

HTML 光学试验演示

摘要：本试验为 HTML 课件演示模拟试验的编写，用 HTML、CSS 与 JSP 语言对双缝干涉、迈克耳孙干涉仪与光栅衍射试验进行了模拟，并可以通过参数调整即时反应得到模拟实验现象对光的干涉与衍射的物理规律进行验证。

一、引言

在普通物理中，光的干涉和衍射是极为基本而有很多应用的现象。诸如杨氏双缝干涉揭示的光的波动性，基于干涉原理的劳埃德镜、牛顿环与薄膜干涉，基于夫琅禾费衍射对光学仪器性能的研究，或者是光栅衍射，都是光干涉衍射现象的重要应用。

本次 HTML 课件模拟试验即通过 HTML、CSS 与 JSP 编程对光的双缝衍射、迈克耳孙干涉仪与衍射光栅实验进行了模拟，基于各物理量关系人为设计合适的参数以在课件网页中直观地模拟实验现象与光强分布图样，同时将部分实验中能调整的物理量设置为可变参数以模拟实验过程。本课题设计旨在直观反映实验现象与参数影响，因此各参数具体数值并不采用实际数值，而采用适用于网页展示的设置值。

二、实验原理

双缝衍射模拟即采用相距一定间隔的相干光源发射光在屏上某点耦合计算光强，根据光强数字绘制光强分布曲线，并转化为 RGB 值绘制干涉条纹。不采用小角近似以模拟不满足缝屏距远大于缝距条件时的实验现象。

对缝距为 d ，缝屏距为 D 的双缝，屏上距纵轴 x 位置处光强

$$I = A \cos^2 \left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin(\arctan(x/D)) \right)$$

根据设定参数计算出光强范围，线性变化使极大值尽量接近 255，即 $n=a \times I$ ， $n < 255$ ，则 RGB(n, n, n) 即可反映屏上此处图像。通过计算屏上各点的 RGB 值并连线即可模拟干涉条纹。光强与波长对 RGB 值的转化并不是线性关系，但 RGB 值的等比例变化可以模拟某一波长光在光强不同时的变化。因此为方便计算与尽量接近现实，本模拟不考虑光的波长变化，只采用光强到 RGB 值的线性变化且不改变三个值的比例。模拟中采用 RGB($n, n, 0$)。

迈克耳孙干涉仪主要应用了等厚干涉与等倾干涉。此处不模拟仪器具体结构只考虑参数与现象。可变参数设定为二反射镜间隔 d 与倾角 a 。以屏中心为原点， (x, y) 处等倾干涉光强分布。

$$I = A \cos^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} \left(2d \cos \theta + \frac{\lambda}{2} \right) \right)$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{h} \right)$$

参数 h 根据图样效果选取合适值。

等厚干涉光强分布(以 x 向倾斜为例)。

$$I = A \cos^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} \left(2x \tan a + \frac{\lambda}{2} \right) \right)$$

将等厚干涉与等倾干涉下的相位差相加即为总相位差，即可计算光强。求出屏范围内所有点的光强转化为 RGB 值绘图即可得到模拟干涉条纹图像。理

论上等厚干涉条纹为平行明暗相间直条纹, 等倾干涉为明暗相间同心圆, 调整倾角参数可观察到两种条纹的转化。

衍射光栅须同时考虑夫琅禾费衍射与多缝干涉. 夫琅禾费衍射需要在光栅前放置透镜以汇聚平行光束. 模拟网页中画出透镜. 在缝宽 a , 缝距 b , 缝数 N , 所研究点到光栅中心与轴线夹角 θ 情况下, 单缝夫琅禾费衍射对光强影响

$$I = A\left(\frac{\sin u}{u}\right)^2, u = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad [1]$$

多缝衍射对光强影响

$$I = A\left(\frac{\sin N\beta}{\sin \beta}\right)^2, \beta = \frac{\pi(a+b)}{\lambda} \sin \theta$$

将两项相乘即可得到光栅衍射的光强分布. 由前述方法转化为 RGB 值即可绘制衍射图像

三、实验装置及过程

程序方面用 HTML 写好网页, 设置可变参数如缝距、缝屏距、迈克耳孙干涉仪倾角与镜间距、缝宽、缝数为 `<input>` 表单标签. 在 JSP 文件中写好计算光强、绘制缝与光屏、绘制干涉与衍射图像的函数, 写以时间为输入参数的绘制 `draw`, 用 `requestAnimationFrame(draw)` 命令在下一帧调用使网页中改变参数能在模拟结果有及时的反应.

