

物理实验室

# 光的逆反射及其教学探讨\*

邵建新 李 雪 (石河子大学师范学院 新疆 832000)

**摘要** 光的逆反射在日常生活中的应用相当广泛,但中学物理教材对逆反射及其应用介绍明显不足。本文对光的逆反射概念及实现原理作了详细介绍,并对逆反射在高考试题中的呈现和在探究教学中的应用进行了探讨。

**关键词** 光学 反射 逆反射 逆反射体 教学探讨

**文章编号** 1002-0748(2021)8-0033

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

光的逆反射在人们日常生活中有着广泛的应用,如交通标志、车辆反光牌、学生书包反光带、交警和环卫工人荧光服饰等。什么是光的逆反射(以下简称“逆反射”)?逆反射服从反射定律吗?逆反射如何实现?逆反射有哪些特点?现有各种版本的中学物理教材对这些与学生日常生活密切相关的问题基本没有反映。人教版初中物理教材教学重点在平面镜反射和漫反射<sup>[1]</sup>,高中物理教材教学重点在光的折射和全反射<sup>[2]</sup>,对逆反射内容没有明确介绍。北师大版初中物理教材对“角反射器”这一光学元件进行了简单介绍,即:“对于在空间中一定范围内的入射光(不论入射方向如何),出射光线总是与入射光线平行”<sup>[3]</sup>,没有提逆反射及其原理,且放在“知识窗”栏目,致使绝大多数师生只是浏览,没有认真去探究。我们认为,对光的逆反射及其相关问题的进一步解析与讨论,不仅能够拓展光学知识体系,还能够让学生充分认识到物理与生活的密切联系,展现从生活走向物理、从物理走向社会的课程理念,寓物理观念树立和科学思维培养于科学探究和知识拓展过程之中。

## 1 光的逆反射

### 1.1 光的逆反射

反射光线从接近入射光线的反方向返回的一种反射,当入射光方向在较大范围内变化时,仍能保持这种性质<sup>[4]</sup>的反射叫做光的逆反射。英文为 Retro-reflection<sup>[5]</sup>。

当光线垂直入射到物体表面时,光的逆反射光路有如图1所示的光路模型:入射光线、反射光线、法线三线合一,反射光线沿入射光线的反方向射向光源方向。这个模型中学生不难理解,可问题是根据逆反射的定义,当入射光方向在较大范围内变化时,仍能保持反射光线沿入射光线的反方向射向光源方向这种特点,学生就有疑惑了。这不仅是教师提出问题的起点,也是激发学生发散思维的起点。因为学生已有的认知模型是当光线斜入射到物体表面反射时,将遵循反射定律,反射光线是不会指向光源方向的,如图2所示。如果反射光逆着入射光方向返向光源,岂不违反了光的反射定律?



图1 光线垂直入射反射光路图

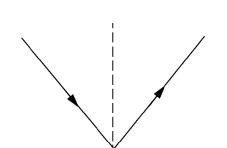


图2 光线斜入射反射光路图

### 1.2 反光

光的逆反射又被称为反光,因此逆反射原理又被称为反光原理<sup>[6]</sup>。反射光线平行于入射光线意味着一个反射单元对一束平行光的反射也将是一束平行光,反射光束的光轴和入射光束的光轴几乎重合,也就是说反射光沿着光源方向返回。这也是学生难以理解的。

实际上,农业生产和家用反光膜以平面镜反射为主,在薄膜上镀上金属层(以金属铝镀膜为主)来

\* 基金项目:本文系教育部人文社会科学研究规划基金项目“新疆南疆民族地区教育生态环境建设研究”(批准号:18YJA85007)及石河子大学研究生教改项目“微格教学案例库”(项目编号:12019Y-AL14)的阶段性成果。

反光。交通标志牌上的反光膜则主要是利用由微小玻璃珠或微棱镜矩阵结构来实现光的逆反射。

## 2 光的逆反射的实现

由图2可知,要实现入射光在较大范围内变化时反射光线从入射光线的反方向返回的逆反射,必定需要依靠特殊的光学元件。微棱镜、玻璃微珠、角反射器这些光学元件是实现逆反射的基本单元。

### 2.1 利用全反射棱镜实现光的逆反射

如图3所示,光线垂直入射到全反射棱镜并经过两次全反射后,从棱镜出射的光线射向光源方向,这就是一种逆反射。显然,全反射棱镜所形成的逆反射现象具有特殊性,因为如果光线不是沿垂直于棱镜斜面入射,则出射光很难平行于入射光,即实现逆反射的入射光的角域很小。但用许多微棱镜排列成矩阵,可以在较大的入射角域内实现逆反射,如图4所示。

