前　言

本书的编写思想是“用大学物理思想讲解高中物理知识，并拓展讲解大学物理的核心内容”，让高中物理基础比较薄弱的学生能掌握必要的高中物理知识，并与大学物理的学习无缝对接. 大学物理的教学相比于高中物理而言，最重要的区别之一是引入了微积分思想，请读者在使用本书时重点学习如何用微积分思想处理一般性、普遍性的物理问题.

为了满足目前人才培养的需求，本书在编写过程中融合了课程思政元素. 这些内容的编入，有利于培养学生的合作意识和创新精神；培养学生的质疑求真精神、穷究探索精神和坚持真理的科学精神；提高学生科学思维方式以及独立思考和独立解决问题的能力；提高学生欣赏美的能力，理解物理的公式之美、图像之美和思想之美；帮助学生树立正确的世界观、人生观和价值观；增强学生的科技强国思想；增强学生的爱国奉献精神；增强学生的民族自豪感和历史使命感.

本书在编写过程中参考了国内外其他物理教材，期望能在预科和文科等物理教育中发挥其应有的作用.

由于作者水平有限，难免存在不妥之处，请读者批评指正.

白晓军　李　东

2026 年 1 月

目　　录

前言

第一篇　力　　学

第 1 章　质点运动学 …… 3
1.1　时间和长度 …… 3
1.1.1　时间 …… 4
1.1.2　长度 …… 6
1.2　质点和参考系 …… 7
1.2.1　质点 …… 7
1.2.2　参考系 …… 8
1.3　一维运动的描述 …… 8
1.3.1　运动方程 …… 8
1.3.2　位移 …… 10
1.3.3　路程 …… 11
1.4　一维运动的速率和速度 …… 12
1.4.1　平均速率和平均速度 …… 12
1.4.2　速度 …… 13
1.4.3　速率 …… 14
1.4.4　速度的几何意义 …… 14
1.5　一维运动中由位置求速度 …… 15
1.6　一维运动中由速度求位置 …… 17
1.7　一维运动的加速度 …… 20
1.7.1　平均加速度 …… 20
1.7.2　加速度 …… 20
1.7.3　加速度的几何含义 …… 21
1.7.4　加速度公式的应用 …… 22
1.8　加速度为常量的一维运动学问题 …… 22
1.9　加速度为变量的一维运动学问题 …… 26
1.10　二维、三维运动的描述 …… 29
1.10.1　位置矢量 …… 29

1.10.2　位移与路程 ····· 30
1.10.3　速度与速率 ····· 31
1.10.4　加速度 ····· 32
1.10.5　二维抛体运动的处理方法 ····· 33
习题 1 ····· 34
第 2 章　质点动力学 ····· 39
2.1　力 ····· 40
2.1.1　常见的力 ····· 40
2.1.2　基本力 ····· 49
2.1.3　力的合成与分解 ····· 50
2.1.4　力的测量 ····· 50
2.2　牛顿运动定律 ····· 51
2.3　牛顿运动定律的应用 ····· 54
2.4　做功与势能 ····· 61
2.4.1　功的定义 ····· 61
2.4.2　重力做功和重力势能 ····· 62
2.4.3　万有引力的功和万有引力势能 ····· 66
2.4.4　弹性力的功和弹性势能 ····· 67
2.4.5　摩擦力的功 ····· 69
2.4.6　保守力做功与势能 ····· 70
2.4.7　保守力与势能的关系 ····· 70
2.5　动能定理 ····· 71
2.5.1　质点的动能定理 ····· 71
2.5.2　质点系的动能定理 ····· 74
2.6　机械能守恒定律和能量守恒定律 ····· 76
2.6.1　机械能守恒定律 ····· 76
2.6.2　能量守恒定律 ····· 79
2.7　动量定理 ····· 80
2.7.1　动量 ····· 80
2.7.2　质点的动量定理 ····· 81
2.7.3　质点系的动量定理 ····· 84
2.8　动量守恒定律及其应用 ····· 85
2.8.1　动量守恒定律 ····· 85
2.8.2　火箭飞行原理 ····· 86
2.8.3　碰撞 ····· 88
习题 2 ····· 90

