

基于科学论证能力提升的 ADI 教学模式探索与实践^{*}

——以“磁感应强度”教学为例

周佩佩

(黄冈中学北京朝阳学校 北京 100018)

姚迪

(北京第二外国语附属中学 北京 100024)

张春丽

(北京市朝阳区教育科学研究院 北京 100021)

(收稿日期:2021-12-02)

摘要:以人教版物理必修三第2节“磁感应强度”为例,深入探讨 ADI 教学模式在高中物理概念教学中的应用,力图提高学生推理探究、科学论证、质疑批判等能力,为发展学生的审辩式思维能力探索切实可行的方法和途径.

关键词:ADI 教学模式 探索实践 磁感应强度

我国 2017 年版《普通高中物理课程标准》明确提出“科学思维”是物理核心素养的主要内容,并进一步说明“科学思维”主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等要素,“科学论证”首次明确写进我国的物理课程标准^[1]. 基于科学论证的教学方式也越来越得到重视,因为该方式有益于培养学生的问题意识、证据观念、推理能力和审辩性思维.

2008 年,由 Sampson 等人提出适合于实验探究活动的论证教学模式(Argument - Driven - Inquiry, 简称 ADI)^[2]. 其主要流程是学生以小组合作的方式在真实的实验情境中提出可探究的科学任务,围绕探究任务提出主张,设计相应的实验方案、收集相关资料形成证据,小组分享论证的过程,并在交流中得到批判和反馈,经过组内反思性研讨,撰写探究报告并提交给同伴进行匿名评审. 整个论证的过程和评价像科学家一样的思考方式进行.

本文以人教版物理必修三第2节“磁感应强度”为例,对 ADI 教学模式在课堂中的应用进行探索,下面简述本节课教学实操中的几个重要环节.

1 重要环节之一 —— 学生设计实验方案 体验磁场的强弱

活动设计:利用图 1 所示的实验器材设计一个小实验,验证两块磁铁磁性的强弱,并说出你的判定标准.



(a) 回形针



(b) 磁铁

图 1 回形针和磁铁

设计意图:通过半开放式的问题设置,让学生经历实验设计、体验、阐述、论证的过程,唤醒学生的内在驱动力,调动思维的活跃性与创新性,培养学生的探索意识. 引发思考初中学过的磁感线知识不够用了,必须引入一个物理量来定量描述磁场的强弱和方向.

^{*}“北京市物理学会张春丽名师工作室”研究项目“基于审辩式思维的物理论证教学实践研究”的阶段性成果.

2 重要环节之二 —— 科学类比 确定研究对象

思考引导: 磁场与电场都是看不见摸不着的物质,可以类比电场研究磁场,但磁场与电场又有区别,因此,在类比建模过程中需要把一些细节说清楚。例如:运动点电荷和静止的小磁针符合研究磁场对“点”的要求,但运动点电荷的受力和速度都不易于测量,不利于学生观测和经历概念的建立过程;用小磁针探究磁场方向是直观的,但是小磁针没有单边磁极,小磁针的受力难以量化。基于以上因素我们选择更易于定量研究的探测物——通电直导线。一般从最简单的磁场入手,选定匀强磁场来研究。

3 重要环节之三 —— 经历定量的实验探究 体验比值定义的本质

3.1 明确学习任务

探究影响通电直导线受力的因素,能否类比电场强度寻求定量描述磁场强弱的物理量。

3.2 设计方案 搜集数据

学生采取分组合作的研究方式,教师向每个小组提供探究任务清单,探究任务清单中包括要研究的问题、要设计的实验方案,要收集哪些数据等等,同时在设计实验过程中教师进行适当引导,比如应

当采用什么物理方法进行探究、如何定量观测这些物理量等等,为学生自主进行实验和展开论证提供必要的支持。各组的探究任务清单完成后,需要和教师交流确认后,进行相关实验和收集数据。

3.3 分析数据 整理论据

实验装置如图2所示,第1小组的实验是在磁感应强度不同(磁铁间距离为5.5 cm和8 cm)的两组强磁铁中控制导体长度不变,利用滑动变阻器改变通过线圈的电流,线框的重力可以通过电子秤调零抵消,由于牛顿第三定律以及二力平衡知识,电子秤承受质量所对应的力就是通电导线在磁场中所受磁场力的大小,记录电子秤的示数和电流表示数,探究磁场力 F 和电流 I 的关系。其中 F_1 是导线在磁铁间距离为5.5 cm的磁场中所受磁场力的大小, F_2 是导线在磁铁间距离为8 cm的磁场中所受磁场力的大小,实验数据见表1。

