



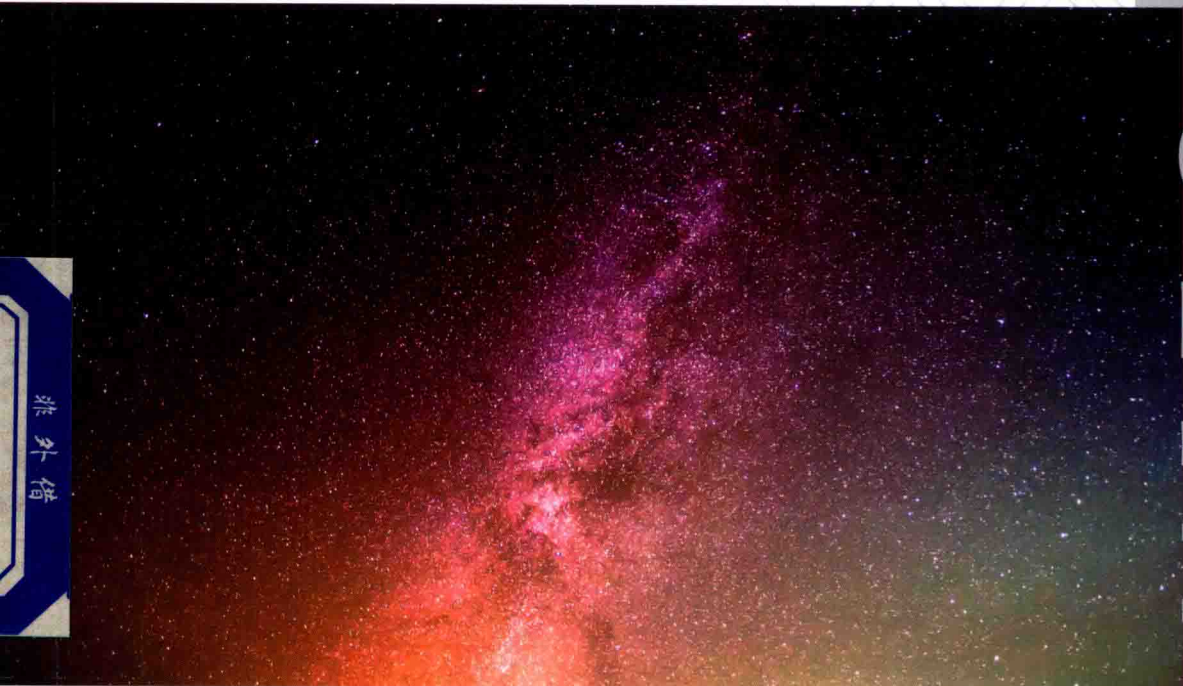
普通高等学校“十三五”数字化建设规划教材

大学物理学 (上)

文双春 / 总主编

张智 / 主编

D
A
X
U
E
W
U
L
I
X
U
E



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



普通高等学校“十三五”数字化建设规划教材

大学物理学

(上)

总主编 文双春

主 编 张 智



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据教育部非物理类专业物理课程教学指导委员会最新颁布的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》编写的大学物理教材,突出基础与应用、通识与专业、共性与个性、学习与职业发展等,每章以兴趣热点问题开始、以拓展探究问题结束,重点在基础和方法,全书按学时均分为两册。

上册含力学篇、光学篇和热力学基础篇。力学包括以物理模型展开的质点力学和刚体力学,以运动形式展开的振动力学和波动力学,前者主要介绍力学的研究内容和方法,后者是前者的重复和应用。光学包括几何光学和波动光学,重点在波动光学的干涉、衍射和偏振。热力学基础从宏观实验展开,到微观解释结束,通过现象看本质。

下册包括电磁学和近代物理基础两篇。电磁学按静电场、稳恒磁场、电磁感应与电磁场有序展开,近代物理基础由狭义相对论、量子物理学基础、激光与固体电子学简介及原子核和粒子物理简介四部分构成。

本书可作为高等院校理工科各专业大学物理课程教材,也可供相关专业师生及有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 上 / 文双春总主编; 张智主编. —北京: 北京大学出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-301-30071-8

