

21 世纪素质教育系列教材

文化素质课系列

大学物理基础

唐晓纯 许光清 编著

中国人民大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理基础/唐晓纯, 许光清编著.

北京: 中国人民大学出版社, 2002

(21 世纪素质教育系列教材. 文化素质课系列)

ISBN 7-300-04277-5/G·911

I. 大 ...

II. ①唐 ...②许 ...

III. 物理学 - 高等学校 - 教材

IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 046349 号

21 世纪素质教育系列教材

文化素质课系列

大学物理基础

唐晓纯 许光清 编著

出版发行: 中国人民大学出版社

(北京中关村大街 31 号 邮编 100080)

邮购部: 62515351 门市部: 62514148

总编室: 62511242 出版部: 62511239

本社网址: www.crup.com.cn

人大教研网: www.ttrnet.com

经 销: 新华书店

印 刷: 三河实验小学印刷厂

开本: 787×965 毫米 1/16 印张: 12.25

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

字数: 222 000

定价: 15.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)



总 序

素质教育的概念，在最初的时候，是针对理工院校学生缺乏人文知识的训练而提出的。作为一所以社会科学、人文科学、经济和管理科学为重点大学，中国人民大学虽然在文史哲等人文学科领域在全国具有优势，但同样存在着学生缺乏自然科学训练而带来的知识结构偏差。为了纠正乃至克服这种偏差，早在 20 世纪 80 年代的“教学方案”中，我们就尝试设置了“文化基础教育学群”，包括中国通史、世界通史、自然科学概论、社会科学概论等课程。并且，逐渐由全校性选修课改为指定选修课或必修课。1993 年，在中共中央和国务院制定的《中国教育改革和发展纲要》指导下，我校对“教学方案”作了较大的调整，把培养学生的素质和能力作为一项重要目标明确地提出来。在全校范围内，提倡开设中国历史、自然科学概论和当代新兴科学介绍等课程。历史、文学、哲学、美学、科技等课程，逐步构成了具有我校特色的“通识基础课”。中国传统文化概论、当代科学技术概论、社会科学研究方法等，亦分别成为公共必修课。

1999 年是我国教育思想和教育制度改革的一个重大转折点。在这一年，《中共中央国务院关于深化教育体制改革全面推进素质教育的决定》发表，加强素质教育，全面提高学生的综合素质，培养适应 21 世纪需要的合格人才，成为教育界共同努力的目标。同样是在这一年，我校的“教学方案”进行了较大的调整，

素质教育系列课程成为全校公共必修课的重要组成部分。按照“教学方案”的规定，作为全校公共必修课的素质教育课，分为自然科学课、人文素质课和艺术教育课三个系列，学生必须分别修满3学分、6学分、3学分。至此，我们关于素质教育的方向已经确定，思路已经明晰。

教材建设是建设好素质教育系列课程的关键。我们在设计素质教育系列课程的同时，便已着手组织相应教材的编写工作。呈现在读者面前的这套文化素质课系列教材，正是我们组织编写的21世纪素质教育系列教材的一部分。

此套系列教材是按照《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》的精神而编写的，目的在于根据中国人民大学在文史哲等人文学科具有的优势，克服原有的教学思路和管理体制带来的学生知识结构偏差的弊病，期望通过此套教材，培养学生的人文关怀意识和科学实证精神，提高学生的人文素养和科学素质，使这些学科的知识真正成为学生素质的有机组成部分，培养学生的创新精神和实践能力。此套丛书分为四个部分，即哲学智慧（中国、西方）、文明史（中国、西方）、文学作品选读（中国古代、西方）和大学理科课程（物理、生物、化学）。这样的课程配置，可以使学生既掌握了人文知识的精华，又学习了理科科学缜密的思维方法和严谨的作风。参加这套丛书编写的教师，都是我校相关学科的教学科研骨干。在确定提纲和编写教材的过程中，参编教师、学校教学管理部门和出版社进行了多次研讨，力争使教材体现素质教育精神。

十年树木，百年树人。素质教育是一个长期的过程，大学生文化素质的培养和提高，也是一个需要多方面努力的事情。我们期望通过这套教材的编写和出版，能够为此作出贡献。

中国人民大学教材工作委员会



心语 * 物理学

在物理学辉煌的发展历程中，物理学思想、物理学实验和物理学理论得到创新和完善，我们认识世界的水平借此获得了极大的提高。如果说物理学是一幢金色大厦的话，那么本书所介绍的只是其中的几块薄砖片瓦。但是它们是进入许多相关学科的基础和桥梁。物理学所蕴藏的丰厚的知识之果，还需要大家去努力采摘。

