



# 物理概念定义的逻辑学规范及常见误区

杨振东 高寒萱

(广西师范大学物理科学与技术学院 广西 桂林 541004)

(收稿日期:2021-01-11)

**摘要:**以形式逻辑为视角,对物理概念的内涵、外延及其反变关系进行讨论,并指出物理概念定义须遵循的逻辑学规范.结合“矢量”“简谐运动”“导热壁”“线速度”“元电荷”等实例,探讨了物理概念定义常见的逻辑问题,以期对物理概念教学有所裨益.

**关键词:**形式逻辑 物理概念 内涵与外延 概念教学

概念的定义既需正确反映事物的本质,亦需符合逻辑规范,后者为前者提供保障,物理概念尤其如此.然而长期以来,对物理概念定义的逻辑规范并未真正引起教育工作者的关注.鉴于此,本文以物理概念定义的逻辑要求出发进行讨论,以为物理概念教学研究提供新视角.

## 1 物理概念的内涵和外延及其反变关系

着眼于形式逻辑对概念定义的要求,一个确定的物理概念可视为其全部的内涵与外延及其反变关系<sup>[1]</sup>.内涵和外延是概念所具有的逻辑特征,是确切定义概念的前提,二者密切联系,不可分割.

### 1.1 物理概念的内涵

物理概念的内涵,是指物理概念所反映的现象、过程所特有的本质属性,这种属性可用以区别其他概念.内涵可视为物理概念的质的规定性,它表明概念所反映的对象“是什么”.每一个正确反映客观现实的物理概念都有确定的内涵,通常用“……是……”“所谓……是指……”“……叫做……”等句型来表述.具有一定逻辑联系的几个物理概念,其内涵有多少之分.例如,“变速运动”是速度发生改变的机械运动;“变速直线运动”较前者多了直线运动的内涵;“匀变速直线运动”则在之前的基础上增加了加速度保持恒定的限定,3个概念的内涵依次增多.

### 1.2 物理概念的外延

物理概念的外延,是指具有该概念所反映的本质属性的全体对象的总和.外延是概念的量的规定性,它表明物理概念所反映的对象“有哪些”,通常用“……包括……”“……可分为……”等句式来揭示.例如,“机械能包括宏观物体的动能、重力势能与弹性势能”,宏观物体动能、重力势能、弹性势能即是“机械能”概念的外延.同理,“相互作用”的外延有万有引力、电磁相互作用、强相互作用与弱相互作用.具有一定逻辑联系的两个物理概念之间,可比较其外延的大小.例如“电磁相互作用”的外延大于“弹力”的外延,“平抛运动”的外延小于“抛体运动”的外延.

### 1.3 概念内涵与外延间的反变关系

概念的内涵有多少之分,外延有大小之别.具有属种关系的概念之间,其内涵与外延存在着反变关系,即一个概念的内涵越多,其外延越小;一个概念的内涵越少,其外延越大.反之亦成立,概念的外延越小,则其内涵越多;概念的外延越大,其内涵越少.例如,“简谐横波”比“简谐波”的内涵多,而外延不及后者大;“圆周运动”的内涵少于“匀速圆周运动”,则外延要大于后者.这一反变关系启示我们,教学中可以通过补充概念的内涵的方式来限制其外延,以达到准确定义的目的.例如,用“仅受重力作用下的运

动”来定义“自由落体运动”是不恰当的,其外延大于自由落体运动,因此要通过增加内涵来缩减其外延——“初速度为零,仅受重力作用下的运动”。

## 2 物理概念的定义

物理概念的定义是揭示概念内涵与外延的逻辑方法。总的来说,概念的定义由3部分构成:被定义项、定义项与定义联项。被定义项即被定义的物理概念,定义项指用以揭示概念内涵(或外延)的表述,二者通过定义联项联结起来。例如“物体在地面附近绕地球做匀速圆周运动的速度,叫做第一宇宙速度”,其中被定义项即“第一宇宙速度”,定义项为“物体在地面附近绕地球做匀速圆周运动的速度”,“……叫做……”为定义联项。

