

从光晕现象出发 谈物理模型迁移过程中的误区

齐含瑜

(宁波市效实中学 浙江 宁波 315000)

(收稿日期:2023-03-15)

摘要:将理论知识与实际生活场景相结合是新高考改革背景下的主要命题趋势,也是“核心素养”的要求之一,而学生在解题时往往感觉困难重重,尤其在物理核心素养之一——模型迁移方面存在不足.通过一道以光晕为背景的光学例题为载体,对学生典型错误成因进行探讨,以期“新课程·新教材·新高考”环境下的物理习题教学提供启示.

关键词:光晕;折射;模型迁移

1 问题的提出

【例题】我们有时候可以观察到太阳周围的明亮光晕圈,如图1(a)所示.这种光学现象是由太阳光线在卷层云中的冰晶折射而产生的,该云层高度约5.5 km,如图1(b)所示.为了理解光晕现象,我们将问题简化为二维.如图1(c), θ_1 表示冰晶上的入射角, θ_2 表示为经过第一个界面的折射角, θ_0 表示为光线离开晶体的折射角,以及 θ_D 表示为入射和出射光线之间的偏转角.

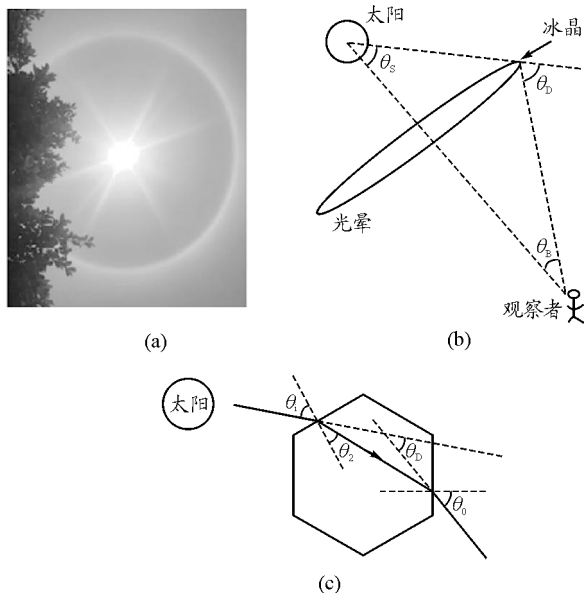


图1 光晕问题的提出

假设冰晶在二维上可以看成是一个正六边形且不考虑其他的反射、折射.若仔细观察,能看到彩色的光晕圈,问光晕应为内红外紫还是内紫外红?

本题以生活中的实际现象——光晕作为载体,分两个层次考查学生对相关光学知识的理解、推理论证和模型迁移能力.

首先,本题考查基本的折射定律,关键在于对折射定律的应用,突出考查学生对折射现象的理解以及对公式和规律的应用能力.其次,本题将物理规律与生活中的实际现象相结合,需要学生在教材内容的基础上,综合运用光学知识、思维策略以及模型迁移能力解决实际问题,促进学生从理论走向实际,提高物理学习的兴趣.

这种命题方式和考查内容反映了高考命题趋势,侧重将教材理论与实际生活相结合,也将推动高中物理教学的发展.为了提升习题教学效果,笔者尝试通过该题对学生易错点进行探讨.

2 学生常见思路与本题正确解析

2.1 学生常见思路

自然界的太阳光是红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫多种不同频率的单色光组成的复色光,由于不同色光在介质中折射率的不同,折射光线的偏折程度就不同.在初中阶段,学生已对三棱镜的色散现象较为熟悉.一般来说,在可见光范围内,单色光的频率越高,则

在介质中的折射率越大,偏折的更加明显.如图2所示,当一束自然光通过三棱镜时,在棱镜另一边的光屏上,我们能够观察到不同色光组成的光带.



