

The background of the cover is a deep blue and purple cosmic image, possibly showing a nebula or a galaxy with swirling patterns and bright spots of light.

3rd Edition Physics 物理学

(第3版) 刘永胜 朱晨 / 主编

清华大学出版社

3rd Edition
Physics
物理学

(第3版) 刘永胜 朱晨 / 主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书内容包括质点运动学、质点动力学、刚体定轴转动、气体分子动理论、热力学基础、静电场、静电场中的导体和电介质、恒定电流的磁场、电磁感应、机械振动、机械波、光的干涉、光的衍射、光的偏振、狭义相对论基础、近代物理初步。为了便于读者学习和掌握其中的内容,每一章前都提出了基本要求和重点。同时每章还配有物理学与现代科学技术阅读材料,让读者在学习过程中进一步了解物理学在实际中的一些应用。每章最后给出了在基本要求范围内的同步练习,同步练习分为思考题、选择题、填空题和计算题四种题型,并在书后给出了答案。本书配有辅导教材,在辅导教材中,有习题分析、同步练习题的详细解答。

本书可作为高等院校非理工类和理工类少学时的本科学生大学物理教材,也可作为成人教育、高职院校的教材和理工科学生的物理学自学教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

物理学/刘永胜,朱晨主编.--3版.--北京:清华大学出版社,2015

ISBN 978-7-302-41297-7

I. ①物… II. ①刘… ②朱… 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(2015)第 195762 号

责任编辑:朱红莲

封面设计:张京京

责任校对:王淑云

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:24

字 数:581千字

版 次:2009年8月第1版

2015年11月第3版

印 次:2015年11月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:46.00元

产品编号:039642-01

前言

物理学(第3版)

大学物理课程不仅是一门基础课,同时也是一门素质培养和训练课。为高等院校的理工类学生开设的少学时物理课,就是要在物理基本知识的同时,了解物理学史和物理学在各个领域的一些应用。通过物理学的学习和训练,能够客观地认识物质世界和物质的运动规律,培养科学的思维方法,树立科学发展观,提高分析问题和解决问题的能力,提高综合素质,为后续课程打下良好的基础。

作者在编写本书的过程中,根据多年理工类少学时的教学体会,并征求了其他教师的意见,确定了本书编写的基本思路和特点。本书有下面几个特点。

1. 有完整的物理学基本内容体系。
2. 每章给出了可供参考的基本要求和学习重点。
3. 根据使用少学时教材专业的要求,对传统的章节和内容作了适当的调整和删减。简化了一些结论的推导和论证过程。
4. 根据现在学生的特点,每章给出了少而精的同步练习题。
5. 在编写过程中,作者总结了多年的大学物理教学经验和体会,把基本要求融入到相关例题中,便于教师教授本门课程时把握难易程度。读者如果把相关例题研究明白并记住,也就掌握了该内容的基本要求。
6. 每章除了基本内容外还编写了“物理学与现代科学技术阅读材料”内容,如果贵校设置了“物理学与现代技术”类的选修课,每章的“物理学与现代科学技术阅读材料”内容可供本门选修课参考。本书中“物理学与现代技术阅读材料”内容由金艳春老师搜集编写。

本书配有辅导教材,在辅导教材中,给出了每章的基本概念和规律、基本要求,编写了典型例题、同步练习的习题解答、自测题、自测题答案。编写本书辅导教材的目的就是辅助读者能够更好地理解和掌握本教材每一章的基本要求、基本概念和内容,以便更好地学好物理学。

本教材是针对大学物理 96 学时及以下教学时数为对象编写的。也就是计划 96 学时、64 学时等专业都可以应用本教材,当然计划学时少的专业有些内容可以不讲,96 学时的教学后面已给出建议性的课时分配方案,64 学时的教学内容要根据专业特点取舍,这里未给出统一的教学课时分配方案。

96学时教学课时建议分配方案(供参考):第1章6学时,第2章3学时,第3章5学时,第4章5学时,第5章6学时,第6章8学时,第7章6学时,第8章6学时,第9章7学时,第10章6学时,第11章6学时,第12章4学时,第13章6学时,第14章6学时,第15章4学时,第16章6学时第17章6学时。

