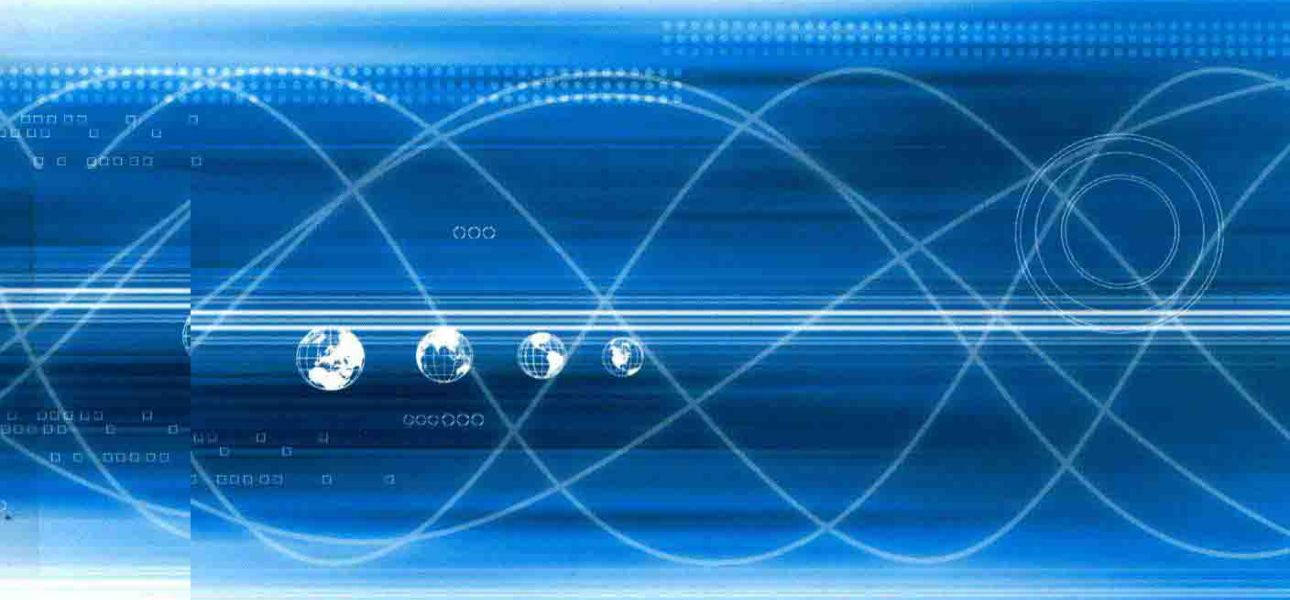


高等学校教材

大学物理 简明教程（上册）

主编 滕道祥



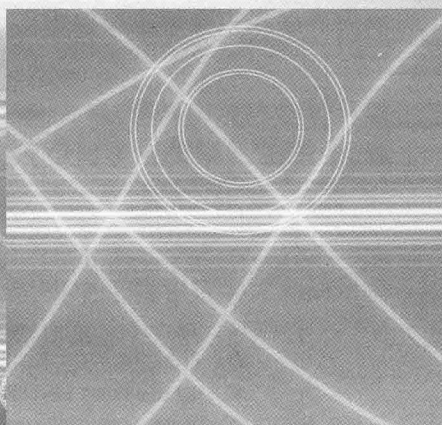
高等教育出版社

高等学校教材

大学物理 简明教程（上册）

Daxue Wuli Jianming Jiaocheng

主编 滕道祥



高等教育出版社·北京

内容提要

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010 年版),并结合应用型本科院校大学物理课程的教学实际,在总结长期教学经验和自编讲义的基础上编写而成的。

全书分为上、下两册,内容包括力学、振动与波动、热学、电磁学、光学以及部分近代物理学。本书突出了物理学的基本思想方法,反映了科技发展前沿和物理学基本原理的实际应用,文字简洁,图文并茂,版式新颖,使用方便。

本书可作为应用型本科院校理工科类大学物理课程的教材,也可供其他学科专业的教师和学生及社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理简明教程. 上册 / 滕道祥主编. -- 北京 : 高等教育出版社, 2016.11

ISBN 978-7-04-046311-8

I. ①大… II. ①滕… 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(2016)第 193394 号

策划编辑	高聚平	责任编辑	高聚平	封面设计	赵 阳	版式设计	杜微言
插图绘制	杜晓丹	责任校对	吕红颖	责任印制	尤 静		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京佳信达欣艺术印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787 mm×1092 mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	16.25		
字 数	400 千字	版 次	2016 年 11 月第 1 版
购书热线	010-58581118	印 次	2016 年 11 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	29.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 46311-00

