

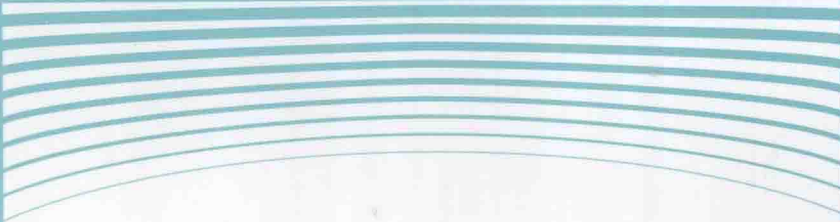


GONGKE WULI
JIAOCHENG

工科物理教程

主编 颜晓红 赵近芳 邓水凤

(上册)



 湖南科学技术出版社

Hunan Science & Technology Press



GONGKE WULI
JIAOCHENG

工科物理教程

(上册)

主编 颜晓红 赵

编著 杨友田 谢文力 陶霞 黄克立 黎培德 崔洪农

湖南科学技术出版社

Hunan Science & Technology Press

内 容 简 介

本书是根据教育部《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》的精神编写的. 全书分上、下两册, 并配有光盘. 上册: 力学基础、相对论和电磁学; 下册: 热学、振动与波、波动光学和量子论. 与之配套的还有《大学物理学习指导》和《大学物理实验指导》两本书. 两者既可彼此独立、又可相互配套使用. 本书作为工科物理及理科非物理专业大学物理教材的改革尝试, 在理论叙述上坚持“高、宽、新、活、宜”的原则, 即高视点选择经典内容, 努力拓宽知识面, 尽力反映新科技发展概况, 注意各部分知识之间的活化联系, 且内容的难度较适宜. 同时, 在各章节合理切入相关的实验内容, 使理论与实验紧密结合, 浑然一体.

本书可作为高等工科院校各专业的物理教材, 也可作为综合性大学和师范院校非物理专业的教材或参考书.

工科物理教程 (上册)

主 编: 颜晓红 赵近芳 邓水凤

责任编辑: 曹 阳

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 280 号

<http://www.hnstp.com>

印 刷: 国防科技大学印刷厂

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 长沙市砚瓦池正街 47 号

邮 编: 410073

出版日期: 2005 年 1 月第 1 版第 1 次

开 本: 730mm × 960mm 1/16

印 张: 19

字 数: 333000

书 号: ISBN 7-5357-4139-8/O·236

上下册套价: 59.00 元

(版权所有·翻印必究)

前言

本书是为适应当前教学改革的需要,根据教育部《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》的精神,作为“工科物理理论课与实验课的整体优化”部教改项目的成果之一,在总结我们多年教材改革实践的基础上,汲取了当前国内外优秀教学改革成果而编写的.教材既包括了工科大学物理课程指导委员会制定的教学基本要求所指定的全部内容,又特别加强了关于近代物理知识和新科技物理基础的介绍,使全书内容更丰富,更符合工科物理教学的要求.这套教材的主要特点是:

1. 高视点选择,整合经典内容,优化知识结构

在尊重基础科学的科学性、系统性的前提下,将理论、实验两个教学环节模块式地整合在一起,精选了经典内容,加强了矢量性、能量及守恒定律等重要概念的阐述,加强了势能曲线和相图、微振动的简谐近似教学等.教材把相对论纳入力学篇,使牛顿力学与相对论时空观紧密相联,开拓了学生的视野.由于波动的规律普遍适用于力学、电磁学、光学及物质波,教材把它们整合在一起,既精减篇幅又加强了联系.同时,各部分将理论与实验教学融为一体,注重物理实验的时代性和先进性,将现代科技知识、科技成果融入普通物理实验教学中,增强了教材整体的时代特色.

2. 拟用“模块式教学”使理论、实验两门课程的知识体系融为一体

例如在经典部分是两个基本点并重,一是经典物理理论框架的建立,二是基本实验理论的建立和基本实验技能的培养;在近、现代部分理论课的讲授和实验课的设计都是围绕着使学生正确地建立现代时空观和量子思想而展开的,通过介绍现代物理技术和前沿课题,激发学生的求知欲和鼓励学生创新思维.

