

大学

物理教程

孙 丽 / 主编

DAXUE
WULI JIAOCHENG



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理教程 / 孙丽主编. — 成都: 电子科技大学出版社, 2017.8

ISBN 978-7-5647-4920-0

I. ①大… II. ①孙… 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 (2017) 第 192715 号

大学物理教程

孙 丽 主编

策划编辑 罗 雅

责任编辑 唐祖琴

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编: 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 成都市火炬印务有限公司

成品尺寸 185mm×260mm

印 张 11.75

字 数 301 千字

版 次 2017 年 8 月第一版

印 次 2017 年 8 月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-4920-0

定 价 42.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

大学物理是一门为高等学校理工科各专业学生开设的公共基础课,旨在指导学生学习 and 掌握必要的物理学知识,帮助学生成长为训练有素的科学工作者和工程技术人员。

物理学主要是研究物质运动最一般规律和物质基本结构的学科,是自然科学的带头学科,物理学研究大至宇宙,小至基本粒子的一切物质最基本的运动形式和规律,因此成为其他自然学科的研究基础。物理学的理论结构充分地运用数学工具作为自己的工作语言,以实验作为检验理论正确性的唯一标准。

在物理学的领域中,研究的是宇宙的基本组成要素:物质、能量、空间、时间及它们的相互作用;借由被分析的基本定律与法则来完整了解这个系统。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。

物理学并非一个已经完成的封闭体系,它与其他许多自然科学息息相关,如数学、化学、生物和地理等。化学与某些物理学领域的关系深远,如量子力学、热力学和电磁学等,而数学是物理的基本工具。新的实验结果、新的工程技术甚至新的社会思潮都会改变和丰富人类对物质世界的认识,调整和完善物理学的知识体系,所以我们不仅要循序渐进地学习和掌握物理学的基本知识,而且还应该关心和了解物理学的前沿和进展。

如何帮助学生高效率地学好物理是物理教学的核心问题。多年的教学经验告诉我们,提高教学质量必须针对具体的学生调整教学内容和授课方式,配备与授课内容密切相关的教材。所以,虽然优秀的大学物理教材已经汗牛充栋,我们还是组织授课教师定期编写新教材,这不仅因为物理学仍在发展,教学方法不断创新,我们还期望通过编写教材,促进教师加深对教学内容的理解,同时增进对学生的了解。

本教材是从事大学物理教学的数十位教师多年教学实践经验的结晶。还广泛听取了許多教师和学生的意见和建议。借此机会,谨致谢意。

虽然我们力求广泛地听取各种意见和建议,尽量采取正确新颖的方式来阐述有关知识点和知识点之间的关系,但是可以预料书中一定还存在许多缺点和错误,教学内容和表述方式也有待教学实践过程的反馈意见才能不断完善。我们真诚地希望能够得到读者慷慨的批评和指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 物理学的形成与发展	1
第二节 物质的层次	4
第三节 物理学的特点	5
第四节 物理学研究方法	7
第五节 几何学与物理学	8
第二章 质点运动学	9
第一节 质点运动的描述	9
第二节 位置矢量 位移 速度	10
第三节 加速度	13
第四节 时间和空间的测量	15
第五节 自然坐标系 切向加速度和法向加速度	15
第六节 相对运动	19
习题	21
第三章 守恒定律	24
第一节 动量守恒定律	24
第二节 能量守恒	27
第三节 碰撞问题	33
第四节 角动量定理 角动量守恒	35
第五节 对称性 守恒定律	37
习题	40
第四章 热力学基础	42
第一节 热力学第一定律	42
第二节 理想气体的典型热力学过程	47
第三节 循环过程与卡诺循环	51
第四节 热力学第二定律	54
第五节 熵的微观实质与统计学意义	57
习题	59
第五章 静电场	62
第一节 静电场 电场强度	62
第二节 静电场中的高斯定理	65
第三节 静电场的环路定理	71
第四节 静电场中的导体	73
第五节 静电场中的电介质	76

第六节 静电场的能量	78
习题	80
第六章 恒定磁场	83
第一节 磁现象的电本质	83
第二节 磁场和磁感应强度	85
第三节 毕奥 - 萨伐尔定律	89
第四节 磁场的高斯定理 安培环路定理	93
第五节 磁场对运动电荷的作用	96
第六节 磁场对载流导线的作用	99
第七节 磁介质的磁化	102
第八节 铁磁性	104
习题	106
第七章 电磁感应与电磁场	110
第一节 电磁感应现象与感应电动势	110
第二节 动生电动势和感生电动势	112
第三节 自感和互感	114
第四节 磁场的能量	117
第五节 位移电流 麦克斯韦方程组积分形式	118
第六节 电磁波	120
习题	123
第八章 机械振动与机械波	126
第一节 简谐振动	126
第二节 描述简谐振动的物理量——周期和振幅	130
第三节 简谐振动的合成	131
第四节 阻尼振动	133
第五节 受迫振动	133
第六节 机械波的几个概念	134
第七节 平面简谐波	136
第八节 波的能量	138
第九节 波的衍射和折射	140
习题	142
第九章 光学	148
第一节 几何光学简介	148
第二节 光的干涉	155
第三节 光的衍射	165
第四节 光的偏振	170
习题	172
参考文献	176
附录一 基本物理常数	177
附录二 国际单位制 (SI) 单位	178
附录三 物理量的名称、单位和符号一览表	180

