

高等学校教材

大学物理学

徐送宁 主编

高等教育出版社

高等学

大学物理学

D a x u e w u l i x u e

徐送宁 主编
马学军 陆文庆 关莹 金惠强 参编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书根据《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),在保持传统教材基础性的前提下,注重物理思想和物理图像,突出物理知识与科学技术、自然现象和生活实际的结合,是编者多年教学经验和教学改革成果的结晶。

本书共16章,紧扣最新教学基本要求,涵盖了其中的A类内容,精选部分B类内容,具有较强的教学适用性。本书重点突出,版面设计新颖,彩色印刷,图文并茂。

本书适用于普通高等学校理工科专业大学物理课程教学,适应培养高素质工程应用型人才的需要。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学 / 徐送宁主编. -- 北京:高等教育出版社, 2014.11

ISBN 978-7-04-039225-8

I. ①大… II. ①徐… 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316943号

策划编辑	马天魁	插图绘制	尹莉
责任编辑	马天魁	责任校对	杨凤玲
封面设计	赵阳	责任印制	朱学忠
版式设计	张志奇		

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 高教社(天津)印务有限公司
开本 850mm×1168mm 1/16
印张 22.5
字数 690千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landrac.com>
<http://www.landrac.com.cn>
版次 2014年11月第1版
印次 2014年11月第1次印刷
定价 56.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 39225-00

前言

大学物理课程是高等学校理工科各专业学生一门重要的通识性必修基础课。课程所包含的基本概念、基本理论和基本方法是大学生科学素养的重要组成部分,掌握这些知识是科学工作者和工程技术人员必备的基本素质。

本书根据《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),在保持传统教材基础性的前提下,注重物理思想的传授和物理图像的建立,突出物理知识与科学技术、自然现象和生活实际的结合。本书注重培养学生的工程意识、科学素质和创新精神,是编者多年教学经验和教学改革成果的结晶。

本书共16章,紧扣最新教学基本要求,涵盖了其中的A类内容,精选部分B类内容,具有较强的教学适用性,本书适用于普通高等学校理工科专业大学物理课程教学,适应培养高素质应用型人才的需要。本书具有如下特点:

1. 在教材版式设计上,形式新颖,图文并茂。针对现代大学生的特点,借鉴国外教材的优点,在每一章的篇首,都用唯美的文字提出几个应用本章所学习的知识可以解决的实际问题,同时配有相应的彩色图片,以有效激发学生的学习兴趣 and 求知欲。全书采用彩色印刷,增强了图文表现力,提升了视觉冲击力,增强了阅读效果。

2. 在内容的结构上,淡化经典与近代物理的界限,强化物理思想和物理图像。将狭义相对论内容归入力学,放在质点力学之后,在讨论宏观低速运动问题的基础上,研究宏观高速运动问题,有助于学生对狭义相对论问题的理解,消除对其的陌生感和神秘感。在机械波之后讲述光的干涉、光的衍射和光的偏振,强化了物理图像中的波动图像。通过黑体辐射、光电效应和康普顿效应内容建立光的粒子图像,在此基础上全面认识光的本性——波粒二象性。而后从光的波动性和量子性直接引入实物粒子的波粒二象性,有助于学生充分认识波粒二象性是光和自然界一切实物粒子的共同属性的概念,建立起物质波的物理图像。在量子力学基础中把氢原子作为一个整体内容,从氢原子光谱到量子力学对氢原子问题的精确求解,讲述氢原子研究的实验方法和不同阶段的理论方法,使学生能够切实了解氢原子问题的多种科学研究方法,体会各自的特点、成功与缺陷,有利于学生活跃科学思维,激发求知欲望,培养创新精神。

3. 在对经典内容电磁学和热学部分的处理上,注重物理思想和科学思维方法,启发学生的创新思维,培养学生的创新意识,强调理论与实践紧密联系,增加了物理知识在生产实践中的应用实例,注重培养学生的工程意识和运用知识的综合能力。另外,在电磁学部分,注重与中学物理的衔接,适度提高起点,避免与中学内容的重复,并

