



杨氏双缝干涉实验的可视化解释

吴迪青 徐文华

(浙江省余姚市第四中学 浙江 余姚 315400)

(收稿日期:2017-06-12)

摘要:杨氏双缝干涉实验是光具有波动性的有力证明,为一探究竟,本文用 Excel 的数和形的结合方法,成功看到了杨氏双缝干涉图样的内在面貌,特别的方法,使得本来不易研究的物理问题变得简单、形象、直观,让我们从另一个侧面看到了光波干涉现象和最本质的东西.

关键词:干涉 数形结合 可视化 叠加

一直好奇于杨氏双缝干涉实验的干涉图样和解释,总想看个究竟,但是苦于现在研究方法的局限和现有理论的抽象,无法看到图样产生的内在的更加具体的机制和可视化解释,用 Excel 的数据和形的结合,才解决了这个困扰多年的问题,第一次看到用 Excel 画出来的干涉图样产生的原理图时,自己都有点不敢相信,把 Excel 的数据和形结合的功能发挥到了极致,成功看到了杨氏双缝干涉图样的内在面貌.

1 杨氏双缝干涉实验的波函数模型

如图 1 所示,是杨氏双缝干涉实验的装置图.

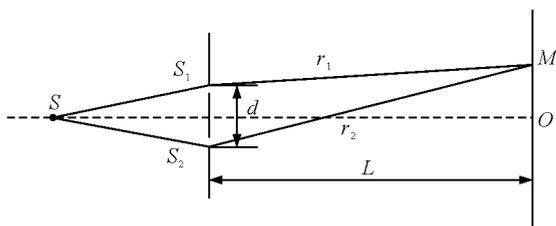


图 1 杨氏双缝干涉装置示意图

点光源 S 经双缝 S_1 和 S_2 , 在光屏上 M 点叠加, 为分析方便只研究图示平面内的叠加, 同时把 S_1 和 S_2 看成点光源, 那么, 光波在 M 点的叠加可以看成平面波的叠加, 经过双缝的两列波函数可设成

$$\psi_1(p, t) = A_1 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_1 + \varphi_{10}\right)$$

$$\psi_2(p, t) = A_2 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_2 + \varphi_{20}\right)$$

其中 p 为空间点 (x, y, z) , r_1 和 r_2 为 M 点到 S_1 和 S_2 的距离, t 为时间变量.

那么在屏幕上的 M 点叠加后的波函数为

$$\psi(t, x) = \psi_1(p, t) + \psi_2(p, t)$$

其中 x 为 M 点到 O 点的距离. 这里不作纯理论推导, 我们用 Excel 的图形功能做可视化的研究.

2 用 Excel 作出叠加后的波函数

2.1 模型的数化

由图 1 中几何关系可知

$$r_1 = \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2} \quad r_2 = \sqrt{L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2}$$

设照射光光波的波长 $\lambda = 6000 \times 10^{-10} \text{ m}$, 光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, 双缝与光屏的距离 $L = 2 \text{ m}$, 双缝间距 $d = 0.2 \text{ mm}$.

2.2 数据形成

D2-D10 列单元格: 时间变量 t , 单元格中依次输入 “=0, =0.25 * 10⁻¹⁵, =0.5 * 10⁻¹⁵, =0.75 * 10⁻¹⁵, =1.0 * 10⁻¹⁵, =1.25 * 10⁻¹⁵, =1.5 * 10⁻¹⁵, =1.75 * 10⁻¹⁵, =2.0 * 10⁻¹⁵”;

E 列单元格: 单缝 S_1 到光屏上 M 点的距离 r_1 ,

E_2 单元格输入公式“= (($B\$6^2$) + ($J2 - (B\$7)/2)^2)^{(1/2)}$ ”,即

$$r_1 = \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$$

的计算式,然后选中 E_2 ,鼠标移动至单元格右下角,出现“+”时,按住鼠标右键向下拖,智能复制公式,形成屏幕上不同位置对应的 r_1 数据;

F 列单元格:单缝 S_2 到光屏上 P 点的距离 r_2 ,操作同 E 列单元格,把公式换成“= (($B_B\$6^2$) + ($J2 + (B\$7)/2)^2)^{(1/2)}$ ”即可,形成 r_2 数据;

G 列单元格:光程差 $r_2 - r_1$, G_2 单元格输入“= $F_2 - E_2$ ”,然后选中 G_2 ,鼠标移动至单元格右下角,出现“+”时,按住鼠标右键向下拖,智能复制公式,对应的 $r_2 - r_1$ 数据;

