

单缝获得频率唯一的线光源吗

——关于双缝干涉问题的讨论

宋 春

(浙江省长兴中学 浙江 湖州 313100)

(收稿日期:2017-05-23)

摘要:“双缝干涉”教学中,学生会产生很多疑问,如单缝获得频率唯一的线光源吗?线光源上各点发出的光是相干光吗?有些参考书的解释并不到位,甚至出现误导.通过分析干涉条件和杨氏实验,结合自己课堂教学经验,查阅相关资料,阐述了对上述问题的理解.

关键词:双缝干涉 干涉条件 杨氏实验 线光源

1 问题的提出

人教版《物理·选修3-4》第13章“光”第3节“光的干涉”教学过程中,学生经常会提出一些质疑.单缝的作用是产生线光,相当于线光源,线光源的作用又是什么呢?线光源发出的光频率就是唯一的吗?线光源上各点的振动情况完全相同吗?线光源上各点发出的光是相干光吗?有些参考书上面明确指出单缝的作用是获得频率唯一的线光源,这种说法合理吗?教学中这些问题不能解释清楚,会影响学生对双缝干涉现象的深入理解,不能深刻体会到杨氏实验的真正“美”!

本文将从分析波的干涉条件着手,对上述问题进行讨论.

2 干涉条件的分析

波的叠加引起了强度的重新分布,这种因叠加而引起强度重新分布的现象,叫做波的干涉.归纳起来,波产生干涉的必要条件:(1)频率相同;(2)存在相互平行的振动分量;(3)相位差稳定.

以上3条波的干涉条件并非处于同等地位.第1条是任何波发生干涉的必要条件,第2条是针对矢量波的.因为标量波不存在这个问题,一般情况下,

满足前两个就足以产生干涉现象.剩下的是干涉场的稳定性问题,稳定与否的标准又和探测器的响应时间有关,对于宏观的波源发出的波,如水波、声波、无线电波,相位差和干涉场的稳定性是不成问题的,对于这样的波第3个条件容易满足.但对于微观客体发射的光波,第3条却成了最为重要的问题.

光是由光源中多个原子、分子等微观客体发射的,普通光源发出光波是光源中多个原子、分子等微观粒子自发发射的,微观客体发光的过程是一种量子过程.原子或分子每次发射的光波波列都是有限长的,发射的最长波列持续的时间也不会大于 10^{-10} s,相应的长度小于米的数量级.普通光源发光是自发辐射过程,不同原子或分子发射的各个波列,彼此之间在振动方向和相位上都没有什么联系,因此振动方向和相位是无规律的,这是普通光源发光的基本特征,如图1所示.



图1 普通光源发光的基本特征

用普通光源做干涉实验,即使频率相同,但由于两列波的相位差不固定,人们观察或记录仪记录到的是两列波叠加的时间平均值,平均值是一样的,或者说在极短时间内屏上某点时而加强、时而减弱,因此得不到明显、稳定的条纹.我们说这两列波是非相

干的,它们的强度非相干叠加,因此对于普通光源产生的光很难产生干涉.

3 绝妙的杨氏实验

被誉为十大经典实验之一的托马斯·杨的干涉实验非常巧妙地解决了普通光源不易产生干涉的难题,同时为光的波动说提供了有力的证据.

如图2所示,杨氏实验最初是在普通单色光源前面放一个开有小孔 S 的屏,作为单色点光源.在 S 的照明范围内,再放一个开有两个小孔 S_1, S_2 的屏,按照惠更斯原理, S_1 和 S_2 将作为两个子波源向前发射子波,形成交叠的波场.在较远地方放置一接收屏,屏上可以观察到一组几乎是平行的直线条纹.利用普通光源做杨氏实验,相干光源是由同一点光源 S 分解出来的两个子波源,它们之间稳定的相位差是怎样实现的呢?

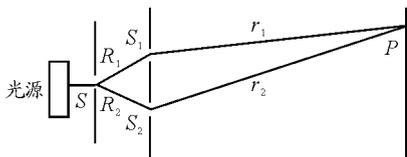


图2 杨氏实验原理图

如图2所示,设 $SS_1=R_1, SS_2=R_2, \varphi_0$ 代表点光源 S 的初相位,则点波源 S_1 和 S_2 的初相位分别为

$$\varphi_{10} = \varphi_0(t) - \frac{2\pi R_1}{\lambda}$$

$$\varphi_{20} = \varphi_0(t) - \frac{2\pi R_2}{\lambda}$$

所以得出两点波源的相位差

$$\varphi_{20} - \varphi_{10} = \frac{2\pi}{\lambda}(R_1 - R_2)$$

由此可见,尽管 φ_0 可以是不稳定的, φ_{20} 和 φ_{10} 也是不稳定的,但是 φ_{20} 和 φ_{10} 的差值却只与光程差 $R_1 - R_2$ 有关,若取 R_1 与 R_2 相等,则点波源 S_1 和 S_2 相位差为零,它是不随时间变化的.也就是说, S_1 和 S_2 是一对相干光源,从同一列波的波面上取出的两个子波源总是相干的.这就是杨氏实验的构思巧妙之处,一切波前干涉装置的设计思想都仿效于此,杨氏实验的意义在于,历史上最先为光的波动性提供实验

证明的是光的干涉现象,而杨氏实验是致使光的波动理论被普遍承认的一个决定性实验.

4 问题的讨论

托马斯·杨最初是用点光源进行干涉实验,但由于在屏上获得的亮度不够,所以后来实验中实际上采用3个互相平行的狭缝代替原来的3个小孔,即单缝和双缝.单缝的作用是获得线光源,那么是什么样的线光源呢?

