



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
2009年普通高等教育精品教材
上海市高校优秀教材



新编基础物理学

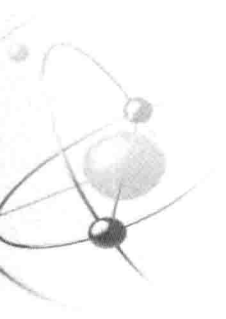
上册

(第二版)

王少杰 顾 牡 吴天刚 主编



科学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
2009年普通高等教育精品教材
上海市高校优秀教材

PHYSICS

新编基础物理学 (第二版) (上册)

王少杰 顾 牡 吴天刚 / 主 编
罗时军 凌 虹 刘钟毅 / 副主编

科学出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，2009年被教育部列为普通高等教育精品教材。本书依照教育部最新颁布的物理学课程教学基本要求编写，书中系统阐述了大学物理学的基本概念、基本理论和基本方法，并融入作者多年教学经历所积累的成功经验。编写理念上，强调培养学生物理思想和物理方法；内容选取上，根据“保证宽度、加强近代、联系实际、涉及前沿”的原则，强调精炼适当；编写风格上，力求深入浅出、简洁流畅。考虑当前学生学习和教师教学特点，本书配备了习题分析与解答，学习指导与能力训练以及电子教案等资源，以备选用。全书分两册，上册包括力学篇，机械振动、机械波篇和热学篇；下册包括电磁学篇，光学篇和量子物理基础篇。值得一提的是，本书在有关章节中适当引入计算机数字技术应用案例，以引导学生自主式、研究式学习，以期激发学生的学习兴趣；同时在本书的每章均设置二维码，让学生自主扫描获得动画、视频和演示实验等资料，从而拓展大学物理的教学内容，培养学生探索精神和创新意识。

本书适合高等学校工科各专业学生学习使用，也可作为教师和相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新编基础物理学. 上册 / 王少杰, 顾牡, 吴天刚主编. —2版. —北京: 科学出版社, 2014.7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-041316-1

I. ①新… II. ①王… ②顾… ③吴… III. 物理学 - 高等学校 - 教材
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 143943 号

责任编辑: 奚京涛 昌盛 / 责任校对: 钟洋

责任印制: 阎磊 / 封面设计: 速底书装

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年1月第一版 开本: 787×1092 1/16

2014年7月第二版 印张: 17

2014年7月第一次印刷 字数: 442000

定价: 35.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

《新编基础物理学》自 2009 年 1 月面世以来, 历时五载, 深得广大师生厚爱, 并被全国数十所高校选作教材或参考书, 获得社会广泛的好评和赞扬。同时被列为教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材及普通高等教育精品教材。在此编者深表感谢!

本书是在 2009 年版基础上修订而成的, 修订时, 在保持原有风格和特色基础上, 对全书教学内容、例题设置、习题安排、图片选择以及教育技术的运用等均重新进行了审视、调整和挖掘, 从而紧跟我国高等教育发展日新月异的新形势。为此我们作了以下工作:

1. 在教学内容的设置上遵循让学生深刻理解物理思想、明晰物理图像、建立正确物理概念、贴近社会实际的原则, 设置了适合大多数普通高等院校学生实际的教学内容和习题安排。如重点改写了狭义相对论, 删去了高速物体的视觉效应、几何光学等内容; 调整和撤换了近 1/5 的习题, 使学生通过作业更贴近工程实际和日常生活, 增加了若干能激发学生学习兴趣的图片、动画和视频等。

2. 在教育技术应用上, 一是增加了计算机数字技术应用的案例, 在有关章节中适当地引入数值计算问题, 以引导学生自主式、研究式学习, 培养学生运用信息技术工具解决问题的能力, 二是在每章均设置了二维码, 让学生自主扫描、获得动画、视频、物理演示实验、程序设计等内容, 从而拓展了大学物理的教学内容和研究方法, 培养了学生的探索精神和创新意识。

