

物理类比方法浅谈

李春生

(北京朝阳区通惠家园惠民园 9-2601 100025)

类比是一种推理方法。本文从物理学的角度,比较通俗、全面地阐述了类比方法的定义、基础、本质、局限性以及如何正确地应用类比方法去学习物理学和研究物理学。

一、什么是类比方法

1. 从卢瑟福提出原子的核式结构学说谈起

1897年,汤姆生发现了电子,并且证明了电子是原子的组成部分。由电子带负电,而原子呈中性,可见原子中还有带正电的物质。因此,汤姆生猜想:原子是一个球体,正电荷均匀分布在整个球内,而电子却像枣糕里的枣子那样镶嵌在原子内部。

汤姆生的学生卢瑟福做了用 α 粒子轰击金箔的实验来证明老师的原子结构模型。实验结果表明:原子的大部分质量和电荷集中到一个体积很小、质量极大的核上,核外电子只有极小质量。卢瑟福为了解释他的实验结果,便将原子与太阳系相类比:原子的中心有一个核,就像太阳系中心的太阳,电子好比行星环绕太阳一样环绕原子核运转。

上述类比过程可归纳、概括成下面的表1。

表 1

类比的属性 类比过程	类比对象	
	太阳系	原子
已知的相似属性	相对于太阳系 太阳的质量很大,体积很小,位于太阳系的中心 行星的质量很小,位于太阳的周围	相对于原子 原子核的质量很大,体积很小,位于原子的中心 电子的质量很小,位于原子核的周围
	相互作用 太阳与行星间存在万有引力	带正电荷的原子核与带负电荷的电子间存在着库仑吸引力
	推出的相似属性	太阳与行星间的万有引力维持着行星绕太阳运转 原子核与电子间的吸引力也应该能够维持电子绕原子核运转
结论	在原子的中心有一个很小的核,叫做原子核,原子的全部电荷和几乎全部质量都集中在原子核里,带负电的电子在核外空间里绕着核旋转	

2. 什么是类比方法

从卢瑟福提出原子的核式结构学说的例子可知,在物理研究中,将熟悉的物理对象与待研究的物理对象相比较,找出它们已知的共同点、相似点或相联系的地方,据此推测出待研究的对象也可能具有熟知对象的另一些特征,这一逻辑推理方法就叫做物理类比方法。

二、类比方法的逻辑表述、基础和本质

1. 类比方法的逻辑表述

类比方法的定义可用逻辑语言表述为:

若 A 对象具有 $P、Q、R、S$ 属性, B 对象具有 $P'、Q'、R'$ 属性,并且 $P'、Q'、R'$ 分别与 $P、Q、R$ 相似或者相同或者有联系,则 B 对象也可能具有 S' 属性,并且 S' 与 S 相似、相同或者有联系。

2. 类比方法的基础和本质

类比方法是以自然现象的统一性为基础的。由于物理现象之间存在着同一性,因而使我们能够从物理现象之间的某些方面属性的相似、相同或者有联系,推测出它们在其他方面的属性也可能相似、相同或者有联系。

类比是以类似为前提,通过比较,找出相比较事物的相似点,以此为据,把已知对象的一些特征或规律推广到待研究的对象中去。

三、类比方法的局限性

类比方法是由个别到个别或由一般到一般的推理。因为已知的相似属性和推出的相似属性之间不一定有必然的联系,所以有时从两个对象之间某些属性的相似或相同,并不能得出它们在其他属性上必然相似或相同的结论。例如,著名的理论物理学家麦克斯韦预言了电磁波的存在以后,有的物理学家将机械波与电磁波相类比:机械波由机械振动产生,有反射、折射、衍射、干涉等特征,有一定的传播速度,其传播需要媒质;电磁波由电流振荡产生,有反射、折射、衍射、干涉等特征,传播速度等于光速,其传播也应该依靠媒质。然而事实上,电磁波就是能够独立存在的电磁场的传播,这种传播并不需要

媒质。这就是将机械波的特有属性类推到电磁波的结果。由于波的其他属性与波的传播是否需要媒质这一属性并无本质联系,因此由电磁波与机械波的其他属性相同,并不能(根据机械波的传播需要媒质)推出电磁波的传播也一定需要媒质。