各参数设置根据模拟结果做出调整以达到适合网页展示的效果.

四、实验结果及分析

设置演示区域 500×1200 像素, 缝位置于 30 像素处, 屏位置于 200 像素到 1100 像素变化. 模拟画出缝、屏、光强分布曲线与光谱图.

双缝干涉模拟, 参数设定波长项为 1 像素, 幅度值 A 取 40, 计算光强值转化 RGB 值系数为 6, 即光谱模拟的颜色变化范围为 $RGB(0, 0, 0)$ 到 $RGB(240, 240, 0)$.

在满足缝屏距远大于缝间距条件时, 可见条纹等间距, 与小角近似相符. (结果如图 1).

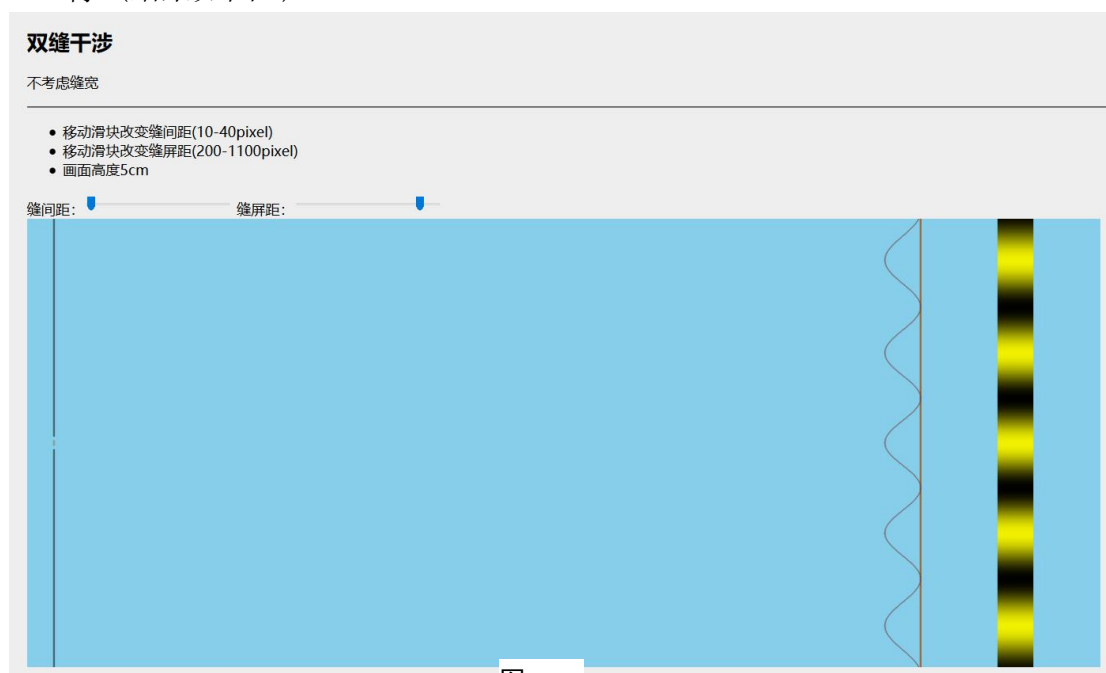
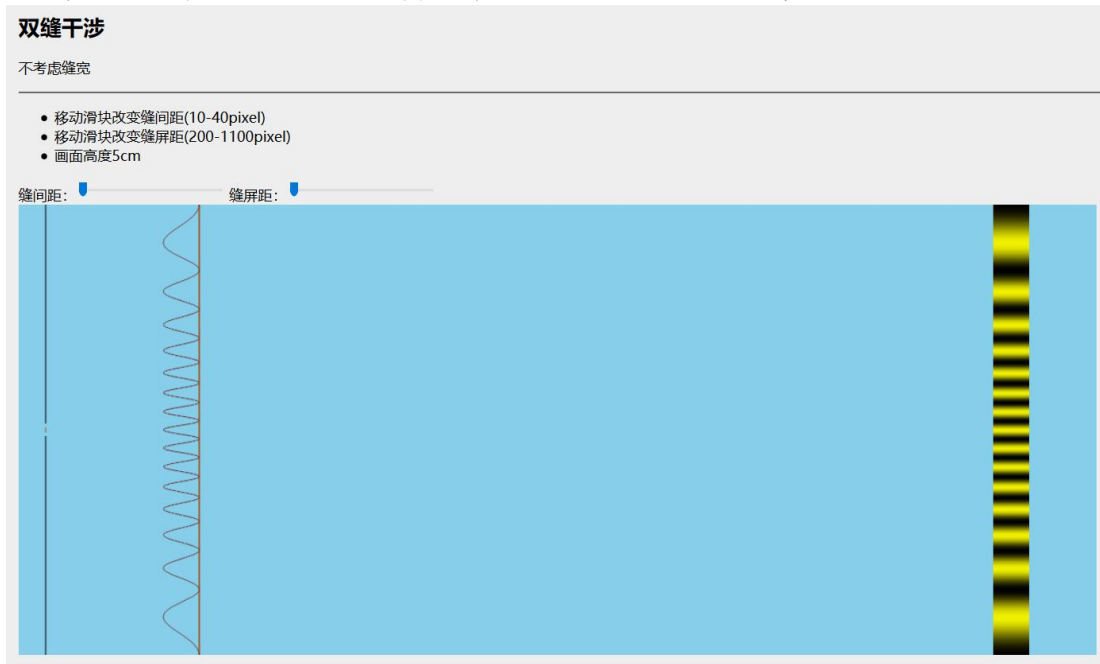


