

21 世纪高职高专系列规划教材

# 大学物理

主 编 陆志 何伟

副主编 运高谦 张素银 雍志强

南开大学出版社

21 世纪高职高专系列规划教材

# 大学物理

主编 陆志 何伟 副主编 运高谦 张素银 雍志强

南开大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

大学物理 / 陆志, 何伟主编. —天津: 南开大学出版社,  
2008.9

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-310-02993-8

I. 大… II. ①陆…②何… III. 物理学—高等学校: 技  
术学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 131636 号

**版权所有 侵权必究**

**南开大学出版社出版发行**

出版人: 肖占鹏

地址: 天津市南开区卫津路 94 号 邮政编码: 300071

营销部电话: (022)23508339 23500755

营销部传真: (022)23508542 邮购部电话: (022)23502200

\*

天津市蓟县宏图印务有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 16 开本 20 印张 481 千字

定价: 35.00 元

如遇图书印装质量问题, 请与本社营销部联系调换, 电话: (022)23507125

## 内 容 简 介

本书是根据“高职高专学生对物理教学基本要求”编写而成的。《大学物理》从现代科学技术的发展及理科教学对人才培养的要求出发，对理科教学非物理类专业基础物理课程的结构进行了改革，在课程内容的现代化方面作了进一步的完善，使其涉及面更广。全书紧扣“教学基本要求”，在内容选取上应用“加强经典、突出重点”的方法，在结构安排上应用“基础与实践并重”的方法，再加之通俗易懂的语言描述，从而更适应高职高专教育大众化的要求。全书内容包括力学、热力学、电磁学、光学、近代物理学及物理学新技术的发展等。

全书内容安排缜密，语言通俗易懂，体系合理，概念清晰，图文并茂，使读者学习起来轻松自如。本书不仅适合作为高职高专和各类成人高校相关专业的教科书，还适合具有同等文化程度的物理爱好者自学使用。

# 前 言

本书是根据“高职高专学生对物理教学基本要求”编写而成的。《大学物理》从现代科学技术的发展及理科教学对人才培养的特点出发，对理科非物理类专业基础物理课程的结构进行了改革，在课程内容的现代化方面作了进一步的完善，使其涉及面更广。全书紧扣“教学基本要求”，在内容选取上应用“加强经典、突出重点”的方法，在结构安排上应用“理论与实践并重”的特点，再加之通俗易懂的语言描述，从而更适应高等教育大众化的要求。

本书具有以下特点：

✓ 在知识内容上贴近培训和基础学习，对各个知识点进行了系统的安排，编者根据多年实践经验的积淀，在撰写时有的放矢，力求使读者在学习时有深入的理解与领会。

✓ 在结构安排上由浅入深，使之更加符合循序渐进的学习规律。

✓ 在语言上，叙述简洁明了，通俗易懂，注重条理性，不但适于课堂教学，也适合读者自学阅读。

✓ 在介绍理论的同时，通过对典型例题的剖析，使读者学以致用，也使理论知识不流于形式。

本书从最基础的力学知识开始，逐步讲述了牛顿定律、动量守恒、机械守恒、热学、电磁学、光学、近代物理学，以及物理学新技术的发展等。第1章为质点力学，主要讲述质点力学的相关概念和牛顿三大定律等内容；第2章为动量守恒和机械能守恒，主要讲述动量定理、动能定理，以及动量守恒定律等内容；第3章为刚体的转动，主要讲述角动量及角动量守恒定律，转动定理及转动的动能定理等内容；第4章为热力学，主要讲述热力学的研究对象与研究方法，热力学定律等内容；第5章为静电场和稳恒磁场，主要讲述高斯定理、稳定电磁场环路定理，以及电介质和磁介质等内容；第6章为电磁感应，主要讲述法拉第电磁感应定律、楞次定律以及麦克斯韦方程组等内容；第7章为机械波，主要讲述机械波的基本概念、平面简谐波的波函数，以及波的干涉等内容；第8章为波动光学，主要讲述光的衍射、干涉、偏振，吸收、散射和色散等内容；第9章为原子核及基本粒子简介，主要讲述原子核的基本性质、原子核的放射性衰变、辐射生物物理基础和同步辐射等内容；第10章为物理学的新技术，主要讲述等离子体与受控核聚变、光导纤维和纳米材料等内容。

