



21 世纪高等教育系列规划教材
21SHIJI GAODENG JIAOYU XILIEGUIHUA JIAOCAI

大学物理

COLLEGE PHYSICS

主编 范中和 王晋国

上册



西北大学出版社
NORTHWEST UNIVERSITY PRESS

21 世纪高等教育系列规划教材

大学物理

上册

主 编 范中和 王晋国
副主编 翟学军 吕 茂
张清华

西北大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理.上册/范中和,王晋国主编.—西安:西北大学出版社,
2005.9

ISBN 7-5604-2033-8

I. 大... II. ①范... ②王... III. 物理学—高等学校—教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 118570 号

书 名	大学物理 上册
主 编	范中和 王晋国
出版发行	西北大学出版社
通信地址	西安市太白北路 229 号 邮编 710069 电话 (029) 88302590
经 销	新华书店经销
印 刷	陕西向阳印务有限公司
开 本	787mm×960mm 1/16
印 张	20.75
字 数	348 千字
版 次	2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-5604-2033-8/O·124
定 价	24.00 元

大学物理是工科大学生必修的一门重要基础课. 大学物理教学的宗旨, 一方面为后续课程及以后的再学习打下必要的物理基础, 另一方面也使学生受到良好的物理学思想和物理学方法的培养训练.

时至今日, 爆炸式的知识信息增长, 使知识更新的周期不断缩短. 大学扩招, 变原来的“精英教育”为“大众教育”, 引起生源的改变. 同时, 各学校又不同程度地压缩了大学物理课程的学时. 为了适应这种变化, 我们编写出版了这套《大学物理》教材.

本书从新时期工科应用型人才培养的需求出发, 立足于实用性、时代性、普适性. 其主要特色是:

1. 取材立足于“精”和“反映现代”. 用现代观念审视传统物理内容, 在保证达到普通高等工科院校本科大学物理课程基本要求的基础上, 加强了近代物理的分量, 增加了反映物理学前沿进展的内容.

2. 在内容组织和教材结构上, 从大学生的认知特点、教学规律、物理知识体系出发, 强调物理知识的系统性、整体性, 强调各部分知识间的相互联系.

3. 近代物理学的许多新进展是与普通物理课程的内容相关联的. 在讲述近代物理知识及物理学新进展时, 强调物理学新进展与经典物理或原有知识的联系.

4. 结合工科特点和现代技术发展的实际, 选编了一定数量的反映新技术或联系工程实际的问题.

本书上册的主编是范中和教授、王晋国副教授,下册主编是范中和教授、徐军教授,上下册副主编是翟学军、吕茂、张清华。参加本书编写的人员有:陕西师范大学的范中和、李树华、卢永智、隋峰,长安大学的王晋国、王明祥、杨富社,西安工程科技学院的张英堂、翟学军、刘汉臣、于长丰,西安工业学院的房鸿、吕茂,第二炮兵工程学院的徐军、张清华、罗积军、师琳、侯素霞,西安石油大学的罗俊。本书编写大纲初稿由范中和教授拟订,经编写组会议讨论修改并最终确定。初稿完成后由范中和教授、徐军教授、王晋国副教授统稿。

本书在编写过程中,西北大学出版社李保宁同志给予了大力协助,在此表示诚挚的谢意。由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有不足和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 9 月

绪 论

物理学是一门基础科学,它研究组成自然界物质的物理性质、相互作用及运动规律.物理学领域所涉及的(空间)尺度,从最小的粒子的半径 10^{-16}m ,直到目前可探测到的最远的类星体(quasar)的距离 10^{26}m ,跨越了 32 个数量级.物理学研究如此宽广范围的物理现象,发明为观测自然界所需要的更为有效的实验工具,创立使我们能够解释已经观测到的物理现象的理论.

按照物理学发展的历史过程,可将其分为经典物理学和近代物理学.近代物理学是相对于经典物理学而言的,泛指以相对论和量子论为基础从 20 世纪初开始发展起来的物理学.

一、物理学是现代技术的先导

物理学的发展为技术进步不断开辟出新的方向,导致了一系列现代高新技术的产生.信息技术、新材料技术、新光源技术、新能源技术、空间技术、分子工程技术、遗传工程技术等等的形成与发展,都在不同程度上与现代物理学息息相关.

