朱鋐雄 主编
王世涛 王向晖 副主编

大学物理学习导引

—— 导读，导思，导解

清华大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

大学物理学习导引

——导读,导思,导解

主　编　朱鋐雄
副主编　王世涛　王向晖

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书从历史视野和整体视野上，从理解和感悟物理学思想和方法论的意义上为学习大学物理课程的理工科专业大学生提供一个学习资源的导引，这个导引以导读、导思和导解为主线，每一章都由学习导读、本章的内容体系和学习指导、学习要求、例题分析和自我检测五个栏目组成。“学习导读”从物理学史发展的动态历程和学科内容体系的整体视野上引导学生把握大学物理内容；“本章的主要内容体系和学习指导”从章节的知识体系结构上引导学生把握物理内容；“学习要求”从知识点上引导学生理解和掌握具体的物理内容；“例题分析”栏目对一些典型的例题从情景解析、解题步骤、错解分析和拓展思考四个方面作了分析表述；在“自我检测”中除了有选择题、填空题和计算题外，还列出了讨论题。

本书可作为高等院校理工科专业学生学习大学物理课程时的学习指导书，也可作为教师的教学参考书。在对中学物理教师进行培训时，本书也可作为从物理学内容中学习物理学思想方法的辅助教材。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989　13701121933

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习导引：导读，导思，导解/朱鋐雄主编. --北京：清华大学出版社，2010.11
ISBN 978-7-302-24014-3

Ⅰ. ①大…　Ⅱ. ①朱…　Ⅲ. ①物理学－高等学校－教学参考资料　Ⅳ. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 213637 号

责任编辑：邹开颜　赵从棉
责任校对：刘玉霞
责任印制：
出版发行：清华大学出版社　　**地　　址**：北京清华大学学研大厦 A 座
http://www.tup.com.cn　　**邮　　编**：100084
c-service@tup.tsinghua.edu.cn
社 总 机：010-62770175　　**邮购热线**：010-62786544
投稿咨询：010-62770175　　**客户服务**：010-62776969
印 刷 者：
装 订 者：
经　　销：全国新华书店
开　　本：185×260　**印张**：27　**字数**：619 千字
版　　次：2010 年 11 月第 1 版　2010 年 11 月第1次印刷
印　　数：1～0000
定　　价：00.00 元

产品编号：

本书编委会成员

主　编　朱鋐雄

副主编　王世涛　王向晖

编　委　黄燕萍　付丽萍　程文娟　顾琦敏

前　言

作为物理学思想和方法论课程资源“三部曲”的重要组成部分，本书是作者相继出版《物理学方法概论》（清华大学出版社，2008 年）和《物理学思想概论》（清华大学出版社，2009 年）以后编著出版的“第三部曲”。

长期以来，大学物理课程一直是理工科大学学生一门必修的基础课程。理工科大学生学习物理学知识可以为学习其他很多后继课程打下扎实的基础，因此，学习和掌握物理基本概念和基本理论的课程目标一直体现在大学物理课程的教学过程中。尤其为大家公认的是，物理学具有巨大的物质价值，它的成果可以转化为推动科学发展的强大动力。许多大学物理教材在不断改进和加强基础知识教学的同时，增加了联系生产生活实际的内容和对最新物理学成就的介绍，其目的就是为了更好地体现这方面的价值。

从价值观上看，除了物质价值外，作为一门基础课程，大学物理课程还有什么价值呢？学生学习大学物理课程仅仅是为学习后继的专业课程打下扎实的知识基础吗？如果后继课程的内容看起来与大学物理的具体知识内容一点联系都没有，那么是不是可以不学习大学物理这门基础课？

从大学物理实际的教学状况看，我们经常会遇到一些据说在中学里物理基础较好的大学生，他们在刚开始学习大学物理基础课程时，由于在中学学习物理时受到的训练，因而具有“见到题目就套公式，代入数据就得答案”的快速解题能力。然而一旦接触大学物理课程不久，他们却往往会感到似乎陷入“听课听得懂，题目不会做”的境地，随着学习的深入，逐渐感到焦虑不安，甚至产生害怕心理。还有一部分学生在学习大学物理时感到困难重重，不会解题，据他们自己说是因为他们在中学期间就分科选学化学科目，因此物理基础很差。

如果说，通过学习中学物理，学生能够具备快速解题的能力就是一种“基础”的话，那么这种所谓的“基础”也只是对付各类考试而具备的“基础”，是在“题海”中“不被淹死”的“基础”而已。进入大学以后，这种学习物理的“基础”价值观显然被打破了，教师不再要求学生步入“题海”，课堂上的一轮二轮“模拟考试”也不复存在，于是不少学生的学习就开始出现分化，有些学生仍然会留恋原有的学习习惯，以解题为学习大学物理的唯一方法；而有些学生则会感到失去方向，不知道为什么还要学习大学物理，于是只好被动应付，以只求及格为学习的唯一目标。

对大学物理教学而言，一个需要回答的问题是：大学物理究竟应该给予学生什么样的基础？而对学生的学习而言，学习大学物理应该怎样实现从在中学学习物理时追求的基础价值到另一个新的更高的基础价值的转变？

