

大学物理

DAXUEWULI

- 注重整体归纳
- 强化重点难点
- 突出方法指导
- 促进思维拓展

导学教程

DAOXUEJIAOCHENG

孙向阳 主编 徐广文 主审



科学出版社

www.sciencep.com

大学物理导学教程

孙向阳 主 编
徐广文 主 审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为大学物理课程的学习指导教程,按照1995年国家教委颁布的《大学物理课程教学基本要求》,结合编者近年来积累的教学经验和研究成果编写而成。全书共五篇,二十四章。每章分为教学基本要求、知识网络框图、基本概念与规律、重点与难点提示、解题指导与典型例题、讨论题与检测题六个部分。书末还按篇提供了模拟试题、答案以及讨论题与检测题的参考解答。

本书可供工科院校师生使用,也可作为其他本专科非物理专业及成人自学考试的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理导学教程/孙向阳主编. —北京:科学出版社,2004.1
ISBN 7-03-012719-6

I. 大… II. 孙… III. 物理学-高等学校-教材 N. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第125768号

责任编辑:冯贵层/责任校对:董艳辉

责任印制:高 嵘/封面设计:深白广告

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉大学出版社印刷总厂印刷

科学出版社出版 各地新华书店经销

*

2004年1月第 一 版 开本:890×1240 1/32

2004年1月第一次印刷 印张:15 3/4

印数:1—7000 字数:485 000

定价:23.80元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《大学物理导学教程》编写人员

主 编 孙向阳
副主编 徐滔滔 黄海林
编 者 (按姓氏笔画为序)
孙向阳 李五华 徐滔滔
黄海林 董长缨 黎永光
主 审 徐广文

序

物理学是研究物质结构及运动规律的学科,由于其历史悠久、体系完整、研究方法成熟、应用广泛的特点而成为工科大学生的重要基础课程。它不仅为学生提供必要的物理知识,也对学生的科学世界观、科学思维方法和科学研究能力进行培养。物理学不仅是一门知识基础课,也是一门素质教育课。大学物理开设在大学低年级,它在促使学生明确学习目的、掌握学习方法、培养自主获取知识的能力、较快适应大学的学习特点等方面具有重要的作用。

大学物理也是相当多的大学生感到难学的课程。从学习过程本身来分析,造成学习困难的主要原因可归纳为三个方面:一是物理学习缺乏整体感和系统性,常称之为“只见树木不见林”,不能从整体上把握物理学的知识架构,学到的知识是零碎的,不系统的,难以把握知识之间的相互联系;二是学习过程中目的不明确,对每一章节的重点和难点心中无数,学习效率偏低;三是中学阶段形成的思维定式约束着大学生的思维活动,不能很好地适应已经变化的研究对象和研究方法,运用物理规律解决实际问题的能力不强,造成“上课能听懂,下课完成作业困难”的现象。

编者在长期的教学实践中一直关注着物理教学的实际状况,近五年相继承接了《问题教学法在物理教学中的应用》和《构建面向全体大学生的基础物理教学体系》两项湖北省教学研究课题和《在自然科学教育中进行德育渗透的研究与实践》的湖北省“十五”教育规划研究课题,对如何有效地指导学生学学习、解决实践中的困难进行了系统研究。《大学物理导学教程》的编著出版是其研究成果之一。

本书从物理学习的实际出发,在栏目设置和内容选择上,目的明确,针对性强,较好体现了注重整体归纳、强化重点难点、突出方法指导、促进思维拓展的编写思想。

“教学基本要求”和“重点与难点提示”两个栏目来源于教学实践,既考虑物理学本身的知识要求,也考虑到与后续课程的衔接,突出了归纳提炼,以帮助学生明确重点、突破难点为目的。

“知识网络框图”和“基本概念与规律”两个栏目体现了物理知识的整体性思维。“知识网络框图”突出知识之间的逻辑联系,展现知识框架,可以帮助学生从整体上把握知识体系。“基本概念与规律”没有将知识简单罗列,而是在总结归纳的基础上以研究对象和研究方法为主线,将物理知识系统化、条理化,能够促使学生掌握知识线索,明确逻辑关系,同时也为课后学习提供相对完整的知识集成。

