



全参数可调双缝干涉光强分布的 GeoGebra 动态绘图^{*}

王洪涛 石礼伟 李艳

(中国矿业大学物理科学与技术学院 江苏 徐州 221116)

(收稿日期:2019-01-21)

摘要:采用 GeoGebra 动态数学绘图软件实现全参数可调的双缝干涉光强分布绘图,弥补了纸质教材静态显示、理论抽象等的不足.一幅图中涵盖了影响双缝干涉光强分布结果的所有因素,可以直观、形象、生动地展示任意单一参数或多参数协调变化对双缝干涉结果的影响.

关键词:双缝干涉 GeoGebra 参数可调 动态绘图

大学物理课程是本科教育阶段的一门重要的公共基础课程,是“新工科”建设中强调的“厚基础”中的重要组成部分.而物理学内容是由对现实问题的分解、简化、抽象概括出来的,因此物理学知识在大多学生眼中是抽象的、不易理解的,而借助计算机的模拟仿真功能把抽象的物理规律直观化、形象化、生动化,对教学效果的提升有重要的辅助作用^[1].目前有很多方便的绘图或仿真工具软件可以把抽象的理论转化为直观的图形或动画,比如 Matlab^[2], Gnuplot, 等等,但是这些软件有一个共同特点就是需要学习专用的程序代码,不易上手. GeoGebra 是一款包含了几何、代数、表格、图形、统计和微积分等功能的自由的跨平台的动态数学软件^[3],不仅可以方便地通过鼠标点击进行简单的几何绘图,也可以通过代数及指令输入精确绘制复杂的图形,而且还能够方便地通过变量滑动条实现 2D&3D 图形的动态变化演示.目前 GeoGebra 动态绘图已经在初、高中及大学物理教学中得到了一定的应用^[4~6],在物理教学过程中引入 GeoGebra 则可以通过直观的图形来展示抽象的物理过程及规律,加深学生对知识点的理解,在课外研讨环节作为绘图工具推荐给学

生可以提升学生对物理知识的探索兴趣,进一步激发其学习的主观能动性.

1 双缝干涉光强分布

杨氏双缝干涉是大学物理波动光学的一个重要内容,是通过分波阵面方法实现普通光的干涉的典型例子.教学中多采用点光源置于双缝中垂线上,穿过狭缝光线沿小角度干涉的近似条件建立光程差关系,进而得到明暗相间的等间距条纹,条纹分布与双缝宽度、缝屏间距、入射波长有关的结论.杨氏双缝干涉中的点光源是一个理想概念,而且理论推导出的部分结论是在小角度近似条件下成立的,因此在实际干涉过程中理论结论和实验结论之间存在差异,这个差异如果没有被强调指出很容易给学生造成误解.

如图 1 所示,把杨氏双缝干涉的点光源替换为一束平行光且与水平方向成 θ 角方向斜入射到狭缝 A 和 B 上,在双缝后相距 L 处的干涉屏上形成干涉光强的分布图样,干涉屏上 P 点的光强取决于两束光的光程差.

^{*} 中国矿业大学教学改革项目,项目编号:2017JC09;中国矿业大学“十三五”品牌培育专业经费资助.

作者简介:王洪涛(1978-),男,博士,主要从事大学物理理论及实验教学研究.

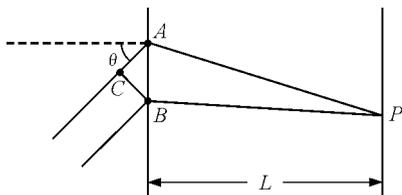


图1 双缝干涉示意图

图中 BC 是垂直于入射光的线段, 根据惠更斯原理可知, B, C 两点具有相同的相位. 设入射光的振动方程为

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0) \quad (1)$$

根据光的传播规律, 当两束光分别经过 A 和 B 两条狭缝传播到 P 点时, 在 P 点的振动方程分别可以表示为

$$x_1 = A\cos\left(\omega t + \varphi_0 - 2\pi \frac{CA + AP}{\lambda}\right) \quad (2)$$

$$x_2 = A\cos\left(\omega t + \varphi_0 - 2\pi \frac{BP}{\lambda}\right) \quad (3)$$