图 1

条件不满足时, 可见条纹间距离缝中心越远而越大, 光强极大值均为最大

图 2

值. 同时缩短缝屏距可以得出条纹间距与缝屏距大小负相关(结果如图 2).



同理随缝间距变大条纹间距会变短. 由于条纹间距过短, 小角近似不成立导致条纹间距不等的现象不明显(结果如图 3).

迈克耳孙干涉仪模拟中参数设置, 反射镜间距变化范围 10 像素到 20 像素,

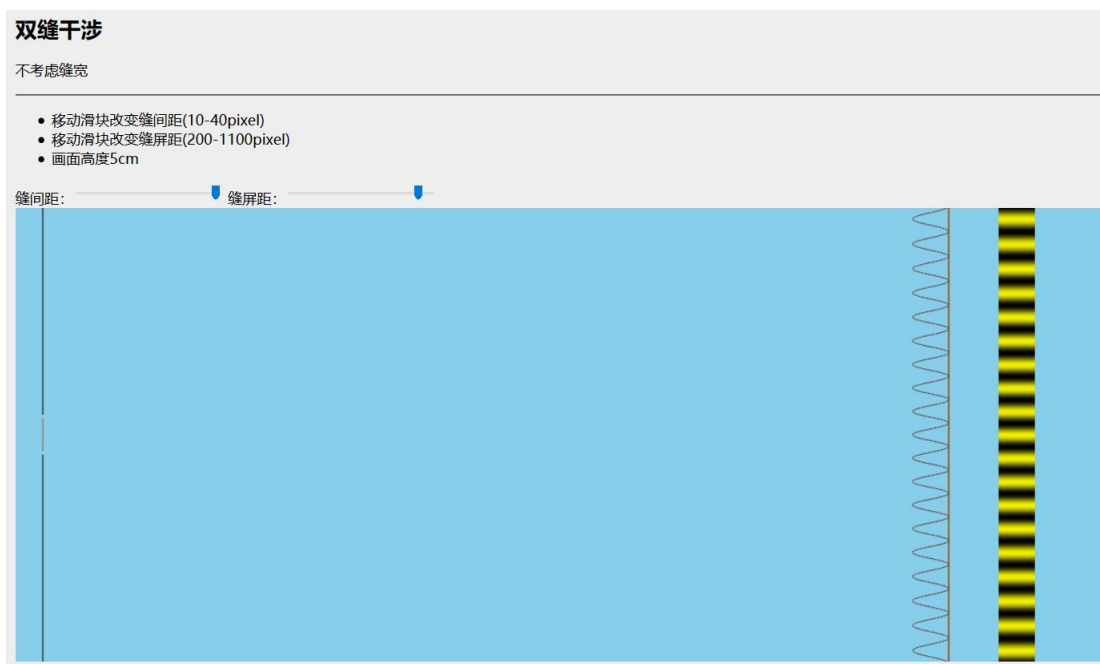


图 3

反射镜相对倾角设置为 0 到 10° , 计算时转化为弧度. 固定参数 h 取 400, 波长取 1 像素像素.

模拟结果可见在反射镜平行时随间距变大, 屏上显示的环数增加(结果如图 4、图 5). 反射镜倾角增加可见同心圆形光强分布像平行条纹分布转化, 最终近似直条纹(结果如图 6、图 7). 另外通过给出镜间距参数值, 本实验可模

拟改变平行镜间距观察同心圆条纹中心吞吐数判断光波长的方法.