“解题指导与典型例题”是本书的重点内容。该栏目以方法指导为主线,以思维训练为重点,引导学生掌握正确的思维方法,适应大学物理学在研究对象和研究方法上的拓展,提高运用物理规律解决实际问题的能力。解题指导通过归纳习题类型,总结解题方法步骤,帮助学生建立解题思路。例题选择注重示范性,有目的地选择有一定物理背景的、来源于实际生活的典型题目,以实现物理学的实用价值。解题过程注重规范性,突现分析方法的指导,帮助学生提高物理规律的应用能力,着力解决“不会解题”的问题。

“讨论题与检测题”给学生提供基础训练的空间。讨论题以概念性问题为主,突出定性与半定量方法的训练。检测题则以定量研究为主,检验学习成果。

本书从教学实践出发,以指导学生学习为目的,以强化物理思维训练、加强实际能力的培养为主线,做出了艰苦的探索,展现了编者多年来教学研究和教学改革成果,具有针对性强、特色鲜明、实用性强的特点。希望本书的出版有助于大学物理课程教学研究和教学改革的进一步深入,有助于教学质量的提高。

徐广文

2003年12月

前 言

大学物理课程是高等工业院校一门重要的基础理论课程。它以物理学基础知识为主要内容,包括经典物理、近代物理和物理学在现代工程技术中的应用。在所有的基础课中,大学生普遍感觉物理难学。形成困难的原因是多方面的,就课程内容本身来看,物理学内容广泛,涵盖力、热、光、电和原子物理等领域;时空跨度大,从经典物理讲到近代物理,从宏观物质讲到微观物质和宇观物质;数学工具跨度大,从中学主要使用代数运算过渡到矢量微积分运算;学时安排紧张,习题训练课被淡化。另一方面,物理课程开设在大学低年级,学生刚刚进入大学,在学习方法上一时难以适应大学学习的要求,对信息量大、学时少、辅导密度小的教学方式不能较快地适应,造成学生学习兴趣下降,畏难情绪上涨,形成恶性循环。所以,在物理教学的同时,进行学习方法的指导显得尤为重要。

1997年以来,我们承担了两项省级教学研究课题和一项教育研究“十五”规划课题,对物理教学内容和教学方法的改革进行了系统的研究。就如何做好大学物理的教学工作,提高学生学习效率,形成了四点认识:

1. 注意把握物理学体系的基本框架

物理学是由物理概念、物理量和物理规律以及物理应用等内容组成的逻辑体系,在学习物理课程过程中,应从整体框架上去把握物理学的内容,把物理学的研究对象、基本概念、物理量、物理规律和基本应用有机地结合在一起,使物理学变成一个逻辑上相互联系的“有血有肉”的知识体系。大学学习的信息量大,学生不可能理解每一课时的所有内容,但是对物理学的基本框架要有清晰的认识,通过课后有的放矢地复习,学习效率就会逐步提高。

2. 以研究的思维,带着“问题”进入物理学习环境

物理学的每一个章节都有特定的研究对象、研究方法和研究成果。学生如果能从一个科学研究工作者的视角,带着“问题”进入到物理学习之中,其学习目的就更为明确,思路更清晰,听课效果会更好。从研究问题的角度,物理学的每一章节都包含“研究什么(研究对象)”、“怎样研究(研

究方法)”和“研究结果(物理规律)”以及“研究意义(物理应用)”等四个方面。课前带着上述“问题”进课堂,课后根据上述“问题”去归纳、复习,去做读书笔记,长期坚持,独立获取知识和解决问题的能力就会提高。

3. 注意物理学思维方法的转变

在大学物理学习的过程中,不少同学觉得上课基本能听懂,完成物理作业比较困难。出现这种情况的原因也是多方面的,除了物理知识的理解不够完整,解题训练不够系统外,中学阶段形成的思维定式制约着大学生的思考是其中的主要原因。中学阶段研究的物理问题可以归纳为“常量问题”、“一维运动”、“代数运算”,而大学物理阶段涉及的物理问题已经拓展为“变量问题”、“多维运动”和“矢量微积分运算”。这种思维的跨度大,必须培养学生有意识地突破思维定势的约束,加快思维方法的转变,从更广泛、更普遍的角度去思考更复杂的物理学问题。