H 列单元格:经过 S_1 的光在屏幕上对应时间的位移, H_2 单元格输入“= $B\$9 * SIN((B\$3 * D\$2) - (B\$4 * E2) + B\$5)$ ”,即

$$\psi_1(p,t) = A_1 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_1 + \varphi_{10}\right)$$

的计算式,按同样的操作智能复制 H_2 单元格,形成 y_1 数据;

I 列单元格:经过 S_2 的光在屏幕上对应时间形成的位移, I_2 单元格输入“= $C\$9 * SIN((C\$3 * D\$2) - (C\$4 * F2) + C\$5)$ ”,即

$$\psi_2(p,t) = A_2 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_2 + \varphi_{20}\right)$$

的计算式,按同样的操作智能复制 I_2 单元格,形成 y_2 数据;

J 列单元格:光屏上距离中心 O 点为 x 的位置坐标,依次输入“0,0.000 187 5,...”间隔 0.000 187 5,形成 x 数据;

K 列单元格:波 y_1 和 y_2 的叠加, K_2 单元格输入“= $H_2 + I_2$ ”,智能复制形成 $y_1 + y_2$ 数据.

建立好数据后如图 2 所示.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		波函数1	波函数2	时间t	r1	r2	r2-r1	y1	y2	x	y1+y2
2	波长λ	6.000000E-07	0.0000006	0	0	2	0	-2.557920E-04	-2.557920E-04	0	-5.115841E-04
3	角速度ω	3.141593E+15	3.141593E+15	2.5E-16	2	2	1.88E-08	-2.567490E-04	-2.215421E-04	0.000188	-4.782912E-04
4	波数2π/λ	1.047198E+07	1.047198E+07	5E-16	2	2	3.75E-08	-2.252280E-04	-1.322462E-04	0.000375	-3.574742E-04
5	初相位ψ0	0	0	7.5E-16	2	2	5.62E-08	-1.404440E-04	3.050408E-05	0.000563	-1.099399E-04
6	L	2		1E-15	2	2	7.5E-08	1.766123E-05	2.242525E-04	0.00075	2.419137E-04
7	d	2.000000E-04		1.25E-15	2	2	9.37E-08	2.129116E-04	2.940181E-04	0.000938	5.069297E-04
8	波速C	3.000000E+08		1.5E-15	2	2	1.12E-07	2.973690E-04	7.717157E-05	0.001125	3.745406E-04
9	振幅A	0.0003	0.0003	1.75E-15	2	2	1.31E-07	1.000265E-04	-2.578845E-04	0.001313	-1.578581E-04
10				2E-15	2	2	2.000001	1.5E-07	-2.427050E-04	0.0015	-4.190408E-04
11					2.000001	2.000001	1.69E-07	-2.006482E-04	2.578844E-04	0.001688	5.723619E-05
12					2.000001	2.000001	1.87E-07	2.383042E-04	7.717218E-05	0.001875	3.154764E-04
13					2.000001	2.000001	2.06E-07	1.137845E-04	-2.940183E-04	0.002063	-1.802338E-04
14					2.000001	2.000001	2.25E-07	-2.994797E-04	2.242515E-04	0.00225	-7.522824E-05
15					2.000001	2.000002	2.44E-07	1.911693E-04	-3.050206E-05	0.002438	1.606673E-04
16					2.000002	2.000002	2.62E-07	1.913308E-05	-1.322486E-04	0.002625	-1.131155E-04
17					2.000002	2.000002	2.81E-07	-1.778236E-04	2.215445E-04	0.002813	4.372089E-05
18					2.000002	2.000002	3E-07	2.557939E-04	-2.557944E-04	0.003	-5.544588E-04

图 2 初始化数据图

2.3 绘制波形图

2.3.1 选中 J 列和 K 列数据,点击菜单插入图表,

选择带平滑线的散点图,形成两列光波在屏幕上叠加后的波形图,如图 3 所示.

