

# 简谐振动的物理教学及教育心理学探讨\*



金 硕 舒小林 李林玉 王金良

(北京航空航天大学物理学院 北京 100191)

(收稿日期:2020-03-20)

**摘 要:**基于简谐振动在大学物理教材和课堂教学中的两种典型方式,从质点动力学认知角度分析不同方式的教学基础和特点,其本质均指向同一教学目标,归属为质点动力学认知结构中两类基本问题.基于教育心理学认知结构的学习理论,从物理教材和教学要点角度,讨论两种不同教学方式的内在编码系统及认知信息加工理论特点.探讨在物理教学中利用教育心理学促进实现教学目标,完善学生已有的认知结构编码系统,帮助学生巩固和拓展知识点的有效方式,同时为简谐振动等物理教学提供教育心理学方面的教学参考.

**关键词:**简谐振动 物理教学 教育心理学 认知结构

振动通常是指物体在其平衡位置附近来回往复的运动,而简谐振动则是振动中满足一定条件下的基本运动形式.它是机械运动中常见的重要运动形式之一,也是学习机械波、电磁波、波动光学等章节内容的基础.对于简谐振动及其相关问题的讨论也成为教学研究的热点,如利用 MATLAB 从理论、图像等方式模拟机械振动的物理模型<sup>[1]</sup>,采取旋转矢量法简化简谐振动的数学过程<sup>[2~4]</sup>,同方向、同频率简谐振动合成初相位问题不同方法之间的教学效果等<sup>[5]</sup>.因此,简谐振动成为质点力学的重点教学内容.现有的国内大学物理教材中有两种常见的编写方式.同时,物理学作为自然科学的重要组成部分,其相关学习属于教育心理学的认知学习范畴,对学习的具体认知过程和信息加工过程进行分析和探讨,将有利于促进教学目标的实现和学生知识认知结构的形成.本文将针对简谐振动相关教材的编写和教学方式,从知识结构进行教学基础和特点的分析,并结合教育心理学认知结构的学习理论进行相关讨论,以期更好地帮助学生建立清晰认知结构,为克服物理学习的难点提供有效帮助,为简谐振动等

教学模块的物理教学提供相应的参考.

## 1 物理教材中常见的编写方式

国内物理专业的力学教材和大学物理教材中,振动通常单独作为一章内容讲授,以便学生深入学习和掌握振动相关的知识点,对于振动章节的编写和相应的教学方式主要有两种情况.其一,部分大学物理教材先给出简谐振动的运动学方程<sup>[6,7]</sup>,按照质点运动学描述运动规律的方式,引入做简谐振动物体的速度、加速度等运动学物理量,通过验证的方式得到简谐振动的动力学微分方程,再另成小节介绍简谐振动的动力学性质.教材内容编写的次序是从简谐振动运动学到动力学.其二,教材的编写方式从研究振动物体的动力学出发<sup>[8~10]</sup>,分析做简谐振动物体的受力情况,给出牛顿第二定律的动力学方程,求解得到简谐振动的运动学方程,再分析其运动学特征和机械能等.教材内容编写的次序是从简谐振动动力学到运动学.

简谐振动对应的两种教材编写和教学方式各有特点.按照质点运动学引入的教材编写方式是从简

\* 北京航空航天大学 2019—2022 年教育教学改革培育项目“大类招生环境下物理专业课程改革与建设”;北京航空航天大学双百优质课程项目“A 级理论力学”,项目编号:ZG211J1771;北京航空航天大学研究型示范课“物理先导课”;北京航空航天大学 2018 年重点教改项目“物理本科毕业设计新模式探索与实践”资助.

**作者简介:**金硕(1976—),女,博士,副教授,主要从事聚变材料计算模拟研究和物理专业课程、大学物理课程的教学和研究.

**通讯作者:**舒小林(1964—),男,博士,副教授,主要从事聚变材料计算模拟研究和力学、大学物理课程的教学和研究.

谐振动的运动学方程出发. 以如图 1 所示的水平振动的弹簧振子为例来说明.

