

上册

经典力学

JINGDIAN LIXUE

王其申 主编

中国科学技术大学出版社

经典力学

(上 册)

主 编 王其申

副主编 程绪和

编 委 安庆师范学院物理与电气

工程学院力学课程组

中国科学技术大学出版社

2005 · 合肥

内 容 简 介

本书的原稿是作者在开展打通普通物理力学和理论力学的教学改革试验时所用的讲义。全书共 11 章,分上下两册,特点是融会了原属普通物理力学和理论力学两门课程的内容,是一本真正做到合二为一的教材。本书内容精练,概念准确,注重物理方法的阐述、物理直觉能力的培养以及物理知识的现代化。

本书可作为师范类院校和综合性大学本科物理专业打通两门力学课程后的教材或参考书,也可供大专院校物理教师和物理教学研究工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

经典力学(上下册)/王其申主编.—合肥:中国科学技术大学出版社,2005.7
ISBN 7-312-01802-5

I. 经… II. 王… III. 经典力学—高等学校—教材 IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 0067772 号

凡购买中国科大版图书,如有白页、缺页、倒页者,由承印厂负责调换。

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号,邮政编码:230026)

合肥远东印务有限责任公司印刷

全国新华书店经销

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:27 字数:657 千字

2005 年 7 月第 1 版

2005 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—3 000 册

ISBN 7-312-01802-5/O · 309

定价(上下册):34.80 元

前 言

本书是当前高等教育教学改革的产物。

长期以来,从事基础力学和理论力学教学的同事都处在两难之中。由高考带来的高中物理教学的题海战术,使原本属于基础力学的许多内容日益被高中所侵占。不得已,基础力学也就越来越多地引入原本属于理论力学的教学内容,以至教材越编越厚,相互重叠越来越多。但是,由于各种原因,基础力学终究未能代替理论力学。而与这种教学内容上的重叠相对应,随着近年来高等教育改革发展的深入,所有高校物理专业的教学课时都在大幅度地下调。作为专业基础课的基础力学和理论力学当然也不例外。如何解决这一矛盾?几年前我们就有一种设想——打通基础力学和理论力学的教学!2001年,我们抱着这一设想申报安徽省重点课程建设项目,得到了评审专家的支持。从2002年起,我们力学课程组投入了该省级重点课程建设,开始了实施打通教学的尝试。可是,真正实行打通教学谈何容易,第一个困难就是没有现成的教材。在经过反复调研后,我们下定决心,自己动手编写讲义。通过努力,我们去年完成了打通后的力学讲义的初稿。在请校内外同行专家审读后,今年上半年开始试教学。经过一轮的试教学,在听取各方意见的基础上,对试用的力学讲义作了反复修改,由此产生了这本教材。

本书汇集了基础力学和理论力学的全部内容,是一本真正打通的力学教材。全书11章,分上下两册。上册包括质点运动学、动量和牛顿定律、功和能、角动量、有心力、刚体力学,下册包括连续介质力学、振动、波动、相对论基础和分析力学。在编写过程中,我们特别注意了这样几个问题:

——教学内容的现代化。不仅把狭义相对论切实列入教学范畴,在一些传统内容的教学过程中也注意引入现代化的因素;

——加强教材的师范性。因为我们是一所地方师范院校,学生毕业后主要从事中学物理教学,所以加强了与此有关的内容。例如,关于受力分析、关于静力学的有关知识,这些都是中学教学的重点和难点;

——文字叙述力求简洁和准确。本书的编者都是在高校从事专业基础课教学多年的教师,我们认为,教材应该有给主讲教师发挥自己特色的余地,不是嚼得越烂越好。所以,尽管是一本打通的教材,上下两册加起来的厚度可能比别人的一本基础力学还薄。

本书内容设大字、小字、加“*”号和选读。小字部分可讲可不讲,写上是为了保证内容的完整性;整段或整节内容可讲可不讲的,加上了“*”号;选读则供学生课外阅读或讨论课、活动课使用。