“原天地之美，达万物之理”（庄子）。一部物理学发展史，是人类追求对“天”（星体、宇宙）、“地”（山脉、河流）以及周围自然界“万物之理”的一幅美妙的“画卷”。物理学之所以

需要全本请访问 www.ertongbook.com

一直处于整个自然科学的基础地位,正是因为物理学提供给人们的是对物质结构和物质运动形式及其相互转化的最基本的认识。这个基本认识可以分为三个层次,相应地,大学物理课程的价值就有三个维度:一是用文字和公式表现出来的关于物质结构和物质运动形式的众多基本定理和定律,它们集中地反映了人类对自然界不断深化的认识。利用这些物理学的认识,人们可以在自己的生活和生产实践中把握自然现象的发展和变化,从而减少盲目性,增加主动性。这就决定了大学物理课程一个维度上的价值——知识的价值。二是用数学形式表现的物理量之间的相互关系。借助于数学公式使物理量的认识表述得更一般、更确切,透过纷繁复杂的自然现象我们可以发现更多的科学美和自然界的和谐美。这就是大学物理课程在另一个维度上的价值——情感价值。三是体现在这些定理和定律中的关于物质世界的基本观念和基本图像。它们反映的是人类对自然界图景的描绘方式和领悟,而在每一种描绘和领悟背后往往有着一种深刻的思想和方法论。这就是大学物理课程在第三个维度上的价值——思想方法价值。

无论是经典物理学还是现代物理学,它们已经为人们展现出一幅大自然的美妙画卷,这幅画卷正在深刻地影响着人类的科学思维方式。尤其是在现代物理学中体现的科学思想和科学方法论与传统物理学思想方法之间的“撞击”已影响和渗透到了人们社会生活的各个方面。现代物理学的进步不但正在改变人们对自然界的看法,也正在改变人类在宇宙中的地位;物理学不但在揭示和理解自然界的奥秘方面要符合大自然的客观规律,而且在使人类掌握和利用物理学知识的行为方面更提倡与大自然的和谐和对大自然的尊重。物理学在人类文明史上写下了精彩的篇章,已经成为当代人类文化的一个重要组成部分。

正是以这样的世界观和认识论为明显特征,现代物理学正在成为人类发展对自己生存目标认识——例如,道德、精神和美学价值——的有力手段。作为一门理工科大学学生必修的基础课程,大学物理教育应该在物理学内容的展开过程中从更广泛的视界上展现科学的世界观和方法论,推进和加深学生对物质世界的基本认识,这就是大学物理课程具有的一个重要的价值——思想和方法论价值。

在谈到物理学本身的发展历史时,爱因斯坦说过:“在建立一个物理学理论时,基本观念起了最主要的作用。物理书上充满了复杂的数学公式,但是所有的物理学理论都是起源于思维与观念,而不是公式。”物理学的发展是先起源于思维和观念,后再出现公式,而不是相反。因此,大学物理课程的教学在指导学生掌握物理知识和定理公式的同时,应该渗透物理学思想和方法的历史发展过程,使学生从历史的视角和整体的视野上理解和领悟物理学科的知识结构,理解和把握物理学的思想和方法论意义,这是大学物理课程的核心价值,它对于学生终身学习能力的培养和创新素质的发展比物理知识本身具有更为重要的价值。

在大学物理课程的学习过程中,学生是学习的主体。学习大学物理课程就是使学生在“一个有利于培养学生科学素养和创新意识的教学环境”(引自《非物理专业理工学科大学物理课程教学基本要求》)中获得学习的经历与体验。一个学生的学习过程究竟是如何发生的?教师应该引导学生以什么样的学习方式学习?大学物理课程应该为学生创设什么样的学习视界?对此,美国哲学家和教育理论家杜威在20世纪初就指出,如果学生以毫无生气或机械化的方式记忆知识提供的信息,那么这样获得的知识是“静止的、冷藏

的知识”。他认为,“与思考活动无关的知识是死的,是一种足以扼杀心智的负担”。20世纪60年代布鲁纳、施瓦布等人提出的“学科结构”概念更是强调了学科是“活”的实体,是不断地生长和改变的知识体,并且指出,学生学习一门学科,必须对该学科的“动态历程”和某种“心智地图”有所感悟,即了解学科知识的主张从何而来,以及它们得到何种评价。

对大学物理课程而言,所谓感悟“动态历程”主要就是结合物理学史对物理学科内容及其思想和方法的形成和发展所作的历史考察。离开了这样的“动态过程”,面对教材中的物理公式和定理学生会逐渐感到越学越乏味,充满着抽象感和神秘感,更谈不上理解物理知识的核心价值。这样的大学物理学习过程是毫无生气的,不能激发学生的创造性和批判性的理念,学生由此获得的仅仅只能是一种“冷藏的知识”而已。

对大学物理课程而言,所谓构建“心智地图”指的就是对物理学科体系结构各部分之间的内容在论证逻辑上和物理思想上互相关联所作的思维追踪。离开构建这样的“心智地图”,学生虽然可以知道“物理公式定律”,但无法理解“物理学科结构”。物理学家玻尔曾经针对在物理学习过程中的这种状况,发出过“不要掉入数学丛林”以致“迷路”的警告。今天这样的警告仍然值得我们深思。如果大学物理学习过程与学生的思考过程无关,那么,学习物理学不仅不可能使学生在思维能力上得到改善和提高,反而对学生成为“一种足以扼杀心智的负担”。

