

绪 论

一、什么是物理学？

1995 年美国《今日物理》杂志曾经征求“什么是物理学”的定义，最推崇的答案是：“物理学家所做的就是物理学。”下面的两幅漫画也许可以作为这个答案的一个批注。

普通人眼中的自然界如图 1 所示：人们每天沐浴着温暖的阳光，呼吸着清新的空气，看到的是蓝天白云，白天与夜晚的交替，春夏秋冬的轮换，起伏叠嶂的山峦，或奔腾咆哮或平缓蜿蜒的河流，高耸入云的树木与森林，万紫千红的花草灌木，在天地间自由翱翔的飞鸟，不断繁衍生息各类动物。

而物理学家眼中的自然则如图 2 所示：地球在围绕着太阳不停地旋转；天空中充满了各种射线、电磁波，太阳正在进行着剧烈的热核反应，并向地球辐射着光能、热能与各种高能射线；飞鸟知道如何驾驭空气形成动力，以克服地球的引力；山川河流有着各自的运动变化规律；动物和植物不断地与空气发生着化学反应，动物吸入氧气，呼出二氧化碳，植物吸入二氧化碳，呼出氧气，这一切与构成自然界中生命体和无机体的原子、分子的量子运动密切相关等。

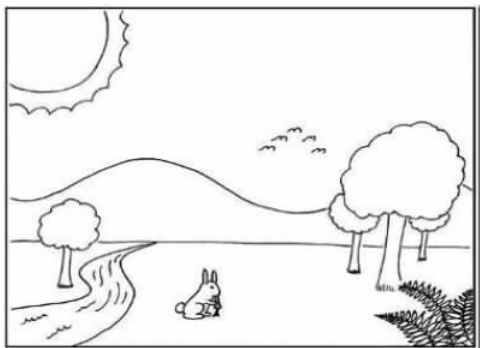


图 1

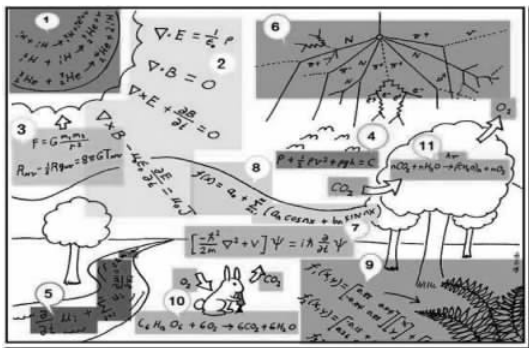


图 2

也就是说，物理学家更关心地球为什么会绕太阳转动？它们是如何相互作用的？太阳为什么能发光？构成太阳以及地球上的所有物质的基本单元是什么？电磁波为什么能从太阳辐射到地球？飞鸟是如何驾驭空气形成动力的？生命体是如何完成与自然界的能量交换进而维持自身活力的？高山能有多高？水为什么自西向东流？这些自然现象背后的本质是什么？遵从什么样的规律？植物的形态为什么总是枝枝杈杈？等等。我们所见的一切自然

现象表明物理现象无处不在,而物理学家所关注的是透过现象看本质,正是在这十万个为什么的不断追问和探索中,物理学逐渐成长为一门成熟的科学,并分化出粒子物理、原子核物理、原子分子物理、凝聚态物理、激光物理、半导体物理、等离子体物理、流体力学等名目繁多的新分支。又在与其他学科的交叉中生长出了天体物理、地球物理、化学物理、量子化学、生物物理、材料物理、非线性物理众多交叉学科。

所以,物理学是研究物质世界最基本的结构、最基本(普遍)的相互作用、最基本(一般)的运动规律的自然科学。物理学的实验手段、思维方式和研究方法可以迁移至一切科学和技术中,物理学也因此成为了科学技术的基础,并推动了人类的文明与进步。

二、物理学的学科特点

1. 当代物理学理论框架

物理学学科的理论框架是由以牛顿力学、麦克斯韦电磁学、经典统计物理和热力学为支柱的经典物理和以相对论、量子力学为支柱的现代物理构成的。如图3所示,虽然现代物理建立在经典物理之上,是更普遍、更高级的理论,也是现代科学和高新技术的基础,但对于宏观领域的多数研究对象而言,经典物理仍具有其独立存在的价值,而且无论是在科学观念上还是在研究方法上也在不断取得新的进展。