图2 三棱镜的色散

同样的,自然光经过冰晶后也会发生色散,形成7种颜色依次排列的光带.图3为红光和紫光两种单色光通过同一个冰晶时的光路图.显然,太阳光经过一个冰晶折射后,紫光的偏折角更大,形成的光带中,紫光靠内,红光靠外.

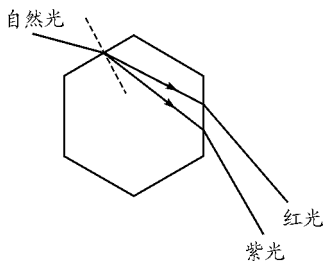


图3 自然光经过冰晶后发生色散

2.2 本题解析思路

本题中,学生误将冰晶与三棱镜等效,认为人眼看到的“光晕”中的不同颜色,类似于自然光在三棱镜中发生折射而色散形成的光带.为突破此误区,笔者对三棱镜模型和光晕形成的实际场景进行类比,总结了两者在以下两方面存在重要差异:

- (1) 三棱镜模型中只有一个折射介质(即三棱镜),而天空中存在无数个小冰晶;
- (2) 三棱镜模型中只有一束入射光,而天空中存在无数束入射光.

事实上,根据柯西的正常色散经验公式 $n = A +$

$\frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$ (式中 A, B, C 是与物质有关的常量,其数值由实验数据来确定)^[1] 以及可见光在不同光学材料中的色散曲线^[1] 可知,虽然可见光中低频率部分和高频率部分在同一种介质中的折射率有所不同,但

数值上相差并不大,差值约在 10^{-2} 量级,如图4所示.

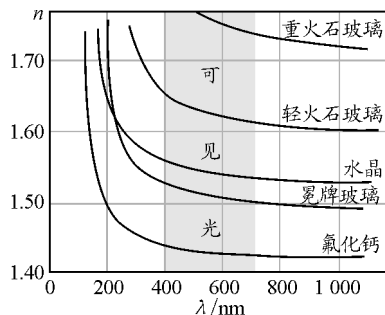


图4 几种光学材料的色散曲线

已知对于波长为 5893 \AA 的钠黄光来说,冰的折射率一般为 1.309,那么我们试比较其与另一种折射率为 1.310 的光经过冰晶后的角度差异.

设光线在第一次折射时的入射角和折射角分别为 θ_1 和 θ_2 ,光线在第二次折射时的入射角和折射角分别为 θ_r 和 θ_0 ,根据折射定律

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n \quad (1)$$

$$\frac{\sin \theta_r}{\sin \theta_0} = \frac{1}{n} \quad (2)$$

又根据几何关系

$$\theta_2 + \theta_r = 60^\circ \quad (3)$$

联立可得

$$\sin \theta_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1} - \frac{1}{2} \sin \theta_1 \quad (4)$$

假设 θ_1 为 30° ,则两束光线的出射角 θ_0 分别为 52.845° 和 52.997° ,相差 0.152° .由于云层高度为 5.5 km ,两束折射率仅相差 0.001 的光到达地面时将间隔十几米甚至几十米,因此由一个冰晶产生的完整光带,宽度可能高达几百米的范围.正常人的瞳孔大小约为 $2 \sim 4 \text{ mm}$,因此人眼不可能接收到一束自然光经同一个冰晶色散形成的完整光带,而是只能看到此光带中的极小一部分.我们肉眼看到的彩色光晕,实则是由多束光线通过多个冰晶折射而成的.

图5所示的两束红光和紫光分别由卷层云中的内圈冰晶和外圈冰晶折射形成.如上讨论,受到人眼尺寸的限制,对于同一冰晶折射产生的红光与紫光,人眼无法同时接收.