科学技术的快速发展使我们的世界变化太快。交通的网络化、智能化使城市与乡村的界限越来越模糊；信息技术上的高速公路让人们感觉不到时间的流逝；高新技术的日新月异，使地球上的人类进入其他星球、环游太空不再是梦……人类探索世界预知未来，惟一的钥匙就是学习知识；而学科的交叉和渗透，需要我们像伽利略、牛顿、麦克斯韦和爱因斯坦等物理学家那样，善于思想、勇于创新、勤于劳作、默默耕耘；相关学科要讲究同心协力，互相配合。作为后学，我们要掌握科学研究的接力捧技巧。

本书的问世正值我国对人才实施素质教育之际，物理学作为自然科学的基础，自然成为哲学社会科学人才素质教育的重要内容。编写本书的目的是希望通过物理知识的学习，通过理性思维的训练，提高我们发现问题的、解决问题的能力，提高我们的创新意识，为祖国的繁荣和昌盛、为世界的和平与进步做出应有的贡献。



目 录

绪 论	1
第一章 给我一个支点，我能撬起地球	4
第一节 运动与参数	4
第二节 牛顿运动定律	14
第二章 对称与守恒	24
第一节 美妙的对称	24
第二节 动量与动量守恒	26
第三节 角动量守恒定律	32
第四节 能量守恒与转换定律	36
第三章 相对论的迷人世界	43
第一节 爱因斯坦与牛顿的对话	43
第二节 狭义相对论	48
第三节 相对论时空观的惊人结论	50
第四节 相对论动力学	55
第五节 不可思议的时空弯曲	57

第四章 热力学	59
第一节 微观热力学	60
第二节 温度	64
第三节 热、功、内能	67
第四节 热力学宏观定律	69
第五节 熵的探索	70
第五章 真空中的静电场	74
第一节 电荷和库仑定律	75
第二节 电场和电场强度	77
第三节 电力线、电通量和高斯定理	79
第四节 静电场力的功、电势能和电势	84
第五节 静电场中的导体	87
第六章 真空中稳恒电流的磁场	95
第一节 稳恒电流	95
第二节 液体、气体和真空中的电流	97
第三节 电流与磁场	101
第四节 磁场和磁感应强度	105
第五节 磁力线、磁通量和磁场中的高斯定理	106
第六节 毕奥 - 萨伐尔定律	109
第七节 安培环路定理	111
第八节 磁场对运动电荷的作用	113
第七章 电磁感应	118
第一节 电源的电动势	119
第二节 法拉第电磁感应定律	120
第三节 动生电动势和感生电动势	123
第四节 互感和自感	125
第五节 涡电流	129
第八章 电磁场和电磁波	130
第一节 电磁波发现的历史	130
第二节 电磁波谱	135
第三节 无线电波的传播	137
第四节 遥感技术简介	142
第九章 色彩斑斓的波动光学	146

第一节	光的波动原理	147
第二节	神奇的光干涉	148
第三节	有趣的光衍射	151
第四节	偏振光的魅力	158
第十章	波粒二象性	163
第一节	光的波粒二象性	163
第二节	德布罗意的粒子波	165
第三节	粒子的二象性及其理论	166
第十一章	基本粒子简介	170
第一节	多丝正比室	170
第二节	基本粒子	171
第三节	迷人的夸克	173
第十二章	物理学新进展	176
参考文献		183
后记		185



绪 论

自然界中存在着大量的物理现象，探讨它们的运动及所遵循的客观规律，就成为物理学的任务。大学物理基础就是介绍这方面知识的一本教科书。

一、物理学的发展

物理学是自然科学，物理学的发展就是自然科学的发展，在人类依靠科学进步而不断发展的历史长河中，可以毫不夸张地说，物理学担负了桥梁和支柱的伟大作用。物理学使人们认识世界，了解世界；物理学也使人们改造世界，利用世界。物理学作为自然科学的基础前沿学科，不仅促进了化学、天文学、地理学等学科的发展，而且也是应用性和渗透性极强的学科，尤其到 20 世纪末，更是创造了激光技术、全息技术、核技术、信息技术、生物技术等高新技术的崭新时代，带来了科学技术的飞速发展。