安庆师范学院物理与电气工程学院力学课程组的全体成员参与了本书的编写工作。其中,初稿第一至第三章由吴磊同志执笔,初稿第四至第六章由程绪和同志执笔,初稿第七至第十一章由王其申同志执笔。初稿试教学后由王其申同志做了统稿和修改。夏建华同志为本书绘制了部分插图和上册书稿的录入;江燕燕同志为本书选配习题和习题参考答案。课

程组的其他同志也参与了写作大纲的讨论和初稿修改稿的审校等。

感谢中国科学技术大学阮图南教授的支持和指导。本书的名字就是经阮教授提议而确定的。

感谢合肥工业大学邓铁如教授的大力支持。本书还在讲义阶段，就蒙邓教授在百忙之中审读。本书定稿后，又蒙邓教授认真校阅，并提出宝贵意见。

感谢安庆师范学院教务处对本书出版的大力支持。

鉴于编者的水平有限，书中难免有谬误之处，敬请各方指教。

编 者

2004 年 11 月于安庆

目 录

绪论 发展中的物理学	1
第一章 质点运动学	6
§ 1.1 质点运动的描述	6
(一) 时间和空间 (二) 参照系和坐标系 (三) 质点	
(四) 位矢、位移和路程 (五) 速度 (六) 加速度	
§ 1.2 几种常用坐标系中的速度和加速度	9
(一) 直角坐标系 (二) 柱面坐标系 (三) 自然坐标系	
§ 1.3 几种简单的运动	13
(一) 直线运动 (二) 抛体运动 (三) 圆周运动 (四) 一般曲线运动	
§ 1.4 相对运动	23
(一) 绝对运动、相对运动和牵连运动 (二) 动参照系只作平动的情况	
阅读材料	26
1.1 长度单位和时间单位简史	26
1.2 单位制和量纲	28
思考题	29
习题	30
第二章 动量和牛顿定律	35
§ 2.1 牛顿定律	35
(一) 惯性定律 (二) 动量定理 (三) 质量 (四) 牛顿第三定律	
§ 2.2 力	37
(一) 万有引力和重力 (二) 静电力和洛仑兹力 (三) 弹性力	
(四) 摩擦力 (五) 流体的阻力 (六) 受力分析与受力图	
§ 2.3 质点运动微分方程	42
(一) 动力学的两类问题相对运动 (二) 力的独立性原理	
(三) 运动微分方程的建立和求解	
§ 2.4 力学相对性原理和平动非惯性系	46
(一) 力学相对性原理 (二) 平动非惯性系	
§ 2.5 质点组动量定理	47
(一) 质点组动量定理 (二) 质心运动定理 (三) 质点组相对于质心系的动量	
(四) 质点组动量守恒定律 (五) 变质量物体的运动微分方程	
阅读材料	54
2.1 惯性定律的建立	54
2.2 约束与约束反力	56

2.3 摩擦角与摩擦锥	58
2.4 不共线的三力平衡时的汇交原理	58
2.5 质心及其求法	59
思考题	61
习题	61
第三章 功和能	66
§ 3.1 功和功率	66
(一) 力的元功和功率 (二) 用不同坐标系表示元功 (三) 力在有限路径上的功	
§ 3.2 动能定理	69
(一) 质点的动能定理 (二) 质点组的动能定理 (三) 质点组内、外力功的特点	
§ 3.3 保守力和势能	72
(一) 保守力 (二) 系统的势能 (三) 由势能确定保守力 (四) 势能曲线	
§ 3.4 功能原理和机械能守恒定律	76
(一) 质点组的功能原理 (二) 非保守力功 (三) 质点组的机械能守恒定律	
(四) 柯尼希定理 (五) 质心系功能原理	
阅读材料	80
3.1 对称性、因果关系和守恒律	80
3.2 动量与能量	84
思考题	84
习题	85
第四章 角动量	92
§ 4.1 质点角动量定理及守恒律	92
(一) 角动量 (二) 力矩 (三) 质点对参考点的角动量定理和守恒定律	
(四) 质点对轴的角动量定理和守恒定律	
§ 4.2 质点组角动量定理及守恒律	96
(一) 质点组的角动量定理 (二) 质点组的角动量守恒定律	
§ 4.3 质点组对质心的角动量定理和守恒定律	99
§ 4.4 碰撞	101
(一) 碰撞现象 (二) 关于碰撞现象的研究	
阅读材料	106
4.1 自由下落猫的转体运动	106
思考题	108
习题	108
第五章 有心力	111
§ 5.1 有心力	111
(一) 有心力 (二) 有心力的特性 (三) 有心力的运动微分方程	
(四) 轨道微分方程——比耐公式	