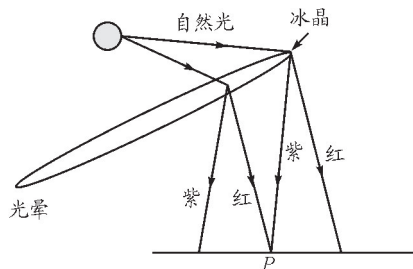


图5 光晕的形成

因此,当观察者站在 P 点进行观察,瞳孔只能接收到每一条光带中的一种单色光,即内圈冰晶光带中的红光部分和外圈冰晶光带中的紫光部分,其他色光则无法进入瞳孔,故观察者看到的光晕中,内圈为红色,外圈为紫色。

3 总结与反思

很显然,我们对三棱镜色散现象的分析与光晕形成过程的分析存在明显差异.主要原因在于,由一个三棱镜形成的光带可直接呈现于与三棱镜相距较近的大尺寸光屏上,而当人们抬头观察光晕时,人的视网膜就相当于光屏.人眼瞳孔较小且距离冰晶较远,不能接收到一束光线经一个冰晶色散形成的完整光带,因此看到的彩色光带中的不同色光实际来源于不同冰晶产生的光带,观察到的颜色排列与单个冰晶色散形成的光带颜色排列恰好相反.学生在套用三棱镜模型解答光晕问题的过程中,忽略了已知模型与实际情况间存在的重要差异。

其实,我们生活中看到的外红内紫的虹与外紫内红的霓也来源于此。

彩虹是雨后天晴后常见的自然现象,它是一种由各种颜色组成的色带,通常表现为外圈红色、内圈紫色.这是因为大雨过后,很多水滴悬浮在空气中,当太阳光射入水滴后,发生一次反射和两次折射,产生色散现象,如图6所示。

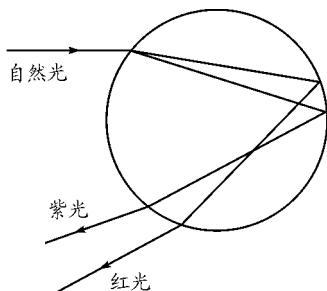


图6 光的折射形成色散

由于不同色光在介质中的折射率不同,经过单个水滴色散形成的光带中,紫光在上,红光在下。

而人眼所看到的同一道彩虹中的不同颜色,实际来自于不同水滴的色散.如图7所示,观察者站在地面上观察时,能够接收到低处水滴光带中的紫光部分,和高处水滴光带中的红光部分,自然而然,观察者认为低处水滴呈现紫色,而高处水滴呈现红色,也就是我们看到的彩虹外圈红、内圈紫现象的原因。

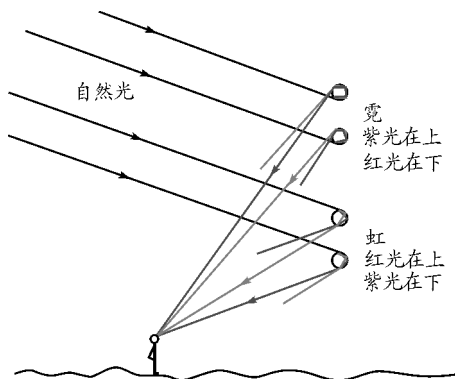


图7 虹与霓的形成

霓是太阳光在水滴中发生了两次反射和两次折射后所产生的自然现象.同样,由于不同颜色单色光的折射率不同,太阳光经由单个水滴色散后形成的光带中,上方分布红色,下方分布紫色.当观察者观测时,霓中的不同颜色来自于不同水滴的折射,其中高处水滴提供紫色光,低处水滴提供红色光,故霓呈现出外圈紫、内圈红的现象。

4 教学启示

物理来源于生活,物理研究是为了解决人类在实际生活中遇到的难题,因此在物理教学中,教师应该注重夯实基础,培养学生的物理模型迁移能力,将教材理论与生活实际相联系.在此类问题的分析过程中,笔者对学生的错因进行了概括:

(1) 简单套用熟悉的模型,未将模型与实际情景相结合.光的色散本身并不复杂,但“惯性化”的思维会带来分析过程中的疏漏和错误。

(2) 在模型迁移的过程中,缺乏主动判断并对其进行修正的能力.此类问题需要学生从教材上光的折射定律出发,联系实际,重新进行模型的修正,

(下转第44页)

设计意图:用学到的压强知识定性解释社会情境中的相关现象,了解物理和生活的联系;在情境中提取相关物理量,通过理论推导,深化压强概念的理解和应用,发展学生在新情境中的知识迁移能力。

【社会情境 2】估测“人站在平地上”和“人站在指压板上”两种情境中人对地面的压强,并思考人行道上盲道设计的物理原理?