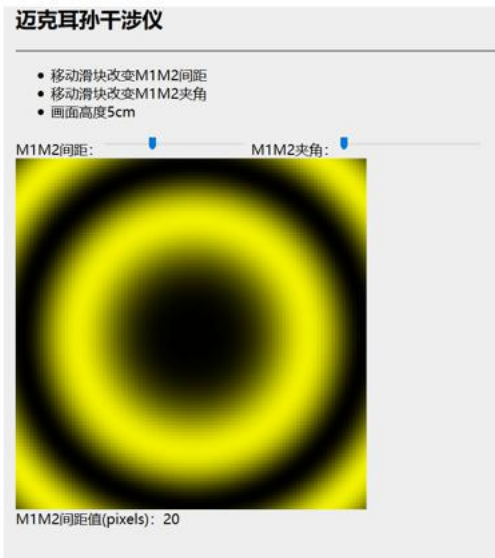


图 4



图 5

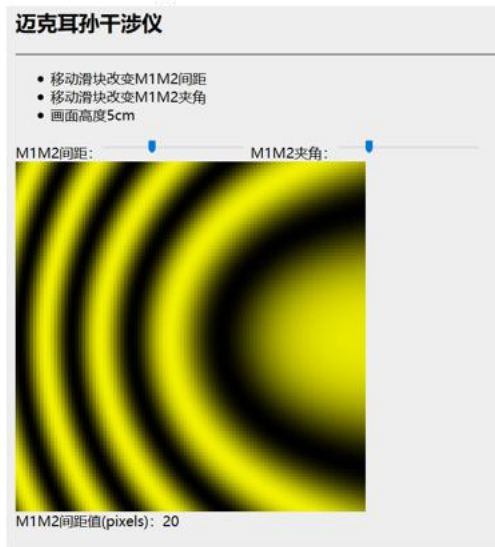


图 6

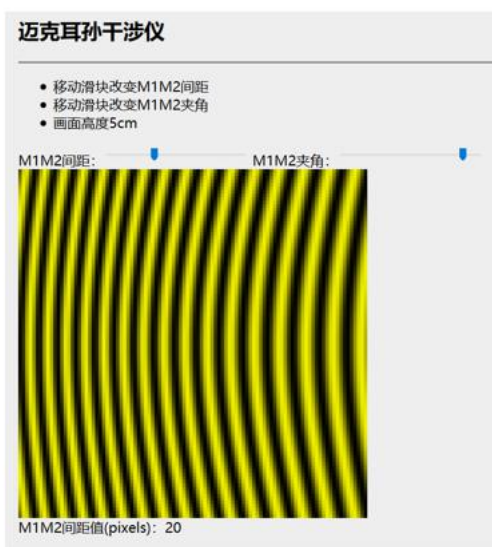


图 7

衍射光栅参数设置在双缝衍射基础上新增缝宽度在1像素到4像素变化,缝数2条到6条变化.初设4缝,缝宽1像素,缝距20像素,缝屏距1000像素时,可见主极大间存在2个次级大,验证了缝数与次级大数差2的结果.主极大包络面与单缝夫琅禾费衍射光强分布相同(结果如图8).通过适当调整参数,可见远离中心的主极大峰值极小,符合夫琅禾费衍射分布(结果如图9).由于光强分布曲线由于屏上相邻二像素光强差别过大,分布曲线不连续,但仍能反映光强分布.由于光栅衍射光强的计算值变化较大,绘制的光谱图像中暗纹不明显.

以上模拟结果可见,本模拟能给出与理论相吻合的结果,通过参数调整直观反映理论中物理量变化的影响.但为了演示需要,参数设置并未使用符合实际的值,而均使用像素为基本单位.这样模拟只反映了各物理量的关系而无法进行定量实验.

