



TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

大学物理

主 编 李元成

副主编 刘 冰 周 勇

College Physics



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS



TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS
高等学校教材

大学物理

主 编 李元成

副主编 刘 冰 周 勇



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/李元成主编. —东营:中国石油大学出版社, 2014. 2

ISBN 978-7-5636-3784-3

I. ①大… II. ①李… 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(2014)第 021334 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 大学物理

主 编: 李元成

副 主 编: 刘 冰 周 勇

责任编辑: 袁超红(电话 0532—86981532)

封面设计: 青岛友一广告传媒有限公司

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 86983437)

开 本: 180 mm×235 mm 印张: 24.75 字数: 496 千字

版 次: 2014 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 40.00 元

本教材是根据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员会新颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》的基本精神,在总结多年来教学、教改和精品课程建设经验的基础上,吸收国内外同类教材的优点编写而成的。

大学物理是高等学校理工科类的一门重要基础理论课程。通过本课程的学习,可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 and 正确的理解,并为进一步学习打下必要且坚实的基础。大学物理课程在培养学生的科学世界观、探索精神和创新意识方面具有其他课程不可替代的作用,同时可增强学生分析问题和解决问题的能力,实现知识、能力和素质的协调发展。

为了尽可能编写一套可读性强、易学、易教、好用,以及难度适中、课程学时设置较少的大学物理教材,我们在吸收同类教材优点和总结多年教学改革实践经验的基础上,重新调整课程体系,并加强重点、难点和理论联系实际的内容,处理好与中学物理的衔接,强化近代物理的教学内容,并将最新的教学研究成果引入教材等。

本书由李元成教授担任主编。参加编写人员的分工是:李元成教授编写第1,2,5,6,7,10章;刘冰副教授编写第8,9章;周勇副教授编写第3,4,11章,并选编各章习题和校核答案。

本书编写过程中参考了大量兄弟院校的教材和网络资料,在此向相关作者致以深深的谢意。本书出版过程中还得到了中国石油大学(华东)教务处、中国石油大学(华东)理学院和中国石油大学出版社的大力支持,编者在此一并表示诚挚的谢意。

限于时间紧迫,编者水平有限,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、同行和读者批评指正。

编 者

2013年10月

Contents | 目 录

第 1 章 运动学	1
1.1 运动学的一些基本概念	1
1.1.1 参考系和坐标系	1
1.1.2 时间和空间的计量	1
1.1.3 质点和质点系	2
1.2 描述质点运动的基本物理量	2
1.2.1 位置矢量	2
1.2.2 运动方程	3
1.2.3 位移	3
1.2.4 速度	4
1.2.5 加速度	5
1.3 平面曲线运动	8
1.3.1 自然坐标系	8
1.3.2 质点作圆周运动时的切向加速度和法向加速度	9
1.3.3 一般平面曲线运动中的切向加速度和法向加速度	10
1.3.4 圆周运动的角量描述	10
1.3.5 角量和线量的关系	12
1.4 刚体运动学	15
1.4.1 刚体 平动和转动	15
1.4.2 刚体定轴转动的角量描述	16
1.5 相对运动	18
习题 1	21
第 2 章 动力学	24
2.1 牛顿运动定律及其应用	24
2.1.1 牛顿第一定律	24
2.1.2 牛顿第二定律	24

2.1.3	牛顿第三定律	25
2.1.4	牛顿运动定律的适用范围	26
2.1.5	力学中常见的几种力	26
2.1.6	牛顿运动定律的应用	28
2.1.7	惯性系和非惯性系	32
2.1.8	伽利略变换 力学的相对性原理	32
2.2	功 保守力 势能	34
2.2.1	功	34
2.2.2	几种常见力的功	35
2.2.3	保守力和非保守力	37
2.2.4	功率	38
2.2.5	势能	38
2.3	动能定理 机械能守恒定律	40
2.3.1	动能定理	40
2.3.2	质点系的功能原理	42
2.3.3	机械能守恒定律	43
2.3.4	能量守恒定律	43
2.4	动量定理 动量守恒定律	45
2.4.1	动量	45
2.4.2	质点的动量定理	46
2.4.3	质点系的动力学方程	47
2.4.4	质点系的动量定理	47
2.4.5	动量守恒定律	49
2.4.6	碰撞	52
2.5	角动量定理 角动量守恒定律	54
2.5.1	角动量	54
2.5.2	质点的角动量定理	56
2.5.3	质点系的角动量定理	57
2.5.4	质点的角动量守恒定律	58
2.5.5	质点系的角动量守恒定律	60
2.6	定轴转动刚体动力学	62
2.6.1	刚体对定轴的角动量	62
2.6.2	转动惯量的计算	62
2.6.3	对转轴的力矩	64
2.6.4	刚体的角动量定理	65