前言

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),在我校原有大学物理学讲义的基础上编写而成的。编写时结合当前应用型本科高等教育的新形势,采取压缩经典、简化近代、突出重点、突出应用的方法精选和组织了内容,还精选了相当数量的拓展内容。

大学物理是大学理工科类本科院校的一门基础课程,通过本课程的学习,可使学生熟悉自然界物质的结构、性质、相互作用及其运动的基本规律,为后继专业基础与专业课程的学习及进一步获取有关知识奠定必要的物理基础。本书共12章,包含力学、振动和波、热学、电磁学、波动光学以及部分近代物理学。每章除基本内容外,还包括阅读材料、复习与小结、练习题和综合模拟试题等。全书内容深浅适当,讲解正确清晰,叙述引人入胜,例题指导详尽,并联系实际,特别是注意介绍物理知识和物理思想在实际中的应用。

本书由滕道祥(徐州工程学院)主编,参加编写的人员有胡峰、王克权、张文涛、魏明、吴玉喜(中国矿业大学)、王一如、陈凯、孙言、邹维科、李文义、刘冬冬、种法力、张宁、韩崇、梅茂飞、樊秋波、张文婷、滕绍勇、张丽丽等老师。

由于时间仓促,编者水平有限,书中疏漏和错误之处在所难免,恳请读者和同行专家、学者批评指正。

编 者

2016年4月

目 录

绪论	1	2.6.1 功能原理	67
第一章 质点运动学	5	2.6.2 机械能守恒定律	71
1.1 运动描述的相对性	5	2.6.3 能量守恒定律	73
1.1.1 运动的绝对性和相对性	5	2.7 碰撞	73
1.1.2 参考系和坐标系	6	阅读材料	76
1.1.3 质点	6	教学基本要求与内容提要	78
1.2 位置矢量 位移 速度 加速度	8	习题	83
1.2.1 位置矢量 运动方程	8		
1.2.2 位移 路程	9	第三章 刚体力学基础	88
1.2.3 速度	10	3.1 角动量	89
1.2.4 加速度	11	3.1.1 力矩	89
1.2.5 运动学中的两类问题	12	3.1.2 质点对定点的角动量	89
1.3 圆周运动	14	3.1.3 质点对定轴的角动量	91
1.3.1 切向加速度和法向加速度	15	3.2 角动量定理	91
1.3.2 圆周运动的角量描述	16	3.2.1 质点对定点的角动量定理	91
1.3.3 线量和角量之间的关系	17	3.2.2 质点对定轴的角动量定理	93
阅读材料	18	3.3 角动量守恒定律	93
教学基本要求与内容提要	24	3.3.1 质点对定点的角动量守恒定律	93
习题	27	3.3.2 质点对定轴的角动量守恒定律	96
		3.4 刚体定轴转动运动学	97
第二章 质点动力学与机械能守恒	29	3.4.1 刚体运动及其分类	97
2.1 牛顿运动定律	29	3.4.2 刚体定轴转动的运动学规律	98
2.1.1 牛顿运动三定律	29	3.5 刚体的定轴转动定律	100
2.1.2 经典力学中常见的力和基本力	32	3.5.1 力对转轴的力矩	100
2.1.3 牛顿运动定律的应用	36	3.5.2 刚体定轴转动的转动定律	101
2.1.4 惯性参考系与非惯性参考系	39	3.5.3 转动惯量	105
2.2 动量定理	43	3.6 刚体定轴转动的角动量定理 角动量 守恒定律	110
2.2.1 冲量 质点的动量定理	43	3.6.1 刚体定轴转动的角动量	110
2.2.2 质点系的动量定理	47	3.6.2 刚体定轴转动的角动量定理	111
2.3 动量守恒定律	51	3.6.3 刚体定轴转动的角动量守恒 定律	111
2.4 动能 功 动能定理	54	3.7 刚体定轴转动的动能定理 机械能 守恒定律	114
2.4.1 动能	55	3.7.1 刚体的转动动能	114
2.4.2 功与功率	56	3.7.2 力矩的功 功率	115
2.4.3 动能定理	59	3.7.3 刚体定轴转动的动能定理	116
2.5 保守力 势能	62	3.7.4 刚体的重力势能	117
2.5.1 保守力的功	62	3.7.5 功能原理 机械能守恒定律	118
2.5.2 保守力与势能	64		
2.6 质点系的功能原理 机械能守恒 定律	67		