I. ①大… II. ①文… ②张… 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(2018)第 260820 号

书 名 大学物理学(上)

DAXUE WULIXUE (SHANG)

著作责任者 文双春 总主编 张 智 主 编

责任编辑 顾卫宇

标准书号 ISBN 978-7-301-30071-8

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn>

电子信箱 zpup@pup.cn

新浪微博 @北京大学出版社

电 话 邮购部 010-62752015 发行部 010-62750672 编辑部 010-62754271

印 刷 者 长沙超峰印刷有限公司

经 销 者 新华书店

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 21.75 印张 539 千字

2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷

定 价 58.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话: 010-62756370

本书配套云资源使用说明

本书配有网络云资源,资源类型包括:微课、图解和实验。

一、资源说明

1. 微课:对知识中的重点、难点和典型例题的讲解或拓展,主要体现基本概念、基本原理和基本方法,知识结构完整,逻辑脉络清晰。
2. 图解:有声彩图,对教材中难于理解或内容丰富的图,分步放映和解说,重点在于图的内涵和逻辑关系。
3. 实验:对典型物理现象的视频或计算机仿真模拟分步进行解说,重现象解释,并与理论知识相关联。

二、使用方法

1. 打开微信的“扫一扫”功能,扫描关注公众号(公众号二维码见封底)。
2. 点击公众号页面内的“激活课程”。
3. 刮开激活码涂层,扫描激活云资源(激活码见封底)。
4. 激活成功后,扫描书中的二维码,即可直接访问对应的云资源。

注:1. 每本书的激活码都是唯一的,不能重复激活使用。

2. 非正版图书无法使用本书配套云资源。

前 言

物理学是研究物质运动最一般规律和物质基本结构的学科。作为自然科学的带头学科,物理学研究你的世界及你周围的世界和宇宙,不仅是其他自然科学学科的基础,而且与每个人的生活息息相关。国内外已有许多非常优秀的大学物理教材,我们再编一部的驱动力主要来自三个方面。

其一,大学物理固然是所有理工科专业的基础课,但所有理工科专业对物理基础的要求都是一样的吗?多年的教学实践使我们深切感受到,大学物理作为基础课,其教学既要“有教无类”,即让不同专业的学生掌握共同的、基本的物理知识、物理思维和物理方法,还要“因材施教”、精准发力(尤其在大学物理课时不断压缩的情况下),即让物理学更贴近专业,更贴近学生。唯此,一方面更能凸显物理学的基础性,另一方面更激发出学生的学习兴趣 and 动力。近两年,我们施行了“物理与科学”“物理与工程”“物理与信息”“物理与文化”等面向学科门类的大学物理教学改革与实践,以“服务”的姿态主动对接学生的专业需要,满足学生的“有用”需求,取得初步成效。我们亟须一部与此相适应的教材。

其二,在互联网和信息时代,一方面,学生获取知识的途径和方式日趋多元化;另一方面,各种电子形式的优质教学资源唾手可得。大学物理教材和教学如何与时俱进?如何既保持必不可少、非讲不可的部分,又吸纳或开辟教与学的新资源、新领地?近几年,我们也开发了系列电子形式的教学资源,包括慕课、微课、仿真实验、演示动画等。我们希望借助互联网和新媒体平台,将自主开发的电子资源和可获取的共享资源与传统的纸质书有机融合,打造一部信息化、立体化教材,更好地促进大学物理教学。

其三,在创新驱动发展的时代,创新能力是大学的核心竞争力;与此同时,在建设一流大学的征途中,大学必须把培养一流人才作为其中心任务,而一流人才的显著特征是创新。大学物理课程如何更好地培养学生的创新能力?创新始于提出或发现问题,创新能力得益于解决问题。我们力图编写一部以问题为导向的教材,让学生带着问题开启学习或走进课堂,在学习过程中不时碰到问题(思考题),每一章结束后又带着问题进一步“拓展与探究”。我们希望通过这一不断反复的过程,使学生不仅掌握知识,还能应用和创造知识,而后者就是创新。

全书分为两册,由文双春任总主编,上册(第1章至第10章)由张智主编,下册(第11章至第19章)由陈曙光主编。另外,参与编写工作的有:肖艳萍(第1章),刘利辉(第2章),张智(第

大学物理学(上)

3~4章,第6~7章),文利群(第5章、第8章),王鑫(第9~10章),彭军(第11~12章),陈曙光(第13章、第15章、第17章),蔡孟秋(第14章),崇桂书(第16章、第19章),李美姮(第18章).

