

基于 MATLAB 的复色光杨氏双缝干涉仿真动画设计

作者：孔祥喆 2020213224

廖瑞林 2020213227

吴郑啸 2020213235

余果 2020213229

摘要

双缝干涉在双缝干涉因子和缝间干涉因子的共同作用下，随着缝的宽度，缝到光屏的距离以及缝的数目都会发生各种变化。本文基于杨氏双缝干涉原理，推导了复色光情况下杨氏双缝干涉实验的光屏成像原理。运用 MATLAB 编写程序，模拟复色光双缝干涉实验，生动清晰的呈现复色光条件下，通过改变仿真中的参数值，光屏中出现的不同图案。计算机仿真可以快速准确地显示实验结果，对加深教学中重点难点知识的理解与拓展，提高教学和学生学习的效果有重要意义。

关键词：杨氏双缝干涉，复色光杨氏双缝干涉，MATLAB 仿真

Abstract

Double-slit interference under the combined effect of the double-slit interference factor and the inter-slit interference factor changes in various ways with the width of the slit, the distance from the slit to the light screen and the number of slits. In this paper, based on the Yang's double-slit interference principle, the imaging principle of the light screen for the Yang's double-slit interference experiment in the case of complex light is derived. A program is written in MATLAB to simulate the complex light double-slit interference experiment, and the different patterns appearing in the light screen under the complex light condition are vividly and clearly presented by changing the parameter values in the simulation. The computer simulation can quickly and accurately display the experimental results, which is important for deepening the understanding and expanding the knowledge of key points in teaching and improving the effectiveness of teaching and student learning.

Keywords: Young's double-slit interference, complex chromatic Young's double-slit interference, MATLAB simulation

双缝实验的发展历程

杨氏双缝干涉实验在物理学家们理解光的本质时候起到了重要的作用。早在 17 世纪，牛顿认为光是粒子流。由于牛顿在科学界的崇高威望，除了极少数的反对声音外，这种观点一直在科学界持续了很久。

直到十九世纪，英国物理学家托马斯·杨和其他人用实验证明了光是一种波动，他的实验改变了我们对光的认识。波的一种标志性特征就是“干涉”。1807 年，托马斯·杨第一次提出了光的双缝干涉实验：点光源发出的光通过两个狭缝投射到观测屏，在屏幕上产生明暗相间的“干涉”条纹，这就是双缝干涉。如果通过双缝的是经典粒子，如子弹，则完全观测不到明暗分布的干涉现象，也就是说牛顿的光是粒子观点无法说明光的干涉。而采用波的干涉观点计算出来的明暗条纹分布和实验结果惊人一致，所以说光的杨氏干涉双缝实验完全证明了光的波动性。

1909 年，杰弗里·泰勒爵士设计并且完成了一个很精致的双缝实验。这实验将入射光束的强度大大降低，在任何时间间隔内，平均最多只有一个光子被发射出来。经过很久时间，累积许多光子于摄影胶片后，他发现，仍旧会出现类似的干涉图样。很清楚地，这意味着，虽然每次只有一个光子通过狭缝，这光子可以同时通过两条狭缝，自己与自己互相干涉。

