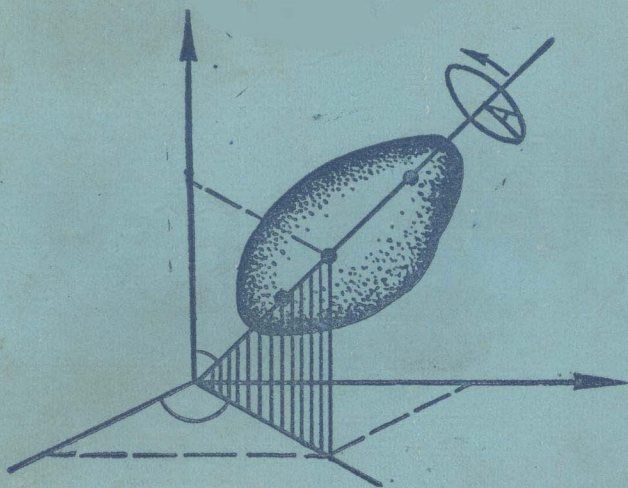


216030

大学物理学

I

杨晞明 主编
曾德璋



成都科技大学出版社

大学物理学

(第一册)

杨 晞 明
曾 德 璋 主编

成都科技大学出版社

一九八七年十一月

大学物理学

(第一册)

杨晞明 曾德璋 主编

成都科技大学出版社出版

四川省新华书店发行

成都科技大学印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 11.75

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数: 1—17400 字数: 254千字

ISBN7-5616-0074-7/O·4

统一书号: 13475·8 定价: 2.85元

编者的话

本教材由成都科技大学、成都电讯工程学院、成都气象学院、四川建筑材料工业学院四所院校根据国家教委关于工科“大学物理”课程教学基本要求(1986年10月合肥会议稿)联合编写,由成都科技大学杨晞明和成都电讯工程学院曾德璋主编,主审苟清泉。参加编写的有:杨晞明(绪论、第九、十四章及附录)、曾德璋(第二十、二十一章的部分)、张汉伯(第一、四章)、傅一良(第二、三章)、黄亚平(第五、六章)、苏惠惠(第七、八、十二章)、杨光群(第十、十一、十三章)、乔生炳(第十五、十六章)、李朝庚(第十七、十八、十九章)、杨建华(第二十一章的部分、选讲专题)。黄亚平审阅了全书插图。

本教材体现了国家教委关于工科大学物理课程基本要求的最新精神,作到“保底”、“放花”;在确保经典加强近代物理的同时,特别注意体现近代科学技术新发展;本书注意了教材的科学性、系统性、严密性和适用性,并十分注意对学生分析问题和解决问题的能力和方法的培养。例如在例题、思考题、习题的选配上,十分注意突出重点、难点,并与教材内容紧密配合。工科大学物理课程基本要求中新增加的内容(例如熵、多普勒效应等)均已编入教材;本教材在内容的深度和广度上“弹性”较大,但篇幅适中(教材的小字部分不占学时,可供师生参考)。全书采用国际单位制。

本教材共分三册,第一册包括力学、相对论基础、热

学；第二册包括电**磁**学；第三册包括振动和波动、波动光学、近代物理及选讲专题。本教材适合工科各专业及理科非物理专业本科生使用，也可作为电视大学、职工大学、函授大学等大学物理课教材或教学参考书。

成都电讯工程学院冯志超、谢汉德，四川大学周晋彝，四川师范大学王忠亮，成都科技大学杨文浏对本书的编写提纲进行了认真审阅，并提出宝贵意见，在此一并致谢。

由于编者的水平有限，时间仓促，难免有缺点和错误，希望使用本教材的师生批评指正。

编者 1987年3月

绪 论

物理学和其它自然科学一样，是研究自然界物质运动客观规律的科学。由于我们周围的世界无限广阔，各种形态的物质种类繁多，除大至天体，小至微粒、原子、电子等一类实物是物质外，电场、磁场、重力场、引力场等也是物质。自然界的这些形形色色的物质都在不断地运动着和变化着，因此，自然界诸多物质的运动形式就是多种多样的了。各种不同的物质运动形式，它们既服从共同的普遍规律，又有其各自独特的规律。对各种不同的物质运动形式的研究，形成了自然科学的各个分科。