物理学中最早发展起来的是力学。

力学是研究物体机械运动规律的科学，是物理学这栋大厦的坚固基石。在力学的发展历程中，最具影响力的科学家当为意大利天文学家和物理学家伽利略（Galileo Galilei, 1564—1642）、英国数学家和物理学家牛顿（Isaac Newton, 1642—1727）和 20 世纪最有影响力的物理学家和最著名的德国科学家阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein, 1879—1955）。由伽利略—牛顿—爱因斯坦铺就了物理学力学

的钢轨铁桥。

伽利略一生最伟大的贡献是坚定支持哥白尼的“太阳中心说”。他科学地论证了地球的转动和行星绕日运动，第一次用观测和实验驳倒了亚里士多德（Aristotle，公元前 384—公元前 322）的地心说。他因此受到当时罗马教皇和教士们的反对和迫害。在开创性地将实验方法引入对力学问题的研究后，伽利略于 1638 年（此时他已双目失明）出版了《两种新科学的对话》，书中用实验论证了惯性运动无需受力、匀加速运动的路程与时间的平方成正比。更难得的是，他还根据密闭船舱中的物体运动与船匀速还是静止无关的现象，提出了运动的相对性思想，这一伟大的思想为后来的相对论奠定了坚实的基础。伽利略因其在科学上的伟大成就而被人们尊称为近代科学之父。

在伽利略的思想和方法指导下，物理学界做了许多力学实验，例如单摆的运动规律、自由落体运动等，对很多力学问题进行了研究，取得了一些经验和认识。1642 年，伽利略离世的同年，伟大的理论物理学家牛顿诞生了。长大了的牛顿不仅具有非凡的数学基础，而且对物理学问题兴趣盎然。1687 年，牛顿在总结和发展当时的力学研究成果后，发表了《自然哲学的数学原理》一书，书中用简洁的语言和完美的数学公式将宏观物体运动规律表述为三大定律，从而完成了物理学史上的第一次理论大综合。

牛顿的三大定律及其所依存的绝对时空观一直指导了我们二百多年，直到 19 世纪末 20 世纪初，人类进入微观世界的研究领域后，发现了很多奇妙的物理现象，而实验的结果却与牛顿定律的理论不相一致。在人们突然感到似乎陷入了困境时，在德国的苏黎士大学，一位勇于追求、从小就富于奇想的年轻人——爱因斯坦，于 1905 年创立了狭义相对论，1915 年又建立了适用范围更广的广义相对论。爱因斯坦相对论理论的诞生，不仅解决了牛顿力学难以解决的问题，促进了 20 世纪量子力学的快速发展，而且极大地推动了整个世界科学技术的进步。爱因斯坦还致力于自然力的大统一的研究等，1921 年，他因在光量子理论方面的贡献而获得诺贝尔物理学奖。爱因斯坦也成为全世界都认识和崇敬的科学家和物理学家。

在力学领域蓬勃发展的同时，热力学、电磁学和光学也有了极其快速的进步，从而描绘出一幅崭新的物理图景。

自然界中存在着大量的与热有关的热物理现象，热能的利用和热力机械的诞生促成了第一次工业革命。19 世纪物理学领域发生了震惊世界的变化，20 年代奥斯特（Oersted，1777—1851）实验成功电流的磁效应；安培（Ampère，1775—1836）证明了磁场力。30 年代法拉第（Michael Faraday，1791—1867）揭开了电与

磁之间的关系。50 年代麦克斯韦 (Maxwell, 1831—1879) 总结出电磁场理论, 一举完成了物理学上的第二次大综合, 使电磁学从此形成了完整的理论体系, 并对近代物理产生了巨大的影响。

同时, 在几何光学的基础上, 受惠更斯 (C. Huygens, 1629—1695) 光的波动说假设影响, 在麦克斯韦电磁场理论和爱因斯坦光量子学说建立后, 形成了波动光学。

在经典物理学不断取得巨大成功的 20 世纪初, 人类对经典物理学尚不能解释的高速粒子物理现象开始了新的探索。普朗克的能量子假说、玻尔量子论、薛定谔方程及其夸克模型等的相继建立, 形成了近代量子力学, 从而掀开了物理学的新篇章。

二、物理学研究方法的特点

物理学是一门实验科学, 研究方法以观察和实验为主, 因此, 重视实验重视验证是物理学的精神核心。可以用实验去否定某个理论, 也可以用实验来验证某个理论。值得指出的是, 实验只是对真实世界的最接近的模拟, 但毕竟不是真实的世界。实验的合理性、准确性、先进性等都将影响所得到的结果。因此, 实验验证是必须的, 但不是惟一的。

