

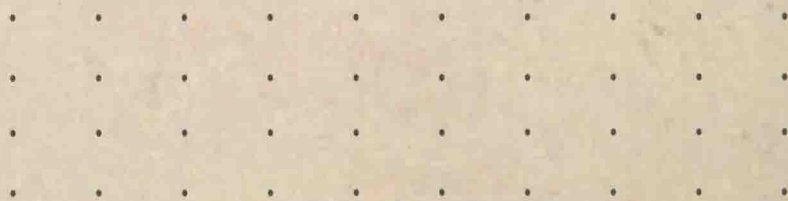


高等学校理工类课程学习辅导丛书

大学物理学习 与提高指南

许丽萍 于 慧 主编

高等教育出版社





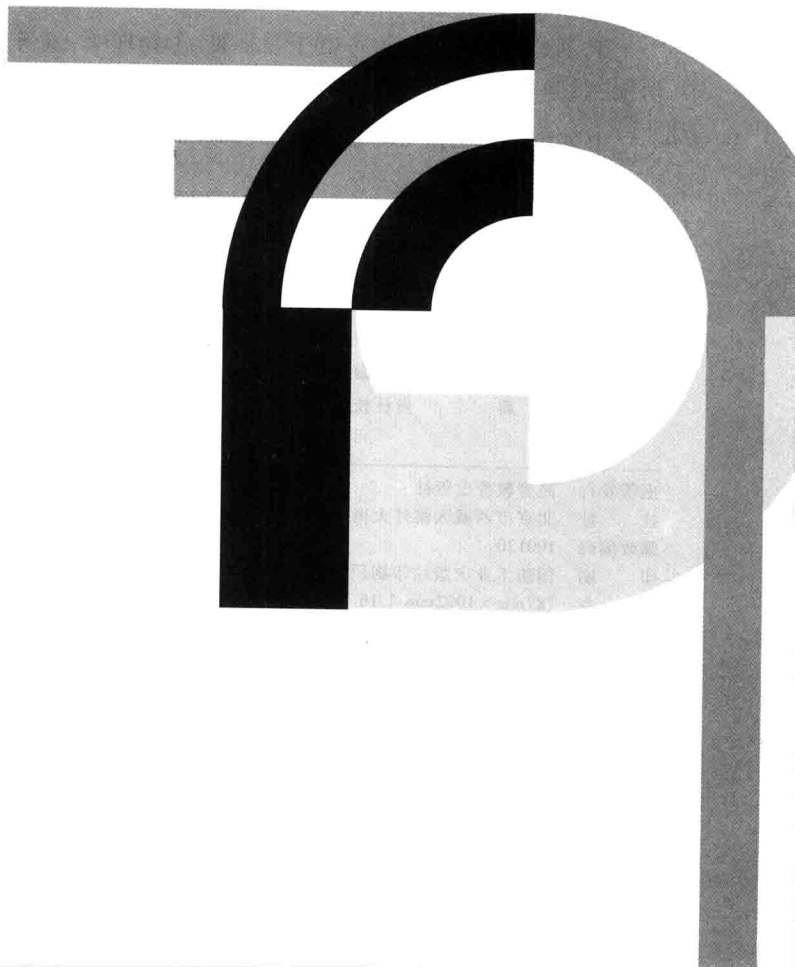
高等学校理工类课程

大学物理学习 与提高指南

许丽萍 于 慧 主编
薛 锐 李慧生 安盼龙 牛万青
高燕琴 郑忠喜 齐晓霞 李向荣 参编

高等教育出版社·北京

DAXUE WULI XUEXI YU TIGAO ZHINAN



内容提要

本书是根据杨晓峰、许丽萍主编的《物理学》的主要内容,结合参与该课程教学的专职教师多年的教学经验及亲身体会编写而成的。本书主要介绍《物理学》中对应章节的概要、重点和难点,并配有例题精解、应用实例及习题解答。在例题精解中更注重对物理规律的把握,明确解题思路,且配有一定量的英文例题;在应用实例中介绍了物理学在工程技术中的相关应用,注重理工融合。

本书可作为高等学校工科各专业的基础物理学教学的参考书,也可供相关专业研究生、教师或其他人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习与提高指南/许丽萍,于慧主编. --
北京:高等教育出版社,2014.5
ISBN 978-7-04-033369-5

