

·教育理论研究·

## 物理概念的内涵与外延的反变关系及其教学启示刍议

冯杰 陆伟 张见萌 王德雨

(上海师范大学数理学院, 上海 200234)

**摘要:** 概念是人们对事物本质属性的认识, 是逻辑思维最基本的单元和形式, 同类概念体系之间的基本逻辑关系中, 该概念的内涵与外延之间存在着反变关系。物理学理论是由物理概念体系构成的; 物理新课程的基本目标是提高中学生的科学素养和倡导科学方法教育; 概念的教与学是中学物理教学的中心任务之一, 掌握一定的逻辑学知识, 对提高物理概念教学质量具有显著的促进作用。

**关键词:** 物理概念; 概念内涵与外延; 反变关系; 物理教学

每一科学概念既必有其确定的内涵, 又必有其确定的外延。内涵是概念的质的方面, 说明概念所反映的是什么样的事物; 外延则是概念的量的方面, 说明概念反映的是哪些事物。二者都是概念不可缺少的基本逻辑特征, 是密切联系和不可分割的, 如果概念之间是属种关系, 那么, 概念的内涵越小, 该类概念的外延就越大, 反之, 如果概念的内涵越大, 该类概念的外延就越小, 这就是概念的内涵和外延之间的反变关系。

布鲁纳关于发现教学法的研究表明: 知识结构化是提高学习效率的有效途径之一。就物理概念的学习来看, 理清物理概念的内涵与外延之间的反变关系, 可以达到明显地提高中学物理概念教学质量的效果。

同时, 中学物理概念的教与学具有阶段性, 其反映在我国初中物理和高中物理的课程体系的阶段性上。对于学生的物理概念认知过程的阶段性, 可以通过物理概念的内涵和外延之间的反变关系的研究, 得出具有可操作性的物理教学方法。

## 1 概念

### 1.1 概念的定义

“概念”是反映事物特有属性或本质属性的思维形式。

这里的“特有属性”是指一个或一类事物所具有的, 而为其他事物所不具有的属性。这里的“本质属性”是指一个或一类事物所遵循的且只有实验才能检验的规律。

### 1.2 概念的特征

概念是人们在认识过程中最基本的思维形式, 是思维的细胞, 是感性认识的第一阶段, 以概念为基本要素, 形成判断, 做出推理。

概念既具有客观属性, 又具有主观属性, 所谓概念的客观属性是指概念的对象是客体, 是客观本质的描述; 所谓的主观属性是指概念的定义是主观的思维形式, 是指人们认识其事物本质的程度、目的和方式是不同的。

## 2 物理概念的内涵和外延

物理学是自然科学的一部分, 物理概念是整个科学概念范畴的子集。物理概念既具有一般概念的共性, 又具有自身的特性。物理概念就其客观属性来看是反映物质本身的物理性质或某方面的特征, 以及反映物质运动的某一状

态或过程的物理特征; 就其主观属性来看, 是在大量的物理事实(包括物理实验)的基础上建立起来的, 它是对物理事实的一种近似的、然而又是突出本质的一种反映。

### 2.1 物理概念的内涵

物理概念的内涵就是该概念所包括的一切物理对象的共同的本质属性的总和, 下定义就是解释概念的内涵, 亦是指出它所反映的对象所共有的本质属性的逻辑活动。

例如, 单位体积某种物质的质量叫做这种物质的密度。描述物体疏密程度的物理量, 这是密度的内涵, 其大小可用公式  $\rho = \frac{m}{V}$  来量度, 它决定于物质本身的性质, 而与物体的形状、质量和体积无关。可见, 掌握物理概念的内涵, 就是理解物理概念的本质属性。

### 2.2 物理概念的外延

物理概念的外延就是适合于那个概念的一切对象的范围。

例如, 重力、弹力、摩擦力、静电力、洛伦兹力、浮力、压力、支持力、下滑力和张力, 等等, 这些对象的全体, 就是“力”这一概念的外延, 同样在“机械运动”这一概念的外延中, 包含着一切类型的机械运动, 例如, 匀速直线运动、匀变速直线运动、自由落体运动、竖直上抛运动、平抛运动、斜抛运动、圆周运动和振动等。