物理学是研究物质的最基本、最普遍的运动形式和各种运动形式间的相互转化以及物质的结构等的自然科学。这些最普遍的运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等。物理学所研究的这些运动，普遍地存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中。例如，一切天体或地球上的一切物体，不论它们的化学组成如何，也不论它们是生物还是非生物，都服从物理学中的万有引力定律；又例如，一切过程，无论其是否具有化学性质或生物学性质等，都服从物理学中的能量守恒与转换定律。因此，研究高级的、更加复杂的运动形态，即包括研究一切现代科学技术都离不开物理学的知识，所以物理学又是一门基础科学。在高等工科院校“大学物理”课则是一门重要的必修基础理论课。

值得注意的是，物理学和其他自然科学之间的界限是不能截然划分的。例如，在物理学和化学之间，就存在着一个

广阔的边缘区域，产生了像物理化学和化学物理学这样的特殊科学。又例如，在深入原子内部以后，物理学和化学都着力去探索物质的结构。在原子、原子核、固体物理等方面，物理学和化学的研究也是交叉进行的，而对于分子层次的研究，不仅物理学与化学结合起来了，而且与生物学、医学等也结合起来了。随着科学的发展，在物理学和其他自然科学之间逐渐形成了许多新的边缘学科，例如生物物理学、量子生物学、分子天文学、介子化学等。

物理学的发展与科学技术、生产实践密切相关。生产发展的客观需要是物理学发展的强大动力，而物理学的研究又有力地推动社会生产力的发展。例如，热力学研究就曾受到热机发展的推动，而电磁学的研究又促进了工业电气化，使人类进入了电能时代。尤其是进入本世纪以来，由于相对论和量子力学的建立，使人类对原子、原子核结构的认识日益深入，成功地实现了对原子核能和人工放射性同位素的应用，并促成了半导体、激光等新兴技术的发展。而随着新技术的发展，又为物理学提供了研究的新手段，使物理学的研究能够深入到太空和基本粒子内部。目前看来，近代物理学的发展方向形成了以下几个重要分支，这就是：基本粒子物理、原子核物理、原子与分子物理、等离子体物理、凝聚态物理、天体物理等。这几个方面代表了物质世界不同的层次，对于物质世界的这些层次的结构和运动变化的研究，是现代物理学发展的前沿。

近年来，科学技术的发展突飞猛进。自七十年代以来，出现了大规模集成电路计算机、微型计算机和微处理机等，近20多年来，空间技术的发展也是很迅速的。目前，空间技

术又广泛应用于军事、国民经济和科学研究等方面。1970年4月20日，我国成功地发射了第一颗人造地球卫星，至七十年代末，我国陆续发射了8颗人造卫星，并掌握了回收技术。八十年代初我国又成功地发射了运载火箭。1984年1月29日及1986年2月1日分别又在四川西昌地区成功地发射了两颗通讯卫星。这些都标志着我国的火箭技术已达到了一个新的水平。

总之，从世界范围来看，一场新的技术革命正在兴起，这场革命的动力是包括信息技术、生物工程、新材料、航空航天等在内的所谓高技术。发展高技术、继续探索自然界的奥秘，将是未来一、二十年内科技发展的大趋势。在世界向高技术进军的同时，基础科学（包括物理学）的研究将会得到相应的加强和应用。

面对世界新技术革命的挑战，作为工科大学各专业的学生，必须牢固地掌握物理学的基本理论和基本知识，系统地打好必要的物理基础，以便进一步学习和掌握专业技术知识，从而使自己成为又红又专的高级工程技术人才，为我国的科学技术现代化贡献力量。

目 录

绪论	(V)
----	-----

第一篇 力学基础

第一章 运动学	(4)
---------	-----

§ 1—1 参照系 坐标系	(4)
§ 1—2 质点运动的描述	(6)
§ 1—3 法向加速度和切向加速度	(23)
§ 1—4 刚体定轴转动的描述	(29)
§ 1—5 相对运动	(39)
思考题	(46)
习 题	(48)