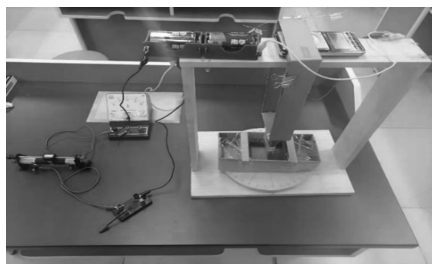


图2 实验装置图

表1 不同磁场中 F 和电流 I 的关系

I/A	0	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.44	0.48
m_1/g	0	0.80	0.96	1.11	1.27	1.45	1.58	1.75	1.90
F_1/N	0	7.84	9.41	10.88	12.45	14.21	15.48	17.15	18.62
m_2/g	0	0.64	0.74	0.88	0.96	1.05	1.16	1.27	1.39
F_2/N	0	6.27	7.25	8.62	9.41	10.29	11.37	12.45	13.62

第2组实验是在两组强磁铁中控制导体中的电流不变($I=0.36\text{ A}$),第一组数据的5匝线圈对应的总长度为0.25 m,另外分别为10匝、15匝、20匝、25

匝、30匝,对应应在磁场中的有效长度分别为0.50 m, 0.75 m, 1.00 m, 1.25 m, 1.50 m,以此来探究磁场力 F 和长度 L 的关系,实验数据见表2。

表2 不同磁场中 F 和长度 L 的关系

L/m	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
m_1/g	1.45	2.85	4.45	6.00	7.37	8.70
F_1/N	14.21	27.93	43.61	58.80	72.22	85.26
m_2/g	1.05	2.10	3.15	4.21	5.30	6.36
F_2/N	10.29	20.58	30.87	41.26	51.94	62.32

第3组实验是在控制磁场中的导线长度、通电导线的电流不变,分别在不同的磁场中记录电子秤

的示数以及磁场和通电导线之间的夹角 θ ,实验数据见表3和表4.

表3 磁场力 F_1 和夹角 θ 的关系

F_1/N	$\theta/(\circ)$	F_1/N	$\theta/(\circ)$	F_1/N	$\theta/(\circ)$	F_1/N	$\theta/(\circ)$	F_1/N	$\theta/(\circ)$	F_1/N	$\theta/(\circ)$
0	0	8.624	60	8.232	120	0	180	-8.918	240	-9.016	300
1.960	10	9.114	70	7.350	130	-2.254	190	-9.310	250	-8.526	310
4.116	20	9.408	80	6.174	140	-4.214	200	-9.996	260	-6.468	320
5.586	30	9.506	90	4.900	150	-5.880	210	-10.290	270	-5.586	330
6.762	40	9.212	100	3.626	160	-7.154	220	-9.996	280	-3.234	340
7.938	50	8.918	110	1.274	170	-8.330	230	-9.604	290	-1.470	350

表4 磁场力 F_2 和夹角 θ 的关系

F_2/N	$\theta/(\circ)$	F_2/N	$\theta/(\circ)$	F_2/N	$\theta/(\circ)$	F_2/N	$\theta/(\circ)$	F_2/N	$\theta/(\circ)$	F_2/N	$\theta/(\circ)$
0	0	11.466	60	11.564	120	0	180	-11.858	240	-10.976	300
1.862	10	12.642	70	9.996	130	-2.058	190	-12.838	250	-9.408	310
4.508	20	13.230	80	8.134	140	-5.194	200	-13.328	260	-7.840	320
6.272	30	13.916	90	6.174	150	-6.664	210	-13.622	270	-6.860	330
8.722	40	13.426	100	4.410	160	-8.428	220	-12.838	280	-5.292	340
10.094	50	12.544	110	1.568	170	-10.584	230	-12.152	290	-2.156	350

各小组通过初步的测量数据发现,在电流和磁场一定的情况下,通电导线的长度越长,通电导线的受力越大;在通电导线长度和磁场一定的情况下,通电导线的电流越大,通电导线的受力越大;在电流和通电导线的长度一定的情况下,磁场越强,通电导线的受力越大.

3.4 分享论证 归纳结论

在分享论证的环节教师引导除了进行表格数据处理,还可以进行图像分析,这样可以实现定性到定量的探究.比如做 F 与 I 图像、 F 与 L 图像、 F 与 IL 图像进行对比分析,看看到底是用哪个物理量能准确、方便地描述磁场的强弱.

(1) 论证:可否用 $\frac{F}{I}$ 表示磁场的强弱?