第二篇　振动和波动

第 3 章　机械振动与机械波 ····· 97
3.1　机械振动 ····· 97
3.1.1　机械振动的基本概念 ····· 97
3.1.2　简谐振动 ····· 99
3.1.3　阻尼振动 ····· 104
3.1.4　受迫振动与共振 ····· 105
3.2　波动的基本概念 ····· 106
3.2.1　波的产生与传播 ····· 106
3.2.2　横波与纵波 ····· 107
3.3　波动的描述 ····· 109
3.3.1　波动的几何描述 ····· 109
3.3.2　平面谐波的波函数 ····· 111
3.4　波的衍射和干涉 ····· 115
3.4.1　波的叠加原理 ····· 116
3.4.2　波的衍射 ····· 116
3.4.3　波的干涉 ····· 116
习题 3 ····· 121

第三篇　光　　学

第 4 章　几何光学 ····· 131
4.1　费马原理及其应用 ····· 131
4.1.1　费马原理 ····· 132
4.1.2　用费马原理理解光的传播规律 ····· 132
4.1.3　光程 ····· 136
4.2　薄透镜 ····· 137
4.2.1　焦点、焦距和焦平面 ····· 137
4.2.2　作图法成像分析 ····· 138
4.3　光学仪器 ····· 140
4.3.1　眼睛 ····· 140
4.3.2　放大镜 ····· 142
4.3.3　显微镜 ····· 143
4.3.4　望远镜 ····· 144
习题 4 ····· 145

第 5 章　波动光学 …… 147
5.1　光波的干涉 …… 148
5.1.1　相干叠加与非相干叠加 …… 148
5.1.2　光波的相干条件 …… 149
5.1.3　杨氏双缝干涉实验 …… 149
5.2　光波的衍射 …… 154
5.2.1　光的衍射现象及其一般规律 …… 154
5.2.2　单缝的夫琅禾费衍射 …… 157
5.2.3　光栅的夫琅禾费衍射 …… 164
5.3　光波的偏振 …… 168
5.3.1　自然光 …… 169
5.3.2　线偏振光 …… 169
5.3.3　偏振片的起偏 …… 170
5.3.4　偏振片的检偏 …… 171
5.3.5　马吕斯定律 …… 172
习题 5 …… 173

第四篇　热　　学

第 6 章　气体动理论与热力学 …… 179
6.1　系统的状态及其描述 …… 180
6.1.1　热力学系统 …… 180
6.1.2　无规则热运动 …… 180
6.1.3　平衡态 …… 181
6.1.4　状态参量 …… 182
6.1.5　理想气体的状态方程 …… 183
6.2　理想气体的压强和温度 …… 184
6.2.1　压强及其微观解释 …… 184
6.2.2　温度的微观本质 …… 186
6.3　气体的内能 …… 188
6.4　气体、液体、固体和物态变化 …… 189
6.5　热力学第零定律 …… 191
6.6　热力学第一定律 …… 191
6.6.1　热力学过程 …… 191
6.6.2　热量、功和内能 …… 192
6.6.3　热力学第一定律的具体表述 …… 194
6.6.4　再论能量守恒定律 …… 195

6.7　热力学第二定律 …… 195
6.7.1　热机与制冷机 …… 195
6.7.2　热力学第二定律的具体表述 …… 197
6.7.3　熵和熵增加原理 …… 200
6.8　热力学第三定律 …… 204
习题 6 …… 205

