



普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理学

(上册)

王玉国 康山林 赵宝群 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理学

(上册)

王玉国 康山林 赵宝群 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是根据教育部《高等教育教学内容和课程体系改革计划》和高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求(2010版)》的基本精神,并结合国内外非物理类尤其是工科物理教材改革动态和编者多年的教学实践经验编写而成的. 全书分为上、下两册,上册包括力学基础、振动与波动、热学等内容;下册包括电磁学、波动光学、近代物理等内容. 本书内容注意联系生活实际,突出工程特色,注重介绍物理学的思想方法、物理学在工程技术中的应用等内容,尽力反映物理学前沿和相关新技术的发展情况,努力使教材内容系统化和现代化.

本书可作为高等工科院校各专业的大学物理教材,也可作为一般读者了解基础物理理论与物理学工程技术的参考书. 为方便教学,本书配有内容生动的多媒体教学课件和电子版的习题详细解答.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学:全2册/王玉国,康山林,赵宝群主编. —北京:科学出版社, 2013. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-036609-2

I. ①大… II. ①王…②康…③赵… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第019090号

责任编辑: 昌盛 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 阎磊 / 封面设计: 迷底书装

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年1月第一版 开本: 787×1092 1/16

2013年1月第一次印刷 印张: 34 1/4

字数: 871 000

定价: 59.00元(上下册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

为适应当前物理课程教学改革的要求,根据教育部《高等教育教学内容和课程体系改革计划》和《理工科类大学物理课程教学基本要求(2010 版)》的基本精神,我们在总结大学物理课程教学研究和改革实践的基础上,借鉴了部分国内外新的教学改革成果,编写了《大学物理学》一书.本书以大学物理课程基本要求为依据,本着贴近生活、结合技术、加强近代、突出应用、注重能力的培养的原则,努力彰显“精、新、实、宜、活”的特色.

1. “精”:在内容设置上,我们精心选择教材内容,突出主干,删除枝节;在内容处理上,我们尽量简化数学推导,突出物理学思想方法,注意内容的前后联系,力求使教学内容形成完整体系.

2. “新”:根据大学物理课程基本要求,加强了近代物理内容,并且将一些物理学前沿内容以阅读材料的形式体现出来,力求使教学内容现代化.

3. “实”:尽量使教材内容贴近生活,突出应用,结合技术;注意结合日常实际现象引入问题,应用物理学理论解释实际现象;注重介绍物理学在工程技术中的应用性内容.

4. “宜”:充分考虑不同层次院校特别是一般院校的学生具体情况,力求教材内容精炼,对主要物理概念和物理规律的阐述尽量做到简洁准确、通俗易懂,便于学生阅读和理解.考虑到不同层次院校的不同学时要求,将教学内容分为基本内容、选讲内容和阅读材料三个层次,教师可以根据具体情况选择教学内容.

(1)基本内容:以教学基本要求的 A 类内容为基础,作为必须讲授的教学内容;这部分内容的教学大约需要 100~120 学时.

(2)选讲内容:以教学基本要求的 B 类内容为基础,相应于打 * 号的章节,以小号字体排印,如果学时紧张,可以不讲或安排自学.

(3)阅读材料:将教学基本要求的部分 B 类内容和一些物理学前沿内容以及物理学理论在工程技术中的应用性内容以阅读材料的形式进行介绍,用楷体排印,用于教师组织学生课下讨论或学生自学.

5. “活”:教材内容尽量结合实际事例、结合技术,增强趣味性和可读性;阅读材料尽量反映当代物理学发展概况,适应当前科学技术和经济生产的发展趋势.制作了与教材配套的多媒体教学课件,内容丰富生动,动态效果较好,便于教学.

全书共有 6 篇,20 章,分为上、下两册.上册包括力学基础、振动与波动、热学等内容;下册包括电磁学、波动光学、近代物理等内容.

本书采用国际单位制,物理量的名称及其表示符号采用国家现行标准.

