

21世纪高等院校教材

内蒙古自治区物理教材编委会 组编

大学物理

内蒙古工业大学物理系 编

ESYSJGDYXJS

内蒙古大学出版社



● 21 世纪高等院校教材

大 学 物 理

内蒙古自治区物理教材编委会 组编

内蒙古工业大学物理系 编

内蒙古大学出版社

内 容 简 介

本书根据全国高等学校工科大学物理课程教学指导委员会制定的《大学物理课程教学基本要求》及其修改意见编写。全书包括力学、光学、热学、电磁学、狭义相对论简介和量子物理简介几个部分。

本书适合作 90~110 学时工科院校大学物理课程的通用教材,也可作为其它院校非物理专业、成人教育学院、电大、职工大学等院校工科专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/内蒙古工业大学物理系 编

—呼和浩特:内蒙古大学出版社,2002.12

ISBN 7-81074-429-1

I.大… II.①内… III.物理学—高等学校—教材 IV.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 110154 号

大 学 物 理

内蒙古工业大学物理系 编

内蒙古大学出版社出版发行

内蒙古自治区新华书店经销

内蒙古军区印刷厂印制

开本:787×1092/16 印张:20.5 字数:499 千

2002 年 12 月第 1 版 第 1 次印刷

印数:1-5000 册

ISBN 7-81074-429-1/O · 36

定价:25.00 元

内蒙古自治区物理教材编委会

主 任：李东升 梁希侠（常务）

副主任：李 和 李前忠 杨 颖 周培勤 赵巨东

浩斯巴雅尔

委 员：王 旭 计晶晶 乔文华 李东升 李 和

李前忠 陈志刚 杨体强 杨 颖 张 伟

周培勤 林 海 赵凤岐 赵巨东

浩斯巴雅尔 晨 阳 梁希侠 温彦生

序

内蒙古自治区的高等教育事业起步于20世纪50年代初。经过近50年的发展,我区的高等教育无论从规模上,还是质量上都取得了长足的发展。特别是近些年来,全区高等院校的招生数量成倍增长,部分院校的合并使得一些高校的办学规模迅速壮大,形成了几所万人大学。与此同时,各高校对各自的专业及课程设置都做了较大的调整,以适应当今日益发展变化的高等教育事业。面向21世纪,在科学技术日新月异,社会对人才的知识结构、层次要求越来越高的新形势下,我们的高等教育的教学水平,特别是教材建设都应有一个更新更高的要求。

回顾50年来的发展,虽然我区高等教育的教学科研水平有了较大的提高,但与之相应的教材建设的现状还不尽如人意,绝大多数主干课程的教材还沿用一些传统教材,有些甚至是20世纪七八十年代的版本。有些院校的教材选用则有一定的随机性,在几种版本的教材之中换来换去。其间,虽然部分院校也组织力量编写了一些基础课及专业课教材,但大都是各成体系,缺乏院校间的协作与交流,形不成规模,质量亦无法保证,常常滞后于学科的发展与课程的变化。这都与我区高等教育的发展极不协调。诚然,区外部分地区高校的教学科研水平比我区要高,一些教材的质量好,我们可以直接利用,但这并不能成为我们不搞教材建设的理由。好的教材还需要相应的教育资源条件与之相对应才能取得良好的教学效果,从而达到促进教学质量提高之目的。应当承认,由于经济发展的相对落后,我区高校所招学生的基础和学校的教学条件比起全国重点名牌大学相对要差一些。因而,我们高校的教材也应从实际出发,结合自己学校和学生的特点,逐步探索、建立一套适合自治区教育资源条件的教材体系,促进自治区高校教学科研水平的提高,多出人才,出好人才。