3. 突出教材在培养学生素质方面的作用

21 世纪是科学技术迅猛发展的新时代,培养学生的综合素质尤为重要.教材既要保证知识的完整性和系统性,又要体现近、现代物理新观念、新理论、新方法;既要给学生传授知识更要启迪学生创造性的开放思维,因此,在现代物理部分大胆地“渗透”一些科技前沿信息及开一定的非线性物理“窗口”.尽管有些内容学生不一定能完全清楚,但这将有益于培养学生的学习兴趣和独立思考能力,同时鼓励学生在教师指导下,自己设计实验,自己准备仪器完成实验,从而培养和提高学生的综合思维和创造能力.

4. 加强从全局观点掌握、运用知识的综合能力

教材突出主干,删除枝节,精选了例题和习题,尽量避免烦琐的叙述和冗长的数学推导,力求对物理概念、原理阐述准确、简洁、透彻,重点突出,便于学生阅读和理解.加强重要概念在各部分内容中的联系,如势能概念在力学、热学和电学中一直互相呼应,一脉相承,使学生整体把握知识的能力受到必要的训练,有利于用全局观点掌握、运用知识和综合思考.

5. 大力加强近、现代物理内容的介绍

教材在相对论、量子论和非线性物理三个方面,除系统介绍必要和可能的基本理论外,还选择接近普通物理的内容,经过改编作为基本要求编入.例如,教材增加了电磁场的相对论变换和电磁场的统一性、相对性,力的洛伦兹变换,一维定态问题和非线性振动、非线性波,非线性光学等方面的一些典型内容.又如,在实验方面引入现代科技新成果,如传感器技术、计算机数据采集与处理技术,计算机智能检测,光纤的研究与应用、光电效应等.

6. 适当反映高新科技和物理前沿的发展

教材介绍的激光、超导、光纤通讯和纳米技术等都突出其物理基础并注意了内容的可接受性;对耗散结构、孤波、混沌、黑洞以及凝聚态物理等前沿问题则重在启迪学生的开放思维,了解非平衡态和非线性是普遍存在的,克服僵化和片面性,扩大知识面.

说明:(1)本书教学参考时数为 120 学时;

(2)教材中打 * 号的章节多为开“窗口”的内容,教师可自行取舍;

(3)书中小字部分是相关章节的延伸内容,不作要求;

(4)若将打 * 号的章节和小字部分除去,仍不影响教材的整体性.

本书由颜晓红(教育部物理教学指导委员会委员)和赵近芳、邓水凤担任主编.赵近芳、邓水凤负责全书的修改和定稿工作.编著者具体分工为:黎培德、谢力编写力学、振动与波、超导电性;黄克立、邓水凤编写电磁学、激光原理;杨友田、陶霞编写热学;赵近芳、邓水凤编写波动光学、量子物理基础、固体的能带结构、纳米科学技术;崔洪农编写相对论、原子核物理和粒子物理.学习指导的相关章节仍由以上编者分工编写.在编写过程中,许多学校的老师提出了一些很中肯的建议,尤其是得到了北京航空航天大学、北京邮电大学、厦门大学、华北工学院、武汉理工大学、湘潭大学、中南大学、长沙理工大学、南华大学、湖南大学、华南理工大学、中南林学院等学校老师的帮助和指导,在此一并致谢.

编写适合教学改革需要的教材是一种探索,加之编者水平所限,书中难免有不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正.

编 者

2004 年 8 月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 力学基础

第一章 运动的描述	(6)
§ 1-1 参考系 坐标系 物理模型	(6)
§ 1-2 运动的描述	(12)
§ 1-3 相对运动	(24)
习题一	(27)

第二章 运动定律与力学中的守恒定律	(30)
§ 2-1 牛顿运动定律	(30)
§ 2-2 力学相对性原理 非惯性系中的力学	(39)
§ 2-3 动量 动量守恒定律	(45)
§ 2-4 功 动能 势能 机械能守恒定律	(50)
§ 2-5 角动量 角动量守恒定律	(65)
§ 2-6 刚体的定轴转动	(69)
* § 2-7 流体动力学的处理方法	(83)
* § 2-8 混沌——确定论系统中的“随机行为”	(91)
* § 2-9 时空对称性和守恒定律	(94)
习题二	(99)