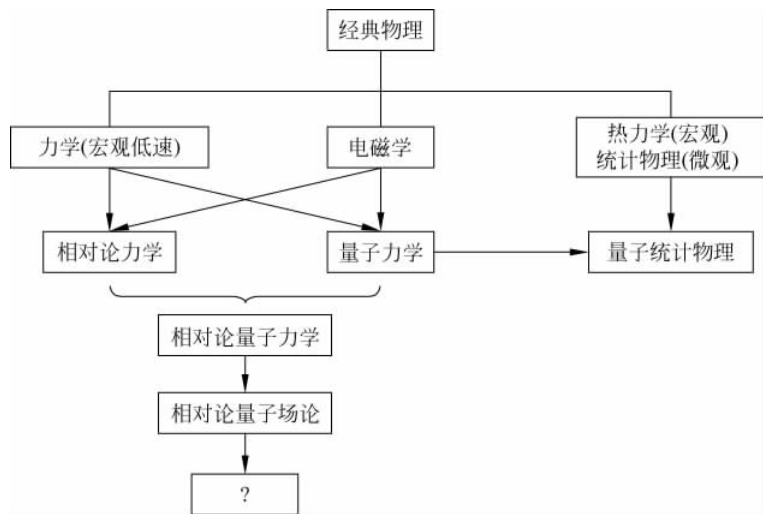


图3 经典物理结构框架

2. 基本相互作用趋向统一

物理学是在人类对自然奥秘的探索中产生和发展起来的。物理现象纷繁复杂,物质间的相互作用变化万千,哪些相互作用才是最基本的?我们能否用尽可能少的理论解释尽可能多的物理现象?物理学家一直在致力于探索物质相互作用的终极法则。目前,人类认识到的四种基本的相互作用是:引力相互作用、弱相互作用、电磁相互作用和强相互作用。

(1) 引力相互作用是物质间普遍存在的一种相互作用。其特征是力程长、强度小。引力相互作用在微观领域可以忽略,但在宇观领域却举足轻重。

(2) 弱相互作用是基本粒子之间的一种相互作用,其特征是力程短、相对强度弱。它制约着放射现象,在 β 衰变过程中起着重要作用。

(3) 电磁相互作用是带电粒子间的相互作用,其特征是力程长、在宏观和微观范围都起作用。电磁相互作用是四种相互作用中迄今被认识得最清楚的一种。

(4) 强相互作用是组成质子和中子的夸克之间的相互作用,其特征是强度大、力程短。是强相互作用将质子和中子束缚在一起形成原子核。

在物理学发展的历程中,经历了多次观念上的革命和理论上的统一。从托勒密的地心说到哥白尼的日心说,再到爱因斯坦的宇宙无中心说;从牛顿统一天上、地面的运动规律到麦克斯韦统一电学、磁学和光学,再到规范场弱电统一理论;从绝对时空观到狭义相对论时空观,再到广义相对论时空观;从经典物理的因果决定论到量子力学的统计决定论……。如图4所示,物理理论正在向着简单、统一的方向发展。