阅读材料	122	5.3.1 波的能量与能量密度	169
教学基本要求与内容提要	124	5.3.2 波的能流和能流密度	171
习题	126	5.3.3 波的吸收	172
第四章 机械振动	128	5.3.4 声压、声强和声强级	172
4.1 简谐振动	128	5.4 惠更斯原理	174
4.1.1 简谐振动的动力学特征	129	5.4.1 惠更斯原理	175
4.1.2 单摆	130	5.4.2 波的叠加原理	176
4.2 简谐振动的运动学	132	5.4.3 波的干涉	177
4.2.1 简谐振动的运动学方程	132	5.5 驻波	180
4.2.2 描述简谐振动的三个重要特征量	132	5.5.1 驻波方程	180
4.2.3 简谐振动的矢量表示法	135	5.5.2 驻波的特点	181
4.3 简谐振动的能量	137	5.5.3 半波损失	182
4.4 简谐振动的合成	139	5.5.4 简正模式(自本征振动)	183
4.4.1 同方向、同频率简谐振动的合成	139	5.6 多普勒效应	185
4.4.2 两个同方向、不同频率简谐振动的合成	141	5.6.1 多普勒效应	185
4.4.3 两个相互垂直、相同频率的简谐振动的合成	142	5.6.2 光波的多普勒效应	188
4.4.4 两个相互垂直、不同频率的简谐振动的合成	143	5.6.3 电磁波的多普勒效应	188
4.4.5 振动的频谱分析	144	5.7 色散 波包 群速度	189
4.5 阻尼振动 受迫振动和共振	144	5.7.1 色散	189
4.5.1 阻尼振动	144	5.7.2 波包	189
4.5.2 受迫振动	146	5.7.3 群速度	190
4.5.3 共振	147	阅读材料	192
阅读材料	148	教学基本要求与内容提要	195
教学基本要求与内容提要	150	习题	199
习题	152	第六章 气体动理论	201
第五章 机械波	155	6.1 热运动的描述 理想气体物态方程	201
5.1 机械波的形成和传播	155	6.1.1 状态参量	201
5.1.1 机械波的产生和传播	155	6.1.2 平衡态	202
5.1.2 横波和纵波	156	6.1.3 理想气体的物态方程	202
5.1.3 波面 波线	158	6.2 理想气体的压强和温度公式	203
5.1.4 简谐波	158	6.2.1 理想气体的微观模型	203
5.1.5 物体的弹性形变	159	6.2.2 理想气体的压强	204
5.1.6 描述波动的三个基本物理量	160	6.2.3 理想气体的温度	206
5.2 平面简谐波的波函数	162	6.3 能量均分定理 理想气体的内能	206
5.2.1 平面简谐波的波函数	162	6.3.1 自由度	207
5.2.2 波函数的物理意义	163	6.3.2 能量均分定理	207
5.2.3 波动微分方程	165	6.3.3 理想气体的内能	208
5.3 波的能量 声强	169	6.4 麦克斯韦速率分布律	209
		6.4.1 气体分子的速率分布 分布函数	209
		6.4.2 麦克斯韦速率分布律	210
		6.4.3 分子速率的三个统计值	211
		6.4.4 分子的平均碰撞频率和平均自由程	212

阅读材料	214	7.4.1 循环过程	233
教学基本要求与内容提要	218	7.4.2 热机和制冷机	233
习题	221	7.4.3 卡诺循环	235
第七章 热力学基础	223	7.5 热力学第二定律	237
7.1 准静态过程 功 热量	223	7.5.1 热力学第二定律的两种表述	237
7.1.1 准静态过程	223	7.5.2 可逆过程与不可逆过程	238
7.1.2 功 热量	224	7.6 卡诺定理 熵	239
7.2 热力学第零定律和第一定律	225	7.6.1 卡诺定理	239
7.2.1 热力学第零定律	225	7.6.2 克劳修斯不等式	240
7.2.2 内能	225	7.6.3 克劳修斯熵	241
7.2.3 热力学第一定律	225	7.6.4 熵增加原理	242
7.3 热力学第一定律对理想气体的应用	226	7.6.5 玻耳兹曼熵——热力学第二定律 的统计意义	244
7.3.1 等体过程 摩尔定容热容	226	阅读材料	244
7.3.2 等压过程 摩尔定压热容	228	教学基本要求与内容提要	247
7.3.3 等温过程	230	习题	249
7.3.4 绝热过程	231	习题答案	251
7.4 循环过程 卡诺循环	233		

绪 论

物理学是一门古老的、基础的学科,物理学(physics)是一种自然科学,主要研究物质和运动,或物质世界及其各部分之间的相互作用,或物质的基本组成及它们的相互作用,包括能量和作用力.物理学是关于自然界最基本形态的科学,它研究物质的结构运动以及物体间的相互作用.存在于我们周围和我们意志之外的客观实在都是物质.物质有两种不同的形态:一类是实物,另一类是场.实物包括微观粒子和宏观物体,它的范围是从基本粒子的亚核世界到整个宇宙.场包括引力场、电磁场和量子场等.物理在经典时代是由与它极相像的自然哲学的研究所组成的,直到19世纪物理才从哲学中分离出来成为一门实证科学.