全书内容安排周密，语言通俗易懂，体系合理，概念清晰，图文并茂，使读者学习起来轻松自如。本书不仅适合作为高职高专和各类成人高校相关专业的教科书，还适合具有同等文化程度的物理爱好者自学使用。同时，也是学习物理学的一本很有价值的参考书。

本书由辽宁地质工程职业学院的陆志和河北农业大学海洋学院的何伟主编，参与编写和审校的还有郑州轻工业学院的运高谦、黄河科技学院的张素银和南京铁道职业技术学院的雍

志强等老师。其中，张素银编写了第1~2章，运高谦编写了第3~4章，陆志编写了第5~6章，何伟编写了第7~8章，雍志强编写了第9~10章。由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请专家和广大读者不吝指教。在本书的编写过程中，我们参考了大量的文献和相关资料，在此向这些付出辛勤汗水的作者们表示由衷的敬意和感谢。

编者

2008年6月



# 目 录

<b>绪 论</b> .....	1	3.1.2 刚体的定轴转动 .....	61
一、物理学及物理学的发展 .....	1	3.2 转动定理及动能定理 .....	64
二、物理学与现代科学技术的关系 .....	1	3.2.1 转动定理 .....	64
三、如何学好大学物理 .....	2	3.2.2 定轴转动的动能定理 .....	68
<b>第 1 章 质点力学</b> .....	4	3.3 角动量及角动量守恒定律 .....	70
1.1 质点力学的基本概念 .....	4	3.3.1 质点的角动量定理	
1.1.1 质点、参考系与坐标系 .....	4	和角动量守恒定律 .....	71
1.1.2 质点运动的描述 .....	5	3.3.2 刚体定轴转动的角动量	
1.2 牛顿运动定律 .....	14	定理和角动量守恒定律 .....	73
1.2.1 牛顿第一定律 .....	14	习题与思考 .....	75
1.2.2 牛顿第二定律 .....	15	<b>第 4 章 热力学</b> .....	80
1.2.3 牛顿第三定律 .....	16	4.1 热力学的研究对象与	
1.3 力学中常见的力 .....	17	研究方法 .....	80
1.3.1 万有引力、重力 .....	17	4.1.1 内能、功和热量 .....	80
1.3.2 弹性力 .....	19	4.1.2 准静态过程 .....	82
1.3.3 摩擦力 .....	19	4.1.3 热力学的研究方法 .....	84
1.4 牛顿运动定律的应用 .....	20	4.2 热力学第一定律 .....	85
习题与思考 .....	24	4.2.1 热力学第一定律的概述 .....	85
<b>第 2 章 动量守恒和机械能守恒</b> .....	30	4.2.2 热力学第一定律的应用 .....	87
2.1 动量定理及动量守恒定律 .....	30	4.2.3 热力学第一定律在理	
2.1.1 质量与动量 .....	30	想气体中的应用 .....	88
2.1.2 动量定理与动量守恒定律 .....	32	4.3 循环过程与卡诺循环 .....	92
2.1.3 应用举例 .....	35	4.3.1 循环过程 .....	92
2.2 动能定理与机械能守恒 .....	37	4.3.2 卡诺循环 .....	95
2.2.1 功及质点的动能定理 .....	37	4.4 热力学第二定律 .....	97
2.2.2 机械能守恒定律 .....	49	4.4.1 开尔文表述 .....	97
习题与思考 .....	54	4.4.2 克劳修斯表述 .....	98
<b>第 3 章 刚体的转动</b> .....	60	4.4.3 可逆过程和不可逆过程 .....	98
3.1 刚体的运动 .....	60	4.4.4 克劳修斯熵 .....	99
3.1.1 刚体的平动 .....	60	4.5 耗散结构 .....	103