值得欣喜的是,随着自治区教育科学水平的提高,我区高校教育领域的一些有识之士逐渐认识到,面向21世纪,未来高校之间的竞争就是学校的产品——学生质量的竞争。要想培养出高水平、高素质的学生,使我区的高校在这种竞争中立于不败之地,除各高校应努力提高自身的教学组织管理水平、提高教师的素质外,还应积极主动地加强与区内外高校的协作、交流,取长补短,走联合发展的道路,使我区高等教育的整体水平能够在较短的时间内得到提高。为此,在有利于规范高校教材体系,促进高校教育质量的提高,加强各高校教学科研人员之间的协作与交流的原则下,由自治区教育厅牵头,内蒙古大学出版社组办、资助,联合全区高等院校的有关专家、学者共同组建成立一些相关专业的教材编委会,以求编写适合我区高等教育特点的教材,逐步建立、完善自治区高等教育的教学、教材体系,并开展一些与教学相关的科研工作。我们希望,通过教材编委会这种工作模式,建设一批高质量的教材,带出一支高水平的师资队伍,培养出大批高素质的人才。

我坚信,在自治区教育厅的指导下,在编委会各位专家、学者的辛勤工作下,在各院校的相互理解、相互协作、相互支持下,我们一定能够克服发展过程中的困难,逐步推出一批高质量、高水平的教材,为推进内蒙古自治区高等教育事业做出重要的贡献。



2002年3月19日

前 言

本书参照全国高等学校工科物理课程教学指导委员会制定的《大学物理课程教学基本要求》，结合我校实际，在保留经典物理学体系的前提下，对与中学物理及专业基础课重复的内容进行了大胆的删节，减少了许多技巧性练习，突出了对一般性原理、方法的训练。把机械振动和机械波放到力学中讲授，强调它们是牛顿力学在具体问题中的应用，既可巩固力学知识，又节约教学时间。在近代物理教学中只写了狭义相对论和量子物理的基本要领。本书删去了传统教材中关于“刚体”和“稳恒电流”的内容，因为它们分别在“理论力学”和“电工学”课程中有详细地讲授。

现在有不少好的大学物理教材，如“九五”国家级重点教材。但是，鉴于我校大学物理只有 100 学时，学生的素质也有待于进一步提高，因而教材的使用应符合本校的教学要求及特点。本书是在认真总结了我校教师长期积累的教学经验的基础上，本着便于学生学习，有利于教师教学的原则，而编写的简明教材。此教材的前身即教学教案，已经在 10 届左右的学生中应用，更切合基础教学需要。在编写过程中借鉴其它教材优点，在此对作者们谨致诚挚的感谢！

参加本书编写的人员如下(按章节顺序)：

绪论、第一、二章由赵改清执笔；第三、四章由翟伶祥执笔；第五、十一章由赵巨东执笔；第六、七、十二章及附录由胡秀珍执笔；第八、九、十章由朱经惠执笔。

本书由胡秀珍拟定编写提纲，集体讨论分工撰稿，徐孝仁也参与了本书的编写，提出很多宝贵意见。

插图：一、二、三、四、五、六、七、十一、十二章由赵改清绘制；八、九、十章由朱经惠绘制。

由于编者的学识和水平有限，书中如有错误和缺点，请读者批评指正。

编 者

2001 年 8 月

目 录

绪论	(1)
第一章 质点的运动规律	(4)
§ 1.1 机械运动的一般概念	(4)
§ 1.2 描述质点运动的物理量	(5)
§ 1.3 运动学量的微分积分关系	(12)
§ 1.4 相对运动	(13)
§ 1.5 牛顿运动定律	(16)
§ 1.6 力学相对性原理及牛顿运动定律的适用范围	(22)
本章小结	(26)
习题	(27)
第二章 运动的守恒定律	(29)
§ 2.1 功和能	(29)
§ 2.2 动量守恒	(38)
§ 2.3 角动量守恒	(43)
本章小结	(49)
习题	(50)
第三章 机械振动	(52)
§ 3.1 简谐振动	(52)
§ 3.2 简谐振动的矢量图示法	(56)
§ 3.3 两个简谐振动的实例	(58)
§ 3.4 简谐振动的合成	(59)
§ 3.5 阻尼振动 受迫振动 共振	(62)
本章小结	(65)
习题	(66)
第四章 机械波	(70)
§ 4.1 波的基本概念	(70)
§ 4.2 简谐波的描述——波函数	(71)
§ 4.3 波的能量	(73)
§ 4.4 波的干涉	(76)
§ 4.5 惠更斯原理 波的衍射、反射和折射	(80)
§ 4.6 声波	(82)
§ 4.7 多普勒效应	(85)
本章小结	(88)
习题	(90)
第五章 波动光学	(93)
§ 5.1 光的本性	(93)