物理现象的研究首先必须有敏锐的发现现象的能力, 要有细心严谨的工作作风, 要善于从复杂的表面现象中抓住事情的本质。在物理学的研究中, 微积分的思想、类比的方法、宏观和微观的特性、合理的假设等等, 都是常用到的分析手段和科学方法。物理学的发展史, 也是科学的思想史和方法论的发展史。

因此, 通过本门课程的学习, 不仅需要掌握基本物理知识, 还要学习科学研究方法, 培养严密审慎的逻辑思维能力, 切实提高我们的自然科学素质。



第一章

给我一个支点， 我能撬起地球

人类对自然的最早认识是什么？是制服猛兽所需的强壮体魄！因为那就是力量！伴随着人类的进步，力之学问也逐渐从感性上升到了理性，最终发现了物理学的力学规律，并由此而影响和推动了整个物理学的发展。

物质世界的运动是一幅什么样的图景？描述物体运动变化的特性属于运动学范畴，研究引起运动变化的因果关系则属于动力学范畴。这两方面组成了物理学的力学部分。

第一节 运动与参数

物体的机械运动形式可以分为基本的两种。当物体仅做空间的平行移动时，物体各部分的物理特性完全一致，这种运动称为物体的平动。例如方程式赛车中汽车的整体运动。当运动不仅有平行移动，而且有转动时，这种运动称为物体的转动。例如运动中的汽车轮子的滚动、跳台跳水比赛时运动员的翻转运动。各种复杂的机械运动往往是这两种基本运动的组合。

运动的精确描述需要参数，就像是舞台上需要的演员。不同的表演就是演员

的各种动作及其编排，是各种舞姿的展现，而参数的表演就是运动这个舞台上的各种舞蹈语言。在中学里我们早已熟悉了运动学中的各种参数，但是，那是一种最基础的认识，如果我们能以矢量的方式描述参数的话，就会让它们表演起来更加优美和游刃有余。这也是本节用矢量来表述运动参数的目的所在。

另外值得一提的是，物体做机械运动时，当物体的体积和形状可以忽略不计，物体可以看做一个有质量的“点”，这个有质量的点所具有的物理特性就是该物体的物理特性，那么，经过这样处理的物体被称为“质点”（particle）。如果物体的体积和形状不容忽视时，我们可以进行一些“手术”处理。“手术刀”就是微积分的思想。如果实际物体的材料组成是各向同性的、均匀连续分布的，则将物体分解成无穷多个微小区域，每个小区域都视为一个质点。这样一来，通过对质点的物理特性研究并将所有质点求和，就得到了实际物体的物理特性。这样的“手术”在物理学中是非常重要的基本方法。因此，研究物体的运动主要是研究质点的运动。

一、运动参数

1. 参考系与坐标

为了确定物体的空间位置，我们常需选择一个相对参考点。例如我国设在南极的长城考察站的位置是相对经度和纬度确定的。世界第一大峡谷——雅鲁藏布大峡谷的最深处达 5 382m，这是大峡谷的谷底相对加拉白垒峰顶的高度尺寸。飞机不同时刻的飞行方位是相对地面雷达控制塔的。宇宙飞船、气象卫星和空间宇航站等的位置是相对太阳系而言的。因此，物体的运动描述是相对而言的，作为相对参考点的物体我们就定义为“参考体”或“参考系”（frame of reference）。

确定了物体的相对参考位置后，为了定量描述质点相对于参考系的机械运动，通常在参考系中固定一个坐标系。常用的是直角坐标系，如图 1.1 所示。图中以参考点作为坐标系的原点 O ，三条带箭头的垂直线为坐标轴。质点在空间的瞬时位置 $P(x, y, z)$ 就是相对参考点的坐标。即用直角坐标定量表示为

$$\begin{cases} P_x = x \\ P_y = y \\ P_z = z \end{cases} \quad (1-1)$$

其中， P_x ， P_y ， P_z 为 P 在三个坐标轴方位上的投影， x ， y ， z 分别为 P 在三个坐标轴方位

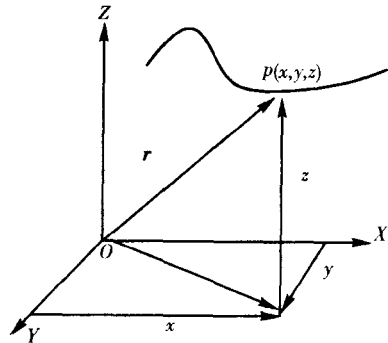


图 1.1 位置矢量

上的距离。如果质点在空间的瞬时位置还需要明确方向或方位问题，我们可以用位置矢量（position vector） $\mathbf{r}$ 来表示，也称矢径（radius vector）。质点运动时，它在空间的相对位置矢量是时间的单值函数，表示为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-2)$$