I. ①大… II. ①许…②于… III. ①物理学-高等学校-教学参考资料 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 029301 号

策划编辑 马天魁	责任编辑 马天魁	封面设计 赵 阳	版式设计 余 杨
插图绘制 尹 莉	责任校对 胡晓琪	责任印制 毛斯璐	

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	国防工业出版社印刷厂	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	26.5	版 次	2014 年 5 月第 1 版
字 数	450 千字	印 次	2014 年 5 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	39.80 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 33369-00

与本书配套的数字课程资源使用说明

■ 与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

一、登录方法：

- 1.访问<http://abook.hep.com.cn/33369>
- 2.输入数字课程账号（见封底明码）、密码、验证码
- 3.点击“进入课程”
- 4.开始课程学习

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。

使用本账号如有任何问题，请发邮件至：zhangshan@hep.com.cn





用户名 密码 验证码 

数字课程介绍

纸质教材

版权信息

联系方式

本数字课程是《大学物理学习与提高指南》纸质教材的配套资源，是利用数字化技术整合优质教学资源的出版形式，可扩展纸质教材的内容。为读者提供习题解题过程、参考文献等，供读者完善学习内容。











二、使用资源

本书配套数字资源有详细解题过程、参考文献等。

书中特定图标为：

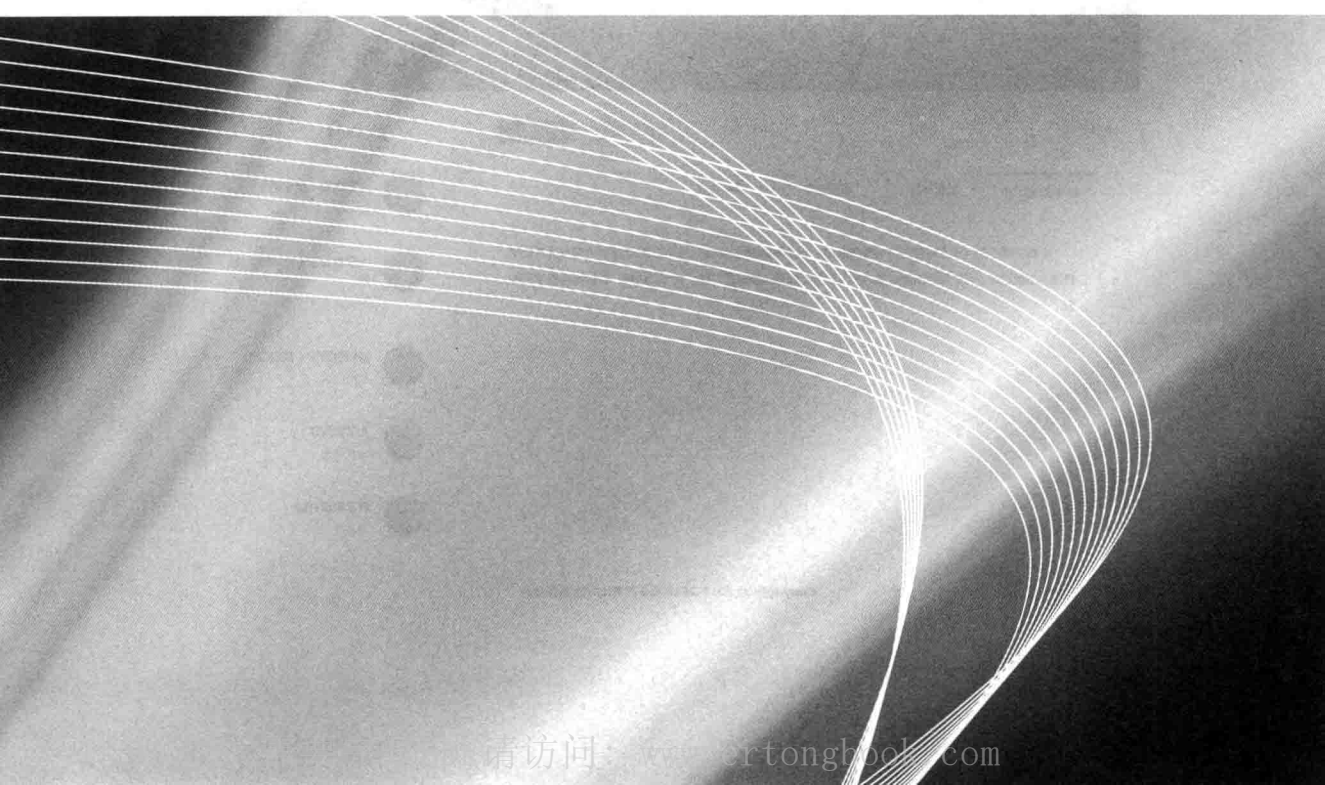


例题、习题的详细解题步骤。

持智能手机、平板电脑等移动设备的读者也可通过扫描书中二维码，直接获取相关资源。



扫描试一试
获取本书“参考文献”