沈辉、胡锐参与教学资源信息化实现,赵荷花、陈平提供了版式和装帧设计方案.

本书在编写过程中参考了许多国内外优秀教材和其他参考书,在此深表感谢.

本书在体系、内容和写法上做了一些新的尝试和探索,限于经验和水平,难免有不足之处,特别在教学资源、问题习题提炼和拓展探究引导等方面.所有这些尚有待于在教学实践中不断完善,也恳请读者不吝指正.

编者

2018年10月

目 录

第 1 篇 力 学

第 1 章 质点力学	3
1.1 质点运动学	4
1.2 质点动力学	21
1.3 冲量与动量	37
1.4 功和能量	52
本章小结	63
拓展与探究	64
习题 1	64
第 2 章 刚体力学	69
2.1 刚体运动学	70
2.2 刚体动力学	76
2.3 冲量矩和角动量	86
2.4 力矩功与能	90
本章小结	95
拓展与探究	96
习题 2	97
第 3 章 振动力学	100
3.1 振动运动学	101
3.2 振动动力学	118
3.3 振动的能量	133
本章小结	138
拓展与探究	138
习题 3	138
第 4 章 波动力学	140
4.1 波动运动学	141
4.2 波动动力学	159

4.3 波动的能量	161
本章小结	165
拓展与探究	166
习题4	166

第2篇 光 学

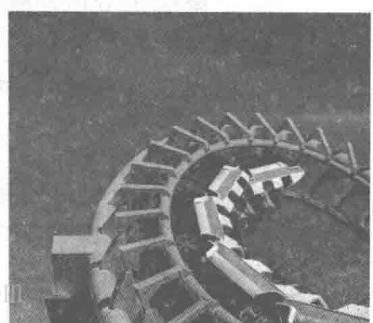
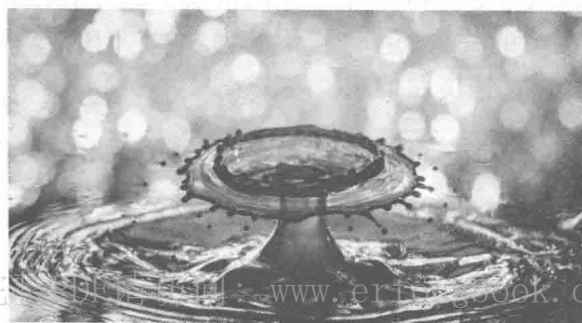
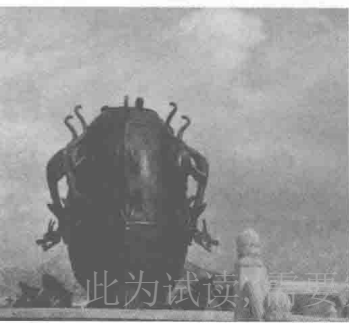
第5章 几何光学	171
5.1 几何光学的基本定律	172
5.2 光在球面上的反射和折射	175
5.3 薄透镜	182
5.4 显微镜 望远镜 照相机	186
本章小结	190
拓展与探究	191
习题5	191
第6章 光的干涉	193
6.1 光的相干性和相干光的获得	194
6.2 光干涉叠加的定量分析	196
6.3 常见干涉类型	199
6.4 光干涉计算中值得注意的内容	213
本章小结	217
拓展与探究	218
习题6	219
第7章 光的衍射	221
7.1 惠更斯-菲涅耳原理 光的衍射及分类	222
7.2 单缝衍射	224
7.3 衍射基础上的干涉	230
7.4 光栅及光栅光谱	232
7.5 光学分辨本领	238
7.6 X射线衍射 布拉格定律	243
本章小结	247
拓展与探究	248
习题7	248
第8章 光的偏振	251
8.1 光的偏振态	252
8.2 偏振片的起偏和检偏	254
8.3 反射和折射的偏振	257
8.4 光的双折射	259
*8.5 偏振光的干涉	264