对表1进行数据拟合如图3和图4所示,可以发现:保持通电导线的长度不变,同一磁场中, $F \propto I$;在不同的磁场中,虽然同一电流所对应的通电导线的受力不同,依然有 $F \propto I$,只是 $\frac{F}{I}$ 的比值不同,因为这

能还与 L 有关系.

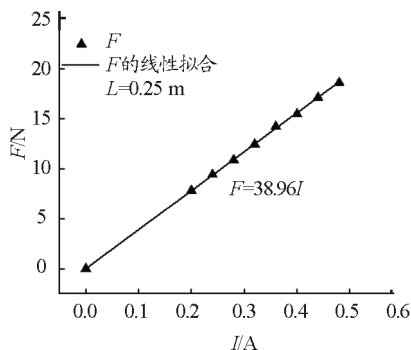


图3 F 与 I 的关系

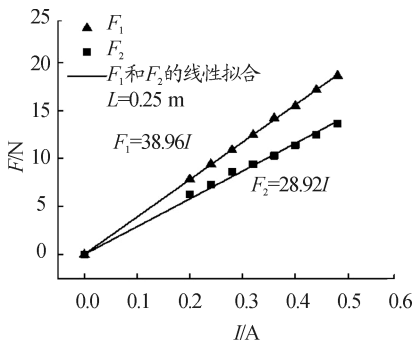


图4 不同磁场下 F 与 I 的关系

(2) 论证:可否用 $\frac{F}{L}$ 表示磁场的强弱?

对表2进行数据拟合如图5和图6所示,可以发

现:保持通电导线的电流不变,同一磁场中, $F \propto L$;在不同的磁场中,虽然同一长度所对应的通电导线的受力不同,依然有 $F \propto L$,只是 $\frac{F}{L}$ 的比值不同,因为这组实验中变量是磁场和通电导线的电流,因此 $\frac{F}{L}$ 可能还与 I 有关系.

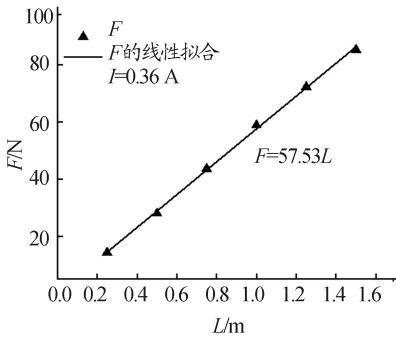


图5 F 与 L 的关系

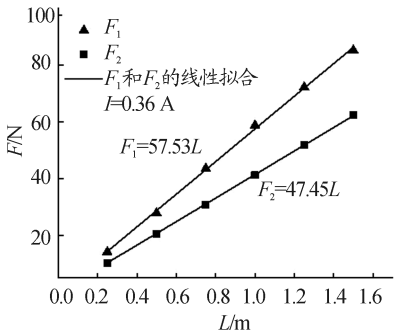


图6 不同磁场下 F 与 L 的关系

(3) 论证:可否用 $\frac{F}{IL}$ 表示表示磁场的强弱?

表5 不同磁场中 F 和 IL 的关系

$IL/(A \cdot m)$	0	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
F_1/N	0	7.84	9.41	10.88	12.45	14.21	15.48	17.15	18.62
F_2/N	0	6.27	7.25	8.62	9.41	10.29	11.37	12.45	13.62
$\frac{F_1}{IL}/T$	N	156.80	156.80	155.40	155.57	157.89	154.84	155.91	155.17
$\frac{F_2}{IL}/T$	N	125.40	120.87	123.20	117.60	114.33	113.68	113.16	113.52

通过分析数据,我们发现在同一磁场中,虽然通电导线中 IL 不同,磁场力 F 不同,但是 $\frac{F}{IL}$ 为一个确定的比值;在不同的磁场中,该比值不同;说明该比值具有客观性,与通电导线的有效长度和其中的电流无关,只与磁场本身有关,能够描述磁场本身的

强弱.图3中 $F-I$ 图像和图5中 $F-L$ 图像中对应的是同一磁场,然而两组数据中 $\frac{F}{I}$ 与 $\frac{F}{L}$ 并不相同,因此,不能把它们作为表述磁场强弱的物理量.对上述数据分析可知当同一磁场条件下, L 一定时, $F \propto I$; I 一定时, $F \propto L$;那么 F 与 IL 的乘积是否也成正比呢?我们对数据进一步处理,以 IL 的乘积作为横坐标,以 F 作为纵坐标,进行数据拟合如图7所示.