根据叠加原理, P 点合振动的振动方程可以表示为

$$x_P = x_1 + x_2 = 2A\cos\left(\pi \frac{CA + AP - BP}{\lambda}\right) \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 - \pi \frac{CA + AP + BP}{\lambda}\right) \quad (4)$$

其中 $\cos\left(\omega t + \varphi_0 - \pi \frac{CA + AP + BP}{\lambda}\right)$ 为谐振项, 而 $\left|2A\cos\left(\pi \frac{CA + AP - BP}{\lambda}\right)\right|$ 则为振幅项, 而光的强度总是正比于其振幅的平方, 则 P 点的光强可以表示为

$$I_P \propto \left|2A\cos\left(\pi \frac{CA + AP - BP}{\lambda}\right)\right|^2 \quad (5)$$

2 GeoGebra 动态绘图实现

干涉屏上任一点 P 的光强大小根据式(5)可知与入射光波长 λ , 双缝间距 $d = AB$, 缝屏间距 L 及入射平行光的方向角 θ 均有关. 并且在干涉屏上不同点的光强不同, 所以光强分布还同时与干涉屏上的位置有关. 为了能够实现全参数可调, 我们首先需要设定 5 个可调参数, 即在 GeoGebra 中建立 5 个滑动条, 考虑到可见光波长的范围及干涉效果的区分度各参数的取值按照表 1 进行设置.

表 1 滑动条参数设置

名称 & 符号	数据类型	最小值	最大值	增量
双缝间距 d/mm	数字	0	0.02	0.004
入射角度 $\theta/(\text{°})$	角度	0	75	5
入射波长 λ/nm	数字	100	800	100
缝屏间距 L/mm	数字	0.05	0.15	0.05
干涉位置 P/mm	数字	-0.05	0.05	0.000 05

为了绘图输入数据方便, 下述绘图过程中所输入的长度及坐标单位均为 10^{-4} m.

输入 $A = \left(-\frac{d}{2}, 0\right), B = \left(\frac{d}{2}, 0\right)$ 建立双缝位置;

输入 Segment($(-0.5, 0), (0.5, 0)$) 建立双缝位置屏;

输入 $C = (-0.5, L), D = (0.5, L)$, Segment(C, D), 建立可调位置干涉屏;

输入 $E = (P, L)$ 在干涉屏上建立干涉点, 其坐标与 P 和 L 关联;

输入 Segment(A, E), Segment(B, E) 画出两条干涉光线;

输入 $y * \tan \theta - \left(x + \frac{d}{2}\right) = 0$ 建立过 A 点且与竖直向上方向夹角为 θ 的直线, 在直线上取距 A 点为 2 的点 G . 过 B 点作 AG 的平行线, 过 G 点作该平行线的垂线, 垂足为 I , 过 A 点作 IB 的垂线, 垂足为 J ;

输入 $F = \left(\frac{d}{2}, -3\right)$, Segment(B, F) 作辅助虚线;

输入 Segment($(0, 0), (0, L + 0.3)$) 作辅助虚线 Oy ;

输入 Angle(J, B, F) 标注入射角大小;

输入: $W = (P, L + (0.5 * \cos(\pi(\text{Segment}(J, B) + \text{Segment}(B, E) - \text{Segment}(A, E))/\lambda * 10^{\wedge}(-3))))^{\wedge} 2$ 建立由 EW 的高度表示的干涉屏上 P 点的光的强度关系, 其中入射光的振幅 A 根据显示需要可以灵活设置, 这里设为 0.25.

为了显示 W 点在不同位置上的光强大小, 勾选 W 点属性中的“显示踪迹”. 绘制的图像如图 2 所示.