1961 年，蒂宾根大学的克劳斯·约恩松创先地用双缝实验来检试电子的物理行为，他发现电子也会发生干涉现象。

1974 年，皮尔·梅利，在米兰大学的物理实验室里，成功地将电子一粒一粒的发射出来。在探测屏上，他也明确地观察到干涉现象。

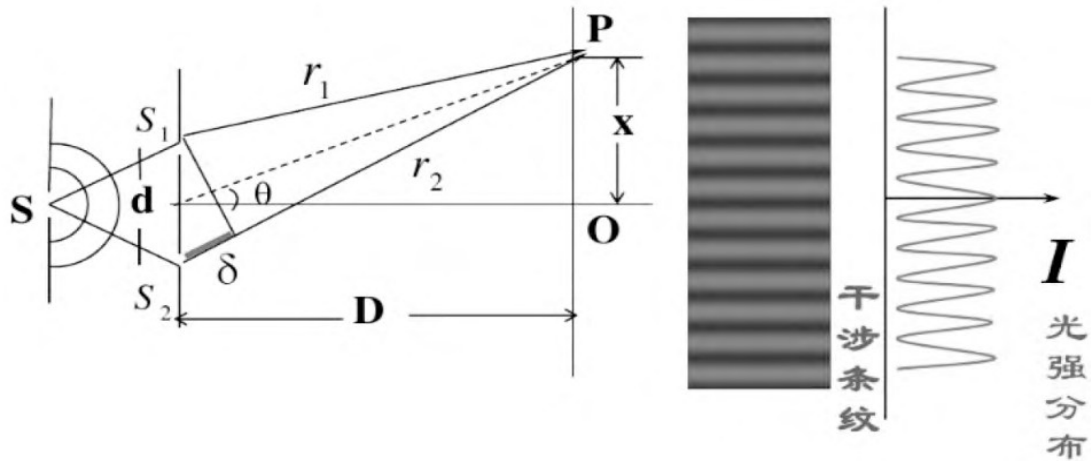
近年来的科学研究，更进一步地发现了，干涉现象并不只限制于像质子、中子、电子等等基本粒子。用双缝实验检试大分子构造，像富勒烯，也能够产生类似的干涉图样。

2012 年，内布拉斯加大学林肯分校的物理系研究团队实现了理查·费曼所描述的双缝思想实验。该实验使用最新仪器，可以随意控制每一条真正狭缝的关闭与开放。该实验检试电子在以下三种状况所出现的物理行为：第一条狭缝开放与第二条狭缝关闭、第一条狭缝关闭与第二条狭缝开放、两条狭缝都开放。实验结果符合量子力学的量子叠加原理，演示出电子的波动性。该实验还探测到电子一个一个的抵达探测屏，演示出电子的粒子性。

利用单色光进行杨氏双缝干涉实验的简述

杨氏双缝干涉实验是一个十分巧妙的实验，托马斯杨利用了分波前的方法构造出了两个相干光源，并借此研究了光的波动性，为当时的科学进步做出了巨大的贡献。

在实验中，我们一般采用激光来进行实验，因为这种光光强较强，光线也比较集中，实验的结果更加清晰。如图一所示，将光源安置好后，在其前方加一个含有一条细缝的不透明薄片，在薄片后安装一个有两个与之平行的细缝的不透明薄片，并确保前一个细缝处在后两条细缝中间的位置。在细缝后较远位置安置一个光屏。



图一[1]

光源经过 S 细缝之后，被过滤掉了一部分，仅留下振动方向与缝隙平行的光，根据惠更斯原理，S 现在相当于一个光源，光线在经过 S 后继续传播，到达距离 S 相等路程的 S1 和 S2 缝隙。此时，S1 和 S2 为相干光源。光线经过 S1 和 S2 后继续传播，最终到达光屏，但由于二者到达同一位置的距离不同，因此产生了相位差，发生了干涉现象，并在光屏上显示出亮暗相间的条纹。

由相干光光强公式：

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi$$

$$\Delta\phi = k(r_1 - r_2) + (\phi_1 - \phi_2)$$

因为是相干光，所以 $\phi_1 - \phi_2 = 0$ ， $r_1 - r_2$ 为光程差， $I_1 = I_2$ 。因为 d 很小而

D 较大，由几何关系可以近似得到光程差 $\delta \approx d \sin \theta$ 。因此，在 δ 不同的情况下，相干光的强度也有所不同。

当 $\delta = \pm m\lambda$ $m = 0, 1, 2 \dots$ 时，相干光加强，出现亮条纹。

当 $\delta = \pm \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$ $m = 1, 2, 3 \dots$ 时，相干光减弱，出现暗条纹。

相邻亮或暗条纹间隔： $\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{D}{d}\lambda$ 。

