

教学中三棱镜光的色散与复合之实验研究

王绍符

人们常说历史是胜利者的历史，这一般是指人文历史说的，其实科学史也一样，往往记录的是一些大师们的成功业绩，而很少谈及失败者的教训。然而往往吸取失败者的教训对后人更有用，不然会使人一再地重复前人的覆辙。现在就有一个例子，直到今天人们还在重复着 300 多年前的失误，且不能自拔。

从两张插图说起

图 1 是《牛津图解中学物理》(through diagrams PHYSICS) (2001 版) 的一张插图，图中的文字标题是白光的色散。上图是白光色散的图解，而下图则

显示的是“使用第二块完全相同的棱镜 (identical prism)”色散后的色光又复合为白光。

图 2 是英国 Longman GCES Physics (2002 版) 中的彩色插图，与图 1 一样，彩色的显示使意境更为清晰。

这两张图都是错误的，完全是臆造的，事实上并不存在这种情形。这种错误随处可见，在我国历年出版的各种版本的中学教科书中，除个别者外也多是如此。就连我国教学仪器标准，以及按此标准生产的仪器“J20218 光的色散与合成演示器”也是如此。笔者所以要选择赫赫有名的牛津和 Longman 版

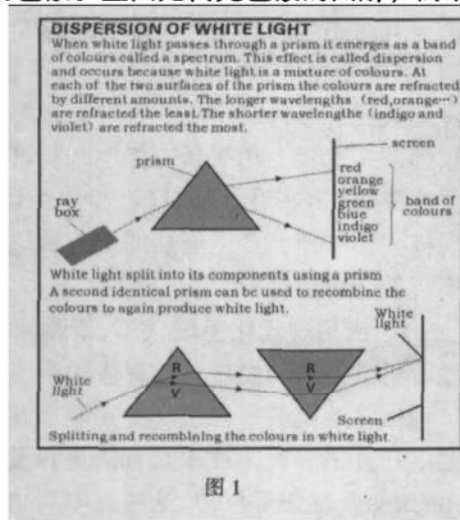


图 1

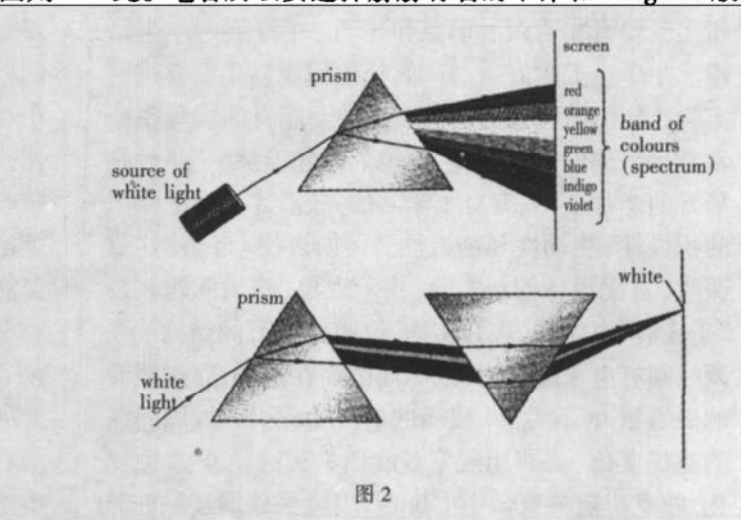


图 2

条件，下面的教学就容易多了。由于时代的发展，人类文明的进步，我们将接触许多现代知识，现代物理研究的领域主要在宏观宇宙天体和微观粒子上。我们在讲解《万有引力定律》时，可先让学生看一段天体运行的影片，学生在轻松愉快的心情中接受知识，虽然这种知识是科普性的，但可以激发同学们的兴趣，教师再引导讲解天体为什么这样运动。学生的学习热情高涨，这样便于教学。又如讲《重核的裂变》，课前让学生观看原子弹爆发的情形，巨大的能量摧毁整个小岛，进而看到原子弹的内部结构(影片可由软件制作)，学生在惊叹原子弹巨大威力的同时，急切想知道为什么。经过反馈，知道这种方法学生喜欢，教学效果明显。

导入的创新设计方式除了上述几种外，还有其

他方式。不管采用哪种方式，教师都要根据教材和学生情况精心设计，使导入自然、有趣、科学、合理，能充分调动学生的学习积极性，达到教学的最优化。

“善教者学逸而功倍，不善教者学劳而功半。”古今中外的教育家都极其重视教学方法的研究和改进。教学不仅是一门科学，而且是一种艺术，成功的教学，本身就是一种艺术创造。“导入新课”是成功的第一步，我们每个教育工作者都应该认真思考，认真钻研。在教学中，要按照教学的客观规律办事，结合学生的实际情况高效率地教学。在实际教学工作中还要充分发挥自己的主动精神和创造性，并坚持不懈、精益求精地进行锤炼。

(海南省五指山农垦通什中学 572219)

现代物理知识

本为例,正是要说明这个问题的普遍性。

错在哪里?