4. 注意物理规律实际应用能力的提高

由于学时紧张,物理课程的习题课得不到充分重视,物理规律实际应用的训练不够也是造成学生完成作业困难的原因。解题方法的训练要注意两个方面的问题:一是注重解题方法的归纳总结,每一章都有一些主要的习题类型、基本的解题方法,进行必要的归纳可以做到心中有数,有的放矢;二是要注意培养严谨规范的解题习惯,尤其要注意解题过程的完整,从选择研究对象、建立坐标系、进行字母运算、代入数据求出结果等环节,在逻辑上保持连贯有序。

基于以上考虑,我们认为除了在教学过程中改革教学方法外,给学生提供一本针对性强、能够指导学生突破物理学习的瓶颈、提高学习效果的读物十分重要。《大学物理导学教程》就是这一思想的体现。它集成了近年来教学研究的成果,在栏目设置和内容选择上,注重整体归纳和方法指导,强化重点,突破重点,以达到强化思维训练、提高实际应用能力的目的。

全书分为五篇,共计二十四章,每章的内容分为教学基本要求、知识网络框图、基本概念与规律、重点与难点提示、解题指导与典型例题、讨论题与检测题六个部分。书末提供了模拟试题和讨论题与检测题的参考解答。

本书由孙向阳任主编,徐滔滔和黄海林任副主编。第一章至第四章、第六章至第八章、第十七章至第二十一章由孙向阳编写,第九章至第十三

章由徐滔滔编写,第二十二章和第二十三章由黄海林编写,第十四章至第十六章由董长缨编写,第五章和第二十四章由黎永光编写,模拟试卷由李玉华组编,周俊梅、陈艳山、严俊、郭平、曾满平等绘制了部分插图,全书由孙向阳负责统稿。

徐广文教授一直关心着本书的出版,在百忙之中审阅了书稿,提出了许多指导性意见,并为本书作序。物理教研室的同行对本书的出版给予了极大的支持。

在本书出版之际,对支持和参与本书出版的各位老师和校内外同行表示感谢。

本书难免有不足和疏漏之处,欢迎指正。

编者

2003年12月

目 录

第一篇 力 学

| | | |
|-----|---------------|------|
| 第一章 | 质点运动学 | (1) |
| 第二章 | 动量守恒与牛顿运动定律 | (18) |
| 第三章 | 机械能与机械能守恒 | (36) |
| 第四章 | 角动量守恒与刚体的定轴转动 | (53) |
| 第五章 | 相对论基础 | (73) |

第二篇 电磁学

| | | |
|------|-------------|-------|
| 第六章 | 真空中的静电场 | (88) |
| 第七章 | 导体和电介质中的静电场 | (112) |
| 第八章 | 稳恒电场 | (130) |
| 第九章 | 真空中的稳恒磁场 | (138) |
| 第十章 | 磁场对电流的作用 | (157) |
| 第十一章 | 磁介质中的磁场 | (174) |
| 第十二章 | 电磁感应 | (188) |
| 第十三章 | 电磁场的基本方程 | (207) |

第三篇 热 学

| | | |
|------|--------------|-------|
| 第十四章 | 气体分子热运动的统计规律 | (217) |
| 第十五章 | 热力学第一定律 | (232) |
| 第十六章 | 热力学第二定律 | (250) |

第四篇 波动与光学

| | | |
|------|-------|-------|
| 第十七章 | 振动学基础 | (262) |
| 第十八章 | 波动学基础 | (283) |
| 第十九章 | 光的干涉 | (302) |

| | |
|-----------------|-------|
| 第二十章 光的衍射····· | (321) |
| 第二十一章 光的偏振····· | (340) |