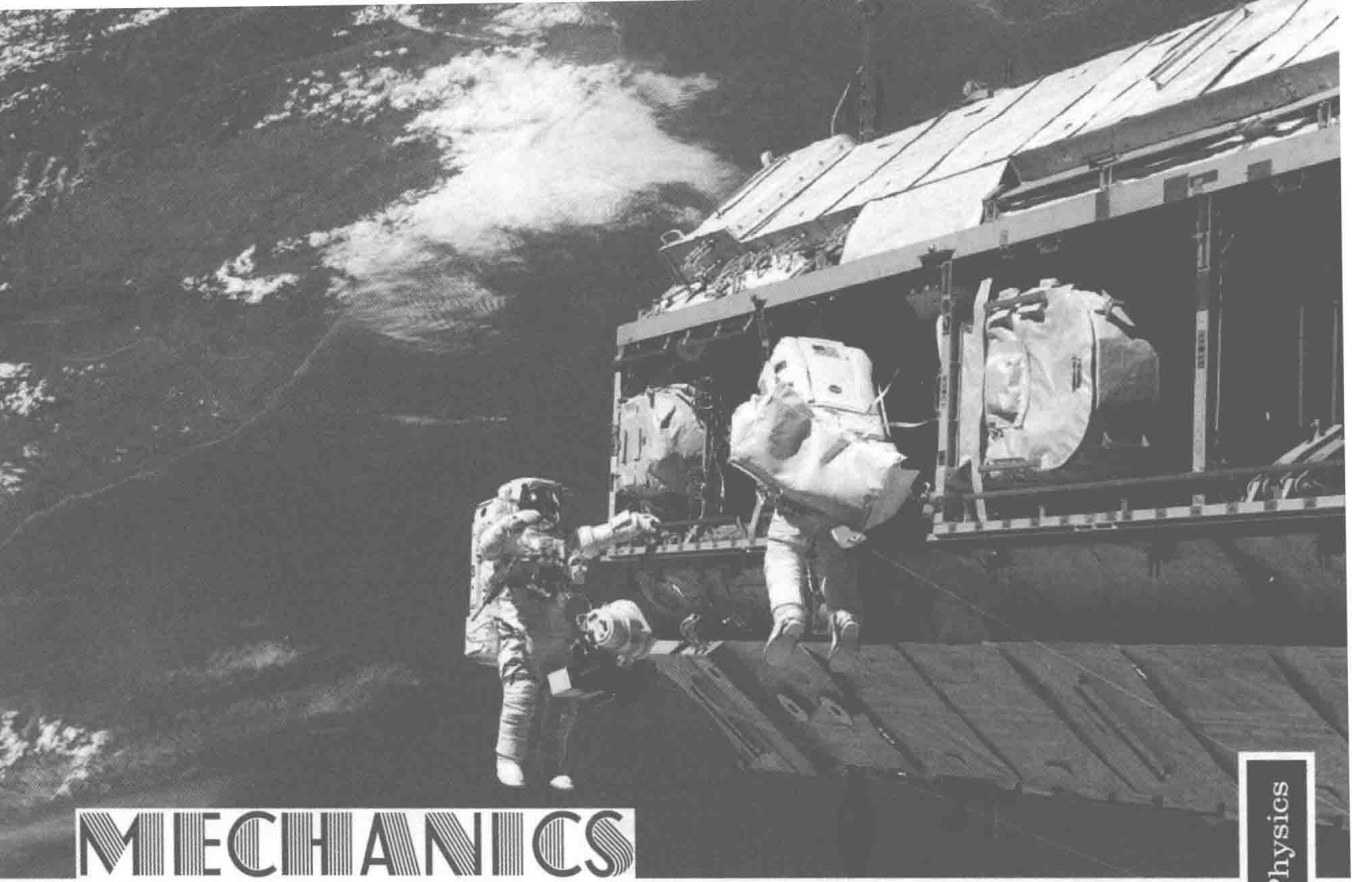
* 8.6	旋光现象	267
* 8.7	光的吸收、散射与色散	268
	本章小结	272
	拓展与探究	272
	习题 8	273
第 3 篇 热力学基础		
第 9 章	宏观热力学	277
9.1	热力学第零定律 温度	278
9.2	理想气体的状态方程	280
9.3	热力学第一定律	281
9.4	理想气体等值过程和绝热过程	284
9.5	循环和循环效率	292
9.6	热力学第二定律	296
	本章小结	301
	拓展与探究	302
	习题 9	302
第 10 章	微观热力学	304
10.1	分子热运动及统计规律	305
10.2	理想气体压强和温度的统计意义	305
10.3	能量按自由度均分定理 理想气体的内能	309
10.4	麦克斯韦速率分布律	312
10.5	玻尔兹曼分布律 重力场中粒子的高度分布	315
10.6	分子平均碰撞次数 平均自由程	316
10.7	热力学第二定律的微观统计意义	317
	本章小结	321
	拓展与探究	322
	习题 10	322
附录 1	常用物理常数	324
附录 2	历年诺贝尔物理学奖获得者	326
	习题参考答案	332
	参考文献	337