本书中难免有错误,恳请各位老师发现后及时反馈给作者,不胜感谢。我的邮箱:lysheng@tjut.edu.cn

编 者

2015年10月

第1章 质点运动学	1
1.1 参考系 位置矢量	1
1.1.1 参考系和坐标系	1
1.1.2 位置矢量和运动方程	2
1.2 位移 速度和加速度	3
1.2.1 位移矢量和路程	3
1.2.2 速度和速率	3
1.2.3 加速度	4
1.3 平面曲线运动	8
1.3.1 斜抛运动	8
1.3.2 圆周运动	9
1.4 相对运动	14
物理学与现代技术阅读材料之一 航天运载火箭	15
同步练习	18
第2章 牛顿运动定律	20
2.1 牛顿运动定律	20
2.1.1 牛顿第一定律——惯性定律	20
2.1.2 牛顿第二定律——加速度定律	21
2.1.3 牛顿第三定律——作用力与反作用力定律	22
2.2 几种常见的力	22
2.3 牛顿运动定律的应用	23
物理学与现代技术阅读材料之二 北斗卫星导航系统	25
同步练习	30
第3章 运动的守恒定律	33
3.1 质点和质点系的动量定理	33

3.1.1	质点的动量定理	33
3.1.2	质点系的动量定理	35
3.2	动量守恒定律	37
3.3	功和能	38
3.3.1	功	38
3.3.2	功率	39
3.3.3	质点的动能定理	39
3.4	保守力与非保守力 势能	41
3.4.1	万有引力、重力、弹性力的功及其特点	41
3.4.2	保守力和非保守力	42
3.4.3	势能	43
3.4.4	功能原理 机械能守恒定律	43
	物理学与现代技术阅读材料之三 人造卫星的轨道概述	46
	同步练习	51
第4章	刚体的转动	55
4.1	刚体的定轴转动	55
4.2	力矩 转动定律 转动惯量	56
4.3	刚体定轴转动的动能定理	61
4.3.1	力矩做功	61
4.3.2	力矩的功率	62
4.3.3	刚体的转动动能	62
4.4	刚体绕定轴转动的动能定理	63
4.5	角动量 角动量守恒定律	64
4.5.1	质点的角动量定理和角动量守恒定律	64
4.5.2	刚体定轴转动的角动量定理和角动量守恒定律	66
	物理学与现代技术阅读材料之四 神舟十号飞船	69
	同步练习	71
第5章	气体分子动理论	75
5.1	理想气体	75
5.1.1	理想气体的描述	75
5.1.2	平衡态和理想气体状态方程	76
5.2	理想气体的压强和温度	77
5.2.1	关于分子集体的统计性假设	77
5.2.2	理想气体的压强公式	78
5.2.3	理想气体的温度公式	78
5.3	分子能量按自由度均分定理	79
5.4	麦克斯韦气体分子速率分布律	81

5.5 气体分子的平均自由程	84
物理学与现代技术阅读材料之五 涡轮增压发动机	85
同步练习	91
第 6 章 热力学基础	95
6.1 准静态过程 功	95
6.1.1 准静态过程	95
6.1.2 功	96
6.1.3 热量	97
6.2 热力学第一定律及其在等值过程中的应用	97
6.2.1 热力学第一定律	97
6.2.2 热力学第一定律在理想气体等值过程中的应用	97
6.3 理想气体的绝热过程	102
6.3.1 准静态绝热过程	102
6.3.2 绝热自由膨胀	103
6.4 循环	104
6.4.1 循环过程	104
6.4.2 卡诺热机循环	106
6.4.3 卡诺制冷循环	107
6.5 热力学第二定律	109
物理学与现代技术阅读材料之六 空调器技术 空调器的结构及工作原理	110
同步练习	116
第 7 章 静电场	120
7.1 电荷	120
7.1.1 电荷的种类	120
7.1.2 电荷的量子性	120
7.1.3 电荷守恒定律	121
7.2 库仑定律与叠加原理	121
7.3 静电场和电场强度	122
7.4 电场强度的计算	123
7.4.1 点电荷的电场	123
7.4.2 场强的叠加原理和点电荷系的场强	124
7.4.3 电偶极子	124
7.4.4 连续分布电荷的场强	126
7.5 电场强度通量与高斯定理	127
7.5.1 电场线	127
7.5.2 电场强度通量	128
7.5.3 高斯定理	129