第五篇　电　磁　学

第 7 章　真空中的静电场 …… 211
7.1　电荷及其基本属性 …… 211
7.1.1　电荷与电荷的种类 …… 211
7.1.2　电荷的量子性 …… 213
7.1.3　电荷守恒定律 …… 214
7.1.4　电荷之间的相互作用力 …… 214
7.2　电场强度 …… 218
7.2.1　电场 …… 218
7.2.2　电场强度的定义 …… 219
7.2.3　电场强度的叠加原理 …… 220
7.2.4　电场强度的计算 …… 221
7.3　矢量场的描述 …… 228
7.3.1　矢量场的场线 …… 228
7.3.2　矢量场的通量 …… 228
7.3.3　矢量场的环流 …… 230
7.4　静电场的高斯定理 …… 231
7.4.1　电场线 …… 231
7.4.2　电通量 …… 233
7.4.3　静电场的高斯定理的推导和表述 …… 234
7.4.4　高斯定理的应用 …… 236
7.5　静电场的环路定理　电势 …… 240
7.5.1　静电场力做功的特性 …… 240
7.5.2　静电场的环路定理 …… 241
7.5.3　电势能 …… 242
7.5.4　电势　电势差 …… 242
7.5.5　电势叠加原理 …… 243
7.5.6　电势的计算 …… 244

7.6　由电势分布求电场强度 …… 246
习题 7 …… 248
第 8 章　静电场中的导体和电介质 …… 253
8.1　静电场中的导体 …… 254
8.1.1　导体、绝缘体和半导体 …… 254
8.1.2　导体的静电平衡条件 …… 255
8.1.3　静电平衡导体上电荷的分布 …… 256
8.1.4　导体空腔与静电屏蔽 …… 259
8.1.5　有导体时静电场的分析与计算 …… 261
8.2　静电场中的电介质 …… 262
8.2.1　电介质的极化实验与极化现象 …… 262
8.2.2　电介质极化的理论解释 …… 263
8.2.3　有电介质时的高斯定理和环路定理 …… 266
8.3　电容 …… 269
8.3.1　电容器的电容 …… 269
8.3.2　平行板电容器 …… 271
8.4　电场能量 …… 273
8.4.1　电容器储能 …… 273
8.4.2　电场的能量 …… 275
习题 8 …… 277
第 9 章　恒定磁场 …… 282
9.1　磁场与磁场力 …… 283
9.1.1　基本磁现象 …… 283
9.1.2　恒定磁场 …… 284
9.1.3　磁感应强度 …… 286
9.1.4　洛伦兹力 …… 287
9.1.5　安培力 …… 293
9.2　磁感应强度的计算 …… 296
9.2.1　毕奥–萨伐尔定律 …… 296
9.2.2　毕奥–萨伐尔定律的应用 …… 297
9.2.3　运动电荷的磁场 …… 301
9.3　磁场的高斯定理 …… 303
9.3.1　磁场线 …… 303
9.3.2　磁通量 …… 304
9.3.3　磁场的高斯定理 …… 305

9.4　安培环路定理 …… 306
9.4.1　安培环路定理的推导与表述 …… 307
9.4.2　安培环路定理的应用举例 …… 309
9.5　磁介质和有磁介质时的安培环路定理 …… 312
9.5.1　磁介质及其磁化的实验设计 …… 313
9.5.2　磁介质磁化的微观机制 …… 314
9.5.3　有磁介质时的磁场高斯定理和安培环路定理 …… 315
习题 9 …… 318
第 10 章　电磁感应 …… 324
10.1　电磁感应的基本定律 …… 324
10.1.1　电磁感应现象的发现 …… 324
10.1.2　动生电动势 …… 326
10.1.3　法拉第电磁感应定律 …… 328
10.2　感生电动势　感生电场 …… 333
10.2.1　感生电动势的非静电力　感生电场 …… 333
10.2.2　感生电场的性质 …… 333
10.3　自感和互感 …… 335
10.3.1　自感 …… 335
10.3.2　互感 …… 337
10.4　磁场的能量 …… 339
10.4.1　自感储能 …… 339
10.4.2　磁场的能量 …… 341
习题 10 …… 342
第 11 章　麦克斯韦电磁场理论基础 …… 347
11.1　位移电流 …… 348
11.1.1　位移电流的引出和定义 …… 348
11.1.2　位移电流的磁场 …… 351
11.2　麦克斯韦电磁场理论 …… 352
11.2.1　电磁场的基本规律 …… 352
11.2.2　麦克斯韦方程组 …… 352
11.3　电磁波 …… 355
11.3.1　电磁波的产生和接收 …… 355
11.3.2　电磁波的性质 …… 358
11.3.3　电磁波谱 …… 358
习题 11 …… 364