所以,运用类比方法推出的结果,必须经过实践的检验,才能最后定论。

四、如何正确应用类比方法

事物之间既有相似性,又有差异性,如果不能全面考虑、深刻分析,那么应用类比方法的结果就有可能导致将“差异性”类推为“同一性”,如前述将电磁波与机械波类比例。

为了避免将类比方法变成生搬硬套的机械推理,必须注意正确应用类比方法。由于类比推理得到的结论的可靠程度是由相比较的两个对象所共有的性质与推出的性质之间的联系决定的,所以只有类比的相同属性多以及类比属性与类推属性有本质联系或联系密切,才能使类比所得结论比较可靠。

因此,正确运用类比方法的关键是,既要选择恰当的类比对象,又要抓住事物的本质联系,同时还要在分析、综合的基础上比同也比异,方能得到可靠的推论。

五、类比方法的应用

1. 应用类比方法学习物理学

① 帮助理解物理概念

在学习物理的过程中,对于一些极为陌生的、抽象的物理概念,如果能用熟悉的、形象化的事物去类比,那么往往会产生“一语道破天机”的惊人效果,增强说服力,加速认识进程。例如,LC 无阻尼电磁振荡是物理学中较难理解的知识,如果将 LC 回路的电磁振荡与弹簧振子的简谐振动相类比,那么便可化难为易,令人豁然开朗。此外,还有用弹簧串联小球构成的模型去类比分子间的相互作用,用重力场类比电场,用地势陡度类比电势梯度等等。在物理学中,用类比方法建立概念、理解概念的例子屡见不鲜,比比皆是,不再赘述。

② 探求减小实验误差的方法

我们知道天平测质量是应用了力矩平衡原理,但是天平的两臂长 L_1 、 L_2 并不是绝对相等的。因此,为了提高测量的准确度,便采用了复称法,即将待测质量为 m 的物体先后放在天平的左、右盘,相应地将质量为 m_1 、 m_2 的砝码分别放在天平的右、左盘,使天平先后两次处于平衡状态,根据力矩平衡条

件建立方程,可获知待测物体的质量为 $m = \sqrt{m_1 \cdot m_2}$,从而避免了由于天平两臂并不绝对等长所引起的误差。

我们知道,惠斯通电桥测电阻是应用了电桥平衡的原理。如图 1(a)所示,调节比较电阻 R ,使 $U_{AB} = 0$,根据电桥平衡条件建立方程,并注意到同一金属滑线 CD 粗细均匀,可获知 $R_x = L_1 R / L_2$ 。

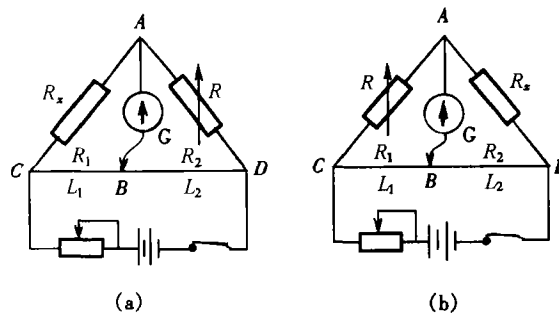


图 1

在电源电压恒定、比较电阻 R 精确以及检流计 G 灵敏的条件下,测量误差的大小便取决于对滑线 CD 的两部分的长度 L_1 、 L_2 的测量。

为了消除测量 L_1 、 L_2 的长度时所引起的误差,我们将惠斯通电桥测电阻与天平测质量相类比:电桥滑线 CD 类比天平的横梁,滑线触点 B 的左、右滑线长 L_1 、 L_2 类比天平的左、右臂长 L_1 、 L_2 ,触头 B 类比天平的横梁支点,待测电阻 R_x 类比待测物体质量 m 。于是,由砝码(比较质量)在右、左两盘中的质量 m_1 、 m_2 可类推出比较电阻 $R_{右}$ 、 $R_{左}$,从而得出避开测量 L_1 、 L_2 的长度的实验方法,即保持触点 B 的位置不变,调节比较电阻 R 至某一值 $R_{右}$ 时,使电桥恰好处于平衡状态,则有

$$R_x = \frac{L_1}{L_2} R_{右} \quad (1)$$

将 R 与 R_x 换位,如图 1(b)所示,调节 R 至某一值 $R_{左}$ 时,使电桥恰好再次平衡,同理有

$$R_x = \frac{L_2}{L_1} R_{左} \quad (2)$$

(1)、(2)两式相乘可求得

$$R_x = \sqrt{R_{右} \cdot R_{左}} \quad (3)$$

由于根据(3)所得待测电阻 R_x 的值,避免了测量电阻丝的长 L_1 和 L_2 所引起的误差,所以提高了测量 R_x 的准确度。

③ 寻找解答物理习题的突破口

如图 2(a)所示,使一质量为 m 的小球从半径为 R 的光滑圆弧形槽上的位置 A 由静止开始运动,求小球到达圆弧最低点 C 时所用的时间。设 A 、 C 相距较近,忽略空气阻力。

