

基于科学论证的高中物理 全反射教学案例研究^{*}

王栋然 马亚鹏^{**} (银川市第九中学 宁夏 750011)

摘 要 在物理教学中展开基于证据的科学论证能够有效地培育学生的物理思维。在优化实验设计的基础上,基于科学论证优化设计“全反射”教学,将三个核心论证串联成完整的论证链条,学生在不断地“假设—预测”中建构物理知识,发展科学论证能力。

关键词 科学论证 全反射 图尔敏模型 “假设—预测”论证模式

文章编号 1002-0748(2023)9-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

科学论证是自然科学领域中的论证,是科学家开展科学工作的重要实践形式之一,是科学家基于科学资料 and 理由建构科学主张,同时采用反驳、劝说等形式辩护自己科学主张的合理性实践^[1]。《普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)》明确将其作为科学思维的要素之一纳入物理学科核心素养之中。研究指出:“基于科学论证的物理教学研究与实践是提高学生科学论证能力的必经之路。”^[2]如何在课堂教学中有效实施论证以培育学生的物理思维?则仍需持续地进行教学案例研究,本文以高中物理“光的全反射”一课为例加以研究。

1 教学分析

“全反射”是一种光学现象,在生产生活中有着广泛应用。如何让学生基于物理现象建立全反射概念,再应用全反射知识解释物理现象是本节课教学的重点。而有意义地建构科学知识 with 利用科学知识解释现象的过程离不开基于证据开展有效的科学论证。一些教学案例在全反射教学时,过于追求实验现象的新奇,甚至成为实验演示的堆砌,反而无法抵达论证的深度,以至于学生未能真正获得对全反射现象物理本质的理解。

为提高科学论证的有效性,我们在全反射教学中首先从水流导光实验出发,引发学生思考:为什么

光可以沿着弯曲的水流传播呢?在介绍光疏介质与光密介质的概念后,通过折射定律比较光在光疏介质与光密介质之间传播时折射角与入射角之间的大小关系,经推理发现,当光从光密介质射入光疏介质,折射角大于入射角。进而可以得出入射角增大时,折射角一定会先于入射角达到 90°。如果再增大入射角会出现什么现象呢?学生在产生合理的猜想后,教师引导学生设计并完成实验,从实验中获得证据,最终生成全反射概念。为了让学生真正搞清楚光在水流中传播的细节,再次呈现水流导光实验的细节图片,学生清晰地看到光在水柱中发生连续多次的全反射,而非直接沿水流方向传播,这一教学处理为全反射教学奠定了坚实的事实基础,是科学论证的点睛之笔。最后教师利用文字介绍、图片呈现、实验演示、理论推理等多种方式使学生掌握全反射的两个重要应用——光导纤维和全反射棱镜。本节课的突出亮点在于:一是引导学生设计并进行实验,从实验中有效地获取证据来建构全反射概念,二是对水流导光实验进行合理解释、论证,进而对光导纤维和全反射棱镜的物理原理有深入的认识。

2 教学过程设计

2.1 创设情境,提出问题

实验情境 教师重复物理学家丁达尔 1870 年

^{*} 基金项目:本文系银川市教育科学“十四五”规划 2021 年度立项课题“中学物理初任公费师范教师职后发展的行动研究”(课题编号:JYKG21-019)阶段性研究成果。

^{**} 通讯作者:马亚鹏。

在皇家学会演讲厅做的演示实验。在透明塑料瓶上钻一个小孔,用激光笔对准小孔,学生观察到在远处的白墙上一个光斑,这是由于光的直线传播的原因。然后教师堵住小孔,向瓶中加入水,让激光笔再次对准小孔,关灯后放开小孔,让水从小孔流下来。学生能清晰地看见远处墙上的光斑消失了,光沿着水流传播了下来。

问题 1 由初中物理可知,光在同种均匀介质中沿着直线传播。可是在上述的实验中光却沿着弯曲的水流传播了下来。这背后又蕴含着怎样的物理学原理呢?