能源的获取和利用是现代技术的基础,20 世纪物理学家的一项重大贡献就在于核能的利用.如果没有 1909 年卢瑟福的粒子散射实验,就不可能有 40 年代以后核能的利用.1905 年爱因斯坦质能关系式的提出,确立了核能利用的理论基础.物理学家 1932 年发现中子,1939 年发现在中子引起铀核裂变时可释放能量,同时有更多的中子发射,于是提出利用“链式反应”来获得原子能.40 年代,根据重核裂变能量释放的原理,建立了原子反应堆,使核裂变能的利用成为现实.50 年代,根据轻核在聚变时能量释放的原理,设计了受控核聚变反应堆.聚变能不仅丰富,而且安全清洁.可控热核聚变能的研究将成为解决 21 世纪能源问题的有效途径.

激光是 20 世纪 60 年代初出现的一门新兴技术.如果没有 1917 年爱因斯坦提出的受激辐射理论,就不可能有 1960 年第一台激光器的诞生.1917 年爱因斯坦提出了受激辐射概念,指出受激辐射产生的光子具有频率、相位、偏振态以及传播方向都相同的特点,而且受激辐射的光获得了光的放大.他又指出实现光放大的主要条件是使高能态的原子数大于低能态的原子数,形成粒子数的反转分布,从而为激光的诞生奠定了理论基础.50 年代在电气工程师和物理学家研究无线电微波段问题时

产生了量子电子学. 1958 年汤斯等人提出把量子放大技术用于毫米波、红外以及可见光波段的可能性, 从而建立起激光的概念. 1960 年美国梅曼研制出世界上第一台激光器. 经过 40 年的努力, 激光器件已发展到相当的水平, 激光成功地渗透到近代科学技术的各个领域. 利用激光高亮度、单色性好、相干性好的特点, 在材料加工、精密测量、通信、医疗、全息照相、产品检测、同位素分离、激光武器、受控热核聚变等方面都获得了广泛的应用.

电子技术是发展最快的高技术. 1947 年贝尔实验室的巴丁、布拉顿和肖克莱发明了第一只晶体管, 标志着信息时代的开始. 1962 年发明了集成电路, 20 世纪 70 年代后期出现了大规模集成电路. 从 1950 年至 1980 年的 30 年中, 依靠物理知识的深化和工艺技术的进步, 使晶体管的图形尺寸(线宽)缩小了 1000 倍. 殊不知, 在此之前至少还有 20 年的“史前期”, 其中包括量子力学理论的建立, 费米-狄拉克统计法、能带理论、“空穴”概念等, 在物理学中为孕育晶体管的诞生做出了大量的理论和实验上的准备. 今天的超大规模集成电路芯片上, 在一根头发丝粗细的横截面积上, 可以制备 40 个左右的晶体管. 微电子技术的迅速发展使得信息处理能力和电子计算机容量不断增长. 40 年代建成的第一台大型电子计算机, 自重达 30t, 耗电 200kW, 占地面积 150m², 运算速度为每秒几千次, 而在今天一台笔记本电脑的性能已经超过了它. 新一代光计算机的研究和开发, 已成为 21 世纪国际高科技竞争的又一热点.

物理学为现代技术提供了理论依据, 当然, 反过来技术的发展与促进生产力提高的要求, 也有力地推动了物理学研究的发展. 科学技术化与技术科学化已成为一个内在的演化过程, 现代物理学与一系列高新技术的关系已密不可分.

二、物理学对社会的影响

物理学研究的规律具有很大的基本性和普遍性, 它的新概念、新理论、新思想、新方法已经广泛应用于科学技术的各个领域, 并发挥了重要作用. 物理学的一些新概念(比如场、熵等), 甚至也为社会科学所引用, 并产生了一定影响.