物质可以小至微观粒子——分子、原子以至“基本”粒子(elementary particles).所谓基本粒子,顾名思义是物质的基本组成成分,本身没有结构,然而“基本”与否与人们的认识水平以及科学技术水平有关,因此对“基本”的理解有阶段性.有鉴于此,物理学家简单地称之为“粒子”,有时为了表达认识的层次,我们仍然可以说:“现阶段的基本粒子为……”.当前我们认为基本粒子有轻子(lepton)、夸克(quark)、光子(photon)和胶子(gluon)等.科学家们正在努力寻找自由夸克.此外,分数电荷、磁单极也在寻找之列.我们周围的物体是物质的聚集状态,人们可以用自己的感官感知大多数聚集状态的物质,并称它们为宏观(macroscopic)物质以区别前面所说的微观(microscopic)粒子,居间的尺度是介观(mesoscopic),而更大的尺度是宇观场(cosmological field)传递相互作用,电磁场和引力场就是例子.

在物理学的范围内,物质的运动是指机械运动、热运动、微观粒子的运动、原子核和粒子间的反应等运动总是发生在一定的时间和空间的和.空间首先是作为物质运动的舞台,但最后也成了物理学研究的对象.一般认为物质之间的相互作用有四种,即万有引力、弱相互作用、电磁相互作用和强相互作用.

NOTE

一、物理学和科学技术关系

物理学的发展经历了很长的一段历史,从古代物理学发展到经典物理学,再发展到现代物理学,它的每一个发现、每一次革命都对人类文明和科技进步起到了不可估量的作用。从历史上看,物理学对世界三次大的技术革命起到了非常关键的作用。第一次技术革命始于 18 世纪 60 年代,其主要标志是蒸汽机的广泛应用,这是牛顿力学和热力学发展的必然结果。第二次技术革命发生于 19 世纪 70 年代,主要标志是电力的广泛应用和无线电通信技术的实现,这是麦克斯韦电磁理论的建立导致的光辉成果。第三次技术革命发生在 20 世纪初,由于 X 射线、放射性、原子结构、电子波粒二象性的发现,诞生了相对论和量子力学,奠定了近代物理学的基础。近代物理学所揭示的新概念和新现象,促进了原子能、计算机、航天、激光、红外线、超导、通信、纳米等高新科学技术的广泛应用,刷新了社会面貌。正如美籍华裔物理学家李政道所说:“没有昨日的基础科学就没有今日的技术革命”。

物理学是一切自然科学的基础,处于诸多自然科学学科的核心地位。物理学研究的粒子和原子构成了蛋白质、基因、器官、生物体,构成了一切天然的和人造的物质以及广袤的陆地、海洋、大气,甚至整个宇宙。因此,物理学是化学、生物、材料科学、地球物理和天体物理等学科的基础。今天,物理学和这些学科之间的边缘领域中又形成了一系列分支学科和交叉学科,如粒子物理、核物理、凝聚态物理、原子分子物理、电子物理、生物物理等。这些学科都取得了引人瞩目的成就。

物理学的发展,广泛而直接地推动着技术的革命和社会的文明。18 世纪 60 年代开始的第一次技术革命以蒸汽机应用为标志,它是牛顿力学和热力学发展的结果。19 世纪 70 年代开始的第二次技术革命以电力的广泛应用和无线电通信为标志,它是电磁学发展的结果。20 世纪 40 年代兴起的并一直延续至今的第三次技术革命是相对论和量子论发展的结果。事实证明,几乎所有重大的新技术领域学科(如电子学、原子能、激光和信息技术等)的创立,事前都在物理学中经过长期的酝酿、在理论和实验两方面积累了大量知识后、才突然迸发出来。物理学是科技生产力发展的不竭源泉。

在 21 世纪的今天,全世界范围内正面临着以信息、能源、材料、生物工程和空间技术等为核心的一场新技术革命。在这些高科技领域中必将层出不穷地涌现人们今天尚不知道的一系列新

技术和新产品. 物理学以其最广泛和最基本的内容正成为各个新兴学科的先导. 近代物理在量子论和粒子物理等研究方向上的突破和成熟可能孕育和萌发科学与技术的新芽. 建立在物理学等自然科学基础上的高科技在 21 世纪将出现史无前例的辉煌, 使人类文明进入更高级的阶段.

