

基于现象描述分析学的物理解题方式研究*

文佳佳 吴维宁

(湖北大学物理与电子科学学院 湖北 武汉 430062)

(收稿日期:2018-08-04)

摘要:长期以来,我国的教育研究,尤其是学科教学研究缺乏实证.而在实证方法中,质的方法长期缺位.作为一种质的实证研究方法,现象描述分析学受到越来越多的关注.与我国教学研究重教轻学的总体状况相类似,我国物理习题教学一直倍受关注,然而却鲜见对学生解题方式的研究.强化对学生物理解题方式的研究具有理论和实践的双重意义:在理论层面上,基于实践的研究有利于自下而上地构建和丰富物理教育理论;在实践层面上,对学生解题方式的研究结果能够更具针对性地指导并优化习题教学.

关键词:现象描述分析学 物理习题 解题方式 质的研究

物理解题方式研究是了解学生如何解题,从而为物理教学,尤其是习题教学提供有用信息的教学研究.在我国由于高考的原因,习题教学倍受关注,但对学生如何解题却少有研究.其实,对学生的解题方式进行调查,对提升教学的针对性和实效性非常必要.另外,近些年来,我国的教育教学研究开始关注实证方法,但多以量化研究为主,质的方法鲜见.事实上,质的方法也是一种重要的实证方法,它的研究深度和研究触角,是量化方法无法比拟和替代的,实证研究是否包括质的研究,在国内学界尚存争议,但在西方国家已不是问题,在西方国家,质的方法早已成为量化方法的有益补充.当今西方逐渐流行的融合质与量两种方法的混合式研究法,早已被看作是优美而完备的实证方法^[1].令人欣慰的是,近年来,上述思想逐步为国内学者所认同^[2].

在质的方法中,有一种叫做“现象描述分析学”^[3]的研究方法,受到越来越多的中外研究者的青睐.与现象学直接研究客观对象不同,现象描述分析学并不直接研究客观事物本身,而是关注人们对于相关事物、问题的看法或处理方式.其研究过程通常包括以下几个步骤:首先,进行一对一的访谈,并在征得受访者同意的情况下,对访谈内容进行全程

录像或者录音.其次,将访谈录像或者录音逐字逐句地转换成文字文本,这是一个工作量很大但又必不可少的环节.再次,在转换完成的访谈文本中,找到能够体现受访者对于某个问题的各种不同观念,或者对于某个问题的不同处理方式的各自特征,并以此为依据,将受访者进行分类.最后,对于各类受访者进行特征描述,并探寻其理论价值和实践意义.

以下介绍一则运用现象描述分析学来探寻学生物理解题方式的研究案例,相信对我国的物理教育研究者和广大的物理教师都会有所启发.这是发表在《美国物理评论》(物理教育专栏)上的一份研究报告^[4],作者来自爱尔兰都柏林理工学院.由于篇幅原因,这里只对其关键步骤和重要结论作出概括性介绍.

1 研究样本与访谈问题

这里的研究样本就是访谈对象.在美国,有许多通用的评测工具,用于评测学生对于物理知识的掌握情况,其中有一个诊断性的力学评测工具,叫做力与运动的概念评测试卷(FMCE),它包括47道单项选择题.在此次研究中,首先,研究人员让学生做FMCE,根据测评结果,将学生划为低、中、高3个等

* 湖北大学研究生教育教学改革项目“教育硕士学科教学测量与评价课程综合改革实践研究”的阶段性研究成果,项目编号:JY2018-011

作者简介:文佳佳(1998-),女,在读硕士研究生,主要研究物理学科教学.

指导教师:吴维宁(1963-),男,博士,副教授,硕士生导师,美国纽约州立大学访问学者,主要研究物理课程与教学论、教育测量与评价.

级,再从每个等级中随机抽出相同比例的学生作为此次研究的访谈对象;之后联系被抽中的学生,问他们是否愿意参与访谈,因为学生参加这次访谈没有任何报酬.最终有22名学生接受了访谈.为了提供有效的对比过程,研究小组还邀请了一位大学教师作为受访对象.22名受访对象的基本情况如下:他们都是大一新生,年龄从18岁到24岁不等,其中包括12名男生和10名女生.所有受访者都拿到了爱尔兰的高中毕业证书,其中10名受访者高中时学过物理.他们分别来自4个不同的专业:2个是四年制的物理学专业,1个是四年制的医学专业,1个是三年制的科学专业.物理学专业的课程是通过“问题导向教学法”来讲授的,医学专业和科学专业的课程则通过传统的授课方式实施教学.