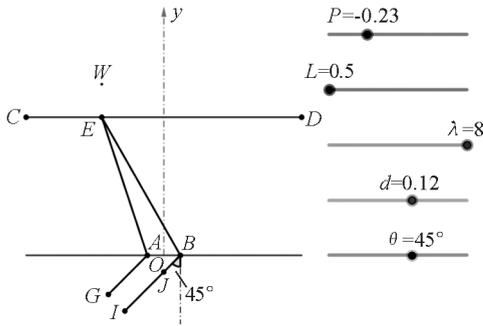


图2 全参数可调的双缝干涉光强分布绘图

3 各参数对光强分布的影响

根据双缝干涉理论,干涉屏上的条纹宽度 $\Delta x = \frac{f\lambda}{d}$,易知条纹宽度与波长及缝屏间距的乘积成正比,而与双缝间距 d 成反比,这个结果可以通过调整相应参数在图中动态地显示出来.如图3所示,在其他参数固定的情况下分别选 $L=0.5, 1.0$ 和 1.5 三个值进行动态绘图,并且通过显示踪迹把光强分布图像保留下来进行对比,可以直观形象地观察到随着 L 的减小,条纹变得密集.

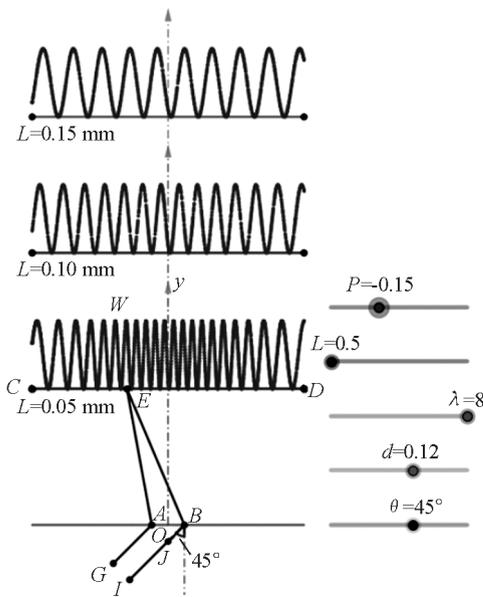


图3 缝屏间距对干涉光强分布的影响

由演示结果还可以观察到当 $L=1.5$ 时,条纹间距基本上相等,而当 $L=0.5$ 时,条纹间距出现了很明显的中间密集两边稀疏的特征.大多教材中只是给出了干涉条纹等间距分布的结论,而较少提及该条纹间距不均匀分布的特征,原因就在于教材上为了简化计算采用了小角度近似,条纹等间距分布的

结论也只在干涉角度很小的情况下成立.而我们采用 GeoGebra 绘图时没有进行简化近似,所以得到的结论是严格的.

同样的,由 GeoGebra 绘制的动态图还可以对比以不同倾角入射的平行光通过双缝后的干涉光强分布.如图4所示,先后选择 $\theta=0$ (垂直入射)和 $\theta=60^\circ$ (斜入射)进行绘图并进行对比.结果显示两种情况下的干涉光强分布图通过横向平移可以完全重合,当入射光的倾角变化时干涉条纹间距不变只是在屏幕上进行了平移,这与理论推导结果一致.平行光倾斜入射在单缝衍射及光栅衍射中都有所涉及,因此也可以通过 GeoGebra 动态绘图演示衍射条纹随入射倾角的变化而变化.由双缝干涉理论可知,条纹间距正比于入射光的波长,图5绘制了垂直入射时波长分别为 $\lambda=400\text{ nm}$ 和 $\lambda=600\text{ nm}$ 情况下的光强分布的对比图,由图可以明显看出此两种情况下对应的干涉条纹的条纹间距之比恰好为 $2:3$.