7.5.4 应用高斯定理求场强	130
7.6 静电场力的功 电势	133
7.6.1 静电场力做功的特点	133
7.6.2 电势能	134
7.6.3 电势 电势差	134
7.6.4 电势的计算	135
7.7 等势面 场强与电势的关系	137
7.7.1 等势面	137
7.7.2 场强与电势的关系	138
物理学与现代技术阅读材料之七 关于人体静电	139
同步练习	142
第8章 静电场中的导体和电介质	147
8.1 静电场中的导体	147
8.1.1 静电感应 导体静电平衡条件	147
8.1.2 静电平衡时导体上的电荷	148
8.2 静电场中的电介质	152
8.2.1 电介质的极化	152
8.2.2 电介质极化后的电极化强度和电场强度	153
8.3 电容和电容器	155
8.3.1 孤立导体的电容	155
8.3.2 真空电容器的电容	155
8.4 静电场的能量	157
物理学与现代技术阅读材料之八 静电复印技术	158
同步练习	162
第9章 恒定电流的磁场	166
9.1 恒定电流	166
9.1.1 电动势 电流	166
9.1.2 闭合回路的欧姆定律	168
9.2 磁场 磁感应强度	169
9.3 电流的磁场	170
9.3.1 毕奥-萨伐尔定律	171
9.3.2 毕奥-萨伐尔定律应用举例	171
9.4 磁通量 磁场中的高斯定理	174
9.4.1 磁感应线 磁通量	174
9.4.2 磁场中的高斯定理	175
9.5 安培环路定理	176
9.6 磁场对运动电荷的作用——洛伦兹力	177

9.7 磁场对电流的作用	178
9.7.1 磁场对载流导线的作用——安培力	178
9.7.2 磁场对载流线圈的作用——磁力矩	179
9.8 磁场中的磁介质	180
9.8.1 顺磁质和抗磁质	180
9.8.2 磁介质中的安培环路定律	181
9.8.3 铁磁质的磁化	181
物理学与现代技术阅读材料之九 高铁技术	182
同步练习	186
第 10 章 电磁感应	191
10.1 法拉第电磁感应定律	191
10.2 动生电动势	193
10.3 感生电动势和感应电场	194
10.4 互感	196
10.5 自感	197
10.6 磁场的能量	198
物理学与现代技术阅读材料之十 上海磁悬浮列车	199
同步练习	204
第 11 章 机械振动	209
11.1 简谐振动的微分方程和运动方程	209
11.1.1 简谐振动的微分方程和运动方程的一般形式	209
11.1.2 由初始条件确定振幅和初相位	211
11.2 简谐振动的旋转矢量表示法	214
11.2.1 简谐振动的旋转矢量	214
11.2.2 振动曲线和相位差	214
11.3 简谐振动的能量	217
11.3.1 振动的动能和势能	217
11.3.2 简谐振动中的两类问题	217
11.4 简谐振动的合成	219
物理学与现代技术阅读材料之十一 关于噪声污染	220
同步练习	225
第 12 章 机械波	229
12.1 机械波的产生和传播	229
12.1.1 机械波的产生	229
12.1.2 机械波的传播	229
12.2 描述波的物理量	230

12.3	平面简谐波的波函数	232
12.4	波的能量和能流密度	238
12.4.1	行波的能量	239
12.4.2	能流密度	239
12.5	惠更斯原理	240
12.6	波的叠加原理 波的干涉	241
12.6.1	波的叠加原理与干涉现象	241
12.6.2	波的干涉	242
12.7	驻波	243
	物理学与现代技术阅读材料之十二 次声波	246
	同步练习	251
第13章	光的干涉	256
13.1	光源	256
13.1.1	发光方式	256
13.1.2	光的单色性和相干性	257
13.2	杨氏双缝干涉	260
13.2.1	杨氏双缝实验	260
13.2.2	劳埃德镜	261
13.3	薄膜干涉	263
13.3.1	薄膜干涉	263
13.3.2	减反射膜和高反射膜	264
13.3.3	厚膜干涉	265
13.4	劈尖干涉 牛顿环	265
13.4.1	劈尖干涉	265
13.4.2	牛顿环	267
13.5	干涉仪 干涉现象的应用	269
	物理学与现代技术阅读材料之十三 激光技术简介	270
	同步练习	275
第14章	光的衍射	278
14.1	光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	278
14.1.1	光的衍射现象	278
14.1.2	惠更斯-菲涅耳原理	278
14.1.3	菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射	279
14.2	夫琅禾费单缝衍射	279
14.2.1	单缝衍射的成因	279
14.2.2	菲涅耳半波带法和明暗条纹的条件	280
14.2.3	单缝衍射条纹的特点	281