本书由王玉国、康山林、赵宝群担任主编,负责对全书内容进行设计、修改和审核.参加编写工作的有:康山林(绪论、第 9 章)、赵宝群(第 1、2 章)、赵蔚(第 3、4 章)、范锋(第 5 章)、徐静(第 6、7 章)、赵剑锋(第 8 章)、熊红彦(第 10、11 章)、秦爱丽(第 12 章)、张春元

(第 13、14 章)、张慧亮(第 15 章)、张寰臻(第 16、17 章)、张红(第 18 章)、王玉国(第 19 章)、王意(第 20 章).

由于时间仓促,编者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,衷心希望广大读者提出宝贵意见.

编 者

2012 年 9 月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 力学基础

第 1 章 运动的描述	7
1.1 运动的描述方法	7
1.2 运动的描述	9
1.3 曲线运动 圆周运动	19
1.4 运动学中的两类问题	28
1.5 相对运动	30
阅读材料 1 混沌	33
习题 1	38
第 2 章 牛顿运动定律	40
2.1 牛顿运动定律	40
2.2 力学中常见的几种力 受力分析	45
2.3 牛顿定律的应用举例	54
* 2.4 非惯性系 惯性力	59
阅读材料 2 物质之间的基本相互作用	62
习题 2	63
第 3 章 功和能	65
3.1 功和功率	65
3.2 动能定理	70
3.3 功能原理和机械能守恒定律	73
阅读材料 3 能源的开发与利用	78
习题 3	81
第 4 章 动量和角动量	84
4.1 动量定理	84
* 4.2 质心运动定理	91
4.3 角动量守恒定律	93
阅读材料 4 时空对称性与守恒定律	97
习题 4	102
第 5 章 刚体的定轴转动	103

5.1 刚体运动的描述	103
5.2 刚体定轴转动的转动定律	107
5.3 刚体的转动惯量	110
5.4 刚体定轴转动的功能原理	114
5.5 刚体定轴转动的角动量定理	117
* 5.6 刚体的平面运动	120
* 5.7 刚体的进动	123
阅读材料 5 理想流体的性质	124
习题 5	129

第二篇 振动与波动

第 6 章 机械振动	135
6.1 机械振动的形成	135
6.2 简谐振动	135
6.3 简谐振动的能量	141
6.4 简谐振动的合成	142
* 6.5 阻尼振动与受迫振动	146
阅读材料 6 一、非线性振动	148
二、消振器和隔振器	149
习题 6	150
第 7 章 机械波	152
7.1 波动的描述	152
7.2 简谐波的波动方程	155
7.3 简谐波的能量	158
7.4 惠更斯原理	159
7.5 波的干涉	161
* 7.6 多普勒效应	167
* 7.7 声波、超声波与次声波的应用	169
阅读材料 7 非线性波和孤波	170
习题 7	171

第三篇 热 学

第 8 章 气体动理论	175
8.1 气体系统状态的描述	175
8.2 压强和温度的统计意义	180
8.3 气体分子的速率分布律	183

* 8.4 气体分子的速度分布律和玻尔兹曼分布律	187
8.5 能量均分定理	189
8.6 平均碰撞频率和平均自由程	193
* 8.7 气体的输运过程	194
* 8.8 实际气体的范德瓦耳斯方程	197
阅读材料 8 一、真空的获得、测量和应用	199
二、低温物理技术及其应用	201
习题 8	202
第 9 章 热力学基础	204
9.1 热力学第一定律	204
9.2 热力学第一定律对理想气体的应用	208
9.3 循环过程 热机	213
9.4 热力学第二定律	219
9.5 熵增加原理	224
* 9.6 热力学第二定律的统计意义	229
阅读材料 9 一、熵与信息	231
二、自组织过程与耗散结构	233
习题 9	237
附录 I 国际单位制(SI)	240
附录 II 常用的基本物理常量表	242
附录 III 常用物理量的名称、符号和单位一览表	243
习题答案	246