2.6.5 刚体的角动量守恒定律	65
2.6.6 刚体的定轴转动定律	66
2.6.7 力矩的功	69
2.6.8 刚体的动能	69
2.6.9 刚体定轴转动的动能定理	70
习题 2	71
第 3 章 气体动理论	77
3.1 热学的基本概念	77
3.1.1 微观结构模型	77
3.1.2 宏观量和微观量 状态参量	78
3.1.3 统计规律和统计平均值	78
3.1.4 平衡态 准静态过程	79
3.1.5 理想气体状态方程	80
3.2 理想气体的压强和温度的微观解释	81
3.2.1 理想气体的压强公式及其统计意义	81
3.2.2 理想气体的温度公式及其微观意义	83
3.2.3 理想气体分子的方均根速率	83
3.3 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	84
3.3.1 自由度	84
3.3.2 能量按自由度均分定理	85
3.3.3 理想气体的内能	86
3.4 麦克斯韦分布律	87
3.4.1 速率分布函数	87
3.4.2 麦克斯韦速率分布律	88
3.4.3 三种统计速率	88
3.4.4 麦克斯韦速度分布律	91
3.5 玻耳兹曼分布律	91
3.5.1 玻耳兹曼分布律	92
3.5.2 重力场中大气密度与压强按高度的分布	92
3.6 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	93
3.6.1 气体分子的平均碰撞频率	94
3.6.2 气体分子的平均自由程	94
习题 3	95

第 4 章 热力学基础	98
4.1 热力学第一定律	98
4.1.1 功	98
4.1.2 热量	99
4.1.3 热力学第一定律	99
4.2 理想气体的等体过程和等压过程 摩尔热容	100
4.2.1 等体过程	100
4.2.2 等压过程	102
4.2.3 理想气体的摩尔定容热容和摩尔定压热容	103
4.3 理想气体的等温过程和绝热过程	106
4.3.1 等温过程	106
4.3.2 绝热过程	107
4.3.3 绝热线和等温线	108
4.4 循环过程 卡诺循环	110
4.4.1 循环过程	110
4.4.2 卡诺循环	113
4.4.3 可逆过程和不可逆过程 卡诺定理	116
4.5 热力学第二定律	117
4.5.1 自发过程的方向性	117
4.5.2 热力学第二定律	117
4.5.3 热力学第二定律的统计意义	119
习题 4	122
第 5 章 静电场	126
5.1 电荷 库仑定律	126
5.1.1 电荷	126
5.1.2 电荷守恒定律	127
5.1.3 库仑定律	127
5.1.4 静电力的叠加原理	129
5.2 电场 电场强度	131
5.2.1 电场	131
5.2.2 电场强度	132
5.2.3 点电荷的电场强度	133
5.2.4 电场强度的叠加原理	134
5.3 高斯定理	139
5.3.1 电场线	139

5.3.2 电通量	140
5.3.3 高斯定理	141
5.3.4 利用高斯定理求电场强度的分布	143
5.4 静电场的环路定理 电势	147
5.4.1 静电场的环路定理	147
5.4.2 电势能	148
5.4.3 电势 电势差	149
5.4.4 电势的计算	150
5.4.5 等势面	153
5.5 静电场中的导体	153
5.5.1 静电场中的导体	154
5.5.2 电容 电容器	160
5.5.3 传导电流 电动势	163
5.6 静电场中的电介质	166
5.7 电场的能量	167
5.7.1 电容器储存的静电能	167
5.7.2 静电场的能量	168
习题 5	169
第 6 章 稳恒磁场	174
6.1 磁场 磁感应强度	174
6.1.1 磁场	174
6.1.2 磁感应强度	175
6.1.3 磁感应线	176
6.2 毕奥-萨伐尔定律	177
6.2.1 毕奥-萨伐尔定律	177
6.2.2 运动电荷的磁场	178
6.2.3 毕奥-萨伐尔定律的应用	179
6.3 磁场的高斯定理	183
6.3.1 磁通量	183
6.3.2 磁场的高斯定理	184
6.4 安培环路定理	185
6.4.1 安培环路定理	185
6.4.2 安培环路定理的应用	187
6.5 洛伦兹力	191
6.5.1 洛伦兹力	191