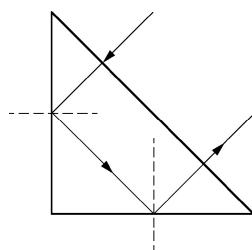


图3 全反射棱镜中逆反射的光路图

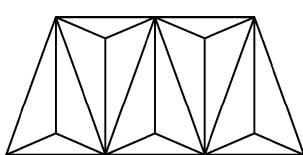


图4 部分微棱镜紧密排列成矩阵示意图

### 2.2 利用玻璃微珠实现光的逆反射

玻璃微珠中逆反射的光路如图5所示。当光线入射到玻璃珠表面时,一部分光发生反射,另一部分光折射进入玻璃珠内,并在玻璃珠的反射层上发生反射,该反射光经过玻璃珠与空气的交界面时发生折射,最终从玻璃珠射出,出射光线平行于入射光线。这种逆反射的实现主要是利用了玻璃珠和基材金属反光层。利用折射定律和反射定律不难证明,对任意的入射角 $\alpha$ ,光线经过折射—反射—折射后,出射光线与入射光线平行。

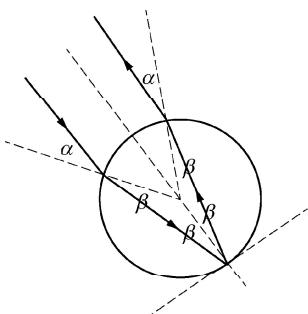


图5 玻璃微珠逆反射的光路图

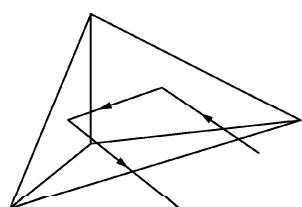


图6 角反射器光路图

### 2.3 利用角反射器实现光的逆反射

角反射器由三个相互垂直的平面镜组成,利用平面镜反射原理不难证明反射光线将与入射光线平行,从而实现逆反射,如图6所示。同全反射棱镜相似,将许多微角反射器组成矩阵列就可以在较大的角域内实现逆反射。

## 3 逆反射材料及其应用

具有逆反射性能的反光面或器件称作逆反射体。表面具有一层薄的、连续的微小逆反射体的物质称作逆反射材料。因逆反射不需要借助其他能量,所以逆反射材料多应用于安全警示方面,如交通标志牌、反光膜、服装反光带等。

设置交通指示牌是为了让司机在夜晚可以依靠车辆自身的光线反射看清道路指示牌上的信息。目前我国道路指示牌就是利用微棱镜的有序排列来实现光的逆反射。反光膜由基材、反射层及玻璃微珠逆反射层和封层(透明树脂及防水材料)等物质组合而成。日常生活中用的反光膜颜色为红白交替,常被贴到车身或道路安全设施上来警示车辆。反光织物的结构组成依次为基布、粘合剂、反射层、粘接剂、玻璃微珠层和封闭层(根据织物类型及要求有所不同)。

反光织物的原理是将玻璃微珠这一逆反射体固定在织物上,从而达到光线逆反射的目的。反光织物一般起警示作用,如交警、环卫工人穿的荧光色的小马甲、学生服饰和衣服上的反光带等。其原理示意图如图7所示。

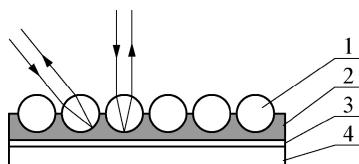


图7 反光织物结构示意图  
1-玻璃微珠;2-反射层;3-粘合剂;4-基布

角反射器在日常生活和航空航天中都有应用。自行车尾灯的主要组成部分就是角反射器,“嫦娥一号”探月卫星就利用了角反射器组成的六边形阵列来探测目标,传递信息。

反光漆是以丙烯酸树脂为基料,与一定比例的定向逆反射材料混合在溶剂中配制而成,属于一种新型反光涂料,其中起主要作用的是玻璃微珠。反光漆多应用于物体表面起警示作用,如非指令性路标、公安专用车、工程抢险车等。

#### 4 光反射的分类

我们以“逆反射”为关键词在百度百科搜索引擎中搜索,结果显示:反射分为三类,即平面镜反射、漫反射和逆反射,这就很容易使学生对光的反射分类产生错误认知,因此,有必要对光的反射分类做出澄清。