适度精简压缩了篇幅。

4. 在例题和习题的选择上,力求具有实际应用背景,引导学生从实际问题中提炼出可用信息进行分析,建立实际问题的物理图像,进而应用所学习的物理知识逐步解决问题,培养学生科学的思维方法和分析问题、解决问题的能力。习题与理论知识紧密配合,数量适中,难易结合。

编者在编写本书过程中吸取了本校老一代物理教师在长期教学实践及教学改革中积累的宝贵经验,同时还参考了国内外相关教材,从中得到许多启发和教益,在此一并表示衷心的感谢。

本书的第1—4章由马学军编写,第5—6章由陆文庆编写,第7—11章由徐送宁、李洪奎编写,第12—14章由关莹编写,第15—16章由金惠强编写。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏与不妥之处,欢迎老师和同学们在使用过程中提出宝贵意见。

编 者

2013年12月

目 录



第 1 章 质点运动学

1-1 质点 参考系 坐标系/2/

1-1-1 质点/2/

1-1-2 参考系和坐标系/2/

1-1-3 时间和时刻/3/

1-2 质点运动的描述/3/

1-2-1 描述质点运动的物理量/3/

1-2-2 自然坐标系中的速度和加速度/8/

1-2-3 圆周运动的角量描述/10/

1-2-4 运动学的两类问题/12/

1-3 相对运动/14/

习题/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 惯性参考系 力学相对性原理/23/

2-1-3 几种常见的力/23/

2-1-4 力学单位制和量纲/25/

2-1-5 牛顿运动定律的应用/26/

2-2 动量定理 动量守恒定律/29/

2-2-1 冲量 质点的动量定理/29/

2-2-2 质点系的动量定理/31/

2-2-3 动量守恒定律/32/

2-3 功 动能 动能定理/34/

2-3-1 功/34/

2-3-2 质点的动能定理/36/

2-3-3 质点系的动能定理/37/

2-4 功能原理 机械能守恒定律 碰撞/38/

2-4-1 功能原理/38/

2-4-2 机械能守恒定律/42/

2-4-3 碰撞/43/

习题/44/

第 3 章 刚体的转动

3-1 刚体运动的描述/48/



3-1-1 刚体运动的描述/48/

3-1-2 角量与线量的关系/49/

3-2 转动定律 转动惯量/50/

3-2-1 力矩/50/

3-2-2 转动定律/51/

3-2-3 转动惯量/52/

3-2-4 平行轴定理/54/

3-3 力矩的功 转动动能/56/

3-3-1 力矩的功/56/

3-3-2 转动动能/56/

3-3-3 刚体绕定轴转动的动能定理/57/

3-3-4 刚体—质点系统的机械能/57/

3-4 角动量 角动量守恒定律/59/

3-4-1 质点的角动量定理和角动量守恒定律/59/

3-4-2 刚体定轴转动的角动量定理和角动量守恒定律/61/

习题/64/

第4章 狭义相对论

4-1 伽利略变换 绝对时空观/68/

4-1-1 力学相对性原理/68/

4-1-2 伽利略变换与牛顿力学时空观/68/



4-2 爱因斯坦假设 洛伦兹变换/71/

4-2-1 狭义相对论的实验基础/71/

4-2-2 爱因斯坦假设/74/

4-2-3 洛伦兹坐标变换/74/

4-2-4 洛伦兹速度变换/76/

4-3 狭义相对论时空观/78/

4-3-1 同时性的相对性/78/

4-3-2 时间延缓/79/

4-3-3 长度收缩/81/

4-4 狭义相对论动力学基础/83/

4-4-1 相对论质量 动量 动力学基本方程/83/

4-4-2 相对论能量/84/

习题/89/

第5章 机械振动

5-1 简谐振动/92/

5-1-1 简谐振动的特征及其运动方程/92/

5-1-2 描述简谐振动的物理量/93/

5-2 常见的简谐振动实例/95/

5-2-1 单摆/95/

5-2-2 复摆/96/

5-2-3 简谐振动的旋转矢量表示法/97/



5-3 振动的能量/99/

5-4 简谐振动的合成/100/

5-4-1 两个同方向同频率简谐振动的合成/100/