6.5.2 带电粒子在磁场中的运动	192
6.5.3 应用磁场控制带电粒子的实例	193
6.5.4 霍耳效应	195
6.6 安培力	197
6.6.1 安培力公式	197
6.6.2 载流线圈在磁场中受到的力矩	200
6.7 磁介质中的磁场	202
习题 6	204
第 7 章 变化的电磁场	207
7.1 电磁感应定律	207
7.1.1 电磁感应现象	207
7.1.2 楞次定律	207
7.1.3 法拉第电磁感应定律	208
7.2 动生电动势	210
7.2.1 动生电动势	210
7.2.2 洛伦兹力做功问题	211
7.2.3 动生电动势的计算	212
7.3 感生电动势	214
7.3.1 感生电动势	214
7.3.2 感应电场与静电场	215
7.3.3 感生电动势的计算	215
7.3.4 电子感应加速器	217
7.3.5 涡电流	219
7.4 自感和互感	219
7.4.1 自感	220
7.4.2 互感	222
7.5 磁场的能量	223
7.6 位移电流	225
7.6.1 位移电流	225
7.6.2 全电流定律	227
7.7 麦克斯韦电磁场方程组	227
7.8 电磁波的性质和能量	228
7.8.1 电磁波的性质	228
7.8.2 电磁波的能量	229
习题 7	229

第 8 章 机械振动和机械波	233
8.1 简谐振动	233
8.1.1 简谐振动的特征和运动方程	233
8.1.2 描述简谐振动的特征量	235
8.1.3 简谐振动的旋转矢量表示法	239
8.1.4 简谐振动的能量	243
8.2 简谐振动的合成	244
8.2.1 同方向同频率的两个简谐振动的合成	244
8.2.2 同方向不同频率的两个简谐振动的合成	247
8.2.3 同频率相互垂直的两个简谐振动的合成	248
8.2.4 不同频率相互垂直的两个简谐振动的合成	249
8.3 阻尼振动 受迫振动	251
8.3.1 阻尼振动	251
8.3.2 受迫振动	252
8.4 机械波的产生和传播	253
8.4.1 机械波的产生	253
8.4.2 描述波动的物理量	254
8.5 平面简谐波	255
8.5.1 平面简谐波的波函数	255
8.5.2 波函数的物理意义	256
8.5.3 波的能量	260
8.6 波的干涉	261
8.6.1 波的叠加原理	261
8.6.2 波的干涉	262
8.6.3 驻波	265
8.6.4 半波损失	267
8.7 惠更斯原理 波的衍射	268
8.7.1 惠更斯原理	268
8.7.2 波的衍射	269
8.8 多普勒效应	270
习题 8	272
第 9 章 波动光学	277
9.1 光的相干性	278
9.1.1 光源	278
9.1.2 光的单色性	279

9.1.3	光的相干性及相干光的获得	279
9.1.4	光程 光程差	280
9.1.5	薄透镜的等光程性	281
9.1.6	明暗干涉条纹产生的条件	282
9.2	杨氏双缝干涉	282
9.2.1	杨氏双缝干涉	282
9.2.2	应用分波面法的其他实验	285
9.3	薄膜干涉	287
9.3.1	薄膜干涉的基本原理	287
9.3.2	等倾干涉	288
9.3.3	增透膜与增反膜	289
9.3.4	等厚干涉	291
9.3.5	迈克尔逊干涉仪	295
9.4	光的衍射现象	297
9.4.1	惠更斯-菲涅耳原理	297
9.4.2	单缝的夫琅禾费衍射	298
9.5	圆孔衍射和光学仪器的分辨率	302
9.5.1	圆孔的夫琅禾费衍射	302
9.5.2	光学仪器的分辨率	303
9.6	光栅衍射	305
9.6.1	光栅	305
9.6.2	光栅衍射	306
9.7	光的偏振现象	310
9.7.1	自然光和偏振光	310
9.7.2	偏振片 马吕斯定律	312
9.7.3	布儒斯特定律	314
	习题 9	316
第 10 章 狭义相对论		320
10.1	狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	320
10.1.1	狭义相对论的基本原理	320
10.1.2	洛伦兹变换	321
10.1.3	相对论速度变换	324
10.2	狭义相对论的时空观	327
10.2.1	同时的相对性	327
10.2.2	时间膨胀效应	330