前言

1993年3月,在美国亚特兰大召开的第23届国际纯粹物理和应用物理联合会代表大会上所通过的决议,深刻地阐述了物理学对社会的重要性。

物理学是一门研究物质、能量和它们的相互作用的科学,是一项国际事业,它对人类未来的进步起着关键的作用。对物理教育的支持与研究,在所有的国家都是重要的,这是因为:

(1) 物理学是一项激动人心的智力探险活动,它鼓舞着年轻人,并扩展着我们关于大自然知识的疆界;

(2) 物理学发展着未来技术进步所需要的基本知识,而技术进步将持续驱动着世界经济发动机的运转;

(3) 物理学有助于技术的基本建设,它为科学进步和发明的利用提供所需的训练有素的人才;

(4) 物理学在培养化学家、工程师、计算机科学家,以及其他物理科学和生物医学科学工作者的教育中,是一个重要的组成部分;

(5) 物理学扩展和提高我们对其他学科的理解,诸如地球科学、农业科学、化学、生物学、环境科学,以及天文学和宇宙学——这些学科对世界上所有民族都是至关重要的;

(6) 物理学提供发展应用于医学的新设备和新技术所需的基本知识,如计算机层析术(CT)、磁共振成像、正电子发射层析术、超声波成像和激光手术等,而这些改善了我们生活的质量。

2004年6月,联合国大会通过了将2005年定为“国际物理年”的决议。决议全文如下:

联合国大会,承认物理学为了解自然界提供了重要基础;注意到物理学及其应用是当今众多技术进步的基石;确信物理教育提供了建设人类发展所必需的科学基础设施的工具,意识到2005年是阿尔伯特·爱因斯坦关键性科学发现一百周年,这些发现为现代物理学奠定了基础。

(1) 欢迎联合国教科文组织宣布2005年为国际物理年;

(2) 邀请联合国教科文组织,与世界各国,包括发展中国家的物理学会和团体一道,组织活动庆祝2005年国际物理年;

(3) 宣告2005年为国际物理年。

该决议在2004年6月10日的联合国大会上鼓掌通过。

物理学在推进人类文明进步、为技术进步提供理论支撑等方面的巨大作用已成为有识之士的共识。

物理学家费曼曾经说:“我们能够更好地帮助学生的一个办法是,多花一些精力去编撰一些能够阐明讲课中某些概念的习题。习题能够充实课堂讲授,使讲过的概念更加实际,更加完整和更加易于记忆。”

但限于授课时数的限制,在大学物理教学过程中,只能是配置适量的习题与应用实例。为了

适应当前高等教育改革中注重素质培养和能力提高、加强基础、拓宽专业的需要,帮助学生更好地理解物理学基本理论及其在工程技术中的应用,在多年教学累积的基础上,结合教学工作的需要,针对现时学生的学习要求,我们编写了本书。

与其他同类参考书相比,本书具有如下特点:

(1) 注重基本概念、基本规律的归纳、总结;

(2) 注重解题思路与方法的讲解。在例题精解部分,选取应用基本原理解决相关问题的典型例题,并有一定量的英文例题。解题过程中,对有一定难度的例子,先给出解题思路,明确解决相关问题用到的基本方法、物理原理或定律、相关数学运算等,而后进行具体求解;

(3) 注重基础理论知识与工程实际应用的结合。在应用实例部分,选取与各章基本原理密切相关的应用实例。这样,既保证了学生对基本知识的掌握,又与工程应用实例融合到一起,尽量使学生感到物理学好玩、好学,又好用。

各章内容由概要、重点难点、例题精解、应用实例、习题解答等组成。在习题解答部分,采用了二维码识别技术,如果学生感到只有答案还不够,可以通过扫描二维码了解详细的解题过程。

参加本书编写的教师都是近年来在第一线讲授本科生大学物理课程的教师。内容分配如下:安盼龙,第1章及第2章;许丽萍,第3章及第19章;郑忠喜,第4章;李向荣,第5章及第6章;李慧生,第7章及第8章;高燕琴,第9章及第10章;于慧,第11章及第12章;薛锐,第13章、第14章及第15章;齐晓霞,第16章、第17章及第18章;牛万青,第20章及第21章。