第六篇　近现代物理学

第 12 章　近现代物理发展简介 …… 369
12.1　相对论简介 …… 370
12.1.1　相对论的产生背景 …… 370
12.1.2　狭义相对论的基本假设和洛伦兹变换 …… 373
12.1.3　狭义相对论时空观 …… 374
12.1.4　狭义相对论动力学 …… 376
12.1.5　狭义相对论思想总结 …… 377
12.1.6　广义相对论简介 …… 378
12.2　量子力学简介 …… 378
12.2.1　量子力学的发展简史 …… 378
12.2.2　量子化的概念 …… 381
12.2.3　电子的波粒二象性 …… 381
12.2.4　不确定关系 …… 381
12.2.5　薛定谔方程 …… 382
12.2.6　孤立氢原子中的电子 …… 383
12.2.7　其他孤立原子中的电子 …… 384
12.2.8　量子力学和广义相对论 …… 384
12.3　1930 年后的物理学主流发展简介 …… 384
12.3.1　固体物理学 …… 384
12.3.2　凝聚态物理学 …… 385
习题 12 …… 387
参考文献 …… 390
附录 …… 391

第一篇　力　　学

浩瀚的星空、神秘的宇宙、壮丽的太阳系、美丽的地球、辽阔的大地、无垠的海洋、巍峨的山脉、宏伟的建筑、飞驰的汽车……这些都是我们身边多彩多姿的宏观现象. 这些宏观现象的运动规律可以用力学(mechanics)进行描述. 力学是物理学的基础分支，和其他物理学分支有着千丝万缕的联系，近代物理学的两大理论——相对论和量子理论的形成都受到经典力学的影响. 力学的基础研究深刻地影响着我们的生活，我们可以在一夜之间架起一座桥梁，可以在几个小时内到达遥远的地方，可以上天入地，使用的工具都离不开力学知识. 目前，力学的物理内容仍在不断发展和深化，并且与其他学科前沿交叉发展，形成了许多新的分支学科.

力学不仅具有很强的基础性，同时具有广泛的应用性. 力学的应用和研究遍及各个工程技术领域，诸如机械工程、土木与水利工程、爆炸与抗爆工程、抗震工程、航空航天技术以及航海技术等.

力学的研究对象是物体的机械运动(mechanical motion). 通常把力学理论分为运动学(kinematics)和动力学(dynamics). 运动学只描述物体的运动规律，不涉及形成这些规律的原因. 而动力学则研究运动发生的原因，即物体间的相互作用及其对物体运动的影响. 一个石子从天上掉下来，它的速度怎么变化，轨迹如何，这些属于运动学的内容. 至于它的速度为什么要这样变化，和哪些物体对它的作用有关，则属于动力学内容.

第 1 章　质点运动学

飞行表演

物体的平动是最简单、最普遍的机械运动. 本章重点讨论一维平动物体(可视为质点)运动状态的描述和运动规律，如上图所示的飞行表演. 飞行表演是为了展示飞行技术和飞机性能. 执行该任务的是航空兵分队，飞行人员需要经过严格挑选和训练. 飞行表演队通常在礼仪迎宾、重大活动、航空航天展览会、军事演习、基地开放或受邀访问等场合进行表演，一般分为单机表演和多机编队表演. 飞行轨迹可形成各种规则的彩色拉烟图案. 如何描述飞机的运动状态、如何确定它的轨迹等正是本章的主要内容. 讨论过程中的关键点在于应用微积分思想理解和处理运动学问题.

1.1　时间和长度

古代，人们通过对地面物体和天体运动的观察，逐渐形成了物体的空间位置和时间的概念. 中国战国时期在《墨经》中就已有运动、时间和空间的描述. 距今约 4100 年，我们的祖先就已经发明了最原始的计时器——“土圭”(又称圭

表)，后来发展为“日晷”. “日晷”是通过观测阳光投影计时的，如图 1.1 所示.