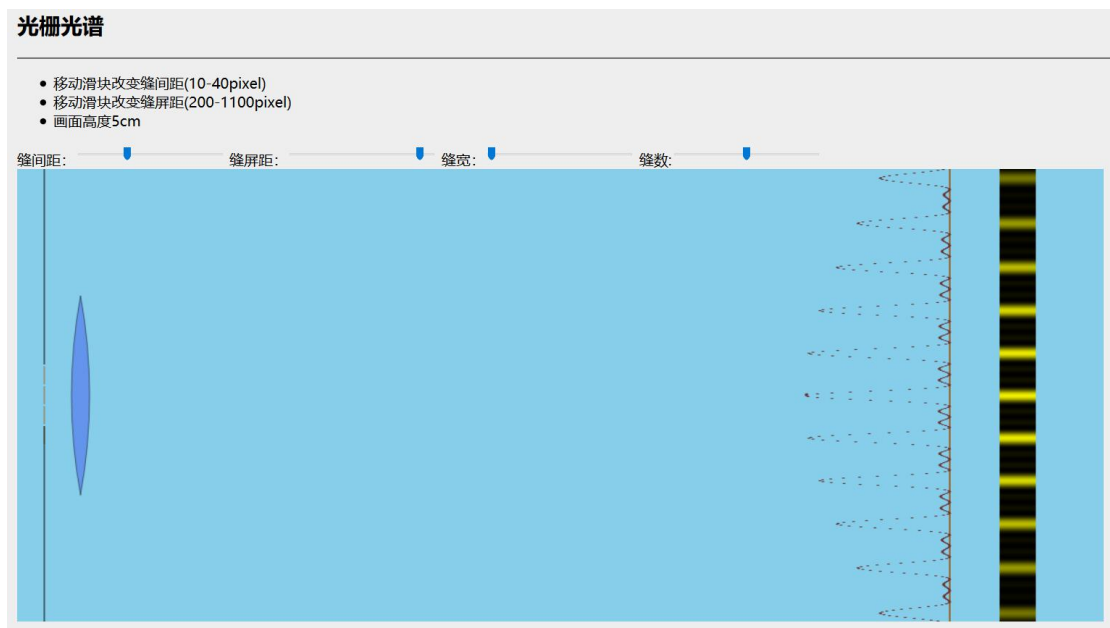


图 8

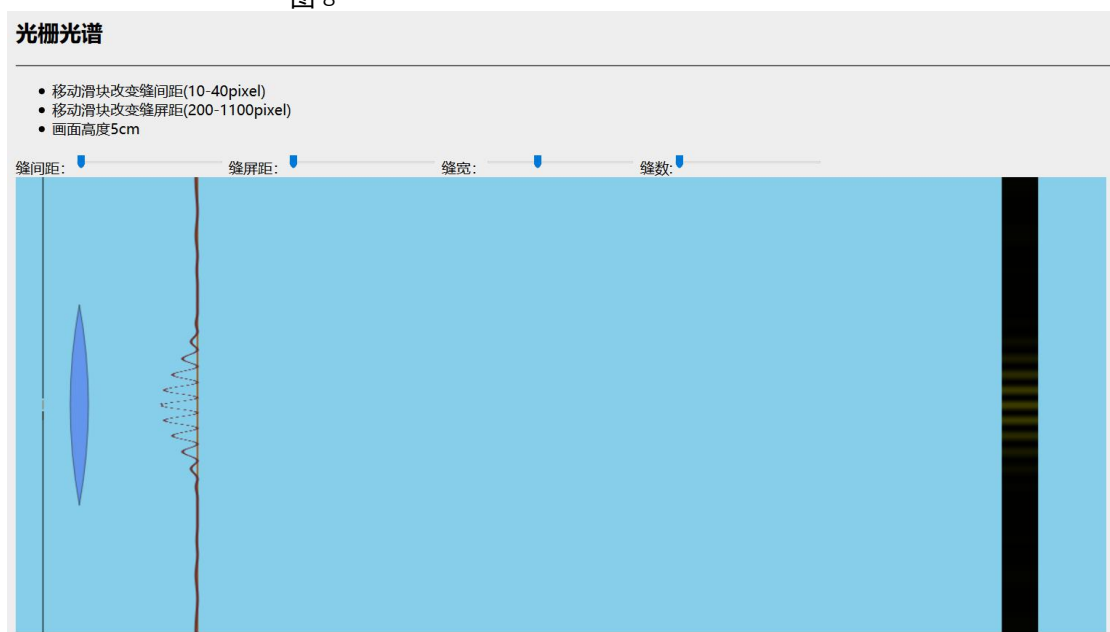


图 9

五、实验结论

本实验通过 HTML 编程对双缝干涉、迈克耳孙干涉仪与衍射光栅进行了模拟, 通过理论计算绘制了光强分布曲线与光谱图像, 并模拟了双缝干涉、等倾干涉、等厚干涉、多缝干涉与单缝夫琅禾费衍射中各参数变化的影响, 直观地反映了实验结果. 模拟中各物理量参数均为像素单位与适于网页演示的自设值而非实际值, 因而无法进行定量实验, 只有定性的演示.

六、参考文献

[1]程守洙、江之永, 普通物理学, 北京: 高等教育出版社, 2016, 158-164