设计意图 利用对比实验创设情境,引发学生认知冲突,引入新课。

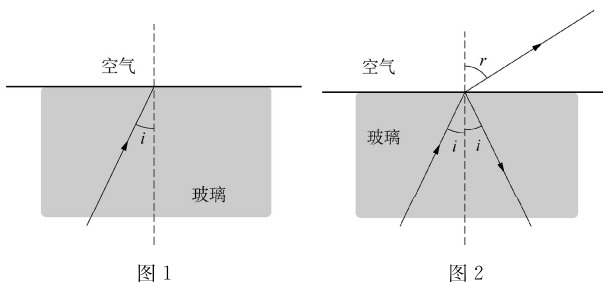
2.2 介绍概念,提出猜想

教师呈现常见介质的折射率,见表 1。向学生介绍光密介质和光疏介质的概念,并指明这种划分是相对的。

表 1 几种介质的折射率($\lambda = 589.3 \text{ nm}$, $t = 20^\circ\text{C}$)

介质	折射率	介质	折射率
金刚石	2.42	氯化钠	1.54
二硫化碳	1.63	酒精	1.36
玻璃	1.5~1.8	水	1.33
水晶	1.55	空气	1.00028

问题 2 如图 1 所示,请画出光由玻璃斜射入空气中时的光路图。



学生画出光路图,如图 2 所示。

问题 3 在图 2 中,若增大入射角,会发生什么现象?

生 1: 折射光线可能会消失。

生 2: 折射光线可能会进入到玻璃中。

师: 以上猜想都是合理的。但是实际情况怎样,可否设计实验进行探究?

设计意图 通过建立光密介质、光疏介质的概念以及联系先前所学习的知识,引发学生对光从光

密介质射向光疏介质时,折射角达到 90° 后所发生现象的猜想。引出一个论题,发起一场论证。

2.3 科学探究,获取证据

要想获得有效的证据,就要合理地设计实验。教师引导学生思考:该实验应当创设一个怎样的物理情境? 选择什么实验器材? 实验中应该观察与测量什么?

问题 4 该实验要探究光从光密介质射向光疏介质时,折射角达到 90° 后所发生的现象。所以应当创设一个怎样的实验情境?

生: 要让光从光密介质射入光疏介质,所以要先确定实验中的光密介质和光疏介质。

问题 5 需要选择哪些实验器材?

生: 可以选择玻璃砖或者水作为光密介质,空气作为光疏介质,激光笔作为光源。

师: 说得很好,我们用玻璃砖来进行实验。实验室中常用的有两面平行玻璃砖和半圆柱形玻璃砖,应该选哪种?

生 1: 都可以吧?

生 2: 不能用平行玻璃砖。

生 3: 如果选择平行玻璃砖,入射光线和出射光线平行,根据光路的“可逆性”,不符合实验要求。

师: 桌面上给大家提供了激光笔,半圆柱形玻璃砖等实验器材,请大家设计一个实验方案。

生: 让光沿着半圆柱形玻璃砖的半径射入玻璃砖,这样入射光线在圆弧面上不发生偏折,光线沿着半径射向玻璃砖的上平面后射向空气。实验中转动激光笔可以改变入射角。

如图 3 所示,教师展示实验器材,明确法线,从而确定需要观察的入射角、反射角与折射角。教师强调,在进行实验时还要注意观察入射角增大时,折射角与反射角的变化情况以及折射光线与反射光线的亮度变化情况。

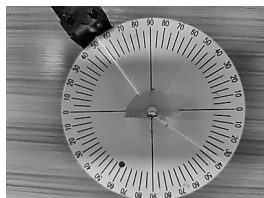


图 3



图 4

学生进行分组实验,观察并记录实验现象。

设计意图 观察全反射现象的实验是一个定性实验。在教学时,要注意实验的“设计感”,让学生学

会如何设计能够有效获取证据的实验,这也是科学论证的重要环节之一。

2.4 分析论证,得出结论

在实验的基础上,教师引导学生抓住“折射光线消失,所有光线都被反射回原介质”这一事实,建立“全反射”概念。并引导学生深入讨论全反射现象的发生条件。

问题 6 发生全反射需要什么条件?