第五篇 量子力学基础

| | |
|----------------------|-------|
| 第二十二章 量子力学的实验基础····· | (354) |
| 第二十三章 量子力学初步····· | (367) |
| 第二十四章 原子结构的量子理论····· | (380) |

| | |
|---------------|-------|
| 大学物理模拟试题····· | (385) |
|---------------|-------|

| | |
|----------------------|-------|
| 1. 力学模拟试卷(A)····· | (385) |
| 2. 力学模拟试卷(B)····· | (388) |
| 3. 相对论基础模拟试卷····· | (392) |
| 4. 电磁学模拟试卷(A)····· | (395) |
| 5. 电磁学模拟试卷(B)····· | (400) |
| 6. 热学模拟试卷(A)····· | (406) |
| 7. 热学模拟试卷(B)····· | (409) |
| 8. 波动与光学模拟试卷(A)····· | (413) |
| 9. 波动与光学模拟试卷(B)····· | (417) |
| 10. 量子力学基础模拟试卷····· | (422) |
| 模拟试题答案····· | (425) |

| | |
|------------------|-------|
| 讨论题与检测题参考解答····· | (430) |
|------------------|-------|

第一篇 力 学

第一章 质点运动学

力学是研究机械运动规律及其应用的科学,是工程设计的基础。所谓机械运动,就是指物体之间或物体内部各部分之间的相对位置随时间发生变化。质点是大学物理中建立的第一个理想模型。质点运动学研究如何描述质点的运动,而不讨论引起运动(变化)的原因。为了完整地描述机械运动,必须选定参考系,建立坐标系。物理学是一门定量的科学,需要运用大量的数学知识。大学物理学中的主要数学工具是矢量和微积分的相关知识。本章从一般运动出发引入描写运动和运动变化的物理量,并建立质点运动方程。通过本章的学习,应该掌握质点运动描述的思维方法,初步具备应用高等数学知识求解物理问题的能力。

1.1 教学基本要求

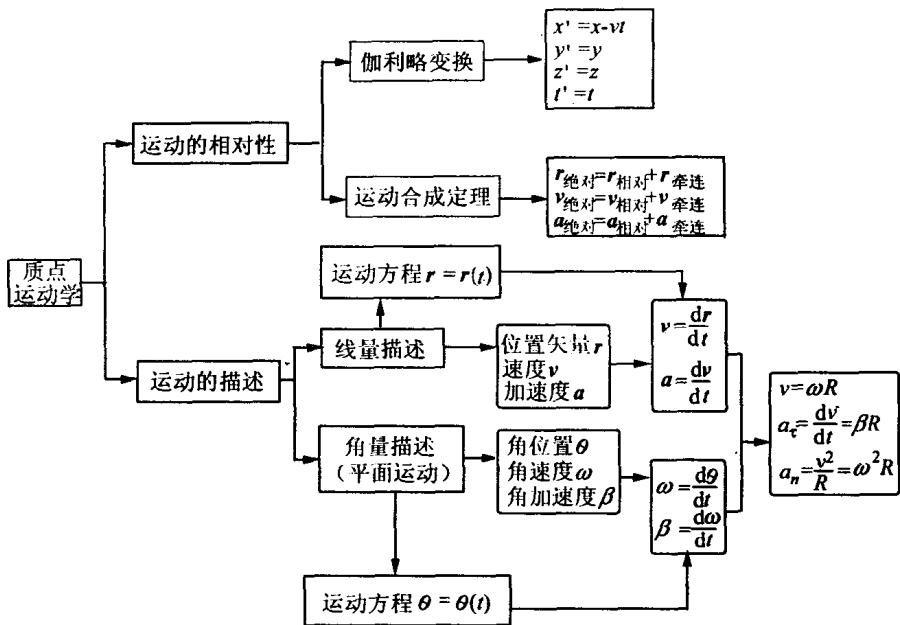
1. 掌握位置矢量、速度和加速度等描述质点运动的物理量。掌握质点作圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度的计算方法。理解运动的矢量性、瞬时性和相对性。
2. 理解运动方程的物理意义。掌握运用矢量代数和微积分知识求解运动方程,确定质点位置、速度和加速度的方法。
3. 理解运动相对性原理和伽利略变换,并会用来求解简单的质点相对运动问题。

1.2 知识网络框图(见下页)

1.3 基本概念与规律

1. 质点

在物理学中,根据所研究问题的性质,把形状和大小可以忽略的、具有质量的物体定义为质点。



质点是一个理想模型,是实际物体的科学抽象。一个物体能否视为质点,由所研究的问题性质决定。建立理想模型是物理学的一个基本研究方法,其基本思想就是突出主要矛盾。在以后的学习中,还将涉及刚体、理想气体、点电荷、黑体等理想模型。