给概念下定义的常规方式是“属加种差”的方式。所谓“属”,即与被定义概念邻近的属概念。例如上述对“第一宇宙速度”的定义,“速度”即定义中的“属”,表明“第一宇宙速度”归“速度”这个大类所属;“种差”是指被定义概念与所在属概念中与其他种概念之间的本质差别,如“物体在地面附近绕地球做匀速圆周运动”,就是区别其他“速度”的“种差”。这一定义方法可简单表示为“种差+邻近的属概念=被定义项”。这里的属概念要求与定义项是最邻近的,否则可能出现差错。例如选择“运动学量”作为“第一宇宙速度”的属概念,则变成“物体在地面附近绕地球做匀速圆周运动的运动学量,叫做第一宇宙速度”,该说法是不恰当的。

## 3 物理概念定义的逻辑要求

概念的定义既是一种语言表达形式,也是一种逻辑思维形式。因此给物理概念下定义,既须符合语法要求,也不能违背逻辑规范。准确、科学的定义须遵循以下几点要求。

### 3.1 被定义项与定义项的外延应全同

准确定义物理概念的前提是必须确切地、恰如其分地对定义项进行表述,使被定义项与定义项在外延上完全一致,否则会出现“定义过宽”或“定义过窄”的问题。所谓定义过宽,是指被定义项的外延小于定义项的外延。例如将“抛体运动”定义为“一种保持机械能守恒运动过程”,即犯了这一错误。该定义扩大了抛体运动的外延,将不属于抛体运动的物理

过程也纳入其中;倘若被定义项的外延大于定义项的外延,则会出现定义过窄的问题。例如将“摩擦力”定义为“相互接触的两个物体间,阻碍其相对运动的力”,则将静摩擦力排除在外。

上述问题在当前物理教学中是真实存在的。以“矢量”为例,“既有大小,又有方向的物理量”是许多教师对“矢量”所下的定义。不难发现,这里出现了定义过宽的错误,“电流”既有大小又有方向,就是一个明显的反例,其运算法则遵循节点电流定律而非平行四边形法则。其实,人教版物理教材中在初次出现“矢量”概念时,指出“像位移这样的物理量叫做矢量,它既有大小又有方向”,这里并未对矢量作出定义,只是阐明了它的部分性质——矢量是既有大小又有方向的物理量;直到“力的合成和分解”篇章,教材才对矢量作出明确定义——“既有大小又有方向,相加时遵循平行四边形定则(或三角形定则)的物理量叫做矢量”<sup>[2]</sup>。因此,作为矢量完整的定义,必须将合成法则也涵盖入其中。

### 3.2 从不同角度定义概念其外延应全同

对于同一物理事物,从不同角度考察可能会出现不同的定义。但这些定义方式只有在外延全同时才是等价的。例如“完全非弹性碰撞”,既可以从能量角度考察,将其定义为“碰撞过程中机械能损失最大的碰撞”;亦可从形变恢复情况的角度进行定义——“碰撞过程中仅存在压缩阶段,没有恢复阶段的碰撞”;还可以从相对速度的角度给出定义——“碰后相对运动速度为零的碰撞”。三者的外延完全一致,因而3种定义等价,均是科学的定义。

事实上,确有个别物理概念的定义违反上述要求。例如,现行人教版教材中选择从运动学角度定义“简谐运动”——“如果质点的位移与时间的关系遵从正弦函数规律  $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ ,即它的振动图像( $x-t$  图像)是一条正弦曲线,这样的振动叫做简谐运动。”<sup>[3]</sup>而甲种本与部分普通物理教材中,则是从动力学角度定义“简谐运动”——“在跟对平衡位置的位移成正比而方向相反的回弹力  $F = -kx$  作用下的振动,叫做简谐运动”。应当说,两种定义体现了对“简谐运动”的不同角度的认识,但事实上二者的外延并不相同。这是因为,若质点受到3个力:弹性力  $-kx$ 、阻力  $-\gamma v$ 、周期性策动力  $F(t) = F_0 \cos \omega t$ ,其

运动状态稳定后,亦会呈现出位移  $x = A\sin(\omega t + \varphi)$  的运动形式,但此时  $\omega$  并非固有频率,而是策动力频率;振幅  $A$  与初相位  $\varphi$  也并非由初始条件决定,而是依赖于振动系统本身的性质、阻力与策动力特征<sup>[4]</sup>.因此,以运动学方程  $x = A\sin(\omega t + \varphi)$  来定义“简谐运动”会引发定义过宽的问题,将上述受迫振动的稳定状态也包含在内.而线性回复力  $F = -kx$  才是简谐运动的充分必要条件,可以全方位反映运动规律、受力特征与机械能守恒三者间的相互联系,无论将其作为定义,还是作为简谐运动的判定依据,无疑都更加完备.