从根本上说,“动态历程”和“心智地图”涉及的是归属于哲学范畴的物理学的思想方法问题。物理学思想和方法不是深奥抽象的教条,而是始终与物理学本身的发展紧密联系、并随着物理学的发展而发展起来的。在物理学发展历程中,它们既在继承前人成就的基础上为物理学进展指引方向,更有助于后人对物理学成就做出深刻的总结和提升。因此,在学习大学物理的过程中,学生应该在接受物理知识的同时,结合物理学的发展对物理学作历史视野和整体视野两方面的考察,加深对物理学思想方法的理解和感悟,以体现大学物理课程的学习价值。

基于上述理念,我们在2008年和2009年先后编著出版了《物理学方法概论》(清华大学出版社,2008年)和《物理学思想概论》(清华大学出版社,2009年)两本著作,把我们多年来在这方面的教学体会做了一个比较系统的总结,希望为从事大学物理教育的老师们提供这方面可参考使用的课程资源。本书是在这两本书的基础上编著而成的“第三部曲”。本书之所以取名为《大学物理学习导引——导读,导思,导解》,是希望本书从历史视野和整体视野上,从理解和感悟物理学思想和方法意义上为学习大学物理课程的学生提供一个学习资源的导引。这个导引以导读、导思和导解为主线,每一章都由学习导读、本章的内容体系和学习指导、学习要求、例题分析和自我检测五个栏目组成。应该指出,本书的内容中虽然也包含例题分析和自我检测,但它有别于通常的大学物理习题解答书;本书虽然也列出了各章的主要内容体系,但不同于一般的大学物理学习指导书。

“学习导读”是每一章的主体部分。为什么需要“学习导读”?“学习导读”包括哪些内容?在学习大学物理每一章内容的开始,学生往往容易产生的一个想法是,为什么要学习这部分内容?从这部分内容能够学到什么?从认识论角度看,产生这样的想法是很自然的。我们不妨做一个这样的类比:当一个人参加旅游团第一次到达一个陌生的城市时,他可能会发问,为什么要安排这个旅游点?到这个城市来能够观赏到什么景色和获得什么

感受？为了回答这样的问题,导游就需要做出详细和明确的讲解,使旅游者对这次旅游的目的和途径获得一个大致的了解,从而在旅途中保持一定的主动性,这就是“导游”的作用。同样,学生在开始学习大学物理课程时,为了通过学习实现从被动的学习方式向主动的学习方式的转变,同样需要一个“导游”——这就是“学习导读”。例如,第1章学习结束后为什么要进入第2章的学习？什么问题在第1章得到了解决,但是还有什么问题没有解决？第2章将会从什么角度提出问题？在物理学发展史上物理学家用什么物理学方法探讨了物理现象及其规律,等等,这就是“学习导读”包括的主要内容。

从教材编写的角度上看,一本优秀的大学物理教材的编写者在构思教材内容框架时一定包含着编写者自己如何提出问题和解决问题的理念和意图,但由于教材篇幅的限制,这样的理念和意图一般是不写在教材上的,需要学习者自己去领会和感悟。从物理学发展史上看,一个重要的物理问题的提出和解决,一个物理定律和定理的形成总有它的地位和作用,总会蕴含着一代代物理学家对问题思考和分析的思想方法,他们的成功之道对后人来说是比具体知识更有价值的一笔“财富”。但是由于受到课程内容的限制,这样的思想方法一般也是不会被写在大学物理教材上的,然而对于学习者来讲,这是完整的学习过程所必需的,尤其对于体现基础课程的地位和价值是完全必要的。虽然没有这样的学习过程,学习者仍然可以记住定律和定理,可以解出难题,但是,他无法获得对大学物理学科知识的主体把握。我们不妨再做一个类比,一个人拿到了许多“砖瓦”,但是如果他不知道“房子”的整体结构的设计,他就无法盖成“房子”。物理定理和定律就如同是整个物理学科体系的“砖瓦”,如果没有对整个学科从历史和整体上的把握,缺少了对学科中蕴含的物理思想和方法的感悟,那么手中的“砖瓦”再多也是没有意义的。本书在“学习导读”栏目中力图把物理学发展史和渗透在物理学史中的物理学思想方法结合在一起,既引导学习者经历一个“动态”的学习历程,也引导学习者构建一个“心智地图”,这样的“动态历程”和“心智地图”将有助于提升学习者的全面素养。实际上,这样的“导读”方式不仅在学习大学物理课程时是必需的,在学习其他课程时也是必要的,与其他课程相比,大学物理课程在这方面显然有着其他课程所不可取代的价值和作用。

作为“导思”,“本章的主要内容体系和学习指导”栏目是每一章的重要内容。如果说,“学习导读”是从历史和整体上引导学生对内容的把握,那么“本章的主要内容体系和学习指导”是从具体知识体系引导学生对物理内容的把握。在这个栏目中不仅列出了知识的框架,还同时伴以“学习指导”,以尽可能体现具体知识在结构上的互相联系和学习的主线。

