

大学物理

上册

主 编	廖耀发		
副主编	张立刚	张兆国	田 旭
	李长真	阎旭东	梁荫中
	王大智	孙向阳	周检检
	周 怡	李建青	
主 审	余守宪		
顾 问	陶作花		

武汉大学出版社

内 容 提 要

本书分上、下两册出版。上册为力学和电磁学部分,下册是热学、振动与波、波动光学、量子力学基础及现代工程技术中的物理基础专题选讲五部分。各部分均按“保证基础、压缩经典、加强近代、联系实际、涉及前沿”的原则选材,并注重突出物理思想和方法。为适应教与学的需要,书中精选了例题、习题(附有习题答案)和阅读材料。本书的教学要求和教学指导载于《大学物理学习指导》(另册出版)。

本书可作工科类各专业大学物理课的基本教材,也可供非工科类有关专业师生选用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理:上册/廖耀发主编. —武汉:武汉大学出版社,
2001.2

ISBN 7-307-03195-7

I. 大… II. 廖… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 87149 号

责任编辑:杨 华 责任绘图:安 娜 封面设计:曾 兵

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:湖北省通山县印刷厂

开本:787×960 1/16 印张:16.125 字数:335 千字

版次:2001 年 2 月第 1 版 2001 年 11 月第 2 次印刷

ISBN 7-307-03195-7/O·232 定价:20.00 元

版权所有,不得翻印;凡购教材,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地教材供应部门联系调换。

前 言

为了更好地改革工科物理的教学内容及课程体系,自 1987 年起,湖北、天津等地部分高校的物理老师便相聚一堂,共谋工科物理教材的改革。本书就是在这样的背景下完成的。

本书是根据教育部颁发的“高等工业学校物理课程教学基本要求”精神,结合当前的教改形势,借鉴我们的前著《大学物理学》(华工版,1988)、《大学物理教程》(武测科大版,1994)的编写经验重新编写而成的。

在本书的编写中,我们突出了“压缩经典,保证基础,加强近代,联系实际,涉及前沿”的选材原则,适当提高了教材起点,减少了与中学物理的重复,侧重突出物理思想及方法,突出科学素质及能力的培养,适当地介绍物理学史及物理学家,以使学生对大学物理能有一个较为全面的理解。

为了便于学生更好地掌握本书的内容,我们对书中的例题、习题及思考题进行了精选,力求达到“数量适中,难易适度,覆盖全面,题型多样,利于启迪”的目的。

本书分上、下两册出版。上册内容包括力学及电磁学,下册包括热学、振动与波、波动光学、量子力学基础及专题选讲。

为了便于师生灵活掌握,我们将书中部分内容打上 * 号,并在书的最后安排了专题选讲,以供不同要求的专业选用。本书的教学要求及学习指导同时另册出版。

本书由廖耀发主编,张立刚、张兆国、田旭、李长真、阎旭东、梁荫中、王大智、孙向阳、周检检、周怡、李建青(排名不分先后)任副主编。参加编写的单位及人员为:湖北工学院廖耀发、阎旭东、陈义万、刘林福,武汉科技大学张立刚、周检检、周怡、李云宝,武汉理工大学张兆国、田旭、李建青、余利华、赵中云,武汉大学李长真、梁荫中、章可钦、徐治平,三峡大学王大智、杨锋、张甫宽,武汉工业学院孙向阳、董长

缨,天津理工学院丁士连。此外,陶作花、张良启、程芙荣、林竟荣、陈琪莎、杨晓燕等同志也参加了部分编写工作。

本书由北方交通大学余守宪教授主审。余教授不仅认真地审阅了全部书稿,而且还提供了许多具体的修改意见,为本书质量的提高起了极大的作用。

在本书的编写过程中我们得到了各参编学校领导及老师的大力支持,特此一并致谢!