§ 5.2 万有引力	115
(一) 行星的运行轨道 (二) 行星轨道类型与能量关系	
(三) 开普勒行星运动定律和万有引力定律的建立 (四) 宇宙速度	
§ 5.3 两体问题	123
(一) 相对运动 (二) 两体在质心系内的运动	
§ 5.4 α 粒子的散射	126
(一) α 粒子的散射 (二) 偏转角的修正	
阅读材料	128
5.1 潮汐	128
思考题	131
习题	131
第六章 刚体力学	134
§ 6.1 刚体运动的描述	134
(一) 刚体的自由度 (二) 刚体的平动 (三) 刚体的定轴转动	
(四) 刚体的平面运动 (五) 刚体的定点转动	
§ 6.2 角速度矢量	138
(一) 角位移 (二) 刚体内任一点的速度和加速度 (三) 欧拉运动方程	
§ 6.3 刚体的平衡	142
(一) 力系的简化 (二) 刚体运动微分方程 (三) 刚体平衡方程	
§ 6.4 转动惯量和惯量张量	146
(一) 定点转动刚体对定点的动量矩 (二) 转动惯量 (三) 惯量张量	
(四) 惯量主轴 (五) 定点转动刚体的动能	
§ 6.5 刚体的定轴转动	152
(一) 转动方程 (二) 动能定理 (三) 轴上附加力	
§ 6.6 刚体的平面运动	158
(一) 平面运动的描述 (二) 平面运动的瞬心 (三) 平面运动的动力学方程	
§ 6.7 刚体的定点转动	165
(一) 欧拉动力学方程 (二) 对称陀螺的惯性转动	
§ 6.8 转动非惯性系	167
(一) 转动参照系 (二) 速度与加速度合成公式	
(三) 相对运动的动力学方程 (四) 地球自转所产生的影响	
阅读材料	172
6.1 滚动摩擦	172
6.2 傅科摆	174
思考题	175
习题	176
附录 A 数学知识	180

A1.1 矢量的几种运算	180
A1.2 第二型曲线积分	185
A1.3 场论初步	188
附录 B 习题参考答案	192
参考文献 (上册)	202

绪 论

发展中的物理学

物理学是自然科学诸多基础学科之一，也是科学百花园中最艳丽的花朵之一。它的现代发展，如果从伽利略算起，已经走过了近四百年的历程。四百年来物理学经历了它的早期成功和所谓经典物理阶段，在度过了 19 世纪和 20 世纪之交的磨难之后，接踵诞生了近代物理学及其各个分支：量子力学、粒子物理、原子核物理、原子与分子物理、凝聚态物理、等离子体物理、天体物理、生物物理等。近代物理学及其各个分支均获得了飞速的发展，物理学已经形成了一座宏伟的大厦。

回顾物理学的发展史，可以看到最先得到发展并形成科学体系的是力学。伽利略（G.Galilei, 1564~1642）、开普勒（J.Kepler, 1571~1630）和牛顿（I.Newton, 1643~1727）作出了奠基性的贡献。继成功地发明微积分之后，牛顿在 1687 年发表了他的历史性巨著《自然哲学的数学原理》。其中，他向世界公布了后来以他的名字命名的三大定律，而在该书的附录中，同时阐述了著名的万有引力定律。可以说，这是近代物理学作为一门系统科学的发端。伽利略和开普勒及其老师第谷等人对观察实验的重视，伽利略和牛顿及其同代人瑞利等通过理想实验、提出假设和逻辑推理从事科学研究的方法，都为后人树立了榜样。

