

谈高工专物理教学中的类比法

徐惠生

(盐城职业大学, 盐城, 224003)

类比法即类比推理, 是根据两个(或两类)对象在某些属性上的相同, 推出它们在其它属性上也可能相同的一种推理。这是一种重要的思维形式, 可以根据人们各自的经验和所具有的文化科学知识, 在对一种类型系统的认识比其它新系统更为熟悉的情况下, 用新事物与熟悉的事物加以对比, 当发现新事物的某些方面跟已熟悉事物的某些方面相类似时, 就在相互类比中去推测出它在另外某些方面也相似, 从而得出对新事物的规律性的系统认识。在物理课程的教学教学中恰当运用类比法, 可以提高教学效果。

一、类比法对科学发展的重要贡献

类比法是提出科学假说的一种重要方法, 科学中的许多重要理论, 开始时常是运用类比法提出科学假说, 然后通过实践检验, 发展为科学理论, 从而开辟了一个新的领域, 如法国物理学家德布罗意注意到几何光学中, 光运动遵循费马(P. da. Fermat)的光线的最短路程原理, 即 $\sigma \int_A^B n dl = 0$ 。此式表示, 光线从A点到B点实际上所走路径, 比起相邻其它的可能的路径来说, 光程 $\int_A^B n dl$ 取极值。经典力学中, 质点运动遵循莫泊图(Maupertuis)的力学最小作用原理 $\sigma \int_A^B p dl = \sigma \int_A^B \sqrt{2m(E - r)} dl = 0$, 此式表示在势场U中运动的一个粒子从A点到B点所走的实际轨道的“作用积分” $\int_A^B p dl$, 比起相邻的其它可能的轨道取极值。 m 是粒子质量, p 是粒子动量, E 是能量, 两者的数学方程式完全一致, 而光具有波粒二象性, 德布罗意用类比法大胆设想, 实物粒子也有波粒二象性的假说, 进而把光的波长(λ)与动量(p)的关系 $p = h/\lambda$ 和实物粒子的波长(λ)与动量($m\bar{v}$)的关系 $\lambda = h/mv = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}$ 进行类比, 预言了物质波的波长, 并通过实验得到证实, 接着, 很多实

验都证实了质子、原子、分子都具有波动性。于是波动性是物质粒子的普遍属性这一真理终于展示在人们眼前。德布罗意把从牛顿就认识到的波与粒子的对立的观念统一起来并且综合于一切物理现象之中, 这不仅在物理学史上, 而且在人类思想史上, 都是极为重要的成果。然而这一伟大的成果又确实起始于“类比推理”的思考。又如卢瑟福在 α 散射实验的基础上把原子结构和太阳系的结构进行比较, 从而创立了原子行星模型。

在自然科学其它领域也有许多运用类比方法探索自然奥秘和促进技术进步的生动事例。如氧元素的发现、牛痘免疫法的发现, 现代仿生学、仿生化学方面的成就等等。

二、类比法在物理教学中的重要作用

1、用类比法归纳总结物理规律

在物理教学中, 有很多内容都可以采用类比法讲授, 很多规律都可以利用类比法进行归纳总结。

在讲曲线运动中各物理量(位移、速度、加速度)的定义时, 可采取启发式提问, 让学生回顾直线运动中相应的物理量, 两种运动对照起来, 就能巩固这些物理概念, 从而在讲圆周运动中的法向和切向加速度时, 既能水到渠成, 又能引申到一般曲线运动中的法向和切向加速度, 指出它和圆周运动的差异性, 讲完非惯性系中牛顿定律的应用时, 可以指出它与惯性系中应用牛顿定律的差异性, 再通过一些例题的分析, 使学生感到在非惯性系中应用牛顿定律并不是很困难的, 变力做功讲完后, 得到公式 $A = \int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{S}$, 又可以与恒力做功公式 $A = \mathbf{F} \cdot \mathbf{S}$ 对比, 从而得出变力做功的计算方法: (1) 先在运动路径中任一位置, 取位移元 $d\mathbf{S}$; (2) 再在位移元 $d\mathbf{S}$ 中, 计算变力作的元功 $dA = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{S}$; (3) 统一变量再进行再积分。这

样就使学生明白了变力做功和恒力做功在形式中有相似之处,同时又学会了处理变力做功的方法;讲质点的角动量 $L = mvr$ 时,与质点动量 $P = mv$ 对照,可使学生容易接受角动量的概念,然后再指出它的矢量性;在讲述刚体定轴中的动力学规律前,可以先把质点动力学的相应规律拿出来,推出刚体转动动力学规律以后,再与质点动力学规律对比,最后让学生进行对照总结,这就相当于对质点力学和刚体力学作了一次全面复习。