绪 论

1. 物理学的研究对象和内容体系

物理学是探索“万物之理”的科学,它研究的是一切物质的结构、性质、基本运动规律和相互作用规律。在 17 世纪之前,物理学被认为与自然科学或自然哲学是等同的,英文“物理学”“physics”一词源于希腊文“ $\phi\upsilon\sigma\iota\varsigma$ ”,其含义就是“自然”。这表明物理学在早期是广泛研究自然界一切事物的性质、演化、发展,以及所伴随的各种现象的一门学科,现在看来工程上的许多学科,如地质学、建筑学、冶金学等,原来都属于物理学的范畴。后来随着知识的不断发展,这些内容逐渐从物理学中独立出来,发展成为专门的学科。现代意义上的物理学,是研究物质的基本性质和基本运动规律的学科。

物理学所研究的物质有两种不同的形式,一种是实物,另一种是场。实物包括微观粒子和宏观物体,它的范围从所谓的基本粒子世界到天体组成的星系和整个宇宙。场包括电磁场、引力场和量子场等。物质的运动和物质之间的相互作用是物质的普遍属性。物质的物理运动具有粒子和波动两种图像。宏观物体的运动,从其内部分子的无规则热运动到天体的运动都呈现粒子图像;而场的运动则呈现波动图像。在微观领域,无论是实物粒子还是场都呈现出波粒二象性。物质之间有四种基本相互作用,即引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。现代物理学研究表明,实物之间的相互作用是由场来传递的,实物激发场,场再作用于另一个物体。

物质的运动形式是多种多样的,最普遍最基本的运动是机械运动,研究物体机械运动规律的物理学分支是力学;物体最复杂最无序的运动是其内部大量分子的无规则热运动,研究热运动规律的物理学分支是热学。从本质上讲,牛顿所建立的力学定律是力学和热力学的理论基础。研究电磁场性质和规律的物理学分支是电磁学,研究光波(电磁波)传播规律的物理学分支是波动光学,电磁学和光学的理论基础是麦克斯韦电磁场方程。以上所述的力学、热学、电磁学和光学又称为经典物理学,牛顿的力学定律和麦克斯韦电磁场方程是经典物理学的两大基石。在 20 世纪发展起来的相对论和量子物理学称为近代物理学,相对论研究物体高速运动规律和时空的一般性质,量子物理学研究微观粒子的运动规律。在大学物理学的内容体系中就包括了经典物理学和近代物理学两部分内容。

大学物理课程的内容体系大体按以下顺序编排:

- (1) 力学——研究物体的机械运动规律;
- (2) 振动和波动——研究宏观领域波动规律;
- (3) 热学——研究大量分子热运动(随机运动)的统计规律和宏观性质;
- (4) 电磁学——研究电磁场的基本性质和基本规律;
- (5) 波动光学——研究光波传播中的干涉、衍射和偏振规律;
- (6) 近代物理学——研究物体高速运动的规律、时间和空间的相对性、微观粒子的波

粒二象性和量子运动规律.

2. 物理学与科学技术

物理学是一切自然科学与工程技术的基础,这是因为物理学的规律和方法具有普适性. 物理学的研究对象包括了从微观到宏观,从低速到高速,从简单系统到复杂系统,从有序到无序,从状态到过程的广博范围,与其他只研究某个特定领域的学科相比,物理学的研究方法、思想方法和主要结论都具有普遍性;而且物理学从根本上说是一门实验学科,基本物理规律和结论都是经过大量实验检验和验证的,任何其他学科的理论都不能与物理学规律相抵触. 其他自然科学,如化学、地质学、冶金学、生物等,都必然包含着物理过程和物理现象. 在自然界中,物质的运动从低级到高级可以分为五个层次:机械运动、物理运动、化学运动、生命运动和社会运动. 而高级运动都包含着低级运动. 例如,化学运动中包含分子原子的机械运动,还有发热、发光等物理运动;生命运动中包含着血液流动、心脏跳动等机械运动,还有食物消化、营养吸收等化学运动;社会运动更为复杂,但也包含着各种低级运动,因此就必然要应用物理学理论研究问题. 物理学中的许多概念、语言和规律已经成为其他学科基本知识构件;在物理学长期发展过程中逐步完善的一整套研究方法和思想方法,也已经成为其他学科的核心和基础. 因此说物理学是一切自然科学乃至社会科学的理论基础.