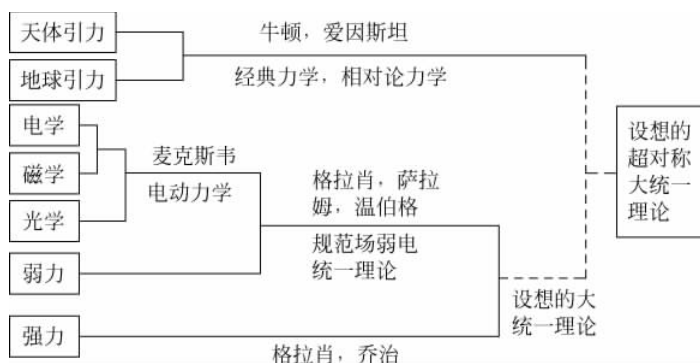


图4 理论物理发展

爱因斯坦相信:具有简单、和谐、统一特征的理论,其适用范围一定是最广泛的,也一定是接近自然界的基本设计的。一个好的物理理论应该有如图5所示的所有特征。

3. 物理学的观念性原理

从美学标准出发,物理学还形成了一些观念性原理。

(1) 对应原理:新理论要能够包容在一定条件下已经被证实的旧理论中,并在该条件下返回到旧理论。

(2) 互补原理:在物理理论中要将相互对立、相互排斥,而又相互渗透、相互补充的概念相结合,才能形成对自然的较为完备的描述。

(3) 对称性原理:原因中的对称性必然反映在结果中,即结果中的对称性至少有原因中那样多;结果中的不对称性必然在原因中有所反映,即原因中的不对称性至少有结果中的不对称性那样多;在不存在唯一性的情况下,原因中的对称性必会反映在全部可能结果的集合中,即全部可能结果的集合中的对称性至少有原因中的对称性那样多。诺贝尔物理学奖得主温伯格说过:“物理学在20世纪取得了令人惊讶的成功。它改变了我们对空间和时间、存在和认识的看法,也改变了我们描述



图5 理论特征

自然的基本语言。在 20 世纪行将结束之际,我们已拥有一个对宇宙的崭新看法。在这个新的宇宙观中,物质已失去了它原来的中心地位,取而代之的是自然界的对称性。”现代物理认为:对称性支配相互作用;守恒定律与对称性相联系;任何普遍有效的物理定律必须对于参考系保持形式不变;而自然界的丰富多彩则来自于对称性破缺。

4. 物理学与数学方程

图 2 中我们可以清楚地看到,物理学家对于自然的描述是用数学方程表达出来的。物理与数学有着不可分割的密切联系,牛顿的不朽著作《自然哲学的数学原理》的书名就已经画龙点睛般地表达出了物理与数学的关系。

物理学之所以能够认识并描述错综复杂的自然现象,是因为采用了建立模型这个行之有效的办法。模型方法就是将所研究问题中的次要因素忽略,抓住主要矛盾,使得问题得到简化。例如:力学中的质点、惯性系、刚体、弹簧振子等;热学中的理想气体、准静态过程;电磁学中的点电荷、无限长载流导线;相对论中的事件、局域惯性系;量子力学中的无限深势阱、方势垒等。也就是说物理学所描述的是经过简化的物理模型,而非自然本身。

作为一门精确的定量学科,物理模型的性质必须用数学表达出来才是真正的可知和成熟。例如:法拉第在他的直觉基础上提出来的力线和场的概念,只有通过麦克斯韦的优美数学方程表达出来,才能够揭示出电场、磁场和光的内在联系,并因此而导致了相对论的建立。模型越简单,数学结果越抽象,则理论的普适性越好。狄拉克就说过:“让方程式优美比让方程式符合实验更重要,……在我看来,假如一个人在进行研究时着眼于让他的方程式优美,假如他有正常的洞察力,那么他就肯定会获得进步。”在许多物理学家看来,数学简洁的逻辑美和结构美是物理美的最高境界。

同时,我们必须注意到物理学是一门实验科学,物理学的早期发展更多地基于对物理现象的观察、综合、归纳、总结并抽象出物理规律,得到了许多如胡克定律、库仑定律、气体定律、法拉第定律、反射定律、折射定律等唯象定律。近代物理学的发展更多地从模型和假设出发,通过逻辑和数学推演建立理论,再由表达理论结果的数学方程得到一系列的推论,理论的正确性最终要用实验来检验。即物理学的研究方法是:用模型描述自然,用数学表达自然,用实验检验模型。

正如著名物理学家普朗克所说的那样,物理世界是介于实在世界和感觉世界之间的第三个世界。因为物理理论是人类心智与自然交流过程中,被人们创建起来的,而非被发现的,因此,物理理论必然有其局限性和适用条件与范围。

三、物理学与工程技术的关系

由于物理学是研究物质世界最基本、最普遍规律的科学,所以它具有广泛的适应性,它不但是自然科学的基础,也是工程技术的基础。历史上物理与技术的关系有两种模式:17—18 世纪,以解决动力机械为主导的第一次工业革命,热机的发明和使用可以称为第一种模式;技术工人瓦特给蒸汽机增加了冷凝器,并发明了活塞阀、飞轮、离心节速器等完善了蒸汽机使其成为了真正的动力,但那时的蒸汽机效率极低,只有 8%。为了提高蒸汽机的效率,1824 年法国工程师卡诺提出了卡诺循环和卡诺定理,为提高蒸汽机效率提供了理论依据。19 世纪中叶,迈耶、焦耳、开尔文、克劳修斯等科学家确立了热功转换过程中的能量