基于上述两个栏目,“学习要求”栏目顺理成章地给出了具体学习要求,这样的要求不是外加的,而是引导学生从上面两个栏目中自我提升出来的,这正是对学生自主学习能力的一种引导和培养。

作为“导解”,“例题分析”栏目选择了一些典型的例题从“情景解析”、“解题步骤”和“拓展思考”三个方面作了分析表述,对部分例题,还添加了“错解分析”栏目,这样的分析是针对目前不少学生在解题过程中存在的“代公式,凑答案”的不良学习习惯而设计的。“情景解析”是为了引导学生学会如何提出问题而设计的;“解题步骤”是为了引导学生学会分析问题和有条有理地合乎逻辑地表述问题而设计的;“错解分析”是我们针对学生经

常会出现的错误(学习中的错误往往是教学的一笔“财富”)而设计的;“拓展思考”是为了引导学生从解题的学习过程中不满足于得到“标准答案”,而是学会“由此及彼”地进行更深入的思考而设计的。“自我检测”是为了引导学生掌握必要的基本概念和基本理论而设计的。在这个栏目中除了有“选择题”、“填空题”和“计算题”外,还列出了一些“讨论题”,以引导学生从物理学思想和方法论的层次上对物理问题进行更深入的思考。这样的思考有时还需要通过对文献的调研来进行。作为一名大学生,提高文献调研能力是完全必要的,而这样的训练也应该从大学物理课程开始。

本书的编写分工如下:朱鋐雄(前言,第 1,2,23 章),王世涛(第 7～10 章),王向晖(第 4～5 章;第 11～13 章),黄燕萍(第 14～18 章),付丽萍(第 20～22 章),程文娟(第 19 章),顾琦敏(第 6 章)。王向晖绘制了本书的大部分插图。最后,朱鋐雄、王世涛和王向晖对全书进行了统稿和修改。

在编写本书时参阅了许多其他相关文献和资料,引用了其他作者的观点和使用过的例题。由于相关的资料较多,无法一一涉及,在书后仅列出了参考较多的部分参考文献,在此对所有这些相关文献和资料的作者表示感谢。由于水平有限,对物理学丰富的思想和方法论财富理解不深,编写这样的学习导引尚属首次,本书无论在表述和材料引用上一定存在很多不足之处和其他问题,敬请读者不吝指正。

本书在编写过程中得到了清华大学出版社邹开颜、赵从棉两位编辑的大力支持,对此深表感谢。

朱鋐雄

2010 年 10 月于华东师范大学

目　　录

第 1 章　质点运动学 …… (1)
第 2 章　运动和力 …… (15)
第 3 章　动量与角动量 …… (29)
第 4 章　功和能 …… (46)
第 5 章　刚体的定轴转动 …… (61)
第 6 章　狭义相对论基础 …… (75)
第 7 章　温度 …… (96)
第 8 章　气体动理论 …… (109)
第 9 章　热力学第一定律 …… (124)
第 10 章　热力学第二定律 …… (139)
第 11 章　静止电荷的电场 …… (152)
第 12 章　电势 …… (166)
第 13 章　有导体和电介质存在时的静电场 …… (180)
第 14 章　电流和磁力 …… (198)
第 15 章　磁场和它的源 …… (211)
第 16 章　磁场中的磁介质 …… (221)
第 17 章　电磁感应 …… (233)
第 18 章　麦克斯韦方程组和电磁辐射 …… (257)
第 19 章　振动与波动 …… (268)
第 20 章　光的干涉 …… (303)
第 21 章　光的衍射 …… (325)
第 22 章　光的偏振 …… (345)
第 23 章　量子物理基础 …… (363)
自我检测提示与参考解答 …… (380)
参考文献 …… (420)

第1章

质点运动学

一、学习导读

本章主要讨论质点运动学。所谓质点运动学就是指研究质点位置在哪里、质点运动状态是什么以及质点的运动状态怎样随时间改变的力学的一个分支。

本章内容对学生来说可能并不陌生，其中关于匀速运动和匀加速运动的路程公式和速度公式可能早被学生背得“滚瓜烂熟”，那么，为什么学习大学物理还要学习这部分运动学内容呢？大学物理的运动学与中学物理学习的内容有什么区别吗？确实，从内容的表述上和公式的形式上看，似乎大学物理与中学物理没有什么不同。初学者往往产生的一个印象是，大学物理不过是中学物理加上一点高等数学知识而已。这是对大学物理课程的一种误解。

从物理课程的理论体系上看，中学物理力学分别讨论了路程、平均速度、速度和加速度及其运动的公式，但这些公式只能适用于匀速运动和匀加速运动。而大学物理力学通过高等数学工具建立了从位移依次微分得到速度与加速度和从加速度依次积分得到速度和位移的一般关系，由此可以讨论更一般的变加速运动的运动规律，中学物理课程中的匀加速运动的路程和速度公式只是其中一个特例而已。因此，大学物理力学关于质点运动学的理论比中学物理力学更着眼于描述质点运动的一般过程，由此得出的结论也更具有普遍性。如果说中学物理力学讨论的是“特例”，那么大学物理力学就从“特殊”上升到“一般”，具有比中学物理力学更加严密的逻辑性和系统性。