编者

2000.10

目 录

绪论.....	(1)
---------	-----

第一篇 力 学

第一章 运动学

§ 1-1 质点 参考系与坐标系	(7)
§ 1-2 质点运动的描述	(8)
§ 1-3 质点运动的两类基本问题 * 相空间与相图	(13)
§ 1-4 圆周及刚体运动的描述	(16)
§ 1-5 相对运动与伽利略变换	(21)
习题与思考	(23)
阅读材料 严济慈同志谈读书	(26)

第二章 动量守恒

§ 2-1 质量与动量	(28)
§ 2-2 动量定理与动量守恒定律	(30)
§ 2-3 牛顿运动定律及其应用	(35)
* § 2-4 非惯性系与惯性力	(39)
* § 2-5 力学单位制与量纲	(42)
习题与思考	(43)
阅读材料 牛顿	(46)

第三章 机械能 机械能守恒

§ 3-1 功与动能	(48)
§ 3-2 保守力与势能	(51)
§ 3-3 机械能守恒定律	(55)
§ 3-4 碰撞	(56)
习题与思考	(59)
阅读材料 能源	(61)

第四章 角动量守恒与刚体的定轴转动

§ 4-1 角动量与角动量守恒定律	(64)
§ 4-2 刚体的定轴转动	(68)

§ 4-3 刚体作定轴转动时的功能关系	(72)
* § 4-4 对称性与守恒律	(74)
习题与思考	(76)
阅读材料 分形与分维	(79)

第五章 相对论

§ 5-1 狭义相对论的基本原理与洛伦兹变换	(82)
§ 5-2 狭义相对论的时空观	(87)
§ 5-3 高速运动物体的质量、动量和能量	(92)
* § 5-4 广义相对论简介	(97)
习题与思考	(100)
阅读材料 爱因斯坦	(102)

第二篇 电磁学

第六章 真空中的静电场

§ 6-1 电荷 库仑定律	(105)
§ 6-2 电场 电场强度	(106)
§ 6-3 真空中静电场的高斯定理	(112)
§ 6-4 静电场的环路定理 电势能	(119)
§ 6-5 电势	(121)
习题与思考	(126)
阅读材料 静电的应用与危害	(128)

第七章 静电场与导体及电介质的相互作用

§ 7-1 静电场与导体的相互作用	(130)
§ 7-2 电容	(133)
§ 7-3 静电场与电介质的相互作用	(135)
§ 7-4 电介质中的高斯定理与环路定理	(139)
§ 7-5 电场的能量	(143)
习题与思考	(145)
阅读材料 铁电体及其应用	(148)

第八章 恒定电场

§ 8-1 电流密度	(150)
§ 8-2 恒定电流与恒定电场	(152)
§ 8-3 电动势	(153)
习题与思考	(154)

阅读材料 静电复印术·····	(155)
第九章 真空中的磁场	
§ 9-1 磁场 磁感应强度·····	(157)
§ 9-2 毕奥-萨伐尔定律·····	(158)
§ 9-3 磁场的高斯定理与安培环路定理·····	(163)
§ 9-4 运动电荷的电场与磁场·····	(169)
* § 9-5 磁矢势 A ·····	(171)
习题与思考·····	(172)
阅读材料 物理学中的类比法·····	(175)
第十章 磁场对电流的作用	
§ 10-1 磁场对电流元的作用·····	(177)
§ 10-2 磁场对载流线圈的作用·····	(179)
§ 10-3 洛伦兹力与霍尔效应·····	(182)
§ 10-4 带电粒子在电场和磁场中的运动·····	(186)
习题与思考·····	(190)
阅读材料 磁流体发电·····	(194)
第十一章 磁场与介质的相互作用	
§ 11-1 介质的磁化·····	(196)
§ 11-2 磁介质中的安培环路定理与高斯定理·····	(198)
§ 11-3 铁磁质·····	(202)
习题与思考·····	(206)
阅读材料 磁致冷的基本原理及其应用·····	(207)
第十二章 电磁感应	
§ 12-1 电磁感应的基本定律·····	(209)
§ 12-2 动生电动势与感生电动势·····	(212)
§ 12-3 自感与互感·····	(218)
§ 12-4 磁场的能量·····	(223)
习题与思考·····	(225)
阅读材料 法拉第·····	(228)
第十三章 电磁场的基本方程	
§ 13-1 位移电流 全电流定理·····	(230)
§ 13-2 麦克斯韦方程组的积分形式·····	(233)
* § 13-3 麦克斯韦方程组的微分形式·····	(235)
习题与思考·····	(236)
阅读材料 麦克斯韦·····	(237)

习题与思考答案.....	(239)
附录 I 国际单位制(SI).....	(247)
附录 II 常用物理常量表.....	(249)
附录 III 希腊字母表.....	(250)