但是，在托马斯杨的年代，并没有激光发生器，那么他是如何利用普通光源完成实验的呢？因为，物体发光是由于原子跃迁释放能量产生的，因此，普通发光体内部不同的部分，在不同的时间里发出的光都是不相干的。即便使用了双缝，得到的光依旧不完全相干。分波前的解释方法并没有完美解释这个问题，那就是托马斯 杨是如何用普通光源来进行实验的。经过查阅资料，在科学网上的管克英博士撰写了一篇名为“再谈‘一类重要的量子力学基础实验’”的博文，其中就对这个问题进行了思考和解释。

“事实上，由于真空中光（子）的传播在没有受到干涉作用之前走直线，普通光源的经过小孔或小缝到达干涉实验的双孔（或双缝附近）的光（子）绝大部分的确可以看成是来自于光源对应的一个极小区域（有很小面积的点状或狭缝状区域）。历史上一些物理学家是根据数学上的连续性概念，推想由同一光源的极小区域发出的光束可以近似地看成是点光源或线光源发出的干涉光。

这种连续性推想必须依赖如下物理假设：普通光源中，任何一个点的小邻域内不同发光点发射光子的过程及发射的光子不是相互独立，而是相互关联，是相干的，发光点离得越近，关联性及相干性越强。

必须指出，如果上述假设不是事实，那么由普通的光源获得可用的干涉光则不可能，没有激光器时的早期光干涉实验也不可能实现。“[2] 鉴于现在的理论研究仍不充分，本篇文章并没有完全解释其中的原因，但为我们提供了一个假设，可以更好地帮助我们理解当时托马斯杨是如何完成实验观测到了条纹的。

同时，对于现在的双缝实验，不同的试验因素如双缝的缝宽，光源的选择

等也会影响实验的效果。

双缝的缝宽不可以过宽，否则的话可能会将光的衍射性体现出来，双缝的光强分布不再是等亮度的干涉条纹，而是光强会出现涨落，甚至可能出现条纹缺失的现象。[3]在进行实验时，需要仔细控制缝隙的宽度，一般要控制在小于等于 $\frac{\lambda}{4}$ ，否则就会影响最终效果。[4]

对于光源的选择，需要尽量选择光强大，光线集中的光源并在较暗的环境中进行试验。这样有利于实验者对最后的条纹进行观测与分析。

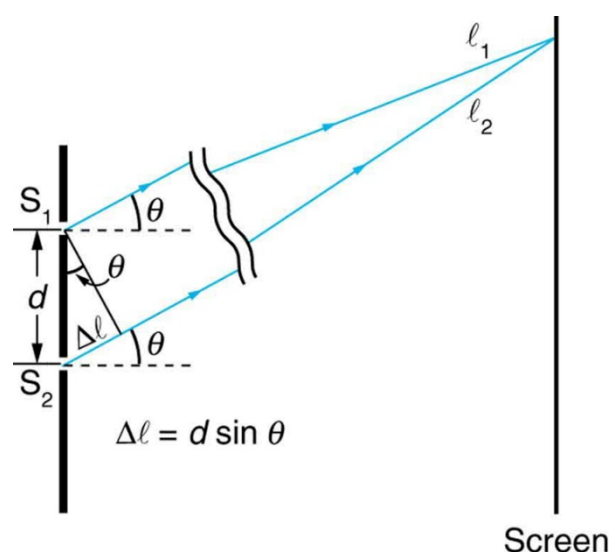
复色光产生双缝干涉的原理

两个相干的光的频率一样是满足干涉条件的，在复色光中的光源比较多、波长长短不一样。在复色光中频率不一样的光波彼此之间是不相干的。不过，在通过两缝射出来的复色光，存在频率一样的单色光，而此时就会发生干涉现象。s 属于复色光光源的时候，那么从 s 所发出来的任一长度波长的任何一个光波均会照在 s_1 与 s_2 上面，因此， s_1 发出的任一光波均可以在 s_2 中寻找与自身相干的波。 s_1 与 s 其实就是满足相干条件的复色光光源，而每一种长度的波长的光都可以在观察屏上面产生一组杨氏条纹。各个波长产生的杨氏条纹叠加起来就会形成干涉图样。因为，各个单色光均处于中央线上面，其相位差均为 0，其振动均需要加强，为此各个单色光可在中央线上出现明纹，所以我们看到中央明纹属于白色的。

