上[其振幅透射率为]时，如图1中光路所示，透镜后焦平面上光场复振幅分布即为其傅里叶变换

(4)

图1

式中，实际上这也就是的夫琅和费衍射．当不在透镜前焦面上时，后焦面上仍为其傅里叶变换，但要乘上位相弯曲因子．当入射的不是平面波，而是球面波(发散、会聚均可)，则在入射波经透镜(甚至不经透镜)后形成的会聚点所在平面上也是傅里叶变换，只是也附加上了位相弯曲因子．傅里叶变换的例子如函数，函数，函数函数及许多性质的标度、卷积定理都可以由此在物理上演示出来．

如图2所示，在透镜后再设一透镜，则在Q面上的复振幅分布又经过一次傅里叶变换，(5)

物函数的倒置也就是的像．前述在平面波照射下在前焦平面上的时，在照明光会聚点有其傅里叶变换，但要加上位相弯曲因子，该位相弯曲相当于会聚球面波照在傅里叶变换上，到达该球面波会聚点所在平面Q时，也是完成第二次傅里叶变换，只是标度有变化，即像是放大或缩小的．因此从波动光学的观点来看，正是透镜的傅里叶变换功能造成了其成像的功能．这样，就用波动光学的观点叙述了成像过程．这不但说明了几何光学已经说明的透镜成像功能，而且还预示了在频谱平面上设置滤波器可以改变图像的结构，这后者是无法用几何光学来解释的．前述相衬显微镜即是空间滤波的一个成功例子．除了下面实验中的低通滤波、方向滤波及调制等较简单的滤波特例外，还进行特征识别、图像合成、模糊图像复原等较复杂的光学信息处理．因此透镜的傅里叶变换功能的涵义比其成像功能更深刻、更广泛．

图2

【实验内容】

共轴调节．首先，要调激光束平行于光具座（图3），并位于光具座正上方，把屏Q插在光具座滑块上，并移近激光架LS，把LS作上下、左右移动，使光束偏离O，调节LS的俯仰及侧转，使光束又穿过小孔；再把Q推至LS边上，反复调节，直到Q在光具座平移时激光束均穿过O为圆心的孔，以后就不再需要改变LS的位置。

在做以下几个实验时，都要用透镜，在加入透镜L后，如激光束正好射在L的光心上，则在屏Q上的光斑以0为中心，如果光斑不以O为中心，则需调节L的高低

图3

及左右，直到经过L的光束不改变方向(即仍打在0上)为止；此时在Ls处再设带有圆孔P的光屏，从L前后两个表面反射回去的光束回到此P上，如二个光斑套准并正好以P为中心，则说明L的光轴正好就在P、O连线上．不然就要调整L的取向．如光路中有几个透镜，先调离Ls最远的透镜，再逐个由远及近加入其他透镜，每次都保持两个反射光斑套准在P上，透射光斑以O为中心，则光路就一直保持共轴．

1．阿贝成像原理

(1)按图4布置光路．G是空间频率为每毫米几十条的光栅，在实验中作为物．L是焦距为10cm的透镜，移动L使光栅在3m处白屏上成放大的像(也可以用平面镜把光束反射到实验桌上的自屏上，但要用涂金属的那面，不要用玻璃面去反射，为什么?可以试试．)

(2)用白纸插入G之后的光路中并从G处移到L可看到G后

图4

衍射光束逐步分开；再从L移到P处，可看到光束又逐步合到一起，形成光栅像．

(3)在L前设可变圆孔光阑P；在逐步减小光阑时在L后用白纸检查光束被挡去情况，如有三束光通过，则Q上仍有条纹；如仅有一束光通过，Q上就无条纹，也就是不能分辨这个空间频率的细节了(P不一定紧贴在L之前)．

(4)使P上某一圆孔刚能容纳三束光通过，测量G、P距离及圆孔半径，估算G的空间频率．并估算能分辨此频率的最小透镜孔径．

2．波特实验

仍然使用图4中光路，但改为到L的焦平面F上来改变像的空间频率结构．

把毛玻璃放在F面处可看到一系列光点，它们相应于物光栅夫琅和费衍射的0，±1，±2，…级的衍射极大值．用直尺或游标卡尺测出各衍射级离中央亮点的距离，把透镜焦距、所用激光波长与代入(3)式，算出这些亮点对应的空间频率，并与通过物像关系算出的光栅空间频率进行比较(由物距、像距，像上条纹宽度计算)，说明物理意义．利用可变狭缝光阑及小磁块，挡去某些衍射级，观察像屏S上图像的变化情况，并作出解释(可以从傅里叶光学与光波干涉两种观点来解释)．

3．透镜的傅里叶变换功能

按图5(a)布置光路，L1、L2构成扩束准直系统，扩束后光束截面直径增大(倍数为两透镜焦距之比)．输入至输出共距四倍焦距，故可称为系统，是典型的光束信息处理光路，能进行二次傅里叶变换．

用系统直接观察傅里叶变换，有时感到花样较小，不易看清，图5(b)光路中的物屏可放在位置1到2之间，在照明光的会聚点上都可以看到它的夫琅和费衍射，或者说傅里叶变换．自己选择一个位置(在2处，物离Q远，则花样分布较大，便于观察)，先后插入圆孔、双缝、单缝，观察其傅里叶变换光强分布情况并对傅里叶变换的标度性质、卷积定理作出物理解释．设此时P、Q距离为z，则Q空间频率标度为．