物理学的发展成为科学技术和社会进步的巨大推动力. 物理学的发展和技术的进步, 深刻地改变了人类的物质生产和精神生活. 1999 年在亚特兰大召开的第 23 届国际纯粹物理与应用物理联合会(IUPAP)代表大会通过的决议《物理学对社会的重要性》指出: “物理学——研究物质、能量和它们的相互作用的学科, 是一项国际事业, 它对人类未来的进步起着关键的作用. 对物理教育的支持和研究, 在所有国家都是重要的, 这是因为:

(1)物理学是一项激动人心的智力探险活动,它鼓舞着年轻人,并扩展着我们关于大自然知识的疆界。

(2)物理学发展着未来技术进步所需要的基本知识,而技术进步将持续驱动着世界经济发动机的运转。

(3)物理学有助于技术的基本建设,它为科学进步和发明的利用,提供所需要的训练有素的人才。

(4)物理学在培养化学家、工程师、计算机科学家,以及其他物理科学和生物医学科学工作者的教育中,是一个重要组成部分。

(5)物理学扩展和提高我们对其他学科的理解,诸如地球科学、农业科学、化学、生物学、环境科学以及天文学和宇宙学,这些学科对世界上所有民族都是至关重要的。

(6)物理学提供发展应用于医学的新设备和新技术所需要的基本知识,如计算机层析术(CT)、磁共振成像、正电子发射层析术、超声波成像和激光手术等,改善了我们的生活质量。

综上所述,鉴于以上各项理由,物理学是教育体制和每个进步社会的一个重要组成部分。”

三、物理学是科学的世界观和方法论的基础

物理学理论的形成和发展,是科学的思想与科学的方法论相结合的结果.在教学中充分利用物理学科的这一特点,把培养学生的人生观、世界观融会到教学中去,对于一个大学生素质的提高往往是更有价值的东西。

物理学描绘了物质世界的一幅完整的图像,它揭示出各种运动形态的相互联系与相互转化,充分体现了世界的物质性与物质世界的统一性.19世纪中期发现的能量守恒定律,被恩格斯称为“伟大的运动基本定律”,它是19世纪自然科学的三大发现之一及唯物辩证法的自然科学基础.实验物理学家法拉第深受哲学家康德和谢林哲学思想的影响,通过大量的、内容十分广泛的实验研究,造就了他深邃的洞察力、丰富的直觉和巧妙的物理构思,他执著地寻找电与磁的统一,并试图描绘出一幅统一的物理世界图画.法拉第的一生,是在自然力统一思想指引下探索自然奥秘的一生.爱因斯坦是20世纪最著名的物理学家,在他整个的科学探索过程中,除了追求真理的精神和善于运用思维的洞察力揭示事物的本质外,还坚持了自然科学的唯物主义传统.表现在他的认识论和自然观上,他坚持以实验事实为出发点,反对从先验的概念出发.他指出牛顿的绝对时间概念之所以错误,就在于他不是以实验事实来

定义,不能被观察到.爱因斯坦和法拉第一样,都对自然界各种相互作用的统一怀有坚定的信念,并始终不渝地为证实各种现象之间的普遍联系而努力.

在物理学发展的进程中,每一个新的物理概念和物理规律的确立都是人类认识上的一次飞跃和对陈旧观念、意识的一次冲击,都是对陈旧传统观念束缚的突破.例如,普朗克突破了传统的“能量连续变化”的观念,提出“能量子”假说;爱因斯坦突破牛顿的绝对时空观的束缚,建立了相对论.正确的科学世界观的确立,对于科学或对于物理学的发展都具有重要的意义.同样,一项物理学重大的科学发现往往也直接改变着人们的世界观.

物理学是理论与实验相结合的科学.物理学中很多重大的发现,重要原理的提出和发展都体现了实验与理论的辩证关系.许多物理学的假说来源于原有理论无法解释的实验,而进一步的实验又是对假说的验证和检验.同时理论对实验又有重要的指导作用,最终成为人们对客观世界、科学规律的正确认识,形成正确的物理学理论.

物理学的新进展,改变着人们对世界的看法,对习俗、宗教、社会学、人文学也产生了重大的冲击.物理学关于宇宙的产生和发展的理论,改变着人们的宇宙观和世界观,物理学信息熵的发展直接影响着社会科学、信息学的发展.物理学对时间、空间的进一步认识,自然会改变人们最基本的认识论,在哲学领域产生最深刻的改变.

物理学理论的形成,是科学思想和科学方法相结合的结果.物理学中的方法论是多方面的,而且针对不同的物理过程也有所不同.其中主要的有:分析—综合法,归纳—演绎法,理想模型方法,理想实验方法,应用独立性原理进行分解与合成的方法,由物理学最基本的原理推导出具体物理学科的规律的方法,物理规律由假说到定律的形成方法,物理类比方法,对称性分析方法,统计方法等等.