§ 5.2	光的干涉原理	(94)
§ 5.3	光的干涉实验	(96)
§ 5.4	全息照相简介	(101)
§ 5.5	光的衍射	(103)
§ 5.6	单缝 圆孔的夫琅和费衍射	(104)
§ 5.7	衍射光栅 X 射线衍射	(108)
§ 5.8	光的偏振	(110)
§ 5.9	反射光和折射光的偏振	(113)
本章小结		(115)
习题		(117)
第六章 气体动理论		(119)
§ 6.1	物质的微观模型 统计规律	(119)
§ 6.2	气体状态参量 理想气体状态方程	(121)
§ 6.3	理想气体的压强 温度	(123)
§ 6.4	能量均分定理 理想气体内能	(125)
§ 6.5	麦克斯韦气体分子速率分布律	(128)
§ 6.6	分子平均碰撞次数和平均自由程	(135)
§ 6.7	实际气体的范德瓦耳斯方程	(138)
§ 6.8	气体的迁移现象	(140)
本章小结		(143)
习题		(145)
第七章 热力学基础		(147)
§ 7.1	准静态过程	(147)
§ 7.2	热力学第一定律	(148)
§ 7.3	热力学第一定律在理想气体中的应用	(150)
§ 7.4	循环过程	(156)
§ 7.5	热力学第二定律	(160)
§ 7.6	熵及熵增加原理	(163)
本章小结		(167)
习题		(169)
第八章 静电场		(173)
§ 8.1	库仑定律	(173)
§ 8.2	电场强度	(176)
§ 8.3	高斯定理	(180)
§ 8.4	静电场的环路定理 电势	(187)
§ 8.5	电场强度与电势的关系	(192)
§ 8.6	静电场中的导体	(195)
§ 8.7	电容	(197)
§ 8.8	静电场的能量	(201)
本章小结		(204)
习题		(206)

第九章 稳恒磁场	(209)
§ 9.1 磁场 磁场的高斯定理	(209)
§ 9.2 毕奥—萨伐尔定律	(212)
§ 9.3 安培环路定理	(216)
§ 9.4 安培定律	(219)
§ 9.5 洛伦兹力	(223)
本章小结	(228)
习题	(230)
第十章 电磁感应 电磁场	(234)
§ 10.1 电流密度 电动势	(234)
§ 10.2 法拉第电磁感应定律	(236)
§ 10.3 动生电动势和感生电动势	(238)
§ 10.4 自感和互感	(242)
§ 10.5 磁场能量	(244)
§ 10.6 电磁理论的基本概念	(245)
§ 10.7 电磁波	(248)
本章小结	(250)
习题	(252)
第十一章 相对论基础	(256)
§ 11.1 经典力学的绝对时空观	(256)
§ 11.2 狭义相对论的基本原理	(258)
§ 11.3 狭义相对论的时空观	(264)
§ 11.4 相对论动力学	(270)
§ 11.5 广义相对论简介	(275)
本章小结	(280)
习题	(282)
第十二章 量子物理简介	(284)
§ 12.1 黑体辐射 普朗克量子假设	(284)
§ 12.2 光电效应 康普顿散射	(286)
§ 12.3 氢原子玻尔理论	(290)
§ 12.4 德布罗意波 测不准关系	(293)
§ 12.5 量子力学简介	(295)
§ 12.6 氢原子的量子理论简介	(300)
§ 12.7 激光简介	(304)
本章小结	(310)
习题	(311)
附录	(312)
参考书目	(317)