绪 论

什么是物理学 物理学是一门研究物质结构及运动规律,亦即研究物质组成与相互作用规律的科学。

物理学所研究的范围非常广泛,就空间而言,从 10^{-15}m (质子的半径)到 10^{26}m (可探测到的类星体的最远距离)的尺度均属其研究范围(如图 0-1 所示)。就时间而论,从 10^{-34}s (普朗克时间)到 10^{39}s (质子的寿命)都在其研究之列。

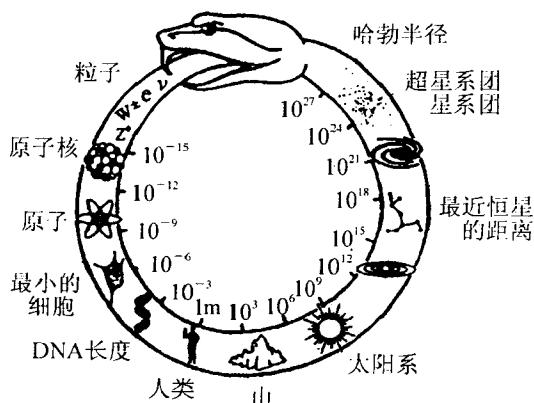


图 0-1 物理空间蛇形图

物理学所研究的运动,主要包括机械运动、热运动、电磁运动及微观粒子的运动,它们是自然界中最基本、最普遍的运动,任何其它更高级、更复杂(如化学、生物)的运动形式,均包含有上述运动的成分。因此,物理学所得出的规律具有极大的普遍性。

物理学所研究的相互作用主要包括引力相互作用,弱相互作用,电磁相互作用和强相互作用四个方面。引力相互作用是一种十分微弱的长程作用,在构成宇宙及其演化中起着重要作用。弱相互作用是一种短程作用(其作用半径约为 10^{-18}m),是引起粒子间某些过程(如粒子的衰变)的重要因数。电磁相互作用是一种长程相互作用,它是使电子与原子核相聚形成原子的主要动力。强相互作用是一种短程相互作用,其作用半径约为 10^{-15}m ,是形成原子核的主要动力。四种相互作用的强度比为 $10^{-38}:10^{-13}:10^{-2}:1$ 。

顺便指出,爱因斯坦生前曾致力于相互作用的“大统一”理论,企图用统一的理论来描述上述四种相互作用,但未获成功。到了 1967 年,这种愿望才终于有

了突破性进展——格拉肖、温伯格和萨拉姆发现弱相互作用与电磁相互作用可以统一为一种相互作用——电弱相互作用。尔后,这一理论即被鲁比拉等人的实验所证实。格拉肖、温伯格、萨拉姆三人则因上述工作而共同分享了1979年的诺贝尔物理学奖。

物理学的发展与人们认识能力密切相关。19世纪中叶以前人们多从直观、唯象的角度去认识自然,那时的物理学是一门纯粹的实验科学,其理论分析仅由数学家去完成。尔后,随着科技的发展及人们认识能力的提高,逐渐认识到仅靠直观、唯象的方法不能理解深层次的宇宙、高速及微观领域的问题,以后便诞生了相对论及量子力学,使理论物理应运而生,并很快升格到与实验物理同等重要的位置。近二十年来,随着计算技术的发展,既改变了理论物理的研究方法,又影响到了实验物理的工作进程,从而导致了计算物理的诞生,并形成了实验物理、理论物理与计算物理三足鼎立的局面。

近年来,物理学发展很快,出现了不少新现象、新分支,但就基础理论而言,仍然可分为如下五个方面:

1. 经典(牛顿)力学。主要解决机械运动问题。在高速及强引力情况下,牛顿力学规律与客观实际偏离较大,但在其适应范围内,则仍然是精确的,可信的。
2. 热力学与统计物理学。主要研究包括热在内的能量守恒及熵原理问题。热力学仅从宏观的观点去讨论热现象;统计物理则从微观的角度去分析热问题。
3. 电磁学。主要研究电磁相互作用及辐射问题。
4. 相对论。主要研究高速运动、引力作用及时空观问题。
5. 量子力学。主要研究微观粒子的问题。