图 1.1　日晷

在西方，伽利略的工作一般被看成物理学的开端. 伽利略对之前运动的研究持怀疑的态度，他从实验出发，观察一个球沿斜面滚下，测量小球在相等的时间间隔内运动了多远的距离. 而当时他是用自己的脉搏来数出相等时间间隔的.

对于运动学而言，它所讨论的基本问题是物体“什么时间，在什么地方”，因此对时间和长度的度量就显得尤为重要.

1.1.1　时间

时间是国际单位制中七个基本物理量之一，是目前所有物理量中测量精度最高、应用最广的物理量. 虽然我们不好给出时间的具体定义，但我们可以测量它. 一般测量时间的方法都是基于周期性运动的原理. 伽利略通过观察教堂中摆动的吊灯断定，一个摆幅很小的单摆，来回摆动(类似于荡秋千)的时间间隔是相等的，而这个时间间隔取决于摆长. 如果我们制造一个单摆，它在一个小时内摆动了 3600 次，那么就可以把它每摆动一次的时间定义为 1 秒. 利用相同的原理，如果某种周期性运动的周期更短，就可以把秒“分成”更小的间隔，比如现在最精确的授时仪器原子钟，它可以把 1 秒“分成”9192631770 个相等的时间间隔.

现代科学技术的发展是建立在精密的实验测量基础之上的，高精度授时已经成为一个国家科技、经济、军事和社会生活中至关重要的问题，其应用范围从基础研究到工程技术应用领域，关系到诸多重要部门的各个方面，直接关系着国家和社会的安全与稳定. 时间精度研究水平是一个国家核心竞争力的重要体现，尤其在现代信息时代，原子钟及与时间精度相关的高技术产品已成为一个国家的战略资源. 目前，我们的北斗系统已经发展成熟，其搭载的国产原子钟可以提供精确的授时服务.

中国计量科学研究院研制的 NIM5 铯原子喷泉钟，2000 万年误差不超过 1 秒，目前已成为国际计量局认可的基准钟之一，参与国际标准时间修正. 2018 年 11 月 7 日，在第十二届中国国际航空航天博览会上，激光抽运铯原子钟 TA1000 正式发布，此款产品实现了国产铯原子钟的商业化应用，如图 1.2 所示.

图 1.2　铯原子钟

对于长的时间，不能用数周期的方法来测量，我们可以寻找其他测量方法. 最成功的方法之一就是利用放射性材料，它并没有如昼夜交替的周期性，但是它有新的规律. 我们发现，某材料的放射性原子数量在时间 T 内会减小到初始值的一半(T 称为它的“半衰期”)，再经过 T 的时间，它的放射性原子数量就减小到初始值的 1/4. 如果我们知道一块石头在形成时的放射性原子数量和现在的数量，就可以计算出它的年龄. 比如铀的一种同位素，它的半衰期是 10^9 年，衰变后变成了铅. 假若现在有一块岩石，在很久以前形成，由于铅和铀性质不同，在岩石形成后出现的位置是不同的. 今天我们研究它时，发现原来应该只有铀存在的地方，有确定比例的铀变成了铅，利用这一比例，就可以计算出岩石的年龄. 用同样的方法，科学家找到和地球同时期形成的岩石并计算出它的年龄，由此可以得到地球的年龄大约为 45 亿年.

前面我们已经讲过，用铯原子钟可以测量大约 10^{-10} s 的时间. 有的时间比 10^{-10} s 还短，如一个分子中的一个原子完成一次典型振动需要 10^{-14} s，π^0 介子的寿命大约为 10^{-16} s，光通过氢原子核的时间大约为 10^{-24} s. 那么是否存在更小的时间？按照经典物理观点，时间是无限连续的，因此一定存在更短的时间间隔. 那么最短的时间间隔是什么呢？牛顿经过长时间的思考，提出了无穷小时间的概念，用 $\mathrm{d}t$ 表示，这里 d 是一个数学符号，表示无穷小变化量，它与Δ(代表变化

