

偏振元件透振方向的判定与“穿墙而过”小魔术

黄小羽¹, 帕提玛·艾力木哈孜², 戴 瑞¹, 贾 艳¹, 周亚洲¹

(1. 东北师范大学 物理学院, 吉林 长春 130024; 2. 伊犁师范学院 物理学院, 新疆 伊宁 835000)

摘 要:介绍了利用自然光反射光即可判定偏振元件透振方向的方法,并在此基础上制作了关于光的偏振的“穿墙而过”小魔术道具。道具制作方法简单,演示效果较好,能够引起学生的好奇心,有利于帮助学生更好的理解光的偏振现象。

关键词:偏振元件;透振方向;菲涅耳公式

中图分类号:O436.3

文献标识码:A

文章编号:1005-4642(2016)01-0038-02

光的偏振现象在太阳眼镜、摄影、液晶显示及立体电影等方面都有广泛的应用,与人们的日常生活息息相关。这些生活中常见的偏振现象之所以能够实现都要借助于偏振元件,而每个偏振元件都有个特殊的透振方向。教科书上对光的偏振现象有这样的描述:自然光先后通过透振方向平行的 2 个偏振片,光可以透过;自然光先后通过透振方向垂直的 2 个偏振片,光不能透过^[1]。那么随之而来学生就会有这样的问题:应该如何判定偏振片的透振方向呢?当学生提出这样的问题时,教师是否能够给学生提供 1 个或多个判定偏振片透振方向的方法呢?多数教师或学生都会想到用已知透振方向的偏振片就可以判定这个偏振片的透振方向,若不知透振方向的偏振片,该如何判定透振方向?就此本文给出了容易掌握的判定偏振片透振方向的方法,并设计制作了“穿墙而过”小魔术道具,希望能够帮助学生更好地理解光的偏振现象,同时让学生体会到物理学在魔术方面的独特魅力。

1 偏振片透振方向的判定

自然光入射到 2 种介质的分界面时,反射光和折射光的传播方向由反射定律和折射定律决定,反射光的振幅和折射光的振幅由菲涅耳公式决定。在任何时刻,都可以把入射光、反射光和折射光的电矢量分成 2 个分量:一个平行于入射面(p 分量),另一个垂直于入射面(s 分量)。可以规

定 s 分量以垂直入射面向外为正(用“·”表示),p 分量(用“↓”表示)与 s 分量、光传播方向 k 满足右手螺旋关系 $s \times p = k$ ^[2]。一般情况下入射光振幅用 A_{s1} 和 A_{p1} 表示,反射光振幅用 A_{s1}' 和 A_{p1}' 表示,折射光振幅用 A_{s2} 和 A_{p2} 表示,入射角为 i_1 ,折射角为 i_2 ,菲涅耳公式为

$$\begin{cases} \frac{A_{s1}'}{A_{s1}} = -\frac{\sin(i_1 - i_2)}{\sin(i_1 + i_2)}, \\ \frac{A_{p1}'}{A_{p1}} = \frac{\tan(i_1 - i_2)}{\tan(i_1 + i_2)}, \\ \frac{A_{s2}}{A_{s1}} = \frac{2\sin i_2 \cos i_1}{\sin(i_1 + i_2)}, \\ \frac{A_{p2}}{A_{p1}} = -\frac{2\sin i_2 \cos i_1}{\sin(i_1 + i_2) \cos(i_1 - i_2)}. \end{cases} \quad (1)$$

在传播过程中,电矢量的方向不断变化,我们关注的仅是反射、折射发生的瞬间变化,所以菲涅耳公式所表示的有关各量的方向都是指紧靠两介质分界面 O 点处,为了作图方便,图上标注画在离 O 点较远处,如图 1 所示。光源为太阳或日光灯(自然光),照射到相对光滑的桌面或地面上,根据菲涅耳公式,入射角不同,反射光和折射光的振动取向(即偏振态)不同。

本文只讨论反射光的偏振态,不讨论折射光的偏振态。若入射光为自然光,则 $A_{s1} = A_{p1}$,两者之间没有固定的相位关系,所以 A_{s1}' 和 A_{p1}' 没有固定的相位关系,反射光的偏振态由 A_{s1}' 和 A_{p1}' 的大小决定。只考虑大小,不考虑方向,则由菲涅