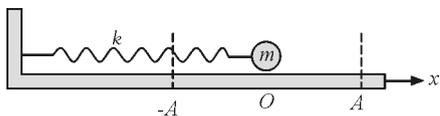


图 1 弹簧振子示意图

弹簧左端固定, 弹簧右端系有一质量为  $m$ 、可视为质点的物体, 物体可在光滑的水平桌面上来回运动, 这种结构称为弹簧振子. 采用简谐振动的运动学方程定义简谐振动, 即质点偏离平衡位置的位移按余弦函数随时间变化的运动为简谐振动, 其运动方程为

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

其中  $A$  为简谐振动的振幅,  $\omega$  为圆频率,  $\varphi$  为初相位. 通过式(1)介绍简谐振动的振幅、圆频率、周期、频率等振动特征物理量, 计算振动过程中系统的机械能等内容.

进一步, 根据速度和加速度的定义可得到做简谐振动物体的速度和加速度分别为

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

基于式(3)简谐振动物体的加速度和式(1)偏离平衡位置位移公式的定量关系, 得到简谐振动满足的动力学微分方程

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (4)$$

由牛顿第二定律及式(3), 可以得到

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} = -m\omega^2 x \quad (5)$$

上式关系表明做简谐振动的质点所受的合外力与它偏离平衡位置的位移成正比, 但方向相反, 即受到线性回复力作用.

根据质点动力学引入的教材编写方式是基于质点动力学问题的求解方法, 即分析振动物体受力情况, 列出牛顿运动方程, 导出运动微分方程, 求解得到运动学方程并讨论其运动过程. 如图 1 中, 当弹簧自然伸长时, 物体处于平衡位置. 以此平衡位置为坐标原点, 水平向右为  $x$  轴正方向. 当物体向右偏离平

衡位置, 发生位移  $x$  时, 物体受到弹簧的回复力为  $-kx$  (负号表示回复力指向  $x$  轴负方向, 图示向左); 而当物体向左偏离平衡位置, 发生位移  $-x$  时, 物体受到回复力为  $kx$  (方向指向  $x$  轴正方向, 图示向右). 根据质点的受力情况, 得到牛顿第二定律的动力学方程为

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad (6)$$

其中负号表示回复力的方向总是与位移的方向相反. 令  $\omega^2 = \frac{k}{m}$ ,  $\omega$  为简谐振动的圆频率, 上式整理得到式(4) 简谐振动的动力学微分方程, 求解式(6) 常微分方程, 可得简谐振动的运动学方程式(1).

## 2 质点动力学认知结构的两类基本问题

实际上, 质点做简谐振动的运动是质点力学中有代表特点的运动形式之一. 在物理专业力学课程或大学物理课程的质点力学部分, 已经建立了质点力学的完整知识结构, 而质点力学又可分为质点运动学和质点动力学两个部分.

质点运动学不涉及物体的质量和受力情况, 只研究质点位置、位移、速度和加速度等运动参量间的关系, 在不同坐标系中具体化为速度和加速度的定量表达式, 进而研究质点运动学中的两类问题及两类问题的求解方法, 从而建立起系统的质点运动学知识结构. 质点动力学研究物体所受力与物体运动的关系, 既涉及物体运动又涉及其受力情况, 与物体的质量有关, 通过以牛顿三大运动定律为基础的一系列定理, 如动能定理、功能原理、动量定理、角动量定理等, 以及它们的守恒定律来研究质点运动和其变化的原因. 结合并类比质点运动学中常见的两类基本问题<sup>[6~10]</sup> (对应数学中的微分法和积分法), 我们把质点动力学中的问题分成如图 2 所示的两类基本问题, 建立质点动力学相应的知识框架结构. 通过比较发现, 简谐振动作为一种机械运动形式, 其相关教学内容自然需要基于上述质点动力学中的两类基本问题展开, 其教学目标是通过教学使学生掌握简谐振动的动力学和运动学特征. 第一种教材编写方式基于质点动力学中第一类问题的认知方法. 采用

运动学方程定义简谐振动,通过求导的方法得到质点的加速度,根据简谐振动的位移和加速度关系,对比牛顿第二定律,寻求质点做简谐振动的原因,即受到线性回复力的作用.第二种教材编写方式基于质

点动力学中第二类问题的认知方式.质点做简谐振动的成因即为本身受到的线性回复力,体现为来回往复的运动形态.因此,先根据质点的受力情况,再列出对应的牛顿方程,进而求解得到运动学方程.