量)类似. 一般 t 表示时间，则 $\mathrm{d}t$ 表示一个无穷小时间间隔，Δt 表示一段时间间隔. x 表示长度，则 $\mathrm{d}x$ 表示一个无穷小长度，Δx 表示一段长度. 把一个任意的宏观过程分成无穷多个无穷小过程(微分思想)是牛顿处理运动学问题的基本思路. 根据现代物理学的观点，时间并不一定是无限连续的，可能存在最小的时间间隔，即普朗克时间(量级为 10^{-44} s). 到目前为止，这一结果尚需实验的进一步验证. 如果确实存在最小时间间隔，严格来讲，我们使用无穷小时间的概念就是错误的. 但是，仅对于数学处理而言，把一个持续了 1 s 的宏观物理事件分成无穷多个无穷小过程，或者是按最小时间间隔分成 10^{44} 个微小过程，其计算结果的差别对于宏观事件是没有意义的. 对于宏观物理过程，是否存在最小时间间隔并不影响我们使用微积分思想处理物理问题的正确性. 但是这并不是说是否存在最小时间间隔没有意义. 恰恰相反，如果可以证明存在最小时间间隔，那将是一个革命性的结果，它将颠覆我们对整个世界的认识.

在处理运动学问题时，一般需要研究物体在很短的时间间隔乃至“一瞬间”的运动状态，即需要考虑当 Δt 趋于0 时(无穷小的一段时间 $\mathrm{d}t$ 内)物体的运动情况. **把一个持续了一段时间的宏观运动过程分成无穷多个无穷小过程，研究 t 到 $t+\mathrm{d}t$ 这一无穷小过程，并把这一无穷小时间间隔内物体的运动定义为 t 时刻物体的瞬时运动是处理运动学问题的通用方法.**

1.1.2　长度

在我们的日常生活中，测量一个物体(如一本书)的长度是容易的. 那么，怎么测量两个山顶间的距离？怎么测量人造卫星的高度？怎么测量两个恒星之间的距离？对于这么远的距离，一般可以使用三角法度量. 在地球表面已知距离的两点 A 和 B 用望远镜观察卫星 C，测出望远镜的两个倾角，就可以计算出卫星的高度，如图 1.3 所示. 利用三角法，只要我们选择的两点 A 和 B 足够远，就可以测量更远的距离，如我们到银河系中心的距离、银河系和其他星团的距离等. 另一种测距的方法是使用激光器. 如用激光器照射月球表面，测量光来回需要的时间，即可得到月球与我们的距离.

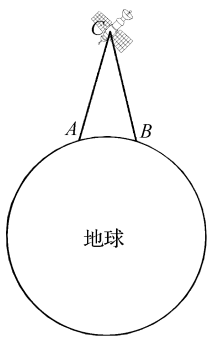

图 1.3　计算卫星高度示意图

对于一段较短距离的测量，利用光学显微镜通常最小可以观察到约 200 nm 的物体. 利用电子显微镜可以观察到更小的距离，比如原子(10^{-10} m). 原子核的大小只有 10^{-15} m，原子核的大小又是怎么测量的呢？用高能 α 粒子照射一块金箔，高能粒子可以轻易地穿过电子云，只有碰在原子核上的高能粒子才能被反射. 根据

穿过金箔高能粒子和反射高能粒子数目的比值，就可以估算出原子核的大小. 这就是著名的 α 粒子散射实验. 这已经是我们目前能够测量的微小长度的极限了. 是否存在一个最小的长度呢？同样，根据经典物理的观点，空间也是无限连续的，因此一定存在更小或者是无穷小的空间间隔. 而现代物理学指出，长度也不一定是无限连续的，可能存在最小的空间间隔，即普朗克长度(量级为 10^{-35} m)，这一观点目前同样需要进一步实验验证. 如果确实存在最小空间间隔，严格来讲，我们使用无穷小长度概念也是错误的. 和前面讨论无穷小时间类似，对于宏观物理过程，无论是否存在最小空间间隔，都不影响我们把一个宏观距离分为无穷多个无限小距离这一思想(微分的思想)的正确性. 同样，存在最小空间间隔的论断也将会完全改变我们对整个世界的看法.