继力学成功诞生之后，18 世纪~19 世纪，物理学进入了蓬勃发展的时期。热力学由焦耳（J.P.Joule, 1818~1889）、迈尔（J.R.Mayer, 1814~1878）、开尔文勋爵（Kelvin, 1824~1907）和克劳修斯（R.Clausius, 1822~1888）所奠基。统计物理则由玻耳兹曼（L.Boltzmann, 1844~1906）和吉布斯（J.W.Gibbs, 1839~1903）所创立。库仑（C.A.Coulomb, 1736~1806）依据实验总结出静电场的平方反比律，法拉第（M.Faraday, 1791~1867）等人建立了电磁场的概念。其后，麦克斯韦（J.C.Maxwell, 1831~1879）建立的概括各种电磁现象的麦克斯韦方程组，预言了电磁波的存在，并由赫兹（H.R.Hertz, 1857~1894）20 年后用实验所证实，这一成果举世瞩目。他们对电磁学的发展作出了巨大的贡献。在光学领域，从斯涅尔（W.Snell, 1580~1620）经笛卡儿（R.Descartes, 1596~1650）到费马（P.Fermat, 1601~1665），光的反射与折射定律的确立奠定了几何光学的基础，光的微粒说和波动说的长期争论，构成了光学发展史上的一根红线。针对与牛顿的名字相关联的光的微粒说，菲涅耳（A.J.

Fresnel, 1788~1827) 勇敢地发展了惠更斯 (C.Huygens, 1629~1695) 和托马斯·杨 (T.Young, 1773~1829) 的波动理论, 成为物理光学的缔造者. 巴耳末 (J.J.Balmer, 1825~1898)、里德伯 (J.R.Rydberg, 1854~1919) 等人在光谱学领域的研究, 为人们揭示原子结构的奥秘提供了实验基础.

以上种种成就使得不少人感到了陶醉, 似乎人类对自然的认识已经走到了尽头. 恰恰就在这时, 19 世纪和 20 世纪之交, 物理学上的一系列重大发现, 向由力学、热力学和统计物理学以及电磁学、光学构成的经典物理学大厦发起了挑战, 揭开了现代物理学革命的序幕.

正式向经典物理学发起挑战的第一人是爱因斯坦 (A.Einstein, 1879~1955). 1905 年 9 月发表在德文杂志《物理学年鉴》上的《论动体的电动力学》这一历史性文献, 首次向世人阐述了狭义相对论, 提出了崭新的时空观; 从 1907 年到 1916 年, 他又创立了以全新的引力理论为主要内容的广义相对论, 把相对性原理和对称性推广于全部物理学. 几乎在相对论创立的同时, 普朗克 (M.Planck, 1858~1947)、爱因斯坦、玻尔 (N.Bohr, 1885~1962)、薛定谔 (E.Schrodinger, 1887~1961)、海森伯 (W.K.Heisenberg, 1901~1976) 和迪拉克 (P.A.M.Dirac, 1902~1984) 共同创立了量子力学, 这是物理学的又一次革命. 正是在相对论和量子论共同构造的现代物理学的基础上, 在上个世纪 100 年的时间内, 物理学的各个分支纷纷取得了崭新的辉煌成就.

回顾这段历史, 使人心潮澎湃; 展望 21 世纪的物理学, 又让人感到重任在肩. 作为物理学的传承者, 我们有理由相信, 在全世界物理学工作者的共同努力下, 物理学一定会有更大的发展, 必将迎来更加辉煌的明天.

二

从以上物理学的历史回顾中, 我们可以得到哪些启示呢?