从基本粒子到天体演化, 从混沌、分形到生命起源, 物理学一方面不断拓展着自己的疆界, 另一方面又在其他学科的交叉领域里扮演着重要角色. 现代物理学对物质各个层次的研究, 已经进入诸如化学、材料科学、生物学、地球科学、天文学等相邻学科, 并在原子和系统两个层次上打通了与这些学科的界限, 使整个自然科学向统一性和整体性迈进了一大步. 例如, 量子理论不仅解释了化学键和元素周期律, 解释了材料的结构和基本性质, 还解释了恒星坍缩条件; 又如对非平衡态和复杂系统的研究正在使生命现象和生命起源问题逐步被揭开神秘面纱; 等等. 同时, 各学科的发展也加速了它们和物理学之间的交叉和碰撞, 从而涌现出越来越多的交叉学科和边缘学科, 如量子化学、地球物理、天体物理、生物物理、无线物理, 等等. 它们的出现和发展使今天的物理学在对物质世界的研究中到处渗透, 几乎无孔不入, 与其他自然科学和应用科学形成千丝万缕的关系, 使现代物理学成为整个自然科学的背景知识.

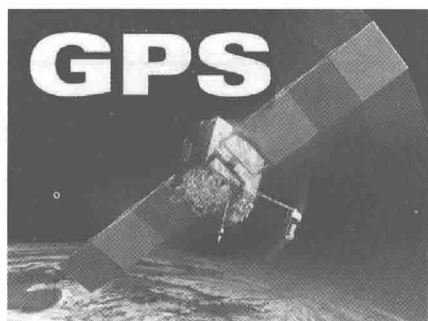
物理学是技术革命的源泉, 物理学是认识世界的基础, 也是改造世界、推动和影响社会生产和生活的强大动力. 纵观科学技术发展的历史, 在不同时期, 物理学在其中所扮演的角色和特点是不同的. 第一次技术革命时期, 物理学主要还是在解决生产实际的问题中得以发展的, 例如热力学理论就是在解决蒸汽机对能量转化和提高效率等问题的过程中逐步建立起来的. 第二次技术革命时期, 情况已有所变化, 当时物理学在总结已有实验的基础上形成了电磁学理论. 这一理论的应用导致了电力工业和通信技术的发展. 如果说第二次技术革命时, 法拉第 (M. Faraday) 研究电磁感应现象是为了找到磁生电的方法, 物理理论研究还带有为实际服务的色彩的话, 那么, 第三次技术革命时这一色彩则要暗淡得多. 当时核物理、相对论、量子力学的研究还看不出有什么应用价值, 原子能、半导体、激光、计算机、生物工程等技术产业都是在物理学的基础研究较为成熟以后, 人们有意识地加以应用而发展起来的. 这种有意识地应用知识发展起来的高新技术, 对现代经济社会发展的巨大影响是有目共睹的, 与前两次技术革命不可同日而语. 甚至一些十分抽象的“纯”理论和微观效应都已转化成重要的实用技术, 如势垒贯穿、核磁共振、穆斯堡尔 (R. L. Mossbauer) 效

应、约瑟夫森(B. D. Josephson)效应、孤子理论,等等。可以预见,在21世纪,物理学仍会在科学技术发展中起主导作用。

值得指出的是,在第一次工业革命中起关键作用的牛顿力学这一伟大理论成果,是从对天体运动的研究中获得的,而不是来自对地上劳动机械的观察。其结果不仅把天上的运动和地上的运动统一起来了,而且为力学应用奠定了基础。这是意味深长的,它说明基础研究的重要性:基础研究是根,技术应用是果,只强调技术应用,不过是无源之水。物理学对于科学技术难以估计的基础作用由此可以管窥一斑。事实上,机械工程、土木工程、通信工程、电气工程等许多工程学科都是直接从物理学的力学、电学等学科在工程实际的应用中演变而来的。

二、如何学好物理学

大学物理是高等学校理工科专业必备的一门基础课,为后继专业基础与专业课程的学习及进一步获取有关知识奠定必要的物理基础。其主要内容有力学、热学、电磁学、振动与波动、光学、近代物理等,物理学的理论是通过观察、实验、抽象、假设等研究方法并通过实践的检验而建立起来。人们常说物理是“析万物之理,判天地之美”,但现实是很多学生对大学物理感到头疼,那么如何才能学好大学物理呢?学习物理应遵循实践—理论—再实践的方法,独立思考、自己判断,不要迷信偶像和屈从权威。以实事求是、老老实实的态度对待科学真理是绝对必要的。作为理工科学生,学习物理首先要注重课程内容的内在联系、清晰的条理和严谨的逻辑,扎扎实实学好基本理论和基本知识。这包括对物理概念、规律、物理图像等透彻的理解,对物理学的研究方法、数学描述语言和推演技巧的熟练掌握,因此适当的记忆和做习题是很有必要的,当然本教材注重物理分析,深入浅出,避免运用高深烦琐的数学方程。在大学物理的学习中,除了学习事实、定律、方程和解题技巧外,还必须努力从整体上掌握物理学,要了解各分支间的相互联系。现代观点认为,应该从整体上逻辑地、协调地来把握物理学,学习中,对于基本物理定律的优美、简洁、和谐以及辉煌应该有所体会,要学会鉴赏其普适程度,了解其适用范围,还要学会区别理论和应用,物理思想和数学工具,一般规律和特殊事实,主要和次要效应,传统的和现代的推理方式等等。同学们应当通过学习和掌握物理知识的过程来培养自己的创新意识、创造能力及应用能力。