### 3.3 定义项中不应直接或间接包含被定义项

定义物理概念是用定义项来阐明被定义项,因此定义项中不能直接或间接包含被定义项,否则会出现“循环定义”的逻辑错误.例如“圆弧是圆周的一部分,圆周是由圆弧构成的闭合曲线”“摩擦力是由于接触面摩擦而产生的力”“功是能量转化的量度,能量是物体对外做功的本领”,此类说法均存在这一问题.

在阐述“热力学第零定律”时,部分教材根据字面含义将“绝热壁”与“导热壁”简单定义为“能/不能发生热传递的界壁”.事实上,这一说法并无科学性错误,但我们认为其中存在隐蔽的循环定义问题.热平衡定律是建立在“温度”概念的基础,需要用到热接触或导热壁的概念才能阐述清楚.而“热传递”的概念建立于“温度”概念基础之上,因此“绝热壁”与“导热壁”就应避开“热”这一概念而作出理论上的定义.对此可作如下考虑:设有两个热力学系统,原来各处在一定的平衡态.当这两个系统通过固定壁接触时,由于界壁性质不同,可能出现的情况有两种:(1)两系统保持各自原本的平衡态,并且改变其中一个的状态对另一个没有任何影响,则称这一固定壁为绝热壁;(2)两个系统的状态均发生变化,或改变其中一个的状态立即引起另一个的状态随之改变,则称这一界壁为导热壁.虽然表述更加繁琐,但如此定义避免了逻辑循环,秦允豪等多版热学教材中即持这一定义.

### 3.4 概念的表述应遵循同一律

同一律是形式逻辑的基本规律之一,是指在特定的学习阶段中,对于同一物理概念,一旦作出定义

就应保证其自身的确定性和稳定性,不能变幻不定,否则会造成概念的含糊不清、模棱两可.

当前人教版教材中,对“线速度”的定义即存在这一问题.在“质点运动学”篇章,教材中指出“物理学中用位移与发生这个位移所用时间的比值表示物体运动的快慢,通常用字母  $v$  表示.如果在时间  $\Delta t$  内物体的位移是  $\Delta x$ ,它的速度就可以表示为  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  ……如果  $\Delta t$  非常非常小,这个速度叫做瞬时速度”<sup>[5]</sup>;而在“圆周运动”篇章,教材将线速度定义为“圆周运动的快慢可以用物体通过的弧长与所用时间的比值来量度……为了描述物体经过  $A$  点附近的运动快慢,可以从此刻开始,取一段很短的时间  $\Delta t$ ,物体在这段时间内由  $A$  运动到  $B$ ,通过的弧长为  $\Delta l$ .比值  $\frac{\Delta l}{\Delta t}$  反映了物体运动的快慢,叫做线速度,用  $v$  表示”,并指出“这里的  $v$  实际上就是我们在直线运动中学过的瞬时速度,为了区别于下面将要学习的角速度,命名时在速度的前面加了一个‘线’字”<sup>[6]</sup>.既然线速度与瞬时速度本身是同一个物理量,那么两种不同定义方式就违反了形式逻辑的同一律.因为上述两种定义在本质上是不同的.圆周运动中弧长实质上是质点经过的路程,取弧长与时间之比,其比值结果为标量“平均速率”,当  $\Delta t$  趋于零时为“瞬速率”,与“位移与时间比值”的矢量结果“速度/瞬时速度”存在实质的差别.

同样地,人教版高中物理教材中将“电荷量”定义为“电荷的多少”,并补充其内涵:“正电荷的电荷量为正值,负电荷的电荷量为负值.”但在阐述电荷的量子性时,却违反了概念的同一律:“迄今为止,科学实验发现的最小电荷量是电子所带的电荷量……人们把这个最小的电荷量叫做元电荷.”如果默认教材表述遵循定义的逻辑一致性,那么元电荷在数值上应当为负值,这显然与我们的习惯不符.此后,教材中定义“比荷”时,将其表述为“电子的电荷量  $e$  与电子的质量  $m_e$  之比”,并指出其数值为  $1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ <sup>[6]</sup>.再次违背了“电荷量”的内涵.这里,梁灿彬教授在《电磁学》中的说法值得借鉴——“任何带电体的电荷都只能是某一基本单位的整数倍,这个基本单位就是质子所带的电荷,叫做元电荷”.