生 1:光由光密介质射向光疏介质。

生 2:还需要入射角增大到某一角度。

师:讨论后给出临界角概念,并引导学生推导出光从折射率为 n 的介质中射向真空时的临界角与折射率间的关系。

生:临界角就是折射角达到 90° 时的入射角,所以根据折射定律 $\frac{1}{n} = \frac{\sin C}{\sin 90^\circ}$,解方程得到临界角的正弦值 $\sin C = \frac{1}{n}$ 。

教师在学生讨论的基础上归纳发生全反射的条件。并且强调,由 $\sin C = \frac{1}{n}$ 就可以根据介质的折射率来计算介质的临界角,也可以通过测量临界角的方法来推算介质的折射率。

问题 7 水流导光实验中,光在水中是否发生了全反射现象?

学生在学习完全反射后很自然地会提出一个尝试性的主张,但实际上学生并不能清晰地解释水流为何会导光,光线到底是怎样传播的。此时教师在课件中展示“水流导光”实验的近景大图,如图 4 所示,图中能清晰地看到光在水中沿锯齿状折线传播。

问题 8 请用科学的语言解释光为什么在水中呈锯齿状折线传播?

生:光从水中射向空气中,满足从光密介质射向光疏介质,入射角也达到了水的临界角,所以光在水与空气的界面上连续地发生了多次全反射。光并不是弯曲地传播下来的,而是一段段折线。

为了验证学生论证的正确性,教师利用量角器对其中一组入射、反射光线间的夹角进行测量,发现夹角大约为 101° 。如图 4 所示,根据反射定律可知,光线的入射角约为 50.5° ,而水的临界角约为 48.7° ,入射角大于临界角。

设计意图 通过对实验结果的分析论证,形成全反射概念,得出全反射现象发生的条件,并科学地解释水流导光实验。

2.5 应用知识,解释现象

(1) 光导纤维

在水流导光实验的基础上,教师顺势引入与水流导光现象类似的光导纤维,介绍光导纤维的原理,光导纤维的结构组成,我国光纤通信工程取得的成就与贡献等。在介绍时,适时发问:光导纤维的外套和内芯谁的折射率更大?这样的问题可以加深学生对全反射现象的认识与理解。

(2) 全反射棱镜

教师简单介绍截面为直角三角形的玻璃棱镜是一种重要的光学器件。

问题 9 如果棱镜的材质与刚才测量的半圆柱形玻璃砖相同,请画出如图 5 所示两种情况下的光路图。

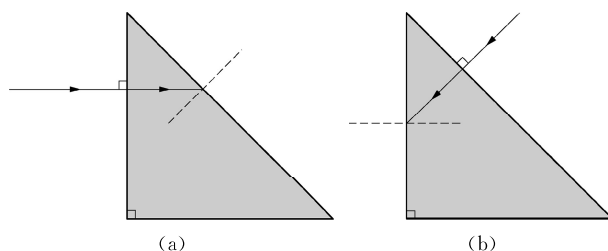


图 5

生:刚才通过实验测量出半圆柱形玻璃砖的临界角大约为 41° ,所以光在玻璃砖中会发生全反射,光路图如图 6 所示。

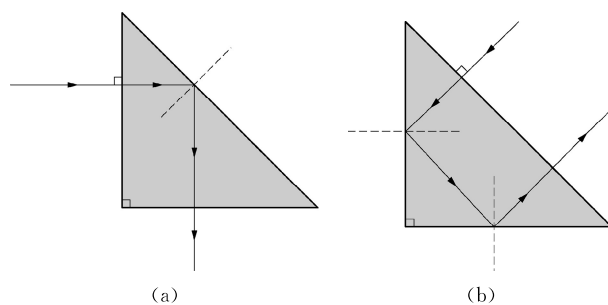


图 6

师:如何验证绘制的光路图是否正确?