访谈问题由6道物理题目组成,前2道题是直线运动部分的章末习题,有2道题目是由明尼苏达大学物理教育研究小组改编的包含丰富生活情景的物理习题.总体来说,6道物理题的难度从前到后逐渐增加,因此,学生正确解题的数量,可反映他们的解题能力.为节省篇幅,这里仅呈现其中的3道题,因为这3道题需要在稍后的讨论中用到.

原访谈测试题序列中的问题1:

如果我站在一个距地面约10 m的三层楼的房顶上往下扔西瓜,西瓜重约2 kg.问西瓜落地时的速度有多大?

原访谈测试题序列中的问题2:

假设你站在地面上,伸出手,手中握着一个球,球距地面约2 m.你将小球以15 m/s的速度竖直向上抛出.在下落到地面之前,小球在空中逗留的时间是多少?

原访谈测试题序列中的问题3:

只是为了好玩,你和你的一个朋友决定参加著名的环法自行车赛.你以10 m/s的舒适速度骑行.这时,你从反光镜中看到,你的朋友正以大约15 m/s的速度超越你.你决定迎接挑战并在她超越你的那一刻开始,以 0.25 m/s^2 的加速度加速骑行,直到你追上她为止.问她处于你前方的时间有多久?

2 研究过程与研究方法

确定了访谈对象之后,研究人员先让访谈对象

接受为期6周的常规的力学教学,之后是两周的访谈.对学生的访谈由研究小组成员完成,对教师的访谈则是由另一位物理专业教师来主持完成的.访谈时间没有限制.一些受访者完成了上述所有的题目,其他受访者可能只完成了2~3道题.一个受访者完成所有的6道题用时55 min,而另一个受访者努力完成了2道题用半小时.最后整理发现,每个受访者的平均访谈时间为45 min.

该项研究的主要目的是调查学生的物理解题方式,而不是学生解题的具体方法.首先,研究人员为受访者大声读出每个题目,接着让受访者自己读题.先由研究人员读题的原因,是为了克服学生的阅读差异.然后,研究人员要求受访者陈述看过题目后的第一反应,并对题目作出定性的描述.最后,鼓励学生在纸上解答问题时,尽可能地边做题边说出自己的思维过程(出声思考).访谈过程中受访者可以使用公式表.一旦受访者解答完毕或者试图解答某个题目时,研究人员会问他们对自己的答案有几成把握.他们采用这样的方法,目的是鼓励每个受访者定性分析自己的解题方案.问题的梯度化设计和出声思考的方法,可以用来确定学生的解题方式.所有的访谈都进行了全程录像.

访谈录像或录音被逐字逐句地转换成文字文本,学生在访谈过程中的书面解答内容也全部被收集起来,确保访谈过程中的所有信息都不会被遗漏.在分析数据的过程中,定性明确的分类可以描述学生们解决问题的方式.访谈的文字资料由研究小组的3名成员整理,包括寻找访谈内容之间的相似点和不同点;选出重要的陈述内容,比较这些陈述内容,以便找到变化或达成一致的规律,并据此对访谈内容进行分类.通过这个过程,3个研究人员分别对学生的解题方式进行最初的分类,之后研究人员会讨论最初的分类,以及他们对学生各种解题方案的解释.在研究人员对最后一组分类达成共识之前,这些类别的数量和评判标准都将会被反复修改.最终一个能解释所有数据变化、类别最少的“结果空间”被开发出来.为了确定这些类别能描述并包含所有数据,研究人员重新检查了所有访谈记录.反复的数据分析过程和现象描述分析学的要求是一致的,正如现象描述分析学研究领域的代表人物马顿先生所

说的那样,“对类别的定义就是对数据的反复测试、调整、重测和再次修改。”由于研究的目的是为了确定一种针对学生解题方式的分类,所以对教师的访谈不必用现象描述分析学的方法进行分析研究,教师访谈的内容仅仅是为了提供比较数据。

3 研究结果与访谈案例

根据受访者物理解题的方式,研究小组最终确

表1 学生解题方式分类表

类别		关键特征	人数 / 人
科学方式		定性分析物理题意 / 构想实施解题方案 / 运用概念指导解题 / 评价自己的解题方案	2
套公式	结构化方式	基于需要用到的公式来定性分析题意 / 根据变量制定解题方案并系统推进 / 运用概念指导解题 / 评价自己的解题方案	3
	非结构化方式	基于公式中需要的变量来分析题意 / 根据变量用试错法来选择公式 / 没有评价自己的解题方案	9
死记硬背		基于先前的例子分析题意 / 试图找到适合给定的变量的例子 / 把概念当作变量 / 没有评价自己的解题方案	2
方法不明		基于给定的变量分析题意 / 以随机的方式使用变量 / 把变量当成条件 / 没有评价自己的解题方案	6