第三章 相对论	(105)
§ 3-1 狭义相对论产生的实验基础和历史条件	(105)
§ 3-2 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换	(109)
§ 3-3 狭义相对论时空观	(116)
§ 3-4 狭义相对论动力学	(122)
* § 3-5 质量、动量、能量和力的洛伦兹变换	(127)
* § 3-6 广义相对论简介	(131)
习题三	(141)

第二篇 电磁学

第四章 静电场和稳恒电场	(145)
§ 4-1 电场 电场强度	(145)
§ 4-2 高斯定理	(155)

§ 4-3 电场力的功 电势	(160)
§ 4-4 场强与电势的关系	(163)
§ 4-5 电流 稳恒电场 电动势	(164)
§ 4-6 静电场中的导体和介电体	(174)
§ 4-7 电容 电容器	(184)
§ 4-8 基尔霍夫方程	(187)
§ 4-9 电场的能量	(191)
习题四	(192)
第五章 稳恒磁场和电磁场相对性	(195)
§ 5-1 磁场 磁感应强度	(195)
§ 5-2 安培环路定理	(200)
§ 5-3 安培定律 磁场对载流导线的作用	(203)
§ 5-4 洛伦兹力	(208)
* § 5-5 回旋加速器 磁聚焦 等离子体及其磁约束	(212)
§ 5-6 磁介质	(215)
* § 5-7 运动电荷的电磁场	(224)
习题五	(229)
第六章 电磁感应	(233)
§ 6-1 电磁感应定律	(233)
§ 6-2 动生电动势与感生电动势	(239)
§ 6-3 电子感应加速器 涡电流	(244)
§ 6-4 自感应与互感应	(246)
§ 6-5 磁场能量	(248)
习题六	(250)
第七章 电磁场和电磁波	(253)
§ 7-1 位移电流 麦克斯韦方程组	(253)
* § 7-2 加速运动电荷的电磁场 电磁波	(256)
§ 7-3 电磁场的能量与动量	(261)
习题七	(262)
附录 I 矢量	(264)
附录 II 国际单位制(SI)	(279)
附录 III 常用基本物理常量表	(281)
附录 IV 物理量的名称、符号和单位(SI)一览表	(282)
附录 V 空气、水、地球、太阳系一些常用数据	(285)
附录 VI 历年诺贝尔物理学奖获得者	(286)
部分习题参考答案	(293)

绪 论

一、物理学的发展

人类对自然界的观察和思考属于自然科学,科学分化为天文学、力学、物理学、化学、生物学、地质学等只是近几百年的事,物理学关心自然界最基本的规律,牛顿划时代的名著用“自然哲学的数学原理”为题,说明当时科学和哲学没有分家,所以他把物理学叫做自然哲学。

现代物理学的开端始于 16 ~ 17 世纪由伽利略、开普勒、牛顿等人建立的经典力学理论。从 18 世纪到 19 世纪,在大量实验的基础上,卡诺、焦耳、开尔文、克劳修斯等建立了宏观热力学理论,克劳修斯、麦克斯韦、玻尔兹曼等建立了气体分子动理论;库仑、奥斯特、安培、法拉第、麦克斯韦等建立了经典电磁理论。至此,经典物理学理论体系基本完成。

19 世纪末,一系列与经典物理的预言极不相容的实验事实相继出现,物理学大厦的基础动摇了!在这些实验事实的基础上,20 世纪初,爱因斯坦创立了相对论;先后经过普朗克、爱因斯坦、玻尔、德布罗意、海森伯、薛定谔、玻恩等许多人的努力,创立了量子论和量子力学,奠定了近代物理学的理论基础。

20 世纪,随着科学的发展,从物理学中不断地分化出诸如粒子物理、原子核物理、原子分子物理、凝聚体物理、激光物理、电子物理、等离子物理等许多分支,在物理学和其他学科的交叉下产生了诸如天体物理、地球物理、化学物理、生物物理等学科。那么,究竟什么是物理学?概括地说,物理学是关于自然界最基本形态的科学。它研究物质结构、相互作用、物质的基本运动及其相互转换的规律。