绪 论

一、什么是物理学

物理学是探讨物质结构和运动基本规律的学科,与其它学科相比,物理学更着重于对物质世界普遍而基本规律的追求。

在宇宙中,存在着各式各样的物质,从遥远的星系到充满全部空间的微波背景辐射都是物质。物质是间断的,又是连续的,物体是物质,从总质量为 10^{53} kg 的已观测的宇宙、质量为 2×10^{30} kg 的太阳,到质量为 10^{-31} kg 的电子都是物质,物体与物体之间常隔一定距离,这表明了物质的间断性。但物体和物体之间又存在相互作用,而相互作用又必然要通过媒质的传递才能实现。传递相互作用的媒质称为场,例如传递引力的媒质称为引力场,传递电磁相互作用的媒质称为电磁场,微波背景辐射也是一种电磁场,场也是物质。间断的物体和其周围总存在传递相互作用的场,构成了物质的间断性和连续性的统一。实物和场是物质存在的形式。

二、物质结构及其相互作用

由大量分子组成的物体称为宏观物体。宏观物体间的相互作用,一般由引力场传递。如果它们带电,其间的相互作用还由电磁场传递。分子由原子组成,原子又由原子核和绕核运动的电子所组成。分子和原子间相互作用,以及原子内原子核和电子之间的相互作用,主要是由电磁场传递的。原子核由带正电的质子和不带电的中子所组成,除电子、质子和中子外,近代物理学还发现了正电子、中微子、介子,以及各种超子和重介子等几百种粒子。所有这些比原子更小和更基本的微观粒子,都称为基本粒子。基本粒子之间除存在着引力和电磁相互作用外,一般还存在两种相互作用:一种是强相互作用,它只存在于称为强子的质子、中子以及各种介子之间;另一种是基本粒子间普遍存在的弱相互作用。到目前为止,只发现这四种基本相互作用。宇宙中所有已知的力都是以这四种相互作用为基础的。

基本粒子都有自己的反粒子,当粒子和反粒子相遇时,一般都要发生湮灭而转变为其它粒子。

基本粒子一般都是由更小和更基本的粒子所组成,如质子、中子和各种超子一般公认为由名叫夸克(或层子)的粒子所组成。

按照近代的观点,场也具有量子性,传递四种基本相互作用的场也是由称为场量子的媒介子组成的。传递引力相互作用的是引力子,传递电磁相互作用的是光子,传递弱相互作用的是中间玻色子,传递强相互作用的是胶子。

三、物质与运动

运动是物质的固有属性,在自然界里,没有不运动的物质,也没有脱离物质的运动。物理学研究的物质运动形式是最基本的最普遍的,它渗透在自然科学的一切领域,应用于生产技

术的各个部门,它是研究宇观、宏观和微观等不同层次物体的各种复杂和高级运动形式的基础。

物质是不能被创造又不能被消灭的,那么作为物质固有属性的运动,自然也不能被创造和消灭,它只能从一种运动形式转变为另一种或多种运动形式,运动的转化只能在一定条件下进行.物理学的中心任务之一就是寻找或发现这种运动转化的规律和条件。

四、物理规律和物理学方法

我们周围的大自然,千变万化,丰富多彩.但它绝不是杂乱无章,无规律可循,而是严格地受着某些隐藏在变化中的不变性的制约.观察和实验是物理学研究自然奥秘的基础.物理学家根据观察和实验的资料,找出现象间的联系和规律,提出命题、模型、假说,预言新的理论,并指导新的实验,经过不断反复、修正,最终建立起能经得起实践检验的理论.物理学建立的模型或理论,并不断言自然界是什么,而只是对自然界的一种说明.由于观察和实验的局限性,以及实验本身不可能有无限的精度,使得物理定律和理论往往有一定的适用范围和条件。

在探索自然奥秘的征途中,一些伟大的物理学家,洞察到自然的简洁、和谐、对称和统一,并以此来指导他们的科学实验和对理论的探索,对物理学的发展作出了巨大的贡献.在近代物理学的发展中,这样的例子就更多了.20世纪60年代提出的弱电统一理论,在20世纪80年代得到了实验的证实;夸克理论将所有强子结构统一起来;当前关于宇宙起源的大爆炸学说以及大统一理论,正在试图把微观理论与大尺度的宇宙学统一起来.可见,简洁、和谐、对称和统一的信念,对物理理论的建立和物理定律的发现,以及物理学本身理论的一起着难以估量的作用,并为物理学的未来展示了一幅美妙的前景。