图5

4．空间滤波实验

(1)低通滤波

前述阿贝--波特实验中狭缝起的是方向滤波器的作用，可以滤去图像中某个方向的结构．而圆孔可作低通滤波器，滤去图像中高频成分，只让低频成分通过．

①按图6布置好光路，先放人L2，再放入L1，每次都调共轴，经L1扩束后光斑应打在L2中央．放人物屏P后注意P、Q的物像关系，在照明光会聚点设圆孔滤波器F．

图6

本实验物屏中央是透光的“光”字与细网格叠加在一起，网格空间频率约为10条／mm，调P、Q位置，使Q上有清晰的放大像，能看清其网格结构．

②观察F面上频谱分布，可以看到排成十字形的点阵．改变F上圆孔，逐步缩小，在圆孔直径≥lmm时(可以通过多个光点)，仍可看到像中有网格结构，而换到O．5mm直径圆孔时，只允许中央亮点通过，则在Q面上看到了没有网格的“光”字．这是因为“光”的空间频率低，就集中在光轴附近很小范围内．可见小圆孔起到只通过低频的作用．

在更换圆孔时，要特别细心，光轴必须严格穿过小圆孔圆心，才能有良好的实际效果，否则可能“光”字不完整．如试验一段时间未能奏效，可以改用下法：把字屏P移走，把F屏上O．5mm圆孔移在中央，然后细心地用手上下移动圆孔，左右调节滑块座上微动螺旋及前后推移滑块位置，同时观察Q上衍射花样以决定如何移动小圆孔，直到最后出现大而均匀的光斑，再插入物屏P，像屏Q上必有清晰字样(不带网格)．因为此时光束会聚点正好在小圆孔圆心上．

把小圆孔移到中央亮点以外的亮点上，在Q屏上仍能看到不带网格的“光”字，只是较暗淡一些．这说明当物为“光”与网格的乘积时，其傅里叶谱是“光”的谱与网格的谱的卷积，因此每个亮点周围都是“光”的谱，再作傅里叶变换就还原成“光”字．这就演示了傅里叶变换的乘积定理．

(2)用调制产生假彩色

①类似于通信技术中把信号与载波相乘以调制振幅与位相，便于发送；光学信息处理中把图像(信号)与空间载频(光栅)相乘，也起到调制作用，便于进行处理．

本实验中所用的物是由方向不同的一维光栅组合而成的(图7)．用激光束照射不同部位，就可在其后看到不同取向的衍射光线．光栅空间频率约为100条／mm，三组光栅取向各相差600。

图7

②按图8(a)布置光路，S为溴钨灯，L1起聚光作用，在L1后聚光亮点处设滤波器F，注意使S、L1距离大于L1、F距离，以获得较小的亮点．物P紧靠在L1后，F后设L2，L2把P的像成在Q屏上，为了得到较亮的像，最好P、L2距离大于或等于L2、Q距离．

③观察F面频谱的特点：第一，由于输入图像由三个取向不同的光栅构成，每组光栅对应一个衍射方向，衍射光线所在平面垂直于光栅的取向．如把该方向频谱全部挡去，则输出面上相应区域光强就转为零，例如把水平方向的频谱挡去，可以看到像上天空呈黑暗．其余类推．第二，由于照明光是白光，根据光栅方程，每组频谱零频的各色光衍射角均为0，各色光的零级叠加在一起就呈白色；而在其余±1，±2，…级上，波长长的色光衍射角大，因此各级均呈现从紫(在内)到红(在外)的连续的光谱色．

图8

④如图9所示，再次仔细调整共轴，使白光亮点恰好射在滤波器中央F透光处，而六条光谱带恰好从六条狭长孔中穿过．然后用带有铜片的小磁块在屏上移动，使铜片上小孔处在一级谱的某种颜色上，该色光得以通过．使孔1、孔通过黄光，输出平面上天空部分就呈蓝色，同理让孔2与孔通过红光，孔3与孔通过绿光，相应就在输出像中出现红色的房子与绿色的草地．

图9

⑤用白纸在F屏后由近到远移动，观察各衍射级光点的颜色及光斑形状的变化情况，再次思考输入以上光栅取向、频谱面上变色光分布及所携带信息及输出谱形之间的关系．

⑥重新调整滤波孔位置，改变输出图像的色彩，这说明色彩是人为指定的而非天然色．

在实验过程中还有两点须注意：

第一，溴钨灯额定电压为12V，因此为延长使用寿命在调整光路时电压只放在6V左右，在上述第3项调整成功后，才把电压调整到lOV，以观察输出彩色效果，观察后随即把电压调低至6V然后再关电源．电压始终不得超过12V，并不准在12V时关掉电源，否则下次开电源的瞬间，极易烧断灯丝．

第二，光源S的开孔较大，射出的灯光经过光具座的反射，易在输出面Q处增添杂散光，干扰对彩色像的观察，可在P、F各屏的下方用黑纸挡去这些杂光．

【复习思考题】

1．从阿贝成像原理出发，要获得较高的成像分辨率可以采用什么办法?如在照明光波长、物镜孔径已确定后，增大目镜的放大率能否提高分辨率?

2．用惠更斯原理解释低通空间滤波实验中频谱上各次极大亮点均带有“光”字的频谱．在本实验中如滤波孔直径从0.5减小到5，试设想输出图像是什么样的?

3．在调制实验中，物面上没有光栅处原是透明的，像面上相应部位却是暗的，为什么?如果要让这些部位也是亮的，该怎么办，此时还能进行假彩色编码吗?

4．对透镜的功能有何新认识?

本DOCX文档由 www.zciku.com/中词库网 生成，海量范文文档任你选，，为你的工作锦上添花,祝你一臂之力！