特别值得注意的是，从物理思想和方法上看，大学物理课程中体现的物理学思想和物理学方法比中学物理更加突出，而这些思想和方法的体现就是从力学的运动学开始的。

例如，在中学物理中学生学习过路程、位移、速度和加速度等物理量，但在大学物理中仍然从讨论这些物理量开始，这是不是不必要的重复呢？仔细考察可以发现，中学物理讨论速度和加速度是通过对生活经验和实验结果的直接观察得出的，这是一种基于观察事实进行归纳推理的方法。而大学物理在运动学中着重展示了从定义位置矢量到定义速度和加速度矢量的过程以及从加速度矢量得出速度和位移矢量的过程，这是一种基于数学原理进行演绎推理的方法。

中学物理使用的是初等代数工具，它只能描述物理量之间的静态关系。大学物理利用的是高等数学的工具，它描述的是物理量之间随时间动态变化关系。正是从运动学开始，数学工具的改变不仅大大延伸了力学讨论的范围，而且体现了物理学描述事物“从静到动”的认识论思想和逻辑推理的科学方法。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

在大学物理课程中,时间 t 是作为参数出现在微积分的表示式中的,例如,通过位置矢量对时间变量的微分可以依次得到速度和加速度,反之由加速度通过对时间变量积分可以依次得到速度和位置矢量,由此可以建立一系列运动学公式。一般地讲,运动学得出的位置、速度和加速度表示式都是时间的函数,因此,任何物体的运动变化都是用空间和时间来度量的。既然包含空间和时间,运动学公式作为用数学符号表述的物理概念,实际上已经渗透了时间和空间的思想。

时间和空间并不是很抽象的概念。实际上我们在平时的日常生活中无时无刻不在与“时空”打交道。一个常见的现象是,人们经常举办大型的活动并在名称上冠以“世界”以体现区域之广泛和时间的延伸。如果把“世界”两个字分开来辨析,那么,“世”就是指时间,“界”就是指空间。因此,“世界”就意味着“时空”。由于“时空”是不可分离的,因此,“世界”两个字实际上是不可分开的。例如,“中国 2010 年上海世界博览会”(简称“上海世博会”)就是一次实在的全世界的盛会。从时空的角度上看,在空间上,它是中国为世界各国搭建的交流合作的平台;在时间上,它不仅举办的时间达半年之久,而且在内容上既展示了世界各国“过去”的悠久历史文明和科技发展的成果,又展望了“未来”城市生活的美好前景。此外,人们也常用“世界”来对一个活动作形象的时空比喻。例如,在一个大型科技节的广告词上就可能会出现“走进‘科技世界’”这样的字眼;在一个服装展览会上人们又会把对丰富多彩的服装的款式和图案获得的视觉感受归结为进入了一个“服装世界”。这里的“世界”虽然不是实在的,但是它们确实从时间和空间两个维度上为人们展示了科技和服装的“过去”、“今天”和“明天”以及它们与人类生产生活的广泛联系。

在运动学中,中学物理与大学物理的一个很大的区别是,中学物理只停留在可以直接感觉到的空间坐标系中来描述物体的实际运动,即使画出路程-时间图形和速度-时间图形也仅仅是为了从几何上形象地表示运动和提供解题简捷计算的需要。大学物理是在不能直接感觉到的时空图上描述物体的时空运动,学习大学物理运动学的要求就是使学生从中学单纯读图的学习上升到理解如何对物理概念建立数学描述的方法,进而在物理思想上从学习经典物理的时空观开始逐渐过渡到以后理解近代物理学的时空观。

从大学物理的力学开始,物理量分为“基本量”和“导出量”,“强度量”和“广延量”,等等,这里体现的就是物理学的一种重要的分类思想。可以说,没有分类就没有认识和研究的具体对象,没有分类就没有物理学中的归纳演绎方法;没有各种分类就不能进行类比,也就没有物理学中的形象思维。物理学中这样的分类的思想和方法正是从运动学中定义“基本量”和“导出量”开始的。