五、怎样学习物理学

著名物理学家,诺贝尔奖获得者理查得·费曼说:“科学是一种方法,它教导人们:一些事物是怎样被了解的,什么事情是已知的,现在了解到什么程度,如何对待疑问和不确定性,证据服从什么法则,如何去思考事物,作出判断,如何区别真伪和表面现象”.学习物理学,不能仅仅掌握一些知识、定律和公式,更不要把自己的注意力只集中在解题上,而应在学习过程中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,以及其历史、现状和前沿等方面,从整体上有个全面的了解。

学好物理学,关键是勤于思考,悟物穷理。

勤于思考,就要对新的概念、定义、公式中的符号和公式本身的含义,用自己的语言陈述出来.对于定理的证明、公式的推导,最好在了解了基本思路之后,自己背着书本把它们演算出来.这样才能对它们成立的条件、关键步骤、推演的技巧有深刻的理解。

悟物穷理,就要多向自己提问:哪些是事实?哪些是推论?推论是怎样得来的?我为什么相信它?……问题可以正面提,也可以反向提.譬如,已知物体所受力,可以求它的运动;知道了它的运动,反过来问它受了什么样的力。

勤于思考,悟物穷理,就要对问题建立自己的物理图像.学习物理,不做习题是不行的,但做习题不在于多,而在于精.习题做完了,自己从物理上应想一想,答案的数量级是否对头?所反映的物理过程是否合理?能否从别的角度判断自己的答案是否正确?

我们应该力争做到,习题要么做不出来,做出来就有充分的理由相信它是对的,即使它和书上给的答案不一样.老师说你错了,你在未被说服之前敢于和老师争辩.好的老师最欣赏的是能指出自己错误的学生.如果最后证明是你自己错了,也错个明白.

正是:书山有路勤为径,学海无涯悟作舟.

第一章 质点的运动规律

本章包括两部分内容:运动学和动力学.

运动学的主要任务是解决运动的描述问题,对速度和加速度两个概念应着重理解.从研究的具体问题看可分为两类,一类是已知质点的运动方程,求解速度和加速度;另一类是已知质点的加速度和初始条件,求速度及运动方程.动力学的主要任务则要揭示运动变化与外界作用的联系,这一联系就是牛顿定律.

§ 1.1 机械运动的一般概念

自然界发生的一切过程,无论是物理的、化学的或生物的,都能追溯到物质的运动.在各种形态的物质运动中,最简单的一种是物体位置随时间的变动.宏观物体之间(或物体内部各部分之间)的相对位置变动,例如交通工具的行驶、大气和河水的流动、天体的运行等,称为机械运动.力学就是研究机械运动规律的学科.

经验告诉我们,物体的运动常受到周围其它物体的影响.寻求物体在其它物体作用下运动的规律,是物理学研究的根本任务之一.物理学的发展就是从研究宏观物体的运动规律开始的,伽利略和牛顿总结了这方面的研究成果,建立了以牛顿运动定律为基础的经典力学.

物理学的近代发展表明,处于不同层次运动状态的物体,运动规律并不完全相同.在分子、原子内部以及更深层次的微观世界里,微观粒子的运动规律与宏观物体有显著差异,它们遵循量子力学规律.还有,当物体速率很大,以致可与光速相比较时,其运动规律也和低速状态时不同,这时运动遵从相对论力学的规律.

但是,量子力学和相对论力学并没有把经典力学“推翻”,它们只是限制了经典力学的应用范围.直到今天经典力学仍然是整个物理学的基石,这不仅因为在相当广阔的尺度范围内和速率范围内,经典力学是高度准确的,具有极大的实用价值,而且因为经典力学发展起来的一些重要的物理概念和定律,像动量、能量、角动量及其守恒定律等,也适用于包括微观在内的整个物理学,并已成为认识和探索自然规律极重要的理论基础.所以只有对经典力学有较深的理解,才有可能掌握和研究物理学的其它领域,也才有可能对整个物理学有较全面的认识.