2. 参考系、坐标系

由于物体运动的相对性,描述一个物体的机械运动时,被选作参考依据的物体或物体系,称为参考系。在参考系上建立一个描述物体运动的定量标准称为坐标系。

参考系的选择是任意的,一般以描述运动方便为原则。常见的坐标系有直角坐标系、极坐标系和自然坐标系。

3. 描述质点运动和运动变化的物理量

(1) 位置矢量、位移与运动方程。从坐标系的原点 O 指向质点所在位置 P 的有向线段 \overrightarrow{OP} 称为位置矢量(如图 1-1 所示),用 r 表示,简称位矢。位矢 r 是时间的函数,写成

$$r=r(t)$$

称 $r=r(t)$ 为质点的运动方程。

在直角坐标系中

$$r = xi + yj + zk$$

其运动方程的分量形式为

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

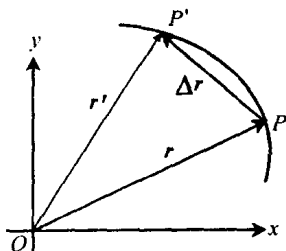


图 1-1

位移是描述质点位置变化大小和方向的物理量,它是从质点初始时刻位置指向终点时刻位置的有向线段,如图 1-1 所示,用 Δr 表示,即

$$\Delta r = r' - r = \overline{PP'}$$

(2) 速度与速率。速度是描述质点位置变化快慢和变化方向的物理量,定义为位矢对时间的一阶导数,用 v 表示,即

$$v = \frac{dr}{dt}$$

在直角坐标系中, $v = v_x i + v_y j + v_z k$, v_x 、 v_y 和 v_z 称为速度 v 在 x 、 y 和 z 方向上的分量,且

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

速度矢量 v 的大小称为速率,用 v 表示,即

$$v = \left| \frac{dr}{dt} \right|$$

(3) 加速度。加速度是描述质点速度变化快慢和方向的物理量,用 a 表示。加速度是速度对时间的一阶导数,位矢对时间的二阶导数,即

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2}$$

在直角坐标系中, $a = a_x i + a_y j + a_z k$, 其中

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}$$

$$a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2}$$

(4) 自然坐标系中速度和加速度的表示。在质点运动轨迹已知的情

况下,顺着已知轨迹,以弧长 s 为坐标,以曲线的切向(沿速度方向)和法向(指向曲线凹侧)为坐标轴建立的坐标系,称为自然坐标系,如图 1-2 所示。

在平面自然坐标系中

$$v = v\tau$$

$$a = a_t\tau + a_n n$$

$$v = \frac{ds}{dt}$$

$$a_t = \frac{dv}{dt}$$

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

式中, τ 和 n 分别表示切向单位矢量和法向单位矢量; ρ 是该处轨道的曲率半径。

$a_t\tau$ 称为切向加速度, $a_n n$ 称为法向加速度。切向加速度反映速度大小的变化,法向加速度反映速度方向的变化。

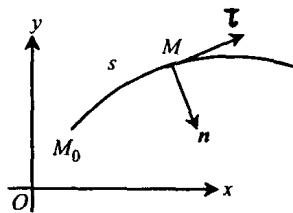


图 1-2

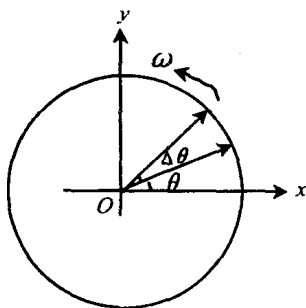


图 1-3

4. 描述质点运动的角量

为了描述作圆周运动的质点或转动物体的运动情况,除可用上述物理量予以表示外,常用角物理量描述。

(1) 角坐标与角位移。用角度来描述质点位置的物理量 θ 称为角坐标,它是质点到参考轴起点的连线与参考轴的夹角,如图 1-3 所示。

θ 随时间变化,即

$$\theta = \theta(t)$$

上式称为角坐标运动方程。

角坐标在时间 Δt 内的变化 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ 称为角位移。当角位移无限小时, 具有矢量性, 用 $d\theta$ 表示, 其方向由右手螺旋法则确定。平面运动时, 可用代数量表示。