在光学中,光的干涉与波的干涉可以对照地讲,但又必须指出光的相干性的复杂性,将波的干涉条件应用于光的干涉中,但光在不同媒质中传播干涉时,用光程差取代波程差,使学生明确干涉条件的应用不是随便的;光学中的惠更斯—菲涅耳原理与机械波中惠更斯原理可以对应,但必须指出惠更斯—菲涅耳原理补充了惠更斯原理的不足之处;爱因斯坦相对论原理和力学相对性原理,洛伦兹变换与伽利略变换、相对论时空观与经典时空观均可以对照讲授,但必须指出其差异性。

相对论中物体的质量 $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ 、动量 $p = mv = m_0 v / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$ 、物体受力 $F = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}$ 与经典物理学中物体的常量 $m = \text{常量}$ 、动量 $p = mv$ 、受力 $F = ma = m \frac{dv}{dt}$,又可一一对照起来讲授,使学生能了解相对论的普遍性,而经典物理只能适用于一定的范围。

教学中的这种对比,可以比较相同或相似之处,也可以比较两者中的不同之处,从而引出新概念。同时还加深了对物理概念、物理规律的理解。

2. 用类比法协助解答物理习题

类比法也可以在解题中运用。例如,求摆长 l , 摆球质量为 m 的单摆在不同条件下的周期,在运用有关物理规律时就可以采用类比法。

单摆的周期公式,是在惯性系中摆角 θ 很小的情况下应用牛顿定律建立微分方程解得的,即 $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ 。进一步分析上式可知, 2π 是常数, l 是摆线长, g 是摆球在参照系中处于平衡状态时与摆球悬线中张力 F 相平衡的重力 G 使摆球产生的加速度,即重力加速度(图 1 所示),也可以说是引力场处于地表附近空间的场强(是匀强场)。这一分析过程使我们对单摆周期公式有了更深刻的本质的理解,

这对于我们运用类比方法求如下几种情况中单摆的周期是十分有利的。

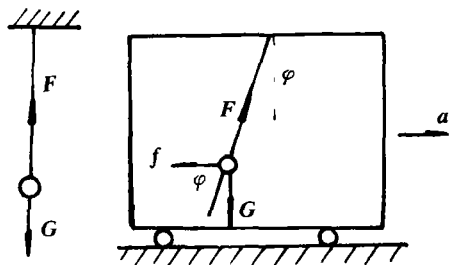


图 1 非惯性单摆受力图

(1) 求在作水平匀加速(加速度为 a)直线运动的车厢中,摆长为 l 的单摆周期 T 。

题意表明这是求在非惯性系中单摆的周期。为使牛顿定律适用于非惯性系只须引入惯性力,于是在非惯性系车厢中,摆球处于平衡状态(如图 2 所示),其中 φ 是平衡时悬线与沿竖直方向的夹角, F 是悬线中的张力, G 是重力, f 是惯性力,且有 $G = mg$, $f = -ma$,在平衡时有 $F + G + f = 0$,由图 1 所示 F 与 G 、 f 之间的关系可求得 F 的大小, $F = m \sqrt{g^2 + a^2}$,又因为 $a/g = \sin\varphi/\cos\varphi$,故有 $F = mg/\cos\varphi$,令 $g' = g/\cos\varphi$,则在平衡时与悬线中张力 F 平衡的 $G + f$ 所产生的加速度就是 g' ,于是运用类比方法得出该情况下单摆的周期为

$$T = 2\pi \sqrt{l/g'}, T = 2\pi \sqrt{l\cos\varphi/g}$$

(2) 求在沿倾斜角为 φ 的斜面上作匀加速直线运动(加速度为 a)的车厢中的单摆的周期 T 。

应用上面的方法能够十分简便地得出结果,因为摆球处于非惯性系中,且斜面有一倾角 φ ,在摆球平衡时,悬线中张力 F 与惯性力 f 用重力 G 相平衡,如图 2 所示。

$$F + G + f = 0 \quad (1)$$

为计算方便,可把 G 沿垂直于斜面方向(Oy 轴)与平行于斜面方向(Ox)轴分解(如图 3): $G = mg\cos\varphi i + mg\sin\varphi j$,且有 $f = -ma$,代入(1)式得:

$$\begin{aligned} F &= -(G + f) \\ &= (mg\sin\varphi i + ma i + mg\cos\varphi j) \end{aligned}$$

由图 2 可知, F 的大小

$$\begin{aligned} F &= m \sqrt{(a + g\sin\varphi)^2 + (g\cos\varphi)^2} \\ &= m \sqrt{a^2 + g^2 + 2ag\sin\varphi} \end{aligned}$$