守恒定律,建立了热力学第一和第二定律。到20世纪蒸汽机效率达到了15%,内燃机效率达到了40%,而燃气轮机效率达到了50%。这种模式是技术→物理理论→技术。

以发电机、电动机、电信设备为标志的第二次工业革命,则是另外一种模式。从库仑、奥斯特、安培等人的研究到1831年法拉第发现电磁感应定律,一直是停留在实验室的物理探索上,没有技术和应用研究。之后的半个世纪,由于各种交直流发电机、电动机和电报机的出现,使得电气化技术蓬勃发展,麦克斯韦电磁理论的建立和赫兹的电磁波实验,更是推动了无线电技术的发展。反过来,电气技术又大大促进了电磁理论的发展。这种模式是物理理论→技术→物理理论。

而以信息技术为代表的一系列新科学、新材料、新能源、新技术的兴起和发展为标志的第三次工业革命则是两种模式并存、相互交融。整个信息技术的发展都是以物理学的成果为基础的。没有量子力学,就没有晶体管,没有集成电路和大规模集成电路,也就不会有今天的计算机技术。而光纤通信技术,离不开基于爱因斯坦的受激辐射理论产生的激光技术的发展。没有卢瑟福的 α 粒子散射和爱因斯坦的狭义相对论质能关系,就不可能有核能利用等新能源技术。

物理学之所以成为工程技术的基础,由以下几个典型现代技术可见一斑:①能够实现人类飞天梦想的航空航天技术,从火箭发射技术,到航天器轨道设计,自动控制系统设计,通信信息传输,再到为各种太空探测器提供能源等,既需要经典的牛顿定律、麦克斯韦方程,也需要爱因斯坦狭义和广义相对论,还需要半导体物理和量子力学,没有哪一个环节能离开物理学原理和理论。②没有麦克斯韦电磁理论,离开半导体物理和量子理论,就不会有正在改变人类生产和生活方式的计算机网络和手机、平板电脑等电子产品;当计算机、平板电脑、手机中的芯片尺度小到一定程度,或半导体器件小到纳米尺度时,主宰电子运动的是量子力学规律,微电子学的发展是以量子理论为基础的。③未来解决人类能源危机的清洁能源将是核聚变技术,离开电磁学原理、离开核物理,激光技术和相对论力学就无法实现核聚变。④方兴未艾的新材料技术,很多都是从物理实验室产生和发展起来的,比如以石墨烯和碳纳米管为代表的纳米技术,具有重大的理论意义和潜在的应用价值,由于其基本构成仍是原子、分子,所以这些材料的物理化学性质的研究离不开物理学原理和物理学检测手段。

四、怎样学习物理学

1. 学习物理学家的科学探索精神

人类对自然界的探索从来就没有停止过,以人类的心智与大自然对话,寻求对未知世界的理解是物理学永远的课题。在后面的课程学习过程中,希望读者能够从每一个物理理论的发生、发展和创立过程,认真体会物理学家那种严谨、求实和对真理的不懈追求的科学探索精神。

2. 感受物理学的美和崇高的科学品格

物理学中的方程和谐优美,如果认为学习物理就是记住物理公式或方程,分析问题时,就是找到一个公式套进去求解的话,那就是只见树木不见森林了。如果读者能从物理方程中体会和看到其对称与和谐美,理解公式背后自然界物质运动的法则,像著名物理学家理查

德·费曼所希望的那样,“能够像真正的物理学家一样,欣赏到这个世界的美妙。物理学家们看待这个世界的方式,我相信,是这个现代化时代真正文化内涵的主要部分。也许你们学会的不仅仅是如何欣赏这种文化,甚至也愿意参加到这个人类思想诞生以来最伟大的探索中来。”

科学在本质上是追求进步的,科学的基本态度是批判和疑问,每一代后继者都在审视和发展着前人的成果,科学的制度使怀疑成为一种美德,敬仰自然、崇尚真理是物理学的高贵品格。如果读者在物理课程的学习中能体会和感受到这种品格,并让自身也得到熏陶,养成这样的品格,是每一个物理教育工作者衷心希望的。