1. 物理学是基础科学, 也是正在发展中的科学. 它是许多科学与技术的基础和发源地, 也是很多技术部门革新改造的基本依据. 所以, 我们要热爱物理学, 努力地学习物理学, 应用物理学, 研究物理学.

物理学是自然科学中的基础学科之一. 它与自然科学的其他学科, 例如天文学、化学、地质学、生物学等学科之间有着密切的联系. 牛顿力学的直接基础是天文学中的开普勒行星运动三定律; 原子论起源于化学, 而近代化学靠的又是量子论. 因此, 我们在学习物理学的同时, 同样应该注意向其他学科汲取营养, 借以开阔我们的眼界, 拓展我们的知识领域, 为更好地学好物理学服务.

2. 物理学是以实验为基础的学科. 归根结底, 物理学家的任何新思想、新理论的正确与否, 都要经由实践来检验. 自古以来, 人类就表现出观察和思辨的才能, 但将实验作为研究的手段引入物理学, 则是跨出了重要的一步. 在物理学的发展史上, 就曾有过著名学者, 例如古希腊的亚里士多德 (Aristotle, 约公元前 384~前 322), 只是由于没有作实验, 而在一些很普通的问题上作出了错误的结论. 与此相反, 物理学史上出现过许多杰出的实验物理学家, 像测量万有引力常量的卡文迪什 (H.Cavendish, 1731~1810)、发明扭称并

确定静电力的平方反比关系的库仑、发现电磁感应的法拉第 (M. Faraday, 1791~1867) 等等, 他们的工作都对物理学的发展起到了难以估量的作用。到了上个世纪, 实验在物理学的发展中的作用更加突出, 已经建立了许多大规模的现代化实验室, 如荷兰的莱顿低温实验室、美国的劳伦斯伯克利实验室、欧洲的斯坦福直线加速中心、北京正负电子对撞机等。这些实验室不仅每年推出许多实验结果, 而且培养了一大批著名的实验和理论物理学家。

物理理论来源于实验并受实验的检验, 但又高于实验。一方面, 物理实验是人类发挥高度智慧的一种特殊的实践活动, 要用到各种仪器, 要观测, 要创新, 但更需要理论的指导; 另一方面, 许多重大物理理论的发现, 绝非简单的实验结果的总结, 它需要直觉和想像力、深刻的洞察力、大胆的猜测和假设、模型的合理引入、严谨的数学处理和逻辑思维, 通常这是一个曲折的过程。所以, 正确处理理论与实验的关系, 是物理学家成功的重要因素, 也是我们学好物理学的必要保证。

3. 物理学是一门定量的科学。它的概念、定理、定律和结论绝大部分都需要用准确的语言以及数学形式加以表述, 才能形成完整的理论体系。所以数学是物理学家的思维工具, 只有通过数学才能最终以精确的形式表达自然规律。例如, 没有微积分, 牛顿就无法导出万有引力定律; 没有统计学, 就无法发展分子运动论; 没有黎曼张量, 爱因斯坦就不能完善广义相对论; 没有场论知识, 电磁学也就寸步难行。总之, 物理学的发展离不开数学, 一个好的物理工作者必须打下坚实的数学基础。

也应指出:**物理学不等于数学。**物理学的发展不可能只靠数学, 数学是一种形式逻辑, 光靠逻辑推理, 物理学是不能前进的。物理学强调概念, 必须掌握物理概念的内涵; 物理学重视观察和实验, 物理知识必须结合实际并应用于实际; 物理学强调理想模型的重要性, 必须善于从实际问题中抽象出合理的理想模型; 物理学鼓励大胆的想像和创新, 单纯地囿于逻辑推理反而可能限制自己的创新能力。所以, 我们必须依据物理学的自身特点, 才能学好和用好物理学的知识。