大家都知道是牛顿(I. Newton, 1642~1727)在1665~1666年间做了让阳光通过三棱镜的实验,从而成就了他最伟大的发现之一,光的色散现象的发现。然而,却很少人注意到早在牛顿之前,笛卡儿(R. Descartes, 1596~1650)就做过类似的实验,但没有发现光的色散现象。

笛卡儿不成功的原因是屏与棱镜的距离太近,他没有观察到展开的整个光谱,只注意到光带的两侧边缘分别呈现蓝色和红色(2004年5月笔者用中学实验室中所配备的三棱镜做的实验显示,只要入射光束足够窄这个距离可以小到18mm,如果距离再小则光谱不能展开)。

不只是笛卡儿,遭受同样挫折的还有胡克(R. Hook, 1635~1703)和玻意耳(R. Boyel, 1627~1691)。

牛顿则不同,他先在挡黑的窗子上开一个小孔,再在小孔处放一个棱镜,让从小孔进来的阳光通过棱镜投射到6~7米远的对面墙上,在墙上得到了充分展开的、各色俱全的光谱。

可以说:从笛卡儿到牛顿只是咫尺之遥,然而至今在中外基础教育的教科书中仍少有逾越。

历史值得借鉴,一束阳光通过三棱镜折射后,在通常三棱镜的出射面处不可能七种色光完全分开,而是红光和紫光在两侧露出很窄的边缘,如果不注意很难被发现。在此处由于绝大部分的各种色光仍然是重合在一起的,所以看起来仍为白色。

由此可知,图1和图2所显示的与实际不符。

再来说光的复合。光通过第二个倒置的棱镜,其光的行为(光路)决不是像图1、图2所示的那样。因为第二个棱镜与第一个完全相同(折射率相同,顶角相同),且如图中显得那样相互靠近的两个面相互平行。我们可以轻而易举地按折射规律画出其光路图(只要有初中知识就可以完成此任务),从而可以得出结论:对于任何一条光线来说,其在第二个棱镜中的路径与在第一个棱镜中的路径都是相互平行的;同理,从第二个棱镜射出的出射光必定是与入射到第一个棱镜的入射光相互平行,即应为平行光束,而不是像图中所示的会聚光束。

根据以上分析可知有两种可能的结果:

(1)如果两个棱镜相距比较远,照射在第二个棱镜上的是彩色光带,那么,从第二个棱镜出射的应当也是彩色的,而且是平行的光带。彩色光的成分与第二个棱镜所接受的光的成分相一致。

(2)如果两个棱镜靠得很近,比如紧贴在一起,那么,从第二个棱镜出射的应当是白色平行光束,两边分别带有难以观察到的红的和紫的边缘。

这第二种情形不能认为实现了色光的复合,因为第二个棱镜接受的根本不是已经色散的光,没有“散”何以谈“合”。这与当年笛卡儿的实验类似。

分歧、实验和思考

2001年在我们讨论中学教材的时候,对于显示“光的复合”究竟介绍一个什么样的实验为好,进行了讨论。事情的原委是这样,早在1993年我就提出了引用如图3所示的,牛顿本人设计的一个实验,并有如下说明:

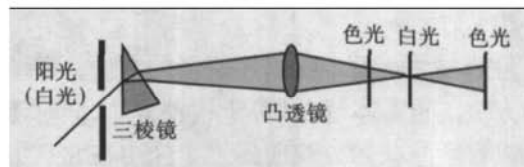


图3

牛顿运用实验方法证明,太阳光被三棱镜分解成的彩色光束,经凸透镜会聚之后,可以重新合成为白光。如图3所示,在三棱镜后边,彩色光束通过的路径上,放一个凸透镜。让所有那些彩色的光都通过它。并经过它会聚后,在相隔一定距离的地方,用一张白纸挡住会聚的光。这样就会观察到那些彩色的光又重新合成为白光。但是必须把棱镜和透镜放稳,而且把挡光的白纸来回移动,这样不仅可以找到在哪个位置彩色光合成白光较为完善,还可以看到彩色光如何逐渐会聚而成白光,然后经过哪个位置以后又重新离散分开成为彩色光。分开后的这些彩色光的颜色与合成前一样,只是排列顺序反了过来。

事情过了8年以后,到2001年有了不同意见,说是图3的实验只在牛顿写给友人、英国皇家学会秘书奥登伯格的信中提到过,没有历史资料说明牛顿本人确实做过。因而认为选用此实验不妥,并建议还是用传统的方法,即图1、图2的方法(事后查得,在牛顿所著《光学》一书中写有类似实验)。