物理学的发展广泛而又直接推动着技术的革命性发展和社会的文明进步,这已经被历史充分证明. 18 世纪 60 年代开始的以蒸汽机应用为标志的第一次工业革命,是力学和热力学发展的结果. 19 世纪 70 年代开始的以电力应用和无线电通信为标志的第二次工业革命,是电磁学发展的结果. 20 世纪 40 年代开始并且一直延续至今的以计算机应用为标志的第三次工业革命,是近代物理学发展的结果. 事实证明,几乎所有重大的新的技术领域(如电子技术、原子能、激光、新材料、信息技术等)的出现,都是在物理学中经过长期酝酿,在理论和实验两方面积累了大量知识以后,才得以发展建立起来的. 所以说现代工程技术的突破性进展离不开物理学,物理学的每一个重要发现,都会给工程技术带来巨大变革,每一次工业革命无一不是以物理学的突破性进展为先导的. 物理学的不断发展已经成为科技生产力发展的不竭的源泉.

在 21 世纪,全世界正面临着以信息、能源、材料、生物工程和空间技术等为核心的一场新技术革命. 在这些高科技领域中必将层出不穷地涌现出人们今天尚不知道的一系列新技术和新产品,物理学以其最广泛最普遍的内容成为各个新兴领域的先导. 近代物理学在量子场论和粒子物理等方面的突破和成熟,可能孕育和萌发科学技术的新芽. 建立在物理学基础之上的高新科技必将出现前所未有的辉煌,使人类文明进入更高级的阶段.

物理学规律和理论的普遍性不仅表现在自然科学方面,也深入到社会、经济、管理等各个领域的研究之中. 例如,在信息论、系统论和控制论中广泛使用熵的概念和熵的理论来研究生产和消费过程,在熵的概念和理论基础上发展起来的耗散结构、非平衡理论、协同学等已经成为系统科学的重要部分,并在解决有关社会问题中扮演着越来越重要的角色. 随着社会科学和物理学理论不断发展,必将会有更多的物理学理论应用到社会科

学的研究领域,逐渐成为解决社会问题的重要工具.由此也可以说,物理学的发展也是社会文明进步的基础.

3. 物理学与素质教育

现代科学技术的飞速发展导致知识急剧膨胀,知识更新速度空前加快.院校教育时间的有限性和知识增长的无限性的矛盾,决定了任何人都不能一劳永逸地仅凭在学校几年的学习而受用终生,都需要不断充实和更新.另外,为适应科学技术的快速发展,社会对人才的需求已越来越由“专才”向“通才”转变.为适应这种发展趋势,高等教育也越来越重视“厚基础、宽口径”的通才教育.所谓通才,并非样样都通,在知识大爆炸的时代,任何人都没有这样的本事,而是要求人们具备不断获取新知识的能力.素质教育就是着重培养学生的这种能力.高等院校肩负着为社会培养人才的重任,大学物理是一门极其重要的基础课,在素质教育中有着特殊的地位和作用.

决定人的素质的因素有很多,但是最主要的是知识和能力.要提高一个人的科学素质,就必须丰富知识,提高能力.在物理学的发展过程中,不仅发现和创立了物理学的概念、规律和理论,这些严密的理论构成了其他自然学科的基础;更重要的是总结和发展的许多极其精彩的研究方法,如观察与实验、假说、类比、归纳和演绎、分析与综合、证明与反驳等,这些研究方法不仅在物理学研究中使用,实际上已经构成科学研究方法的主体,对其他学科的研究起着指导作用.物理学是一门实验科学,也是与工程技术和实际生活联系最为密切最为广泛的一门学科,学习物理学的方法、技术和技能,对提高学生的能力也是至关重要的.大学生在大学物理学课程中,通过学习物理学的概念、规律、研究方法和思想方法,能够不断丰富知识;通过物理实验和应用物理学的理论和方法解决实际问题的训练,可以逐步提高自己分析问题和解决问题的能力;学生的知识得到了丰富,能力得到了提高,他们的科学素质也就必然提高了.可见通过大学物理课程的学习,能够有效地培养学生的科学素质,学好物理课程将十分有利于对他们的素质教育.