编写完成后,也请其他讲授相关课程的教授仔细审阅了全稿,他们提出了很多宝贵意见,对提高本书的质量有很大帮助。在本书的编写过程中,高等教育出版社物理分社的有关人员付出了大量的劳动,物理系其他老教师给予了热情的帮助与指导,作者谨在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,敬请批评指正。请将意见或建议发到邮箱:lpXu@sina.com。

编者

2013年10月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人将承担相应的民事责任和行政责任;构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序,保护读者的合法权益,避免读者误用盗版书造成不良后果,我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

短信防伪说明

本图书采用出版物短信防伪系统,用户购书后刮开封底防伪密码涂层,将16位防伪密码发送短信至106695881280,免费查询所购图书真伪。

反盗版短信举报

编辑短信“JB,图书名称,出版社,购买地点”发送至10669588128

短信防伪客服电话

(010)58582300

目 录

第 1 章 质点运动学	1	3.1.2 动量守恒定律	36
1.1 概要	1	3.1.3 功和功率	37
1.1.1 基本概念	1	3.1.4 机械能守恒定律	37
1.1.2 基本运动形式	2	3.2 重点、难点	38
1.1.3 运动叠加原理	2	3.3 例题精解	38
1.2 重点、难点	2	3.4 应用实例	47
1.3 例题精解	2	3.4.1 火箭原理简介	47
1.4 应用实例	7	3.4.2 弹道导弹发射高度	49
1.4.1 行星运动状态的判断	7	3.4.3 人造卫星的发射	49
1.4.2 惯性导航原理	8	3.4.4 人造地球卫星等航天器的 返回	50
1.4.3 汽车运动速度与刹车距离	8	3.4.5 人造地球卫星的用途	54
1.5 习题解答	9	3.5 习题解答	55
第 2 章 牛顿定律	18	第 4 章 刚体的转动	64
2.1 概要	18	4.1 概要	64
2.1.1 牛顿运动定律	18	4.1.1 刚体定轴转动的运动学	64
2.1.2 力学中常见力	18	4.1.2 力矩的瞬时作用规律—— 转动定律	64
2.1.3 单位制和量纲	19	4.1.3 力矩的时间累积效应	65
2.1.4 惯性参考系及非惯性 参考系	19	4.1.4 力矩的空间累积效应	65
2.2 重点、难点	20	4.2 重点、难点	66
2.3 例题精解	20	4.3 例题精解	66
2.4 应用实例	26	4.4 应用实例	78
2.4.1 飞行员抗荷能力测试	26	4.4.1 汽车的驱动、制动与极限 速度	78
2.4.2 火车转弯	26	4.4.2 哑铃式铁锤的打击中心	80
2.4.3 微加速度计	27	4.4.3 悠悠球与卫星消旋	82
2.4.4 失重环境下质量测量	27	4.4.4 猫的空中转体	83
2.4.5 过山车工作原理	28	4.4.5 毽子、羽毛球与炮弹的 稳定性	84
2.5 习题解答	30	4.4.6 陀螺惯性制导	84
第 3 章 动量守恒定律和能量守恒 定律	36	4.5 习题解答	86
3.1 概要	36		
3.1.1 质点的动量定理	36		