理解和掌握物理学思想和物理学方法,不仅对我们认识和研究自然界发生的物理现象和存在于其中的物理学普遍规律,而且对物理学习以及从事物理学研究、解决实际物理问题,都是十分有益的.

四、怎样学习物理学

信息技术全面进入人们的生活,开始改变着我们所熟悉的世界.新技术和新发明的大量涌现所带来的“知识爆炸”,以及知识更新周期的不断缩短,促使人们为了生存而必须“终身学习”,以便不断更新自己的知识来适应社会的激烈变化和竞争.具备终身学习的愿望和能力远比掌握知识更重要.

物理学习,从根本上来讲是一种认知过程,是学生的物理认知结构发生变化的过

程.学习成绩的高低,学习效果的优劣,在很大程度上是由学习方法决定的.因此,在物理学习过程中,掌握科学的学习方法和培养、形成科学的学习能力就具有重要的现实意义.

学习基础理论,关键在于掌握基本概念.概念是反映客观事物本质的一种抽象,是在大量观察的基础上,运用逻辑思维的方法,把一些事物本质的、共性的特征集中起来加以概括而形成的.任何一门学科,如果没有一些概念作为出发点,就不可能揭示这门学科的客观规律,也就不可能使其在实践中加以应用.

物理学是概念性很强的一门自然科学.基本概念是物理学一切逻辑系统中不可再分解的逻辑元素,对每一个基本概念都应明确:(1)问题是怎样提出来的?为什么要引入这一概念?根据哪些事实,或哪些已知的理论,是怎样进行分析、综合、概括的?(2)概念是怎样定义的?如果它是一个物理量,其量值和单位如何?此概念的物理意义是什么?其适用的条件和范围是什么?(3)这一概念与其他物理量有什么联系?用它可以说明、解释哪些现象,可以解决些什么问题?分析和解决问题的思路和方法是怎样的?

基本理论是物理学的核心内容.大学物理学中的基本理论不少是以定律、原理或定理的形式表述出来的,它反映了概念之间的联系和制约关系.基本理论有些是从观察实验中发现的,有些是从逻辑推理中得到的.对此,应做到:(1)理解基本理论所反映的物理实质,掌握基本理论的文字陈述.(2)掌握定律和定理的数学表达式.物理学的定律和定理常常有相应的数学表达式,对数学表达式,应与相应的文字陈述对照起来进行理解,并能够进行相互转译.(3)掌握基本理论适用的范围和条件.由于人类认识的局限性,加之事物本身还在不断发展,因此,任何物理定律、原理和定理都有限定的范围.不掌握这一点,就会在应用中出现错误.(4)了解基本理论在物理学中的主要应用.

作业训练是物理学习中必不可少的重要环节.做习题的目的是巩固、深化和灵活运用所学的知识,从而提高分析问题和解决问题的能力.每做一道习题都应讲清解题的原理、依据、思路和方法.用几种不同的方法去求解同一道题目是一种行之有效的训练.每一个物理现象常常都与外界有各种不同的联系,一种解题方法就是利用这一现象与外界的某一种或几种联系.用几种不同的方法处理同一问题,可以从各个不同的侧面去认识同一物理现象,从而对物理现象的规律有比较全面和深刻的理解.做习题不要仅以标准答案为目标,力图消除“凡是题目都有现成答案”的观念.如果能在现有题目的基础上进行比较深入的研究,比如探讨题解的多种可能,质

疑题设条件的合理性、科学性,对原题目进行修正、修改、扩大等等,更有助于学生能力的提高。

在学习物理学的过程中,不少学生常常只注意书本知识本身,而忽略智力训练的要求。那么,与大学物理学课程相联系的智力训练有哪些呢?我们认为大致有以下几种:观察实验能力,抽象思维能力,逻辑推理能力,空间知觉能力,揭示数与数或符号与符号之间关系的能力,揭示习题中隐蔽的函数关系的能力,归纳能力,运算和演绎能力,应用科学技术术语进行表达的能力,创造能力等。在学习知识的过程中,有意识地提高自己这些方面的能力,不仅是大学物理课程本身的要求,也是学习其他后继课程所必须具备的。