对于传统方法大家认识也不一致,有的认为很

容易做成功,有的认为不行。于是,这之后于2001年上半年进行了一系列的实验和查阅资料的工作。

2001年3,4月间,先在河北大学光学实验室由张玫老师协助使用汞光谱管发光,通过光谱仪观察。正常情况下,光谱仪中放置一个三棱镜,可以明显观察到在频带较低端被分开的两条明亮谱线。当把另一个同样的三棱镜倒置并与第一个三棱镜紧贴在一起时,两条谱线变成了一条。似乎说明了第二个三棱镜起到了复合的作用,从而也似乎说明了上述传统方法可行。后来,2001年6月20日,在保定师专由卢梦克、张喜荣、王兆民老师协助下,用保定市仪器站和保定十七中提供的“J20218光的色散与合成演示器”先后做了4项实验。其中两项是根据著名苏联物理学家兰茨别尔格(Г. С. Ландсберга)所著《初等物理学》第三卷第二分册提供的方法进行的,非常成功(后文将有详细介绍)。

另两项之一是牛顿信中所说的方法,即图3所示的方法。也基本成功(对于这种方法,同时还委托北京教育学院朝阳分院的杨雄生先生在北京组织了详尽的实验。实验表明,将其中的凸透镜换成柱面凸透镜效果很好。后来写成文章,以《关于中学物理教学中连续光谱复合白光的实验研究》为题发表在《物理通报》2002年第1期)。

再一项实验就是对所谓的传统实验的验证。三棱镜用的是“J20218光的色散与合成演示器”中的一对完全一样的三棱镜;线光源用的是被遮住一部分的8W日光灯管。虽然光有些暗淡,但在用一个三棱镜时仍可观察到色散的7种色光。当把另一个三棱镜倒置放在前一个棱镜旁时,色光变成了白光。

至此,大家都有一种释然的感觉,传统的方法似乎得到了验证。而我却发现照在屏上的白色光斑的两侧似有模糊的彩色边缘。当我提出此疑惑之后,卢梦克调整了两棱镜之间的间距,使它们贴得更近。于是,彩色边缘更加模糊不清,似已消除。但我的感觉仍然存在,只是更窄更不易分辨了。对此引起了我的深入思考。与此同时把我的想法与河北师大鲁增贤先生进行了交流,得到了他的认同,并进一步据历史上笛卡儿的故事加以肯定。

我的想法如文章开头所说,两个三棱镜靠得很近,由第一个三棱镜出来以后,进入第二个三棱镜的光束并没有实现色散,只是边缘露出了一线

彩色。两个三棱镜之间的间隙越大,进入第二个三棱镜的光束的彩色边缘越宽。这就是为什么卢梦克调整了两棱镜之间的间距,使它们贴得更近,彩色边缘更加模糊不清,变得更窄更不易分辨的缘故(前述在河北大学光学实验室的实验亦可作此解释)。

在两个棱镜完全相同(折射率相同,顶角相同),而且相互靠近的两个面相互平行这两个条件下,如果按折射规律作图,其结果只能是如图4所示(已由北京杨雄生等人的实验所证实)。由第二个棱镜出射的光必定是与入射到第一个棱镜的入射光相互平行,是个平行光束。如果两个棱镜之间的间距较小,则平行光束两侧分别为很窄的红色和绿色边缘,随着间距的加大彩色边缘加宽,色彩也随着变化。如果间距足够大,照射到第二个棱镜上的是完全展开的七色光带,则出射的光束变为七色俱全的彩色平行光带(笔者已在2004年6月的实验中观察到),不可能聚合成为白光。

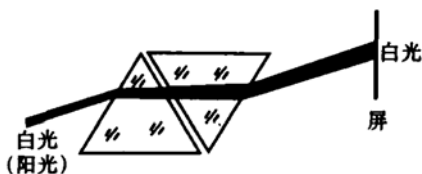


图4

发生上述错误,恐怕在潜意识中还存在错用光路可逆原理的问题,以为把第二个三棱镜倒过来,光通过它时,就如同逆向通过第一个三棱镜一样,使光可以复原,实现光的复合。殊不知并非如此,因为进入第二个棱镜的是发散光束,而实现第一个棱镜光路可逆必须是沿此发散光束反向的会聚光束进入棱镜。

如果一定要用两个棱镜实现光的色散和复合实验,途径之一就是通光学器件,如柱面凸透镜,将从第一个棱镜出射的完全色散的发散光束,会聚成与之相对称的会聚光束,即实现镜像翻转,然后再进入第二个棱镜,从而应用光路的可逆原理,实现色光的复合。理想的情况是将两个完全一样的棱镜分别放置在柱面凸透镜的两侧,使其光路实现完全的镜像对称。不过这种方法理论上成立,实施起来无论是器件的选择,还是操作都存在较大难度。