GPS (Global Positioning System), 即全球定位系统, 是基于经典力学的坐标和参考系最好的应用之一

第一章 质点运动学

1.1 运动描述的相对性

1.1.1 运动的绝对性和相对性

在自然界里, 绝对静止的物体是找不到的. 大到星系, 小到原子、电子, 无一不在运动. 以地球来说, 地球不仅在自转, 而且以 $30\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率绕太阳公转. 太阳则以 $250\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率绕银河系的中心旋转, 银河系在总星系中旋转, 而总星系又在无限的宇宙中运动. 无论从机械运动来说, 还是从其他运动形式来说, 自然界中的一切物质都处于永恒运动之中. 运动和物质是不可分割的, 运动是物质存在的形式、是物质的固有属性, 这便是运动本身的绝对性.

然而运动又是相对的, 因为物体的运动都是在一定环境和特定条件下的运动. 例如, 当说一列火车开动了, 这显然是指火车相对于地球(即车站)而言的. 离开特定的环境、条件谈论运动没有任何意义. 正如恩格斯所说: “单个物体的运动是不存在的——只有在相对的意义下才可以谈运动.”

NOTE

1.1.2 参考系和坐标系

运动是绝对的,但运动的描述却是相对的.在这些错综复杂的运动中,要描述一个物体的机械运动,总得选择另一物体或几个彼此之间相对静止的物体作为参照物,然后研究这个物体相对于这些参照物是如何运动的.被选作参照物及其固定在其上的坐标系叫做**参考系**.

同一物体的运动,由于我们所选取的参考系不同,对它的运动的描述就会不同.例如,在作匀速直线运动的车厢中,有一个自由下落的物体,以车厢为参考系,物体作直线运动;以地面为参考系,物体作抛物线运动;如以太阳或其他天体为参考系,运动的描述将更为复杂.在不同参考系中,对同一物体的运动具有不同描述的事实,叫做运动描述的相对性.早在我国战国后期的名家公孙龙就已经注意到这点,他提出了“飞鸟之影,未尝动也”的论辩.飞鸟的影子对地面其他物体来说是运动着的,但对飞鸟本身来说,如影随形,这个影子就是不动的了.

从运动的描述来说,参考系的选择可以是任意的,主要看问题的性质和研究的方便而定.例如,要研究物体在地面上的运动,可选择路面或地面上静止的物体作为参考系.要研究宇宙飞船的运动,一般选地球或太阳作为参考系;研究地球上物体的运动,在大多数情况下,以地球为参考系最为方便(以后如不作特别说明,研究地面上物体的运动,都是以地球为参考系).

通过上面的讨论,我们知道,要确切地描述一个物体的运动,只有在选取某一确定的参考系后才有可能,而且由此作出的描述总是具有相对性的.

为了定量地确定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.一般在参考系上选定一点作为坐标系的原点,取通过原点并标有长度的线作为坐标轴.常用的坐标系是直角坐标系,根据需要,我们也可以选用其他的坐标系,例如极坐标系、球坐标系或柱坐标系等.总的说来,无论选择何种坐标系,物体的运动性质都不会改变.然而,坐标系选择得当,可使计算简化.

1.1.3 质点

任何物体都有一定的大小、形状、质量和内部结构,即使是

很小的分子、原子以及其他微观粒子也不例外。一般地说,物体运动时,其内部各点的位置变化常是各不相同的,而且物体的大小和形状也可能发生变化。但是,如果在我们所研究的问题中,物体的大小和形状不起作用,或者所起的作用并不显著而可以忽略不计时,我们就可以近似地把该物体看作是一个具有质量而没有大小和形状的理想物体,称为质点。例如,研究地球绕太阳的公转时,由于地球的平均半径(约为 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$) 比地球与太阳间的距离(约为 $1.50 \times 10^8 \text{ km}$) 小得多,地球上各点相对于太阳的运动就可看作相同。这时,就可以忽略地球的大小和形状,把地球当作一个质点(图 1-1)。但是在研究地球的自转时,如果仍然把地球看作一个质点,就将无法解决实际问题。由此可知,一个物体是否可以抽象为一个质点,应根据问题的不同情况而定。