第一章 绪 论

中国自古就有一个美丽的传说——嫦娥奔月,多少年来,多少代中国人孜孜不倦地探求,终于神话变成了现实。2003年10月,由宇航员杨利伟驾驶“神舟5号”飞船,环绕地球14圈,圆了中国人的千年飞天梦。从意大利航海家哥伦布(C. Colombo, 1446—1506)的帆船航海,到美国莱特兄弟的飞机上天,直至今日的宇宙飞船漫游天际,人类就像插上了翅膀,在浩瀚的宇宙间翱翔。回首过去,我们不禁感叹,世界变化得多么快!我们不禁要问,谁使我们这个世界变化得这么快?这就是现代科学技术,是现代科学的基础——物理学!

第一节 物理学的形成与发展

本节我们将沿着物理学发展的历程,介绍经典物理学的建立过程,以及20世纪物理学的革命,使大家对物理学的理论体系、研究方法及其作用有一个初步的了解。

一、从自然哲学到物理学

物理学的前身称为自然哲学。早期的物理学含义非常广泛,它在直觉经验基础上探寻一切自然现象的哲理。中国作为发明指南针、火药、造纸和印刷术的文明古国,在哲学思想上很有特色。我国春秋战国时代的《墨经》是一本最古老的科学书籍,里面记载了许多关于自然科学问题的研究。其中有一句话:“力,刑之所以奋也。”“刑”即“形”,可解释为“物体”,“奋”可解释为“运动的加速”,这与牛顿第二定律($F = ma$)有一定的联系。书中并载有万物都是由“不可斫”的“端”即“点”所构成(斫, zhuó, 用刀斧砍的意思)。与差不多同时代的希腊“原子”说,是世界上关于物质组成问题的最早文字记载。但是这些观察和分析,仅仅是定性的,没有系统化、量化。

公元前7—前6世纪,古希腊文化进入一个繁荣时期,人才辈出。其杰出的代表——亚里士多德(Aristoteles, 前384—前322),这位百科全书式的学者,系统研究了运动、空间和时间等物理及相邻自然科学方面的问题,著有《物理学》《力学问题》《论天》及《玄学》(14卷本巨著)等。他的著作处于古希腊及整个中世纪自然哲学的“皇冠”地位,其中《物理学》一书,是physics一词最早的起源(虽然今天含义已不同了)。他提出了许多概念,但有一些观念是错误的。如“在地球上重物比轻物落得快”的观念,直到伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)在1590年登上比萨(pisa)斜塔(建于1174年),用实验证明了一个100磅重和一个半磅重的两个球体几乎同时落地,才纠正过来。又如他的“地心说”,认为地球位于整个宇宙的中心,整个宇宙由环绕地球的7个同心球壳所组成,月亮、太阳、星星在其上做完美的圆周运动。当然,用今天的知识我们很容易指出其错误,但昨天终归不是今天。在两千年前,亚里士多

德敢于主张“地球是球形”，较之远古人的“大地是平坦的”，客观地说，那是人类认识上的一大飞跃。但后来被神学所利用，在封建教会的统治下，欧洲中世纪的科学发展十分缓慢。直到15世纪后，工业革命使得科学技术获得了快速的进步，为科学实验开展提供了前所未有的条件，带动了科学理论的飞速发展。

二、经典物理学的建立

波兰天文学家哥白尼(N. Copernicus, 1473—1543)，在他的不朽著作《天体运行论》中，提出“太阳是宇宙的中心，地球是围绕太阳旋转的一颗行星”的日心说，引起了宇宙观的大革命。日心说使教会感到恐慌，因为若地球是诸行星之一，那么圣经上所说的那些大事件就完全不能够在地面上出现了。“日心说”被称为“邪说”，《天体运行论》被列为禁书。为捍卫真理，当时的科学家进行了不屈不挠、可歌可泣的斗争。意大利天文学家布鲁诺(G. Bruno, 1548—1600)为此付出了生命。这种为科学献身的精神和崇高的胸怀永远让人崇敬，永远值得我们学习。