5-4-2 两个同方向不同频率简谐振动的合成/102/

5-4-3 相互垂直同频率的简谐振动合成/103/

5-4-4 相互垂直不同频率的简谐振动合成/104/

5-5 阻尼振动 受迫振动 共振/105/

5-5-1 阻尼振动/105/

5-5-2 受迫振动和共振/106/

习题/106/

第 6 章 机械波

6-1 波动的基本概念/110/

6-1-1 横波与纵波/110/

6-1-2 波线 波前/111/

6-1-3 波长 周期 波速/112/

6-2 平面简谐波/113/

6-2-1 平面简谐波的波函数/113/

6-2-2 波函数的物理意义/115/

6-3 波的能量/118/

6-3-1 波的能量传播/118/

6-3-2 声波 超声波 次声波/120/

6-4 波的传播 叠加/122/

6-4-1 波的传播/122/

6-4-2 波的叠加原理/122/

6-4-3 波的干涉/123/

6-5 驻波/125/

6-5-1 驻波/125/

6-5-2 半波损失/127/

6-5-3 驻波的应用/127/

6-6 多普勒效应/129/

习题/131/

第 7 章 光的干涉

7-1 相干光 光程 光程差/136/

7-1-1 相干光/136/

7-1-2 光程 光程差/136/

7-1-3 干涉加强和减弱条件/137/

7-2 杨氏双缝 劳埃德镜/138/

7-2-1 杨氏双缝实验/138/



7-2-2 劳埃德镜实验/141/

7-3 薄膜干涉/142/

7-3-1 薄膜干涉/142/

7-3-2 等倾干涉条纹/145/

7-3-3 等厚干涉条纹/145/

7-4 干涉现象在工程技术中的应用/149/

7-4-1 检查光学元件表面质量/149/

7-4-2 测量微小长度变化——干涉热胀仪/150/

7-4-3 镀膜光学元件/151/

7-4-4 迈克耳孙干涉仪/151/

7-5 相干长度 相干时间/153/

习题/154/

第 8 章 光的衍射

8-1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理/158/

8-1-1 光的衍射现象/158/

8-1-2 惠更斯-菲涅耳原理/159/

8-2 单缝的夫琅禾费衍射/159/

8-2-1 单缝衍射实验/159/

8-2-2 菲涅耳半波带法/160/

8-2-3 单缝衍射条纹的特点/161/

8-3 光栅衍射/164/

8-3-1 光栅衍射现象/164/

8-3-2 光栅衍射规律/165/

8-3-3 光栅衍射条纹的特征/166/

8-3-4 光栅光谱/168/

8-4 光学仪器的分辨本领/169/

8-4-1 圆孔的夫琅禾费衍射/169/

8-4-2 光学仪器的分辨本领/169/

8-5 X 射线的衍射/171/

8-5-1 X 射线的衍射/171/

8-5-2 布拉格公式/171/

习题/172/

第 9 章 光的偏振

9-1 光的偏振性/176/

9-1-1 偏振现象与横波/176/

9-1-2 自然光 偏振光/176/

9-2 马吕斯定律/177/

9-2-1 偏振片的起偏和检偏/177/

9-2-2 马吕斯定律/178/



- 9-3 反射光和折射光的偏振 布儒斯特定律/179/
 9-3-1 反射光和折射光的偏振/179/
 9-3-2 布儒斯特定律/179/

- 9-4 光的双折射/181/
 9-4-1 双折射现象/181/
 9-4-2 寻常光 非常光/181/
 9-4-3 晶体光学的几个概念/182/
 9-4-4 用惠更斯原理解释双折射现象/182/

习题/184/

第 10 章 光的量子性

- 10-1 关于光的本性的争论/186/
 10-2 热辐射 普朗克量子假设/187/
 10-2-1 热辐射/187/
 10-2-2 黑体/188/
 10-2-3 黑体辐射规律/188/
 10-2-4 普朗克量子假设/189/
 10-3 光电效应/191/
 10-3-1 光电效应/191/
 10-3-2 光电效应的实验规律/191/
 10-3-3 光子假说 爱因斯坦方程/193/