实验物理和理论物理是物理学的两大支柱。在推动物理学的发展中,两者密切相关、相辅相成、相互配合、相互促进,这样的事例不胜枚举。如 1895 年伦琴发现 X 射线推动了气体导电的研究,汤姆孙发现的 X 射线照射使气体分子电离又给洛伦兹创立电子论提供了实验基础,而电子论又可以解释塞曼效应,即光谱线在磁场中分裂的事实。许多时候,出现理论无法解释实验结果或实验结果与理论预期不相符合的情形,这往往导致新理论的诞生。如经典辐射理论

不能解释黑体辐射的实验结果迫使普朗克作出了“能量子”假设,揭开了量子论的序幕;迈克尔逊-莫雷实验的否定结果促进了爱因斯坦相对论的出现.反过来,相对论和量子论又促进了科学技术领域许许多多实验的发展,它们奠定了 20 世纪诸多新科技成果的坚实基础并成为 21 世纪科技更快发展的推动力.

二、物理学的研究对象

我们周围存在的物质有两种形态: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、电磁场和介子场.在一定的条件下,物质的两种形态可以相互转化.如正、负电子对湮灭产生 γ 光子,就从传统意义上的粒子转化为场;其逆过程即正、负电子对的产生则是从传统意义上的场转化为粒子.

物质的运动和物质的相互作用是物质的普遍属性.物质的运动具有粒子和波动两种图像.宏观的机械运动,包括天体运动和分子的无规则热运动呈现粒子图像;而场运动则呈现波动图像.在微观领域,无论是实物还是场都呈现波粒二象性.物质间有四种相互作用,即引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用.在 20 世纪 70 年代,电磁相互作用和弱相互作用已统一为电弱相互作用.研究发现,实物间的相互作用是由场来传递的,实物激发出场,场再作用于另一实物.

物质的运动和相互作用总是在一定的空间和一定的时间发生的.空间是物质运动广延性的反映,时间则是运动过程持续性的体现.在时空均匀和各向同性的条件下,物质的运动和相互作用过程遵循一系列守恒定律;而在高速运动及强场的条件下,时空的几何性质和量度与物质的分布及运动有密切关系.

工科大学物理课程的内容一般为:

- (1) 力学(包括相对论)——讨论机械运动和时空性质;
- (2) 电磁学——讨论电磁场运动规律和电磁相互作用;
- (3) 波动学——讨论宏观领域的波动规律,包括机械波、电磁波和光波;
- (4) 热学——讨论由大量分子组成的热力学系统的统计规律和宏观表现;
- (5) 量子论——讨论微观粒子的波粒二象性和量子运动特征.

“大学物理”课程体系分为理论和实验两大块相对独立的部分.实验课程之所以独立设置,不单是因为实验物理和理论物理是物理学的两大支柱,重要的是物理实验本身有它一整套的实验知识、方法、习惯和技能.物理实验教学和物理理论教学具有同等重要的地位,它们既有深刻的内在联系和配合,又有

各自的任务和作用.

三、物理学与技术的关系

历史上,物理学与技术的关系有两种模式.第一种模式是技术→物理→技术,就是技术向物理提出了问题,经过实验促使物理发展了理论,反过来提高了技术.例如,18世纪末,瓦特发明的蒸汽机成为工业的动力,但是其效率只有5%~8%.1824年,卡诺提出著名的卡诺定理,为提高热机效率提供了理论依据,到20世纪,蒸汽机效率提高到15%.第二种模式是物理→技术→物理,就是在物理理论的研究上取得重大突破后才促使技术的发展.例如,从1785年建立库仑定律到1831年法拉第发现电磁感应定律基本上都是在物理理论方向探索,没有应用技术产生.但此后半个多世纪,各种交、直流发电机、电动机的研究应运而生,蓬勃发展起来,有了1862年的麦克斯韦电磁场理论的建立和1888年赫兹的电磁波实验才导致马可尼和波波夫发明无线电.电信时代又反过来促进物理理论的发展.