第二章 运动定律	(53)
----------	------

§ 2—1 牛顿运动定律	(53)
§ 2—2 牛顿定律应用举例	(62)
§ 2—3 非惯性参照系 惯性力	(78)
§ 2—4 刚体转动定律	(85)
思考题	(99)
习 题	(101)

第三章 基本定理和守恒定律	(108)
---------------	-------

§ 3—1 动量定理 动量守恒定律	(108)
§ 3—2 动能定理 机械能守恒定律	(123)
§ 3—3 角动量定理 角动量守恒定律	(155)
思考题	(165)
习 题	(168)

第四章 相对论基础	(177)
-----------	-------

§ 4—1 牛顿的绝对时空观 伽利略变换	(177)
----------------------	-------

§ 4—2	狭义相对论基本原理	(182)
§ 4—3	狭义相对论的时空观	(193)
§ 4—4	狭义相对论速度变换	(199)
§ 4—5	狭义相对论动力学基础	(204)
• § 4—6	广义相对论简介	(208)
思考题		(213)
习 题		(215)

第二篇 气体分子运动论和热力学基础

第五章 气体分子运动论.....(219)

§ 5—1	平衡状态 理想气体	(220)
§ 5—2	压强和温度的统计意义	(227)
§ 5—3	能量按自由度均分定理 理想气体的内能	(236)
§ 5—4	麦克斯韦速率分布定律和玻尔兹曼能量分布定律	(243)
§ 5—5	分子的平均碰撞频率和平均自由程	(255)
§ 5—6	气体内的迁移现象	(260)
• § 5—7	真实气体	(268)
思考题		(276)
习 题		(278)

第六章 热力学基础.....(282)

§ 6—1	准静态过程	(282)
§ 6—2	热力学第一定律	(285)
§ 6—3	热力学第一定律对理想气体准静态过程的应用	(295)
• § 6—4	真实气体的内能 焦耳—汤姆孙效应	(308)
§ 6—5	循环过程 卡诺循环	(311)
§ 6—6	热力学第二定律	(320)
§ 6—7	熵 熵增加原理	(331)
思考题		(342)
习 题		(345)

附录 I 国际单位制.....(351)

附录 II 常用基本物理常数表.....(352)

附录 III 常用希腊字母读音.....(353)

习题答案.....(354)

参考书目.....(365)

第一篇 力学基础

自然界中大至天体，小至微观粒子；从物理学到化学、生物学；从基础自然科学到各种技术科学，无不包含大量的机械运动。所谓机械运动就是指物体之间的位置变动，力学就是研究机械运动的描述、规律及其应用的科学。因此，力学是物理学和其它自然科学的基础。力学中引出的若干概念及规律在其它科学部门和应用部门起了极其重要的作用，例如能量概念在研究宇宙的演化和生物化学反应的机制中，以及在许多工程科学和工程技术中都具有广泛的应用；它对工业界各种增长限额的分析也是极其重要的。再如角动量守恒定律对于地质力学和气象学的研究，也起着极其重要的指导作用。

力学具有悠久的历史，它是人类最早建立的学科之一。在科学技术日新月异、突飞猛进的今日，它不仅在科学技术和几乎全部工业部门中继续起着它传统的重大作用，在新兴的科学技术中，也表现出它同样具有强大的生命力。例如在力学中新近产生了生物力学、电磁流体力学等分支学科，新兴的空间科学中卫星、火箭和飞船等的运动必然服从力学的规律，高能物理的研究则更是离不开相对论力学。

按研究问题的性质，传统上将力学分为运动学、静力学和动力学。如果将静力学作为动力学的一个特殊情况处理，

力学则包含运动学和动力学两部分。运动学的任务是研究物体运动的描述，以及描述物体运动的各运动学量之间或它们随时间变化的关系，而不涉及引起运动变化的原因。动力学则要研究物体间的相互作用对物体运动的影响，即要讨论在力的作用下物体运动的规律。