##### 4.1 光的反射分类

根据反射面的粗糙程度,可将光的反射划分为平面镜(或镜面)反射和漫反射两类。平面镜(或镜面)反射的反射面是光滑平面,漫反射的反射面是凹凸不平的粗糙表面。

根据反射光的能量分布,可将光的反射划分为全反射和部分反射,因为当发生全反射时无折射光。

根据反射光是否向光源处反射,可将光的反射划分为逆反射和非逆反射。

##### 4.2 光的逆反射的特殊性

无论是简单逆反射过程还是经过逆反射体(二次等腰棱镜、角反射器、玻璃微珠等)实现的复杂逆反射过程都可等效成如图 1 所示的模型。光线垂直于反射面入射,反射光线、入射光线和法线处于同一平面且重合,反射角等于入射角(均为  $0^\circ$ ),因此可以在广义上认为逆反射满足反射定律。从等效光路上来看,也可以认为逆反射是一种“特殊的全反射”,因为反射光经过逆反射体后向光源方向反射,而且可以“不考虑折射”。

#### 5 光的逆反射在高考题中的呈现

有些高考题目出现过逆反射的应用问题,如图 8、图 9 所示题目以考察光的反射为主,但都有逆反射现象。图 8 所示高考题中光线有非逆反射,也有逆反射;图 9 所示高考题中有两个选项,是因为光线入射到棱镜后既有光的部分反射和全反射,又暗含逆反射。

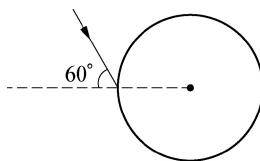


图 8 例 1 图

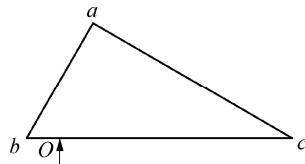


图 9 例 2 图

**例 1** (2008 年四川) 如图 8 所示,一束单色光射入玻璃球体,入射角为  $60^\circ$ ,已知光线在玻璃球内经过一次反射后,再次折射回到空气中时与入射光线平行。此玻璃的折射率为 (C)

- (A)  $\sqrt{2}$  (B) 1.5 (C)  $\sqrt{3}$  (D) 2

解析: 图 10 所示为光线在玻璃球内的光路图。A、C 点为折射点,B 为反射点,作 OD 平行于入射光线,故  $\angle AOD = \angle COD = 60^\circ$ , 所以  $\angle OAB = 30^\circ$ , 玻璃的折射率  $n = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$ 。

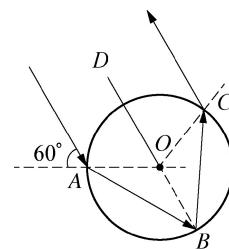


图 10 例 1 解答图

如果将该题目与反光织物模型联系起来,则可进行如下设问:利用玻璃球体实现逆反射对玻璃球体的折射率有要求吗? 实际上,任意折射率的玻璃球体都可以实现逆反射,只是玻璃球体的折射率不同,入射光线和反射光线的汇聚点 B 的位置不同,这就要求反射层的位置不同。文献<sup>[7]</sup>依据高斯成像原理给出了特定直径下不同折射率的玻璃球体的逆反射光路实例,如图 11 所示。

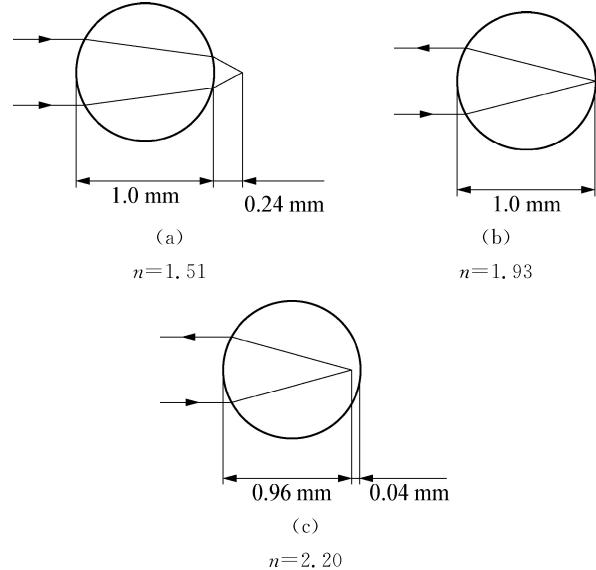


图 11 不同折射率的玻璃球体逆反射光路示意图

也就是说在实际应用中,对特定直径的玻璃微珠来说,因为反光层是在玻璃微珠的外表面,要实现图 11(b)所示的逆反射,对玻璃微珠的折射率还是有要求的。

**例 2** (2005 年高考全国 I 卷) 图 9 所示为一直角棱镜的横截面,  $\angle bac = 90^\circ$ ,  $\angle abc = 60^\circ$ 。一平行细光束从 O 点沿垂直于 bc 面的方向射入棱镜。