3. 在版式设计上, 本书采用全彩色印刷, 并以图文并茂, 色彩艳丽、赏心悦目的效果展示于读者, 从而进一步激发学生学习和阅读的兴趣。

4. 进一步改正了原书中出现的印刷错误及个别欠确切的内容和词句, 并

前 言

对文字作了进一步润色，从而使全书文句通畅、通俗易懂、好教好学。

参加本书改编工作的有同济大学顾牡、王祖源、吴天刚、倪忠强、王少杰；同济大学浙江学院刘钟毅；大连海洋大学杨桂娟；湖北汽车工业学院罗时军；河南农业大学李聪、李辉；华北水利水电大学凌虹；上海第二工业大学滕琴等老师，他们对本书的改编提出了若干有价值的意见和建议。倪忠强、吴天刚电脑绘制了全书所有的插图和彩色图片；吴天刚为全书每章设置了二维码；最后由主编王少杰、顾牡、吴天刚统稿、核定。另外，刘钟毅等老师为本书研制了电子教案；王祖源、滕琴、刘钟毅等老师为本书编写了学习指导和能力训练；吴天刚、杨桂娟等老师为本书编写了习题分析和解答，在此表示由衷的感谢！

本书的改编得到同济大学教务处的资助，被列为同济大学“十二五”规划教材，本书始终得到同济大学国家工科物理课程教学基地，同济大学物理科学与工程学院，物理教研室的关注和支持，科学出版社高教数理分社社长昌盛和本书责任编辑窦京涛为本书的出版付出了诸多心血，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者学识水平和教学经验所限，虽经多次审校，限于时间紧迫，不当之处在所难免，敬请广大教师、读者指正。

编 者

2013年11月

于同济瑞安楼

第一版前言摘录

本教材是参照教育部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会于2008年颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(以下简称《教学基本要求》),在原教材《基础物理学》(获2007年度上海市优秀教材奖)基础上重新改编而成的。改编时在基本保留原有特色和风格的基础上,结合当前高等教育新形势,对全书的内容作了重新审视及必要的调整和增删,以使本教材成为一本既符合大学物理《教学基本要求》,又适应教育发展趋势,适合大多数普通高等院校各类专业的物理教学需要的优秀教材。

非物理类专业的大学生学习物理学的目的在于:使学生对物理学的基本概念、基本理论和基本方法有比较系统的认识和正确的理解,并为进一步学习打下必要而坚实的基础。同时,着力培养学生树立科学的世界观,增强学生分析问题和解决问题的能力,培养学生的探索精神和创新意识,以实现学生知识、能力、素质的协调发展。

改编后,全书共6篇17章,分上、下两册出版,上册包括第1篇力学,第2篇机械振动、机械波和第3篇热学,下册包括第4篇电磁学、第5篇光学和第6篇量子物理基础。书中凡冠以“*”号的章、节、习题供教师根据课时数和专业需求选用。经适当选择后,本书可作为100~140学时理工科大学物理课程的教材,也可供相关专业的师生选用和参考。

参加本书改编工作的有同济大学顾牡、王少杰,大连交通大学邱明辉,大连水产学院杨桂娟,湖北汽车工业学院罗时军,河南农业大学赵安庆,北京服装学院施昌勇和上海第二工业大学刘传先、滕琴等。上述各位老师分工合作,

第一版前言摘录

对各人所承担的章、节内容和习题，逐字逐句精心审视、提炼，提出了许多有价值的改编意见和建议，最后由主编王少杰、顾牡统稿核定。

本书改编、出版过程中，始终得到同济大学教务处，同济大学国家工科物理课程教学基地和科学出版社数理分社的关注、帮助和支持，昌盛、胡云志担任本书责任编辑，为本书的出版，付出了辛勤的汗水，并作了出色的工作，在此一并表示诚挚的谢意。