第5章 机械振动	94	理想气体内能	138
5.1 概要	94	7.1.4 麦克斯韦分子速率分布 函数 三种统计速率	138
5.1.1 简谐运动	94	7.1.5 气体分子的平均碰撞频率 和平均自由程	139
5.1.2 简谐运动的能量	95	7.2 重点、难点	139
5.1.3 振动的合成	95	7.3 例题精解	139
5.1.4 阻尼振动与受迫振动	96	7.4 应用实例	144
5.2 重点、难点	96	7.4.1 真空的获得	144
5.3 例题精解	96	7.4.2 真空的测量	145
5.4 应用实例	101	7.4.3 低温的获得	147
5.4.1 隔振原理	101	7.4.4 低温的测定	147
5.4.2 防振锤	103	7.4.5 高压的获得	148
5.4.3 共振筛	104	7.4.6 高压的测定	148
5.4.4 共振的利用	106	7.5 习题解答	149
5.4.5 共振的危害	106	第8章 热力学基础	155
5.5 习题解答	108	8.1 概要	155
第6章 机械波	115	8.1.1 热力学第一定律	155
6.1 概要	115	8.1.2 理想气体几个重要的 热力学过程	156
6.1.1 基本概念	115	8.1.3 循环过程 卡诺循环	156
6.1.2 平面简谐波	116	8.1.4 热力学第二定律	157
6.1.3 惠更斯原理	116	8.1.5 熵 熵增加原理	158
6.1.4 波的干涉	116	8.1.6 热力学第二定律的统计 意义 玻耳兹曼熵	158
6.1.5 驻波	117	8.2 重点、难点	158
6.1.6 多普勒效应	117	8.3 例题精解	159
6.2 重点、难点	118	8.4 应用实例	165
6.3 例题精解	118	8.4.1 奥托循环内燃机	165
6.4 应用实例	124	8.4.2 冰箱制冷	167
6.4.1 多普勒声呐	124	8.5 习题解答	168
6.4.2 超声多普勒血流速度的 测量	126	第9章 静电场	175
6.4.3 超声诊断	127	9.1 概要	175
6.4.4 超声治疗技术	128	9.1.1 库仑定律	175
6.4.5 声悬浮技术	129	9.1.2 电场 电场强度 电势	175
6.5 习题解答	130	9.1.3 高斯定理和环路定理	176
第7章 气体动理论	137	9.1.4 电场力的功 电势能 电势 电势差	176
7.1 概要	137		
7.1.1 理想气体物态方程	137		
7.1.2 理想气体的压强与温度	137		
7.1.3 能量按自由度均分定理			

9.2 重点、难点	177	12.1 概要	230
9.3 例题精解	177	12.1.1 描述磁场的物理量—— 磁感应强度	230
9.4 应用实例	184	12.1.2 磁场对运动电荷和电流 的作用	230
9.4.1 示波管	184	12.1.3 恒定电流磁场的基本 定律——毕奥 - 萨伐尔 定律	231
9.4.2 静电除尘	186	12.1.4 运动电荷的磁场	231
9.4.3 静电复印	187	12.1.5 表征恒定磁场特性的 定理	231
9.5 习题解答	188	12.2 重点、难点	232
第 10 章 静电场中的导体和 电介质	195	12.3 例题精解	232
10.1 概要	195	12.4 应用实例	243
10.1.1 静电场中的导体	195	12.4.1 电磁铁吸力的计算	243
10.1.2 电介质的极化	195	12.4.2 电磁泵	245
10.1.3 介质中的场强 电极化 强度 电位移矢量	196	12.4.3 电磁炮	245
10.1.4 电容 电容器	196	12.4.4 磁透镜	247
10.1.5 静电场的能量	197	12.4.5 磁悬浮列车	250
10.2 重点、难点	197	12.5 习题解答	254
10.3 例题精解	198	第 13 章 电磁感应	262
10.4 应用实例	204	13.1 概要	262
10.4.1 电容传感器	204	13.1.1 电磁感应的基本规律	262
10.4.2 静电屏蔽	205	13.1.2 动生电动势与感生 电动势	263
10.4.3 静电透镜	206	13.1.3 涡电流	263
10.4.4 尖端放电	206	13.1.4 自感和自感系数	264
10.5 习题解答	207	13.1.5 互感和互感系数	264
第 11 章 恒定电流	216	13.1.6 磁场的能量	264
11.1 概要	216	13.2 重点、难点	265
11.1.1 电流和电流密度	216	13.3 例题精解	265
11.1.2 恒定电流	216	13.4 应用实例	271
11.1.3 电动势	216	13.4.1 感应加热的原理与应用	271
11.2 重点、难点	217	13.4.2 磁流体发电机	272
11.3 例题精解	217	13.4.3 地下金属管线的探测	274
11.4 应用实例	221	13.4.4 变压器	277
11.4.1 电阻法勘探	221	13.4.5 电磁控制技术	277
11.4.2 电阻应变式传感器及其 应用	222	13.5 习题解答	278
11.4.3 丹聂耳电池	225		
11.5 习题解答	227		
第 12 章 恒定磁场	230		