3. 学习科学的研究方法和思维方式

有人认为大学物理就是中学物理加微积分,这种说法是非常片面的。与中学物理相比大学物理绝不仅是数学手段上的变化,它在内容体系、思想方法、科学观念等方面都上了一个新的台阶。更重视提炼科学观念和方法,更注重物理规律和方程的内涵与应用扩展。理查德·费曼说:“科学是一种方法,它教导人们:一些事物是怎样被理解的,什么是事情是已知的,现在了解到什么程度(因为没有什么事情是绝对已知的),如何对待质问和不确定性,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。”物理理论的发展中,涉及许多研究方法,例如:观察、实验、归纳、推理、模拟、假设、类比、理想化、解析、综合……,这些方法是所有科学和技术应用中都能够应用的,在学习过程中注意这些方法的运用、迁移会让你的研究能力得到提升,为创新能力的培养奠定坚实的基础。

每一种新的科学观念的产生和发展都与思维方式的转变有关,比如从经典力学的绝对时空观到相对论时空观,从光的波动性到光子,从微观粒子的粒子性到物质波,学习和体会这些思维方式及其转变过程有时比学习具体的内容更有意义。

4. 勤于思考,悟物穷理

老话说:“书山有路勤为径,学海无涯苦作舟。”能够流传至今的老话,一定有其深刻的道理。勤于思考就是对所学的定理定律不能停留在会用它解题、完成作业,最好能亲自做一些推演,多思考其内涵,才能真正体会其实质和理解其应用条件。

悟物穷理就是要多问几个为什么。自然科学中,物理学最直接接触及自然的本质,物理学家对自然天生好奇,喜欢穷本极源,这正是科学家和现代工程技术工作者应该具备的基本素质。

第 1 章 质点运动学

2000 多年前,古希腊人对物体的运动有了一些认识,但对运动的概念是混乱的。第一个认真思考过运动的人应该是伟大的哲学家亚里士多德(384—322B. C)。他把运动分为自然运动和受迫运动。他认为物体都有自己的固有位置,偏离固有位置的物体总是趋向于回到固有位置。地面上物体的自然运动沿直线,轻者上升,重者下降;天体的自然运动永恒地沿圆周进行。受迫运动则是物体在推或拉等外力作用下发生的,没有外力,运动就会停止。

第一个真正定量地、科学地研究物体运动变化的人是自然科学的创始人伽利略(1564—1642)。他将实验、物理思维和数学演绎相结合,开创了定量的科学研究方法。伽利略指出“首先要研究物体怎样运动,然后才能研究物体为什么运动”。使得物理学摆脱了哲学家们关于运动原因的纷争。在物理学中,把描述物体运动状态及其变化而不关心产生变化的原因这个分支称为运动学。从足球或宇宙飞船的运动轨迹计算到大型加速器中由于碰撞所产生的基本粒子的运动轨迹分析都属于运动学问题。

本章讨论物质运动变化的最简单、最基本的运动形式——机械运动。我们将从描述质点机械运动的几个基本概念出发,讨论质点机械运动状态的描述及其随时间变化的规律。

1.1 描述质点运动的几个基本概念

1.1.1 参考系

在各种形式的物质运动中,物体位置随时间的变化是最简单的运动,我们称这种运动为**机械运动**。如地面上物体相对地面的运动,行星相对于太阳的运动等。

物体的位置随时间变化,我们就认为物体在运动。显然,判断物体是否在运动与观察者所选择的参照物有关,因为一座大厦相对地面是静止的,但相对太阳来说,这座大厦显然是运动的。我们将**描述物体运动时所选择的参照物称为参考系**。众所周知,世间万物都处于不断的运动和变化中,因此,物体的运动和变化是绝对的,但运动的描述显然是相对的。

1.1.2 坐标系

若要定量描述某个物体相对于某个参考系运动变化的快慢,我们必须在空间建立一个能定量描述物体相对于该参考系的位置并带有标尺的坐标系,我们称这个带有标尺的系统为**坐标系**。坐标系通常固结于参考系上,也可以认为,坐标系是由实物构成的参考系的数

学抽象。根据问题的需要或描述的方便,可以选择不同的坐标系。常用的坐标系有直角坐标系、自然坐标系、球坐标系、柱坐标系等,如图 1-1 所示。同一个质点的运动可以选用不同的坐标系进行研究,但不论选用什么坐标系,质点运动状态不会因为坐标系的不同而不同。