限于时间紧迫，编著水平有限，虽经多次审校，教材中缺点、错误及不当之处在所难免，恳请专家、同行和读者斧正。

编 者

2008年10月

目 录

前 言

第一版前言摘录

第 1 篇 力学

第 1 章 质点运动学

1.1 参考系 时间和空间的测量.....4	
1.1.1 参考系 坐标系.....4	
1.1.2 时间的测量.....4	
1.1.3 长度的测量.....5	
1.2 质点运动的矢量描述.....5	
1.2.1 质点.....5	
1.2.2 位矢 运动方程和轨迹方程.....6	
1.2.3 速度 加速度.....7	
1.2.4 自然坐标系 切向加速度和法 向加速度.....11	
1.3 相对运动.....15	
习题 1.....16	

第 2 章 质点动力学

2.1 牛顿运动定律.....20	
2.1.1 牛顿运动定律.....20	
2.1.2 国际单位制 量纲.....21	
2.1.3 常见的力.....22	
2.1.4 牛顿运动定律的应用.....24	
*2.1.5 非惯性系 惯性力.....28	
2.2 动量和动量守恒定律.....29	
2.2.1 质点和质点系的动量定理.....29	
2.2.2 动量守恒定律.....32	
2.3 功、机械能和机械能守恒定律.....35	
2.3.1 功 功率.....35	
2.3.2 动能和质点动能定理.....40	
2.3.3 质点系动能定理.....42	

2.3.4 势能和势能曲线.....43	
2.3.5 功能原理 机械能守恒定律.....46	
2.4 质点的角动量和角动量守恒定律.....51	
2.4.1 力对参考点的力矩.....51	
2.4.2 质点角动量.....52	
2.4.3 质点的角动量定理.....52	
2.4.4 质点角动量守恒定律.....53	
2.4.5 质点系的角动量定理和角动量 守恒定律.....55	
习题 2.....56	

第 3 章 刚体力学基础

3.1 刚体运动的描述.....63	
3.1.1 刚体.....63	
3.1.2 刚体的自由度.....63	
3.1.3 刚体运动的几种形式.....63	
3.1.4 刚体定轴转动的描述.....64	
3.2 刚体定轴转动定律 角动量守恒 定律.....65	
3.2.1 力矩.....65	
3.2.2 定轴转动定律 转动惯量.....66	
3.2.3 刚体定轴转动的角动量和角动 量定理.....71	
3.2.4 定轴转动刚体的角动量守恒定律...71	
3.3 刚体的能量.....73	
3.3.1 刚体定轴转动的动能和动能定理...73	
3.3.2 刚体的重力势能.....75	
*3.4 陀螺的运动 进动.....77	
3.4.1 不受外力矩作用的陀螺.....77	
3.4.2 陀螺的进动.....78	
习题 3.....80	

第 4 章 狭义相对论

4.1 爱因斯坦的两个基本假设.....85	
------------------------	--

4.1.1 伽利略相对性原理和牛顿力学的时空观	85
4.1.2 迈克耳孙 - 莫雷实验的零结果	88
4.1.3 爱因斯坦的两个基本假设	90
4.2 爱因斯坦的时空观	90
4.2.1 同时性的相对性	91
4.2.2 时间延缓	92
4.2.3 长度收缩	94
4.3 洛伦兹坐标变换和速度变换	98
4.3.1 洛伦兹坐标变换	98
4.3.2 洛伦兹速度变换	101
4.4 几个经典佯谬	103
4.4.1 因果关系	103
4.4.2 孪生子佯谬	104
4.5 相对论动力学基础	105
4.5.1 相对论质量和动量	105
4.5.2 相对论能量	107
习题 4	111

第 2 篇 机械振动 机械波

第 5 章 机械振动

5.1 简谐运动	116
5.1.1 简谐运动的特征及其运动方程	116
5.1.2 简谐运动方程中的三个基本物理量	117
5.2 简谐运动的旋转矢量表示法	119
5.2.1 旋转矢量表示法	119
5.2.2 旋转矢量图的应用	120
5.3 单摆和复摆	122
5.3.1 单摆	122
5.3.2 复摆	123
5.4 振动的能量	124
5.5 简谐运动的合成	126
5.5.1 同方向、同频率的两个简谐运动的合成	126
5.5.2 同方向、不同频率的两个简谐运动的合成 拍	128