### 2.3 物理概念的内涵和外延之间的反变关系

在物理学中, 同一学科或同一知识点的概念之间具有严格的属种关系, 因此, 物理学的概念的内涵和外延的宽窄存在着显著的反变关系。

例如, 机械运动  $\rightarrow$  直线运动  $\rightarrow$  匀速直线运动, “我们把一个物体相对于另一个物体的位置变化叫做机械运动”; “运动路径是直线的运动叫做直线运动”; “物体沿直线运动时, 在相等时间内通过的路程相等, 这种运动称之为匀速直线运动”, 不难看出, 机械运动  $\rightarrow$  直线运动  $\rightarrow$  匀速直线运动, 其内涵在增加, 而外延则在减小, 再如, 力  $\rightarrow$  摩擦力  $\rightarrow$  滑动摩擦力, 外延也是随着内涵的增加而减小。

## 3 研究物理概念的内涵和外延及其反变关系的方法

### 3.1 研究概念内涵的逻辑方法

研究概念内涵需要根据物理概念性质, 提供物理概念建立过程中所需要“情景材料”的类别不同, 程序不同, 难

易度不同,其思维模式有比较大的差别。

### 3.1.1 物理学的归纳、概括、抽象思维模式

归纳、概括、抽象模式是在许多个别事例中归纳、概括、抽象出一般性概念以及原则或规律的教学模式,在物理教学实践中,这种模式有两种思维结构:理想化方法和实验举例法。

#### (1) 理想化方法。

理想模型方法的思维特点是忽略原型的次要因素,集中突出原型主导因素,摒弃次要矛盾,突出主要矛盾;在物理概念教学中最简单的理想化方法是理想模型——忽略原型的非本质因素,集中突出原型本质因素。例如,力学中的质点、位移、速度、光滑面、弹簧振子;热学中的热、理想气体、孤立系统;电磁学中的点电荷、匀强电场、匀强磁场;纯电阻、纯电感、纯电容、无限长螺线管、理想变压器;光学中的点光源、光线与光的直线传播、薄透镜;近代物理中的绝对黑体等。

#### (2) 实验举例方法。

先通过对多个感性材料的分析,进行概括和科学抽象得到其本质属性,然后给出文字表达以及(物理量)定义式,说明物理意义(质和量)和适用范围,最后与有关概念对比明确他们之间的区别和联系。其思维流程可以简化为:感性材料→分析、概括→科学抽象→本质属性→下定义(文字表达)→(物理量)定义式→物理意义(质和量,单位,测量方法)→适用范围→对比(有关概念的区别和联系)等。

### 3.1.2 演绎的思维模式

演绎,是以一般概念、原则为前提推导出个别结论的思维方法,即依据某类事物都具有的一般属性、关系来推断该类事物中个别事物所具有的属性、关系的推理方法。物理概念教学演绎模式的结构:依据新知识→旧知识→逻辑关系,采用数学方法。

### 3.1.3 实验探究思维模式

实验探究的教学模式就是课程标准提出的科学探究模式——按照7个要素进行,通常是在教师的引导下,让学生实际动手进行实验,使学生经历与科学工作者进行科学探究时的相似过程,在这个过程中,通过提出问题、假设、收集证据、分析论证和交流等,学习科学探究方法,领悟科学思想和精神,更好培养学生分析实验数据,透过表象找到物理本质的能力。

### 3.1.4 物理类比的思维模式

物理学研究中的类比方法就是比较两个或两类事物某些方面相同或相似特性的相同点,以此为根据推测未知的物理现象和过程也可能具有已知的现象和过程的某些特性和规律,其思维模式有两种类型。

其一,特殊→特殊;例如,机械波具有干涉、衍射的特性,光也有干涉、衍射的特性,所以光具有波动性等。

其二,一般→一般;例如,电生磁、磁生电等。

### 3.1.5 定量物理概念的比值定义法的思维模式

所谓比值定义法,就是在定义一个物理量的时候采取比值的形式确定其本质特性。其思维模式有两类。

一类是用比值法定义物质或物体属性特征的物理量,例如,电场强度 $E$ 、磁感应强度 $B$ 、电容 $C$ 、电阻 $R$ 等。它们的共同特征是:属性由本身所决定,定义时,需要选择一个能反映某种性质的检验实体来研究。例如,定义电场强度 $E$ ,需要选择检验电荷 $q$ ,观测其检验电荷在场中的电场力 $F$ 。

另一类是对一些描述物体运动状态特征的物理量的定义,例如速度 $v$ 、加速度 $a$ 、角速度 $\omega$ 等,这些物理量是通过另外的实验引入的,例如,匀速直线运动,匀变速直线运动,匀速圆周运动等。