在15世纪以后，科学空前发展，逐步建立了比较完整的系统理论。物理学先驱伽利略研究了落体和斜面运动，做了著名的比萨斜塔实验，发展了科学实验方法，并提出了物质惯性等重要概念。到17世纪，杰出的英国物理学家牛顿(I. Newton, 1642—1727)在前人工作的基础上，于1687年发表了他的名著《自然哲学的数学原理》，提出牛顿三大定律，这成为经典力学的理论基石。后来，他在开普勒(J. Kepler, 1571—1630)提出的行星运动三定律的基础上，提出了万有引力定律，这是牛顿对物理学的两大杰出贡献。牛顿还是位数学家，他和莱布尼兹同时创立了微积分，并应用于力学，使力学与数学不断结合。后来，欧勒等人进一步使力学沿分析方向发展，建立了分析力学。至此，在常速情况下，宏观物体的机械运动所遵循的规律——经典力学——已建立起来了。我们常把经典力学称为牛顿力学，它的建立被认为是第一次科学革命。牛顿也被誉为科学史上的一位巨人，因为他代表了整整一个时代。

1850年左右，在大量实验的基础上，确立了能量转化和守恒定律，其另一种表达形式是热力学第一定律，这和进化论及细胞学说并列为当时的三大自然发现。能量的转化和守恒是一回事，但能量的可利用性是另一回事，这种研究导致了1851年热力学第二定律的建立。另外，对于低温的研究，于1848年了解到“绝对零度”即 -273.16°C 是不可能达到的，这就是热力学第三定律。同时，物理学家意识到热现象基础，是一切热现象的出发点，应列入热力学定律。因为这时热力学第一、第二定律都已有了明确的内容和含义，有人提出这应该是第零定律。于是，热力学形成了一个以4个定律为基础的系统完整的体系。

热学和热力学的微观理论是建立在分子-原子理论上的。19世纪末期，从分子运动论逐渐发展到统计物理，建立了统计物理学。

从美国的富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)首次用风筝把“天电”引入实验室，英国的卡文迪许(H. Cavendish, 1731—1810)精密地用实验证明了静电力与距离的平方成反比，再经过法国人库仑(C. A. Coulomb, 1736—1806)的研究，最后确立了静电学的基础——库仑定律。

电荷的流动显现为电流,电流会对周围产生磁的效应。电能生磁,那磁能否生电呢?英国物理学家法拉第(M. Faraday, 1791—1867)于1831年发现并确立了电磁感应定律,这一划时代的伟大发现是今天广泛应用电力的开端。完整地总结电和磁的联系的工作是由麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)完成的,它建立了微分形式的“麦克斯韦方程组”,该方程组的形式极为对称和优美,被誉为物理学上“最美的一首诗”,是19世纪物理学最辉煌的成就。至此,经典电磁学建立起来了。光的现象是一类重要的物理现象,光的本质是什么?一直是物理学要回答的问题。

17世纪,人们对光的本质提出了两种假说:一是牛顿的微粒说,认为光是发光物体射出的大量的微粒;另一是荷兰科学家惠更斯(Christian Huygens, 1629—1695)的波动说,认为光是发光物体发出的波动。两种学说展开了旷日持久的论战。开始由于牛顿在科学界的威望,以及光在均匀介质中的直线传播、折射与反射现象等实验的支持,微粒说占据有利地位。后来,随着光的干涉、衍射现象的发现,给波动说以强有力的支持。最后,由麦克斯韦确认了光实际上是一种电磁波,波动光学由此建立。

到19世纪末和20世纪初,经典物理学理论已经系统、完整地建立,它包括经典力学、热力学、统计物理学、电磁学、光学。至此,经典物理学辉煌的科学大厦建立起来了。

三、20世纪初物理学的革命

经过力学、热力学与统计物理学、电磁学和光学各分支学科的迅猛发展,到19世纪末,经典物理学看来似乎已经很完善了。英国物理学家开尔文(W. Thomson, 1824—1907)在著名的题为《遮盖在热和光的动力理论上的19世纪乌云》的演说中说:“在已经基本建成的科学大厦中,后辈物理学家似乎只要做一些零碎的修补工作就行了;但是,在物理学晴朗天空的远处,还有两朵令人不安的乌云。”开尔文所说的一朵乌云指的是热辐射的“紫外灾难”,它冲击了电磁理论和统计物理学;另一朵乌云指的是迈克尔逊-莫雷实验的“零结果”,它否定了以太的存在。开尔文没料到,正是这两朵小小的乌云,引发了物理学史上一场伟大的革命。

1905年,著名物理学家爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)对高速物体运动进行研究,创立了狭义相对论。爱因斯坦以其独特的思维方式,发动革命。从低速到高速,从小宇宙到大宇宙,爱因斯坦于1915年建立了广义相对论,使人们视野扩展到广阔无垠的宇宙空间。爱因斯坦因他的相对论,做出了划时代的贡献。