第 14 章 物质的磁性	286	16.3 例题精解	311
14.1 概要	286	16.4 应用实例	316
14.1.1 磁介质的分类、磁介质的 磁化	286	16.4.1 利用光干涉法测量金属 的线胀系数	316
14.1.2 磁化强度 磁化电流	286	16.4.2 光学相干 CT 成像	317
14.1.3 有介质存在时的安培 环路定理	287	16.4.3 百元大钞“100”字样变色 原因	317
14.1.4 铁磁质	287	16.4.4 太阳能热水器的“光干涉 涂层”	318
14.2 重点、难点	287	16.4.5 激光比长仪	318
14.3 例题精解	288	16.5 习题解答	319
14.4 应用实例	290	第 17 章 光的衍射	325
14.4.1 磁盘与磁记录	290	17.1 概要	325
14.4.2 磁性材料的应用	292	17.1.1 惠更斯-菲涅耳原理	325
14.4.3 磁卡记录原理	292	17.1.2 衍射	325
14.5 习题解答	293	17.1.3 单缝衍射	325
第 15 章 麦克斯韦方程组 电磁场与 电磁波	296	17.1.4 光学仪器的分辨本领	326
15.1 概要	296	17.1.5 光栅	326
15.1.1 麦克斯韦电磁场理论	296	17.1.6 X 射线的衍射	327
15.1.2 麦克斯韦方程组	296	17.2 重点、难点	328
15.1.3 电磁场与电磁波	297	17.3 例题精解	328
15.2 重点、难点	298	17.4 应用实例	333
15.3 例题精解	298	17.4.1 全息照相与全息技术	333
15.4 应用实例	301	17.4.2 菲涅耳波带片	335
15.4.1 电磁屏蔽	301	17.4.3 相控阵雷达原理与光栅 衍射规律	336
15.4.2 微波与微波加热原理	301	17.4.4 光纤光栅传感器	337
15.4.3 雷达原理	302	17.4.5 DNA 的双螺旋结构的 发现过程	337
15.4.4 脉冲电磁场的应用	302	17.5 习题解答	338
15.4.5 X 射线	303	第 18 章 光的偏振	343
15.5 习题解答	303	18.1 概要	343
第 16 章 光的干涉	308	18.1.1 自然光与线偏振光	343
16.1 概要	308	18.1.2 反射与折射时光的偏振	344
16.1.1 光的电磁理论 相干 光源	308	18.1.3 双折射	344
16.1.2 杨氏双缝实验	309	18.1.4 偏振光的干涉	345
16.1.3 薄膜干涉	309	18.2 重点、难点	345
16.1.4 迈克耳孙干涉仪	311	18.3 例题精解	345
16.2 重点、难点	311		

18.4 应用实例	348	20.1.1 黑体辐射	377
18.4.1 偏光眼镜片	348	20.1.2 波粒二象性	377
18.4.2 利用光的偏振制成液晶 显示器	349	20.1.3 氢原子的玻尔理论	378
18.4.3 使用偏振片观看立体 电影	349	20.2 重点、难点	379
18.4.4 光弹效应测量应力场 分布	350	20.3 例题精解	379
18.4.5 偏振现象在摄影技术中 的应用	350	20.4 应用实例	383
18.4.6 偏振光显微镜	351	20.4.1 红外测温技术	383
18.5 习题解答	351	20.4.2 工业 X 射线无损检测	385
第 19 章 狭义相对论	355	20.4.3 原子光谱分析	386
19.1 概要	355	20.5 习题解答	387
19.1.1 爱因斯坦假说	355	第 21 章 量子物理基础	394
19.1.2 狭义相对论变换	355	21.1 概要	394
19.1.3 狭义相对论时空观	356	21.1.1 不确定关系	394
19.1.4 相对论动力学	356	21.1.2 薛定谔方程	394
19.2 重点、难点	357	21.1.3 一维定态薛定谔方程的 应用	395
19.3 例题精解	357	21.1.4 氢原子的结构	395
19.4 应用实例	364	21.1.5 自旋	396
19.4.1 光波的多普勒效应	364	21.1.6 原子的电子组态	396
19.4.2 核裂变 原子弹	365	21.2 重点、难点	396
19.4.3 核聚变 氢弹	368	21.3 例题精解	396
19.4.4 核能的和平安全利用	370	21.4 应用实例	401
19.5 习题解答	372	21.4.1 中子干涉	401
第 20 章 光的量子性	377	21.4.2 激光冷却与原子光学	402
20.1 概要	377	21.4.3 扫描隧穿显微镜	404
20.1.1 黑体辐射	377	21.5 习题解答	405
20.1.2 波粒二象性	377	参考文献	411
20.1.3 氢原子的玻尔理论	378		
20.2 重点、难点	379		
20.3 例题精解	379		
20.4 应用实例	383		
20.4.1 红外测温技术	383		
20.4.2 工业 X 射线无损检测	385		
20.4.3 原子光谱分析	386		
20.5 习题解答	387		