一个较短的空间长度一般用 Δs 来表示，s 表示物体运动的路径. 在处理一般的物理问题时，还需要研究物体在更短的空间间隔内的情况，即需要考虑当 Δs 趋于 0 时，无穷小长度 $\mathrm{d}s$ 内物体的运动情况. **把一个具有确定路径的宏观运动过程分成无穷多个无穷小过程，研究 s 到 $s+\mathrm{d}s$ 这一无穷小过程也是处理很多物理问题的通用方法.**

1.2　质点和参考系

对于一个在空间运动的物体，如何描述它的运动状态呢？伟大的物理学家伽利略通过研究物体在一次脉搏跳动过程中空间位置的变化来研究物体的运动. **测量物体在确定时间的确定位置是运动学的关键工作**. 为了测量运动物体的时间，我们需要使用计时器，并选定某一个时间作为计时起点. 为了测量物体的空间位置，需要将物体抽象为质点，建立坐标系，并通过物体相对于坐标原点的位置确定其方位.

1.2.1　质点

物体的运动形式是多种多样的，如运动的天体、轨道上的卫星、冲天而起的火箭、呼啸而过的飞机、巡航的航空母舰等. 运动同时也是复杂的. 如何描述物体的位置并不是一件容易的事情. 最大的困难在于物体都有一定的大小和形状，物体各部分的运动情况并不相同. 比如巡航中的舰艇、飞机等，它们的发动机、操纵系统、武器系统等运动都很复杂，要详细地描述各个部件的运动几乎是不可能的.

然而，在现实生活中，我们往往只关心物体作为一个整体的运动，并不需要知道内部各零件的运动. 比如战斗机，如果我们关心的是它在多长时间能飞行多远，它的整体俯冲和爬升情况等，而不关心它的旋转运动和内部部件运动，则完全可以把它抽象成一个有质量的几何点. 人类居住的地球在绕太阳公转，同时又

在自转，地球表面各点与太阳的距离在不断变化. 考虑到地球与太阳的距离远远大于地球的直径，在研究地球的公转时，由地球自转而引起地球表面各点的运动差异完全可以忽略不计，可以把它抽象成一个有质量的几何点. 同样，在研究航天器(如卫星、宇宙飞船等)的运动轨道、航母的运动轨迹时，不必考虑它的形状是大是小、姿态是正是斜，也可以把它们抽象成一个理想的几何点.

对于不需要考虑转动的平动物体，我们可以忽略物体的大小和形状，而突出“物体具有质量”这一要素，把它简化为一个有质量的点，这样的点称为质点(particle). 物体能否被看成质点，与它的体积大小无关. 比如游过的鲸鱼，如果我们只关心它的整体运动，依然可以用一个点的运动来代替整个鲸鱼的运动. 一个物体是否可以看成质点主要取决于我们关心的是它的哪种运动.

一般而言，凡是研究的运动牵扯到了转动，如地球的自转、轮子的转动或者表演飞机的翻滚等，它们就不能被看作一个“几何点”，因为“点”不能旋转. 对转动物体状态的描述不能采用本章和第 2 章讲解的方法，需要引入新的理想模型和描述方法，这些内容不在本教材讨论范围之内.

1.2.2 参考系

站在地面上看飞行的客机，客机和乘客自然向前运动，它的位置在不断地变化. 对于客机中的乘客来说，他认为自己的位置是不变的. 显然，任何位置、距离的测量都必须相对于特定参考物体而言. 同一运动，从不同的视角看到的结果往往是不同的. 要确定物体的运动情况，必须首先选择好参考物体，然后观察其他物体是静止的还是运动的，以免引起混乱. 这个被作为参考的物体称为参照物. 相对参照物静止的三维平直空间结合时间，则构成该参照物对应的参考系(reference frame). 确定了参考系，就可以在它上面建立坐标系(coordinate system)来描述物体的位置了.