在研究微观世界时,经典理论暴露其局限性,从而把物理学的伟大革命推向一个高潮。在研究黑体辐射时,普朗克(M. Planck, 1858—1947)发现:若假设光子能量是量子化的,则理论与实验结果相符。但普朗克摆脱不了经典概念的束缚,竟不敢加以承认。又是爱因斯坦,这位杰出的理论物理学家,第一个勇于承认。尔后,玻尔(N. Bohr, 1885—1962)、薛定谔(E. Schrodinger, 1887—1961)、海森伯(W. K. Heisenberg, 1901—1976)等物理学家建立了量子力学。

20世纪初的30年,相对论和量子论的建立完成了近代物理学的一场深远的革命,把人类认识世界的能力提升到了前所未有的高度,为实践应用开辟了广阔的道路,为20世纪层

出不穷、不断涌现的高科技、新学科、新技术的发展准备了基础。19世纪两朵令人不安的乌云转化为近代物理学诞生的彩霞。物理学不仅仍然是自然科学基础研究中最重要的前沿学科之一,而且已发展成为一门应用性极强、渗透性极强的学科。今天的物理学决不仅是少数物理学家关起门来埋头研究的专门学问,而是生气勃勃地向一切科学技术,甚至经济管理部门渗透的一种力量,它已经,而且正在继续改变我们这个世界!

第二节 物质的层次

物理学是研究物质结构和运动基本规律的学科,或者说物理学是关于自然界最基础形态的学科,它研究宇宙间物质存在的各种基本形式、它们的内部结构、相互作用及运动基本规律。物理学研究范围也和它本身的发展一样,经历着历史的变化。物理学对客观世界的描述,已由可与人体大小相比的范围(称为宏观世界)向两个方向发展:一是向小的方面——原子内部(称为微观世界);另一是向大的方面——天体、宇宙(称为宇观世界)。近年来随着高科技的发展,要求器件微型化、超微型化,出现了呈现微观特性的准宏观世界,称为介观世界。

宇观世界的尺度大于 10^7m ,按物体线度从大到小排列有总星系、星系团、银河系、太阳系、地球、月球等。宏观世界的尺度为 $10^3 \sim 10^6\text{m}$,人们对它的研究比较透彻,其运动服从经典物理规律;微观世界尺度小于 10^{-8}m ,它是构成宏观物质的基本单元,从外向内有分子、原子、原子核、强子、夸克或轻子。介观世界的尺度为 $10^{-8} \sim 10^{-6}\text{m}$,在这个介于宏观和微观的世界里,一方面它表现出微观世界中的量子力学特性;另一方面,就尺度而言,它几乎又是宏观的。就物质结构的尺度来划分,物质的层次见表 1-1。

表 1-1 物质的层次

实体	尺度	相关的专门科学分支
基本粒子	10^{-15}m 以下	粒子物理学
原子核	10^{-14}m	核物理学
原子	10^{-10}m	原子物理学
分子	10^{-9}m	化学
巨型分子	10^{-7}m	生物化学
固体		固体物理学
液体		液体动力学
气体		气体动力学
植物与动物	$10^{-7} \sim 10^2\text{m}$	生物学
地球	10^7m	地质学,地球物理学
恒星	$10^7 \sim 10^{12}\text{m}$	天体物理学
星系	10^{20}m	天文学
银河星团	10^{23}m	
宇宙已知部分	10^{26}m	宇宙学

物质的层次以其尺度计从 10^{-15} m 到 10^{26} m, 大小相差 10^{41} 倍, 却几乎都与物理学密切相关。可见, 物理学在自然科学中占有特殊的地位。

第三节 物理学的特点

一、物理学是观察、实验和科学思维相结合的产物

物理学和所有其他科学一样, 必须依靠观察和实验, 观察是有目的地了解物理现象以及影响物理现象的各种因素, 以便对这种现象进行仔细研究, 从而得到物理规律。但是, 在某些情况下, 有些物理现象只是偶尔发生, 就需要人为地控制条件, 利用仪器设备, 突出物理现象的主要因素, 使其反复再现, 并且通过改变条件, 以便发现条件的改变对物理现象的影响, 这就是物理实验的方法。所以, 观察和实验是了解物理现象、测量有关数据和获得感性知识的源泉, 是形成、发展和检验物理理论的实践基础。若要使感性知识上升为物理理论, 还要经过科学思维这一认识过程。这种认识过程通常是经过分析、综合、抽象、概括等思维活动, 并通过建立概念、作出判断和推理来完成的。