14.3	圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	283
14.3.1	圆孔衍射	283
14.3.2	光学仪器的分辨本领	284
14.4	光栅衍射	285
14.4.1	光栅的构造	285
14.4.2	光栅的衍射条纹	285
14.4.3	白光照射的光栅光谱	287
	物理学与现代技术阅读材料之十四 激光技术应用简介	288
	同步练习	293
第 15 章	光的偏振	295
15.1	自然光和偏振光	295
15.1.1	自然光	295
15.1.2	偏振光	296
15.1.3	偏振片的起偏和检偏	296
15.2	马吕斯定律	297
15.3	布儒斯特定律	298
15.4	光的双折射现象	300
15.4.1	双折射现象	300
15.4.2	寻常光和非寻常光	300
15.4.3	晶体光轴、主截面	301
15.4.4	人为双折射现象	301
	物理学与现代技术阅读材料之十五 激光武器	301
	同步练习	306
第 16 章	狭义相对论基础	308
16.1	伽利略变换 经典力学时空观 力学相对性原理	309
16.1.1	伽利略变换	309
16.1.2	经典力学时空观	310
16.1.3	力学相对性原理	310
16.2	迈克耳孙-莫雷实验	311
16.3	爱因斯坦狭义相对论基本假设 洛伦兹变换	312
16.3.1	爱因斯坦狭义相对论基本假设	312
16.3.2	洛伦兹变换	313
16.4	三种相对论效应	316
16.4.1	长度收缩效应	316
16.4.2	时间膨胀(钟慢)效应	317
16.4.3	同时的相对性	318
16.5	相对论动力学基础	320

16.5.1	质量与速度的关系	320
16.5.2	相对论力学的基本方程	320
16.5.3	质量与能量关系	321
16.5.4	动量与能量之间的关系	322
16.5.5	光子情况	322
物理学与现代技术阅读材料之十六 γ 射线		324
同步练习		330
第 17 章 量子物理基础		332
17.1	黑体辐射 普朗克量子假说	332
17.1.1	黑体 黑体辐射	332
17.1.2	斯特藩-玻耳兹曼定律 维恩位移定律	333
17.1.3	“紫外灾难”	334
17.1.4	普朗克量子假设	334
17.2	光电效应 爱因斯坦光子理论	336
17.2.1	光电效应及其实验规律	336
17.2.2	光电效应与经典波动理论的矛盾	337
17.2.3	爱因斯坦光子理论	337
17.2.4	光的波粒二象性	338
17.3	康普顿效应	339
17.3.1	康普顿效应的实验规律	339
17.3.2	光子理论对康普顿效应的解释	340
17.4	氢原子光谱的实验规律	342
17.5	原子系统的玻尔理论	344
17.5.1	原子结构的有核模型	344
17.5.2	玻尔理论的基本假设	344
17.5.3	玻尔理论对类氢原子的处理结果	345
物理学与现代技术阅读材料之十七 光电效应及应用		347
同步练习		358
附录 一些常用物理常数		361
练习题参考答案		362
参考文献		370

基本要求

1. 熟悉描述质点运动物理量的定义及其矢量性、相对性和瞬时性；
2. 掌握运动方程的物理意义，会用微积分方法求解一维运动学两类问题；
3. 理解平面抛体运动和圆周运动的规律，掌握圆周运动的角速度、角加速度、切向加速度、法向加速度的简单计算；
4. 了解经典力学时空观的局限性。

学习重点

1. 描述质点运动及运动变化的 4 个基本物理量的概念；
2. 描述质点运动及运动变化的基本规律。

自然界是由物质构成的，物质间存在着一定的关系，它们之间往往都有着联系和相互运动。机械运动是一种常见的运动，即一个物质系统中各物体间的相对位置发生变化。实际物体不但有质量，同时还有一定体积和形状，如果把这些因素引入运动中，讨论起来就会使运动变得复杂。为准确地描述物体的运动位置与状态，常把物体视为一个质点。即把物体视为具有一定质量的、无形状和体积的点，这样的点称为质点。显然质点是为了研究物体运动而提出的一个理想模型，这样物体的运动就可以看成一个点的运动。运动轨迹可以用一条线来描述。

1.1 参考系 位置矢量

1.1.1 参考系和坐标系

运动是物质存在的形式，任何物体都在作各种形式的运动。运动是绝对的，而对运动的描述是相对的。我们静坐在教室不动，似乎是静止，而实际上，地球还在自转与绕太阳公转，那当我们在地球表面上静坐时是不是也在运动？考察一个物体是否在运动，参照物十分重要。去旅行时坐在火车上，当你乘坐的火车在某车站停留时，另一列火车从你坐的火车旁驶过，你向外看时，飞驰的火车挡住你的视线，此时你会感觉自己乘坐的火车在向后方运动；当那一列运动的火车驶过，你再看眼前的车站，发现你乘坐的火车并没有运动，这就是选取不同参照物产生的效果。把用来判断物体是否运动的物体或物体系统称为参考系。显然描