- 10-4 康普顿效应/194/
 10-4-1 康普顿效应的实验规律/194/
 10-4-2 康普顿效应的理论解释/195/
 10-4-3 光的波粒二象性/197/

习题/198/

第 11 章 量子力学基础

- 11-1 实物粒子的波粒二象性/202/
 11-1-1 德布罗意物质波假设/202/
 11-1-2 德布罗意波的实验验证/203/
 11-1-3 德布罗意波的统计解释/205/
 11-2 不确定关系/206/
 11-3 波函数 薛定谔方程/209/
 11-3-1 波函数/209/
 11-3-2 薛定谔方程/211/
 11-4 薛定谔方程的应用/213/
 11-4-1 一维无限深方势阱/213/
 *11-4-2 隧道效应/215/
 11-5 氢原子/217/
 11-5-1 氢原子光谱的实验规律/217/

- 11-5-2 玻尔的氢原子理论/218/
- 11-5-3 氢原子的量子力学处理方法/222/
- *11-5-4 多电子原子中电子分布/226/

习题/227/

第 12 章 静电场

12-1 静电场 电场强度/230/

- 12-1-1 电荷 库仑定律/230/
- 12-1-2 电场强度及其叠加原理/230/
- 12-1-3 电场强度的计算/231/

12-2 静电场的高斯定理/233/

- 12-2-1 电场线 电场强度通量/233/
- 12-2-2 高斯定理/234/
- 12-2-3 高斯定理的应用/234/

12-3 静电场的环路定理 电势/237/

- 12-3-1 静电力的功 静电场的环路定理/237/

12-3-2 电势能 电势/238/

12-3-3 电势的计算/239/

12-4 静电场中的导体与电介质/241/

- 12-4-1 导体的静电平衡条件/241/
- 12-4-2 静电平衡时导体的基本特性/241/
- 12-4-3 静电场中的电介质/243/
- 12-4-4 电位移 电介质中的高斯定理/244/

12-5 电容 电容器 静电场的能量/245/

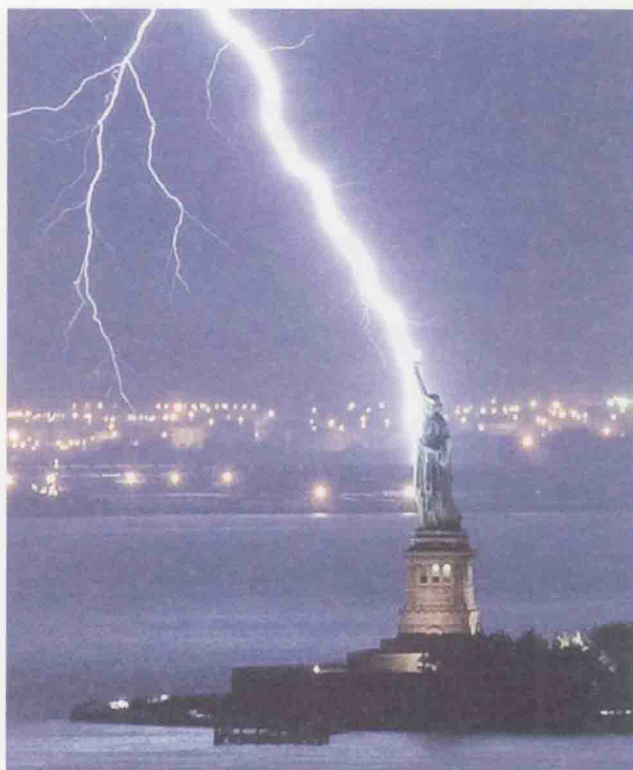
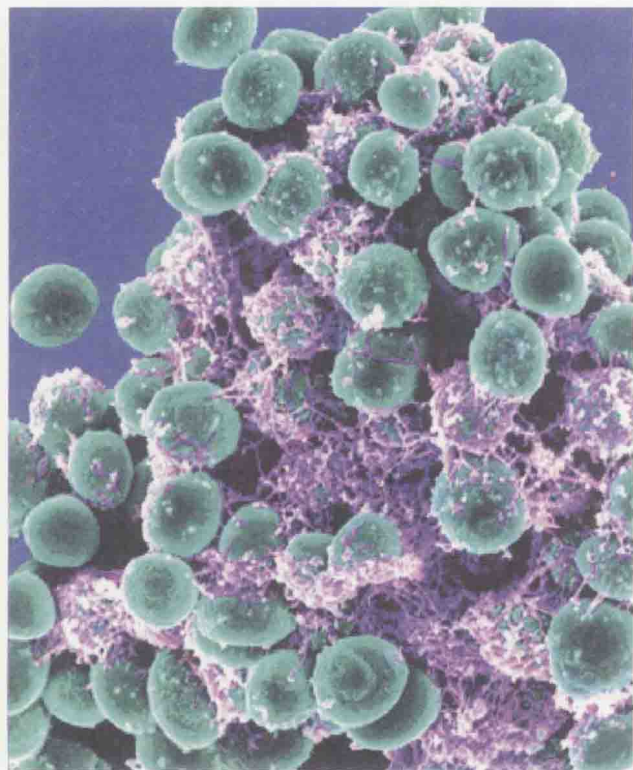
- 12-5-1 孤立导体的电容 电容器/245/
- 12-5-2 电容器的串联和并联/247/
- 12-5-3 静电场的能量/248/