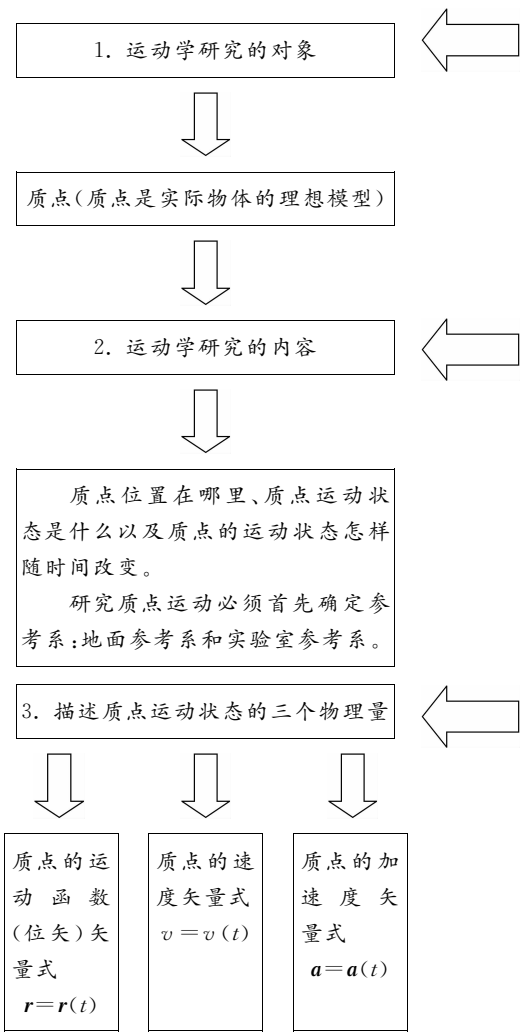
大学物理运动学按照质点运动函数的表示式对运动作了分类。在直线运动中把从位移出发演绎推理的结果主要用于重新导出了匀速运动和匀加速直线运动的相关公式,在曲线运动中主要用于重新导出了抛体运动和圆周运动的公式。由于在运动中位移、速度和加速度之间的公式在中学物理中都已为学生所熟知,初学者往往感到这是不必要的重复,于是以“短平快”的学习方式跳跃过去。实际上,大学物理课程中之所以再重新得出上述公式,其目的正是在于以运动学演绎推理的结果与学生已有知识的相符合来渗透演绎推理方法的基本过程并由此证明演绎推理方法的一般性和正确性。

由此可见,运动学在大学物理中占有重要的地位。大学物理的力学不是中学物理公式的简单重复,而是在物理思想方法上对中学物理的深化和发展。

从大学物理课程体系内容的逻辑关系上看，本章讨论的运动学（物体质点位置在哪里、质点运动状态是什么以及质点的运动状态怎样随时间改变）为下一章讨论动力学（物体运动状态改变的原因以及变化的规律）奠定了基础，而只有建立了质点运动学和动力学的描述，才能进一步讨论质点的动量守恒定律、能量守恒定律等基本规律。

因此，开始学习大学物理时，学习者既要看到它与中学物理的联系，更要看到与中学物理之间的区别。“联系”指的是从中学物理到大学物理在知识内容和体系上的一种“衔接”，学习者注重这样的“衔接”是完全必要的；“区别”指的是从中学物理到大学物理在思想和方法上的一种“提升”，学习者把握这样的“提升”是完全必需的。

二、本章的主要内容体系和学习指导



学习指导：

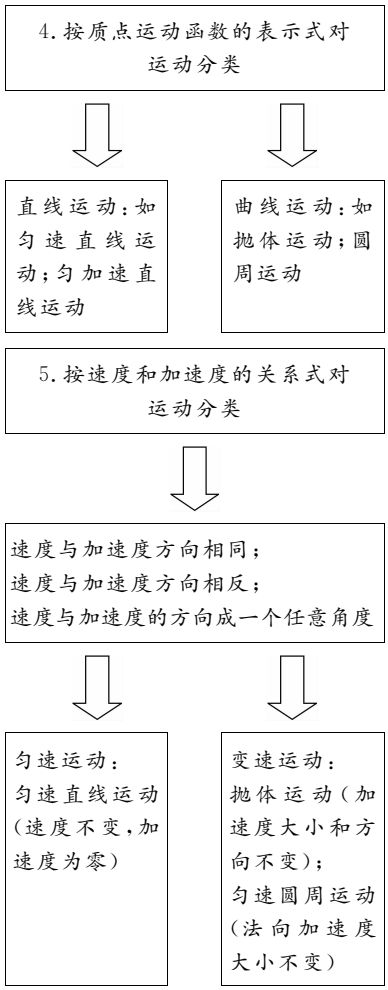
从引入质点这个理想化模型——质点模型开始，到后面引入刚体模型，体现了力学“从点到面再到体”和“从简单到复杂”的认识论思想。

学习指导：

既然运动的描述是相对的，那么在不同参考系中对同一个质点位置和速度的描述就一定会存在相互转化的关系——伽利略变换关系。这就是经典力学中的运动相对性思想。

学习指导：

质点的“位矢”是时间的函数，由“位矢”得到“位移矢量”、“速度矢量”和“加速度矢量”——它们都是时间的函数，于是大学物理一开始就把中学物理中的对“具体的”匀速直线运动和匀加速运动以及圆周运动等建立的具体的路程公式、速度公式和加速度公式上升为“一般的”时间函数的表示式；把匀速运动和匀加速匀速的路程公式、速度公式和加速度公式之间的“具体的”表示式上升为通过位移矢量对时间求微分的“一般的”的数学表示式，从而建立了这三个物理量之间的最一般关系。这个“一般的”关系建立了运动学的系统描述方式。只要知道了位置函数，原则上就可以利用微分对各类运动（不管是匀速运动还是变速运动，不管是匀加速运动还是变加速运动）求出速度和加速度；反之，只要知道了加速度的表示式，也可以利用积分相应得到速度和加速度的表示式。



学习指导:

从讨论匀速运动和匀加速运动中提出了对运动的分类思想——分类的依据可以是运动函数的表示式,也可以是速度和加速度的关系式。

匀速运动只能是直线运动,因为速度只有一个方向;匀加速运动可能是直线运动,也可能是曲线运动,例如,抛体运动;在抛体运动中尽管加速度大小和方向不变(重力加速度),但是,质点的运动速度的方向与加速度(重力加速度)方向的夹角不断地改变。而在匀速圆周运动中,质点的运动速度方向在不断改变,加速度方向也在不断改变,但是速度与加速度方向的夹角始终保持不变(直角)。

三、学习要求

1. 运动学的首要问题是建立对运动的描述方法,因此,本章从物理上建立了对质点运动状态从静态到动态的描述,并把初等数学的代数方法提升为高等数学的微积分方法。

在学习本章时,应注意掌握建立运动方程的方法,注意区分路程和位移、速率和速度的概念。通过学习,应尝试把从位矢通过微分得到速度和加速度以及从加速度通过积分得到速度和位矢的过程以对比的方式列出,以便于逐步克服中学物理仅用代数式求解问题的方法,学会用高等数学的工具分析运动学的有关问题。

2. 运动学的另一个任务是提出运动的分类和运动合成的思想,因此,本章对一维直线运动作了拓展。抛体运动是从一维匀加速直线运动到二维匀加速曲线运动(有恒定的加速度,轨道曲线是抛物线)的拓展;而圆周运动是从直线运动到圆周运动(引入角速度、角加速度描述圆周运动的快慢;引入法向加速度和切向加速度分别描述速度方向改变引起的速度的变化率和速率的变化率)的拓展。

通过学习本章内容，要在物理上建立起曲线运动是两类运动合成的物理思想，在数学上掌握从法向和切向对曲线运动进行分析的方法。

3. 运动学的第三个任务是建立运动相对性的思想，因此，本章最后讨论了运动的相对性原理。相对性原理是从一个参考系讨论物体运动的相对性到从两个参考系描述同一个物体的运动的相对性的拓展。

通过学习本章内容，要学会正确运用伽利略变换解决有关相对运动的问题，建立运动相对性的思想，并在理解相对运动的基础上建立对时空观的初步认识。

四、例题分析

在解答本章习题时，应该首先基于运动的相对性根据题意确定参考系和运动对象，其次学会用矢量方法正确地确定运动对象（质点）的位置，并通过微分求出速度和加速度，这类问题常称为运动学的第一类问题；反之，如果已知加速度的表达式和初始条件，就需要通过积分求出任意时刻的速度和位置矢量。这类问题称为运动学的第二类问题。无论是第一类问题还是第二类问题，在数学上的运算实际上都是数学演绎推理方法的具体应用。

对于运动的相对性问题，首先仍然需要确定描述运动的参考系。由于这里涉及的不止一个参考系，因此，必须分清在哪一个参考系讨论物体的运动。例如，如果题目中给出了人和车相对于地面（以地面为参考系）的运动速度，但需要讨论的是人对车（以车为参考系）的相对运动速度，那么按照伽利略变换关系，人对车的相对运动速度就等于人对地面的运动速度和地面对车的运动速度的矢量叠加。于是可以以车为参考系按照伽利略相对性原理写出速度变换关系；然后按照矢量相加的方法进行计算。

例 1　一质点沿 x 轴正方向运动，其运动方程是 $x=4t-2t^3$（SI 制），试计算：

（1）在最初 2 s 内质点的平均速度，2 s 末的瞬时速度；

（2）从 1 s 末到 3 s 末的位移、平均速度；

（3）从 1 s 末到 3 s 末的平均加速度，此平均速度可以用 $\bar{a}=\dfrac{a_1+a_3}{2}$ 计算吗？

（4）3 s 末的瞬时加速度。

【情景解析】

本题给出了运动方程，要求速度和加速度，因此基本的思路是从运动方程着手通过求微分的方法得出所求的物理量。由于运动方程中只有 x 分量，因此，质点作一维直线运动；又由于在运动方程中 x 是时间 t 的三次函数，求一阶导数得到的速度和求二阶导数得到的加速度都与时间有关，因此，质点的运动不是匀速运动也不是匀加速运动。最后把具体的时间代入以后，速度和加速度会出现负值，由于已经确定了 x 的坐标轴正方向，因此负值表明了速度和加速度的方向沿 x 轴的负方向。

题目中出现了求瞬时速度和平均速度、求瞬时加速度和平均加速度等要求，在数学工具上，求瞬时量用的是微分方法，而求平均量用的是代数方法，前一种结果是后一种结果相应的极限；前一种结果与时段无关，而后一种结果在不同的时段下可能有不同的结果。

因此,微分的方法虽然是抽象的,但是它是逐点精确的,而代数平均的方法虽然是可以在实验上实现的,但是它是分段粗糙的。

【解题步骤】

解计算题时,一般先导出含有物理量的表示式,再代入具体数据。力学中位移、速度和加速度是矢量,在运算中应该注意按照矢量运算法则进行。在本题中由于质点沿 x 轴运动,因此,矢量的表示式就可以用标量代替,其运算法则可以按照代数方法进行。在设定 x 轴的正方向以后,就确定了速度和加速度取值的正负:凡与 x 轴正方向一致的速度和加速度取值为正,凡与 x 轴正方向相反的速度和加速度取值为负。