用复色光照射，就会在光屏形成多种彩色条纹，条纹分面规律为中间是白色纹，其余各级依次按照波长从小到大依次排列，如白光，为由紫到红的彩色条纹。彩色条纹中，相同波长的光干涉加强的位置与使用单色光时相同。在较高干涉级中，还可以观察到红光越过高级紫光位置的情况。

复色光的杨氏双缝干涉现象可以总结为多种单色光同时从同一个发射源出发，进行杨氏双缝干涉实验，因此在复色光的杨氏双缝干

涉实验中所采用的彩色条纹位置推导公式依旧与单色光相同：



图二[5]

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi$$

$$\Delta\phi = k(r_1 - r_2) + (\phi_1 - \phi_2)$$

每一种单色光对应不同的 λ ，也有着不同的明暗条纹，即：

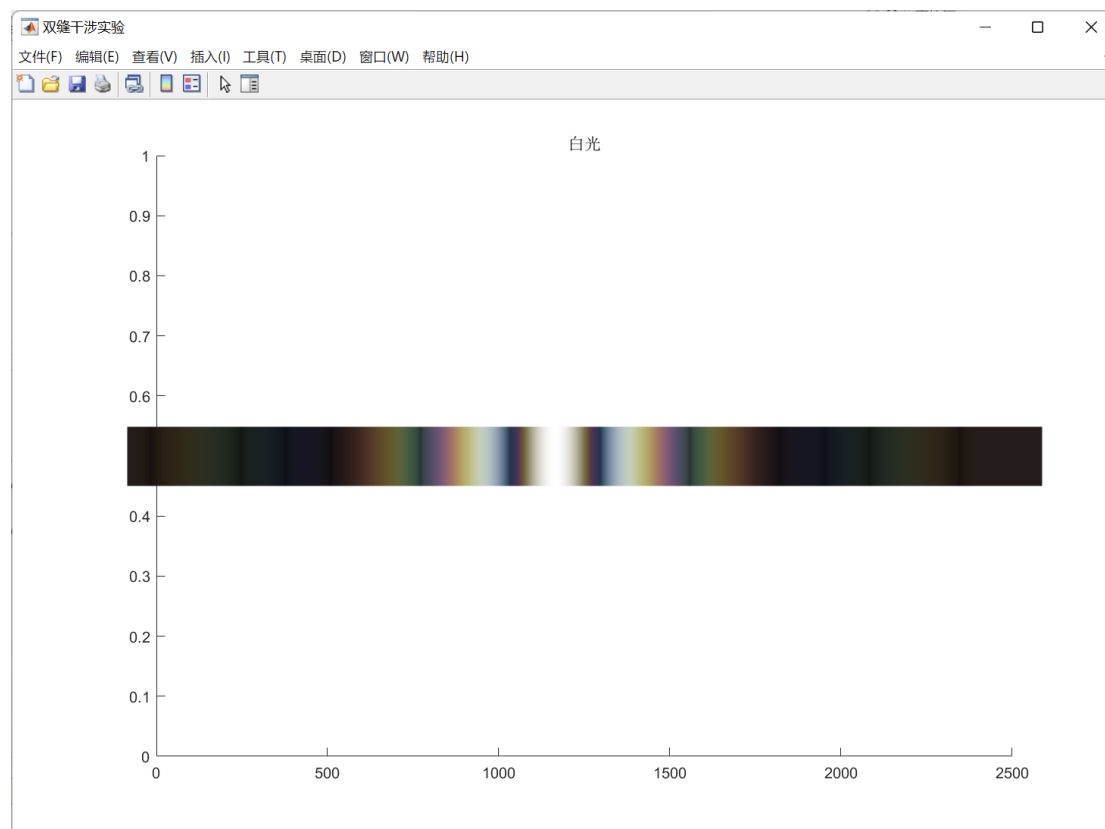
当 $\delta = \pm m\lambda$ $m = 0, 1, 2 \dots$ 时，相干光加强，出现亮条纹。