已知棱镜材料的折射率  $n = \sqrt{2}$ , 若不考虑入射光在  $bc$  面上的反射光, 则有光线 (B、D)

- (A) 从  $bc$  面射出
- (B) 从  $ac$  面射出
- (C) 从  $bc$  面射出, 且于  $bc$  面斜交
- (D) 从  $bc$  面射出, 且与  $bc$  面垂直

解析: 这道题的难点是光线垂直  $bc$  面射出。空气相对于棱镜属于光疏介质, 由全反射临界角公式  $\sin c = \frac{1}{n}$  可知, 临界角为  $45^\circ$ 。光线从垂直棱镜  $bc$  面入射到  $ba$  面, 入射角  $60^\circ$  大于临界角, 故发生全反射, 不发生折射, 光路如图 12 所示。若反射只有一次, 则光线从  $ac$  面射出, 若反射过程中发生两

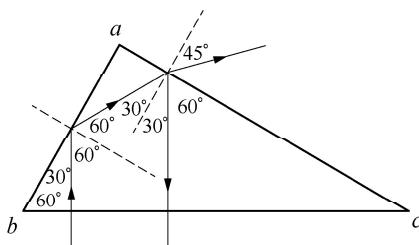


图 12 例 2 解答图

表 1 问题 1 探究活动方案要点

发现并提出问题	提出猜想与假设	制订计划与设计实验	进行实验、分析与论证	评估、交流与合作
昏暗的教室环境中在较远的距离用激光笔从不同的方向分别照射自行车尾灯和平面镜, 比较两种反射有什么不同, 并形成探究问题。这个环节要注意: 自行车尾灯和平面镜对来自同一个方向的入射光其反射光方向的不同	假设是根据自身的知识概念体系为基础对物理概念的提炼与升华, 体现学生的物理观念。这里要注意三个问题: ①不要急于上网查资料(免得出现“照方抓药”); ②猜想和假设要有依据; ③要得出一个基本判断: 自行车尾灯和平面镜结构不同导致两者反射不同	实验方案的设计要体现科学思维(例如科学抽象出概念或过程, 建立理想模型)及科学推理等, 不断地完善方案提升学生能力。平面镜和平面镜反射、角反射器都是理想模型	注重落实物理观念、科学思维、科学态度与责任、实验探究能力	总结经验, 进行讨论并跟同伴交流。在思考并讨论结果的过程中对结果进行分析, 在与同伴的思想碰撞中提升能力

教学过程中难免遇到各种各样与日常生活有密切联系且又超出教材范围的问题, 解答这些问题仅凭教学经验无能为力。教师要有问题意识, 平时有意识地积累日常生活中的现代科技知识。对于不便在课堂讲授的内容, 可以开展具有一定深度的科学探究或知识拓展活动, 这样不仅能够激发学生学习物理的兴趣, 将核心素养目标落在实处, 也可以有效改善物理教学生态。

#### 参考文献

- [1] 彭前程. 八年级物理 上册(第一版)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2013.

次反射则光线从  $bc$  面射出。若考生熟悉逆反射, 很快就会意识到光线从  $bc$  面射出与利用微棱镜实现的逆反射现象相同, 则选项 D 一定也是一个正确选项。

#### 6 逆反射在探究教学中的应用初探

物理教材要向学生展现物理知识在日常社会生活中的应用, 紧跟现代科技的发展步伐。在教材中适当添加逆反射方面的知识能够体现出物理知识与现实生活、现代科技的联系。设计以逆反射为主题的知识拓展或探究活动, 能帮助学生更好地理解光学知识, 灵活运用光学知识, 并在构建相应知识体系的同时解决学生的困惑。例如, 可以设置如下问题供学生探究。

问题 1: 在光线较暗的环境中用激光笔从不同角度照射自行车尾灯会发生什么现象? 你怎样解释观察到的现象?

问题 2: 为什么猫的眼睛在黑夜会发光? 请搜集相关资料, 并用光学原理解释这种现象。

我们以问题 1 为例设计了探究活动方案要点, 供读者参考。

[2] 张大昌, 彭前程. 物理选修 3-4(第三版)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2010.

[3] 郭玉英, 李子恒. 物理八年级 全一册(第二版)[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2014. 7: 219.

[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 道路交通标志反光膜: GB/T 18833—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

[5] 刘勇. 城市交通标志反光材料应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.

[6] 董会君. 浅谈我国逆反射材料现状及其发展趋势展望[J]. 中国安全科学学报, 2004(2): 74—78.

[7] 钱昌俭, 滕金山. 逆反射织物研究[J]. 中国劳动防护用品, 1997(5): 27—32.