自然界中物体的种类各异，形式繁多，它们具有各种的形状，不同的大小，甚至在运动过程中还具有程度不同的形变。研究如此纷繁的各类物体的运动，当然极其复杂，甚至会使我们感到束手无策，不知从何着手。为使问题简化，在物理学中常将各种实际的物体抽象化，提出多种理想化的模型。这样便能抓住事物的主要方面，忽略其次要方面；对具有某种共同特征的模型的研究，不仅带来方便，而且使之具有很大的普遍性。所以，这是物理学中一种很好的、科学的研究方法。本篇涉及两种模型：质点和刚体。

质点：如果物体的大小和形状在所研究的问题中可以忽略不计，我们就把这样的物体称为质点。例如在研究地球绕太阳公转时，尽管地球很大（相对于地球上的其它物体而言），但在绕太阳的公转运动中，其大小和形状可以忽略不计，因此我们将地球当作质点处理；但若研究地球的自转，则不能将地球当作质点。又例如，当研究车轮轮缘上各点的运动时，不能将车轮当作质点；可是，如果我们研究整个汽车（包括车轮在内）在地面上的运动时，则可将汽车当作质点处理。可见，一个物体是否可当作质点处理，要由问题的性质来确定。

刚体：如果物体在运动过程中，其形状和大小不发生任

何变化，我们就把这样的物体称为刚体。实际上许多物体在运动过程中形状和大小变化很小或几乎不变，因此，将这些物体当作刚体处理时，不会引起可以观测的误差。若设想将刚体分成许多部分，每一部分小到可视为质点，则这些小部分称作刚体的质元。于是我们又可以这样定义刚体：物体在运动过程中，其上各质元之间的距离始终保持不变，这样的物体称为刚体。

第一章 运动学

本章首先定义描述质点运动时的位移、速度和加速度等物理量，并讨论这些量随时间的变化关系。其次定义描述刚体定轴转动时的角位移、角速度和角加速度，并讨论它们随时间的变化关系。最后本章将讨论相对运动以及相对运动中的速度合成定理和加速度合成定理。

§ 1-1 参照系 坐标系

参照系 自然界中一切物体都在不断地运动着。房屋、桥梁似乎是静止的，但由于地球的自转和公转，它们也跟随地球一起运动。所谓恒星，也不是绝对静止的。天文观测证明：太阳系正以每秒20公里的速率朝武仙星座运动。太阳系只是银河系的成员之一，而银河系也正在不断地旋转着。再看微小物体，如微生物、细胞、乃至分子、原子以及中子、质子等基本粒子也都无时无刻不在运动着。总之，一切物体都在不断运动着，或者说没有不运动的物体，也可以说运动是物体存在的形式，这就是运动本身的绝对性。

然而，对物体运动的描述却只能是相对的。例如站在公路上的人看来，房屋是静止的；在以每小时40公里向东运行的汽车上的人看来，房屋则以相等的速度向西运动；在以每小时30公里向北运行的汽车上的人看来，则认为房屋以相等的速度向南运动；在加速运行的汽车上的人看来，却认为房屋

在与汽车运行相反的方向上加速地运动着。再如站在地面上的人看到雨滴铅直下落，而向东匀速运行的火车上的人却看到雨滴在下落中，向西弯曲成抛物线路径。这就是说，我们谈论物体是运动的还是静止的，以及物体是怎样运动的，只能相对于处于各种状态的观测者而言。这就是运动描述的相对性。更准确地说，谈论物体是否运动，以及怎样运动，只能相对于取作标准或参考(参照)的物体，我们把描述物体运动时选作标准或参考的物体称为参照系。如果离开参照系谈论物体的运动则是没有意义的，整个运动学以及整个力学都不能离开参照系。在运动学中，参照系的选择是任意的。不过，常常可以由研究问题的方便而给予选定。