第1章 质点运动学

力学研究的是大到天体、小到颗粒等物体的机械运动规律,力学是整个物理学的基础。运动学是描写物质运动所遵循规律的一门学问,它告诉大家物体是怎么运动的,而质点是一个抽象(理想)模型,当在一个力学问题中物体的大小、形状可以忽略时,我们可以把物体当作一个只有质量而忽略几何尺度的点来处理。本章研究位矢、位移、瞬时速度和瞬时加速度的概念;已知加速度和初始条件求解速度、运动方程的方法;理解角速度、角加速度及其与线量的关系;理解相对运动及其计算方法。

1.1 概要

1.1.1 基本概念

1. 位置矢量和位移矢量 (position vector and displacement)

(1) 位置矢量 (position vector) $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$

(2) 运动学方程 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}$

分量表示 $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$

(3) 轨道方程 消去参数 $t, y = y(x)$

(4) 位移 $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$

分量表示
$$\begin{cases} \Delta x = x_2 - x_1 \\ \Delta y = y_2 - y_1 \\ \Delta z = z_2 - z_1 \end{cases}$$

2. 速度 (velocity)

(1) 平均速度 $\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1}{t_2 - t_1}$

(2) 瞬时速度 $\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$

速度的分量 $v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt}$

(3) 位移公式 $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r} - \mathbf{r}_0 = \int_0^t \mathbf{v} dt$

3. 加速度 (acceleration)

(1) 平均加速度 $\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1}{t_2 - t_1}$

$$(2) \text{ 瞬时加速度 } \boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2 \boldsymbol{r}}{dt^2}$$

$$\text{加速度的分量 } a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}, a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}, a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2}$$

$$(3) \text{ 速度公式 } \Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}_0 = \int_0^t \boldsymbol{a} dt$$

4. 圆周运动的切向加速度和法向加速度 (tangential acceleration and normal acceleration)

$$(1) \text{ 法向加速度 } a_n = \frac{v^2}{r}, \text{ 方向指向圆心。}$$

$$(2) \text{ 切向加速度 } a_t = \frac{dv}{dt} \quad \text{质点速率增加时, } a_t > 0, \text{ 即 } \boldsymbol{a}_t \text{ 沿速度 } \boldsymbol{v} \text{ 的方向。}$$

1.1.2 基本运动形式

直线运动 (linear motion), 曲线运动 (curvilinear motion), 圆周运动 (circular motion)。

1.1.3 运动叠加原理

当物体同时参与两个或多个运动时, 其总的运动是各个独立运动的叠加, 这个结论称为运动叠加原理或运动的独立性原理。任意曲线运动都可以视为沿 x, y, z 轴的三个各自独立的直线运动的叠加 (矢量加法)。

1.2 重点、难点

1.2.1 重点

1. 描述质点运动的基本物理量 (位矢、位移、速度、加速度)
2. 曲线运动中的切向加速度和法向加速度
3. 圆周运动中线量和角量之间的关系

1.2.2 难点

1. 利用数学微积分的方法进行相关计算
2. 相对运动问题

1.3 例题精解

例 1-1 设质点的运动方程为 $x = x(t), y = y(t)$, 在计算质点的速度和加速度时, 有人先求出 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, 然后根据 $v = \frac{dr}{dt}$ 及

$a = \frac{d^2 r}{dt^2}$ 而求得结果, 又有人先计算速度和加速度的分量, 再合成求

得结果, 即 $v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$ 及 $a = \sqrt{\left(\frac{d^2 x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2 y}{dt^2}\right)^2}$, 你认为这两种方法哪一种正确? 为什么? 两者差别何在?