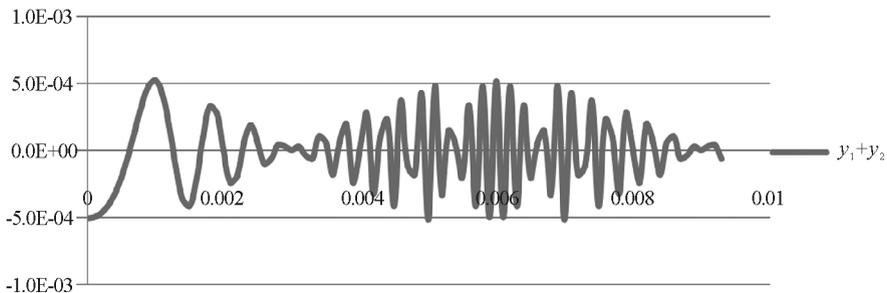


图 3 $t = 0$ s 时的叠加波形图

这是 $t_1 = 0$ s 时对应的波形图,看似杂乱无规律 可言,难道数据错误了? 作时间 $t_2 = 0.25 \times 10^{-15}$ s

的波形图尝试,选中单元格 $H_1, H_2, I_1, I_2, K_1, K_2$ 复制到相应的 L, M, N 单元格,更改名称为 y_{11}, y_{21} 和 $y_{11} + y_{21}$,把 L_2 单元格内容改成“= \$B\$9 * SIN((\$B\$3 * \$D\$3) - (\$B\$4 * E2) + \$B\$5)”,即取 D_3 单元格储存的时间 t ,同理把 M_2 单元格内容

改成“= \$C\$9 * SIN((\$C\$3 * \$D\$3) - (\$C\$4 * F2) + \$C\$5)”,最后选中 L_2, M_2, N_2 智能复制形成 t_2 时间的数据,得到 t_2 时间的波形图,如图 4 所示.

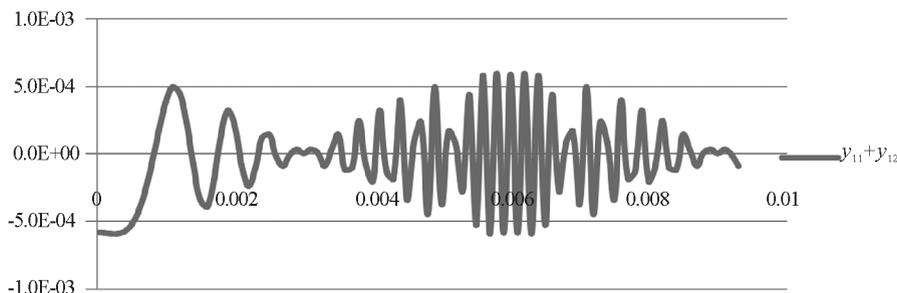


图 4 $t = 0.25 \times 10^{-15}$ s 时的叠加波形图

依然看不出有什么规律.但是仔细比较两图发现 $x=0.003$ m 这一点位移都是零,是不是杨氏双缝干涉的规律本该就是如此,用同样的方法作出其他时间的波形图,把多时间的波形图进行重叠处理,惊

喜地发现了杨氏双缝干涉图像的本质面貌,看多时间叠加图,如图 5 所示,图形的包络线就是该处振动的振幅大小.

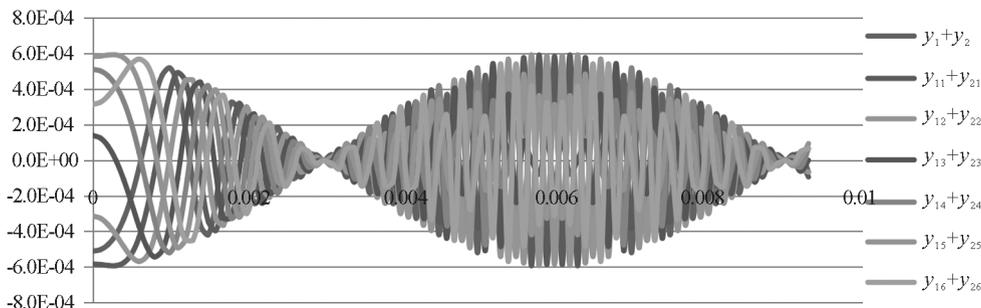


图 5 相差为零的多时间波形叠加图

由光的波动理论可知,光的强度与光波振幅成正比,用 Excel 自动取包络线值,平方后作出光强模拟分布图,如图 6 所示,图中缺陷是线不圆滑,是由于时间间隔取得太大,图线不够多造成图线不精细.

$$x = \frac{L}{d} \lambda = \frac{2}{0.0002} \times 6000 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.006 \text{ m}$$

一级暗条的位置

$$x = \frac{L}{d} \frac{\lambda}{2} = \frac{2}{0.0002} \times \frac{6000 \times 10^{-10}}{2} \text{ m} = 0.003 \text{ m}$$