物理模型的建立、物理概念的形成、物理规律的发现, 都是观察、实验与科学思维相结合的产物。

当然, 在物理学的发展史上还有一些物理理论首先是由物理学家做出预言, 然后再通过实验检验这些理论的正确性, 必要时还需要对这些理论做出修正和改进。物理学发展到今天, 在物理学家预言的新理论的指导下进行新实验的这一模式显得更为重要。事实说明, 没有理论指导的实验往往是不能成功的。实验和理论之间的这种互相交织的关系使得物理学在坚实的基础上稳步前进。

二、物理学的内容主要由物理概念和物理规律所构成

物理概念反映了客观事物、现象的物理本质属性。在自然界中, 只有具有物理属性的事物和现象才能成为物理学研究的对象, 也只有把该事物的物理属性从其他属性(如生物属性)中区分出来, 并用定义的方式阐述才能形成物理概念。

物理概念能够定性地反映客观事物的本质属性, 还有些物理概念能够定量地反映客观事物的本质属性, 对于后一种物理概念, 称之为物理量。例如, 速度、加速度、力、温度、电容、 E 通量、 B 通量等, 既可称它们是物理概念, 又可称它们是物理量, 而如速度的相对性, 矢量性, 线性波的叠加性, 不同形式能量的可相互转化性等, 就只能说它们是物理概念, 而不能说它们是物理量。

物理概念是组成物理内容的基本单元, 构成物理内容的另一重要部分是物理规律。物理学中的公式、定理、定律和原理等, 统称为物理规律。物理规律是指物理现象之间的内在联系, 表示物理概念之间实际存在着的关系。因此, 在任何一个物理规律中, 总是包含着若干个有联系的物理概念, 任何不相干的物理概念是不能组合起来构成物理规律的。所以不建立清晰的物理概念, 也就谈不上对物理规律的掌握。

一个物理规律,不仅指明了组成规律的各物理概念的联系,它还揭示了各概念之间数量上的相互制约关系,这种相互制约关系,指明了物理现象发生和发展的“因果”图像。

物理规律按物质的运动性质分为:力学、热学、电磁学、光学、原子物理学等;按运动过程中物理量的变化特点分为:瞬时规律、分布规律、瞬时分布规律和守恒规律等。若过程中的物理量仅随时间变化,即称为瞬时规律;仅随空间变化,即称为分布规律;随两者改变时则称为瞬时分布规律;若不随两者改变,即称为守恒规律。

物理规律的建立都是有条件的,而且常常不显含在规律的表述之中。例如,牛顿运动定律只是在惯性系中成立。因此,学习物理规律,一定要注意其条件或适用范围。

三、物理学是一门定量的科学,与数学有密切的联系

物理学是一门定量的科学,它与数学有着密切的联系。数学在物理学中的重要作用,主要表现为如下几方面。

(1)数学作为“语言”工具,它是表达物理概念、物理规律最简洁、最准确的“语言”,只有把物理规律用数学形式表达出来,这个物理规律才能更准确地反映客观实际。所以说,物理理论是对物理世界的数学描述。

(2)数学也可作为一种“推理”工具,在物理学中,常常利用已知的规律,根据一定的条件,用数学工具推导出一些新的规律。

在研究和解决物理问题时,还常常需要用数学进行定量计算。可见,数学是物理学研究的重要工具,是物理理论的一种表述形式,特别在科学发展突飞猛进的今天,没有数学方法作为工具,物理学将寸步难行。

四、物理学研究对象几乎都是利用科学抽象和概括的方法

客观存在的物理现象常常是错综复杂的,它可能受多种条件的制约且具有多方面的属性,然而,对于一定的物理现象,所有的条件和属性并非都起着同等重要的作用。为了研究方便,需要舍弃其中一些非主要因素(即条件和属性),突出其主要因素,从而建立理想模型。

这种理想模型是指理想化客体 and 理想化过程。例如质点、刚体、弹簧振子、理想气体、点电荷、点光源、均匀电场、全辐射体等都是理想化模型。又如匀速直线运动、简谐振动、简谐波、等温过程、等压过程、绝热过程等都是理想化过程。

可见,物理学中的规律都是一定的理想化客体在一定的理想化过程中所遵循的规律。更本质地反映了同一类理想化客体的共同规律。运用理想模型研究物理问题,当然具有现实意义,因为只要根据实际情况,对理想模型稍作修改补充,所得到的物理规律就能够更好地符合真实客观世界的实际。