普通光源上同一位置不同时刻发射的光的频率、振动方向和相位都是不确定的,不同位置同一时刻发出的光的频率、振动方向和相位也是不确定的,因此属于非相干光.若是用普通光源做干涉实验,就要经过单缝先获得线光源,但是获得的线光源并不是相干光.如果光最初是由理想点光源 S_0 发出,如图3所示,则点光源发出的光以球面波形式传播,由惠更斯原理可知,同一波面上各点的振动完全相同,满足了相干条件,但是由于单缝是直线形式,所以同一球面的波不能同时到达,同一时刻到达单缝的为不同波面上的光波,应属于非相干光;如果最初光源不是理想点光源,即有一定的体积的发光体 S_0 ,如图4所示,那么普通光源上不同位置发出的光同时到达单缝也不属于相干光.

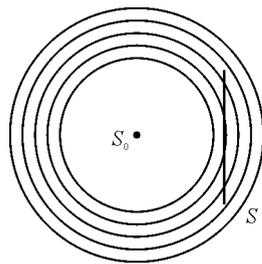


图3 理想点光源发出的光以球面波形式传播

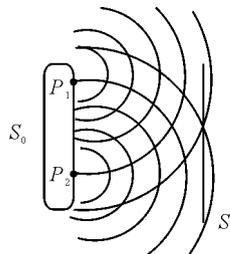


图4 发光体不同位置发出的光

那么单缝获得的光为何经过双缝可以产生干涉

呢?同时到达单缝的光虽然频率、振动方向和相位都不同,但是到达单缝的光线每一点都相当于一个独立的点光源或者子波源,且每一点的光都一分为二,然后不偏不倚地照射在双缝上,如图5所示。

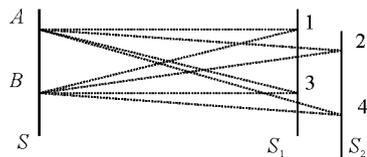


图5 由单缝获得的光经双缝产生相干光

若A点和B点发出的光分别到达1,2,3,4位置,则 A_1 和 A_2 光线是相干光, A_3 和 A_4 光线是相干光;同理 B_1 和 B_2 光线是相干光, B_3 和 B_4 光线是相干光,这些光线在叠加区产生干涉,形成干涉条纹。而A和B产生的光即便通过双缝后叠加也不具有相干性,如 A_1 与 B_2 , A_2 与 B_1 不是相干光,叠加时不会产生干涉条纹。

因此,我们可以理解为单缝是获得由无数多点光源构成的线光源,其上的每一个点发出的光经过双缝在屏上都会形成干涉条纹,最后这些条纹再进行叠加,就是我们最终在屏上看到的明暗相间的条纹,如图6所示。

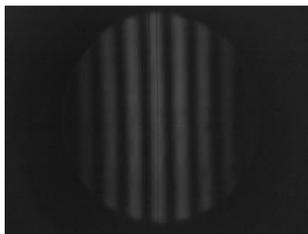


图6 干涉条纹

白光的双缝干涉实验现象也证明了这一点。首先是每一种单色光按照上述形式在屏上出现明暗相间的条纹,然后这些不同明暗相间的条纹再进行叠

加,由于不同单色光的干涉条纹的宽度和间距不同,面0级明纹位置相同,所以各条纹叠加后形成两侧对称,中央为白色的彩色条纹,如图7所示。

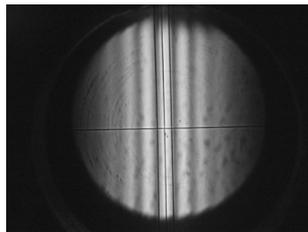


图7 白光作为光源形成的彩色条纹

激光是原子受激辐射产生的,激光的频率、偏振方向和相位比较稳定,所以激光具有很好的相干性。因而激光不用单缝直接照射双缝,就可以产生亮度较高的干涉条纹。

综上所述,对于普通光照射时,单缝获得的线光源并不是唯一频率的线光源,单缝获得的线光源也不是振动情况完全一致的相干光。但是,单、双缝将原本不相干的光变成了“相干光”,如同库仑利用两个完全相同的小球相碰将电荷量平分“测定”电荷量一样,将不可能变成了可能,堪称创新之典范。这样的思想方法应该介绍给学生,以此激发学生的创新精神。

参考文献

- 1 赵凯华,钟锡华.光学.北京:北京大学出版社,2008.6
- 2 钟锡华.现代光学基础.北京:北京大学出版社,2003.8
- 3 张大昌.物理·选修3-4教科书.北京:人民教育出版社,2010.4
- 4 漆安慎,杜婵英.力学.北京:高等教育出版社,1997.5
- 5 李争平.中学新课标资源库·物理卷.北京:北京工业大学出版社,2004.2

(上接第108页)

参考文献

- 1 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.义务教育教科书物理八年级上册.北京:人民教育出版社,2012.82
- 2 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.普通高中课程标准实验教科书·物理·选修3-

4.北京:人民教育出版社,2010.50

- 3 董霞,张雄,徐晓梅,等.“鱼在哪里”——中学物理教学中的折射解析.物理教师,2013,34(11):59~60
- 4 王忠云.光的折射成像位置究竟应该在哪里?物理教师,2004,25(8):35
- 5 王高波.人观察水中的物像是在正上方吗.物理教学探讨,2008,26(3):39~40