在上面的分类表中,确定一个学生的解题方式属于哪种类型的判断依据,是该学生在解答上述访谈问题时所表现出来的关键特征.任意一种解题方式都是由多个而不是一个关键特征决定的,所以下面将要介绍的各种解题方式的实际案例,由于篇幅的原因,不可能包含上表中所描述的全部关键特征,但这些关键特征在访谈解题的过程中确实都有充分而清晰的表现.为帮助读者具体了解研究者的数据分析过程,下面通过案例,介绍对两种解题方式的详细分析和判断过程.

3.1 科学方式的案例

采用科学方式解题的学生,能够根据题目涉及的相关概念来定性分析题意.这些学生会找到题目涉及的概念,并用前后一致的方式讨论如何将这些概念关联起来.他们会制定解题方案,然后确定可以通过它们而得到答案的变量.在这个相对较小的群体当中,学生非常熟悉解题需要用到的公式(他们不需要参考公式表).他们会根据已知条件来解题,但是由于数学上的错误或者概念上的问题,他们并不总是得到正确的答案.在整个解题过程中,重点是

定了一张具有层级结构的解题方式分类表,如表1所示.其中的类别都具有内部关联性,上述解题方式分类表主要回答两个问题:一是参与访谈的学生用什么样的方式解决问题?二是各种解题方式的核心是什么?作为研究结果,上述分类表列举了解题方式的各种类别,以及各类别的关键特征和相关人数等内容.

各个概念如何被联系起来,并用于指导解题过程.一般情况下,这类学生并不会自觉地根据题意画出示意图,除非他们认为确有必要,否则,他们只会依赖定性分析.这些学生可以定性地评估他们的解题方案,或者对自己答案的正确性进行判断.下面是某学生用科学方式来解答第3个题目的例子.

先来看访谈者与学生的对话以及学生解题时的出声思考过程.

学生:好的.所以我以 10 m/s 的速度在走,“你的朋友即将超过你.”

重新读题.

学生:我猜想,原题说他们将以你所估计的 15 m/s 的恒定速度超越你时,我将……

我可以认为她正以 15 m/s 的速度运动,或者,她正以比你每秒快 15 m 的速度超越你.但是如果我取她的速度值是 15 m/s ,那么速度差是 5 m/s ,如果我把它画出来不是很酷吗?

访谈者:当然.

这时学生画了一个简单的情境草图.

学生:所以我的加速度是恒定的,加速度是

0.25 m/s²,直到我追上她.是吗?

访谈者:是的.

学生:所以我想距离基本上是一样的,如果我想超过她,我就得比她跑得快.所以可以用解联立方程的方法来计算她在我前面的时间.

所以如果她跑得比我快,假设在距离 d 我超过她,她的速度恒定没有加速,所以她的运动距离是 d ,而我的运动距离也是 d .

学生写:

$$d = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$d_{\text{her}} = (15)t + 0$$

$$d_{\text{me}} = (10)t + \frac{1}{2}(0.25)t^2$$

学生:我们可以让两者相等然后可以得到……

学生写: $(15)t = (10)t + (0.125)t^2$.

学生:在方程的两边同时约去一个 t .

学生写:

$$15 = 10 + 0.125t$$

$$t = \frac{5}{0.125}$$

$$t = 40 \text{ s}$$

学生:所以时间是 40 s.(回顾原题和解题过程)这就是原题要求的“她在你前面的时间有多长”.我认为解答过程是对的.

有趣的是,那些被归类为用科学方式解决问题的学生,实际上在解决较低层次的问题时可能会采用“套公式”的方法.一般来说,他们还是会先分析情况,再简单地选择一个合适的公式,然后解决问题.很明显,只有当学生面对更高层次的问题或在确有需要其他情况下,才会采用科学的方法.

3.2 套公式的案例

如表 1 所示,套公式的解题方式又分两种情况,一种是结构化地套公式,另一种是非结构化的套公式.同样由于篇幅的原因,下面只介绍非结构化的套公式案例.