通常称1、2、3部分为经典物理,4、5部分为近代物理。经典物理需用近代物理来审视(看是否陈旧过时,是否有新发展),近代物理需要经典物理来支持(它的很多概念都建筑在经典物理基础上)。因此,就大学物理的层次上说,两者相辅相成,不可偏废。

物理与工程 除物理学外,自然科学还包括化学、生物学、天文学等,它们除了一些自身特有规律外,在很大程度上均须依赖物理学的理论来发展,特别是其前沿分支,如量子化学、量子生物学等,则更加离不开物理学。因此,物理学是自然科学的基础是不言而喻的事实。

工程技术是一门应用自然科学理论来解决生产实际问题的学问。物理学既然是自然科学的基础,当然也是工程技术的基础,这一点,只要稍为回顾一下科技发展史就更加清楚了。

大家知道,物理学的发展经历了三次重大变革。第一次是17~18世纪,由于牛顿力学及热力学理论的建立与发展,极大地推动了机械与制造上的革新与

发展,导致了第一次工业革命的诞生。第二次是19世纪,由于法拉第-麦克斯韦电磁理论的建立,推动了电机及其他用电设备制造的发展,使电能广泛地应用于工农业生产及日常生产与文娱娱乐之中,促成了第二次工业革命的到来。第三次是20世纪初叶以相对论和量子力学为代表的近代物理的建立与发展,使人们对高速运动与微观领域的深层次问题的认识日益深化,导致了核能利用、半导体、激光器、计算技术等众多高新技术的诞生,使人类社会进入了高新技术高速发展的新时代。可见,工业革命离不开物理知识作后盾。

工程技术具体问题的解决,通常是先将问题加工提炼,形成物理问题(模型),然后建立数学方程来求解,即按工程技术—物理理论(模型)—数学方程的模式来解决。实践表明,工程技术若能上升到这样的层面,则其解决问题的效果一般都非常理想。

现代企业竞争激烈。企业竞争,归根结底是人才竞争,而人才竞争最终将通过新产品的开发应用来体现。科学技术发展史表明,新产品的开发应用对物理原理的依赖程度日益增大,且其周期(从原理发现到产品开发的时间)越来越短^①:电动机从原理发现(1821年)到产品开发(1886年)用了65年,雷达从原理发现(1935年)到产品开发(1940年)用了5年,而激光从原理发现(1958.12)到产品开发(1960.6)仅用了一年多的时间。以上说明,谁灵活地掌握了物理知识,谁就会在新产品的开发中占有优先地位,使自己的企业在激烈的竞争中永远立于不败之地。

物理学的研究方法与步骤。在漫长的发展进程中,物理学形成了一套自己独特的研究问题的方法与步骤,归纳起来,大致如下:

1. 提出命题 物理命题的提出,通常通过观察与归纳等方法来实现。

观察是指在不改变自然现象本来面目的情况下,从多方面去对自然现象进行分析、判断,以求得对问题的正确认识。观察是科学研究的前提和手段,特别是在某些不能用人工控制的方法来获得现象重演的情况下,则更显得重要。

归纳是指根据问题的内容及性质,根据突出主要因素、忽略次要因素的原则,筛选出能反映待研究问题的特征,使之既能与实际情况较好地相符,又便于使问题得以简化,易于研究与证实。

2. 论证与检验 物理命题的论证通常用模型和演绎等方法来进行。

模型法是指将待研究问题按照“突出主要因素,忽略次要因素”的原则进行加工,抽象简化成一理想模型,以供研究。演绎法是指从已知原理出发,通过逻辑推理和数学演算来证实命题是否正确。

研究理论正确与否的检验常用实验方法来进行。

① 廖耀发,余守宪.工科物理教材应有特点的探讨.工科物理,1996(2):44

实验是指在人工控制的前提下,将自然界中所发生的现象予以重现,以便对自然现象进行反复观察与研究。实验是科学研究的重要手段与方法,其要点将在实验课中详细介绍。

3. 修改与更新 物理学是一门理论与实验紧密结合的科学。实验若无理论作指导,不仅可能走弯路,而且所发现的事实结论也可能毫无用处,反过来,理论若无实验来支持,便很可能变得与大自然毫无关系。因此,任何理论均必须接受实验(实践)的检验。如果实验证明理论是对的,则这种理论就是真理;如果实验证明理论只有部分正确,则应对其作修改;如果证明它是错误的,就要对其进行否定与更新。