作为一门定量的科学, 物理学建立在计量的基础上, 计量涉及单位制、量纲以至参考系, 这也是物理学工作者必须十分关注的问题。

三

力学是物理学的有机组成部分。由于与人类的生活和生产联系最为密切, 因此力学成为物理学中发展最早的一个分支。早在古代, 劳动人民就在生产实践活动中应用了杠杆、螺旋、滑轮和斜面等简单机械, 静力学得以开始发展。比重和重心的概念、杠杆原理, 形成于古希腊时期。生活于公元前 3 世纪的阿基米德 (Archimedes, 约公元前 287~前 212) 就提出了浮力定律。我国春秋时期的墨子, 在其代表作《墨经》一书中总结了大量力学知识, 涉及到时间与空间的联系、运动的相对性、力的概念、杠杆平衡、斜面的应用以及滚动和惯性现象的分析等。这些属于力学的萌芽。

16 世纪以后, 战争、航海和工业生产的需要推动了力学的研究和发展。钟表工业需要匀速运动的理论; 水磨机械促进了摩擦和齿轮传动的研究; 火炮的运用迫使人们去研究抛射体的运动规律。随着 16、17 世纪资本主义生产方式的兴起, 海外贸易和对外扩张

刺激了航海的发展,航海事业又和天文学的发展分不开,这为力学的发展提供了一个最理想的“实验室”——天体.通过对天体运行和天文现象的观测,第谷·布拉赫(Tycho Brahe, 1546~1601)以毕生精力采集了大量观测数据,为开普勒的行星运动规律研究奠定了基础.

与开普勒差不多同时,伽利略对力学进行了广泛研究,获得了落体定律.他的两部著作——1632年发表的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》和1638年发表的《关于力学和运动两种新科学的谈话》——奠定了力学发展的思想基础.牛顿则把天体的运动规律和地面上的实验研究成果结合起来,建立了牛顿运动三定律和万有引力定律,从而形成了基本完整的力学体系.他所建立的这一体系经过伯努利(D.Beroulli, 1700~1782)、拉格朗日(J.L.Lagrange, 1736~1813)、达朗贝尔(J.R.D'Alembert, 1717~1783)等人的推广和完善,形成了系统的理论,并在广泛的应用中发展出了流体力学、弹性力学和分析力学等分支.到了18世纪,经典力学已经发展成为当时自然科学中的主导和领先的学科.

尽管力学只是研究最直观、最简单的机械运动形态的学科,但是,要从生产和生活中遇到的各种力学现象中抽象出各种规律,必定要有相当复杂的提炼、简化、复现、抽象等实验和理论研究的过程.和物理学的其他部门相比,力学的发展经历了更为漫长的进程.其原因,一是人类缺乏经验,弯路在所难免;二是生产力低下,没有适当的仪器设备,无从进行系统的实验研究,难以认识和排除各种干扰(对力学实验来说,摩擦和空气阻力的干扰几乎无处不在).不过,力学作为一门学科一经形成,就显示了强大的威力.不仅力学的研究方法,包括力学的知识本身,都在物理学的其他学科分支的发展中起到了举足轻重的作用,后续发展的众多学科被称之为“××力学”就是例证.也和物理学的各个分支一样,今天的力学也还在不断发展之中.

四

和物理学的发展史一致,我们学习物理学也是从力学部分开始的,或许这不是巧合.我们不仅要在力学知识的学习上,更应在学习方法和技巧上,开好头,起好步,形成良好的学习习惯,为学习后续课程打好基础.

怎样学好本课程呢?借鉴其他专家的意见,我们建议:

第一,加强预习.古人云:“凡事预则立,不预则废.”课前把将要讲的内容预习一遍,上课时有的放矢,带着目标、带着问题听课,效果肯定好得多.

第二,注意培养物理学的思维模式.学习物理学,不光是掌握一些知识、公式和定律,不能只把注意力集中在解题上,而应在学习过程中,对物理学的内容、方法、工作语言、概念、物理图像,以及历史、现状和前沿等方面,努力地从整体上去把握.