(1) 估计压力大小:根据自己的体重估计人对地面的压力大小;

(2) 估测接触面积(图 5):① 利用坐标纸测量人站在地面上时鞋底和地面的接触面积;② 利用坐标纸测量指压板与鞋底的接触面积;

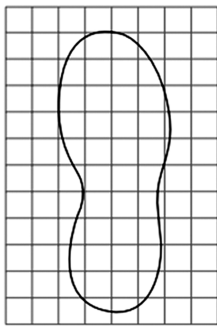


图 5 测量接触面积

(3) 根据公式计算出两种情境中人对地面的压强,并比较大小。

(4) 搜集盲道的种类,并简要说明不同类型盲

(上接第 40 页)

这是本题难点所在,也是学生容易出错的环节。

基于上述学生在解题过程中出现的不同程度的问题,教师在平常教学中应予以重视。

首先,注重基础知识,建构完整知识体系。物理知识体系的完整建构能够帮助学生认识物理学本质,有利于促进学生综合能力的提高和学生核心素养的形成。在教学中,教师不能将知识孤立化和静态化,更应注重知识间的联系和迁移,杜绝模型进行机械化的搬运和套用。

其次,加强物理模型迁移能力的培养。实际问题往往过于复杂,物理学中常采用“简化”的方法,对实际问题进行科学抽象化处理。中学物理中常见的模型包括对象模型、过程模型、条件模型、等效模型、实验模型、数学模型等^[2]。在习题教学中,教师常以

道的涵义?从所收集到的信息中你学到了什么呢?

【生成性内容】理论计算的规范过程、借助坐标纸估测不规则图形面积的方法,知识迁移能力、社会责任感。

设计意图:“盲道”承载了理论计算、数据处理的方法、估计生活中常见物理量大小的能力、社会责任等,是一个较为复杂的综合性社会情境,既拓展了学生的思维深度和广度,也引发了学生对公共设施设计的社会责任感。

4 教学反思

初中物理教学离不开真实的情境,不同类型的情境蕴含的育人价值不同。在实际教学中,要立足于物理学科核心素养的发展目标,深挖情境的学科知识价值、学科方法价值、学科态度价值,才能让学生在真实的情境中全方位体验学科的学习氛围,感受真实的发生学习。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准[S]. 北京:北京师范大学出版社,2022.
- [2] 李吉林. 为全面提高儿童素质探索一条有效途径——从情境教学到情境教育的探索与思考(上)[J]. 教育研究, 1997(3):33-41.
- [3] 王灿明. 情境:意涵,特征与建构——李吉林的情境观探析[J]. 教育研究,2020,41(9):81-89.

简单模型为基础,进一步去解决更高阶的问题,这要求学生在模型迁移的过程中摒弃习惯性思维,针对实际场景对已有模型作出合理修正。因此在教学过程中,教师应注重学生模型迁移能力的培养,提升学生科学思辨、推理论证等物理学关键能力。

最后,加强情景教学与理论联系实际的应用。在高考评价体系,与实际相联系的问题情景常作为考查的载体,重视学以致用。如本文中讨论的“光晕”问题,就是基于真实场景,考查学生对光的折射现象的理解以及在实际问题中的应用,因此教学中应注重课堂与生活实际的结合,不能脱离实践。

参考文献

- [1] 赵凯华. 新概念物理教程:光学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:343.
- [2] 王溢然. 模型[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2015:89,103,109.