4. 预言与假说 当新事实与旧理论不相符合时,常用假说或预言去说明。

假说(或预言)是在一定的观察、实验的基础上对自然现象的本质提出的说明方案,其正确与否尚需根据进一步的实验和观察来验证。如果实验与观察证明它是正确的,这种假设便可上升为真理;如果证实它只有部分正确,则应予以修正;如果证实这种假说完全不对,则应予以否定。

应该指出,假说也是认识事物本质的一种重要方法,其基础在于正确的观察与实验。例如,爱因斯坦的光子假说就是基于大量光电效应的实验事实提出的,由于它反映了客观事物的本质,因而很快便成为光电效应的理论基础。

顺便说明,在科学研究中,有时候机遇(机会或偶然发现)也起很大作用,因此要学会发现并抓住机遇。但应记住,机遇只偏爱有准备的头脑。

如何学好大学物理 大学物理是工科院校的一门十分重要的基础理论课,学好大学物理不仅对学习后续课程十分必要,而且对日后学习其他新科学、新技术、新材料、新工艺也都是很有帮助的。

大学物理属于高层次的科学。表面上看,它与中学物理似乎有些重复,但其处理方法和深度、广度已与中学物理有很大的差别。因此,学习时一定要做到:

1. 勤于思考,敢于发问 唐代大文豪韩愈说得好:“业精于勤”。学好大学物理的关键也在于“勤”——既要勤于思考,又要敢于发问。

勤于思考有三层含义:一层是要对书中的概念、定律、公式含义能用自已的语言表达出来;另一层是对书中主要公式定理的证明能自己独立推导;第三层是能够深思熟虑,独立完成作业,且要做到树立信心,做则必对,步步有理。

敢于发问也有三层含义:一层是对知识发问:哪些是原始事实?哪些是后来的推论?他们是怎样得出的?另一层是对作业发问:为什么要这样做?对在何处(物理过程、数学演算)?错在何方?第三层是对老师发问:不懂之处要敢于同老师讨论、争辩,在未被老师说服前要敢于坚持己见。

2. 注意培养能力 这里说的能力主要是指自学能力、抽象思维能力和解题能力。

自学能力是指在完成规定内容学习的基础上会适当地查阅参考书籍和文献。抽象思维能力是指学会通过抽象思维对所研究的问题建立起物理模型,使问题得以简化,易于解决。解题能力是指学会结合所学理论、方法并通过数学工具去分析解答习题,并能判断结果的合理性,不能似懂非懂地乱套公式。

3. 注意宏观体系与微观体系的联系与区别 大学物理所涉及的内容相当广泛,从宏观到微观都有其研究对象,二者既有联系,又有区别。因此,既要注意从微观到宏观的过渡及其条件,又要注意不能乱拿宏观的规律去硬套微观的问题。对待微观体系,我们不能强求直观描述,而应着重于抽象思维。例如,电子的自旋,我们只能理解它为电子的内禀特性,不能认为它如同地球一样,绕着中心的轴线旋转,否则便会导致错误的结论。

第一篇 力 学

力学是门古老而充满活力的学科。它既是物理学的基础,也是工程技术的基础。因此,学好力学不仅对学习后续课程有好处,而且对解决工程实际问题也是非常有益的。

力学的主要任务是研究机械运动的描述、规律及成因。物体与物体之间、物体各部分之间相对位置随时间的变化称为机械运动,它是物质最简单、最基本的运动形式,几乎所有的物质运动都包含有机械运动的成分。

由于任何运动都离不开空间与时间,因此,对时间与空间的研究也是力学的重要课题之一。

力学理论的建立与发展经历了漫长的时期。远在公元前5世纪,我们的祖先就已有了关于杠杆原理的论述(参见古籍《墨经》)。公元前4世纪,古希腊学者亚里士多德提出了力生运动的观点(参见亚里士多德著《物理学》)。17世纪,伽利略等论述了惯性运动,而后,牛顿又提出了三大运动定律,成功地预言了海王星的存在,并解决了大量的机械运动(天体运动)的问题,使力学理论的发展达到了前所未有的水平。人们常称以牛顿三大运动定律为基础的力学为牛顿力学,亦称经典力学。