(2) 角速度。描述角坐标变化的快慢和方向的物理量, 它是角坐标对时间的一阶导数, 即

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

对平面运动, 用代数量表示, 写成

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

(3) 角加速度。描述角速度变化的快慢和方向的物理量, 它是角速度对时间的一阶导数, 角坐标对时间的二阶导数, 即

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

对平面运动, 用代数量表示, 写成

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

(4) 圆周运动角量与线量的关系

$$ds = r d\theta, \quad v = r\omega, \quad a_r = r\beta, \quad a_n = r\omega^2$$

5. 相对运动

(1) 运动的相对性。运动是个相对的概念, 同一质点的运动, 相对不同参照系, 其运动描述的结果也不相同。不同的表述结果相互关联, 这一特征称为运动的相对性。

(2) 运动合成定理。选择两个参考系 S 和 S' , S' 相对 S 以速度 v 运动, 在两个参考系中描述同一物体 P 的运动, 如图 1-4 所示, 其运动矢量合成关系为

$$\mathbf{r}_{P-S} = \mathbf{r}_{P-S'} + \mathbf{r}_{S'-S}$$

$$\mathbf{v}_{P-S} = \mathbf{v}_{P-S'} + \mathbf{v}_{S'-S}$$

$$\mathbf{a}_{P-S} = \mathbf{a}_{P-S'} + \mathbf{a}_{S'-S}$$

式中, \mathbf{r}_{P-S} 、 \mathbf{v}_{P-S} 和 \mathbf{a}_{P-S} 为物体 P 相对 S 的位矢、速度和加速度, 一般称为绝对物理量; $\mathbf{r}_{P-S'}$ 、 $\mathbf{v}_{P-S'}$ 和 $\mathbf{a}_{P-S'}$ 为物体相对 S' 的位矢、速度和加速度, 一般称为相对物理量; $\mathbf{r}_{S'-S}$ 、 $\mathbf{v}_{S'-S}$ 和 $\mathbf{a}_{S'-S}$ 为 S' 相对 S 的位矢、速度和加速度, 即牵连物

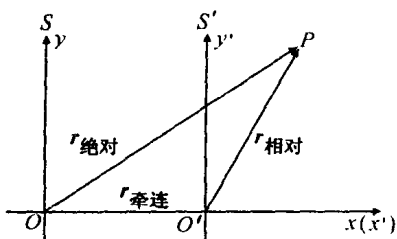


图 1-4

理量。

(3) 伽利略变换。描述两个相对沿 x 轴作匀速直线运动(速率为 v)的参考系 S 和 S' 之间的坐标,速度与加速度的关系变换称为伽利略变换。

在图1-4所示,设 S' 相对 S 系以速度 v 沿 x 轴运动,且 $t=t'=0$ 时, Ox 与

$O'x'$ 重合。由于经典力学认为时间与坐标系无关,故有

$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases} \quad (\text{坐标变换式})$$

$$\begin{cases} v'_x = v_x - v \\ v'_y = v_y \\ v'_z = v_z \end{cases} \quad (\text{速度变换式})$$

$$\begin{cases} a'_x = a_x \\ a'_y = a_y \\ a'_z = a_z \end{cases} \quad (\text{加速度变换式})$$

伽利略变换适用于低速运动的物体,在高速空间应代之以洛伦兹变换。

1.4 重点与难点提示

本章是大学物理学的第一章,对培养学生学习物理的兴趣,掌握物理学习的方法十分重要。本章的重点内容为:

- (1) 描述质点运动的物理量 r 、 v 和 a 的物理意义及其相互关系;
- (2) 建立一维运动以及简单的二维运动质点的运动方程;
- (3) 通过本章的学习,对微积分和矢量知识在物理学中的应用有一个初步认识。

本章的难点主要体现在三个方面。

第一,从质点运动描述的思维方法的建立,形成物理学研究的思想方法。从对质点运动状态进行描述的角度明确质点模型的建立、参考系和坐