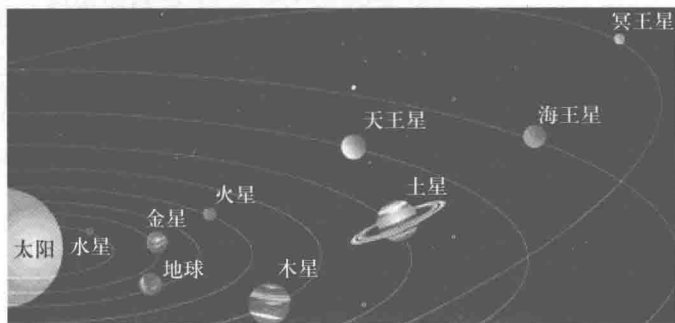


图 1-1 太阳系中地球可当作质点

几百年来,人们对天体运动的研究证明,把天体看成质点能够正确地解决许多问题。所以,质点是一个恰当的物理模型。根据具体问题,提出相应的物理模型,这种方法是很有实际意义的。从理论上说,研究质点的运动规律,也是研究物体运动的基础。因为我们可以把整个物体看作由无数个质点所组成,从这些质点运动的分析入手,就有可能了解整个物体的运动规律。

综上所述:选择合适的参照物,以方便确定物体的运动;建立恰当的坐标系,以定量地描述物体的运动;提出较准确的物理模型,以确定所提问题最基本的运动规律。

1.2 位置矢量 位移 速度 加速度

1.2.1 位置矢量 运动方程

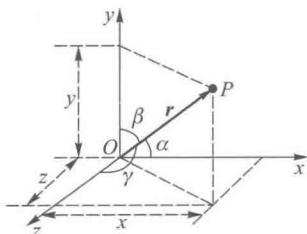


图 1-2 位置矢量

为了表示运动质点的位置,选取如图 1-2 的直角坐标系中,在时刻 t ,质点 P 位置可用位置矢量 $\mathbf{r}(t)$ 来表示. 位置矢量简称位矢,它是一个有向线段,起始端位于坐标系的原点 O ,末端则与质点 P 在时刻 t 的位置相重合. 从图 1-2 中可以看出,位矢 $\mathbf{r}$ 在 Ox 轴、 Oy 轴和 Oz 轴上的投影(即质点的坐标)分别为 x 、 y 和 z . 所以质点 P 在 $Oxyz$ 的直角坐标系中的位置,即可用位矢 $\mathbf{r}$ 来表示,也可用坐标 x 、 y 和 z 表示. 如取 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 和 $\mathbf{k}$ 分别为沿 Ox 轴、 Oy 轴和 Oz 轴的单位矢量,那么位矢 $\mathbf{r}$ 可以写成

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

位矢 $\mathbf{r}$ 的大小为

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

位矢 $\mathbf{r}$ 的方向余弦由下式确定:

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

式中 α 、 β 、 γ 分别是位矢 $\mathbf{r}$ 与 Ox 轴、 Oy 轴和 Oz 轴之间的夹角.

在一个选定的参考系中,当质点运动时,它的位置 $P(x, y, z)$ 按一定规律随时间 t 而改变(图 1-3),所以位置是 t 的函数. 这个函数可表示为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-2)$$

式(1-2)叫做质点的运动方程,而 $x(t)$ 、 $y(t)$ 、 $z(t)$ 则是 $\mathbf{r}(t)$ 在 Ox 轴、 Oy 轴和 Oz 轴的分量. 知道了运动方程,我们就能确定任时刻质点的位置,从而确定质点的运动. 从质点的运动方程中消去时间 t ,即可求得质点的轨迹方程. 如果轨迹是直线,就叫做直线运动;如果轨迹为曲线,就叫做曲线运动. 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.

轨迹方程和运动方程最明显的区别,就在于轨迹方程不是时间 t 的显函数. 例如,已知某质点的运动方程为

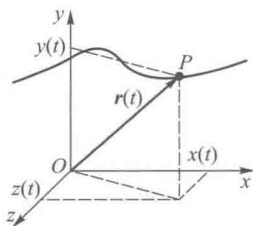


图 1-3 运动方程

$$x = 6 \sin \frac{\pi}{3} t, y = 6 \cos \frac{\pi}{3} t, z = 0$$

式中 t 以 s 计, x, y, z 以 m 计. 从 x, y 两式中消去 t 后, 得轨迹方程

$$x^2 + y^2 = 36, z = 0$$

其表明质点是在 $z=0$ 的平面内, 作以原点为圆心, 半径为 6 m 的圆周运动.

1.2.2 位移 路程

设曲线 $\widehat{AB}$ 是质点运动轨迹的一部分 (图 1-4). 时刻 t 质点在处于 A 点, 经过 Δt 至时刻 $t+\Delta t$ 时, 质点到达 B 点. A, B 两点的位置分别用位矢 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$ 来表示. 在时间 Δt 内, 质点的位置变化可用从 A 到 B 的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来表示, $\overrightarrow{AB}$ 称为质点的位移矢量, 简称位移. $\overrightarrow{AB}$ 除了表明 B 点与 A 点之间的距离外, 还表明了 B 点相对于 A 点的方位. 位移是矢量, 它的运算满足三角形法则或平行四边形法则.