University Physics

第 1 篇

FIRST PART





MECHANICS

力 学

力学 (mechanics) 又称经典力学, 为物理学的一个分支, 是与物体相互作用及物体机械运动有关的学科, 主要研究宏观尺度的物体在受力下的形变, 以及速度远低于光速的运动过程. 而微观尺度下物体运动的量子化效应和高速运动物体的相对论效应则属于近代物理的范畴. 本篇研究的物理模型有质点和刚体, 研究内容有运动学、动力学、冲量以及功与能等, 对于周期性运动——机械振动及其运动的传播, 即机械波, 也做了讨论.

运动学 (kinematics) 只考虑物体如何运动, 而不讨论它与所受力的关系. 运动学描述物体在时空中的位置、速度和加速

度, 包括平动、转动、振动、波动等. 动力学 (dynamics) 讨论物体运动和所受力的因果关系. 力是物质间的一种相互作用, 机械运动状态的变化是由这种相互作用引起的. 静止和运动状态不变, 则意味着各作用力在某种意义上的平衡. 力的时空积累 (冲量和功) 造成了物体运动状态量 (动量、角动量和动能、势能) 的改变. 在一定条件下, 物体系统的状态量是守恒的.

本篇内容包括 4 章: 质点力学、刚体力学、振动力学和波动力学. 前两章涉及不同模型下的力学, 后两章则为周期运动下的力学, 它们的内容基本相同, 各有所侧重.

第 1 章 质点力学



空中舞者 (图片来自网络)

飞机为什么能够在空中飞行和改变方向? 飞行员们如何能够保持队列飞行?

射球手要以怎样的角度将球踢出,球才能射中球门? 为什么焰火刚炸开时都成球状? 为了能够回答这些问题,我们有必要学习经典力学中的基础部分——质点力学。

运动是物质的存在形式,是物质的固有属性。在物质多种多样的运动形式中,最简单最基本的运动是物体位置的变化,称为机械运动(mechanical motion)。力学研究物体的机械运动规律。实际物体的结构复杂,大小各异,为此,引进质点模型。一般物体可看成是由许多质点构成的集合,因此,质点力学是整个力学的基础。

质点力学的运动学部分主要着眼于质点运动的描述,探究质点的位置、速度、加速度等矢量如何随时间或空间变化,以及描述质点运动的各物理量之间的关系。但如果想知道质点的运动状态为什么会发生变化,就需要质点动力学的有关知识。质点动力学以牛顿定律为基础,探究质点运动状态变化的原因及其所遵循的规律。在牛顿定律的基础上,通过力对时间和空间的累积效应,形成了整个经典力学体系。运动学和动力学的结合,就构成了研究机械运动的基础理论。

本章目标

1. 定量描述质点运动。
2. 质点的位置、速度和加速度之间的关系。
3. 定量描述圆周运动。
4. 牛顿运动定律及其应用。
5. 冲量和动量、冲量矩和动量矩的区别与联系。
6. 计算质点的功和能。

1.1 质点运动学

1.1.1 参考系、坐标系

为了找出物体随时间发生的各种变化所遵循的规律,我们有必要用某种方式描述这些变化,并把它们记录下来.在物体的各种变化中,最简单的变化就是物体的位置随时间的变化,也就是我们所说的机械运动.要描述一个物体的运动状态,首先要选好参照物.在物理中,被选作参照物的物体就叫作参考系(frame of reference).