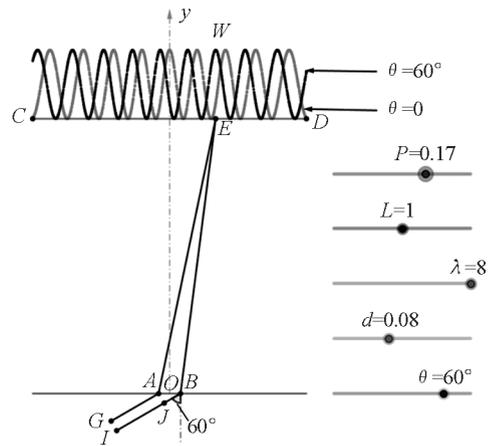


图4 入射光倾角对干涉光强分布的影响

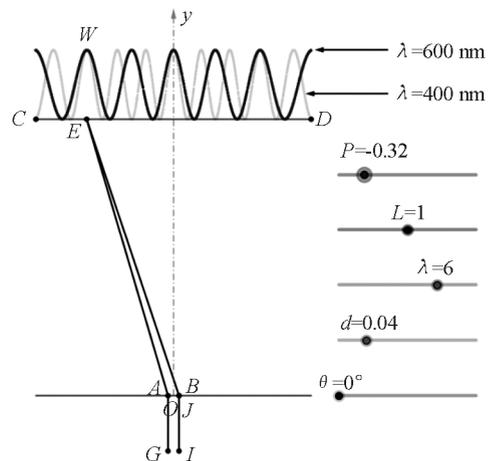


图5 入射光波长对干涉光强分布的影响

条纹宽度与双缝间距成反比的结论可以通过对比图3~图5中波长 $\lambda=8$,缝屏间距 $L=1.0$,双缝间距 d 分别为0.04,0.08和0.12的3种情况,容易看出,在相同的长度范围 CD 内产生的条纹个数随着 d 的增加而增加,即条纹宽度反比于双缝间距.

此方法绘制的干涉光强分布图由于全参数可调,便于对单一或协同的参量变化对干涉结果的影响进行动态观察,并且不必为了简化计算过程而进行近似处理,可以方便地得到双缝干涉的真正的、准确的、直观的光强分布图示.这样一幅全参数可调动态图基本上囊括了双缝干涉教学中的所有知识点,具有较强的示范作用,并且该方法可以在大学物理教学中进行拓展应用,能够极大程度上使相关知识的讲授及学习一体化、动态化.并且GeoGebra绘图过程简单直观,不像Matlab,Mathmatics等专业的程序绘图软件需要额外学习程序语言才能完成相应的任务,在教学实践及学生课下自主探索过程中具有很高的可执行性.

4 总结

本文以波动光学中的双缝干涉为例,采用动态

数学绘图工具GeoGebra进行了全参数可调的动态绘图演示,使学生能够直观地观察到入射角、波长、双缝间距、缝屏间距等参数对双缝干涉光强分布的影响,使学生能够生动直观地理解双缝干涉这一教学内容.而且也给他们提供了一种简单易用的采用动态作图方法理解抽象物理规律的可行方法.此方法不需要专业的程序语言,而且不用为了简化计算而引入近似模型,能够准确、生动地展示物理结果,值得在大学物理教学及学习中进行推广和应用.

参考文献

- 1 钱义先,任志君.虚拟仿真的可视化物理光学课堂教学探索.物理通报,2018(7):22~25
- 2 李海涛,苏艳丽,姜其畅.MATLAB GUI在光学实验教学中的应用.大学物理实验,2017,30(6):105~108
- 3 杨林,刘梅.简单易学的开源动态数学软件——GeoGebra.中国信息技术教育,2018(10):56~59
- 4 盛宝骥.用GeoGebra呈现理想气体状态方程的三维图景.物理通报,2017,36(12):94~96
- 5 殷正徐,吴伟.GeoGebra软件在高中物理课堂教学中的应用案例分析.物理教师,2017,38(10):70~73
- 6 殷正徐.GeoGebra在解决原始物理问题中的应用.物理教学探讨,2017,35(10):55~58

GeoGebra Dynamic Drawing of Light Intensity Distribution for Double – slit Interference with All Adjustable Parameters

Wang Hongtao Shi Liwei Li Yan

(School of Physics Science and Technology,China University of Mining and Technology,Xuzhou,Jiangsu 221116)

Abstract:In this paper,GeoGebra dynamic mathematical drawing software is used to show the intensity distribution of double-slit interference with adjustable parameters. This method makes up for the shortcomings of paper teaching materials,such as static,theoretical and abstract. A picture covers all the factors affecting the results of the double-slit interference light intensity distribution, which can visually and vividly show the influence of any single parameter or multi-parameter coordinated change on the double-slit interference result.

Key words:double-slit interference;GeoGebra;adjustable parameters;dynamic drawing