式（1-2）也称为质点相对参考点的空间位置矢量表达式。位置矢量 $\mathbf{r}$ 在坐标轴上的分矢量用 r_x, r_y, r_z 表示时，有

$$\mathbf{r} = (r_x, r_y, r_z) = r_x \mathbf{i} + r_y \mathbf{j} + r_z \mathbf{k} \quad (1-3)$$

其中， $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别是坐标轴正方向上的单位矢量（vector of unit length）， r_x, r_y, r_z 是分矢量的投影长度。

2. 位移矢量

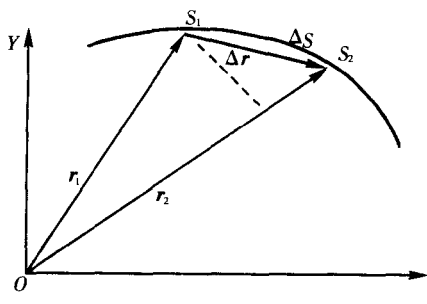


图 1.2 位移矢量

为了准确描述质点在空间的位置状态变化，我们引入位移矢量（displacement vector）的概念。如图 1.2 所示，设物体在 t_1 时刻位于运动轨迹的 S_1 点， $t_2 = t_1 + \Delta t$ 时刻位于运动轨迹的 S_2 点，质点在 S_1 和 S_2 点的位置矢量分别是 $\mathbf{r}_1$ 和 $\mathbf{r}_2$ ，那么，质点经过 Δt 时间的空间位置变化可用 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ 表示， $\Delta \mathbf{r}$ 称为质点的位移矢量。在直角坐标系中表示为

$$\Delta \mathbf{r} = (\Delta r_x, \Delta r_y, \Delta r_z) = \Delta r_x \mathbf{i} + \Delta r_y \mathbf{j} + \Delta r_z \mathbf{k} \quad (1-4)$$

其中， $\Delta r_x, \Delta r_y, \Delta r_z$ 是位移矢量的分矢量， $\Delta r_x, \Delta r_y, \Delta r_z$ 是分矢量的投影长度。位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向如图 1.2，量值可用下式表示

$$\Delta r = \sqrt{\Delta r_x^2 + \Delta r_y^2 + \Delta r_z^2} \quad (1-5)$$

3. 速度矢量

物体移动相同的位移所需要的时间并不一定相同，为了描述这种位移变化的快慢程度，我们引入速度矢量的概念。

设物体移动的位移矢量为 $\Delta \mathbf{r}$ ，所经过的时间为 Δt ，则它们的比值定义为质点的平均速度矢量 $\bar{\mathbf{v}}$ ，即 $\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 。平均速度矢量 $\bar{\mathbf{v}}$ 的方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 方向一致。如图 1.3 所示，质点位移 $\Delta \mathbf{r}_1$ 的平均速度方向与 $\Delta \mathbf{r}_1$ 相同。质点位移 $\Delta \mathbf{r}_2$ 的平均速度方向与 $\Delta \mathbf{r}_2$ 方向相同。平均速度反映的是质点在一段时间内的速度变化的平均

值，因此，常用于速度精度要求不高时的运动分析。例如，对质点运动作趋势分析或者考察物体在稳定的工作状态时。如果需要精确反映质点在每一位置或任一瞬时的运动状态，速度矢量必须是这一瞬时的精确反映。也就是说，当质点的运动时间 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，平均速度矢量 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的极限值就是质点在 t 时刻的瞬时速度矢量 (instantaneous velocity vector) $\mathbf{v}$ ，简称速度。即

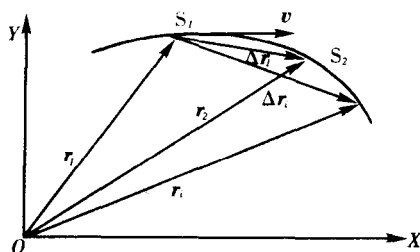


图 1.3 速度矢量

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-6)$$

由此可见，瞬时速度矢量是位移矢量对时间的一阶微分，在直角坐标系中表示为

$$\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z) = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} \quad (1-7)$$