20世纪以来,人们渐渐发现,牛顿力学对高速运动及微观领域不适应,于是便诞生了相对论及量子力学。虽然相对论及量子力学处理问题的思想及方法与牛顿力学存在很大的差异,但是,它们的许多概念及思想却又受到了牛顿力学的影响:或来源于牛顿力学思想及概念的发展,或来源于对牛顿力学思想及概念的改造。因此,学好牛顿力学对更好地学习相对论及量子力学大有裨益。

牛顿力学属于“决定论”的范畴。这种理论认为,只要知道了物体在某一时刻的力学规律及状态,就一定可以精确地推知下一时刻的运动规律及状态。但20世纪60年代以后人们逐渐发现,很多物体的运动规律并不完全受决定论的支配,而是属于非决定论的,不可预测的。这说明,决定论并不是描述物质运动规律的惟一方式,自然界中存在有大量非决定论描述的事物,我们学习牛顿力学时还应该要将眼光放得更加远一些。

第一章 运动学

物体位置或方向的变化称为运动。研究物体运动随时间变化的学科称为运动学,其主要任务仅限于研究物体运动变化的规律,而不涉及它们变化的原因。

由于物体的运动具有相对性、方向性与瞬间性,因此,描述运动须根据情况的不同而采用不同的参考系与坐标系,并相应地应用矢量及微积分运算,以使运动的描述更加直观、简明。

本章主要介绍质点的概念及其运动的描述,并通过参量的变化来反映物体运动的规律。

§ 1-1 质点 参考系与坐标系

质点与质点系 一般物体均有形状及大小,但在有些运动问题中,物体的形状及大小对问题的讨论影响不大,可以忽略,这时便可将物体抽象成为一个只有质量而无形状大小的几何点,这样的点称为质点,多个质点的集合称为质点系。

一个物体能否被看作为质点须视研究问题的性质而定。一般而言,当物体的线度远小于所研究问题的相关线度时,物体上的每一点的运动情况均可视为相同,或所研究的问题不涉及物体的转动及形变,这时便可将物体视为质点。例如,当研究地球绕太阳公转规律时,由于地球直径($1.28 \times 10^7 \text{m}$)比地球到太阳的距离($1.50 \times 10^{11} \text{m}$)小得多,因而地球上每一点的运动均可认为相同,这时便可将地球视为质点;但若研究地球自转,显然就不能将地球视为质点了。

如果物体在所研究的问题中不能视为质点,则可设法将它划分成许多个线度极小的质量元,使得其中的每一点的运动均可认为相同,因而便可视作质点,而整个物体则可视作质点系。也就是说,质量连续分布的物体可以当做质点系来处理。

参考系与坐标系 由于运动具有相对性,因此物体的运动只有相对于其它物体而言才有意义。例如,坐在行进中的列车上的人相对于车厢来说是静止的,但相对于地面来说却是运动的。这说明,要想描述物体的运动,必须先要选好一个“其它物体”作参考,这个被选作参考的物体称为参考系。任何物体均可选作参考系,通常多以描述分析问题方便为前提来选取。参考系选取不同,则运动形式的描述结果也不相同。例如,对于地球卫星的运动,若以地心为参考系,则其轨迹为椭圆;若以太阳为参考系,则其轨迹便为螺旋线。对于地球上的人来说,

多选地面或静止于地面上的物体为参考系来描述运动。

为了定量地描述物体相对于参考系的运动,必须在参考系上固联一坐标系常用的坐标系为直角坐标系,它由三条相互正交的坐标轴 X 、 Y 、 Z 所构成。

时间与空间 时间与空间是一切存在的基本形式,它们与物质运动密切相关——时间是物质运动持续性的反映,空间是物质运动广延性的量度。因此,离开了物质运动去谈时间与空间是没有意义的。

时间的计量主要通过物理过程来实现,一切有规律的物理过程均可作为时间计量的基础。时间的单位是秒。1967 年前曾以地球的自转作为定义秒的基准,规定 1 秒为一个太阳日(太阳连续两次经过某地子午线的时间)的 $1/86\,400$ 。这样定义的秒又叫太阳秒。由于潮汐摩擦等原因,地球自转会渐渐变慢,因此会使用地球自转定义的时间基准误差渐渐增加。于是在 1967 年召开的第十三届国际计量大会上通过决议,将秒的定义改为铯 133 原子基态两个超精细能级间跃迁所对应的辐射的 $9\,192\,631\,770$ 个周期的持续时间。一些物理事件的时间如表 1-1 所示。