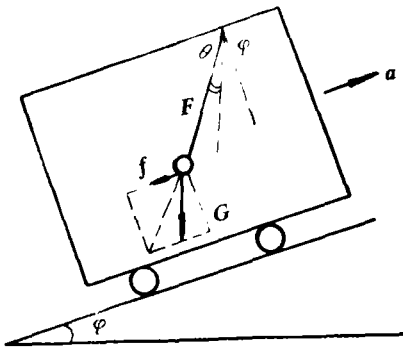


图2 斜面非惯性系单摆运动

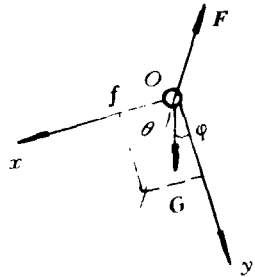


图3 斜面非惯性系单摆受力图

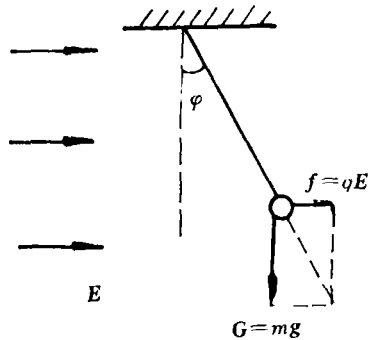


图4 匀强电场中单摆受力图

令
$$g' = \sqrt{a^2 + g^2 + 2agsin\varphi}$$

故
$$f = mg'$$

$$T = 2\pi \sqrt{l/g'} = 2\pi \sqrt{l/\sqrt{a^2 + g^2 + 2agsin\varphi}}$$

(3) 求摆长为 l , 摆球质量为 m 且带有 $+q$ 电量的单摆, 在重力场及匀强电场 E 中的周期 T 。

无论是匀强磁场还是匀强惯性力场, 从对摆球的作用力的观点来看没有本质的差别, 所以本题仍可用类比方法。

在重力场与匀强电场作用下摆球处于平衡时受力为

$$F + G + f = 0$$

$$F = -(G + f)$$

由图4所示, F 的大小为

$$F = \sqrt{(mg)^2 + (qE)^2} \quad (2)$$

且平衡时, 各力垂直于悬线方向的投影为

$$mg \sin \varphi = qE \cos \varphi$$

所以
$$qE = mg \sin \varphi / \cos \varphi,$$

代入式(2)得

$$F = mg \sqrt{1 + \sin^2 \varphi / \cos^2 \varphi} \\ = mg / \cos \varphi$$

令
$$g' = g / \cos \varphi,$$

$$T = 2\pi \sqrt{l/g'} = 2\pi \sqrt{l \cos \varphi / g}$$

用类比法解得的周期是否正确, 可以通过实验测量, 在误差允许的范围内加以验证, 但这不是本文涉及的主要问题, 我们也可以用牛顿定律分析摆球受力, 建立微分方程求得。为减少重复, 我们仅就最后一个问题验证如下。

所示, 这时切向回复力为

$$\begin{aligned} (\Sigma F)_t &= mg \sin(\varphi + \theta) - qE \cos(\varphi + \theta) \\ &= mg[\sin(\varphi + \theta) - qE/mg \cos(\varphi + \theta)] \\ &= mg[\sin(\varphi + \theta) - \tan \varphi \cdot \cos(\varphi + \theta)] \end{aligned}$$

因为 θ 很小, 故 $\sin \theta \approx \theta, \cos \theta \approx 1$

且有 $\sin(\varphi + \theta) = \sin \varphi \cdot \cos \theta + \sin \theta \cdot \cos \varphi$

$$\approx \sin \varphi + \cos \varphi \cdot \theta$$

$$\cos(\varphi + \theta) = \cos \varphi \cdot \cos \theta - \sin \theta \cdot \sin \varphi$$

$$\approx \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \theta$$

故

$$\begin{aligned} (\Sigma F)_t &= mg[\cos \varphi \cdot \theta + \sin \varphi - \sin \varphi / \cos \varphi \\ &\quad \cdot (\cos \varphi - \sin \varphi \cdot \theta)] \\ &= mg[\cos \varphi \cdot \theta + \sin^2 \varphi / \cos \varphi \cdot \theta] \\ &= mg[\theta / \cos \varphi] \end{aligned} \quad (3)$$

在 θ 很小时, 令摆球离开平衡位置的切向位移为 x ,

则有 $\theta \approx x/l$ (4)

将(4)式代入(3)式, 并考虑回复力 (ΣF) 与摆球离开平衡位置时位移 x 的方向相反, 得

$$(\Sigma F)_t = -mg / \cos \varphi \cdot x / l$$

由牛顿第二定律得

$$m d^2 x / dt^2 = -mg / \cos \varphi \cdot x / l$$

$$d^2 x / dt^2 = -g / l \cos \varphi \cdot x$$

令: $\omega^2 = g / l \cos \varphi$ 则 $\sqrt{g \cos \varphi / l}$

这一结果与运用类比方法求得的周期是完全相同的。这表明用类比方法解此类问题是可行的。

(下转第58页)