在物理学发展的历史长河中,一代又一代物理学家站在前辈巨人的肩膀上,向着物理学一个个高峰不断攀登.物理学家的真知灼见、创新意识和不畏艰难的探索精神是值得我们永远学习的,这也是对学生进行素质教育极好的题材.

如何学习物理学?每个人都应该有自己的经验和体会,找不到一个共同的答案,每位同学都应该在学习中,建立一套适合自己的学习方法.但是有两点是需要特别注意的.第一,就是正确认识物理课程的地位和作用,在学习上要逐步培养学习兴趣,能够学会享受物理学.第二,在学习物理学理论知识的同时,要有意识地通过课堂教学、课下练习、课外讨论和科技活动以及物理实验等各种教学环节,学习物理学研究问题的方法,分析问题和解决问题的技巧.总之,同学们应该通过大学物理学课程的学习,逐步丰富自己的科学知识,不断提高分析问题和解决问题的能力,从而达到提高自己科学素质的目的.

4. 物理量的单位制和量纲

为了对物理现象和物理过程进行定量描述,需要一系列物理量. 物理量之间一般是通过描述客观规律的方程相互联系的. 同一类物理量能够相互比较,如长度、直径、距离、波长等都属于描述空间距离的物理量. 对每一类量可以确定一个**单位**,这一类物理量的值可以用这个单位和一个纯数的乘积来表示. 这个数称为这个量的**数值**,数值和单位一起合称为物理量的**量值**.

物理测量是为确定被测物理量的数值而进行的一系列操作. 为了定义一个物理量,不仅要规定单位,还要规定一套测量程序或方法. 物理量的测量程序一般有国际标准,而在物理实验中测量物理量的方法确是多种多样的,视具体情况而定.

物理量的种类很多,也不都是独立的,没有必要也不可能为每个物理量规定标准. 在众多物理量中只有几个**基本量**,对它们规定相应的标准——单位和测量方法,其他物理量都可以从这些基本量中推导而得,称这样的物理量为**导出量**. 建立在这样一套基本量之上的单位体系称为**单位制**.

对于基本量的选择不是唯一的. 显然应该选择尽可能少的物理量并用尽量简单的表述对它们进行定义,同时还要考虑到测量程序的精确性和方便性. 历史上由于各种原因曾经有过多种单位制. 现在世界上通用的是 1960 年国际计量大会确定的**国际单位制**,缩写为 SI(法文 Le Systeme International d'Unites). 在国际单位制中,选择了七个物理量作为基本量,规定了它们的基本单位,详见本书附录 I.

当一个单位制中的基本物理量选定之后,通过基本物理量可以导出其他物理量,后者称为**导出量**. 导出量的量度单位也可以用基本单位表示出来,这种表达式就称为该导出量的**量纲式**,量纲式又简称为**量纲**(dimension). 物理量 Q 的量纲记为 $\dim Q$;例如力学中的基本量是长度 l 、质量 m 、时间 t ,所以所有力学量的量纲式就可以表示为 $\dim Q = L^p M^q T^r$,其中 L 是长度的量纲、 M 是质量的量纲、 T 是时间的量纲;幂指数 p, q, r 称为该量的**量纲指数**,通常简单地将量纲指数说成量纲. 显然只有规定了单位制,才能确定量纲. 例如,在国际单位制中,速度的量纲式为 $\dim v = LT^{-1}$,就可以说速度量纲式中,长度的量纲是 1,时间的量纲是 -1. 有些物理量所有量纲指数都为零,称为**量纲为 1 的量**,如角度、摩擦因数等.