由式 (1-1), 可将 A, B 两点的位矢 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$ 写成

$$\mathbf{r}_A = x_A \mathbf{i} + y_A \mathbf{j},$$

$$\mathbf{r}_B = x_B \mathbf{i} + y_B \mathbf{j}$$

于是, 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 可写成

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B - x_A) \mathbf{i} + (y_B - y_A) \mathbf{j} = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} \quad (1-3)$$

位移的模为

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

若质点在三维空间运动, 则在直角坐标系 $Oxyz$ 中其位移为

$$\Delta \mathbf{r} = (x_B - x_A) \mathbf{i} + (y_B - y_A) \mathbf{j} + (z_B - z_A) \mathbf{k}$$

必须注意, 位移是描述质点位置变化的物理量, 它并不是质点所经历的路程. 例如, 在图 1-5 中, 位移是有向线段 $\overrightarrow{AB}$, 是一矢量, 它的量值 $|\Delta \mathbf{r}|$ 就是割线 AB 的长度, 而路程 Δs 是一标量, 就是曲线 $\widehat{AB}$ 的长度. Δs 和 $|\Delta \mathbf{r}|$ 并不相等. 只有在时间 Δt 趋近于零时, Δs 与 $|\Delta \mathbf{r}|$ 才可看做相等. 即使在直线运动中, 位移和路程也是截然不同的两个概念. 例如, 一质点沿直线从 A 点到 B 点又折回 A 点, 显然路程等于 A, B 之间距离的两倍, 而位移则为零.

另外, 如图 1-5 所示, 位移的模只能记作 $|\Delta \mathbf{r}|$, 不能记作 Δr .

Δr 通常表示位矢模的增量, 即 $\Delta r = |r_2| - |r_1| = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2} -$

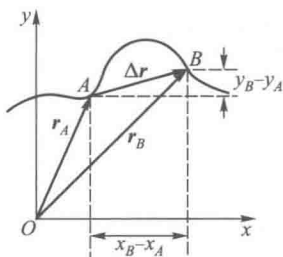


图 1-4 位移矢量

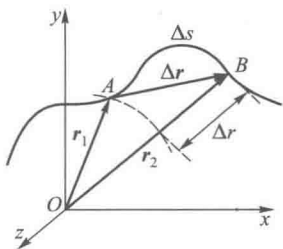


图 1-5 曲线运动中的位移

$\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}$, 而 $|\Delta \mathbf{r}|$ 则是位矢增量的模 (即位移的模), 而且在通常情况下 $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r$.

位移和路程的单位均是长度的单位, 国际单位制 (SI) 中为 m.

1.2.3 速度

当质点在时间 Δt 内, 完成了位移 $\Delta \mathbf{r}$ 时, 为了表示运动在这段时间内的快慢程度, 我们把质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与相应的时间 Δt 的比值, 叫做质点在这段时间 Δt 内的平均速度:

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-4)$$

这就是说, 平均速度是在相应的时间 Δt 内位移对时间的比值, 平均速度的方向与位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同. 在描述质点运动时, 我们也常采用“速率”这个物理量. 我们把路程 Δs 与时间 Δt 的比值 $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ 叫做质点在时间 Δt 内的平均速率. 这就是说, 平均速率是一标量, 等于质点在单位时间内所通过的路程, 而不考虑运动的方向. 因此, 不能把平均速率和平均速度等同起来. 例如, 在某一段时间内, 质点环形运动了一个闭合路径, 显然质点的位移等于零, 所以平均速度也为零, 而平均速率却不等于零.

显然, 用平均速度描述物体的运动是比较粗糙的. 因为在 Δt 时间内, 质点各个时刻的运动情况不一定相同, 质点的运动可以时快时慢, 方向也可以不断地改变, 平均速度不能反映质点运动的真实细节. 如果要精确地知道质点在某一时刻或某一位置的实际运动情况, 应使 Δt 尽量减小, 即 $\Delta t \rightarrow 0$, 用平均速度的极限值——瞬时速度 (简称速度) 来描述. 用数学式表示便是

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-5)$$

可见, 速度等于位矢 $\mathbf{r}$ 对时间 t 的一阶导数. 瞬时速度表明质点在 t 时刻附近无限短的一段时间内位移对时间的比值, 亦即描述了质点位矢的瞬时变化率. 当 Δt 趋近零时, $\Delta \mathbf{r}$ 的量值 $|\Delta \mathbf{r}|$ 就趋近于 Δs , 因此瞬时速度的大小 $v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|$ 也就等于质点 P