分析: 已知运动学方程求质点速度及加速度。题目给出了质点二维平面运动的参数方程, 据 $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$, $\mathbf{a} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}$ 求解, 要注意速度和加速度的矢量性质。

解: 后一种方法正确。因为速度与加速度都是矢量, 在平面直角坐标系中, 有 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$, 故

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j}$$

$$\mathbf{a} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = \frac{d^2 x}{dt^2}\mathbf{i} + \frac{d^2 y}{dt^2}\mathbf{j}$$

它们的模为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{\left(\frac{d^2 x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2 y}{dt^2}\right)^2}$$

而前一种方法的错误可能有两点, 其一是概念上的错误, 即误把速度、加速度定义作

$$v = \frac{dr}{dt}, \quad a = \frac{d^2 r}{dt^2}$$

其二, 可能是将 $\frac{dr}{dt}$ 与 $\frac{d^2 r}{dt^2}$ 误作速度与加速度的模。而 $\frac{dr}{dt}$ 不是速度的

模, 只是速度在径向上的分量; 同样, $\frac{d^2 r}{dt^2}$ 也不是加速度的模, 只是

加速度在径向分量中的一部分 $\left[a_{\text{径}} = \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right]$ 。或者概括性地讲, 前一种方法只考虑了位矢 $\mathbf{r}$ 在径向 (即量值) 方向随时间的变化率, 而没有考虑位矢 $\mathbf{r}$ 在速度 $\mathbf{v}$ 的方向随时间的变化率对速度、加速度的贡献。

例 1-2 如图 1-1(a) 所示, 湖中有一小船, 岸上人用绳子跨过定滑轮拉船靠岸。当人以匀速率 v 拉绳时, 船运动的速度 v' 为多少? 设滑轮距水面高度为 h , 滑轮到船原位置的绳长为 l_0 。

分析: 此题最常见的错误就是直接用 $v' = v \cos \theta$ 来计算船的水平速度, 而忽略了船在水平方向上不是作匀速直线运动。随着绳长变化, θ 也在不断变化, 所以船在水平方向应作变速直线运动, 充分利用题目及几何等条件, 有以下三种解法。

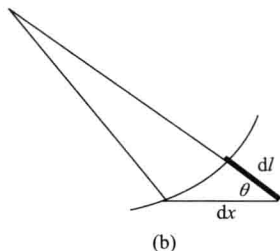
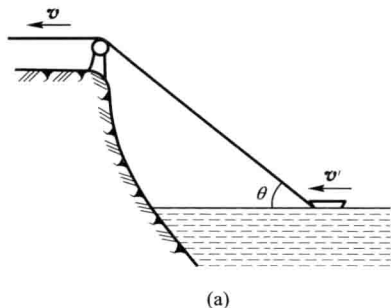


图 1-1

解:方法 1:如图 1-1(b)所示,当船发生元位移 dx 时,绳长的变化为 $dl = dx \cos \theta$,

$$\begin{aligned}\frac{dl}{dt} &= \frac{dx}{dt} \cos \theta \\ -v &= v' \cos \theta, \sin \theta_0 = \frac{h}{l_0} \\ \sin \theta &= \frac{h}{l_0 - vt}, v' = -\frac{vi}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{l_0 - vt}\right)^2}}\end{aligned}$$

方法 2:

$$x^2 + h^2 = l^2$$

等式两边微分得

$$\begin{aligned}2x dx &= 2l dl, x \frac{dx}{dt} = l \frac{dl}{dt}, \frac{dx}{dt} = \frac{l}{x} \frac{dl}{dt} = \frac{l}{x} v \\ v' &= \frac{v}{x} l\end{aligned}$$

$$l = l_0 - vt, x = \sqrt{l^2 - h^2}, v' = -\frac{vi}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{l_0 - vt}\right)^2}}$$

方法 3:用矢量表示

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} - h\mathbf{j}$$

则船的运动速度可以表示为

$$\begin{aligned}\mathbf{v}' &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} = \frac{d}{dt}(\sqrt{r^2 - h^2})\mathbf{i} \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{r}\right)^2}} \frac{dr}{dt}\mathbf{i} = -\frac{vi}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{r}\right)^2}} \\ v &= -\frac{dr}{dt}, r = l_0 - vt, v' = -\frac{vi}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{l_0 - vt}\right)^2}}\end{aligned}$$

例 1-3 一质点沿半径为 R 的圆周按规律 $s = v_0 t - \frac{1}{2}bt^2$ 而运动, v_0 、 b 都是常量。求:

- (1) t 时刻质点的总加速度;
- (2) t 为何值时总加速度在数值上等于 b ?
- (3) 当加速度到达 b 时,质点已沿圆周运行了多少圈?

分析:题目给出了圆周运动的运动学方程,可以根据运动学的第一类问题已知运动学方程求物理参量(速度、加速度)来求解,求总加速度应该分别求出圆周运动的切向加速度和法向加速度再进行合成求解。要求加速度到达 b 时,质点已沿圆周运行了多少圈,应先求出加速度到达 b 时所需要的时间,据运动方程求出总弧