量纲可以用于不同单位制之间的换算,各个量纲符号可以像代数量一样处理,进行合并或相消. 物理学中常常用**量纲分析法**来分析问题,例如,通过比较物理方程两边各项的量纲来检验方程的正确性,因为在任何合理的物理方程中,所有各项的量纲必须是相同的. 量纲分析还可以用于一些探索性分析,得到某些重要的信息和结论.

单位是度量量纲的尺度,如时间的单位可以是秒、小时、天、月、年等. 量纲为 1 的量也可以有单位,如角度的单位是弧度. 可见单位和量纲之间既有联系,又是两个不同的概念. 系统了解物理量的单位制和量纲,对学好物理课程是十分必要的,在今后从事的科技工作中也是十分有用的.

第一篇 力学基础

力学是研究物体机械运动规律的学科。物质的运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核运动等。其中机械运动是物质的各种运动形式中最简单、最基本的运动形式,它是指物体之间(或物体内部各部分之间)相对位置的变动。力学是物理学中最古老和发展最完美的学科。它在各门自然学科中发展得最早,早在 17 世纪就已经形成一门理论严密、体系完整的学科。它曾被人们誉为完美、普遍的理论而兴盛了约 300 年。直到 20 世纪初才发现它在高速和微观领域的局限性,从而在这两个领域分别被相对论和量子力学所取代。但在一般的技术领域,经典力学仍然是不可或缺的基础理论。

力学是本课程中最基本的内容。学习这一部分内容不仅可以使读者学到基本规律,而且还能够学习运用科学思维和基本概念、原理去分析解决具体问题,提高学习能力。

力学是一切工程技术的基础理论知识,如机械制造、土木建筑、水利设施、电子技术、信息技术等工程技术领域。系统掌握力学知识可以为进一步学习相关后续课程打下基础。

研究力学,通常是先研究运动的描述,即单纯地用几何观点描述物体的位置如何随时间变化,即在空间的运动情况,而不涉及物体的质量和所受的力,这称为运动学。然后考虑物体的质量和物体之间的相互作用,进一步研究运动的规律,即在怎样的条件下发生怎样的运动,这称为动力学。本篇包括 5 章。第 1 章介绍运动的描述;第 2 章介绍牛顿运动定律,这是动力学的基本规律;第 3 章讨论功和能以及能量守恒定律;第 4 章讨论动量与角动量以及动量守恒定律和角动量守恒定律;第 5 章介绍刚体的定轴转动。

第 1 章 运动的描述

自然界的物质都处于不停的运动之中,物质有各种不同的运动形式. 其中机械运动是物质的各种运动形式中最简单、最基本的运动形式,它是指物体之间(或物体内部各部分之间)相对位置的变动. 例如,车辆的行驶、弹簧的振动、机器的运转、河水的流动等都是我们日常中所观察到的机械运动. 另外,地球绕太阳的运转,人造卫星绕地球的运转,火箭喷出的气体的运动等,也都是机械运动. 机械运动的基本形式有平动和转动. 物体在平动过程中,物体内部各点都做同样的运动,物体上任一点的运动都可以用来代表整个物体的运动. 所以物体的运动可用一个具有该物体质量的点的运动来代替. 这种不计物体的形状和大小而具有该物体全部质量的点称为**质点**. 本章主要介绍质点运动的描述方法.

本章主要内容为:运动的描述方法,运动的描述(位置矢量、位移、速度、加速度),切向加速度,法向加速度,圆周运动,线量与角量的关系以及相对运动学等.

1.1 运动的描述方法

为了描述物体的运动,必须选择参考系,建立坐标系,提出物理模型.