生:可以通过实验验证。

教师演示全反射棱镜在两种不同的入射光情况下的光路情况,结果与学生通过理论推理得出的情况一致。教学中这一步是至关重要的,学生从理论中得出特定的可验证预测,并将其与观察结果进行对比,预测和观察结果之间的一致性增加了被测试理论的可信度,这在一定程度上反映了科学本质^[3]。最后教师介绍全反射棱镜的原理,优点及应用。

(3) 课后实践活动

做一做 如图 7

所示,在一个较浅的杯盖中到满水,将一粒沙子放在杯盖底部的中央,剪一个半径约为杯盖高度 1.5 倍的不透明圆纸板,

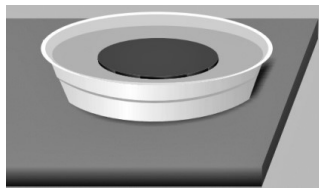


图 7

使它浮在沙子正上方的水面上,让纸板圆心与沙子正对。虽然纸板并没有把水面全部盖上,但是我们从任何角度观察都看不到沙子,请解释为什么会发生这种现象。如果量出杯盖内水的高度,请计算出不透明圆纸板的半径小于多少时就可以看到水中的沙子了。

设计意图 首尾呼应,通过了解全反射的广泛应用,理论联系实际激发学生学习兴趣,提供更多感性材料来进一步认识全反射现象。

3 反思与启示

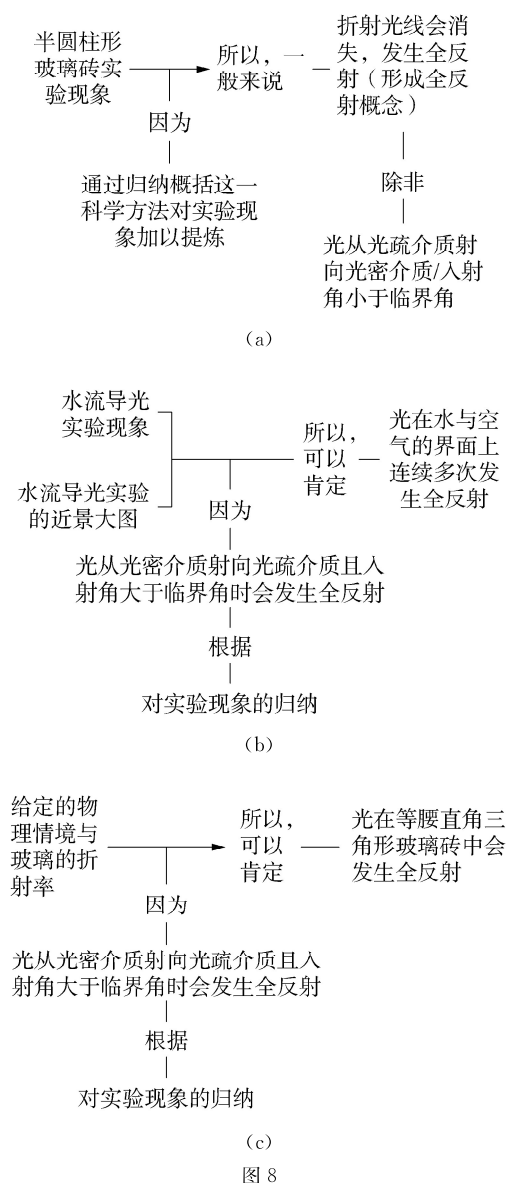
3.1 优化实验设计,为论证提供事实基础

科学主张源于对自然现象背后原因的追问,在物理教学中,学生提出的主张很大一部分源于对教师呈现实验的观察与思考。但是,为了能从实验中建构出物理解释,则需要对实验进行优化设计,而不是不加选择地使用所有与教学内容相关的实验。与全反射相关的创新实验非常之多,考虑到学生的认知水平,本节课选择了水流导光实验、利用半圆柱形玻璃砖探究全反射的实验和全反射棱镜实验,这三个实验有一个共同的特点,就是能清晰地呈现光线在界面上发生全反射的传播路径,这样直观的现象有助于学生形成全反射概念。作为新课教学,没有再演示其他有趣的实验,一方面是考虑到课堂时间的限制,呈现的实验过多,学生也只是走马观花地观察一遍实验现象,但不能充分对现象进行分析论证,另一方面,有一些创新实验,例如常见的“鱼肉消失”实验,解释难度大,初学者难以利用全反射知识对其有效地进行解释,显然不适宜在新课教学中呈现。

3.2 合理设计论证过程,基于证据得出结论

在全反射教学中主要设计了三个科学论证过程。第一个论证围绕着“光从光密介质射向光疏介质,折射角达到 90° 后的现象”这一论题展开科学论证,第二个论证围绕着“光为什么会沿着弯曲的水流传播”展开论证,第三个论证围绕“全反射棱镜的光

路图”展开论证,应用图尔敏论证模型分别对这三个论证展开分析,论证结构分析如图 8 所示。需要说明的是,图 8(a)所示的论证是一个建立理据的论证,该论证使用了“归纳法”来建立本节课的核心概念——全反射,然后再将这一概念作为理据施用于新的论证,而“半圆柱形玻璃砖实验现象”就可以作为论证水流导光时理据的支援,“水流导光现象”又可以和“半圆柱形玻璃砖实验现象”进一步作为论证全反射棱镜时理据的支援^[4]。从论证的角度来说,主张提出的可靠性逐步增强,从物理教学的角度来说,学生对全反射现象的理解也逐渐深入。