习题/249/

第 13 章 恒定磁场

13-1 磁场 磁感应强度/254/

- 13-1-1 磁场 磁感应强度/254/





13-1-2 毕奥-萨伐尔定律/255/

13-2 磁场的高斯定理 安培环路定理/257/

13-2-1 磁感应线 磁通量/257/

13-2-2 磁场的高斯定理/258/

13-2-3 安培环路定理/258/

13-3 磁场对载流导线和运动电荷的作用/261/

13-3-1 载流导线在磁场中受的安培力/261/

13-3-2 载流线圈在磁场中受的磁力矩/262/

13-3-3 磁场对运动电荷的作用/263/

13-4 磁介质/264/

13-4-1 磁介质及其磁化/264/

13-4-2 磁介质中的安培环路定理 磁场强度/265/

13-4-3 铁磁质/266/

习题/267/

第 14 章 电磁感应与电磁场

14-1 法拉第电磁感应定律 动生电动势/272/

14-1-1 法拉第电磁感应定律/272/

14-1-2 动生电动势/273/

14-2 感生电动势 自感与互感 磁场能量/276/

14-2-1 感生电动势/276/

14-2-2 自感/277/

14-2-3 互感/278/

14-2-4 磁场的能量/280/

14-3 位移电流 麦克斯韦方程组积分形式/282/

14-3-1 位移电流/282/

14-3-2 全电流安培环路定理/283/

14-3-3 麦克斯韦方程组积分形式/283/

14-4 电磁波/284/

14-4-1 平面电磁波的性质/284/

14-4-2 电磁波的能量/285/

14-4-3 电磁波谱/286/

习题/287/

第 15 章 气体动理论

15-1 气体动理论的基本概念/290/

15-1-1 热力学系统/290/

15-1-2 平衡态 平衡过程/291/

15-1-3 状态参量/292/

15-1-4 理想气体的物态方程/293/

15-1-5 分子热运动的无序性/294/

15-1-6 统计规律/295/

15-2 理想气体的压强和温度公式/296/

- 15-2-1 理想气体的微观模型/296/
- 15-2-2 理想气体压强公式的推导/297/
- 15-2-3 温度的本质和统计意义/299/
- 15-3 能量按自由度均分定理 理想气体的内能/301/
- 15-3-1 自由度/301/
- 15-3-2 能量按自由度均分定理/302/
- 15-3-3 理想气体的内能/303/
- 15-4 麦克斯韦速率分布律/304/
- 15-4-1 速率分布函数/304/
- 15-4-2 麦克斯韦速率分布律/306/