4.5.1 耗散结构的自组织现象.....	103	6.2.1 动生电动势.....	163
4.5.2 耗散结构形成的条件.....	105	6.2.2 感生电动势.....	166
习题与思考.....	107	6.3 自感应和互感应.....	169
<b>第5章 静电场与稳恒磁场.....</b>	<b>111</b>	6.3.1 涡电流.....	169
5.1 电场的描述.....	111	6.3.2 自感和自感电动势.....	170
5.1.1 电荷、库仑定律.....	111	6.3.3 互感和互感电动势.....	172
5.1.2 电场、电场强度.....	113	6.4 电磁场的能量.....	175
5.2 高斯定理.....	116	6.5 麦克斯韦方程组与电磁波.....	176
5.2.1 电场线、电通量.....	116	6.5.1 麦克斯韦方程组.....	176
5.2.2 高斯定理的描述.....	117	6.5.2 电磁波.....	179
5.2.3 高斯定理的应用.....	119	习题与思考.....	180
5.3 稳恒磁场.....	122	<b>第7章 机械波.....</b>	<b>187</b>
5.4 稳定电磁场环路定理.....	125	7.1 机械波的相关概念.....	187
5.4.1 静电场的环路定理.....	125	7.1.1 机械波的形成和传播.....	187
5.4.2 稳定磁场中的安培环路定理.....	126	7.1.2 机械波的各种物理量.....	189
5.5 电介质和磁介质.....	128	7.2 平面简谐波的波函数.....	192
5.5.1 电介质的极化.....	128	7.3 波的干涉.....	199
5.5.2 固态电介质的一些特性.....	131	7.4 驻波.....	205
5.5.3 介质的磁化.....	132	7.4.1 驻波的产生与形成.....	205
5.5.4 磁介质中的安培环路定理 与高斯定理.....	135	7.4.2 驻波方程及其特征.....	206
5.5.5 铁磁质.....	138	7.4.3 半波损失.....	208
5.6 带电粒子在电磁场中的运动.....	142	7.5 声波、超声波和次声波.....	210
5.6.1 磁场对运动电荷的作用.....	142	习题与思考.....	215
5.6.2 带电粒子的运动.....	143	<b>第8章 波动光学.....</b>	<b>221</b>
5.7 非电量电测基础.....	149	8.1 光的干涉.....	221
5.7.1 非电量电测技术.....	149	8.1.1 光学的基本概念和薄膜干涉.....	221
5.7.2 非电量电测技术的应用.....	151	8.1.2 迈克耳逊干涉仪.....	232
习题与思考.....	154	8.2 光的衍射.....	233
<b>第6章 电磁感应.....</b>	<b>159</b>	8.2.1 惠更斯-菲涅耳原理.....	234
6.1 法拉第电磁感应定律 和楞次定律.....	159	8.2.2 单缝衍射.....	236
6.1.1 法拉第电磁感应定律.....	159	8.2.3 圆孔衍射.....	238
6.1.2 楞次定律.....	162	8.2.4 光栅衍射.....	240
6.2 动生电动势与感生电动势.....	163	8.2.5 X射线的衍射.....	245
		8.3 光的偏振.....	246
		8.3.1 光的偏振性.....	246





8.3.2 偏振片、马吕斯定律 .....	248	9.5 同步辐射及其应用 .....	280
8.4 光的吸收、散射和色散 .....	252	9.5.1 同步辐射的概念及发展 .....	280
8.4.1 光的吸收定律 .....	252	9.5.2 同步辐射的应用 .....	282
8.4.2 瑞利散射 .....	254	习题与思考 .....	286
8.4.3 色散中的正常色散和反常色散 .....	256	<b>第 10 章 物理学的新技术 .....</b>	<b>290</b>
习题与思考 .....	258	10.1 等离子体技术 .....	290
<b>第 9 章 原子核及基本粒子简介 .....</b>	<b>264</b>	10.1.1 等离子体的概念 .....	290
9.1 原子核的基本性质 .....	264	10.1.2 等离子体的主要应用 .....	291
9.1.1 原子核的结构 .....	264	10.2 光纤 .....	292
9.1.2 原子核的大小和密度 .....	266	10.2.1 光纤及光纤的概念 .....	292
9.1.3 核自旋和磁矩 .....	266	10.2.2 光纤的工作原理及分类 .....	293
9.2 原子核的放射性衰变 .....	267	10.2.3 光纤的特点 .....	293
9.2.1 原子核衰变 .....	267	10.3 纳米技术 .....	294
9.2.2 放射性衰变定律 .....	268	10.3.1 纳米概念的提出 .....	294
9.3 辐射生物物理基础 .....	270	10.3.2 纳米材料学 .....	295
9.3.1 辐射生物物理的发展 .....	270	习题与思考 .....	297
9.3.2 辐射与生物系统作用的 原初过程 .....	271	<b>附 录 .....</b>	<b>300</b>
9.3.3 辐射引起生物大分子 结构的改变 .....	274	附录 I 习题与思考参考答案 .....	300
9.3.4 DNA 损伤修复 .....	275	附录 II 常用物理常数 .....	307
9.4 基本粒子简介 .....	276	附录 III 国际单位制基本单位 .....	307
9.4.1 基本粒子的分类 .....	276	附录 IV 希腊字母表 .....	309
9.4.2 基本粒子的四种相互作用 .....	277	<b>参考文献 .....</b>	<b>310</b>
9.4.3 基本粒子的守恒定律 .....	278		