*5.5.3 相互垂直的两个简谐运动的合成	130
5.6 阻尼振动 受迫振动 共振	132
5.6.1 阻尼振动	132
5.6.2 受迫振动 共振	133
习题 5	136

第 6 章 机械波

6.1 机械波的产生、传播和描述	140
6.1.1 机械波的形成	140
6.1.2 横波与纵波	140
6.1.3 波的几何描述	141
6.1.4 波速 波长 周期 (频率)	142
6.2 平面简谐波的波函数	143
6.2.1 平面简谐波波函数的建立和意义	143
*6.2.2 波动方程	146
6.3 波的能量	148
6.3.1 波动能量的传播	148
6.3.2 能流和能流密度	150
6.3.3 波能量的吸收	151
6.4 惠更斯原理波的衍射、反射和折射	152
6.4.1 惠更斯原理	152
6.4.2 波的衍射	152
6.4.3 波的反射和折射	153
6.5 波的干涉	155
6.5.1 波的叠加原理	155
6.5.2 波的干涉条件和公式	155
6.6 驻波	158
6.6.1 驻波的产生	158
6.6.2 驻波方程	159
6.6.3 驻波的能量	161
6.6.4 半波损失	161
6.6.5 振动的简正模式	162
6.7 多普勒效应	163
6.7.1 波源静止, 观察者以 u_R 相对于介质运动	164
6.7.2 观测者静止, 波源以 u_s 相对于介质运动	165

6.7.3 波源以 u_s 运动, 观测者以 u_R 运动 (相向为正).....	166
*6.8 声波 超声波 次声波.....	167
6.8.1 音量、音调和音色.....	167
6.8.2 声压.....	168
6.8.3 次声波.....	169
6.8.4 超声波.....	169
习题 6.....	171

第 3 篇 热学

第 7 章 气体动理论

7.1 热力学系统 平衡态 状态参量.....	178
7.1.1 热力学系统.....	178
7.1.2 平衡态.....	178
7.1.3 状态参量.....	179
7.2 理想气体状态方程.....	180
7.3 理想气体的压强.....	183
7.3.1 理想气体的微观模型.....	183
7.3.2 平衡状态气体的统计假设.....	183
7.3.3 理想气体的压强公式.....	184
7.4 理想气体的温度公式.....	186
7.5 能量均分定理 理想气体内能.....	187
7.5.1 自由度.....	188
7.5.2 能量均分定理.....	189
7.5.3 理想气体的内能.....	189
7.6 麦克斯韦速率分布律.....	191
7.6.1 速率分布和分布函数.....	191
7.6.2 理想气体分子的麦克斯韦速率分布律.....	192
7.6.3 三种速率.....	193
7.6.4 麦克斯韦速率分布的实验验证.....	194
*7.7 玻尔兹曼分布.....	196
7.7.1 玻尔兹曼分布律.....	196
7.7.2 重力场中微粒按高度的分布.....	197
7.8 气体分子的平均自由程和碰撞频率.....	197
*7.9 气体的内迁移现象.....	200
7.9.1 内摩擦现象.....	200

7.9.2 热传导现象.....	202
7.9.3 扩散现象.....	203
*7.10 真实气体 范德瓦耳斯方程.....	203
7.10.1 真实气体.....	203
7.10.2 范德瓦耳斯方程.....	205
习题 7.....	207