以这种方式解题的学生,只围绕需要求解的物理量来思考问题.这些学生将问题中的变量与他们认为可以用来解题的公式联系起来.他们能正确地识别变量和方程,但可能不会注意到他们解决问题的方式是不正确的,或者实际上并没有回答需要回

答的问题.当需要公式或者结合概念来解决问题时,这类学生就有困难了.他们可以选择一个合适的公式,这个公式在原则上可以给出正确的答案,但是很多人并没有找到正确的答案.这主要是由于解决方案结构上的一致.这些学生将关注的焦点集中在变量上,没有将概念与变量联系起来以指导解决方案.他们不会去评价自己的解决方案,如果他们得到一个答案就会接受这个答案.下面是另一位学生用这种方式试图解决问题 2 的例子.在这个例子中,学生列了一个一元二次方程,并且相信一旦方程求解,得到的答案就是 t .然而,她并没有尝试解这个方程.在本例中之所以以问题 2 举例,是因为许多这类的学生不能解决较复杂的 3~6 问题.

学生:线性运动方程,求时间.

学生立刻开始写:

$$u = 15, v = 0$$

$$a = -9.81, t = ?$$

$$s = 2m, s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

访谈者:你用公式 $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ 是为了求什么?

学生:为了求 t .

访谈者:好吧.

学生:因为有了 u, s, a, \dots

学生写:

$$2 = 15(t) + \frac{1}{2}(-9.81)t^2$$

$$2 = 15t - 19.62t^2$$

$$19.62t^2 + 15t - 2 = 0$$

学生:我不知道(听不清地)(咯咯的笑).

访谈者:怎么了?出什么问题了?

学生:为求时间 t ,所以移项……(停顿)

学生:把这些移到这里?(写下 $-19.62t^2 + 15t - 2 = 0$.)

访谈者:所以你有一个 t^2 和一个 t .

学生:是的.

学生安静了好一会儿.

访谈者:所以?

学生:所以,你不将它们相加吗?

访谈者:不.

学生:你必须把 t 放在一边.

访谈者:这不是一个一元二次方程吗?

学生:是的.

学生仍在试图求出 t .

学生:然后你就求 t 了.

访谈者:所以你取位移 s 为 2 m ?

学生:是的.噢,不对.

学生看着问题.

学生:是的,它是离地面的距离.

访谈者:所以球上升了,然后又回来了.

手上下移动.

学生:是的,那个距离是 2 m .

展示握住球的手的位置.

访谈者:你的手就在这里,球先上升然后又下降,你的手到地面的距离是 2 m .

学生:所以你必须把它翻倍,不,不应该翻倍,但应该多一些(用手向上移动),因为它上升了,这是你的意思吗?

访谈者:我只是问你位移是多少.

学生:不是这样的,不应该是这样.

访谈者:不是吗?

学生:不,但是我不知道它应该是什么.

访谈者:好的,但是你不喜欢用二次方程?

学生:是的.

访谈者:还有其他想法吗?

学生:没有.

4 研究结论与教学意义

4.1 新手与专家的区别

研究表明,大多数学生都不善于定性地分析物理问题.而一般而言,专家拿到一个物理问题,往往会先分析、后画图、再运用公式求解.他们认为,对一个物理问题进行定性分析是解决问题的重要环节,而学习大学物理的学生往往难以做到.访谈过程中,只有一小部分学生试图用图表法来分析问题.有趣的是,那些做了物理表征的学生并不是用这样的方法解决所有的问题.为了将学生与专家的方法进行比较,他们对一名教师进行了单独的访谈.在这次访谈中,同样要求教师在解决问题时出声思考.最明显的一点就是,教师倾向于立即描绘出物理情境图.

教师的另一个明显特点是:先作定性分析,而不是定量解答.例如,在回答第1题时,他的第1个想法是运用能量守恒定律,而不是线性运动方程.有趣的是,没有一个受访学生使用能量守恒定律来解决问题.教师明确地陈述了他在解决问题时所做的所有假设.例如,在第1题中,“我假设它从静止开始往下掉,所以有初始势能 mgh ,我假设这个势能等于它落地之时的动能.”同样的,没有一个受访学生做到这一点.此外,许多学生并不注意读题.他们很快地读题,匆忙地选择解题方法,然后反复地改变想法.