第三,知识贵在消化.要对新的概念、定义、公式的含义及其中的符号,善于用自己的语言来陈述.对于定理的证明、公式的推导,最好在了解基本思路以后,自己背着书本把它演算出来,这样才能对它们成立的条件、关键的步骤、推演的技巧以及适用的范围等有深刻理解.

第四，作好习题。学习物理，不作习题是不行的。但习题不在于多，而在于精。习题作完后，不要只对一下答案就交给老师去批改，更不能抄一下别人的作业完事，自己应该从物理上想一想，解答的物理过程是否合理？答案的数量级和量纲是否对头？能否有更好的解题方法？我们应该力求作到，习题要么作不出来，作出来就有充分的理由相信自己是对的，哪怕它和书上的答案不一致。不要怕别人说你错了，你在未被说服之前要敢于争辩。如果最后证明是你错了，也错个明白。

第一章

质点运动学

各种形态的物质运动中，最简单的一种是物体在空间的位置随时间的改变而改变，它被称作机械运动，力学就是研究机械运动的科学。机械运动是各种复杂的、高级的物质运动形态的基础。从历史上看，力学的发展构成了物理学的基础；到了近代，力学又发展成一门独立的学科，成为自然科学的基础学科之一。

§ 1.1 质点运动的描述

（一）时间和空间

研究机械运动，必然涉及时间、空间及其度量。我们用时间反映物体运动的先后顺序及间隔，即运动的持续性。现行的时间单位是 1967 年第 13 届国际计量大会规定的，用铯 (^{133}Cs) 原子基态的两个超精细能级间跃迁相对应的辐射周期的 9 192 631 770 倍为 1 秒。空间反映物质的广延性。空间距离为长度，长度的现行单位是 1983 年 10 月第 17 届国际计量大会规定的，把光在真空中 $1/299\,792\,458$ 秒内走过的路程定义为 1 米。

（二）参照系和坐标系

宇宙间任何物质都在运动，大到地球、太阳等天体，小到分子、原子及各种基本粒子，所以说，物质的运动是普遍的、绝对的，但对运动的描述却是相对的。比如，在匀速直线航行的舰船甲板上，有人放开手中的石子，他看到石子作自由落体运动，运动轨迹是一条直线，而站在岸边的人看石子作平抛运动，运动轨迹是一条抛物线。这是因为他们站在不同的物体上。因此，要描述一个物体的运动，必须先确定另一个物体作为标准，这个被选作标准的物体叫参照系或参考系。选择哪个物体作为参照系，主要取决于问题的性质和研究的方便。在研究地球运动时，多取太阳为参照系，当研究地球表面附近物体的运动时，一般以地球为参照系。我们大部分是研究地面上物体的运动，所以，如不特别指明，就以地球为参照系。

参照系确定后, 为了分析计算物体的运动, 还必须要选择适当的坐标系, 通常采用的坐标系有直角坐标系、极坐标系和自然坐标系, 它们是分析物体运动的数学工具, 坐标系选择得当, 可以简化计算.

(三) 质点

实际的物体都有一定的大小和形状, 物体上各点在空中的运动一般是不一样的. 在某些情况下, 根据问题的性质, 如果物体的形状和大小与所研究的问题关系甚微, 以至可以忽略其大小和形状, 这时就可以把整个物体看作一个没有大小和形状的几何点, 但是它具有整个物体的质量, 这种具有质量的几何点叫**质点**. 必须指出质点是一种理想的物理模型. 同样是地球, 在研究它绕太阳公转时, 把它看作质点, 在研究它的自转时, 又把它看作刚体.