第 8 章 热力学基础

8.1 准静态过程 功 热量.....	211
8.1.1 准静态过程.....	211
8.1.2 准静态过程压力的功.....	211
8.1.3 热量和热容量.....	212
8.2 热力学第一定律.....	213
8.2.1 内能.....	213
8.2.2 热力学第一定律的表述.....	213
8.3 热力学第一定律对理想气体等值过程的应用.....	215
8.3.1 等体过程.....	215
8.3.2 等压过程.....	216
8.3.3 等温过程.....	217
8.4 绝热过程 *多方过程.....	219
8.4.1 热力学第一定律在绝热过程中应用.....	219
8.4.2 绝热方程.....	219
8.4.3 绝热线和等温线的比较.....	221
*8.4.4 多方过程.....	222
8.5 循环过程 卡诺循环.....	224
8.5.1 循环过程.....	224
8.5.2 热机和热机循环.....	225
8.5.3 制冷机和制冷系数.....	226
8.5.4 卡诺循环.....	228
8.6 热力学第二定律 卡诺定理.....	231
8.6.1 可逆过程与不可逆过程.....	232
8.6.2 热力学第二定律.....	233
8.6.3 卡诺定理.....	234
8.7 热力学第二定律的统计意义和熵的概念.....	235
8.7.1 热力学第二定律的统计意义.....	235

8.7.2 熵和熵增加原理	236
8.7.3 熵的热力学表示	238
8.7.4 熵的计算	239
习题 8	241

参考答案

参考文献

附录

附录 1 希腊字母表	252
附录 2 常用天文量	253
附录 3 基本物理常量	254
附录 4 常用物理量单位	255

名词索引

第 1 篇

力学

自然界中一切物质都在永不停息地运动着，这是所有物质的一个共同特征，而运动的形式多种多样，如机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核运动以及其他微观粒子的运动等，但其中最简单、最基本而又最常见的运动形式是机械运动。所谓**机械运动 (mechanical motion)**是指，物体相对于其他物体的位置（距离和方向）的变化以及物体各部分之间的相对运动（如形变），在物理学中，专门研究物体的机械运动及其规律的学科分支就是**力学 (mechanics)**。

力学的历史悠久，是人类最早建立的学科之一。英国物理学家牛顿 (Isaac Newton, 1642~1727) 总结、分析了亚里士多德、伽利略、开普勒、笛卡儿和惠更斯等的实验和理论后，于 1687 年发表了《自然哲学的数学原理》一书，提出了著名的运动三定律和万有引力定律，从而奠定了经典力学的基础。至此，力学进入了所谓的牛顿力学时代，这是力学发展史上的一个重要里程碑。此后，牛顿建立的力学体系又经过伯努利、拉格朗日和达朗贝尔等的推广和完善，形成了系统的理论，取得了广泛的应用并发展出了流体力学、弹性力学和分析力学等分支。随着科技的发展，到了 20 世纪初，相继建立了研究物体在高速运动时规律的相对论力学和研究微观客体运动规律的量子力学，使牛顿力学得以进一步扩展和修正。近代物理学的研究揭示了经典力学只适用于宏观低速的情况，尽管如此，经典力学仍然能在相当广阔的尺度和速率范围内使用。在自然科学和工程技术领域，牛顿力学仍然能够较精确地解决许多理论和实际问题。

力学的研究内容是力与物体运动的关系。通常我们把力学分成**运动学 (kinematics)**、**动力学 (dynamics)** 和**狭义相对论 (special relativity)** 三部分。运动学研究的是物体在运动过程中位置和时间的关系，不追究运动发生的原因；而动力学研究的是物体的运动与物体间相互作用的内在联系和规律；狭义相对论主要介绍相对论时空观、运动学基本问题和狭义相对论质点动力学的初步知识，从而使读者尽早感受到经典物理和近代物理的适当融合，以拓展视野。

力学是物理学的起点，也是整个物理学的“基石”，因此，掌握力学对学好物理学的其他部分是极其重要的。



F1 赛车的速度非常快，可以达到每小时 300 多公里

第 1 章 质点运动学

质点运动学的任务是研究和描述做机械运动的物体在空间的位置随时间变化的关系，并不追究运动发生的原因。本章在引入参考系、坐标系、质点等概念的基础上，定义描述质点运动的物理量，如位置矢量、位移、速度和加速度等，进而讨论这些量随时间的变化以及相互关系，然后讨论曲线运动中的切向加速度和法向加速度，最后将介绍相对运动。