一个物体是处于静止状态还是运动状态,要看相对于哪个物体来说.选取的参照物不同,对物体运动状态的描述也不相同.例如坐在公交车上的乘客,如果选公交车作为参考系,乘客就处于静止状态;如果选路面作为参考系,则他就处于运动状态.

参考系的选取是任意的,但在具体问题中,往往为了分析问题的方便而有所选择.例如,在研究地球表面上物体的运动时,通常选择地球表面作为参考系.又如,对于公交车上的某位乘客,如果我们研究的是他与车上其他乘客之间的相对位置关系,选公交车作为参考系是很方便的;但如果我们研究的是他与公交车站的距离,选公交车作为参考系就不合适了.由此可见,参考系的选取要根据研究问题的性质和方便而定.当对比两个物体的运动时,必须在同一参考系中进行,否则这样的对比就没有任何意义.

参考系确定后,为了能够定量地对物体的位置变化进行描述,还要在参考系的基础上建立合适的坐标系.常用的坐标系有笛卡儿直角坐标系、极坐标系、球坐标系和自然坐标系等.不管建立什么样的坐标系,都要包含坐标原点、单位长度和正方向.正如参考系的选取一样,坐标系的选取也视研究问题的性质和方便而定.

1.1.2 质点

任何实际的物体都是有一定的大小和形状的.物体运动时,其上各点的运动情况不一定都相同.例如,太阳系中的各行星,如图 1.1 所示,它们既围绕着太阳公转,又绕自身轴自转.当我们研究这些行星绕着太阳的公转时,往往忽略这些行星的大小和形状等因素,而用一个有质量的点来代替它们.这种为了使研究的问题简化,从而忽略实际物体的大小和形状对物体运动的影响,而把物

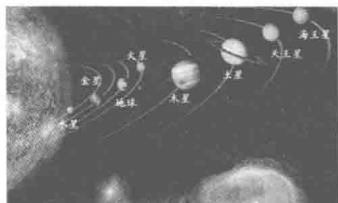


图 1.1 太阳系

体看作是一个质量集中的几何点,这样的点就称为质点(mass point).

一个物体能否被当作质点,不是由它的大小、形状来决定的,而是要看它的大小和形状对于所研究的问题的影响程度.例如前面提到的行星的运动,如果研究的不是行星绕日公转,而是它们的自转,此时的行星就不能再用一个几何点来表示,而必须考虑它的大小和形状.当研究的物体不能看作是一个质点时,可认为这个物体是由许多质点构成的集合.

研究质点的运动是研究实际物体运动的基础.弄清楚了每一个质点的运动,就可以弄清楚整个物体的复杂运动.

1.1.3 位置矢量、轨道方程

1. 位置矢量

要描述质点的运动,首先要描述质点的位置.图 1.2 即为描述质点运动时,在所选参考系中建立的直角坐标系.已知质点在 t 时刻处于 P 点处,且确定了 P 点的坐标为 (x, y, z) .在数学中,这足以确定质点的位置了,但在质点运动学中,却还需描述质点所在位置的方向.为了同时表示出质点与坐标原点的距离以及所在位置的方向,可用一个矢量来进行描述,这个矢量就叫作位置矢量(position vector),简称为位矢.在图 1.2 中,质点在 t 时刻的位矢就对应由原点指向 P 点的方向线段 \overrightarrow{OP} ,用符号 \boldsymbol{r} 来表示.