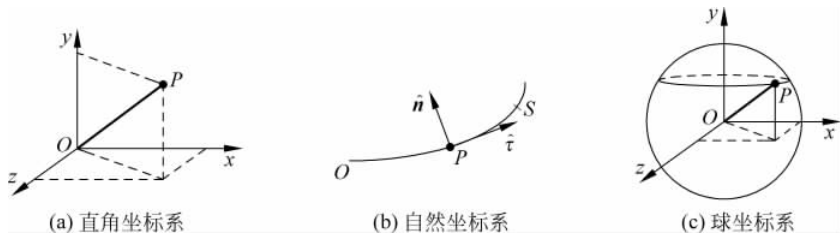


图 1-1 坐标系

1.1.3 时间 时刻(瞬时)和时间间隔

描述物体运动的快慢除了描述其位置变化的坐标系外,还需要一个重要概念“时间”。日常生活中每个人对于时间都不陌生,我们常问“现在什么时间了?”“你做这件事花了多少时间?”。显然,“时间”这个词汇在两个问题中含义不同,第一个问题中我们关心的是“时刻”,第二个问题中,我们关心的是“时间间隔”。所以,在运动描述中,我们必须明确区分“时刻”和“时间间隔”。**时刻是指某件事发生的那一瞬时,钟表指针所指向的那一刻。**例如,相对于太阳,谈论地球在中午 12 点整那一瞬时,处于轨道上的什么位置时,所说的那一刻为那一“瞬时”;而多少时间或多长时间则指先后两件事之间钟表指针移动的时刻之差,我们称为“时间间隔”。例如,地球在下午 1 点整那一瞬时,一定从 12 点整那一瞬时的位置运动到了轨道上的另一位置,因此,从中午 12 点到下午 1 点,地球相对于太阳的位置发生了改变,这个改变所花的时间为中午 12 点到下午 1 点的时间差或时间间隔,即 1 小时或 60 分钟。

综上所述,定量描述物体运动的参考系中必须包含描述位置的“坐标系”和描述时刻或时间间隔的“时钟”这两个要素。



温馨提示:在经典物理学中,描述空间位置的坐标和描述时间的坐标之间是相互独立的。到学习爱因斯坦的狭义相对论时,我们会发现二者之间将会有密切的关联。

1.1.4 质点

物体通常都有形状和大小,例如地球上的一座大厦。以哪一点为基准来度量其相对于太阳的位置呢?为了简化这个问题,我们来思考一下,一座大厦的顶层和底层相对于固定于太阳中心处的直角坐标系原点的位置显然不同,但这个差别相对于大厦与太阳之间的距离完全可以忽略,即相对于太阳来说,我们可以将大厦视为一个没有形状和大小的“点”。为了简化描述物体的位置和位置变化问题,我们将物体的大小与物体相对于参考系的距离相比小很多的物体抽象为一个只有质量而不计其形状和大小的点,称为质点。有时,当物体上各点相对于参考系的运动轨迹相同时,我们只需要描述其中一个点的运动即可,此时,也可以将该物体视为一个质点。可见,质点是一个理想化的模型,而且是一个相对概念。例如,当

我们将大厦选为参考系,描述位于其中某个物体的运动时,大厦就不能视为质点了。

1.1.5 惯性系和非惯性系

关于参考系的选择,需要注意的是:一般来说,研究运动学问题时,只要描述方便,参考系是可以任意选择的。但是在研究动力学问题时,参考系的选择需要慎重,因为许多重要的动力学规律,比如牛顿第三定律或惯性定律只对某类特定的参考系成立,这类参考系称为“惯性系”。因此,惯性定律不成立的参考系称为“非惯性系”。

1.2 一维直线运动

质点运动轨迹为直线的运动称为直线运动。直线运动可以用一维坐标系描述。

1.2.1 位置矢量和质点运动方程

如图 1-2 所示为一带有方向和坐标原点的直线,质点在该直线上运动时,我们可以用由坐标原点 O 指向质点位置 P 的有向线段 $\mathbf{r}$ 表示其空间位置,称 $\mathbf{r}$ 为位置矢量。记为

$$\mathbf{r} = x \hat{i} \quad (1-2-1)$$

式(1-2-1)中的 $\hat{i}$ 表示沿坐标轴正方向的单位矢量, x 表示质点距离坐标原点 O 的坐标值, x 取正值时,表示质点在 x 轴正半轴上,位置矢量 $\mathbf{r}$ 的方向指向 x 轴正方向,如图 1-2(a) 所示; x 取负值时,表示质点在 x 轴负半轴上,位置矢量 $\mathbf{r}$ 的方向指向 x 轴负方向,如图 1-2(b) 所示。因此,位置矢量是一个定量描述质点相对于参考系的空间位置的物理量,该物理量有两个要素,即大小(有向线段的长度或与坐标原点 O 的距离)和方向(有向线段的空间指向),对于直线运动只有两个方向,即 x 轴正方向和负方向。国际单位制中,位置矢量的单位为 m(米)。