1.1 参考系 时间和空间的测量

1.1.1 参考系 坐标系

自然界中所有的物体都在不停地运动着，绝对静止的物体是没有的，这就是运动的绝对性。同时，运动还具有相对性。描述一个物体的运动时，首先要选定某一物体作为参考物体，选定的参考物体不同，运动的描述也就可能不同，这种被选作参考的物体称为参考物。与参考物固连的空间称为参考空间。而参考空间和与之固连的时间组合称为参考系 (reference system)。但习惯上，常把参考物简称为参考系，并不特别指出与之相连的参考空间和钟。参考系选定后，为了定量地描述物体相对于参考系的位置，还必须在参考系上建立适当的坐标系 (coordinate system)。因此，坐标系是参考系的数学表示。尽管坐标系的选取是完全任意的，然而一旦选定坐标系，物体运动的描述便随之确定。常用的坐标系有直角坐标系 (又称笛卡儿坐标系)、平面极坐标系、球坐标系和柱坐标系等。今后若不特别指明，我们均采用直角坐标系。需要说明的是，物体的运动状态与选择的参考系密切相关 (运动是相对的)，而与选取何种类型的坐标系无关。同时必须注意，求解运动学问题时，需将各类物理量变换到同一参考系中分析求解。

通常按惯例约定：若不明确指出选用什么物体为参考系，就是选取地面为参考系。

1.1.2 时间的测量

描写物体的运动，要用到时间 (time) 和空间 (space) 这两个概念。虽然在生活中我们对时间和空间已经比较熟悉，但是要问你什么是时间、什么是空间，却又不容易找到恰当的答案。所谓时间，是用以表述事件之间的先后顺序性和持续性；空间是用以表述事物相互之间的位置和广延性。尽管对时间和空间没有满意的“严格”的理论定义，但这并不影响二者在物理学中的使用。因为，物理学是一门基于实验的科学，首要应考虑的问题不是它们的定义，而是了解它们是怎样度量的。

一切周期运动都可以用来度量时间。太阳的升起和降落表示天 (日)，四季的循环表示年，月亮的盈亏是农历的月，这些均已为我们所熟悉，因而年、月、日一直是世界各民族计量时间的单位和标准。为了更精细地量度时间，我国古代将1日分为12个时辰，1个时辰又分为4刻；近代将1日分为24个小时，1小时分为60分钟，1分钟分为60秒。

目前，国际通用的时间单位是秒 (s)。1967年10月在第十三届国际度量衡会议上决定采用原子的跃迁辐射作为计时标准，规定1秒为位于海平

面上的 ^{133}Cs 原子的基态的两个超精细能级在零磁场中跃迁辐射的周期 T 的 9 192 631 770 倍. 此时间标准称为原子时.

在自然界中, 任何现象都有一个时间尺度. 如宇宙的年龄大约是 $6 \times 10^{17} \text{ s}$, 即 200 亿年; 地球自转一周约为 $8.64 \times 10^4 \text{ s}$; μ 子的寿命是 $2 \times 10^{-6} \text{ s}$; 一个分子里的一个原子完成一次典型的振动需要 $10^{-14} \sim 10^{-13} \text{ s}$. 目前, 物理学中涉及的最长的时间是 10^{38} s , 它是质子寿命的下限; 涉及的最小的时间是 10^{-43} s , 称为普朗克时间. 普朗克时间被认为是最小的时间, 比普朗克时间还要小的范围内, 时间的概念可能就不再适用了.

在物体的运动描述中, 通常我们把某一瞬时称为时刻, 用 t 表示. 选定的计时起点为 $t = 0$ 时刻, 同时把两个时刻间的一段时间 $\Delta t = t_2 - t_1$ 称为时间间隔, 简称为时间. 显然, 时刻与物体的某一空间位置相对应, 时间与物体运动的空间位移相对应.