运用理想模型研究物理问题,是一种重要的科学研究方法,这种方法也适用于其他自然科学的研究。

五、物理学与辩证唯物主义哲学有着密切关系

物理学研究的是自然界最基本、最普遍的运动规律,因此它与辩证唯物主义哲学的关系

极为密切。哲学的发展水平与物理学的发展程度是相适应的,经常从物理学的最新成果中汲取营养,不断丰富和发展哲学的各个基本原理,所以物理学是哲学的一个基础。物理学发展历史表明,物理学的发展始终离不开辩证唯物主义哲学的指导,辩证唯物主义哲学是物理学健康发展的重要武器,物理学的内容充满着活的辩证法。例如,物理学中对于物质结构和各种运动规律的认识,相对论中关于时空的看法,对光现象认识的辩证过程以及物理学的研究方法等等,无不说明辩证唯物主义哲学原理与物理学的密切关系,从一定意义上说,物理学和辩证唯物主义哲学是从不同的方面完成人类认识物质世界的任务,都在促进人类的文明发展。

第四节 物理学研究方法

物理学是一门非常重要的基础科学。物理学的研究成果不仅是其他自然科学的基础,而且可以推动其他自然科学的发展。物理学研究方法也对其他自然科学有重要参考价值,读者在学习物理学知识的同时也应该注重物理学研究方法的学习。物理学研究方法主要有如下几种。

一、抓主要矛盾,建立理想模型的方法

这种研究方法也叫抽象方法。它是根据问题的内容和性质,抓住主要因素,撇开次要的、局部的和偶然的因素,建立一个与实际情况差距不大的理想模型进行研究。例如,“质点”和“刚体”都是物体的理想模型。把物体看作“质点”时,“质量”和“点”是主要因素,物体的“形状”和“大小”是可以忽略不计的次要因素;把物体看作“刚体”时,物体的“形状”“大小”和“质量分布”是主要因素,物体的“形变”是可以忽略不计的次要因素。在物理学的研究中,这种理想模型是十分重要的。研究物体机械运动规律时,就是从质点运动的规律入手,再研究刚体运动的规律并逐步深入。

二、科学实验的方法

科学实验和观察是科学研究的基本方法。科学实验是在人工控制的条件下,使现象反复重演,进行观察研究的方法。大多数科学规律都是通过实验观察总结发现的。实验是科学研究中非常重要的方法。

三、根据假说的逻辑推理方法

为了寻找事物的规律,对于现象的本质所提出的一些说明方案或基本论点等统称为假说。假说是在一定的观察、实验的基础上提出来的。进一步的实验论据便会证明这些假说,即取消一些或改进一些。在一定范围内经过不断的考验,经证明为正确的假说最后上升为原理或定律。例如,在一定的实验基础上,提出的物质结构的分子原子假说以及所推论出来的结构,因为能够解释物质的气、液、固各态的许多现象,最后就发展成为物质分子运动理论。又如,量子假说的建立和量子理论的演变,最后发展为量子力学理论。在科学认识的发

展过程中,假说是很重要的,甚至是必不可少的一个阶段。

第五节 几何学与物理学

物理学是定量的科学,所以在物理学中广泛地使用数学,可以说,数学是物理学的语言,它为物理学提供了定量表示和预言能力。

一、欧几里德几何空间

我们研究物体的运动,均是考虑它随着时间的流逝在空间的变化情况,离不开“空间”概念。对于空间,我们很熟悉。我们生活的空间是包含在上下、前后、左右之中的。如果需要描述我们所处的空间中的某一位置,就需要用3个方向来表示。

古希腊数学家欧几里德(前330—前275)将公元前7世纪以来希腊积累起来的既丰富又纷纭庞杂的结果整理在一个严密统一的体系中,从最原始的定义开始,引出5条公理和5条公设为基础,通过逻辑推理,演绎出一系列定理和推论,编写出《几何原本》,从而建立了欧几里德几何的第一个公理化的数学体系。

在欧几里德几何中,空间是平直的,它用长、宽、高3个维度来表示立体空间,即我们常说的三维空间。另外,欧几里德几何空间还是均匀的和各向同性的,因而具有平移不变性和转动不变性。平移不变性是指空间是均匀的,即从一点到另一点没有什么区别。如果把物体无旋转地从一个位置移到另一个位置,它的大小和几何性质都不变,物理性质亦不变。转动不变性是指空间是各向同性的,所有的方向都是等价的。一个物体在空间内改变取向时,它的几何性质与物理性质均不变。平移不变性导致动量守恒,转动不变性导致角动量守恒,这将在第三章中讨论。

二、时空观

运动的两种基本形式,时间是物质运动的顺序性和持续性,而空间则是物质运动的广延性或延展性。一切运动着的物质都有其时间和空间的存在形式,也只有在一一定的时空中才能存在、运动和发展。