图 1-2 质点在直线上运动

一般来说,质点位置矢量 $\mathbf{r}$ 是一个随时间变化的函数, $\mathbf{r}(t) = x(t) \hat{i}$, 称这个函数为质点运动方程。

1.2.2 位移矢量

为了描述质点位置的变化,我们引入位移矢量。如图 1-3 所示,当质点从位置 $\mathbf{r}_1$ 运动到位置 $\mathbf{r}_2$ 时,位置矢量的改变量(增量)称为位移矢量,简称位移。定义位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = x_2 \hat{i} - x_1 \hat{i} = (x_2 - x_1) \hat{i} \quad (1-2-2)$$

位移是矢量,其大小为两个矢量的坐标差的绝对值,而方

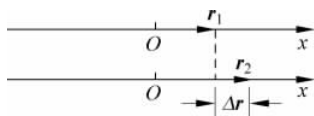


图 1-3 位移

向由坐标值的相对大小和符号决定,图 1-3 所示情况下, $x_2 > x_1$, 所以 $\Delta \mathbf{r}$ 沿 x 轴正方向, 若 $x_2 < x_1$, 则 $\Delta \mathbf{r}$ 沿 x 轴负方向。国际单位制中, 位移矢量的单位为 m(米)。

思考: 若 $x_1 < 0, x_2 > 0$, 或 $x_1 > 0, x_2 < 0$, 或 $x_2 < x_1 < 0$, $\Delta \mathbf{r}$ 的方向如何?

1.2.3 路程

路程是质点位置变化过程中实际经历的路径长短。显然当物体作直线直进运动时, 路程等于位移的大小。若质点运动方向发生变化, 则位移的大小将与路程不相等。国际单位制中, 路程的单位为 m(米)。

1.2.4 平均速度和瞬时速度 平均速率和瞬时速率

为了描述质点位置变化的快慢, 我们引入“速度”概念。如果 t 时刻, 质点位置为 $\mathbf{r}(t)$, $t + \Delta t$ 时刻, 质点位置为 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$, 位置矢量在时间间隔 Δt 内的增量为 $\Delta \mathbf{r}$, 则定义质点运动的平均速度为

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)}{(t + \Delta t) - t} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \hat{i} \quad (1-2-3)$$

平均速度矢量反映了质点位置在时间间隔 Δt 内的平均变化情况。

如果质点作匀速运动, 则任意时刻或任一瞬时, 质点的速度都等于质点的平均速度。若质点作变速运动, 则质点任一瞬时的速度将不一定等于平均速度。如何得到质点在任一瞬时 t 的速度呢? 由平均速度定义可知, Δt 越小, 平均速度将越接近于 t 时刻的速度, 因此, 由微积分概念可得 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限就是质点 t 时刻的瞬时速度

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \hat{i} = \frac{dx}{dt} \hat{i} \quad (1-2-4)$$

即瞬时速度等于位置矢量对时间的一阶导数, 或时间变化率。从数学角度看, 若 x 是时间的函数, 那么, x 对时间 t 的一阶导数表示 $x(t)-t$ 曲线的斜率。显然, $\frac{dx}{dt} > 0$ 时, 速度的方向

沿 x 轴正向, $\frac{dx}{dt} < 0$ 时, 速度的方向沿 x 轴负向。速度的大小即速度矢量的模 $|\mathbf{v}| = v =$

$$\left| \frac{dx}{dt} \right|。$$

质点运动的平均速率定义为质点在时间间隔 Δt 内所经历的路程 Δs 与时间间隔之比, 即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-2-5)$$

一般情况下, $\Delta s \neq \Delta x$, 例如质点沿 x 轴作往复运动时, 一段时间内质点从某点出发, Δt 时间间隔后, 又回到出发点, 此时, 质点位移为零, 但路程显然不等于零。仅当质点作直线直进运动时, $\Delta s = \Delta x$; 或 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 路程的微元变化量 $ds = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} |\Delta x| = |dx|$ 。质点运动的瞬时速率定义为其平均速率在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限, 即