一、质点

在物理学中,为了突出研究对象的主要性质,暂不考虑一些次要因素,常引入一些理想模型来代替实际的物体.质点就是一个理想化的模型.

在研究机械运动时,物体形状和大小是千差万别的.对有些场合(如落体受到空气的阻力问题),物体的形状和大小是重要的;但在很多问题中,这些差别对物体运动影响不大,若不涉及物体的转动和形变,我们可暂不考虑它们的形状和大小,把它当作一个具有质量的点

(即质点)来处理.例如,人们常把单摆的摆球,在电场中运动的带电粒子等当作质点.又如,同样是地球,在研究它绕日公转时,可将它看作质点;在研究它的自转问题时,就不能把它当作质点处理了.此外,当我们研究一些比较复杂的物体(如刚体,流体)运动时,虽然不能把整个物体看成质点,但在处理方法上可把复杂物体看成质点的集合,在解决质点运动问题的基础上来研究这些复杂物体的运动.

二、参照系和坐标系

我们知道,运动是普遍的、绝对的,而对运动的描述是相对的.所谓质点在空间的位置,都是相对于某个参照物体而言的.为描述质点运动而选定的参照物体,称为参照系.当选用不同的参照系时,对同一物体运动情况的描述不同.例如,站在运动着船上的人手中拿着一个物体,在同船的人看来它是不动的,但岸上的人看到它和船一起动,如果船上的人把手松开,在同船的人看到物体沿直线自由落下,而岸上的人却看到物体作平抛运动.所以,描述运动时,首先必须明确所用的参照系,参照系一般是根据问题的性质和研究的方便来选取的.例如研究地球的运动,可以选取太阳为参照系;研究汽车的运动,可选地面为参照系.

参照系选定后,为了定量地描述物体相对于参照系的位置,应在参照系上选一原点,并建立适当的坐标系.通常采用直角坐标系,有时根据需要也可以用其它坐标系,如球坐标系、自然坐标系等.坐标系实质上是由实物构成的参照系的数学抽象,在讨论运动的一般性问题时,人们往往给出坐标系而不必具体指明它所参照的物体.

三、时间和空间

研究物质运动,必然要涉及时间和空间两个概念.时间表征物质运动的持续性,通常利用能够重复的周期性现象来计量时间;空间反映物质运动的广延性,任何长度的计量都是通过与某一长度基准比较而进行的,因此空间和时间也是物理学研究的对象.人们对时空的认识是从量度开始的,随着科学的进步,经历了从牛顿的绝对时空观到爱因斯坦相对论时空观的转变,从时空的有限与无限的哲学思辩到可以用科学研究来探索的阶段.目前量度的时空范围,从宇宙范围的尺度 10^{27}m (约 200 亿光年)到微观粒子尺度 10^{-15}m ,从宇宙的年龄 10^{18}s (约 200 亿年)到微观粒子最短寿命 10^{-24}s .根据已知的物理理论,极限空间长度和时间间隔为普朗克长度 10^{-35}m 和普朗克时间 10^{-43}s ,也就是说,小于普朗克时空间隔时,现有的时空概念就不再适用了.

§ 1.2 描述质点运动的物理量

一、位置矢量 运动方程 轨迹

1. 位置矢量

要描述一质点的运动,首先应表示出它在空间的位置,为此,可在参照系上取固定点 o 为原点,质点 P 的位置可用由 o 点指向 P 点的有向线段 r 来表示, r 就叫做该点的位置矢量,简称位矢.在国际单位制(SI)中,位矢大小的单位为米(m).

今以 o 为原点建立一直角坐标系 $oxyz$,如图 1-1 所示,则位置矢量可用三个互相正交

的分量来表示.即

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

式中 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别表示沿 x 、 y 、 z 轴正向的单位矢量.位矢 $\mathbf{r}$ 的大小(即 $\mathbf{r}$ 的模)为

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-2a)$$

位矢 $\mathbf{r}$ 的方向,可由其方向余弦确定:

$$\left. \begin{aligned} \cos\alpha &= \frac{x}{r} \\ \cos\beta &= \frac{y}{r} \\ \cos\gamma &= \frac{z}{r} \end{aligned} \right\} \quad (1-2b)$$