# 绪 论

## 一、物理学及物理学的发展

物理学是研究物质运动的一般规律和物质基本结构的科学。它的英文 physics 来源于希腊文，原义是自然，而中文的含义是“物”（物质的结构、性质）和“理”（物质的运动、变化规律）。“物理”的中文含义与现代观点颇为吻合，现代观点认为物理学主要是研究物质和运动，或物质世界及其各部分之间的相互作用，或物质的基本组成及其之间的相互作用。

物质可以小至微观粒子——分子、原子乃至基本粒子。所谓基本粒子，顾名思义是物质的基本组成成分，本身没有结构。然而基本与否与人们的认识水平以及科学技术水平有关，因此对“基本”的理解有阶段性。有鉴于此，物理学家简单地称之为“粒子”。我们周围的物体是物质的聚集状态。人们可以用自己的感官感知大多数聚集状态的物质，并称它们为宏观物质，以区别前面所说的微观粒子。居间的尺度是介观，而更大的尺度是宇观。场传递相互作用，电磁场和引力场就是例子。

在物理学的范围内，物质的运动是指机械运动、热运动、微观粒子的运动、原子核和粒子间的反应等。运动总是发生在一定的时间和空间，时间和空间首先是作为物质运动的舞台，但在最后也成了物理学研究的对象。

19 世纪中叶以前，物理学曾是完全的实验科学，许多力学中的理论问题被认为是数学家的事。19 世纪末，在逐渐成为世界物理学研究中心的德国大学里，开始设置理论物理学教授的席位。此后，随着人类认识能力的逐步深入，20 世纪初，建立了狭义和广义相对论以及量子力学这些深刻的物理理论。到了 20 世纪中叶，物理学已经成为实验和理论紧密结合的科学。20 世纪后半叶，由于电子计算机的发展，既改变了理论物理的研究方式，同时也扩大了物理实验的研究涵义。目前物理学已经成为实验物理、理论物理、计算物理三足鼎立的科学。实验所提供的条件比自然界本身所具有的更富变化和灵活可控，而物理理论则给出了对自然界的数学描述。计算物理学是重要的新分支，有自己独特的研究方法，计算机实验可以提供比通常的实验更为变化丰富和灵活控制的条件，不过通常需要用到超级计算机。

## 二、物理学与现代科学技术的关系

物理学在整个自然科学体系中处于核心地位，它研究的粒子和原子构成了蛋白质、基因、器官、生物体，构成了一切天然的和人造的物质以及广袤的陆地、海洋、大气，甚至整个宇宙。因此，物理学是化学、生物、地球物理、材料科学和天体物理学的基础，实际上，物理学和这些学科之间的边缘领域中又形成了一系列分支学科和交叉学科，如粒子物理、核物理、凝聚态物理、原子分子物理、电子物理、生物物理等。





物理学的发展，推动了技术的革命和社会文明的发展。18世纪60年代以蒸汽机的发明和应用为标志的第一次工业革命，它是牛顿力学和热力学发展的结果；19世纪70年代开始的第二次技术革命以电力的广泛应用和无线电通讯为标志，这是电磁学发展的结果；从20世纪40年代兴起并一直延续至今的第三次技术革命以航空航天技术为主要标志，它是相对论和量子论发展的结果。事实证明，几乎所有重大新技术领域学科的创立，事先都有物理学长期的酝酿以及在理论和实验两方面大量知识的积累。从这个意义上说，物理学是科技生产力发展的源泉。

在21世纪的今天，全世界范围内正进行着一场以信息、能源、材料、生物工程和空间技术等为核心的新技术革命，在这些高科技领域中必将不断地涌现出一系列的新技术和新产品。物理学以其最广泛和最基本的技术储备和突破，成为各个新兴学科的先导。而且，近代物理在量子论和粒子物理等研究方向上的突破和成熟，又将可能孕育和萌发出科学和技术的新芽。

### 三、如何学好大学物理

大学物理是一门涉及大学中各个学科知识并与最前沿的科学技术相联系的课程。它一方面为学生学好其他课程奠定必要的物理基础，另一方面也使学生初步学会科学的思维和研究问题的方法，这对学生们增强适应能力、开阔思路、激发探索和创新精神以及提高科学素质都起着积极的作用。打好物理学的基础，不仅对学生在校学习起着十分重要的作用，而且对学生毕业后的工作和工作中进一步学习新理论、新知识、新技术，也将产生深远的影响。