回顾20世纪以后物理和技术的关系,可以发现两模式并存,相互交叉.几乎所有重大的新技术领域(如电子学、原子能、激光、信息技术、生物工程、纳米技术),事前都在物理学中经过了长期的酝酿,在理论和实验两方面积累了大量知识,才得以创立和发展的.没有1909年爱因斯坦提出的受激辐射理论,就没有1960年激光器的诞生;而电子学信息技术,从1947年贝尔实验室的巴丁、布拉顿和肖克莱发明晶体管以来,到1962年发明集成电路、20世纪70年代后期出现大规模集成电路,然后才有计算机的出现并不断更新换代和普及推广.这一切发生之前,在物理学中至少经历了20年时间,为其孕育和诞生从理论和实验两方面作了大量的准备:1925~1926年建立了量子力学,1926年建立了费米-狄拉克统计,得知固体中的电子服从泡利不相容原理;1927年建立布洛赫波理论,得知理想晶格中电子不发生散射;1928年,索末菲提出能带猜想,1929年派尔斯提出禁带、空穴概念,解释了正霍尔系数等.

而当前的高新技术,如空间技术、基因工程、纳米科技等主要是按物理→技术→物理的模式进行.因为越是尖端的技术越需要理论的前导,突显出理论创新的重要性.

四、努力学好物理学

科学的发展、技术的创新依赖于人的思维和创造能力,而思维和创造能力的培养正是科学素质培养的核心.物理学是培养理工人才科学素质的主导课

程之一. 在物理理论课程方面要求学生首先努力使自己逐渐对物理学的内容和方法、工作语言、概念和物理图像, 以及历史、现状前沿等方面, 从整体上有一个全面的了解; 要有意识地锻炼自己掌握基本概念、推理演绎的能力、运算的技巧与能力、比较和综合的能力等. 在实验物理课程方面首先要注意实验的物理原理、设计思想, 测量和分析的技术与方法, 同时锻炼自己的基本实验技能与动手能力, 注意现代实验技术的发展与应用; 注意学习正确选择实验课题、确定实验方法的能力.

我们想着重指出的是: 物理学作为一门科学, 在学习它的时候, 严谨的科学作风和坚忍不拔的苦干精神是绝对必需的, 这就是实事求是和百折不挠的科学精神. 科学研究是探索未知的领域, 实验结果不尽如人愿是常见的事. 实验结果验证了理论固然可喜; 与理论不符合也并非坏事, 因为它可能预示着重大的理论突破. 所以我们要一丝不苟地记录实验数据, 要求记录数据要原始、完整、全面、清楚, 决不能一厢情愿、随意修改, 更不可弄虚作假.

在科学的王国里, 真理面前人人平等. “实践是检验真理的惟一标准”这一信条在自然科学领域贯彻得最为彻底. 科学真理摒弃对偶像的崇拜和对权威的屈从, 历史上屡见不鲜, 惟有如此才能推动科学的不断发展. 同学们不要被老师和教科书束缚了自己的大胆思考, 要有突破传统、标新立异的自信心. “江山代有才人出, 各领风骚数百年”, 发展未来的科学技术正是今天青年学子大有作为的舞台.

第一篇 力学基础

力学是物理学中最古老和发展最完美的学科. 它起源于公元前 4 世纪古希腊学者亚里士多德关于力产生运动的说法, 以及我国《墨经》中关于杠杆原理的论述等; 但其成为一门科学理论则始于 17 世纪伽利略论述惯性运动及牛顿提出的力学三个运动定律. 以牛顿运动定律为基础的力学理论称为牛顿力学或经典力学. 它所研究的对象是物体的机械运动. 经典力学有严谨的理论体系和完备的研究方法, 如观察现象、分析和综合实验结果、建立物理模型、应用数学表述、作出推论和预言, 以及用实践检验和校正结果等. 因此, 它曾被人们誉为完美普遍的理论而兴盛了约 300 年. 直至 20 世纪初才发现它在高速和微观领域的局限性, 从而在这两个领域分别被相对论和量子力学所取代, 但在一般的技术领域, 如机械制造、土木建筑、水利设施、航空航天等工程技术中, 经典力学仍然是必不可少的重要的基础理论.