1.1.1 运动的绝对性和相对性

宇宙间万物都在永恒不停地运动着,像星体运动、江河奔流、车辆行驶、机器运转等. 运动是物质的存在形式,是物质的固有属性. 从这方面来讲,**运动是绝对的**. “静止”只有相对的意义. 这不仅是指哲学意义上的运动. 即使以机械运动形式而言,任何物体在任何时刻都在不停地运动着. 例如,火车、汽车、动物在地球上运动,即使看起来静止不动的高山峻岭、高楼大厦,也在昼夜不停地随着地球一起自转和绕太阳公转,而太阳系绕银河系中心以大约 $250\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率运动,银河系也在宇宙中相对于其他星系以大约 $600\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率高速地运动. 总之,自然界中绝对不运动的物体是不存在的,运动是永恒的.

但是,同一物体的运动,从不同的角度来看可以得出完全不同的结论. 例如,火车在辽阔的田野疾驰而过,站在地面铁道边上的人看起来,火车在高速地运动,而该火车车厢里的乘客看来,火车车厢相对于自己没有运动,而铁道边的人和树木等都在向后退. 因此,**运动又具有相对性**. 物体的运动,都是在一定的环境和特定的条件下进行的,离开一定的环境和特定的条件谈论运动是没有任何意义的.

1.1.2 参考系

运动是绝对的,但是对运动的描述是相对的. 在观察一个物体的位置以及位置的变化时,必须先指明运动是相对于哪个参考物体而言的,即必须先选定一个物体作为基准.

这个被选作参考、作为基准的物体就称为**参考系**。所选参考系不同,对同一物体的运动的描述就不同。这就是**运动描述的相对性**。例如,做匀速直线运动的火车车厢中,一物体自由下落,相对于车厢,它做自由落体运动;而在地面上静止的人看来,它做抛物线运动;而从航天飞机上来看,其运动形式更复杂。

从运动学的角度来看,参考系是可以任意选择的,通常以对问题的研究方便、简单为原则。讨论地面上物体的运动时(如研究汽车的运动),通常选地球表面(地面)为参考系最为方便。以后如果不做特别说明,研究地面上物体的运动,都以地面为参考系。研究人造卫星的运动,以地球中心为参考系最方便;研究行星的运动,则以太阳为参考系最方便。人们常用的参考系有:太阳参考系(太阳-恒星参考系)、地心参考系(地球-行星参考系)、地面参考系(实验室参考系)和质心参考系等。

1.1.3 坐标系

选定参考系后,为了定量描述一个物体在各时刻相对于参考系的运动规律,还需要建立适当的**坐标系**,固定在被选作参考的物体上。运动物体的位置就由它在坐标系中的坐标值确定。这个坐标系既然与参考系牢固地连接成一体,则物体相对于坐标系的运动,就是相对于参考系的运动。在力学中,通常采用直角坐标系居多,也可根据需要选用平面极坐标系、自然坐标系、球坐标系或柱坐标系等。在同一个参考系中,坐标系可以任意选择,但仍以对问题的研究方便、数学描述简单为原则。

1.1.4 物理模型 质点

实际物体都有一定的大小、形状,而且物体运动时,可以既有平动又有转动和变形。例如,火车的运动,除了整体沿铁轨平移外,还有车厢的上下左右晃动,车轮的转动等。一般地,物体上各点的运动情况是不同的。任何一个真实的物体运动过程都是极其复杂的。要想对物体的实际运动情况做出全面的描述是困难的,而且也没有必要这么做。我们只能分清主次,逐个解决。在科学研究中,为了研究某一过程中最本质、最基本的规律,常根据所研究问题的性质,抓住主要因素,忽略次要因素,对真实过程进行简化,然后经过抽象,提出一个可供数学描述的理想化的**物理模型**。这是经常采用的一种科学思维方法。这样做可以使问题大为简化,但又不失其客观真实性。