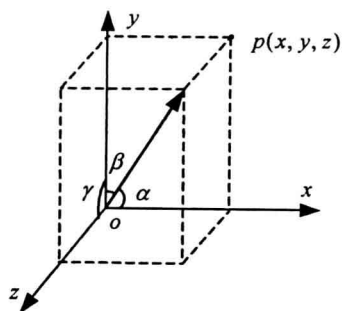


图 1-1 位置矢量

式中 α 、 β 、 γ 分别表示 $\mathbf{r}$ 与 x 、 y 、 z 轴正向之间的夹角(取小于 180° 值),它们满足以下关系

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$$

故三个方向余弦中只有两个是独立的.

值得指出,任一矢量都可以用式(1-2a)和(1-2b)类似地表示其大小和方向.

如果质点被限制在一平面内,例如在 xy 平面内运动,则位置矢量可表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$$

其大小为

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

方向由

$$\alpha = \arctg \frac{y}{x}$$

来确定,式中 α 表示位矢 $\mathbf{r}$ 与 x 轴正向夹角.

2. 运动方程

质点 P 运动时位矢 $\mathbf{r}$ 的大小和方向均随时间 t 而变化,因此可写成时间的函数式,即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-3a)$$

上式称为质点的运动方程.

在直角坐标系中,质点运动时,坐标 x 、 y 、 z 都是时间 t 的函数,可写为

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-3b)$$

方程组(1-3b)是质点运动方程(1-3a)在直角坐标系中的表示形式,于是运动方程又可写成

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-3c)$$

3. 轨迹方程

如图 1-2 所示,当质点 P 运动时位矢 $\mathbf{r}$ 连续地改变其大小和方向,其末端在空间描绘出一条连续曲线 AB ,称为质点运动的轨迹.从质点运动方程消去 t ,即可得到质点的轨迹方程,若轨迹是直线就称为直线运动;若轨迹为曲线,就称

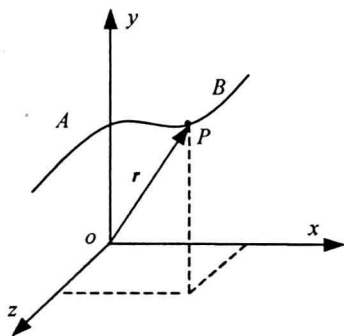


图 1-2 运动轨迹

为曲线运动.

二、位移矢量

位移矢量是描述质点位矢的改变的物理量,如图 1-3 所示,在 t 到 $t + \Delta t$ 内,质点的位置由 P 点移到 P' 点,其位置矢量由 $\mathbf{r}(t)$ 变为 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$,则矢量 $\mathbf{PP}' = \Delta \mathbf{r}$ 就表示在时间间隔 Δt 内质点位矢的改变量,称为质点的**位移矢量**(简称**位移**),用 $\Delta \mathbf{r}$ 表示.由图可见,位移矢量是由初位置 P 指向末位置 P' 的有向线段,它只与质点的始末位置有关,与始末两位置间质点的路径无关.由矢量加法得

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1-4a)$$

显然,在直角坐标系中上式可表示为

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r}(t) &= [x(t + \Delta t) - x(t)]\mathbf{i} + [y(t + \Delta t) - y(t)]\mathbf{j} + [z(t + \Delta t) - z(t)]\mathbf{k} \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-4b)$$

位移矢量的大小和方向,可参照式(1-2)类似地给出,在 SI 中,位移大小的单位为米(m).

应当注意,位移是描述质点位置变化的物理量,它只表示位置变化的实际效果,并非质点所经历的路程.路程是指轨迹的长度.

三、速度矢量

速度矢量是描述质点运动快慢程度和运动方向的物理量.

如图 1-3 所示,设在 Δt 时间内,质点的位移矢量为 $\mathbf{PP}' = \Delta \mathbf{r}$,则比值 $\Delta \mathbf{r}/\Delta t$ 表示质点在时间间隔 Δt 内位移矢量的平均变化率,称为质点在 Δt 内的**平均速度**,用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示,即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-5)$$

平均速度是矢量,其大小等于 $|\Delta \mathbf{r}|$ 与 Δt 的比值,方向与位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同.