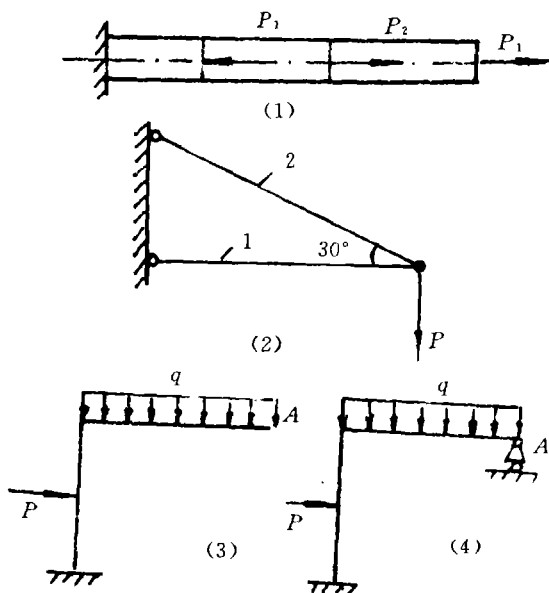


图 例题用图

后,需做强度校核、确定容许载荷和截面设计三方面工作,只用一道例题就反映了出来。

在讲授能量法这一章时,举了如图(3)的例题。(1)讲解了变形能的计算后,计算 A 截面的垂直位移。(2)讲解单位载荷后,仍以该题计算 A 截面的垂直、水平位移和转角。(3)讲解图乘法后,仍以该题计算 A 截面的垂直、水平位移和转角。如果在 A 截面上加上了一个活动铰,则成了超静定问题。我们仍可用该题通过单位载荷法、图乘法、正则方程进行求解。

(上接第 61 页)

三、类比法在物理教学中的重要地位

1. 提高学生对新知识的接受能力 将未知的和已知的进行类比,从而引出新的概念,能使学生很容易接受教师要讲授的内容,同时还能起到复习前面已学过的内容,巩固原来学过的概念和理论,加深理解新的概念、新理论。

2. 培养学生科学思维能力 通过类比教给了学生一种认识客观世界的重要的推理方法,把待观察的对象与已知的事物互相对比,利用二者相似和相同之处,由已知推测未知,从而启迪智慧、提出问题、提出假说,提出实验的设计方案来证明自己的推理。

选用一题多用,一题多解的目的,主要是在不影响讲授效果的前提下,达到节省时间的目的。

第三,备好课应注意练好基本功。教学基本功包括掌握教学基本要求、拟定教学大纲、使用教材、写教案、课堂讲授、写字、作图等基本功。教师练好了一套过硬的基本功,也就掌握了教学的主动权,就能把课程的理性内容与感性形式、抽象概念与鲜活形象有机统一起来,把发展智力与陶冶情感结合起来。通过教师的形象,感化启发学生,调动学生的学习积极性,由教师的主导性转化为学生的主动性,从而取得相得益彰、事半功倍的教学效果。

另外,每次上课总是提前进入教室。目的有三:一方面可对同学们进行辅导和答疑,使同学们不因存在的问题而影响新内容的理解和掌握;其次将本次课所讲的章节、较复杂的图形预先抄写和画在黑板上,尽量少占用上课时间;第三则是教师提前进入课堂,可使同学们的情绪提前稳定,一旦上课,思想能高度集中,提高课堂教学的效果。在两节课中间的 10 分钟休息时间,也全部加以利用,将所举的例题及图形抄写在黑板上,这样每次 100 分钟的讲课时间,实际上就利用了 120 分钟。

由于采取了以上一些措施,在教学学时大幅度减少的情况下,基本上没有减少力学的教学内容,保持了课程的系统性、完整性,重点和难点讲解得到了加强,同学们的分析问题和解决问题的能力有所提高,为后继课程的学习创造了有利条件,收到了较好的教学效果。

类比法既可在同类对象范围又可在异类对象范围内进行近类或远类对比,也就是说它可以在广阔的范围内揭示事物及其属性之间的关系。类比法深受科学家们的喜爱。开普勒曾说:我特别喜欢这些类比,它们是自己的“最可靠的老师”,因为它们给我揭示了自然界的各种秘密。这就充分地肯定了类比法的作用。

参考文献

- 1 郭奕玲,沈慧君. 物理学史. 清华大学出版社. 1993
- 2 程守洵,江之永. 普通物理学. 高等教育出版社. 1961