本篇主要讲述质点力学和部分刚体力学. 着重阐明动量、角动量和能量诸概念及相应的守恒定律(并简要介绍了对称性与守恒定律的关系). 长期以来, 经典力学被认为是决定论的, 随着现代科学技术的发展, 人们发现经典力学问题实际上大部分具有不可预测性, 是非决定论的. 我们也向读者介绍这方面的基本知识——混沌. 狭义相对论的时空观和牛顿力学联系紧密, 也可归入力学范畴. 因此, 本篇最后一章介绍狭义相对论的基本原理.

第一章 运动的描述

力学所研究的是物体机械运动的规律. 宏观物体之间(或物体内部各部分之间)相对位置的变动称为机械运动. 在经典力学中, 通常将力学分为运动学、动力学和静力学. 本章只研究运动学规律. 运动学是从几何的观点来描述物体的运动, 即研究物体的空间位置随时间的变化关系, 不涉及引发物体运动和改变运动状态的原因.

§ 1-1 参考系 坐标系 物理模型

为了描述物体的运动必须作三点准备, 即选择参考系、建立坐标系、提出物理模型.

一、运动的绝对性和相对性

众所周知, 运动是物质的存在形式, 运动是物质的固有属性. 从这种意义上讲, 运动是绝对的. 但我们所讨论的运动, 还不是这种哲学意义上的广义运动. 即使以机械运动形式而言, 任何物体在任何时刻都在不停地运动着. 例如, 地球就在自转的同时绕太阳公转, 太阳又相对于银河系中心以大约 $250 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率运动, 而我们所处的银河系又相对于其他银河系大约以 $600 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率运动着. 总之, 绝对不运动的物体是不存在的.

然而运动又是相对的. 因为我们所研究的物体的运动, 都是在一定的环境和特定的条件下运动. 例如, 当我们说一列火车开动了, 这显然是指火车相对于地球(即车站)而言的. 因此离开特定的环境、特定的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.”

二、参考系

运动是绝对的, 但运动的描述却是相对的; 因此, 在确定研究对象的位置时, 必须先选定一个标准物体(或相对静止的几个物体)作为基准, 那么这个

被选作标准的物体或物体群,就称为参考系。

同一物体的运动,由于我们所选参考系不同,对其运动的描述就会不同。例如在匀速直线运动的车厢中,物体的自由下落,相对于车厢是作直线运动;相对于地面,却是作抛物线运动;相对于太阳或其他天体,运动的描述则更为复杂。这一事实,充分说明了运动的描述是相对的。

从运动学的角度讲,参考系的选择是任意的,通常以对问题的研究最方便最简单为原则。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)。但是,当我们在地球上发射人造“宇宙小天体”时,则应以太阳为参考系。

三、坐标系

要想定量地描述物体的运动,就必须在参考系上建立适当的坐标系。在力学中常用的有直角坐标系。根据需要,我们也可选用极坐标系、自然坐标系、球面坐标系或柱面坐标系等。

总的说来,当参考系选定后,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。

四、物理模型

任何一个真实的物理过程都是极其复杂的。为了寻找某过程中最本质、最基本的规律,我们总是根据所提问题(或所要回答的问题),对真实过程进行理想化的简化,然后经过抽象提出一个可供数学描述的物理模型。

现在我们所提的问题是确定物体在空间的位置。若物体的尺度比它运动的空间范围小很多时,例如绕太阳公转的地球和调度室中铁路运行图上的列车等;或当物体作平动时,物体上各部分的运动情况(轨迹,速度,加速度)完全相同。这时我们可以忽略物体的形状、大小而把它看成一个具有一定质量的点,并称之为质点。

若物体的运动在上述两种情形之外,我们还可推出质点系的概念。即把这个物体看成是由许许多多满足第一种情况的质点所组成的系统。当我们把组成这个物体的各个质点的运动情况弄清楚了,也就描述了整个物体的运动。

如果我们研究物体的转动就必定涉及物体的空间方位,此时,质点模型已不适用,因为一个点是无方位可言的。若在我们所研究的问题中,物体的微小形变可以忽略不计,则可以引入刚体模型。所谓刚体,是指在任何情况下,都没有形变的物体。