问题1不需要太强的解题能力,只要学生明白,西瓜受重力作用将加速运动,会确定位移和速度等变量,会选择合适的运动学方程(这是非常简单的解决问题的形式).许多属于套公式和死记硬背类别的学生使用了试错法,在大多数情况下,学生们都得到了正确的答案.另一方面,回答问题3需要一些定性分析.在这种情况下,学生们必须意识到,两个骑自行车的人在同一时间移动相同的距离,需要用到联立方程式.因此,这个问题可能不是学生在课堂上遇到的一个典型问题.然而,当面对这个问题时,大多数学生并没有以一种结构化的方式来解决.许多人只是计算了从 10 m/s 加速到 15 m/s 需要多久,而没有考虑到两个骑行者都会不断地前进.少数学生认识到两个骑自行车的人的位移是一样的,只有极少数学生尝试联立方程式来解决问题.解决这个问题需要更复杂的问题解决策略,因为它要求学生看到全局,从而用整体法而不是分步法来解决问题.但大多数学生将其分成两个独立运动来解答.当然这个问题对教师来说没什么困难,他在定性分析并陈述自己的假设之后,立即对问题进行图示.然后继续确定自己的目标,制定计划,最终执行该计划.当他得到一个定量的答案时,他回顾了自己的解答过程和问题本身,然后得出结论,他相信自己的答案是正确的.

4.2 各类学生的解题特征

正如前面提到的,在对访谈数据的分析中得到的另一个有趣的发现是:一个被归类为用科学方法解题的学生,可以在某些情况下使用套公式的方式来解题.这说明,如果一个问题只要求学生使用某个公式,那么用科学方法的学生就可以简单地把这些

变量代入公式,并得到正确的答案.这与专家们面对简单问题时的应对方法是一致的.这些学生不仅对他们的的方法有信心,而且对他们的选择和使用的公式也是有信心的.但是,那些主要依靠套公式的学生在仅靠套公式不能解决问题的时候也不能采用科学方法.学生可以用套公式的方法解决章末习题和一些考试题目,然而,当问题变得更加复杂时,仅靠正确识别变量就解决不了了.有专家强调说,学生们要有能力解决包含丰富生活情景的问题.这里的研究表明,大多数学生不能解决这类问题.所以,提升学生解决这类问题的能力应该成为明确的教学目标.另外,有专家表示,学生学习概念对提升解题能力非常重要,这在本研究中得到了初步的验证,因为那些在 FMCE 的测试中表现出较强的概念理解能力的学生,其解决问题的能力也更强.那些被归类为完全死套公式的学生可以解决章末习题,他们能得到答案,但不知道方法或答案正确与否,那些死记硬背的学生也是如此.然而,那些没有明确方法的学生很难解决章末习题,因为他们似乎没有任何连贯的知识结构来解决问题.

该领域正在进行的研究,包括调查学生的概念

性知识如何影响他们的解题能力和解题方式,以及检验学生在本科阶段的解题能力进阶.也许随着概念框架的逐步完善,他们的解题方式可能变得更加科学.同时,在目前的研究中,还没有考虑到物理学科的教学方式.因此,进一步的研究将考查学生在不同的物理学习环境下,其概念知识和解题能力是如何发展的.毫无疑问,上述研究将为提升学生解题能力的物理教学提供非常有用的信息.

参考文献

- 1 Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. Toward a Definition of Mixed Methods Research. *Journal of Mixed Methods Research*, 2007(2): 112 ~ 133
- 2 姚计海. 教育实证研究方法的范畴问题与反思. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 2017(3): 64 ~ 71
- 3 吴维宁. 现象描述分析学: 一种质的研究与评价方法论. *教育测量与评价*, 2009(9): 18 ~ 22
- 4 WALSH, L. N. et al. Phenomenographic Study of Students' Problem Solving Approaches in Physics. *Physics Review Special Topics-Physics Education Research*, 2007(3): 020108(1 ~ 12)

Study on Solving Approaches of Physics Questions Based on Phenomenon Description Analysis

Wen Jiajia Wu Weining

(Institute of Physics and Electronic Science, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062)

Abstract: For a long time, the research of education in our country, especially the study of subject instruction, has been lack of empirical element. In the empirical methods system, the qualitative method has been absent for quite some time. As an qualitative empirical research method, phenomenography has being attracted more and more attention. Similar to the overall situation of valuing teaching and neglecting learning in educational research in China, physics problem solving instruction has been paid much attention all the time, but little attention has been paid to the study of students' problem solving approach. Strengthening research on students' physics problem solving approach has dual significance and importance: in theoretical level, research based on the practice help bottom-up building and enriching of the physics education theory; in practical level, results of the research on students' problem solving approach may guide and improve problem-solving instruction more efficiently and targetedly.

Key words: phenomenography; physics problem; problem solving approach; qualitative research