大学物理属于高层次的科学，在学习时要尽力做到以下几个方面：

※ 课前预习。课前的预习可使学生预先了解和思考课堂上要学习的内容，在听课时就可以有的放矢地带着问题去听课，而对已理解的内容，也可以带着探求的观点去听课。总而言之，充分的预习会使读者事半功倍。

※ 做好笔记。俗话说：“好记性不如烂笔头”。在听课中不少同学也都有记笔记的好习惯，但大多数同学的笔记却只有一条条定义和一个个公式，好像是同一个人作的读书摘抄。而实际上，同学们应当记下老师在课堂上对各个概念、定义、公式中的符号和公式本身的含义以及应用条件的解释，更应记下你在预习时未领悟到的东西，只有这样你的听课才会有所收获。

※ 勤于思考，敢于发问。韩愈曾说过“业精于勤”。学好大学物理的关键也在于“勤”——既要勤于思考，又要敢于发问。勤于思考有三层含义：一是要对书中的概念、定律、公式含义能用自己的语言表达出来；二是对书中主要公式定理的证明能自己独立推导；三是能够深思熟虑，独立完成作业，且要做到树立信心，做则必对，步步有理。敢于发问也有三层含义：一是对知识发问，哪些是原始事实？哪些是后来的推论？他们是怎样得出的？二是对作业的发问，为什么要这样做？对在何处？又错在何处？要知其然，也要知其所以然；三是对老师发问，不懂之处要敢于同老师讨论、争辩，在未被老师说服前要敢于坚持己见。

※ 课后复习。课后的复习是对所学知识进行消化、吸收和掌握的重要环节。在课后要勤于思考，对学到的概念、定义、公式中的符号和公式本身的含义，要用自己的语言陈述出



来. 对于应掌握定理的证明、公式的推导, 最好在有了基本思路后, 自己背着书本和笔记把它们推演出来. 这样才能对它们成立的条件、关键的步骤、推演的技巧和应掌握的数学知识有深刻的理解.

★ 完成作业. 大学时期物理课后的作业并不多, 作业的目的是为了检查学生对知识掌握和运用程度. 作业中的每道题都是经过精心选择的, 通过作业, 学生可以检查自己掌握了多少知识点, 对知识点的运用是否熟练, 也可以知道自己在哪方面还有不足.

★ 自学与知识运用拓展. 大学物理是基础学科, 其学习的目的是为了应用, 所以, 同学们不但要掌握课本中的基础知识, 更要通过自学学习那些对自己专业有用的知识.

书山有路勤为径, 学海无涯苦作舟. 愿所有大学生在大学物理的学习中, 不仅能够学到更多知识, 开阔眼界, 还要学会学习和运用, 不断更新自我和超越自我.





# 第 1 章 质点力学

力学的主要任务是研究机械运动的描述、规律及成因。物体位置或方向的变化称为运动。在物质多种多样的运动形式中，最简单而又最基本的运动是物体之间或物体各部分相对位置的变化，称为机械运动。机器的运转、水的流动、宇宙飞船的航行等都是机械运动。

力学是一门古老而充满活力的学科，也是物理学中发展最完美的学科。它既是物理的基础，也是工程技术的基础。本章将主要介绍质点力学中的基本概念和牛顿运动定律。通过对本章内容的学习，读者可以：了解质点、质点系、参考系、速度以及加速度等概念，综合应用牛顿三大定律来解决生活中的各种现实问题。

## 1.1 质点力学的基本概念

### 1.1.1 质点、参考系与坐标系

质点是一个经过科学抽象而形成的理想模型，是经典力学中最常用的最基本的模型。作平动的物体，不论其大小、形状如何，体内任一点的位移、速度和加速度都相同，这样可以用其质心这个点的运动来概括，即视为质点的运动。在地球绕太阳的公转中，地球中任一点对太阳的位移、速度和加速度都略有差别，但地球半径远小于地球与太阳间的距离，上述差别也远远小于地心的位移、速度和加速度，可以忽略不计，仍可视地球的公转为质点运动。

#### 1. 质点与质点系

一般物体均有形状及大小，但在有些运动问题中，物体的形状及大小对问题的讨论影响不大，可以忽略，这时便可将物体抽象成为一个只有质量而无形状大小的几何点，这样的点称为质点，多个质点的集合称为质点系。