述物体运动是对特定的参考系而言,这也说明了物体运动是相对的概念。例如,在匀速直线运动的车厢里有一物体自由下落,以车厢为参考系物体作自由落体运动,若以地面为参考系则物体作平抛运动。

要定量地描述物体运动,要有数值关系的描述,建立一个合适的坐标系是很有必要的。常用的坐标系有三维直角坐标系、球坐标系、柱坐标系,还有极坐标系和自然坐标系等。有了坐标系以后,物体的运动就可以放到坐标系里来定量描述。

1.1.2 位置矢量和运动方程

质点在运动过程中,某时刻所在的位置,可在坐标系中用矢量表示出来,这一矢量就称为位置矢量,简称位矢,用 $\mathbf{r}$ 表示。如图 1-1 所示,在三维直角坐标系中,位置矢量可写成

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

通常位置矢量与 x 轴之间的夹角用 α 表示;与 y 轴之间的夹角用 β 表示;与 z 轴之间的夹角用 γ 表示。位矢是既有大小又有方向的量。其大小为

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

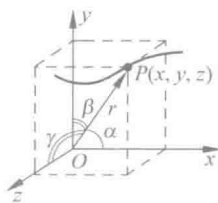


图 1-1 位置矢量

方向用方向余弦表示为

$$\cos\alpha = \frac{x}{r} \quad \text{① 选参考系}$$

$$\cos\beta = \frac{y}{r} \quad \text{② 建立坐标}$$

$$\cos\gamma = \frac{z}{r} \quad \text{③ 描述位置}$$

这里, $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$ 。

如果以北京为坐标原点,建立一个二维直角坐标系,向北为 x 轴,向西为 y 轴。在地图上,把张家口市作为一个点,将这个坐标系里张家口所在位置用位置矢量来描述,其位矢的大小约为 210km,方向大约向北偏西 45° ,即在这个直角坐标系中位置矢量的大小 $r = 210\text{km}$, $\alpha = 45^\circ$ 。

在研究物体运动时,要知道物体的运动状态随时间的变化情况,把位置矢量随时间的变化函数称为运动方程。

运动方程在三维直角坐标系中用位矢可以表示为

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

其中 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为 x, y, z 方向的单位矢量,关于单位矢量的介绍如下:单位矢量大小(矢量模)是 1,即 $|\mathbf{i}| = |\mathbf{j}| = |\mathbf{k}| = 1$ 在矢量描述中,比如 x 方向单位矢量为 $\mathbf{i}$,任何数值后面加上 $\mathbf{i}$,表明这是 x 方向的一个数。例如 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = 16t\mathbf{i}$,这是质点在 x 方向的运动方程,也可以写成 $x = 16t$ 。前者是用矢量方式表示,后者表示沿 x 方向的运动方程。

式(1-1)的分量式为

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t)$$

例如在斜抛运动中,设抛射初速度为 v_0 ,抛射角为 θ_0 ,其运动方程矢量形式为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = v_0 \cos \theta_0 t \mathbf{i} + \left(v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \right) \mathbf{j}$$

其分量式为

$$x = v_0 \cos \theta_0 t, \quad y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

在直角坐标系中的运动方程, 消去时间 t 即为轨道方程 $f(x, y, z) = 0$, 即运动方程消去 t 。

例如斜抛运动, 轨道方程为

$$y = x \tan \theta_0 - \frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \theta_0}$$

1.2 位移 速度和加速度

1.2.1 位移矢量和路程

1. 位移矢量

质点在运动过程中, 位置不断变化, 设 t_1 时刻质点在 A 点, t_2 时刻在 B 点, 如图 1-2 所示, 则 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内, 质点位置的变化为 $\Delta \mathbf{r}$

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \\ &= (x_2 - x_1) \mathbf{i} + (y_2 - y_1) \mathbf{j} + (z_2 - z_1) \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-2)$$

把 Δt 时间内位置矢量的矢量差称为位移 $\Delta \mathbf{r}$ 。位移矢量的大小为

$$\begin{aligned} |\Delta \mathbf{r}| &= |\overline{AB}| \\ &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \end{aligned}$$