变“被动接受”为“主动探究”,是学习理念、策略和方法的一个大变革。其宗旨是培养学生勇于探究的意识和善于创新实践的能力。

物理学理论的形成过程离不开科学的探究思想的指导和科学的探究方法的应用。系统地掌握物理学理论的同时,更应学习物理学家对未知领域孜孜不倦的探究精神和理论形成过程的科学方法。了解一个物理学定律的发现和完善的过程,比物理学的结论本身更为重要,因为正是这样的过程充满了探究、发现、揭示、归纳、总结的思想和方法。这对于一个大学生逐渐形成实事求是的科学态度、敢于创新的探索精神和科学的探究能力,往往是更有价值的东西。

在学习过程中要敢于发现问题、提出问题。爱因斯坦曾说:“提出一个问题往往比解决一个问题更重要,因为解决一个问题也许仅是一个数学上或实验上的技能而已,而提出新的问题,新的可能性,从新的角度去看问题,都需要有创造性的想象力,而且标志着科学的真正进步。”他还说:“发展独立思考和独立判断的一般能力,应当始终放在首位。如果一个人掌握了学科的基础理论,并且学会了独立思考和工作,他必定会找到自己的道路,而且比起那种主要以获得细节知识为其培训内容的人来,他一定会更好地适应进步和变化。”这段话,一方面说明了知识与能力的密切联系,同时更强调了能力的重要性。

同学们,青年是科学新发现的主力,不要迷信权威,应该像牛顿那样,努力“站在巨人的肩上”,让青春发出光辉。

目 录

绪论	/1
第 1 章 质点运动学	/1
§ 1.1 参考系 质点	/1
§ 1.2 质点运动的描述	/2
§ 1.3 质点运动学的两类问题	/9
§ 1.4 圆周运动	/14
§ 1.5 相对运动	/18
思考题	/21
习题	/22
第 2 章 牛顿定律及其内在随机性	/26
§ 2.1 牛顿定律及其应用	/26
§ 2.2 物理量的单位和量纲	/37
§ 2.3 惯性系与非惯性系	/40
§ 2.4 混沌与牛顿定律的内在随机性	/46
§ 2.5 混沌的演化途径及混沌现象的本质	/51
思考题	/56
习题	/58
第 3 章 动量守恒定律和机械能守恒定律	/60
§ 3.1 质点的动量定理	/60
§ 3.2 动量守恒定律	/64
§ 3.3 动能定理	/69
§ 3.4 势能	/72

§ 3.5 机械能守恒定律	/80
§ 3.6 碰撞	/84
思考题	/86
习题	/88
第 4 章 刚体的转动	/92
§ 4.1 刚体的定轴转动	/92
§ 4.2 转动定律	/97
§ 4.3 定轴转动中的功能关系	/105
§ 4.4 角动量守恒定律	/109
§ 4.5 进动	/118
思考题	/120
习题	/121
第 5 章 机械振动	/126
§ 5.1 简谐振动	/126
§ 5.2 简谐振动的能量	/133
§ 5.3 简谐振动的旋转矢量表示法	/136
§ 5.4 简谐振动的合成	/138
§ 5.5 阻尼振动	/145
§ 5.6 受迫振动 共振	/147
思考题	/151
习题	/152

目 录

第 6 章 机械波	/156
§ 6.1 机械波的产生和传播	/156
§ 6.2 平面简谐波的波函数	/160
§ 6.3 波的能量	/166
§ 6.4 惠更斯原理	/171
§ 6.5 波的干涉	/174
§ 6.6 驻波	/178
§ 6.7 声波	/185
§ 6.8 多普勒效应	/187
思考题	/192
习题	/193
第 7 章 气体动理论	/196
§ 7.1 气体分子热运动的规律	/196
§ 7.2 平衡态及理想气体的状态方程	/198
§ 7.3 理想气体的压强和温度的统计意义	/201
§ 7.4 麦克斯韦速率分布律	/205
§ 7.5 玻耳兹曼分布律	/212
§ 7.6 能量均分定理	/214
§ 7.7 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	/218
思考题	/221
习题	/222