### 3.2 研究概念内外延的逻辑方法

在明确概念内涵的基础上,研究概念内涵与外延及其反变关系涉及到逻辑方法有:概念的划分、概念的限制和概念概括。

#### 3.2.1 概念的划分

概念的划分是明确概念外延的逻辑方法,也就是把一个“属”(称为“属”)分为若干小类(称为“种”),或者说把一个属概念分为若干种概念的逻辑方法。例如,中学物理概念按学科主要构成可分为力、热、声、光、电5大类,而这5类中又可以细分,上一级种变成下一级属,例如,力学概念可分为运动和力两类,运动又分为变速运动和匀速运动等。

#### 3.2.2 概念的限制

概念的限制是概念外延的缩小方法,通过增加概念的内涵以缩小概念外延的逻辑方法。其所为路径是从属概念过渡到种概念,或者从外延大的概念过渡到外延小的概念。

#### 3.2.3 概念概括

概念的概括是概念外延的扩大方法,通过减小概念的内涵以扩大概念外延的逻辑方法。其所为路径是从种概念过渡到属概念,或者从外延小的概念过渡到外延大的概念。

## 4 初中物理中力学概念的内涵与外延的反变关系研究

### 4.1 中学物理中力学基本概念分类

概念的分类方法很多,例如,从量化角度物理概念可以分成两类:定性概念和定量概念,本文为研究方便,将物理概念分为以下3大类。

(1) 运动学概念:质量、时间和位移;速度、线速度、角速度;平均速度和瞬时速度;机械运动、直线运动、匀速直线运动、匀加速直线运动和自由落体运动;平抛运动、圆周运动和匀速圆周运动等。

(2) 动力学力概念:力、质点、重力、弹力(压力)、摩擦力(滑动摩擦力、静摩擦力);合力、分力;各种常见力的关系;牛顿三大定律和万有引力定律涉及的概念等。

(3) 标量、矢量。

### 4.2 初中物理中动力学概念的反变关系

初中物理给出了力这一概念的定义:“力是物体间的相互作用”,其中囊括了很多层含义,物体间力的作用是相互的,当有力存在时,必定有施力物体和受力物体,也就是说任何力都不能离开物体而存在。

#### 4.2.1 概念的反变关系可以促进知识结构化

要描述力,首先从力的作用效果上来分析:一个是使

物体发生形变,另一个则是使物体运动状态发生改变.力的作用效果又与力的三要素(大小、方向、作用点)有关.在此基础上,让学生理解力的图示可形象表示力的三要素,会画出力的图示,会画力的示意图,知道力的图示和力的示意图的区别.

反变关系的逻辑顺序为:力的概念→力的作用效果→力的三要素→力的图示和力的示意图→弹簧测力计的使用.这里的顺序,层层深入,从刚开始的了解认识概念,到具体研究体会,至图形表示,最后是实验仪器的掌握.

#### 4.2.2 概念的反变关系可以加深理解物理意义

初中物理阶段学生首次接触的一类力是重力,需要指出,重力并不是引力,重力是“地球表面附近的物体,由于地球的吸引而受到的力”,而为了研究方便,初中生易于接受,所以初中没有明确指出引力和重力的区别,但可以说明,重力只是引力的一部分,在地球表面附近,近似认为重力大小等于引力大小,重力的方向总是竖直向下的,而这里也能说明,引力方向是指向地心向下.简单来说,力→引力→重力,引力的外延比重力要宽.

“当两个物体具有相对运动趋势时,在接触面上产生阻碍物体间发生相对运动的力,叫做静摩擦力”.教科书未特别定义动摩擦力,但可以类比:即当两个物体相对运动时,在接触面上产生阻碍物体间发生运动的力叫做动摩擦力.通过这样的类比个过渡,从引导学生形象思维顺利转化到抽象思维,有助于学生接受、理解新概念.

#### 4.2.3 初中物理中关于“力”的概念体系的反变关系

力→引力→重力;

力的概念→力的作用效果→力的三要素→力的图示→弹簧测力计实验;

力→摩擦力→静摩擦力;

力→摩擦力→动摩擦力→滑动摩擦力和滚动摩擦力;

这种反变关系体现了初中物理中“力”概念——学的结构化和教的阶段性.

### 5 高中物理中力学概念的内涵与外延的反变关系研究

《高中物理课程标准》指出:“通过对质点的认识,了解物理学研究中物理模型的特点,体会物理模型在探索自然规律中的作用.”高中物理首先增加了两个概念:质点、物理模型.质点对于高一学生是一个全新的概念:“在某些条件下,把整个物体看作一个有质量的点,这种用来代替物体的、有质量的点叫做质点”.