当我们研究物体在空间的位置时,如果我们只研究物体整体的平移规律(如火车沿铁轨的整体平移规律,炮弹的空间轨道),或者物体做平动时,同一时刻物体上各部分运动情况(轨迹、速度、加速度)完全相同,或者物体的线度比它运动的空间范围小得多(如地球绕太阳的公转等),我们可以忽略那些与整体运动关系不大的次要运动,把物体上各点的运动都看成完全一样,这样我们就可以不用考虑物体的形状和大小,或者说只考虑其平动,物体的运动就可以用一个具有该物体全部质量的、没有形状和大小的点的运动来代替。这种不计物体的形状和大小而具有该物体全部质量的点称为**质点**。

质点是一种理想化的物理模型,是在一定的环境和条件下对实际物体的一种科学抽象和简化。对这样的科学抽象,可以使所研究的问题大大简化而不影响主要结论。能否把一个物体看成质点,不在于物体的绝对大小,而主要取决于所研究问题的性质和具体情

况. 例如, 当研究地球绕太阳的公转运动时, 由于地球的半径(约为 $6.4 \times 10^6 \text{ m}$) 远小于地球公转的轨道半径(约为 $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$), 因此地球上各点绕太阳的运动情况可看成基本上是相同的, 所以在研究地球绕太阳公转时, 可以不考虑地球的大小和形状, 可把地球当作一个质点. 但当研究地球的自转运动时, 或者研究地球表面不同地点的潮汐运动规律时, 就必须考虑地球的大小和形状, 不能再把它当作一个质点了.

把物体视为质点这种研究方法, 在理论上和和实践上都具有重要的意义. 当我们所研究的运动的物体不能视为一个质点时, 可以通过数学上的无穷分割方法, 把整个物体分割成无穷多个无穷小的质量元, 每一个质量元都可以看成一个质点, 一个实际的物体就可以看成是由许多乃至无穷多个质点组成的系统, 这就是**质点系**的概念. 当把组成这个物体的所有质点的运动情况都弄清楚了, 也就描述了整个物体的运动情况. 因此, 研究质点的运动规律也就是研究一般物体更为复杂运动规律的基础.

用理想模型的方法来研究问题是一种常用的科学研究方法, 这种方法在物理学中经常遇到. 除了质点模型, 在后面我们还会遇到如刚体、弹簧振子、理想气体、点电荷等许多理想化的物理模型. 但应注意, 任何一个理想模型都有其适用条件, 在一定条件下, 它能否反映客观实际, 还要通过实践来检验.

总之, 要描述物体的运动, 我们需要: ①选择合适的参考系, 以方便确定物体的运动性质; ②在参考系上建立恰当的坐标系, 以定量描述物体的运动; ③提出较准确的物理模型, 以确定研究对象在特定情况下的最基本的运动规律.

❷ 思考题

思 1.1 一个物体能否被看成质点, 你认为主要由以下三个因素中的哪个因素决定:

①物体的大小和形状; ②物体的内部结构; ③所研究问题的性质.

思 1.2 一只小蚂蚁和地球, 哪个可以看成质点? 你将如何回答?

1.2 运动的描述

1.2.1 位置矢量 运动方程 轨迹

1. 位置矢量

为了描述质点的运动, 首先需要选择合适的参考系, 然后在参考系上选定坐标系的原点和坐标轴, 建立恰当的坐标系. 例如, 建立图 1.1 所示的三维直角坐标系 $Oxyz$. 确定在任意时刻 t 质点相对于参考系的位置 P , 可用质点所在点 P 的一组有序直角坐标 (x, y, z) 来确定. 质点在平面上运动时, 可在该平面上建立二维直角坐标系 Oxy , 质点的位置可用两个坐标 (x, y) 来确定. 如果质点做直线运动, 就只需要一个坐标就可以确定质点的位置了. 当然, 用坐标法确定质点的位置, 不限于直角坐标系, 根据问题的不同特点, 也可以选用其他坐标系, 如平面极坐标系、球坐标系、柱坐标系等, 这里就不一一介绍了.

质点的位置还可以用**位置矢量** $\boldsymbol{r}$ 表示. 位置矢量简称**位矢**(又称**矢径**). 它是一个有向线段, 在选定的参考系上任选一固定点 O , 质点在任一时刻 t 的位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 的始端位于