收稿日期:2015-08-02

资助项目:东北师范大学物理学院仪器研发项目(No. 20150107);东北师范大学第二批网络辅助教学课程(Blackboard 平台)建设项目(No. 108029072)

作者简介:黄小羽(1993—),女,辽宁东港人,东北师范大学物理学院 2012 级本科生。

通讯作者:戴 瑞(1976—),女,吉林松原人,东北师范大学物理学院副教授,博士,从事光散射方向的研究工作。



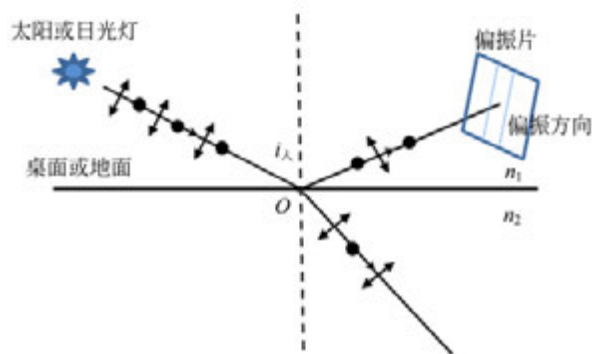


图 1 确定偏振元件的透振方向

耳公式可得:

$$\left| \frac{A_{p1}'}{A_{p1}} \right| = \left| \frac{A_{s1}'}{A_{s1}} \right| \cdot \left| \frac{\cos(i_1 + i_2)}{\cos(i_1 - i_2)} \right|. \quad (2)$$

由式(2)可知:

1) 当自然光垂直入射, 即 $i_1 = i_2 \approx 0^\circ$ 时, $\cos(i_1 + i_2) = \cos(i_1 - i_2)$, $|A_{s1}'| = |A_{p1}'|$, 反射光为自然光;

2) 当自然光掠入射, 即 $i_1 \approx 90^\circ$ 时, $\cos(i_1 + i_2) = \cos(90^\circ + i_2) = -\sin i_2$, $\cos(i_1 - i_2) = \cos(90^\circ - i_2) = \sin i_2$, 所以 $|A_{s1}'| = |A_{p1}'|$, 反射光为自然光;

3) 当自然光斜入射时, $0^\circ < i_1 < 90^\circ$, 代入式(2)可得 $|A_{s1}'| > |A_{p1}'|$, 反射光为部分偏振光, s 分量大于 p 分量;

4) 当 $i_1 + i_2 = 90^\circ$, 即 $\tan i_1 = n_2/n_1$ 时, $|A_{p1}'| = 0$, $|A_{s1}'| \neq 0$, 反射光为线偏振光, 只有 s 分量。

通过以上分析, 可以根据自然光斜入射时的反射光的偏振态来判定偏振元件的透振方向。例如在图 1 中, 迎着地面或桌面的反射光, 以反射光为轴旋转偏振片进行观察, 当视野相对最暗时, 可以确定偏振片的透振方向为图 1 中竖线方向所示(与反射光 s 分量垂直)。这种方法比较容易掌握, 而且不受地点的限制, 只要有自然光, 有相对光滑的反射面, 就可以利用反射光确定偏振元件的透振方向。

2 “穿墙而过”小魔术

在利用上述方法确定偏振片透振方向的基础上, 可以制作“穿墙而过”小魔术道具, 如图 2 所示。道具制作过程需要透明的有机玻璃管、2 张偏振片、小球。有机玻璃管的内外直径尺寸分别

为 50.0 mm 和 38.0 mm, 长度为 300.0 mm; 2 张偏振片的尺寸为 38.0 mm × 150.0 mm, 透振方向互相垂直(一张偏振片的透振方向沿着宽的方向, 另一张偏振片的透振方向沿着长的方向); 小球可以是普通的乒乓球也可以是小的弹力球(要求直径小于 38.0 mm)。以玻璃管的中间为分界线, 在玻璃管内层左右两侧各粘上 1 张偏振片, 因为 2 个偏振片的透振方向互相垂直, 所以从玻璃管的侧面看上去就好像有张黑色纸片挡在了玻璃管的中间, 好像一面“墙”, 如图 3 所示, 其实这只是因为左右两侧偏振片的透振方向垂直, 光不能透过^[3], 是视觉上的错觉。在演示魔术的过程中, 可以让小球毫不留痕迹地从玻璃管的一侧“穿墙而过”。“穿墙而过”非常适合用在偏振光课程学习的导入阶段, 学生看到小魔术都非常兴奋, 都很想知道原因, 这也是物理演示实验在教学中的魅力。