在研究质点的同时需要注意以下几个方面的问题：

※ 质点作为一个理想化的模型，是实际情况的简化，也是对复杂问题进行抽出主要矛盾而加以研究的有效方法。

※ 能否将运动物体视为质点与所研究问题的性质有关。

※ 在本书中除了第 3 章有关刚体转动的知识以外，其他章节都将物体视为质点。

一个物体能否被看作为质点需视研究问题的性质而定。一般而言，当物体的线度远小于所研究问题的相关线度时，物体上每一点的运动情况均可视为相同，或所研究的问题不涉及



物体的转动及形变,这时便可将物体视为质点.正如上述所提到的地球自转不可以视为质点,但当研究地球绕太阳公转规律时,由于地球直径( $1.28 \times 10^7 \text{m}$ )比地球到太阳的距离( $1.50 \times 10^{11} \text{m}$ )小得多,因而地球上每一点的运动均可认为相同,这时便可将地球视为质点了.如果物体在所研究的问题中不能视为质点,则可设法将它划分成许多个线度极小的质量元,使得其中每一点的运动均可认为相同.因此,这些质量元便可视为质点,而整个物体则可视作质点系.也就是说,质量连续分布的物体可以当作质点系来处理.



提示 线度一般指物体从各个方向来测量时的最大长度.

## 2. 参考系与坐标系

运动是绝对的,但运动的描述却是相对的.因此,在确定研究对象的位置时,必须先选定一个标准物体(或相对静止的几个物体)作为基准,那么,这个被选作标准的物体或物体群,就被称为**参考系**,一般在讨论地面上物体的运动时,通常选地球为参考系.

对于同一物体的运动来讲,由于所选取的参考系不同,对其运动的描述也就不同,这称为**运动描述的相对性**.例如:在匀速直线运动的车厢中,物体的自由下落,相对于车厢是作直线运动,相对于地面,却是作抛物线运动,相对于太阳或其他天体,运动的描述则更为复杂.这一事实充分说明了运动的描述是相对的.

为了说明质点位置运动的快慢、方向等,必须选取其坐标系.在参照系中,为确定空间一点的位置,按规定方法选取的有次序的一组数据,就称为“坐标”.在某一问题中规定坐标的方法,就是该问题所用的坐标系.坐标系的种类很多,常用的坐标系有笛卡儿直角坐标系、平面极坐标系、柱面坐标系和球面坐标系等.例如,常用的笛卡儿直角坐标系如图 1-1 所示,它是由坐标原点引出的三条相互垂直的直线组成,其中坐标原点用  $O$  表示,三条直线都称为坐标轴,分别是  $x$  轴、 $y$  轴和  $z$  轴.各轴线上都均匀加以刻度,这样,空间中任何一点的位置就可以用三个轴的刻度值  $x$ 、 $y$ 、 $z$  来表示.若将某个点在运动中依次经过的各个位置连接起来,就形成了该点的运动轨迹.

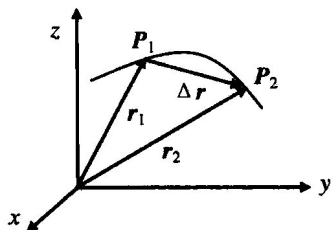


图 1-1 直角坐标系

如果物体沿直线运动,为了定量描述物体的位置变化,那么可以将这条直线设为  $x$  轴,在直线上规定原点、正方向和单位长度,建立直线坐标系.总的来说,当参考系选定后,无论选择何种坐标系,物体的运动性质都不会改变.若坐标系选择得当,则可以使计算变得简单化.

### 1.1.2 质点运动的描述

任何物体的机械运动均可视为质点或质点系的运动,因此,质点运动学和质点系动力学也就成了经典力学的基础.描述质点的运动,就是描述其空间位置随时间变化的各种情况.通常用位置、位移、速度和加速度等物理量来描述.