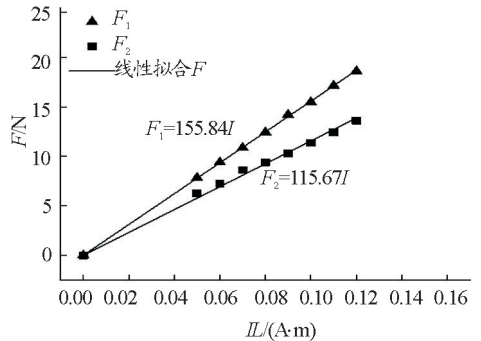


图7 F 与 IL 的关系

我们研究影响磁场对通电导线作用力大小的因素,目的是为了寻找合适的物理量来描述磁场的强弱,既然 $F \propto IL$,这个比值 $\frac{F}{IL}$ 有什么物理意义?类电场强度 $E = \frac{F}{q}$,能否用他们的比值描述磁场的强弱?我们发现在实验误差允许的范围内, $\frac{F}{IL}$ 是一个定值,这个定值是否就是我们寻找的可以描述磁场强弱的物理量?我们进一步处理分析如表5所示.

强弱.

(4) 论证: $\frac{F}{IL}$ 是否和 θ 有关系呢?

能用 $\frac{F}{IL}$ 表示磁感应强度的结论是在通电直导线和磁场垂直时得到的.由表3和表4可知 F 还和 θ

有关系.那么 $\frac{F}{IL}$ 是否和 θ 有关系呢?

我们对表 3 和表 4 进行数据拟合,发现在实验误差允许的范围内,图像函数为 $F = BIL \sin \theta$,整理变形为 $\frac{F}{IL} = B \sin \theta$,峰值的不同验证了两组不同磁场的磁场强弱不同,如图 8 所示.

经过合理地推理和大量的实验验证,在任意电流和通电导线长度以及任意导线与磁场夹角的情况下,都可用表达式 $\frac{F}{IL}$ 来表述磁场的强弱,只有在导线与磁场垂直时才有 $B = \frac{F}{IL}$.

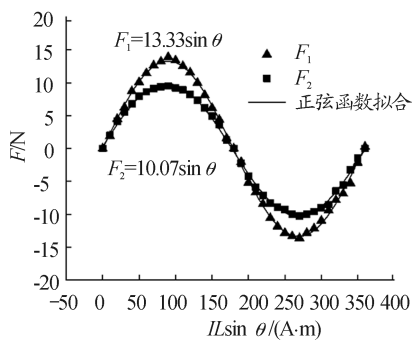


图 8 不同磁场下 F 与导线电流、磁场方向夹角的关系

3.5 反思提升 修正深化

反思研讨:有同学提出上述结论是在匀强磁场中得到的,在非匀强磁场中还能用 $\frac{F}{IL}$ 的比值描述它的性质吗?教师启发学生“无限分割、以匀代变”的极限思想进行分析推理,也可以描述磁场的强弱.同时再次类比电场强度的定义式,从 $B = \frac{F}{IL}$ 再回到 $E = \frac{F}{q}$

来建构“电流元”的理想化模型,从匀强磁场到非匀强磁场,从“直导线”到“电流元”,渐次深入,依据充分,逻辑自然.

模型建构:在物理学中,把很短的一段通电导线中的电流 I 与导线长度 L 的乘积 IL 叫做“电流元”,因为“孤立电流元不存在”,因此“电流元”与质点、点电荷一样都是理想的物理模型.

修正完善:另外本实验虽然是定量实验,但是精确度还有待提高,比如可以提高电流表的精度等级,可以把电子秤换成微力传感器,这样会使实验数据更加准确,更加趋向定量实验,也就更具有说服力.

3.6 撰写报告 学生自评 匿名互评

论文写作是科学研究的重要组成部分,科学家不仅需要阅读、理解、评估他人的研究成果,也需要通过论文写作分享自己的研究成果.因此,引导学生用清晰、规范的语言来撰写探究报告,反思体会科学研究的过程,并且根据课堂的表现进行自我评价,自评表如表 6 所示^[3].收到报告后,教师将报告拍成图片随机在群里发送给不同小组进行匿名评审,引导学生从探究任务、实验过程、科学论证和论文写作 4 个方面进行评价,比如作者是否使用科学的方式呈现证据,作者是否有充足的证据来支撑自己的主张,作者的研究报告是否做了修改和完善等等,学生根据反馈信息对探究报告进行修改,然后提交给教师进行第二次评定.如果修改后的报告达到可接受的质量水平,作者即可获得满分,否则需要进行第二轮修正完善直到达到目标要求.