(四) 位矢、位移和路程

要确定一个质点 P 在空间的位置, 先要在选定的参照系中确定一个静止的点 O 为参考点, 用由 O 点指向 P 点的矢量 $\mathbf{r}$ 表示它的位置, 叫**位矢** (如图 1.1). 质点运动时, 位矢 $\mathbf{r}$ 随时间变化, 所以位矢 $\mathbf{r}$ 是时间的函数, 即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.1.1)$$

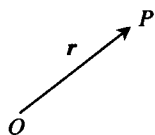


图 1.1

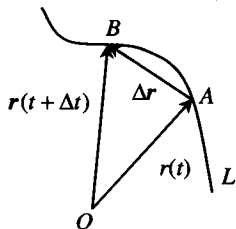


图 1.2

既然运动质点的位矢 $\mathbf{r}$ 是时间 t 的函数, 那么, 随着时间的推移, 位矢 $\mathbf{r}$ 的终端就在空间描画出一条曲线, 这条曲线就是质点运动的**轨迹**, 如图 1.2 所示.

设 t 时刻质点在 A 点, 位矢为 $\mathbf{r}$, $t + \Delta t$ 时刻它沿轨迹曲线 L 运动到 B 点, 位矢为 $\mathbf{r}' = \mathbf{r}(t + \Delta t)$, 位置的变化用由 A 指向 B 的矢量 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{AB}$ 表示, 叫**位移**. 质点运动的路程为

$$S = \widehat{AB} \quad (1.1.2)$$

(五) 速度

质点在 Δt 时间内位置变化的程度如何描述呢? $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比值表示质点在 Δt 时间内位置平均变化的情况, 叫**平均速度**.

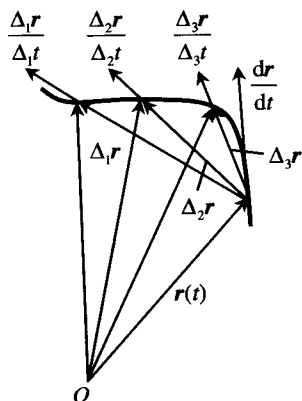


图 1.3

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

显然用平均速度描写质点运动状况是粗略的, 观察的时间 Δt 越短, 平均速度越能精细的反映运动情况, 如图 1.3. 但无论时间多短, 总有比它更短的时间, 要精确的描述运动情况, 就需要数学上的极限概念:

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 有 $\Delta r \rightarrow 0$, 比值 $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ 将无限的接近于一确定的矢量 v , 它就是平均速度的极限—— t 时刻的瞬时速度, 是位矢 r 对时间的一阶导数, 即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1.1.3)$$

速度 v 是矢量, 其方向沿 t 时刻质点在轨迹上 A 处的切线, 它的单位是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

(六) 加速度

为了描述质点速度变化的情况, 我们引入加速度的概念.

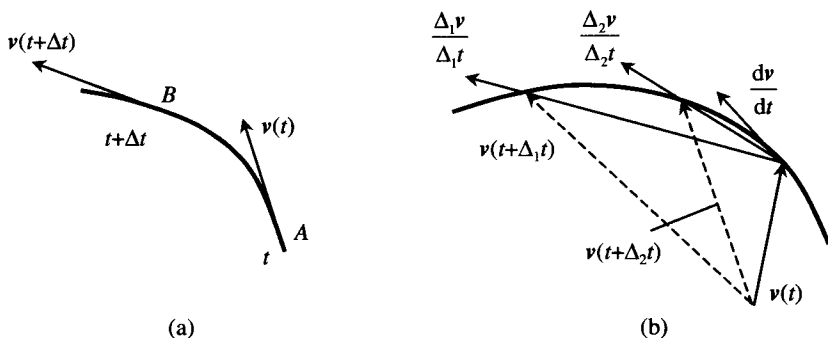


图 1.4

如图 1.4, 设 t 时刻质点在 A 点, 其速度为 $v_A = v(t)$, $t + \Delta t$ 时刻质点在 B 点, 其速度为 $v_B = v(t + \Delta t)$, 在 Δt 时间内速度的变化为 $\Delta v = v_B - v_A$, 为了描述速度变化的程度, 我们仿照上面的作法, 引入加速度矢量 a ,

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1.1.4)$$

上式表明, 加速度 a 是速度 v 对时间的一阶导数, 或者是位矢 r 对时间的二阶导数. 它的单位是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.