当然,我们也可以把刚体看做一个各质元之间无相对位置变化且质量连续分布的特殊质点系。

质点和刚体是我们在力学中所遇到的最初物理模型。

综上所述:选择合适的参考系,以方便确定物体的运动性质;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。

五、长度和时间的测量

时间与空间是物质存在的基本形式,人类的一切活动,都离不开时间和空间,所以空间和时间测量在科学研究和日常生活中都有着极其重要的作用。空间和时间被认为是最基本的物理量,配以其他几个基本物理量可以推导出物理学中所有的物理量。

(1) 长度

在 SI 制中,长度的基准是米,一旦定义了米的长度,其他长度单位就可以用米的倍数来表示。“米”制于 1791 年开创于法国,多年来,铂铱合金($\text{Pt}_{0.9}\text{Ir}_{0.1}$)米原器一直保留在巴黎附近。随着人们对客观世界认识的不断深入,科学技术的飞速发展,原有的长度标准已无法满足人们的需求。实验证明光波波长是一种可取的长度自然基准,1960 年第 11 届国际计量大会,重新定义了米的标准为:

米的长度等于 ^{86}Kr 原子的 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁辐射在真空中波长的 $1\,650\,763.73$ 倍。其测量精确度达到 $5 \times 10^{-9} \text{ m}$,从而开创了以自然基准复现米基准的新纪元。

随着原子钟的诞生、发展和应用,时间测量精度高于长度测量 4 个数量级,以致米、秒无法相匹配。1983 年第 17 届国际计量大会正式通过米的新定义:

米是光在真空中 $(1/299\,792\,458) \text{ s}$ 时间间隔内所经路径的长度。

这个新定义的特点,是使基本单位的定义本身,与复现方法分开,这样有益于使复现方法随科学技术的发展而不断完善,其复现精度不断提高。

所谓长度测量实际上是人们用“尺子”去度量空间。早期的量具和测量仪都是机械式的。随着人们视野的扩大,对长度测量精度要求的提高,陆续创造出各种测量长度的仪器,其放大倍数愈来愈大,测量范围愈来愈广。20 世纪初,除用机械构造来增加放大倍数以外,利用光学放大原理设计的光学测量仪也逐步发展起来,从读数显微镜、投影仪开始发展到光学计、测长仪、万能工具

显微镜以及各种干涉仪等. 20 世纪 60 年代以后, 传感器、激光和电子技术的发展, 使长度测量仪器和测试技术突飞猛进. 例如人造卫星激光测距仪(人造卫星激光雷达) 量程可达 10^8 m 以上, 精确度可达 1 cm. 电子显微镜和扫描隧道电子显微镜等的分辨率在 $100 \sim 10^{-1}$ nm, 可测量原子、分子的几何尺寸. 广义的长度测量, 覆盖了整个物理学研究的尺度范围——小到微观粒子, 大到宇宙深处($10^{-16} \sim 10^{26}$ m), 跨越了从微观的粒子到现代天文学的整个研究领域, 如图 1-1 所示.