(下转第 145 页)

学史材料采用新的教学模式和程序,如:在进行“牛顿第三定律”教学时,可以首先明确学生前概念(直觉)中正确和错误的认知,然后通过“搭桥”设计,寻找合理路径以促进学生利用既有正确认知来修正错误认知,以此来制造思维冲突,激发学生求知欲和好奇心,最终促进学生思维发展和精神成长<sup>[5]</sup>。

## 5.2 教师要利用好科学史实现学生的“深度学习”

正如前文所述科学史是初中科学教学中一笔宝贵的财富,科学史的合理创设是情境教学理论的有效实践,一个好的情境可以更好地激发学生的学习兴趣、求知欲望以及更加投入的学习,但不是所有的科学史都适合于初中教学的。笔者认为科学史的教学必须满足以下几个条件。首先,科学史必须包含积极正面的人文精神,对学生有正向的教育作用,让学生以“参与者”的身份经历科学探究,感悟科学家百折不屈的意志品质,学生通过科学史的学习能树立正确的人生观、世界观和价值观<sup>[5]</sup>。其次,科学史必须和当前教材中的知识紧密结合,使得学生能深切感受到他的学习是和历史上科学家的思考相吻合的,这也能提高学生学习的历史使命感和荣誉感。再者,科学史的学习中不仅有知识的教授更要有思维和方法的教育,学生通过科学史的学习,能学习到前人科学家的思维方式和科学方法,在自主学习中提高自己的思维水平。最后,科学史的教学要有一定的课堂教学组织模式,教师切莫把科学史当故事单纯的讲给学生听,这样的教学又落入“灌输”教学的老路。笔者认为科学史的教学还得以“生本”为原则,以

“自主探究”为手段,通过教师设问、学生自行阅读、分组讨论、上台展示、教师引导修正等环节来开展教学,以最终实现学生在自主学习下的“深度学习”。

## 5.3 教师要注重学生思维的培养

教育是什么?教育本质上来说就是教师教给学生的一切都被学生遗忘的时候,那在学生脑子里最后剩下的东西,即思维和方法。因此,教师在关注科学教学中落实双基和知识的同时,更要注重学生思维和方法的培养。我们教学内容的改进不是“瞎改、胡改”,而是基于学生思维和方法提升上的改进。就如本节教学中通过深度挖掘科学史,引入系列史实材料作为思维桥梁,将原本传统的知识讲解性的教学自然地过渡到学生自主参与下的思维和方法的教学,同时学生也在不知不觉的学习中实现了基本知识的落实、思维方法的深化及“深度学习”的发生。

## 参考文献

- 1 崔景华. 自然科学史在成人教育中的“教化”作用[J]. 中国成人教育, 2005(2): 15~16
- 2 孟献华, 倪娟. 科学史教育中的学科立场与实践取向[J]. 化学教学, 2016(4): 19~23
- 3 朱清时. 浙教版初中科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2014. 55~57
- 4 新基础教育改革. 大气压的发现[EB/OL]. [http://blog.sina.com.cn/s/blog\\_7e1b8a890102wr33.html](http://blog.sina.com.cn/s/blog_7e1b8a890102wr33.html), 2016-04-03
- 5 申亚琴, 贾泽皓, 张萍. 物理概念教学的有效方法——架桥类比策略[J]. 物理通报, 2020(1): 11~13

(上接第140页)

## 4 结束语

本文以形式逻辑对概念定义的规范为切入点, 讨论了定义物理概念的误区以及几个实例, 为概念教学的改进提供了新的视角。同时我们认为, 如果将逻辑学的思维方式渗透在物理概念的形成过程中, 能加深学生对概念本质内涵及外延的认识, 而不致停留在对概念的浅层记忆层面, 对学生的培养和教学研究都较为有益。

## 参考文献

- 1 南开大学哲学系逻辑学教研室. 逻辑学基础教程(第2版)[M]. 天津: 南开大学出版社, 2008. 21~24

- 2 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书 物理·必修1[M]. 北京: 人民教育出版社, 2010. 65
- 3 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书 物理·必修3-4[M]. 北京: 人民教育出版社, 2010. 2~3
- 4 漆安慎, 杜婵英. 普通物理学教程·力学(第2版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005. 314~315
- 5 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书 物理·必修2[M]. 北京: 人民教育出版社, 2010. 16
- 6 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书 物理·选修3-1[M]. 北京: 人民教育出版社, 2010. 2