位移矢量与 x, y, z 方向的夹角由方向余弦确定:

$$\cos \alpha = \frac{x_2 - x_1}{|\Delta \mathbf{r}|}, \quad \cos \beta = \frac{y_2 - y_1}{|\Delta \mathbf{r}|}, \quad \cos \gamma = \frac{z_2 - z_1}{|\Delta \mathbf{r}|}$$

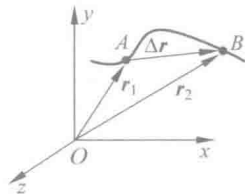


图 1-2 位移矢量

2. 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与路程 Δs

由图 1-2 可以看出, 位移由始末位置决定, 是有大小和方向的矢量, 用 $\Delta \mathbf{r}$ 表示; 路程是标量, 它的大小由质点运动轨迹来决定, 用 Δs 表示。例如质点作半径为 R 的圆周运动, 运动一周后, 位移 $\Delta \mathbf{r} = 0$, 而路程 $\Delta s = 2\pi R$ 。不难理解, 任意两点间 $\Delta \mathbf{r}$ 是唯一的, 而 Δs 可以有多个值, 一般曲线运动中 $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta s, \Delta s \geq |\Delta \mathbf{r}|$ 。

1.2.2 速度和速率

速度是衡量质点运动快慢的物理量。设 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内, 质点运动位移为 $\Delta \mathbf{r}$, 把位移与时间间隔的比值称为平均速度, 平均速度是矢量, 用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示, 其表达式为

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

这是一段时间间隔内质点运动的速度, 它不能精准地描述质点某时刻的运动速度。 Δt 取 1s

用来计算平均速度与 Δt 取 1min 来计算平均速度,对速度描述的精准度是不一样的,显然 Δt 时间间隔越小计算出来的平均速度就越精准。从这个概念出发,用 $\Delta t \rightarrow 0$ 的条件来计算平均速度,求出来的速度应该是最精准的,这个速度称为瞬时速度。即位置矢量对时间的变化率称为瞬时速度,用 $\boldsymbol{v}$ 表示,简称速度,其表达式为

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}$$

速度是矢量,其方向为运动轨迹上质点运动到该点的切线方向,且该方向指向运动方向。与速度类似,质点在 Δt 时间内运动的路程用 Δs 表示,定义运动路程与时间的比值称为平均速率 $\bar{v}$,其表达式为

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

如果时间 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,上式可写成

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

上式称为质点运动的速率,即路程对时间的变化率称为速率 v 。

一般情况下, Δt 时间内路程 Δs 与位移大小 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 不相等,平均速度的大小不等于平均速率大小,即 $|\bar{\boldsymbol{v}}| \neq \bar{v}$ 。同时速度和速率也是两个不同的物理量,它们的区别是:速度是矢量,而速率是标量;速度是位移函数对时间的导数,而速率是路程函数对时间的导数;它们都能反映质点运动的快慢,速度有确定的方向,而速率没有确定的方向。

速度是矢量,在三维直角坐标系中,速度可写成

$$\begin{aligned} \boldsymbol{v} &= \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}) \\ &= \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt}\boldsymbol{k} \\ &= v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k} \end{aligned} \quad (1-3)$$

速度的大小为速度矢量的模,即

$$v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

方向用方向余弦表示

$$\cos\alpha = \frac{v_x}{v}, \quad \cos\beta = \frac{v_y}{v}, \quad \cos\gamma = \frac{v_z}{v}$$

关于速度的方向问题,需要说明的是:在三维直角坐标系中,只要能够把方向精准地描述出来就可以了,不一定非要用方向余弦来说明速度方向的三维坐标和方向之间的夹角 α , β 和 γ 。在许多例题中,用二维平面直角坐标系来描述物体运动,速度的方向常用正切函数来求,即 $\tan\alpha = \frac{v_y}{v_x}$, α 角是速度矢量与 x 轴之间的夹角,以此来说明速度的方向;若速度方向要用与 y 轴来说明,则用 $\tan\beta = \frac{v_x}{v_y}$,显然 β 是速度方向与 y 轴之间的夹角。总之,速度是矢量,不但要求出速度的大小,还要把方向正确地描述出来,无论是用数学表达式还是用文字。

1.2.3 加速度

质点运动时,通常速度大小和方向会随时间改变。设 t_1 时刻速度为 $\boldsymbol{v}_1$, t_2 时刻速度为