当 $\delta = \pm \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$ $m = 1, 2, 3 \dots$ 时，相干光减弱，出现暗条纹。

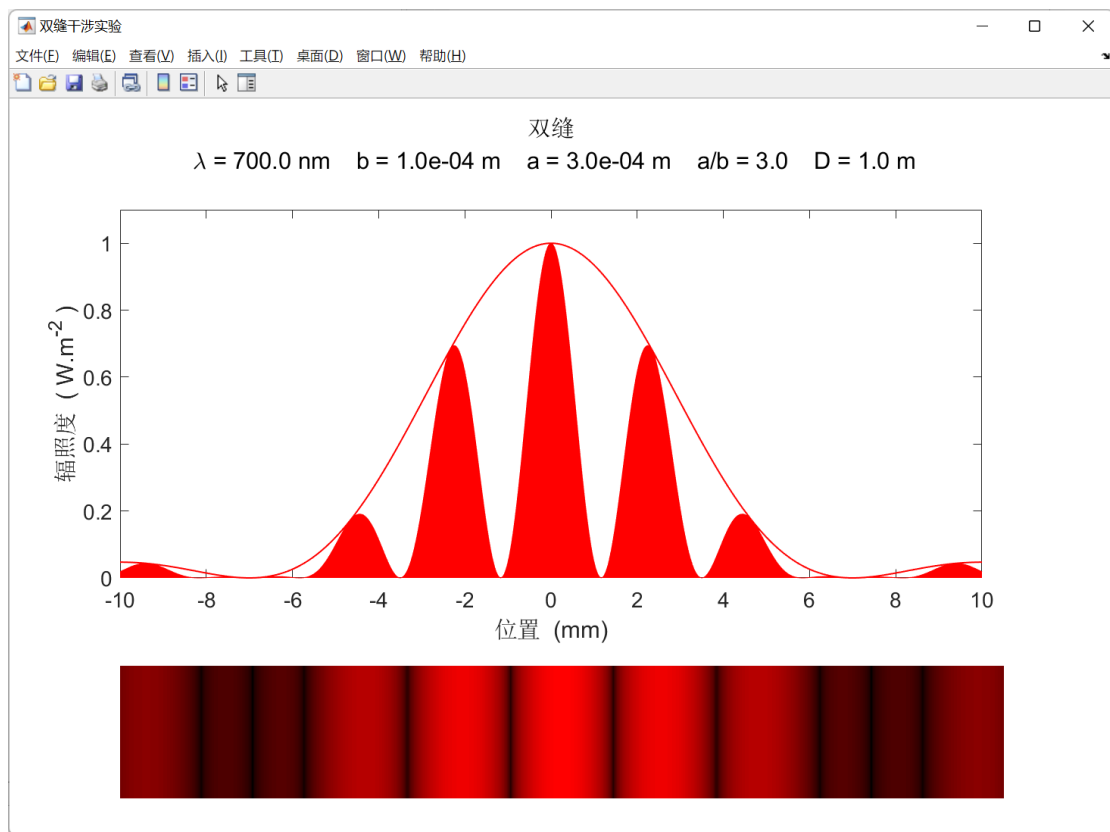
相邻亮或暗条纹间隔： $\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{D}{d}\lambda$ 。