## 1. 位置矢量

为了表示运动质点的位置，首先应该选择参考系，然后在参考系上选定坐标系的原点和坐标轴，如图 1-2 所示。

从坐标原点  $O$  到质点所在点  $P$  的有向线段  $OP$  叫作位置矢量（简称位矢，又称矢径）。相应坐标  $x$ 、 $y$ 、 $z$  也就是位矢  $r$  在坐标轴上的三个分量。

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{OP}$$

位置矢量  $r$  在直角坐标系中可以表示为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \quad (1-1)$$

式中  $\boldsymbol{i}$ 、 $\boldsymbol{j}$ 、 $\boldsymbol{k}$  分别表示沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三轴正方向的单位矢量。位矢的大小为

$$r = |\boldsymbol{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

位矢的方向余弦是： $\cos\alpha = \frac{x}{r}$      $\cos\beta = \frac{y}{r}$      $\cos\gamma = \frac{z}{r}$

质点的机械运动是质点的空间位置随时间变化的过程。这时质点的坐标  $(x, y, z)$  和位矢  $r$  都是时间  $t$  的函数，表示运动过程的函数式称为运动方程，可以写作

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1-2)$$

或

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$$

知道了运动方程，就能确定任一时刻质点的位置，从而确定质点的运动。力学的主要任务之一，正是根据各种问题的具体条件，求解质点的运动方程。

质点在空间的运动路径称为**轨道**。质点的运动轨道为直线时，称为直线运动；质点的运动轨道为曲线时，称为曲线运动。从式 (1-2) 中消去  $t$  即可得到**轨道方程**，式 (1-2) 就是轨道的参数方程。轨道方程和运动方程最明显的区别，就在于轨道方程不是时间  $t$  的函数。例如，已知某质点的运动方程为

$$x = 5\sin\frac{\pi}{3}t, \quad y = 5\cos\frac{\pi}{3}t, \quad z = 0$$

式中， $t$  以 s 为单位， $x$ 、 $y$ 、 $z$  均以 m 为单位。从  $x$ 、 $y$  两式中消去  $t$  后，即可得到轨道方程

$$x^2 + y^2 = 25, \quad z = 0$$

这表明质点是在  $z = 0$  的平面内，做以原点为圆心、半径为 5m 的圆周运动。

## 2. 位移

质点从空间的一个位置运动到另一个位置，它的位置变化叫作质点在这一运动过程中的位移。位移是矢量，是一个有大小和方向的物理量。物体在某一段时间内，如果由初位置移

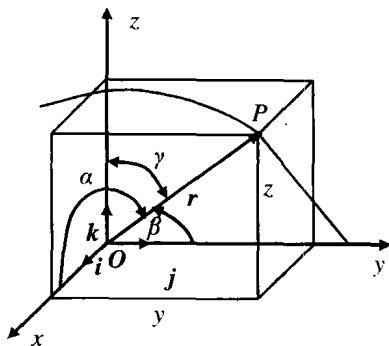


图 1-2 直角坐标系下的位矢



到末位置, 则从初位置到末位置的有向线段叫作位移. 它的大小是运动物体初位置到末位置的直线距离, 方向是从初位置指向末位置. 位移只与物体运动的始末位置有关, 而与运动的轨迹无关. 如果质点在运动过程中经过一段时间后回到原处, 那么它的位移为零, 但路程不为零. 在国际单位制中, 位移的单位为米.

如图 1-3 所示,  $t$  时刻质点在  $P_1$  点, 位矢为  $\mathbf{r}_1$ ,  $t + \Delta t$  时刻质点在  $P_2$  点, 位矢为  $\mathbf{r}_2$ , 在  $\Delta t$  这段时间内位矢的增量  $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ ,  $\Delta \mathbf{r}$  就称为质点在  $\Delta t$  时间内的位移.

在直角坐标系中, 位移的表达式为

$$\Delta \mathbf{r} = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k} = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}$$

位移的模为

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

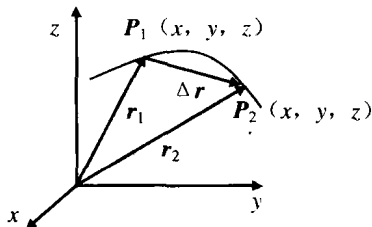


图 1-3 位移

【例 1-1】质点的运动方程为  $x = 6t - t^2$ , 则在  $t$  由 0~4s 的时间间隔内, 质点的位移大小为多少? 在  $t$  由 0~4s 的时间间隔内质点走过的路程为多少?