另一个途径就是改变条件。例如,两个棱镜顶角不同,如图5所示。第一个棱镜顶角小,光通过它

时偏向角小;第二个棱镜顶角大,光通过它时偏向角也大。这样,可以把从第一个棱镜出射的发散光束通过第二个棱镜后变为会聚光束,从而实现光的复合。或者,两个棱镜的折射率不同,第一个棱镜折射率小,第二个棱镜折射率大,亦可实现光的复合。



图 5

做这一类实验必须注意,两个棱镜之间的距离必须足够大,以使通过第一个棱镜的光充分展开色散,保证照射到第二个棱镜上的光是完全展开的七色光。如此第二个棱镜的复合作用才是真实的。

可靠、易行,且内涵丰富的两个实验设计

现介绍出自著名苏联物理学家兰茨别尔格所著《初等物理学》一书的两个实验。该书对光的色散实验采用了如图 6 所示的方法。 S 为缝屏, S' 为不放三棱镜时,缝 S 呈现在屏上的像。缝屏 S 与凸透镜间的距离 $> f$, 但很近。呈现像 S 的屏与凸透

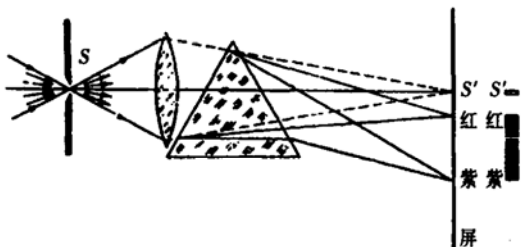


图 6

镜相距很远。如此色散产生的各色光才能充分散开。在紧挨着凸透镜的地方放置三棱镜,则各种色光的光束通过三棱镜后的会交点(S 的像点)将在屏上由上到下依红……紫的顺序排开。从而实现光的色散。

此实验已经在我们的上述保定师专的实验中得到验证,效果很好。实验利用“J20218 光的色散与合成演示器”所配备的器件,只要另加一个凸透镜(我们用的是市面上卖的直径 9 厘米的放大镜)即可。

对色光复合的实验如图 7 所示。平行白光照射到三棱镜的一个面上,在光的出射面处,置以光阑,再在三棱镜后面放一个凸透镜。由三棱镜射出来的各种色光的平行光束(其中大部分是重叠在一起的)经过凸透镜会聚后,分别会交于焦平面的不同位置

(也就是在焦平面处实现了色散)。经过焦平面后,各色光束发散,在屏 AB 处又归于重合,形成白色光斑。即实现了色光复合。

在焦平面左右两侧,放置光屏,可显示出都是上红、下紫、中间白的颜色(与牛顿信中所说的实验,即图 3 实验不同,图 3 实验在会交面两侧颜色顺序反向)。

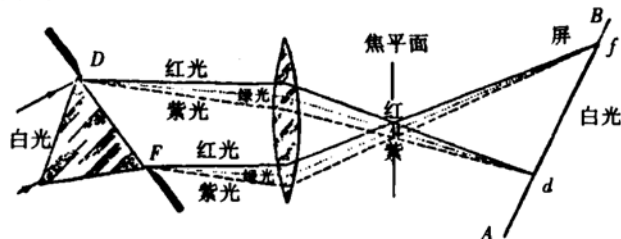


图 7

更有意思的是,如果在焦平面处用障碍物,比如铅笔,挡住某一种颜色的光,则在 AB 屏上显示彩色,且这种彩色就是被挡住的色光的补色。

做这个实验除需用三棱镜、凸透镜、光屏、光阑等之外,还需要一个平行光源。实际上我们用的是“J20218 光的色散与合成实验器”现成的光源和三棱镜,只是外加一个直径 9 厘米的放大镜。实验效果很好。(保定河北大学三区 8-1-102 071002)

封面照片说明

随着世界性能源短缺的日益加剧,科学家们正在抓紧研制各种新能源,其中,热核聚变研究一直备受人们的关注。怎样实现可控的聚变反应,使之解决人类的能源危机,是目前科学家们正在努力攻关的课题。该照片是欧洲核聚变实验装置反应堆的内部,其温度可达到几亿度,被人们称为“人造太阳”。(李博文)

封底照片说明

2004 年 11 月 20 日,被命名为“雨燕”的伽马射线探测器,搭乘“德尔塔 2”火箭升空,它将用于搜寻宇宙中的伽马射线暴,并揭开伽马射线暴与黑洞诞生的关系之谜。该探测器由美国、意大利和英国的科学家们共同研制,它装有 3 架高灵敏度的望远镜:宽视场爆发警示望远镜、X 射线望远镜、紫外/光学望远镜,是迄今为止最灵敏、反应最迅速的探测器。探测器重 1470 千克,耗资 2.5 亿美元。(李博文)