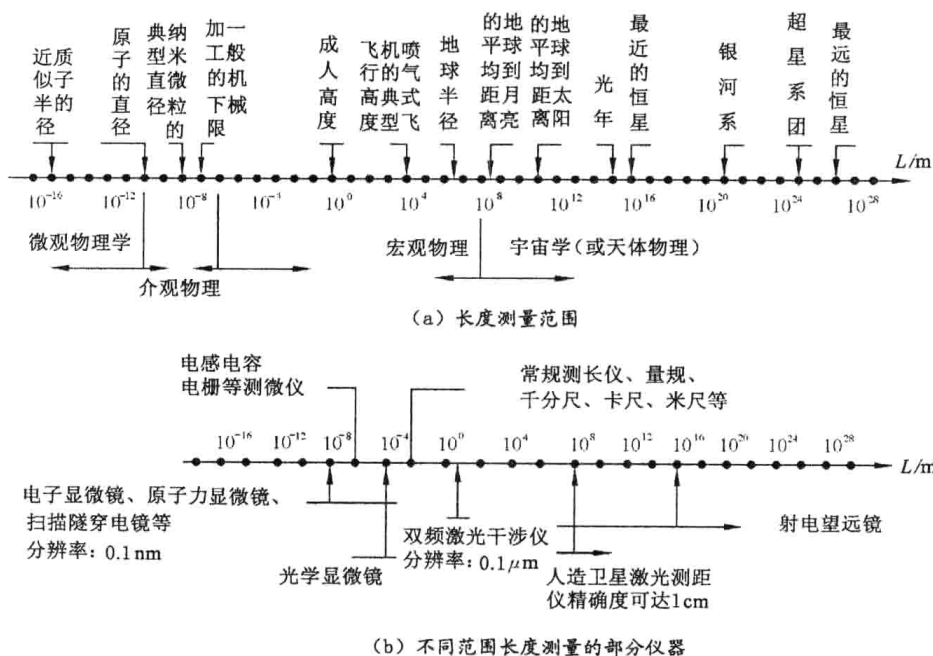


图 1-1 长度测量的范围和仪器

长度测量包含了如此丰富的内容, 所以, 人们根据被研究物体的尺寸, 划分了若干领域. 对于不同研究领域的长度测量, 可以采取不同的实验方法和仪器装置. 日常生活、工作中最常用的测量仪器有游标卡尺、螺旋测微器、读数显微镜等, 它们是最基本的, 同时也是现代高精度测量仪器的基本组元之一, 是一切测量的基础.

(2) 时间

在 SI 制中, 时间的基准单位是秒(s). 时间测量的基准经历了世界时, 历书时, 现已进入原子时.

1955 年英国皇家物理实验室研制成功了世界第一台铯原子频率标准, 此

后每隔五年左右,时标的精确度就提高一个数量级(见下表)。

年份	1955	1960	1965	1970	1975	2002
精确度 /s	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-15}

原子钟的出现是时间计量史上的一次革命,它使时间计量标准从此由传统的天文学的宏观领域过渡到一个崭新的物理学的微观领域.2002年瑞士科学家研制成“激光冷却铯原子钟”,利用原子匀速运动的原理,采用激光降温方法,减缓原子运动速度,从而获得更为精确的计时.研制出高精度原子钟,每秒计时精确到小数点后第十五位数字,即时间基准达到 1×10^{-15} ,这在当今全球计时系统中处于领先地位.

1967年10月举行的第13届国际计量大会,通过了国际单位制(SI)中秒的新定义:秒是 ^{133}Cs 原子基态的两个超精细能级间跃迁所对应辐射的9 192 631 770个周期的持续时间.

迄今为止,时间标准及其派生物——频率标准是一个被最精密定义和测量的量.近二三十年来,高精度时间或频率的测量方法和技术研究显得十分活跃,许多专门的测量仪器不断涌现,实用频标有铯原子钟、氢原子钟、铷原子钟,而光学频标、离子阱原子频标和铯原子喷泉频标等已成为时间测量研究的新热点.

20世纪80年代以来我国已成为世界八大先进授时国之一,我国采用的原子钟的精度为 $3 \times 10^{-13}\text{s}$,属国际先进行列,已为我国运载火箭,核潜艇,远程战略武器的发射、入轨、落区测控等提供了高精度的时间频率信号,为电台和电视台提供标准时间,在卫星测距、定位、通讯、导航和天文测量等许多方面作出了贡献.原子钟不仅在上述领域得到广泛应用,而且在基础研究方面也大有用武之地,如用原子钟验证相对论和量子论.时间的精确确定还可导致长度标准的改变.根据定义(见上文),只要测量频率的精度提高,则长度单位的测量精度同时提高,无需另行定义,故具有划时代的意义.

随着时间测量方法与技术的改进和测量精度的提高,新频标的不断完善和实用化,原子钟将在21世纪为人类和平和进步发挥更大的作用.

下面介绍几种常用的时间测量仪器:

(1) 机械节拍器 机械节拍器由齿轮带动摆作周期性运动,摆动周期可通过改变摆锤的位置连续调节,其外部结构如图1-2所示.

(2) 电子节拍器 电子节拍器由石英晶体振荡器、计数器、译码器、电源和分挡控制及显示部分组成,其外部结构如图1-3所示.电子节拍器按一定