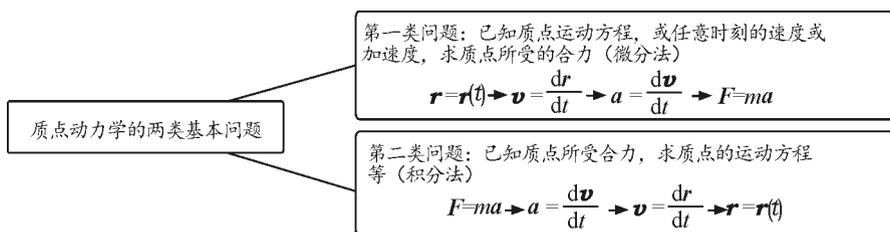


图2 质点动力学两类基本问题的知识结构

### 3 物理教学的教育心理学分析

学生在学习过程中对知识的获得和认知结构的建立,从教育心理学的认知主义学习角度来看<sup>[11~15]</sup>,学生不只是在强化条件下简单重复地接受刺激,形成反应连接,更重要的是积极主动地应用已建立的认知结构,通过相关内部信息加工活动方式,完善、充实原有认知结构,或形成新的认知结构.物理学中的概念、原理、定律、理论和方法等都是属于教学心理学中的认知学习范畴.

在教育心理学中,认知结构可以看成是人们认识现实世界的内在编码系统<sup>[11,12]</sup>.首先,它是由一系列相互关联的类别构成,这些类别可以是有相似属性的对象或事物,并且依据确定的规则及规律将这些类别分类.其次,学生的学习过程就是类别化的活动过程,他们可以对学习材料所呈现的现象、遵循的规律进行概括,把这些知识点归为某一类别,并依据这一类别对与它相关的类别做出分析,在具体知识的基础上形成更具规律的一般编码系统.再次,这种一般编码系统一旦形成,新的信息就可以纳入到这种有组织、有层次的认知知识结构中.学习知识就不再是简单地学习具体的类别,而是怎么样掌握和运用编码系统,通过各类别之间的相互关联来超越给定的信息,达到举一反三、触类旁通的目的.因此,从学习自然科学的角度来讲,这种有组织的编码系统更利于学生对知识的掌握和应用.学生在物理学习过程中用类别化活动来感知新的知识,并对新知识点进行加工,形成有组织、有层次的知识结构组织或自己的编码系统,这些构建的认知结构就是进

行推理、思考和研究的基础.

针对简谐振动这部分的教学内容,学生在学习之前已经建立了质点力学的一般编码系统,掌握了质点动力学的两类基本问题.简谐振动的教学从教育心理学角度来讲,就是如何让学生把新的信息知识纳入到已经掌握的编码系统,强化和扩展原有编码系统的过程.本文所述的看似两种不同的教材编写方式,分别从质点运动学和动力学的先后次序入手,但实则都是解决简谐振动的动力学问题,教学目标均为使学生掌握简谐振动的动力学和运动学特征,只是从不同的出发点,通过其各自鲜明的特色,引导学生成功地建立对简谐振动知识体系的认知结构,完全符合教育心理学的认知学习理论.

实际上,教育心理学中的认知信息加工理论还会根据个体反应活动的形式不同将知识分成陈述性知识和程序性知识<sup>[11,12]</sup>.陈述性知识是学生认识客观环境及其相互关系的知识,它是可以用语言来表达或通过可视化方式来描述的知识,陈述性知识主要是回答事物是什么、为什么以及怎么样的问题,对应于物理学中的一些基本概念等.程序性知识是关于认知的技能如何操作,即如何做事情的知识,它是学生应用已经具有的,用于具体情境的算法、方法和一套执行步骤,比如对应物理学中的一些原理和方法等.因此,对于物理中简谐振动相关的学习,教学的最终目的是让学生通过教学内容安排,建立其运动学和动力学相应特征的认知结构,因此,对于此部分的认知结构形成,程序性知识的个体反应更为理想.