我们知道,把物体看作质点是有前提条件的,并不是所有情况都可以把物体看作质点.最常见的就是测量地球到太阳的距离,可以把地球和太阳看成质点;而研究地球自转的时候就不能将地球看作质点.这也就是外延的大小决定了内涵的多少.

“在物理学中通过突出事物的主要因素,忽略次要因素而建立起来的一种理想化‘模型’,叫物理模型”.将它作为研究对象,以简化和降低对原有物理现象研究的难度.物理模型可以是一个物理概念,例如质点;也可以是一条物理规律,比如匀速直线运动.后者实际上是一个物理概念体系.

#### 5.1 高中物理中运动学概念的反变关系研究

##### 5.1.1 概念的划分,可以明确标量和矢量概念的属种关系

关于路程,初中物理中定义:“运动物体通过路径的长度叫做路程”,高中物理中定义:“路程是指质点运动所经历的轨迹长度”.同样的概念,高中物理与初中物理定义有区别,这就是概念学习阶段性,继续深入,其内涵逐渐增加,外延逐步缩小,会发生质变,从而引入会过渡到一个新的概念——位移——质点的位置变化.位移不同于路程,它是既有大小又有方向的,位移的方向从起点指向终点,它是一个矢量.采取概念的划分——像“位移”既有大小又有方向的物理量叫做矢量;而像“路程”这种只有大小没有方向的物理量叫做标量.

这里将物理量分为标量和矢量,出现了新的属种关系,标量有路程、温度、时间等;矢量则包括了位移、速度、力等.这些概念划分依次下来,外延越来越小,内涵越来越深刻.

关于匀速直线运动,在明确了矢量和标量概念之后,高中与初中有明显的差别,高中物理:“匀速直线运动:在相等的时间内,物体的位移都相同的直线运动”.位移替代了路程,概念的内涵更加充实了.

关于速度,高中物理中的定义是:“质点运动快慢和方向的物理量”.这里的速度与初中所学习的相比较,不仅有大小,还有方向,它的方向与物体运动方向相同,通过划分让学生明确知道速度是一个矢量.

##### 5.1.2 概念的概括,使得种概念的定义更加严谨

有了速度的概念,关于匀速直线运动可以概括为:“匀速直线运动是速度不变的运动”,即速度大小和方向都不变,亦即方向不变的运动,才是直线运动.可见,内涵的缩小,使得概念的定义更加严谨.有了匀速直线运动的严格定义,变速直线运动的内涵更加显现:“在相等的时间内,物体的位移不相等的直线运动.”再逐步深入,变速直线运动能细分:匀变速直线运动——速度随时间均匀变化的直线运动.

速度是“描述物体运动快慢和方向的物理量”,而“描述速度变化快慢的物理量”则叫做加速度,那么进一步进行概念的概括:“匀变速直线运动是加速度大小和方向均不随时间变化的运动.”匀变速直线运动再细分还能分成匀加速直线运动和匀减速直线运动.如果内涵进一步缩小到自由落体运动:物体仅受重力作用且初速度为零的运动.自由落体运动只受重力,所以方向是竖直向下的,也就是直线运动,加速度为 $g$ 大小方向均不变,所以说它是一种匀加速直线运动.

回顾一下通过概念的概括:“运动”外延的缩小过程,方向1:运动→直线运动→变速直线运动→匀变速直线运动→自由落体运动;方向2:运动→曲线运动→变速曲线运动→匀变速曲线运动→平抛运动.

关于周期运动:运动物体从任一时刻开始,每经过一定的时间,它的位移、速度、加速度等完全恢复到与该时刻的相同.这里细分又出现了属概念速度的总概念线速度和

角速度,当然,高中阶段线速度和角速度的外延只是在圆周运动之中,而速度是在更大的外延运动中,内涵随外延的增加而减小,我国高中物理只要求掌握匀速圆周运动,“如果做圆周运动的质点的线速度大小保持不变,或者说在相等时间内通过的圆弧长度相等。”由运动→周期运动→圆周运动→匀速圆周运动。

### 5.1.3 高中阶段运动学主要概念体系的反变关系

物理模型→质点;

物理模型→匀速直线运动;

物理量→矢量→标量;

矢量→位移→速度→加速度;

运动→直线运动→变速直线匀速→匀变速直线运动→自由落体运动;