- 15-4-3 三种速率/307/
- 15-4-4 测定气体分子速率分布的实验/308/
- 15-5 分子碰撞和平均自由程/310/
- 习题/311/
- 16-2 热力学第一定律对理想气体等值过程的应用/319/
- 16-2-1 等体过程/319/
- 16-2-2 等压过程/319/
- 16-2-3 等温过程/321/
- 16-2-4 绝热过程/322/
- 16-3 循环过程 卡诺循环/325/
- 16-3-1 循环过程/325/
- 16-3-2 热机和制冷机/326/
- 16-3-3 卡诺循环/329/
- 16-4 热力学第二定律/331/
- 16-4-1 可逆过程与不可逆过程/331/
- 16-4-2 热力学第二定律/332/
- 16-4-3 卡诺定理/333/
- 16-5 热力学第二定律的统计意义和熵的概念/334/
- 16-5-1 热力学第二定律的统计意义/334/
- 16-5-2 熵 熵增加原理/336/
- 16-5-3 熵的热力学表示/337/

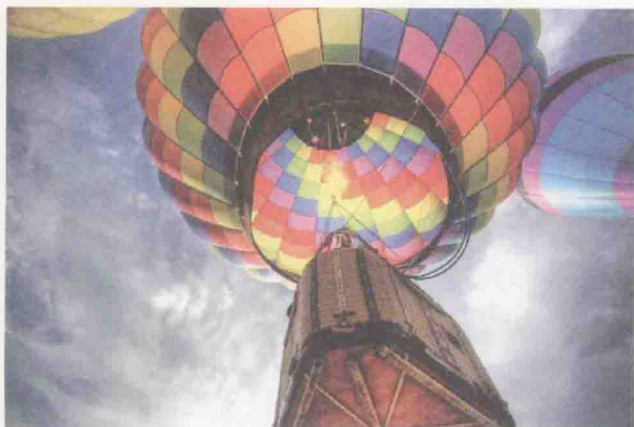
第 16 章 热力学基础

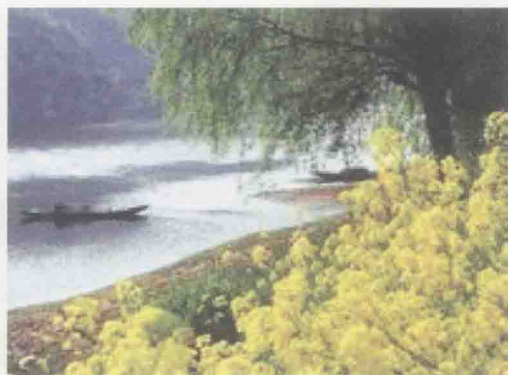
- 16-1 热力学第一定律/314/
- 16-1-1 改变内能的方式/314/
- 16-1-2 热力学第一定律的数学表达式/315/
- 16-1-3 功 热量 内能/316/

习题/338/

习题答案

参考文献





第 1 章

质点运动学

足球运动员罚任意球，球划过一道优美的弧线飞向球门，足球以什么样的角度踢出才有可能被射入球门呢？10米高台跳水，运动员在空中作出各种高难动作，入水时泳池的水深为多少才能确保运动员的人身安全呢？古诗云“野渡无人舟自横”，那船当初从对岸是以怎样的角度划过来的呢？让我们带着这样的疑问，在质点运动学的知识中寻求答案吧！

1-1 质点 参考系 坐标系

1-1-1 质点

自然界中，一切物质都在不停地运动和变化着，运动的形式多种多样。其中机械运动是最简单、最基本的运动形式，这种运动是指物体之间或物体内部各部分之间相对位置的变化，力学就是研究机械运动的物理学科。在力学中，只研究物体的位置随时间变化规律的这部分内容叫做运动学。

任何物体都有一定的形状和大小，一般来说物体的运动都与物体的形状、大小有关；但在某些情况下，物体的形状和大小在所研究的问题中不起作用，或者所起的作用可以忽略不计，则可以近似地把这样的物体看作一个没有大小和形状、所有质量都集中在一个点上的理想物体，这样的物体通常称为**质点**（particle）。