10.2.3 长度收缩效应·····	331
10.3 狭义相对论动力学·····	333
10.3.1 相对论质量·····	333
10.3.2 相对论动力学的基本方程·····	335
10.4 相对论能量·····	335
10.4.1 相对论动能·····	335
10.4.2 相对论能量·····	337
10.4.3 动量和能量的关系·····	337
习题 10 ·····	339
第 11 章 量子力学基础 ·····	341
11.1 黑体辐射 普朗克量子假说·····	341
11.1.1 热辐射现象·····	341
11.1.2 黑体辐射·····	342
11.1.3 普朗克量子假说·····	342
11.2 光电效应 爱因斯坦光子理论·····	343
11.2.1 光电效应的实验规律·····	343
11.2.2 经典物理学解释光电效应规律遇到的困难·····	344
11.2.3 爱因斯坦光子理论·····	345
11.3 康普顿效应 光的波粒二象性·····	346
11.3.1 康普顿效应·····	346
11.3.2 康普顿效应的理论解释·····	347
11.3.3 光的波粒二象性·····	348
11.4 玻尔的氢原子理论·····	349
11.4.1 氢原子光谱的规律·····	349
11.4.2 经典物理遇到的困难·····	350
11.4.3 玻尔的氢原子理论·····	351
11.4.4 氢原子光谱的能级公式·····	351
11.4.5 玻尔氢原子理论的成功和缺陷·····	353
11.5 德布罗意物质波 实物粒子的波粒二象性·····	354
11.5.1 德布罗意物质波·····	354
11.5.2 物质波实验验证·····	355
11.5.3 实物粒子的波粒二象性·····	356
11.5.4 不确定关系·····	356
11.6 波函数及其统计解释·····	358
11.6.1 波函数的概念·····	358

11.6.2 波函数的统计解释·····	359
11.7 薛定谔方程·····	360
11.7.1 一维粒子的运动方程·····	360
11.7.2 一维粒子的薛定谔方程·····	361
11.7.3 三维情况下的薛定谔方程·····	362
11.8 薛定谔方程的简单应用·····	363
11.8.1 一维无限深势阱·····	363
11.8.2 一维势垒 隧道效应·····	364
11.9 氢原子·····	365
11.9.1 能量量子化·····	365
11.9.2 角动量量子化·····	366
11.9.3 角动量的空间量子化·····	366
11.9.4 电子的波函数·····	366
11.10 电子的自旋 原子的壳层结构 ·····	367
11.10.1 施特恩-格拉赫实验 ·····	367
11.10.2 电子的自旋 ·····	368
11.10.3 四个量子数 ·····	369
11.10.4 原子的壳层结构 ·····	369
习题 11 ·····	370
习题参考答案·····	373
参考文献·····	382

第 1 章 运动学

力学是研究物体机械运动规律及其应用的学科。自然界中的一切物质都处于永恒的运动之中,物质的运动形式多种多样,其中最简单、最基本的运动是机械运动。一个物体相对于另一个物体的位置随时间发生变化,或者一个物体的各部分之间的相对位置随时间发生变化,都属于机械运动,如地球绕太阳的运动、宇宙飞船的飞行、机器的运转等。本章讨论质点运动学和刚体运动学。

1.1 运动学的一些基本概念

1.1.1 参考系和坐标系

自然界中,所有的物体都在不停地运动着,绝对静止不动的物体是不存在的。要描述一个物体的运动情况,例如它在某时刻的位置以及位置随时间的变化,总要选取其他物体作为参考标准。被选作参考标准的物体或相对位置不变的物体组合称为参考系。参考系的选取是任意的。所选参考系不同,对同一物体的描述也不同,这称为运动描述的相对性。因此,在描述某一物体的运动状态时,必须指明是对哪个参考系而言的。为了定量描述物体相对于参考系的位置,需要在参考系上选用一个固定的坐标系。常用的坐标系有直角坐标系、极坐标系和自然坐标系等。

1.1.2 时间和空间的计量

时间表征物理事件的顺序性和物体运动的持续性。为了计算物体运动持续性的长短,需要用时间间隔来计量,这样就必须有一个计量的标准。1967 年第 13 届国际计量大会决定采用铯原子钟作为新的时间计量基准,并给出时间的基本单位秒(s)的定义为:1 s 的长度等于铯 133 原子基态两个超精细能级之间跃迁对应的辐射周期的 9 192 631 770 倍。有了时间的基准以后,一些典型的物理现象的时间尺度就可以量化表示了。人类研究时间的跨度,从光穿越核子的时间或某个粒子的平均寿命 10^{-24} s 到宇宙的年龄 10^{18} s,达 42 个数量级。

空间反映物体运动的广延性。空间中两点间的距离称为长度,长度计量的基本

单位为米(m)。1983年10月第17届国际计量大会通过的米的定义为:1 m是光在真空中 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 的时间间隔内运行路程的长度。这个定义利用了自然界的一个普适常数——真空中的光速 $c, c = 299\,792\,458\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。目前量度的空间范围为宇宙范围的尺度 10^{27} m 到微观粒子的尺度 10^{-15} m 。根据近代物理理论,极限空间长度为普朗克长度 10^{-35} m ,小于普朗克长度,现有空间概念就不适用了。