第 8 章 热力学第一定律及其应用	/227
§ 8.1 热力学第一定律	/227
§ 8.2 理想气体的等值过程	/232
§ 8.3 绝热过程	/236
§ 8.4 循环过程	/243
思考题	/250
习题	/251
第 9 章 不可逆过程与熵	/256
§ 9.1 热力学第二定律与时间箭头	/256
§ 9.2 熵概念的引入	/263
§ 9.3 熵增加原理	/272
§ 9.4 熵与热力学概率	/279
§ 9.5 熵与信息	/285
思考题	/292
习题	/294
附录 1 矢量	/297
附录 2 物理学常量	/306
习题答案	/308

第1章 质点运动学

自然界中,物质的运动形式是多种多样的,最简单而又最基本的运动是物体之间相对位置的变化,这种运动称为机械运动.江河湖海的奔流,宇宙飞船的航行,机器的运转等,都是机械运动.力学就是研究机械运动规律的科学.力学通常分为运动学和动力学两部分.运动学描述运动物体的位置随着时间的移动而发生的变化,动力学解释物体为什么运动.本章讨论运动学,即对质点的运动位置、运动快慢、运动方向以及它们随时间的变化作出描述,下一章讨论动力学.

§ 1.1 参考系 质点

一、参考系

日常生活中,当我们说某一物体是运动还是静止的时候实际上都隐含一个作为参考的物体,即地面,我们说物体处于运动状态以及运动的快慢和运动的方向实际上都是相对于地面来说的.这一事实说明,我们描述物体的运动必须选择一个参考物体,描述的结果都是相对于该物体的,脱离参考物体说物体是运动还是静止是没有任何意义的.

物理学中,我们把为描述物体的运动而选择作为参考的物体称为参考系.

描述物体运动的时候,必须选择一个参考系,并以参考系为标准,也就是将参考系当作“静止”的,来研究物体相对于参考系的运动.这样,对物体运动描述的结果都是相对于该参考系的结果,不指明参考系来描述物体的运动是没有任何意义的.运动学中参考系的选择是任意的,即对同一个物体,我们可以在不同的参考系中进行描述.一般来讲,不同的参考系对同一物体的运动的描述结果是不一样的.例如,描述月球的运动可以选择地球作为参考系,此时,月球的运动轨迹为一椭圆;此外,也可以选择太阳作为参考系,由于地球绕太阳的运动,此时,月球的运动轨迹不再是一椭圆.可以看到,说物体运动或静止以及物体是如何运动的都是相对于某一参考系的.

从数量上确定物体相对于参考系的位置,需要在参考系上选用一个固定的坐标系.最常用的坐标系是直角坐标系,根据需要也可以选择其他坐标系,比如极坐标系,球坐标系等.

二、质点

有了参考系和坐标系,就可以对物体的运动进行定量描述.但是,自然界中的实际物体,总是具有大小和形状,甚至大小和形状可能会产生变化,它们的运动表现出相当的复杂性,各部分的运动也会不一样,对它们的运动进行描述是相当困难的.在很多情况下,物体的大小和形状对物体的运动产生的影响很小,甚至可以忽略.此时我们就可以把物体的大小和形状忽略,将其简化为一个几何点,称为质点.此时,只需要描述一个点的运动,使问题得到极大的简化.

例如,研究月球绕地球的运动,由于月球本身的半径比月球到地球的距离小的多,月球的大小和形状并不起主要作用,这时月球的大小和形状可以忽略,可以把月球看成一个质点.

质点是一个理想化的物理模型,在自然界中并不存在.引入理想模型是物理学中的一种常用方法,原因在于自然界中所发生的各种现象都很复杂,各种因素很多,描述和研究这样的现象异常困难,因此我们通常将一些次要的因素去掉,保留主要的因素,建立一个模型,即理想模型.在理想模型中,由于只保留对这种现象起决定作用的因素,因此物理模型更能够反映现象的本质,同时又可以使问题得到简化.运动学中,引入质点,由于忽略物体的大小和形状,把物体看成一个几何点,描述一个点的运动容易得多,另一方面,对质点运动的描述也是描述复杂物体运动的基础.

§ 1.2 质点运动的描述

描述质点的运动,就是要描述质点的空间位置随时间变化的各种情况.通常用位置矢量、位移、速度、加速度等物理量来描述质点的运动.

一、位置矢量 运动方程 位移

1. 位置矢量

运动学中,为了描述质点的位置,需在参考系中固定一坐标系.下面以直角坐标