一个物体是否可以视为质点，是由所研究的具体问题决定的，应该注意以下两点：

（1）一个物体不是在任何情况下都可以看成质点的。例如：在研究地球绕太阳公转时，讨论的是地球相对太阳的轨迹和运行快慢，地球的形状、大小和自转对所讨论的问题影响很小，可以忽略时，就可以把地球视为质点来讨论；如果要讨论地球的自转，则把地球视为质点就无意义了。再比如用枪打鸟，研究的是子弹飞行的轨迹，什么时刻到什么位置，能否击中鸟，这时根本不必考虑子弹飞行中的高速旋转，就可以把子弹视为质点进行研究；而要研究子弹飞行中为什么不翻筋斗，就不能把子弹视为质点了。由以上各例可见，要讨论物体作为一个整体在空间的运动情况，物体可抽象为质点进行研究。

（2）可以视为质点的物体不一定很小，而小的物体又不一定可以视为质点。例如：地球的半径是 $R = 6\,370\text{ km}$ ，研究地球公转时可以将其视为质点，相比之下乒乓球的半径要小得多，但是在研究发球的旋转性时则不能将其看成质点。

根据研究问题的需要，把实际的研究对象抽象为理想的物理模型，是物理学的一个重要方法，以后还将引入“刚体”、“理想气体”、“点电荷”等理想模型。其目的是突出与所研究问题相关的主要因素，忽略次要因素，把问题简化，以便能够找出其基本规律。

1-1-2 参考系和坐标系

自然界中的一切物体都在不停地运动着，绝对静止不动的物体是没有的。例如我们看到的静止在地面上的物体，实际上随着地球相对太阳运动（公转和自转）。其实，太阳也在绕银河系中心运动。现代科学已经证实，银河系也在相对其他星系

运动着. 由于一切物体都在运动, 因此要描述一个物体的运动, 必须选择另一物体作为参考物, 这个参考物就称为**参考系** (reference frame). 显然, 选择不同物体作为参考系描述同一物体的运动, 所描述的运动状态各不相同, 这就是运动描述的相对性.

为了定量描述质点位置的变化, 还要在参考系中固定一个**坐标系** (coordinate system), 常用的是直角坐标系. 即在参考系上选一点作为坐标原点, 通过原点引出三条相互垂直的有向直线为三条坐标轴, 即 x 轴、 y 轴和 z 轴, 这就是空间直角坐标系. 任一质点 P 的位置, 可用 P 点的坐标 x 、 y 和 z 来表示, 写成 $P(x, y, z)$, 如图1-1所示. 图中的 i 、 j 、 k 分别是 x 轴、 y 轴和 z 轴正方向上的单位矢量. 以后主要讨论质点在平面内的运动, 即平面运动, 所以经常使用含有两条坐标轴, 即 x 轴和 y 轴的平面直角坐标系. 这样, P 点的位置表示为 $P(x, y)$, 如图1-2所示.

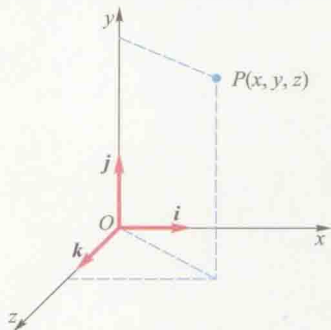


图1-1 空间直角坐标系

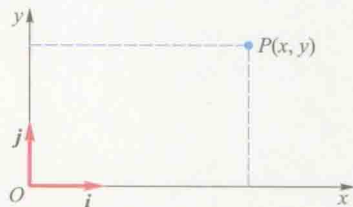


图1-2 平面直角坐标系

1-1-3 时间和时刻

日常生活中我们对时间和时刻并不加以严格区分, 但是物理学中对时间和时刻必须加以严格的区分. 时间是物体运动过程长短的量度, 具有单向性. “光阴一去不复返”就说明时间的这一性质. 而时刻与物体在运动过程中的某一位置相对应, 例如, 用 $t_1 = 5\text{ s}$ 和 $t_2 = 8\text{ s}$ 表示两个时刻, 习惯上表述为“第5 s末”和“第8 s末”, 这两个时刻之差 $\Delta t = t_2 - t_1 = 3\text{ s}$, 表示一段时间.