坐标系 为了定量地描述物体的运动，还需要在参照系上建立坐标系(与参照系固接)。应当指出，参照系和坐标系是两个不同的概念。例如选择地球作为参照系，在地球参照系上可以建立不同的坐标系。除了最常用的直角坐标系外，还可建立若干其它坐标系，例如极坐标系，球面坐标系等。就直角坐标系而言，坐标原点以及三个互相垂直的坐标轴(X 、 Y 、 Z)的选取也还可以任意。参照系确定后，坐标系的选择也是十分重要的。若一开始就坚持在研究的问题中选择坐标系，你将领会到这定能给你带来极大的好处。

有了参照系和坐标系，就可以确定物体的空间位置。再配以计时系统，就能描述物体的运动了。物体的每一位置与一定的时刻相对应，某一时刻就是时间的某一瞬时。物体的位置变动却与一定的时间间隔(简称为时间或时限)相对应，

时间间隔是指从某一初始时刻到某一终止时刻所经历的时间。

最后应当指出，描述物体的空间位置以及位置的变化(运动)，必须基于对物体的空间和时间的量度。在牛顿(*Newton*)力学(或称经典力学)的范畴内，时空量度是基于牛顿的绝对时空观。概略地说，绝对时空观认为：时间是连续地、均匀地和永不停息地不断流逝着，它与世界上的各种物体的存在与否，运动与否以及怎样运动毫无关系；而空间则是连续地、均匀地、各向同性地、永不变化也毫不运动地寄寓于浩瀚无边的宇宙之中，它也与自然界各种物体的是否存在、是否运动以及怎样运动无关；而且时间和空间也是彼此独立无关的。这样的时空观，与人们的自然想法一致，因此易于接受。然而，当物体运动速度接近光速时，由绝对时空观就会导致出一些与实际不相符合的错误结果。在此范畴内，牛顿的绝对时空观将由爱因斯坦(*Einstein*)的相对时空观*所取代。

§ 1-2 质点运动的描述

位置矢量 运动方程 为了描述物体(质点)的运动，首先必须确切描述质点的位置。如图1-1所示，设 t 时刻质点位于 P 点，从参照点 O 观察，则可用矢量 $\vec{OP}$ 表达 t 时刻质点的位置。因为矢量 $\vec{OP}$ 既反映了质点与 O 点的距离，又反映了质点相对于 O 点所在的方位。我们就把从参照点到此时此刻质点所

* 参看第四章“相对论基础” § 4-3

在的位置所作的矢量称为位置矢量, 简称位矢, 又称矢径, 用 $\mathbf{r}$ 表示。

参照点可以任意选取。例如飞机在飞行中, t 时刻位于 P 点。我们从雷达站观测, 如取雷达作定点转动的定点 O 为参照点, 此位矢为 $\mathbf{r}_0 = \vec{OP}$; 如果选取远离雷达站 2 公里的公路上站立的人 O' 作为参照点(此人和雷达上

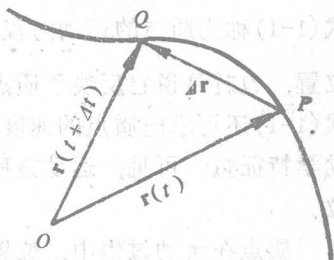


图 1-1 位置矢量和位移矢量

的点 O 同在地球参照系上固接), 则位矢应为 $\mathbf{r}_{0'} = \vec{O'P}$; 如果选取在公路上行驶着的汽车上的人 O'' 作为参照点(相对地球运动的汽车和地球分别是不同的参照系), 位矢又为 $\mathbf{r}_{0''} = \vec{O''P}$ (参见图1-2)。由此可见, 位置矢量不仅随参照系

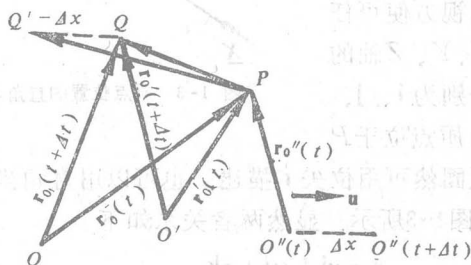


图 1-2 不同参照系和不同参照点的位置矢量和位移矢量

的不同而不同, 也随同一参照系上参照点的不同而不同。