在牛顿的经典物理学中,采用欧几里德几何空间,它是平直的、均匀的、各向同性的。假如我们在欧氏几何小尺度范围看,地球上的大地是平直的,因而牛顿的时空观是“绝对的”“不变的”,物体在“绝对时间”“绝对空间”中进行“绝对运动”。但爱因斯坦推翻了牛顿的绝对时空观,指出时空是客观存在的,但又是相对的,不是绝对的。在黎曼空间中,地球上的地面实际上并不平直,而是一个弯曲的球面。爱因斯坦相对论把时间、空间和物质运动联系起来、统一起来,把物质运动置于四维时空中。

第二章 质点运动学

第一节 质点运动的描述

一、参考系

自然界中所有的物体都在不停地运动,绝对静止不动的物体是没有的。在观察一个物体的位置及位置的变化时,总要选取其他物体作为标准,选取的标准物不同,对物体运动情况的描述也就不同,这就是运动描述的相对性。

为描述物体的运动而选的标准物称为参考系。不同的参考系,对同一物体运动情况的描述是不同的。因此,在讲述物体的运动情况时,必须指明是对什么参考系而言的。参考系的选择是任意的。在讨论地面上物体的运动时,通常选地球作为参考系。

二、质点

物体都有大小和形状,运动方式又都各不相同。例如,太阳系中,行星除绕自身的轴线自转外,还绕太阳公转;从枪口射出的子弹,它在空中向前飞行的同时,还绕自身的轴转动;有些双原子分子,除了分子的平动、转动外,分子内各个原子还在振动。这些事实都说明,物体的运动情况是十分复杂的。物体的大小、形状、质量也都是千差万别的。

如果我们研究某一物体的运动,可以忽略其大小和形状,或者可以只考虑其平动,那么,我们就可把物体当作是一个有一定质量的点,这样的点通常称为质点。

质点是经过科学抽象而形成的物理模型。把物体当作质点是有条件的、相对的,而不是无条件的、绝对的,因而,对具体情况要做具体分析。例如,研究地球绕太阳公转时,由于地球至太阳的平均距离约为地球半径的 10^4 倍,故地球上各点相对于太阳的运动可以看作是相同的,所以在研究地球公转时,可以把地球当作质点。但是,在研究地球上物体的运动情况时,就不能再把地球当作质点处理了。

应当指出,把物体视为质点这种抽象的研究方法,在实践上和理论上都有重要意义。当我们所研究的运动物体不能视为质点时,可把整个物体看成是由许多质点组成的,弄清这些质点的运动,可以弄清楚整个物体的运动。所以,研究质点的运动是研究物体运动的基础。

第二节 位置矢量 位移 速度

一、位置矢量

如图 2-1 所示,质点的位置可用直角坐标的三个分量 (x, y, z) 来确定,也可以用不依赖具体坐标系的矢量来表示,即由坐标原点 O 向 P 点作有向线段,并记作 \vec{r} , r 就是定量刻画质点所在空间位置的位置矢量(Position vector),简称位矢。参考本书附录 A,请读者验证,位置矢量满足线性代数定义的矢量性质。

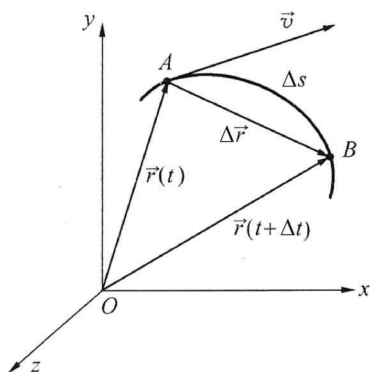


图 2-1 位移与速度

位矢 \vec{r} 与它在坐标轴上的分量 (x, y, z) 是一一对应的,分量又称投影量。如公式(2-1)所示,以 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 分别表示 x, y, z 轴方向上的单位矢量,则

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

矢量 \vec{r} 的大小与分量的关系为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (2-2)$$

由位矢与各坐标轴 x, y, z 的夹角 α, β, γ ,可以完全确定位矢的方向。位矢的三个分量与它的方向余弦的关系是

$$\cos\alpha = \frac{x}{r} \quad \cos\beta = \frac{y}{r} \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (2-3)$$

一般来讲,位置矢量或者它的直角坐标分量 (x, y, z) 都是时间 t 的函数,即

$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad z = z(t) \quad (2-4)$$

或者

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad (2-5)$$

式(2-4)和式(2-5)都称为质点的运动方程,前者是运动方程的标量形式,后者为矢量形式。显然,质点运动方程的标量形式和矢量形式等效描述质点的位置随时间改变的过程和具体方式。