从整体来看,本节课的三个主要论证又串联成一个完整的论证链条,学生不断通过“假设-预

测”的论证模式来获取并完善知识。劳森在图尔敏的基础上提出了“假说-预测”论证模式,而本节

课的论证教学恰好与该模式相契合,具体分析如图 9 所示^[5]。

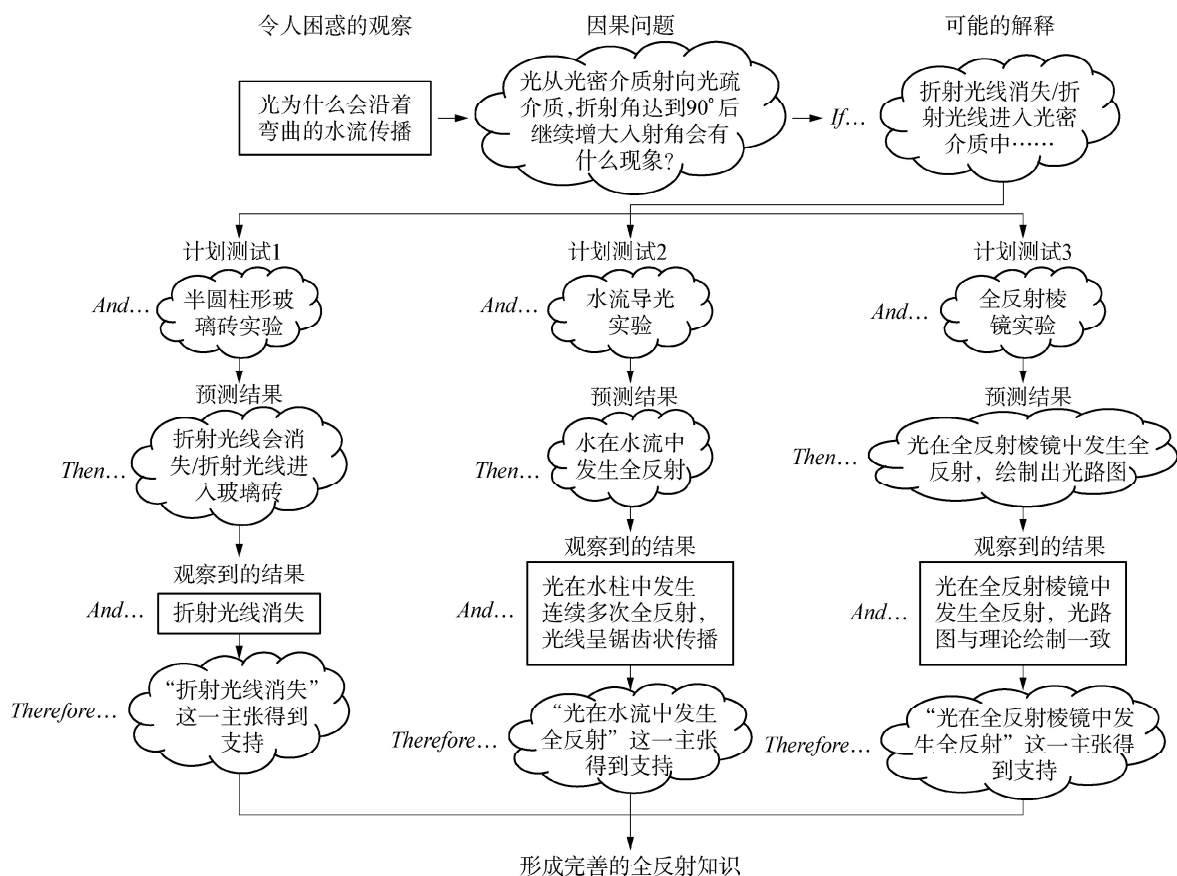


图 9

注:图中可感知的元素显示为实体框,构想的元素显示为“云”^[5]。

3.3 运用启发互动式教学策略,提高论证质量

国外学者通过研究发现教师提出开放性问题,促进学生间的对话与互动能够大大促进论证话语的产生^[6, 7]。国内也有研究表明教师使用开放性的问题可以有效地引发论证,在教学中使用“提问—回答—引导—回答—……—点评”的交互策略能够使学生深度参与论证^[8]。因此本节课在教学引入和实验探究环节都使用了大量的开放性问题引发学生的论证。在实验设计环节,教师有意识地避免了直接给出实验流程,学生照流程做实验的这种“菜谱式”的科学探究,而是采用师生对话和生生对话的策略,启发学生进行推理论证,学生通过分析思考,自主地选择实验器材和设计实验方案,这样的设计无疑使学生在科学探究中扮演了一种对证据的追求者的角色,有效地提高了学生获取证据的能力。在对水流导光现象的解释环节,教师没有在学生提出初步主

张的时候就急于给出准确的科学解释,而是搭建了一个推理论证的脚手架——呈现了水流导光的光线传播路径图,从而引导学生进一步分析思考并通过生生对话讨论的方式精致其主张。通过使用以上教学策略,学生的论证话语明显增多,在互动中论证话语的质量也逐步提高。

参考文献

- [1] 邓阳. 科学论证及其能力评价研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2015: 54, 51.
- [2] 马亚鹏. 科学论证在我国课程政策中的历史演进——以高中物理课程标准(教学大纲)为例[J]. 物理教师, 2019, 40(03): 7—10.
- [3] 蔡铁权, 谢佳莹. 从科学本质的视角解读物理学核心素养[J]. 物理教学, 2022, 44(6): 5.
- [4] (英)斯蒂芬·图尔敏. 论证的使用[M]. 谢小庆, 王丽, 译. 北京: 北京语言大学出版社, 2016: 106.
- [5] Lawson, A. The nature and development of hypotheticopre-

(下转第 31 页)