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 的极限表示质点在时刻 t 运动的快慢和方向,称为质点的**瞬时速度矢量**(简称**速度**),以 $\mathbf{v}$ 表示,即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{\mathbf{v}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-6a)$$

可见,速度矢量等于质点的位置矢量 $\mathbf{r}(t)$ 对时间的一阶导数.

速度的方向由位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向来确定,显然是质点所在点轨迹的切线方向,并指向质点前进的一方,图 1-3 表示出 P 、 P' 点的速度方向.

在直角坐标系中,速度矢量可写成

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}) \\ &= \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-6b)$$

将速度 $\mathbf{v}$ 沿 x 、 y 、 z 轴的三个分量分别记为 v_x 、 v_y 、 v_z ,则有

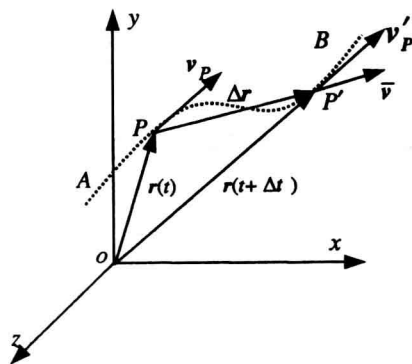


图 1-3 位移和速度

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt} \\ v_y &= \frac{dy}{dt} \\ v_z &= \frac{dz}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-6c)$$

即速度在直角坐标系中的三个分量分别等于相应坐标对时间的一阶导数。

速度 $\mathbf{v}$ 的大小即 v 的模为

$$|\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-7)$$

速度矢量的方向余弦可类似由式(1-2b)确定。

描述质点的运动,有时也采用“速率”这个概念。路程 Δs 和时间间隔 Δt 的比值 $\Delta s/\Delta t$ 称为质点在 Δt 内的平均速率。

可见,平均速率是标量,它等于质点在单位时间内所通过的路程,因此平均速率和平均速度是两个不同的概念。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速率的极限称为质点的瞬时速率(简称速率),用字母 v 表示,可写为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-8a)$$

瞬时速率是标量,它与瞬时速度矢量不同,但在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情形下,因路程 Δs 和位移大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 相等,所以瞬时速度的模和瞬时速率相等,即

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{|\frac{d\mathbf{r}}{dt}|}{dt} = |\mathbf{v}|$$

在 SI 中,速度的大小和速率的单位同为米/秒($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

四、加速度矢量

速度是矢量,若其大小、方向或两者都发生变化,速度就发生变化,加速度矢量就是描述速度矢量改变的快慢程度的物理量。

如图 1-4 所示,设在 Δt 时间内,质点由 P 点运动到 P' 点时速度由 $\mathbf{v}$ 变为 $\mathbf{v}'$,则速度增量为

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}' - \mathbf{v}$$

比值 $\Delta \mathbf{v} / \Delta t$ 表示质点在 Δt 内速度矢量的平均变化率,称为平均加速度矢量,用 $\bar{\mathbf{a}}$ 表示,即

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

$\bar{\mathbf{a}}$ 的大小等于 $|\Delta \mathbf{v}|$ 与 Δt 的比值,方向就是速度增量 $\Delta \mathbf{v}$ 方向。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\Delta \mathbf{v} / \Delta t$ 的极限表示 t 时刻质点速度矢量的瞬时变化情况,称为质点在 t 时刻的瞬时加速度(简称加速度),以 $\mathbf{a}$ 表示,即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-9a)$$

由此可知,加速度等于质点速度对时间的一阶导数, $\mathbf{a}$ 的方向与 $\Delta \mathbf{v}$ 的极限方向相同,在曲

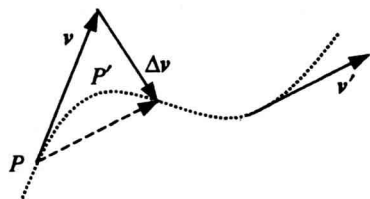


图 1-4 加速度