特别地,按照第一种教材编写进行的教学方式是认为质点的运动情况已知,探究质点做简谐振动

的原因.其编写方式的特点是按照质点动力学第一类问题的认知结构,具体应用到简谐振动,即可以看成是质点动力学第一类问题的陈述性知识向质点动力学第一类基本问题的程序化知识转变的例子.这种方式给出了简谐振动的直观运动形式,避开运动微分方程求解的难点,非常适合学生在高等数学知识学习与物理教学不同步时采用.按照第二种教材编写进行的教学方式是认为质点的受力情况已知,要研究其运动遵循的规律.这种方式的主要特点是当质点受力情况发生变化,很自然地推广到阻尼振动和受迫振动的情况.这种方式在编写简谐振动、阻尼振动和受迫振动时,内容从易到难有很好的递进关系.教学内容由浅入深,从简谐振动的理想模型逐渐深入到阻尼振动、受迫振动实际情形的物理学研究方法.可以看到,它是质点动力学的第二类基本问题编码系统的拓展和深入,也包括动力学第二类问题的陈述性知识向其程序化知识的转化.

根据上述分析,就利用原有的动力学解决问题的方法去获得简谐振动相关认知结构的过程角度来讲,按照第二种教材编写进行的教学方式更符合认知心理学的学习理论.这也是国内教材中多采用此方式编写的原因之一.当然,按照第一种教材编写进行的教学方式也有其适用和合理之处,尤其是考虑认知理论中影响学习因素的主体——学生原有的认知结构及体系,比如可以避免数学难点等.因此,在采用第一种教材对应的教学后,补充讲解和说明第二种教材方式的教学要点,也能很好地帮助学生建立良好的质点动力学知识的编码系统,达到同样的学习和教学效果.物理教学中,这种类似的程序化知识转化方法也可以同样应用到波动章节、刚体运动的分析中.

在物理教学中,有很多利用教育心理学方法促进实现教学目标的例子,如在刚体力学、电磁学等教学中结合教育心理学中的类比学习法、迁移学习法等的应用<sup>[16~18]</sup>.物理学是研究物质运动普遍规律的学科,教学目标的确立必须从所要构建的知识认知结构出发,培养学生用类别化活动来感知新的知识,促进完成陈述性知识向程序化知识的转化,从而形成有组织、有层次的认知结构或者编码系统,这是整

个教学过程的核心.学生的认知结构是从教材的知识结构和教学中转化而来的,结合教育心理学的要点,将有利于更好地突出物理学科最具生命力、最有价值的知识体系,最大程度地保障教学过程的效果和教学目标的实现.学习的过程不仅要让学生掌握具体的知识与技能,更要让学生掌握其中的心智技能,学会学习.