运动→变速直线匀速→周期运动→圆周运动→匀速圆周运动。

### 5.2 高中动力学中相关概念的反变关系研究

关于力的概念,高中阶段的定义:“力是物体对物体的作用”。关于力的特性:“可以从被作用物体是否发生形变或运动状态是否变化判断物体是否受到力”。

#### 5.2.1 概念的限制,可以导出新概念

高中阶段一开始主要学习了3种力,即重力、弹力和摩擦力。

关于弹力,首先从形变开始,弹性形变:撤去力后物体能恢复原状;范性形变:撤去力后物体不能恢复原状,而拉力、压力、推力、支持力都属于弹力,按照逻辑学概念的限制,将力按性质限制为弹力,再按力的作用效果,可以将弹力划分成更多小类:力→弹力→拉力、压力、推力、支持力。

关于摩擦力,高中物理的定义更简单:“一个物体在另一个物体表面上相对运动或有相对运动趋势时受到阻碍相对运动的力叫做摩擦力”;包括了公式计算和实验探究,定义包含了动摩擦力和静摩擦力:“当两个物体具有相对运动趋势时,在接触面上产生阻碍物体间发生相对运动的力,叫做静摩擦力”,书本中未特别定义动摩擦力,但我们可以类比得出,即当两个物体相对运动时,在接触面上产生阻碍物体间发生运动的力叫做动摩擦力。

#### 5.2.2 概念的概括,可以明确概念体系的属种关系

众所周知,牛顿三大定律中的牛顿第一定律的表述为(初中物理中称其为惯性定律:物体保持原来匀速直线运动或静止状态的性质,实际上初中物理教科书的这种表述并不准确):“一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态,直到有外力迫使它改变这种状态为止”。牛顿第二定律涉及到了力、质量和加速度,它将力学中的运动和力相结合:“物体的加速度 $a$ 与受到的作用力 $F$ 成正比,与物体的质量 $m$ 成反比,写作 $F=ma$ ”,其中, $F=ma$ 是一个矢量方程,而且是一个力的瞬时作用规律,牛顿第三定律:“两个物体之间的作用力与反作用力大小相等,方向相反,作用在同一条直线上,即 $F=F'$ ”,作用力与反作用力分别作用在两个不同的物体上;作用力与反作用力是同种性质的力。

由此可见,通过对牛顿三大定律涉及的概念体系的概括,可以明确高中物理动力学中相关概念体系的属种关系,扩大了该概念体系的外延,即牛顿力学的外延是:低速、宏观领域。

#### 5.2.3 高中阶段动力学反变关系的概念

力→弹力→拉力、压力、推力、支持力;

力→摩擦力→静摩擦力;

力→摩擦力→动摩擦力→滑动(滚动)摩擦力;

力→万有引力定律;

牛顿定律→牛顿第一、二、三定律→低速、宏观领域……

### 6 结论

显然,逻辑学的基本原理是科学方法的子集,取其点滴应用于物理概念教学,颇有启示。

概念内涵和外延的反变关系往往体现着概念体系的结构化,所以,在物理概念教学过程中,让学生逐步深入地对物理概念内涵的理解和概念外延的认识的同时,扩展物理学科的概念体系的结构,从而提高学习效率。

概念内涵和外延的反变关系是相互依存的,随着内涵的逐渐增加,外延的逐渐减小,在物理概念教学过程中,让学生切身体会物理概念学习的阶段性,逐步从主观领会物理概念是物理思维的基础;从客观上理解物理概念是构成物理规律、物理原理乃至物理学理论的基石。

物理概念的外延不一致,其内涵有相应的各自特点,因此,在进行物理概念教学时,把物理概念内涵与外延的反变关系的划分、限制和概括变换为物理概念的比较,从不同的角度进行辨析,明确概念的内涵和外延,避免混淆。

最后,学生在学习物理概念之前,对将要学习的概念都有一个物理现象的直觉认识,即前概念,在教学中有效地运用物理概念内涵与外延的反变关系,强化正确的前概念,矫正不正确的前概念,使之转化为学生继续学习物理概念的基础和动力。

#### 参考文献:

- 1 杨树森.逻辑学[M].北京:高等教育出版社,2010.
- 2 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,2011.
- 3 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准[S].北京:人民教育出版社,2003.
- 4 九年义务教育课本.物理(八年级上)[M].上海:上海教育出版社,2006.
- 5 张越,徐在新.物理高中一年级[M].上海:华东师范大学出版社,2008.
- 6 漆安慎,杜婵英.力学[M].北京:高等教育出版社(第2版),2005.
- 7 刘凤领.中学生理解力学基本概念的难度分析及教学策略研究[D].宁夏大学,2010:1-14.
- 8 冯杰.中学物理新课程教学60法[M].广州:广东科技出版社,2005.
- 9 冯杰.中学物理课程与教学论[M].北京:北京大学出版社,2011.

(收稿日期:2014-01-16)