质点在空间连续经过的各点连成的曲线称为质点运动的轨迹,表示质点运动轨迹的方程称为轨迹方程。运动轨迹不涉及时间,如果消除方程(2-4)中的时间参数 t ,就得到质点的轨迹方程,即

$$f(x, y, z) = 0 \quad (2-6)$$

例如,在太阳参考系中,地球的运动轨迹是一个椭圆。读者可以尝试以太阳为坐标原点建立直角坐标系,写出地球运动的轨迹方程。

二、位移

在一段时间内质点位矢的增量(我们规定增量是末量减去初量)称为它在该段时间内的位移(Displacement)。两个矢量加减运算的结果仍然是一个矢量,所以位移也常常称为位移矢量。如图2-1所示,在某时刻 t ,质点位于 A 点,其位矢为 $\vec{r}(t)$ 。在 $t + \Delta t$ 时刻,质点移动到了 B 点,其位矢记为 $\vec{r}(t + \Delta t)$ 。则质点在 Δt 时间内的位移为

$$\vec{\Delta r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A \quad (2-7)$$

$\vec{\Delta r}$ 是由 A 点指向 B 点的矢量。在直角坐标系中

$$\vec{\Delta r} = (x_B - x_A)\vec{i} + (y_B - y_A)\vec{j} + (z_B - z_A)\vec{k} \quad (2-8)$$

其中各分量的增量分别为

$$\Delta x = x_B - x_A \quad \Delta y = y_B - y_A \quad \Delta z = z_B - z_A \quad (2-9)$$

图2-1中矢量的长度表示位移的大小

$$|\vec{\Delta r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$$

三、速率和速度

在日常生活中,人们习惯用“速度”(Velocity)的大小来描述物体运动的快慢,但这并不是物理学中严格定义的速度矢量,而是速率(Speed)。质点运动经历的路程 Δs 与所用的时间 Δt 的比值就是它在该时段内的平均速率,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2-10)$$

平均速率还不足以描述质点每时每刻运动的快慢。我们可以按照微积分的思想,考虑 Δt 趋于零时 \bar{v} 的极限情况。显然,无限短时间段的初始时刻 t 和末了时刻 $t + \Delta t$ 两者合二为一,无限短时间段中的平均速率可以定义为质点在该时刻 t 的瞬时速率(简称速率),即

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (2-11)$$

质点运动的路程 Δs 和它的速率都不涉及质点运动的方向。质点位移 $\vec{\Delta r}$ 才是物理学中所需要的力学量,它能够更完整地描述质点的运动状态。类似地,质点位移 $\vec{\Delta r}$ 与时间间隔 Δt 的比值称为质点在这段时间内的平均速度,以 $\bar{\vec{v}}$ 表示,即

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (2-12)$$

显然,平均速度 \vec{v} 也是矢量,它的方向就是位移的方向。

在质点运动快慢和方向不断改变的情况下,平均速度还不能描述质点运动的细致特征。为此我们需要考虑时间间隔 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度的极限值,它将准确地描述 t 时刻质点的瞬时速度

$$\vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (2-13)$$

即速度是位矢对时间的一阶导数。速度是矢量,其方向就是 Δt 趋近于零时 $\Delta \vec{r}$ 的方向。如图 2-1 所示,通过 A 点时速度的方向就是质点运动轨迹在该点的切线方向。

将式(2-1)代入式(2-13),由于 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 为常矢量,可得

$$\vec{v}(t) = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k} \quad (2-14)$$

质点的瞬时速度沿 x, y, z 坐标轴的三个分量都是代数量,且

$$v_x = \frac{dx}{dt} \quad v_y = \frac{dy}{dt} \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (2-15)$$

速度的大小可表示为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \quad (2-16)$$

如果长度和时间分别以米和秒为单位,则速率和速度的单位都是米/秒(m/s)。

必须指出,位移矢量 $\Delta \vec{r}$ 的大小 $|\Delta \vec{r}|$ 不能写成 Δr ,我们定义 $\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$,它是位矢的模的增量。因而一般来讲, $v \neq \frac{dr}{dt}$ 。如图 2-2 所示,地球绕太阳做椭圆运动, t 时刻位于 A 点, $t + \Delta t$ 时刻运动至 B 点,则 \widehat{AB} 为路程 Δs , \overline{AB} 为位移大小。以太阳为圆心,以 $|\vec{r}(t)|$ 为半径画圆弧交 OB 于 C 点,则 CB 为位矢模的增量 Δr 。在图 2-2 中,三者大小关系为

$$\Delta s > |\Delta \vec{r}| > \Delta r$$

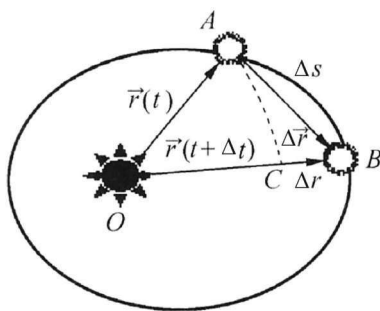


图 2-2 Δs 、 $|\Delta \vec{r}|$ 和 Δr 的区别