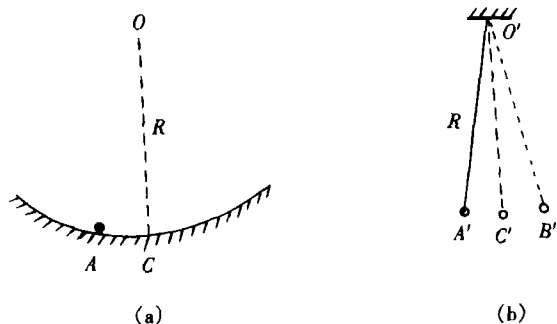


图 2

此题乍一看无从下手,想套用熟题或成题的解法是不能奏效的。但如果我们充分展开思维的翅膀进行广泛地联想,那么便可找到解题的突破口:将质量为 m 的小球在半径为 R 的光滑圆弧槽中运动与质量为 m 的小球系在长为 R 的细线上组成的单摆的摆球的运动相类比,如图 2(b)所示。小球在运动过程中受到重力、槽面支持力,槽面支持力的方向始终垂直于小球运动方向且指向圆心 O ;摆球在运动过程中受到重力、摆线拉力(支持力),摆线拉力方向始终垂直于摆球圆运动方向且指向圆心 O' 。

由此可类推:小球的运动等效于摆球的运动;若假设 $\angle AOC = \angle A'O'C'$,则小球从弧形槽上的位置 A 由静止开始运动到 C 的时间一定等于摆球从 A' 由静止开始运动到 C' 的时间。又因 A 、 C 相距较近,能满足 $\angle AOC = \angle A'O'C' < 5^\circ$,故摆球的运动可视为简谐振动,从而小球的运动亦可视为简谐振动。所以,小球从弧形槽上的位置 A 由静止开始运动到圆弧最低点 C 时所用的时间为 $t = T/4 = \pi \sqrt{R/g}/2$ 。

2. 应用类比方法创建和发展物理学

物理学史告诉我们,物理学中有不少理论,起初都是物理学家应用类比方法提出假说,随后通过实验进一步修正而最终建立起来的。

① 电流传导定律的发现

德国的物理学家欧姆曾经将电流的传导现象与热量的传导现象相类比,推出了“通过导体的电流与导体两端的电势差成正比”的结论,随后他又用实验证明,终于发现了如今我们熟知的欧姆定律。

② 光的波动说的提出

英国物理学家惠更斯证明了光现象与声现象都

有直线传播、反射、折射等共同属性后,便将光现象与声现象相类比:既然声的本质是发声物体振动所产生的一种波,那么光的本质可能是由发光体的振动所产生的一种波;既然声速是有限的,那么光速也可能是有限的;既然声是以球面波的方式进行。那么光也可能是以球面波的方式进行……。经过这样一番类比推理,惠更斯第一个提出了光的波动说。

③ 物质波的预言

法国物理学家德布罗意将光学现象与力学现象相类比:几何光学中光沿费时最短路线传播(费马原理),经典力学中物体的运动服从力学的最小作用原理(莫泊图原理);既然物理光学已证明了光具有波粒二象性,那么物质粒子也应具有波粒二象性。这就是德布罗意关于物质波的预言。

④ 波动力学的建立

德布罗意关于物质波的论文发表后,奥地利物理学家薛定谔受到很大启发:既然经典力学与几何光学的一些规律相似,而且几何光学又是波动光学的近似,那么经典力学也可能是描述微观客体波动性的量子力学的一种近似,微观波动力学与波动光学也应当是相似的。在这一类比推理的引导下,薛定谔做了种种尝试,终于建立了崭新的波动力学体系,将量子力学向前推进了一步。

纵观物理学史,无论是经典物理学还是现代物理学,物理学家运用类比方法取得重大建树的不乏其例。类比推理是物理研究中应用较为广泛的方法之一。正如德国天文学家、哲学家康德所说:“每当理智缺乏可靠论证的思路时,类比这个方法往往能指引我们前进。”