在直角坐标系中, x, y 和 z 表示位矢在 x 轴、 y 轴和 z 轴上的投影.令 $\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}$ 和 \boldsymbol{k} 分别表示 x 轴、 y 轴和 z 轴的单位矢量,则位矢可以写成

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \quad (1.1)$$

位矢的大小为

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

位矢的方向由方向余弦确定:

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

它们有如下的关系:

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

2. 运动方程

当质点运动时,它的位矢随时间发生变化,因而 \boldsymbol{r} 是时间 t 的函数,即

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \quad (1.2)$$

它给出了质点在任意时刻的位置,称为质点的运动方程(equation

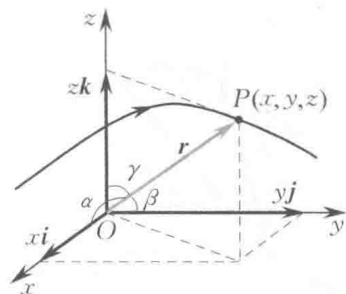


图 1.2 位置矢量

of motion). 在直角坐标系中, (1.2) 式可写为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.3)$$

式中的 $x(t)$, $y(t)$ 和 $z(t)$ 是运动方程分别在 x 轴、 y 轴和 z 轴上的分量. 运动方程的分量形式可以写成

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

消除上式的时间参数 t , 便得到了质点运动的轨迹方程 (trajectory):

$$f(x, y, z) = 0 \quad (1.4)$$

要注意的是, 运动方程和轨迹方程是两个不同的概念. 运动方程表明了 \mathbf{r} 与 t 的函数关系, 而轨迹方程只是位置坐标 x, y 和 z 之间的关系.

1.1.4 位移

1. 位移

由于运动, 质点的位置会随时间发生变化. 此时, 可用什么物理量来表示这种位置的改变呢?

如图 1.3 所示, 一个质点在 t 时刻处于位置 P , 经过一段时间 Δt , 运动到了位置 Q , 位置矢量由 \mathbf{r}_1 变为 \mathbf{r}_2 . 在这段时间内, 不仅位矢的大小发生了变化, 位矢的方向也发生了变化. 在物理学中, 可用一个由运动的起始位置 (P 点) 指向末位置 (Q 点) 的方向线段来表示质点位置的变化量, 这个物理量就称为位移矢量 (displacement vector), 简称位移, 用符号 $\Delta\mathbf{r}$ 表示, 即

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

位移描述了质点位置的变化情况. 它的大小是从起始位置指向末位置的直线距离, 方向是从起始位置指向末位置.

2. 路程

路程也用来描述物体位置的变化, 但指的是质点运动所经过的实际轨迹的长度 Δs . 例如, 图 1.3 中由 P 点到 Q 点曲线的长度就表示质点由 P 点运动到 Q 点所经历的路程. 可见, 路程与位移是不同的两个物理量, 路程一般也不等于位移的大小 $|\Delta\mathbf{r}|$.

在国际单位制中, 位移与路程的单位都为米 (m).

思考

在什么情况下, 位移的大小与路程相等? 有没有可能存在位移的大小为零, 而路程不为零的情况?

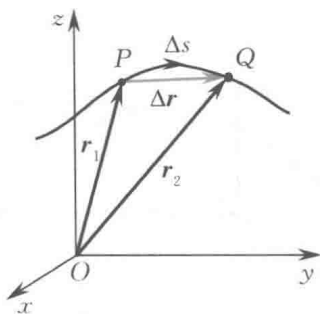


图 1.3 位移与路程

1.1.5 速度与速率

位移只说明了质点在某段时间内的位置变化,不能充分反映质点运动的快慢.为了描述质点运动的快慢和方向,引入了速度这一物理量.

若质点在 Δt 时间内发生了位移 $\Delta \mathbf{r}$,位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与所用时间 Δt 的比叫作质点在这一段时间内的平均速度 (average velocity),用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示,

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.5)$$

平均速度的方向就是位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向,如图 1.4 所示.它的大小等于

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

平均速度只取决于该时间段内的始末位置,它无法反映运动过程中速度的细微变化.

当 Δt 越来越短,平均速度所反映质点的运动快慢和方向的精确度也就越来越高.当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速度的极限值即为瞬时速度 (instantaneous velocity),简称为速度,

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.6)$$

由(1.6)式可知,速度即为位矢对时间的一阶导数.当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\Delta \mathbf{r}$ 的方向最终趋于与质点的运动轨迹相切,所以质点的速度方向沿着质点运动轨迹的切线,并指向质点前进的方向,如图 1.5 所示.