解: 假设本题质点在  $x$  轴方向作直线运动

$$(1) t_1 = 0 \text{ 时, } x_1 = 0$$

$$t_2 = 4\text{s 时, } x_2 = (6 \times 4 - 4^2) \text{ m} = 8\text{m}$$

所以, 位移大小

$$\Delta x = x_2 - x_1 = (8 - 0) \text{ m} = 8\text{m}$$

$$(2) v = \frac{dx}{dt} = 6 - 2t$$

$$\text{令 } v = 6 - 2t = 0$$

$$\text{得 } t = 3\text{s}$$

即  $t = 3\text{s}$  时, 质点拐弯沿  $x$  轴负方向运动, 则 0~4s 内质点走过的路程为

$$S = 2(6 \times 3 - 3^2) - 8 = 10\text{m}$$

### 3. 速度

研究质点的运动, 不仅要知道质点的位移, 还必须知道在多长时间通过了这段位移, 这样便可计算出质点运动的快慢程度.

在图 1-3 中, 在时刻  $t$  到  $t + \Delta t$  这段时间内, 质点的位移为  $\Delta \mathbf{r}$ , 那么  $\Delta \mathbf{r}$  与  $\Delta t$  的比值就称为质点在  $t$  时刻附近  $\Delta t$  时间内的平均速度.

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-3)$$

通俗地讲, 平均速度的方向与位移  $\Delta \mathbf{r}$  的方向相同, 平均速度的大小与在相应的时间  $\Delta t$  内单位时间的位移大小相同. 显然, 用平均速度描述物体的运动是比较粗糙的. 因为在  $\Delta t$  时间内, 质点各个时刻的运动情况并不一定相同, 质点的运动可以时快时慢, 方向也可以不断地改变, 平





均速度不能反映质点运动的真实细节. 若想要精确地知道质点在某一时刻或某一位置的实际运动情况, 则应使  $\Delta t$  尽量减小, 即  $\Delta t \rightarrow 0$ , 用平均速度的极限值——**瞬时速度** (简称**速度**) 来描述.

质点在某时刻或某位置的瞬时速度, 等于该时刻附近  $\Delta t$  趋近于零时平均速度的极限值, 其数学表达式为

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}$$

由此可见, **速度等于位移对时间的一阶导数**.

速度的方向就是  $\Delta t$  趋近于零时, 平均速度  $\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$  或位移  $\Delta \boldsymbol{r}$  的极限方向, 即沿质点所在处轨道的切线方向, 并指向质点前进的一方, 因此速度是矢量, 本身具有大小和方向. 在描述质点运动时, 也常常采用一个称为速率的物理量来表示. 速率是标量, 等于质点在单位时间内所行经的路程 (参见图 1-3). 假设曲线  $\widehat{P_1 P_2}$  的长度为  $\Delta s$ , 那么  $\Delta s$  与  $\Delta t$  的比值就称为  $t$  时刻附近  $\Delta t$  时间内的平均速率, 即

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-4)$$

平均速率与平均速度不能等同看待. 例如, 在某一段时间内, 质点环行了一个闭合路径, 显然质点的位移等于零, 平均速度也为零, 而质点的平均速率却不等于零. 虽然如此, 但在  $\Delta t \rightarrow 0$  的极限条件下, 曲线  $\widehat{P_1 P_2}$  的长度  $\Delta s$  与直线  $\overline{P_1 P_2}$  的长度  $|\Delta \boldsymbol{r}|$  相等, 即在  $\Delta t \rightarrow 0$  时,  $ds = |\Delta \boldsymbol{r}|$ , 所以瞬时速率  $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{dt} = |\boldsymbol{v}|$ , 即瞬时速率就是瞬时速度的模.

在直角坐标系中, 由式 (1-1) 可知, 速度可表示成

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt} \boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt} \boldsymbol{k} = v_x \boldsymbol{i} + v_y \boldsymbol{j} + v_z \boldsymbol{k} \quad (1-5)$$

在式 (1-5) 中,  $v_x = \frac{dx}{dt}$ 、 $v_y = \frac{dy}{dt}$ 、 $v_z = \frac{dz}{dt}$  称为速度在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴的分量, 这时速度的模可以表示为

$$v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-6)$$

速度和速率在量值上都是长度与时间之比, 国际单位制 (SI) 中为  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**【例 1-2】** 质点在一直线上运动, 其坐标位置与时间有如下关系:  $x = A \sin \omega t$  ( $A$  为常数), 则什么时刻质点的速度为零?

解:  $v = \frac{dx}{dt} = A \omega \cos \omega t$ , 令  $v = A \omega \cos \omega t = 0$

有

$$\omega t = (2k+1) \frac{\pi}{2}$$

得

$$t = \frac{(2k+1)\pi}{2\omega} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

即当  $t = \frac{(2k+1)\pi}{2\omega}$  ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ )  $> 0$  时, 质点的速度为零.