利用 MATLAB 进行的仿真动画

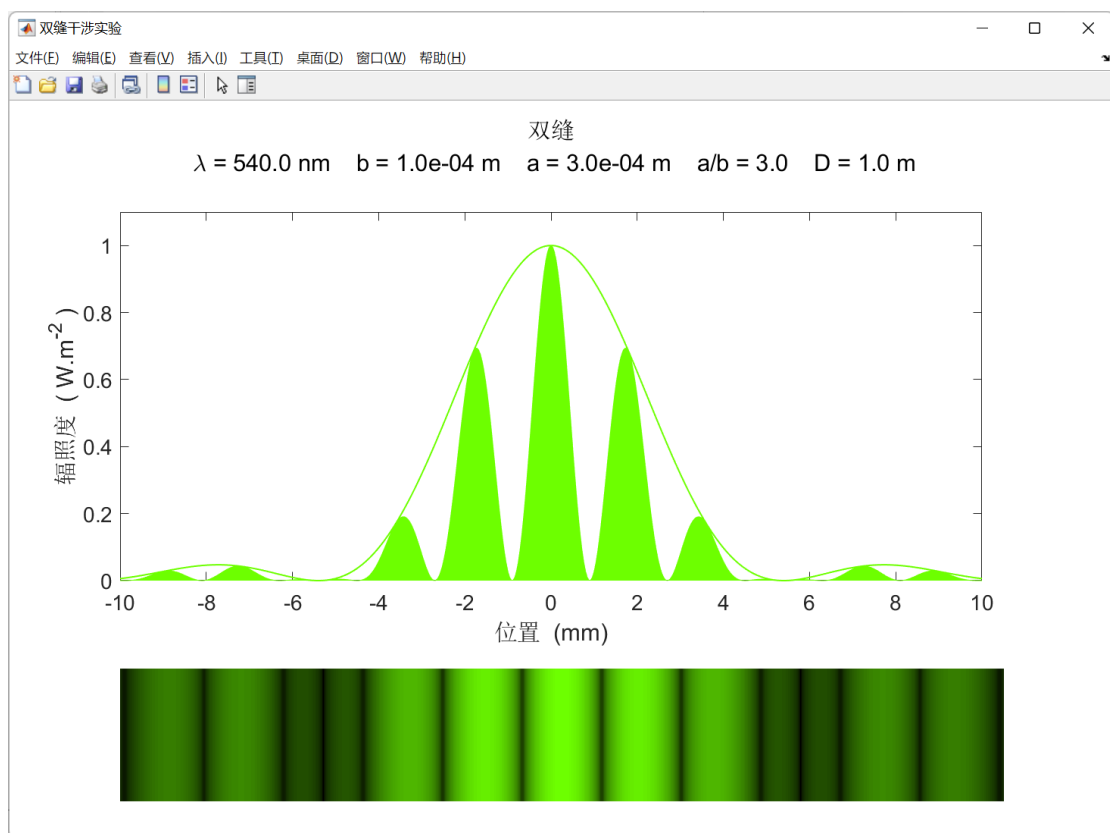
本小组利用 MATLAB 进行了对复色光杨氏双缝干涉的仿真动画绘制，成功实现了光波从三百七十纳米变化到七百纳米的杨氏双缝干涉的变化过程动画，并绘制了白色光杨氏双缝干涉最终的光屏效果。