瞬时速度矢量的三个分矢量是

$$\begin{cases} v_x = \frac{dr_x}{dt} \mathbf{i}, \\ v_y = \frac{dr_y}{dt} \mathbf{j}, \\ v_z = \frac{dr_z}{dt} \mathbf{k} \end{cases} \quad (1-8)$$

瞬时速度矢量的方向是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向，即与 $d\mathbf{r}$ 同方向，是轨迹上该点的切线方向，见图 1.4。量值是

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-9)$$

这个瞬时速度矢量的量值也称为速率 (velocity)。值得一提的是，当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，

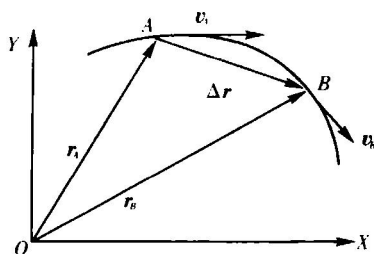


图 1.4 瞬时速度矢量

位移 $d\mathbf{r}$ 的量值与路程 ds 无限接近, 所以, 速率也可用下式定义为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-10)$$

国际单位制 (SI 制) 中速度单位是米/秒 (m/s)。表 1.1 给出的是一些常见的运动中的平均速率。

表 1.1

常见的平均速率

单位: m/s

大陆板块移动	$\sim 10^{-9}$
人的 100m 竞赛世界记录	$1.021\,45 \times 10$
跳伞运动员打开伞的收尾速率 ^①	0.5×10
地面附近雨点的收尾速率	1×10
气体分子的热运动 (0℃)	4.5×10^2
机动赛车	1.0×10^2
空气中的声速 (0℃)	3.3×10^2
北京的地球自转线速度	3.56×10^2
步枪子弹出膛	$\sim 7 \times 10^2$
地球公转	3.0×10^4
太阳的运动	3.0×10^5
加速器中的电子	99.999 998% 光速
光在真空中	3.0×10^8
类星体的最快移速	2.7×10^8

注: 当考虑空气阻力时, 物体下落过程中速度越大, 遇到的阻力也越大。当下落速率增大到某一数值时, 物体的重力和阻力平衡, 此时物体做匀速下落运动, 这个匀速的速率称收尾速率。

4. 加速度矢量

速度矢量反映了物体运动的位移矢量随时间的变化, 而速度矢量随时间的变化就定义为物体的瞬时加速度矢量 (instantaneous acceleration vector), 用 $\mathbf{a}$ 表示, 简称加速度。

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-11)$$

加速度的方向是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $\Delta \mathbf{v}$ 的极限方向, 如图 1.5 中的速度三角形所示。加速度是速度对时间的一阶微分或位移对时间的二阶微分。如果我们知道质点运动的位置变化或速度变化, 就很容易获得质点运动的加速度。而且, 只要速度大小或者方向发生变化, 就必将产生加速度。加速度在直角坐标系中表示为

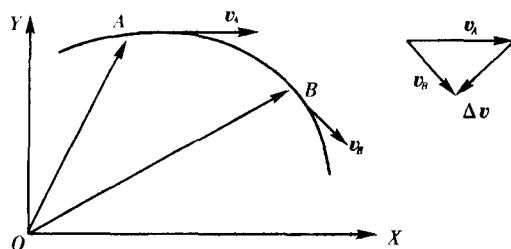


图 1.5 加速度矢量

$$\mathbf{a} = (a_x, a_y, a_z) = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \quad (1-12)$$

常用的加速度分矢量表示为

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} = \frac{d^2 r_x}{dt^2} \mathbf{i}, \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} = \frac{d^2 r_y}{dt^2} \mathbf{j}, \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k} = \frac{d^2 r_z}{dt^2} \mathbf{k} \end{cases} \quad (1-13)$$

加速度的量值

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1-14)$$

根据定义, 加速度的方向与速度增量 $d\mathbf{v}$ 方向相同。下面分三种情况来考虑速度变化对加速度的影响。

第一种情况是仅有速度大小的变化, 如图 1.6 所示。由于速度方向共线, 所以, 速度增量 $d\mathbf{v}$ 与速度方向共线, 加速度也与速度方向共线。当速度越来越小时, 加速度与速度反向, 如图 1.6 (a); 当速度越来越大时, 加速度与速度同向,

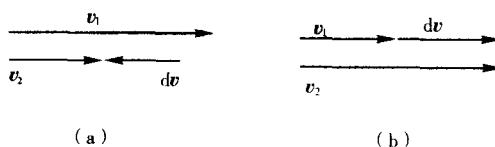


图 1.6 加速度与速度方向共线