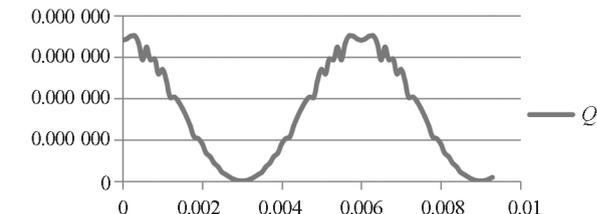


图 6 相差为零的光强模拟分布图

2.3.2 可视化解释

按杨氏双缝干涉实验的规律可知: $x=0$ 处是中央亮条,而一级亮条的位置

图 5 中可以看出, $x=0, x=0.006$ m 处的振幅 $A=0.006$ m,是振动加强的点,分别是中央亮条和一级亮条的中心位置, $x=0.003$ m 处的振幅 $A=0$ m,是振动减弱的点,为一级暗条的中心位置.图 6 是对应位置的光强模拟分布,这与实验规律完全相符,要得到更多明暗条的中心位置可以添加数据.

如果要得到相位差为 π 的两列光波干涉的多时间波形叠加图,只要在单元格 B_5 输入波 1 的初相位零,单元格 C_5 输入波 2 的初相位 π ,就可以得到,如

匀强磁场中任意刚性导线的动生电动势

陈余华

(江西省大余中学 江西 赣州 341500)

黄亦斌

(江西师范大学物理与通信电子学院 江西 南昌 330022)

(收稿日期:2017-07-01)

摘要:匀强磁场中导体做切割磁感线运动而产生的动生电动势公式 $E = BLv$ 只适用于特定情形. 如何将其推广是一个热点话题. 本文以导线微元动生电动势的一般公式和刚体运动特征为起点, 将动生电动势公式推广到直导线的任意运动以及任意形状的刚性导线的任意运动情形, 得到了 3 条结论, 并对它们进行了证明.

关键词:匀强磁场 刚性导线 动生电动势 闭合回路

磁场中导体运动导致的动生电动势是电磁感应的一个重要内容. 而动生电动势的计算也是高考和竞赛的重要考点, 也是大家讨论的一个热点^[1]. 文献[2]研究了较为一般的情况, 即刚性直导线在垂

直于匀强磁场的平面内绕任一固定点旋转. 其结论是, 无论固定点在哪里, 导线中的电动势都由其中点速度决定, 并给出公式和相关证明.

本文欲将其结论推广到更一般的情形, 包括直

图 7 所示, 从图中包络线可以形象地看出 $x=0$ 位置是中央暗条的中心位置, $x=0.003 \text{ m}$ 位置是第一亮

条的中心位置.

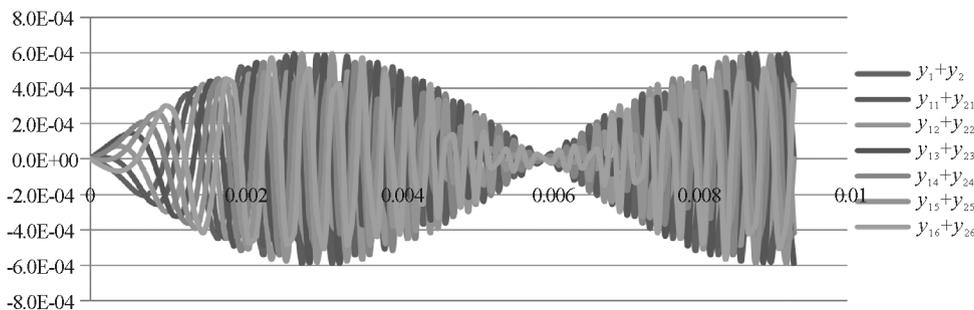


图 7 相差为 π 的多时间波形叠加图

还可以验证实验装置的参数对干涉的影响, 如 d 和 L 的改变, 只要改变相应的单元格数据即可, 这里不一一验证了, 有兴趣的朋友可以去做做.

回想起初看到 t_1 时刻的波形图时对图形的怀疑, 原因是因为驻波的波形干扰了我们, 以为杨氏双缝干涉的波形图也该是规规矩矩的标准图, 虽然有理论合成的方程式, 但没有看到过实际合成的波形图, 这种 Excel 数形结合的方法应用到物理中来收到了较好的效果, 使得本来不易研究的物理问题变

得简单、形象、直观, 让我们看到了物理现象最本质的东西.

参考文献

- 1 吴迪青. 用 Excel 仿真模拟中学物理规律. 物理教师, 2017(3):63 ~ 65
- 2 吴迪青. Excel 仿真模拟及卫星轨道计算. 物理教学, 2017(3):59 ~ 60
- 3 陈森, 郭敏勇, 张师平, 等. 杨氏双缝干涉一种简便的波函数解释. 大学物理实验, 2014(6):38 ~ 39