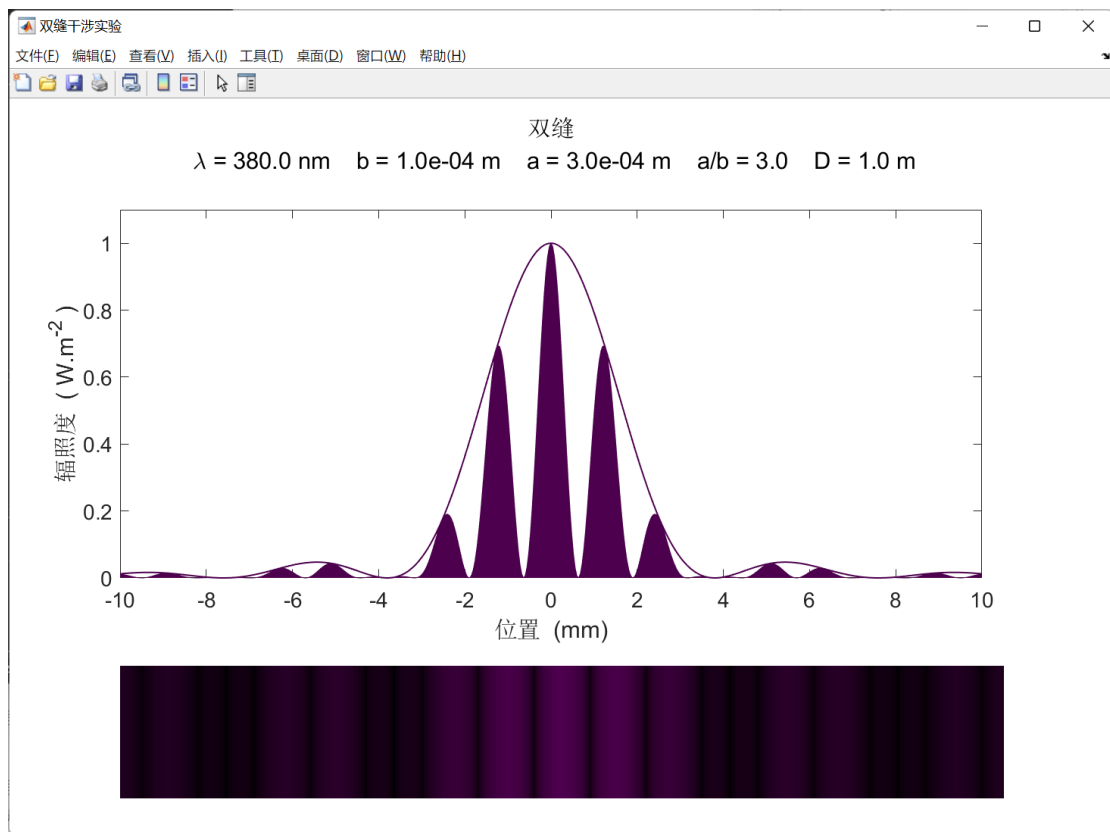
最终的白色光杨氏双缝干涉光屏效果



光波长 700 纳米左右的动画截图



光波长 540 纳米左右的动画截图



光波长 380 纳米左右的动画截图



最初的模拟结果，未经上色版

对于程序的简要介绍：

- 在 `diffraction_2slit.m` 脚本中实现了单色光衍射图案的绘制
- 在 `diffcolbylam.m` 中包含了一个与 `diffraction_2slit.m` 非常相似的函数，用于模块化获取波长 wL 对应的衍射的数据
- 在 `main.m` 中，通过循环调用 `diffcolbylam` 分别求得 380–700nm 光线衍射数据 (通过 `step` 变量修改步长，默认一步 2nm)，求取平均值和混合颜色，并绘制在屏幕上
- 在 `ColorCode.m` 中包含了一个将波长 wL 转换为对应的 RGB 值的函数

程序源代码会随附件一起上交。

结语

本文中，我们从单色光的杨氏双缝干涉原理推导出发，运用 MATLAB 强大的仿真能力，研究了复色光杨氏双缝干涉实验中光屏的像，与现有的理论实验结果相符。本文用复色光进

行仿真，现象明显，图像清晰，不受外界演示条件的限制。充分培养了学生思考问题和解决问题的能力，调动了学生学习兴趣，极大地提高了演示实验效率和学生学习效果。

参考文献：

- [1] 赵爽,周哲海,潘晗,张亚男,李文月. 基于 MATLAB 的杨氏双缝干涉实验仿真[J]. 教育教学论坛, 2019, No. 427 (33):266-268.
- [2] 管克英. 《再谈“一类重要的量子力学基础实验”》[EB/OL]. (2013-3-30) [2021-12-12]. <<https://blog.sciencenet.cn/blog-553379-675319.html>>
- [3] 陈子阳,李浩然,蒲继雄. 杨氏双缝干涉实验中双缝缝宽的讨论[J]. 大学物理实验, 2019, 32 (06):43-46+62. DOI:10. 14139/j. cnki. cn22-1228. 2019. 06. 011.
- [4] 苏婉娥. 杨氏双缝干涉实验的影响因素研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2017, 33 (04):6-8. DOI:10. 13398/j. cnki. issn1673-260x. 2017. 04. 003.
- [5] Young' s Double Slit Experiment. Lumen Learning. ONLINE Available at:<<https://courses.lumenlearning.com/physics/chapter/27-3-youngs-double-slit-experiment/>>