(1) 本题先由运动方程得到质点的速度是

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=4-6t^2$$

(速度是时间的函数,因此,质点不是作匀速直线运动。在$\left(0,\sqrt{\frac{2}{3}}\,\mathrm{s}\right)$时段内质点的速度大小取值为正,方向沿 x 轴正方向;此后,质点的速度大小取值为负,方向沿 x 轴负方向。)

质点的加速度是

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-12t$$

(加速度也是时间的函数,因此,质点也不是作匀加速直线运动。加速度大小与时间成正比,但加速度数值是负的,由此得出,质点的加速度方向沿 x 轴的负方向,数值随时间而增加。质点作的是变加速直线运动。)

质点的平均速度是

$$\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

代入已知条件的数据,最初 2 s 内的平均速度

$$\bar{v}=\frac{x_2-x_0}{\Delta t}=\frac{8-16-0}{2}=-4\ (\mathrm{m/s})$$

质点在 2 s 末的瞬时速度是

$$v=4-6t^2=4-6\times 2^2=-20\ (\mathrm{m/s})$$

这里“−”号表示质点的速度方向沿 x 轴的负方向。

(2) 质点在 3 s 末和 1 s 末的位移之差是

$$\Delta x=x_3-x_1$$

将 $t=3$ s 和 $t=1$ s 代入运动方程,由此得出

$$\Delta x=-42-2=-44\ (\mathrm{m})$$

质点从 1 s 末到 3 s 末的平均速度是

$$\bar{v}=\frac{x_3-x_1}{\Delta t}=\frac{-44}{2}=-22\ (\mathrm{m/s})$$

(3) 由定义可得质点的平均加速度是

$$\bar{a}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_3-v_1}{2}=\frac{4-6\times 3^2-4+6}{2}=-24\ (\mathrm{m/s^2})$$

注意：在这里平均加速度不能用 $\bar{a}=\frac{a_1+a_3}{2}$ 计算。（为什么？）

（4）质点在 3 s 末的瞬时加速度是

$$a=-12t=-12\times 3=-36\ (\mathrm{m/s^2})$$

从本题的解题步骤可以看出，运动方程给出的是位矢与时间的关系，由运动方程通过微分求出的速度和加速度一般也是与时间有关的。当速度（包括大小和方向）是常数时，质点作匀速直线运动，当加速度（包括大小和方向）是常数时，质点可以作匀加速直线运动，也可能作抛体曲线运动。因此，在中学物理中学习的匀加速直线运动仅是一般运动学问题中的特例。

【错解分析】

（1）无论是运动学的第一类问题还是运动学的第二类问题，利用高等数学求解是更一般和更系统的方法。在本章中有些问题可能用中学物理学过的方法也能求解，但这只是在以上提到的一些特例情况下才可以适用。

例如，在例 1 中求平均加速度时，正确的方法是按照平均值的定义求解，但是利用中学代数中常用的 $\bar{a}=\frac{a_1+a_3}{2}$ 的方法来计算平均加速度也可以得到与上面一样的结果。因此，初学者容易误以为这种中学代数方法是普遍适用的。实际上，这里在计算上之所以相符是因为本题讨论的质点作的是一维匀变加速运动，矢量的运算可以用代数式的加减代替。以上求平均加速度 $\bar{a}=\frac{a_1+a_3}{2}$ 的计算方法仅对一维等比数列求中项时成立，对三维矢量是不成立的。在一般的三维运动情况下，速度和加速度都是矢量，某时刻的速度方向或加速度方向可能不平行，它们的相加或相减必须服从矢量的相加或相减法则。

这里还必须注意的是，用高等数学方法得到的结果与中学代数方法虽然可能在某些特例情况下相同，但是高等数学方法体现的是物理量的瞬时性和矢量性，即可以得到任何时刻的位移、速度和加速度的大小和方向，而中学代数方法得到的只是在一段时间内的物理量大小的平均值。从平均走向瞬时，从标量走向矢量，这是一种对运动认识上的深化和描述运动手段上的精确化，也是大学物理课程与中学物理的一个重要区别。

（2）本题中通过计算得到的加速度是负的，容易被误解为物体作减速运动。判断质点是作加速运动还是减速运动，主要的依据是初速度方向与加速度的方向是否相同。当质点初速度方向与加速度方向相同时，质点作加速运动；当质点初速度方向与加速度方向相反时，质点作减速运动。本题中加速度为负，质点在 $t<0.82$ s 时，由于速度为正，与加速度方向相反，因此，作减速运动；而当 $t>0.82$ s 时，质点的速度始终为负，与加速度方向相同，因此，从这个时刻开始，质点沿 x 轴负方向作加速运动。

【拓展思考】

由例 1 中位矢、速度和加速度的表示式，可以半定量地描述出质点在 x 轴上的运动状况。

从位矢的表示式 $x=4t-2t^3$，可以看出除了 $t=0$ 的时刻 $x=0$ 外，当 $t=1.41$ s 时也有 $x=0$；当 $t<1.41$ s 时，$x>0$；一旦 $t>1.41$ s 时，$x<0$。

需要全本请访问 www.ertongbook.com