图 2 透明玻璃管

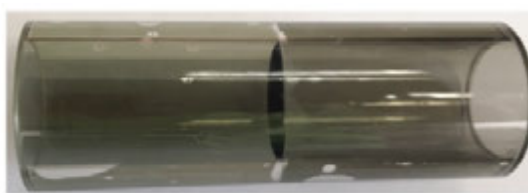


图 3 “穿墙而过”魔术道具

3 结束语

能够将书本上所学的知识转变成生活中的应用, 这不但是学生所期望的, 也是教育教的目标。文中利用反射光为部分偏振光来判定偏振元件的透振方向, 利用自然光不能透过 2 个透振方向垂直的偏振片制作教学演示仪, 既提高了学生的学习兴趣, 帮助学生能够很好地理解偏振光现象, 又达到了教育教目标。

参考文献:

- [1] 普通高中课程标准实验教科书·物理(选修 3-4)[M]. 北京:人民教育出版社, 2010.

(下转第 42 页)

同时,电容器的电容值变大时产生的阻碍作用变小、电容值变小时产生的阻碍作用变大.

7)验证电容器对交变电流的阻碍作用与交变电流本身的频率有关.

把开关 S 置于交流位置,用导线连接 1~2, 3~4,调节低频信号发生器使之输出 40 Hz 正弦波交变电流供电,可观察到小灯泡 L_2 开始发光亮,频率继续增大到 60 Hz,80 Hz 时小灯泡亮度不断增大,而小灯泡 L_1 亮度保持不变,验证了电容器的电容值相同时,交变电流的频率越高,电容器对交变电流产生的阻碍作用越小.

总之,该演示装置制作简单,操作简便快捷,节约课堂演示时间,演示效果直观明显.

参考文献:

- [1] 物理课程教材研究开发中心:高中物理(选修)(3-2)[M]. 3 版. 北京:人民教育出版社,2010:37-40.
- [2] 王富根.“电感和电容对交变电流的影响”演示实验设计[J]. 物理教师,2005,26(2):20.
- [3] 洪钟,叶水茵.“电感和电容对交变电流的影响”演示实验的设计[J]. 实验教学与仪器,2005,22(11):51.
- [4] 孙伏优.“电感和电容对交变电流的影响”演示实验的改进[J]. 物理实验,2008,28(2):21.

Demonstrator of the effects of inductance and capacitance on alternating current

PAN Yong-xiang

(Kaili No. 1 High School, Kaili 556000, China)

Abstract: A circuit with power source, capacitance, inductance, resistance and bulb was designed. After connecting different circuit, by judging the brightness of the bulb, the effects of inductance and capacitance on alternating current were obviously shown. Using this demonstrator, the influence factors on inductive reactance were explored.

Key words: inductance; capacitance; alternating current; alternating current

[责任编辑:尹冬梅]

(上接第 39 页)

- [2] 姚启钧. 光学教程[M]. 北京:高等教育出版社, 2008.

- [3] 刘建一,王旒菡,李思嘉,等. 多功能偏振光演示仪在教学中的应用[J]. 物理实验,2014,34(10):41-44.

Determination of transmission axis of polarizer and a little magic of “see through walls”

HUANG Xiao-yu¹, Patima Alimuhzi², DAI Rui¹, JIA Yan¹, ZHOU Ya-zhou¹

(1. Physics School, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;

2. Physics School, Yili Normal University, Yining 835000, China)

Abstract: The method of determining the transmission axis of polarizer according to the reflection of natural light was introduced. A little magic of “see through the walls” was presented. The making method was simple, and the phenomenon was wonderful. It was of great help for the understanding of polarization.

Key words: polarizer; transmission; Fresnel formula

[责任编辑:郭 伟]