1-2 质点运动的描述

1-2-1 描述质点运动的物理量

1. 位置矢量

位置矢量是描述质点在任意时刻位置的物理量. 描述一个质点的运动, 首先要确定质点在不同时刻的位置, 在参考系和坐标系已经选定的情况下, 质点在任意时刻的位置可以用一个矢量来表示. 如图1-3所示的直角坐标系中质点在某时刻位于 P 点, 自坐标原点 O 指向 P 的有向线段 $\overrightarrow{OP}$ 称为质点的**位置矢量** (position vector), 简称位矢, 也称为径矢, 用 r 表示, 有

$$r = xi + yj + zk \quad (1-1)$$

它的大小 (模) 为

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

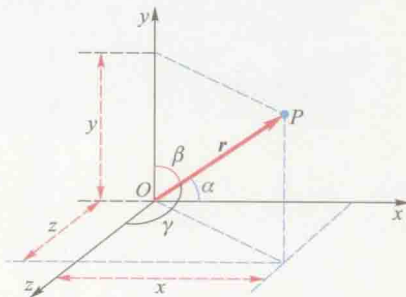


图1-3 位置矢量

r 与 x 、 y 、 z 轴的夹角分别为 α 、 β 、 γ ，则位置矢量 r 的方向由下式确定：

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

在国际单位制中， r 的单位是米，符号为 m， α 、 β 、 γ 的单位是弧度，符号为 rad。

2. 运动学方程

运动学方程是表示质点运动过程的函数式。由于质点在不断运动，所以 r 的模和方向在不断变化，即 r 是时间 t 的函数，因此应将式 (1-1) 改写为

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

称式 (1-2) 为质点的运动学方程 (kinematical equation)，又称运动函数。其分量式为

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

从分量式中消去参数 t ，便得到了质点运动的轨道 (迹) 方程，即 $F(x, y, z) = 0$ 。

例 1-1

一只小田鼠在雪地里飞跑，身后留下一串清晰的脚印，如图 1-4 所示，已知用直角坐标系表示的小田鼠 (看作质点) 运动学方程为

$$x = -0.31t^2 + 7.2t + 28$$

$$y = 0.22t^2 - 9.1t + 30$$

式中 t 的单位为 s， x 、 y 的单位为 m。试求 $t = 15$ s 时小田鼠的位矢。

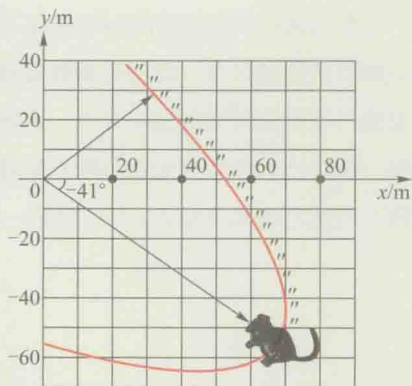


图1-4 例1-1图

解 根据已知条件，小田鼠的位矢可写成

$$\boldsymbol{r} = (-0.31t^2 + 7.2t + 28)\boldsymbol{i} + (0.22t^2 - 9.1t + 30)\boldsymbol{j}$$

$t = 15$ s 时，有

$$x = -0.31 \times 15^2 + 7.2 \times 15 + 28 \text{ m} = 66 \text{ m}$$

$$y = 0.22 \times 15^2 - 9.1 \times 15 + 30 \text{ m} = -57 \text{ m}$$

r 的大小为

$$|\boldsymbol{r}| = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{66^2 + (-57)^2} \text{ m} = 87 \text{ m}$$

r 的方向可用 r 与 x 轴正方向的夹角表示为

$$\theta = \arctan \frac{y}{x} = \arctan \frac{-57}{66} = -41^\circ$$

3. 位移

位移 (displacement) 是描述质点位置变化的物理量。在图 1-5 中，质点由 P_1 移动到 P_2 ，相应的位矢由 $\boldsymbol{r}_1$ 变为 $\boldsymbol{r}_2$ 。由 P_1 至 P_2 的有向线段 $\overline{P_1P_2}$ 称为位移，用 $\Delta \boldsymbol{r}$ 表示。从图 1-5 中看出

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1$$