1.1.3 长度的测量

长度 (length) 是空间的一个基本性质. 对于长度的测量, 在古代常常以人体的某部分作为单位和标准, 这显然不能取作统一的标准. 以客观存在的不变事物作为长度的标准是一种必然的趋势. 目前国际通用的长度单位是米 (m). 1960 年以前, 用铂铱米尺作为标准尺, 规定米的大小. 1960 年以后, 改用光的波长作为标准. 在第十一届国际计量大会上规定 1 米等于 ^{86}Kr 原子 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁时所对应的辐射在真空中的波长的 1 650 763.73 倍. 1983 年, 第十七届国际计量大会上又通过了米的新定义: 米是光在真空中经历 $1/299\,792\,458 \text{ s}$ 的时间间隔内所传播的路程长度. 按这种新的定义, 光速是一个固定的常数, 从而将长度标准和时间标准统一了起来, 并使长度计量的精度提高到与时间计量相同的精度.

目前, 物理学中涉及的最大长度是 10^{28} m , 它是宇宙曲率半径的下限; 已达到的最小长度为 10^{-20} m , 它是弱电统一的特征尺度. 普朗克长度约为 10^{-35} m , 被认为是最小的长度, 意思是说, 在比普朗克长度更小的范围内, 长度的概念可能就不再适用了.

1.2 质点运动的矢量描述

1.2.1 质点

牛顿力学中的运动学, 就是研究如何描述物体位置随时间的变化, 我们首先讨论一种被称为质点 (mass point, particle) 的物体, 即具有质量而大小为几何点的物体. 我们知道, 任何实际物体都有一定的大小、形状和内部结构, 没有任何一个真实物体与质点等价. 但是, 当

我们仅考察物体的整体运动，物体本身的大小比所考察运动的线度又小得多时，就可以不计物体各部分运动情况的差别而将它抽象为一个质点。

质点是一种理想的力学模型，它突出了物体具有质量和占有空间位置这两个主要因素，而忽略了形状、大小及内部运动等次要因素。在物理上，这种突出研究对象的主要特征而忽略其次要特征的理想模型是常用的，如刚体、点电荷、理想气体、理想流体等。

1.2.2 位矢 运动方程和轨迹方程

设质点做曲线运动，在坐标系建立以后，物体的运动情况便可以进行定量描述。如图 1-1 所示，设某时刻质点在 P 点，在中学里我们已经学过 P 点的位置可以用直角坐标 (x, y, z) 来确定，现在我们将学习确定质点位置的另一种方法——位置矢量法。定义 P 点的位置矢量 (position vector) \mathbf{r} 的大小为有向线段 \overrightarrow{OP} 的长度，而方向是从原点 O 指向 P ，位置矢量又简称为位矢或径矢 (radius vector)。用这样一个矢量 \mathbf{r} 就完全确定了该时刻质点的位置。于是位置矢量 \mathbf{r} 的矢端在直角坐标系三个坐标轴上的坐标就是 x_p, y_p, z_p ，于是 \mathbf{r} 可以写为

$$\mathbf{r} = x_p \mathbf{i} + y_p \mathbf{j} + z_p \mathbf{k} \quad (1-1)$$

式中， $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为 x, y, z 轴上的单位矢量。

当质点运动时，它相对于坐标原点 O 的位矢 \mathbf{r} 是随时间变化的，因此， \mathbf{r} 是时间 t 的函数，即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-2)$$

或

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

这就是质点的运动学方程 (kinematical equation)；而 $x(t), y(t)$ 和 $z(t)$ 则是运动方程的分量式，从中消去参数 t 便可得到质点运动的轨迹方程或轨道方程。若轨迹为直线，则称质点做直线运动，若轨迹为曲线则称质点做曲线运动。

位矢的大小、方向分别为

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-3)$$

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1-4)$$

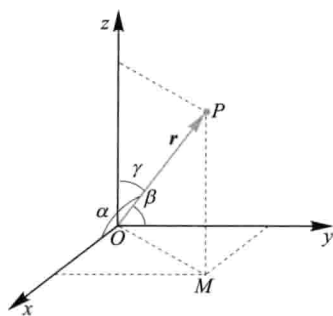


图 1-1 位置矢量