表 1-1 一些物理事件的时间数量级(s)

粒子寿命	10^{-25}	地球自转周期	10^5	出现人类	10^{14}
τ 子寿命	10^{-13}	月球自转周期	10^6	地球年龄	10^{17}
钟摆周期	10^0	人的寿命	10^8	宇宙年龄	10^{18}

空间计量的基础在长度,它是空间两点间距的表示,通过与基准长度的比较来度量。这个基准长度称为米(m)。过去是以保存在法国巴黎国际计量局中铂铱合金棒在 0°C 时两条刻线间的距离。1983 年,第十七届国际计量大会通过决议,将米的定义改为“光在真空中 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内所通过的路程的长度”。一些物理事件的空间尺度如表 1-2 所示。

表 1-2 某些物理事件的空间尺度数量级(m)

原子核	10^{-15}	大分子	10^{-4}	日地距离	10^{11}
原子	10^{-10}	人的平均身高	10^0	银河系半径	10^{20}
分子	10^{-9}	地球半径	10^6	哈勃半径	10^{26}
细菌	10^{-5}	太阳半径	10^9	宇宙范围	10^{27}

§ 1-2 质点运动的描述

质点的运动常用如下物理量来描述:

位置矢量 描述某一时刻质点所在空间方位的物理量为位置矢量。如图 1-1 所示,设某一时刻质点位于 P 点,从参考点 O 引向点 P 的有向线段 OP 称为

该时刻质点的位置矢量,简称位矢,用 $\mathbf{r}$ 表示,其大小和方向一般均随时间 t 而变化,即为时间的函数 $\mathbf{r}(t)$ 。在直角坐标系中,位矢的坐标表达式为

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

式中

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (1 \cdot 1b)$$

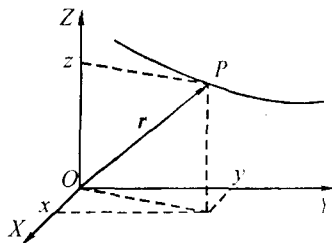


图 1-1 质点的位矢

分别为 $\mathbf{r}$ 在 X 、 Y 、 Z 轴上的投影, $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别

为 X 、 Y 、 Z 轴上的单位矢量(大小为 1 的矢量)。位矢的大小

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

其方向角(与 X 、 Y 、 Z 轴夹角) α 、 β 、 γ 分别由三个方向余弦

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

来确定。在国际单位制 SI 中(除声明外,本书所有单位均为 SI 单位),位矢的单位为米(m)。

式(1·1a)反映了运动中质点位置随时间的变化情况,称为质点的运动学方程,它在描述质点的运动规律中有着重要的作用。

式(1·1b)中诸量均由同一参数 t 来表示,称为参数方程,从中消去 t 即得质点运动的轨迹方程,由它可以判定质点运动轨迹的情况。如果质点仅在 X — Y 平面内运动,即 $z(t) = 0$,则其轨迹方程为

$$y = y(x)$$

位移 反映质点位置变化的物理量为位移。如图 1-2 所示,设 t_1 时刻质点位于 P_1 处,位矢为 $\mathbf{r}_1$; t_2 时刻位于 P_2 处,位矢

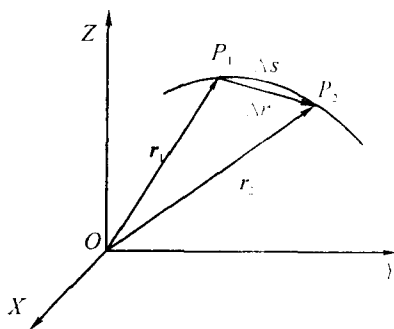


图 1-2 质点的位移

为 $\mathbf{r}_2$; 从 P_1 引向 P_2 的有向线段 P_1P_2 称为质点在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内的位移,用 $\Delta \mathbf{r}$ 表示。在直角坐标系中,位移

$$\Delta \mathbf{r} = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k} \quad (1 \cdot 2a)$$

其大小

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

其方向由 P_1 指向 P_2 ,其单位为米(m)。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,位移应用微分形式