### 参考文献

- 1 张建武,王文霞.机械振动的 MATLAB 处理[J].河西学院学报,2011,27(2):106~109
- 2 陈柯.旋转矢量法在解决简谐振动相关问题中的应用[J].物理与工程,2014,24(5):47~50
- 3 王玮,孙家法.正弦简谐振动的旋转矢量图示及应用[J].物理通报,2014(12):22~27
- 4 朱青.旋转矢量法在“简谐振动”教学中的应用[J].中山大学学报论丛,2006,26(1):5~7
- 5 王颖辉.同方向同频率谐振合成初相位的确定[J].物理与工程,2010,20(3):14~16
- 6 张三慧.大学物理学 B 版(第 3 版)[M].北京:清华大学出版社,2009.2
- 7 钟锡华,陈熙谋.大学物理通用教程力学[M].北京:北京大学出版社,2000.12
- 8 张汉壮,王文全.力学[M].北京:高等教育出版社,2009.1
- 9 漆安慎,杜婵英.力学(第 2 版)[M].北京:高等教育出版社,2005.6
- 10 程守洙,江之永.普通物理学(第 7 版)[M].北京:高等教育出版社,2016.7
- 11 张文新.高等教育心理学[M].济南:山东大学出版社,2008.7
- 12 王春阳,杨彬,张婕.教育心理学[M].成都:电子科技大学出版社,2016.5
- 13 吴宝瑞.高等教育心理学[M].石家庄:河北人民出版社,2009.11
- 14 ORMROD J E.教育心理学(第 4 版)[M].彭运石,彭舜,等,译.西安:陕西师范大学出版社,2006.4
- 15 伍新春.高等教育心理学(修订版)[M].北京:高等教育出版社,1999.1
- 16 曹瑞.类比教学法的研究与应用[J].教学与管理,2011(27):128~129
- 17 王小兰,李春密,尹建武.巧用类比教学法实现刚体力学的有效教学[J].大学物理实验,2014,27(1):101~104

# Discussion on Physics Teaching and Educational Psychology of Simple Harmonic Vibration

Jin Shuo Shu Xiaolin Li Linyu Wang Jinliang

(School of Physics, Beihang University, Beijing 100191)

**Abstract:** In this paper, different teaching basis and characteristics are analyzed from the perspective of cognitive structure of particle dynamics, which are based on the two typical teaching methods of college physics textbooks and classroom teaching. Their essence points to the same teaching goal, and belongs to the two basic problems in the cognitive structure of particle dynamics. The internal coding system and the theoretical characteristics of cognitive information processing are discussed from the perspective of physical teaching materials and teaching points. They are based on the learning theory of cognitive structure of educational psychology. We also investigate how to use educational psychology in physics teaching to promote the realization of teaching objectives, improve the existing cognitive structure coding system of students, and help students consolidate and expand the effective way of knowledge points. The paper attempts to provide reference for educational psychology teaching in simple harmonic motion and other physics teaching.

**Key words:** simple harmonic motion; physics teaching; educational psychology; cognitive structure

(上接第6页)

2) 运用闭合电路欧姆定律解释一些电路现象,计算简单电路问题;

## (2) 科学思维

- 1) 将实际电源看成理想电源和内阻两部分;
- 2) 说出演绎推理得出闭合电路欧姆定律;
- 3) 对闭合电路欧姆定律的不同表达式,阐述自己的见解.

## (3) 科学探究

- 1) 说出路端电压随负载变化的关系.
- 2) 观察演示实验,分析实验数据,得出路端电压、电流随负载变化的关系;

3) 能作出  $U-I$  图像,得出相关信息、解决简单问题.

## (4) 科学态度与责任

- 1) 领略闭合电路欧姆定律是建立在观察、实验基础上的一项创造性工作;
- 2) 说明闭合电路欧姆定律蕴含着能量守恒规律,关注物理规律的统一美.

## 5 结束语

在新一轮课程改革背景下,进一步提升高中物理课堂的品质,从物理学科本质的视角去深入思考,对教材、课标等文本和实际教学班级的学情做理性分析,将核心素养的4个方面融入其中,叙写的课堂教学目标,要具有可观察、可操作、可评价,在教育和教学实践中彰显物理学科的育人价值.

在新一轮课程改革的初期,我们将物理四大核心素养教学目标分割叙写是应急之需,有助于教师对核心素养的理解,促进核心素养在教学实践中落地;当大部分教师的教育教学理念有了提升,能够很好地理解核心素养之时,笔者建议课堂教学核心素养目标的叙写,应该将四大核心素养作为一个整体融合在一起叙写,理由是四大核心素养本身就是无法截然分割的.

## 参考文献

- 1 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版)[S].北京:人民教育出版社,2018.2
- 2 梁旭.如何确定素养目标和素养水平[J].物理教师,2018(12):2~4
- 3 周长春.核心素养导向下教学目标的陈述[J].教学月刊:中学版,2018(7):29~34