表 6 学生课堂自评表

自评项目	A	B	C	D	E
(1) 你是否积极参加小组的合作讨论?	积极	较积极	一般	较不积极	不积极
(2) 你是否明确研究问题并提出假设?	可以	基本可以	一般	不太可以	不可以
(3) 你能否流畅清晰地分享实验方案?	可以	基本可以	一般	不太可以	不可以
(4) 你能否通过实验寻找证据证明自己的猜想?	可以	基本可以	一般	不太可以	不可以
(5) 你能否在其他小组分享实验结论的时候提出质疑?	可以	基本可以	一般	不太可以	不可以

设计意图:利用定量实验进行探究,让学生经历磁感应强度的建立过程,有利于培养学生的科学探究能力.通过真实的数据记录与分析,得出相应的

结论,培养学生的证据意识.撰写报告、自我评价、匿名互评这一环节培养了学生科学推理能力和论证能力,而且能够及时反馈教学效果,为教学的进一步改

进提供了重要的依据.

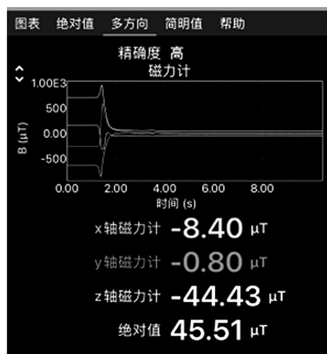
4 主要环节之四——自带“便携 DIS 实验室”强化概念的深入理解

为了系统深刻地理解磁感应强度,利用手机应用程序中 phyphox 实验软件里的一款应用程序“磁力计”,可以精确测量手机所在空间的磁场,相当于



phyphox

(a)



(b)



(c)

图9 phyphox 软件中的磁力计功能

表7 论证评价表

事实依据	解释	评价
磁力计上有3个方向的数据	磁感应强度可能为矢量	证据欠缺,仅仅有方向不代表物理量是矢量
磁场3个方向的物理量代数和相加 $25.29 \mu\text{T} - 42.39 \mu\text{T} - 20.33 \mu\text{T} = -37.33 \mu\text{T} \neq 53.39 \mu\text{T}$	支持磁感应强度为矢量 反驳磁感应强度为标量	相加不符合代数和相加的运算法则,是磁感应强度为矢量的证据支撑
磁场3个方向的物理量平方和相加 $(25.29 \mu\text{T})^2 + (-42.39 \mu\text{T})^2 + (-20.33 \mu\text{T})^2 \approx (53.39 \mu\text{T})^2$	符合平行四边形的运算法则	从科学本质上力证磁感应强度为矢量

小实验:把手机放在U型磁铁同一位置的不同方向,观测发现其峰值不一样,对应数据不同,这是地磁场和U型磁铁激发的磁场共同叠加的结果,也是磁感应强度是矢量的证据之一.

设计意图:将抽象的概念与真实情境相联系,通过学生在自主思考和互相讨论的过程中,进行思维的碰撞.利用真实的测量数据,从运算法则分析数据中得到磁感应强度这个物理量是矢量的结论.有助于学生对磁感应强度从大小和方向上的全面理解,有利于学生科学思维的提升.

5 结束语

ADI教学模式在本节课的应用,不仅提高课堂教学的质量,也为核心素养目标下的高中物理实验

随身携带了一个微型DIS实验装置,随处可做实验,学生们特别感兴趣.

如图9所示,引导学生打开phyphox软件中的磁力计功能,移动手机,在不同的位置固定观察不同菜单栏下的数值,讨论其物理意义.并且思考讨论磁感应强度是什么性质的物理量?表达出你的观点,论证评价表如表7所示.

教学提供新的思路,有助于物理核心素养的“落地生根”^[4].当然,在论证教学的实操中,应根据不同的教学内容选择合适的论证模式和策略,才可能获得最佳的教学质效.

参考文献

- 张春丽,袁光秀.提升学生科学论证能力的课堂教学实践案例[J].物理教学探讨:中学教学教研版,2018,36(9):4
- 沈千会.ADI教学模式在物理实验教学中的应用[D].南京:南京师范大学,2020
- 周胜林,钱长炎.ADI教学模式及其在高中物理实验教学中的应用[J].物理通报,2021(2):92~96
- 郭志坚.ADI教学模式在高中物理教学的实践研究[J].高考,2021(16):15~16