1.1.3 质点和质点系

任何物体都有大小和形状,一般来说,物体运动时其各部分的位置变化是不同的,因此要精确描述物体各部分的运动状态不是一件容易的事。根据研究问题的性质,在某些情况下往往可以忽略物体的大小和形状,把物体看成是一个具有一定质量的点,这样抽象后的理想物体模型称为**质点**。

在物理学中,根据研究对象和所研究问题的性质,正确分析影响所研究问题的各种因素,突出主要因素,忽略次要因素,把研究对象和问题简化,这就是建立理想模型。应该注意,在建立理想模型时,要分析模型的合理性。

包含两个或两个以上质点的力学系统称为**质点系**。质点系内各质点不仅可受到外界物体对质点系的作用力——外力的作用,还可受到质点系内各质点之间的相互作用力——内力的作用。外力或内力的区分取决于质点系的选取。如果以太阳系为质点系,则太阳和各行星之间的万有引力是内力,而太阳系内的行星和不属于太阳系的行星之间的引力就是外力。对于由地球和月球组成的地-月系统,太阳对地球、月球的引力是外力,地球和月球之间的引力则是内力。

受外力作用和运动状态变化时都不变形的物体(连续质点系)称为**刚体**。刚体、弹性体、流体都可看成质点系。

质点运动是研究物体运动的基础。在不能把物体当作质点时,可把整个物体视为由许多个质点组成的质点系,弄清每个质点的运动情况,就可以了解整个物体的运动。

1.2 描述质点运动的基本物理量

1.2.1 位置矢量

在如图1-1所示的直角坐标系中,在时刻 t 某质点在点 P 的位置可用自坐标系原点 O 指向点 P 的有向线段 $\boldsymbol{r}$ 表示,矢量 $\boldsymbol{r}$ 称为**位置矢量**,简称**位矢**。从图1-1可以看出,位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 在 x, y, z 轴上的投影分别为 x, y, z (即点 P 的坐标),因此位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 可表示为

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

式中 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为 x, y, z 轴正方向的单位矢量。

位置矢量 $\mathbf{r}$ 的大小为

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

位置矢量 $\mathbf{r}$ 的方向余弦为

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r} \quad (1-3)$$

式中 α, β, γ 分别是位置矢量 $\mathbf{r}$ 与 x, y, z 轴方向之间的夹角。它们满足以下关系

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

故三个方向余弦只有两个是独立的。

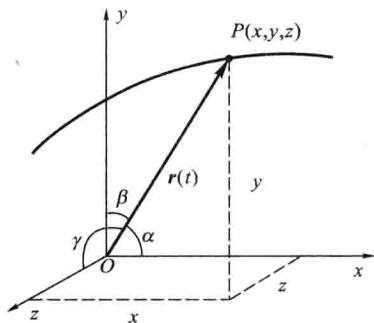


图 1-1

1.2.2 运动方程

质点相对参考系运动时,质点的位置随时间 t 变化,表示质点位置的坐标、位置矢量等是时间 t 的单值函数。质点的位置随时间变化的函数关系称为质点的运动方程。

用直角坐标 (x, y, z) 表示质点的位置时,三个坐标随时间 t 变化的函数关系式

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1-4)$$

是用直角坐标表示的运动方程。用位置矢量 $\mathbf{r}$ 表示质点的位置时, $\mathbf{r}$ 随时间 t 变化的函数关系式

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-5)$$

是用位置矢量表示的运动方程。

从 $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$ 中消去参数 t , 可得到质点的轨迹方程。

质点的运动方程包含了质点的全部运动学信息。由运动方程可以确定质点在任意时刻的位置、速度、加速度、质点的轨迹方程和质点在任意一段时间内的路程。运动学的重要任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程。

1.2.3 位移

质点在空间运动过程中,其位置矢量随时间变化。设 t_1 时刻质点的位置在点 A, 位置矢量为 $\mathbf{r}_1$; $t_2 = t_1 + \Delta t$ 时刻质点的位置在点 B, 位置矢量为 $\mathbf{r}_2$, 如图 1-2 所示。质点在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 这段时间内的位置矢量的变化为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \quad (1-6)$$

$\Delta \mathbf{r}$ 称为位移矢量, 简称位移。

在直角坐标系中, $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$ 两个位置矢量分别为

$$\mathbf{r}_1 = x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k}, \quad \mathbf{r}_2 = x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} + z_2\mathbf{k}$$