与平均速度和瞬时速度相关的物理概念还有平均速率 (average speed) 和瞬时速率 (instantaneous speed).它们的定义式分别是

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1.7)$$

和

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.8)$$

一般来说, $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta s$,从而平均速度的大小一般不等于平均速率.但当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,位矢微分的大小 $|d\mathbf{r}|$ 和路程的微分 ds 是相等的,即 $|d\mathbf{r}| = ds$,所以有

$$|\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} = v \quad (1.9)$$

即瞬时速度的大小与瞬时速率是相等的.

在直角坐标系中,速度还可以表示为

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} \quad (1.10)$$

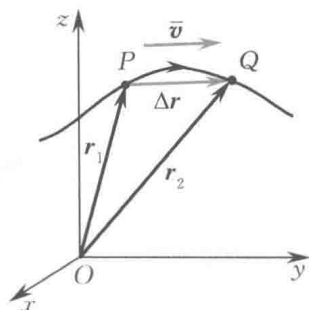


图 1.4 平均速度矢量

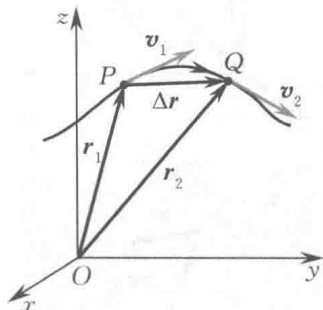


图 1.5 瞬时速度

因为 i, j 和 k 是坐标轴沿 x 方向、 y 方向和 z 方向的单位矢量, 是常量, 不随时间变化, 所以, 速度沿 3 个坐标轴方向的分量为

$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt}$$

瞬时速度的大小为

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

方向可以用方向余弦来表示. 在国际单位制中, 速度的单位是米每秒 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

1.1.6 加速度

质点运动时, 其速度可能随时间发生变化. 这个变化可能是速度大小的变化, 也可能是速度方向的变化, 或两者兼有. 为了描述速度的变化, 而引入了加速度 (acceleration) 的概念.

如图 1.6(a) 所示, v_1 表示质点在 t 时刻的速度, v_2 表示质点在 $t + \Delta t$ 时刻的速度, 则在时间段 Δt 内的速度增量为 $\Delta v = v_2 - v_1$, Δv 与 Δt 的比值即为单位时间内的速度增量, 称之为平均加速度 (average acceleration), 用 \bar{a} 表示,

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.11)$$

平均加速度 \bar{a} 与一定的时间间隔相对应, 其大小反映了 Δt 时间内速度变化的平均快慢情况, 它的方向与速度增量的方向相同, 如图 1.6(b) 所示.

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限值叫作质点在 t 时刻的瞬时加速度 a (instantaneous acceleration), 简称加速度.

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1.12)$$

瞬时加速度是速度对时间的一阶导数和对位矢的二阶导数. 在直角坐标系中, 根据(1.10)和(1.1)两式, 加速度可表示为

$$\begin{aligned} a &= \frac{dv}{dt} = \frac{dv_x}{dt}i + \frac{dv_y}{dt}j + \frac{dv_z}{dt}k \\ &= \frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{d^2 x}{dt^2}i + \frac{d^2 y}{dt^2}j + \frac{d^2 z}{dt^2}k \\ &= a_x i + a_y j + a_z k \end{aligned} \quad (1.13)$$

它在 3 个方向上的分量分别是

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}, a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}, a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \quad (1.14)$$

这些分量的大小关系为

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

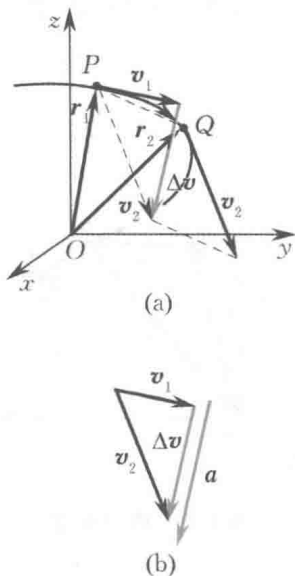


图 1.6 加速度矢量