严格来讲，凡是提到某运动，都应该指明它是相对于哪个参考系而言的. 但是在日常生活中，我们说“飞机飞过去了”，并没有指明它是相对于什么参考系而言，也不会有误解，那是因为我们默认地面为参考系. 地面是最常用的参考系. 处理地面上物体的运动问题时，坐标系一般都是建立在地面上的. 例如，当研究一个在平直公路上运动的汽车时，一般只需要沿公路建立一维坐标系就可以了.

1.3 一维运动的描述

1.3.1 运动方程

为了确定物体空间位置随时间的变化，必须测量它在任意时刻的位置. 在刚

接触这个问题时，我们先考虑最简单的情况，即一维直线运动. 如图 1.4 所示，一个在平直公路上运动的汽车，将汽车视为质点，沿公路建立一维直角坐标系，坐标轴 x 轴正方向与汽车运动方向相同，将汽车启动的位置选为坐标原点 O，启动时开始计时. 我们可以把测量结果记录在表格里，如表 1.1 所示. 这一方法称为图表法.

图 1.4　描述平直公路上汽车运动的坐标系

表 1.1　汽车运动的图表法描述

t/s	x/m	t/s	x/m
0	0	7	40
1	1	8	52
2	3	9	64
3	6	10	76
4	11	11	88
5	18	12	100
6	28	13	112

另一种方法是用函数曲线描述. 在直角坐标系中，横轴代表时间，纵轴代表位置，根据表 1.1 就可以得到如图 1.5 所示的曲线. 这条曲线的函数关系并不能很快找到，我们可以把这个函数关系抽象地写为

$$x = x(t) \tag{1.1}$$

它表示 x 是 t 的函数，该函数关系给出了汽车运动的所有信息. 我们把**质点位置与时间的函数关系称为质点的运动方程**.

在上面汽车的一维运动中，汽车始终沿 x 轴正方向运动，其坐标位置一直为正，它可以完全确定汽车的空间位置. 再看一个例子，假设一个运动员在平直的跑道上做往返跑训练，将跑道中点取为坐标原点，运动员开始跑步作为计时零

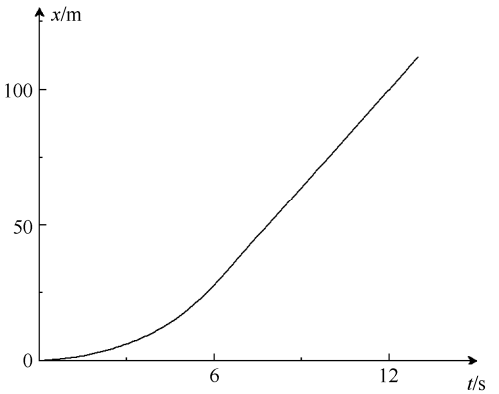

图 1.5　汽车运动位置和时间的关系

点，我们同样记录下运动员每经过 1 s 的坐标位置，即可描述运动员的运动，如表 1.2 所示.

表 1.2　运动员运动的图表法描述

t/s	x/m	t/s	x/m
0	0	7	−5
1	5	8	0
2	0	9	5
3	−5	10	0
4	0	11	−5
5	5	12	0
6	0	13	5

在运动员的往返跑运动中，运动员的坐标 x 表示他的位置，坐标是可正可负的. 当 $x > 0$ 时，表示运动员在原点的右侧；当 $x < 0$ 时，表示运动员在原点的左侧. 显然，**在一维运动中，质点坐标可以完全确定质点的空间位置**.

1.3.2　位移

在图 1.6 中，运动员在 $t = 1$ s 时，$x_1 = 5$ m；$t = 3$ s 时，$x_3 = -5$ m；$t = 5$ s 时，$x_5 = 5$ m. 运动员第 3 s 的位置相对于第 1 s 的位置变化为

$$\Delta x = x_3 - x_1 = -10\text{m}$$

运动员第 5 s 的位置相对于第 3 s 的位置变化应为

$$\Delta x = x_5 - x_3 = 10\text{m}$$

运动员第 5 s 的位置相对于第 1 s 的位置变化应为