

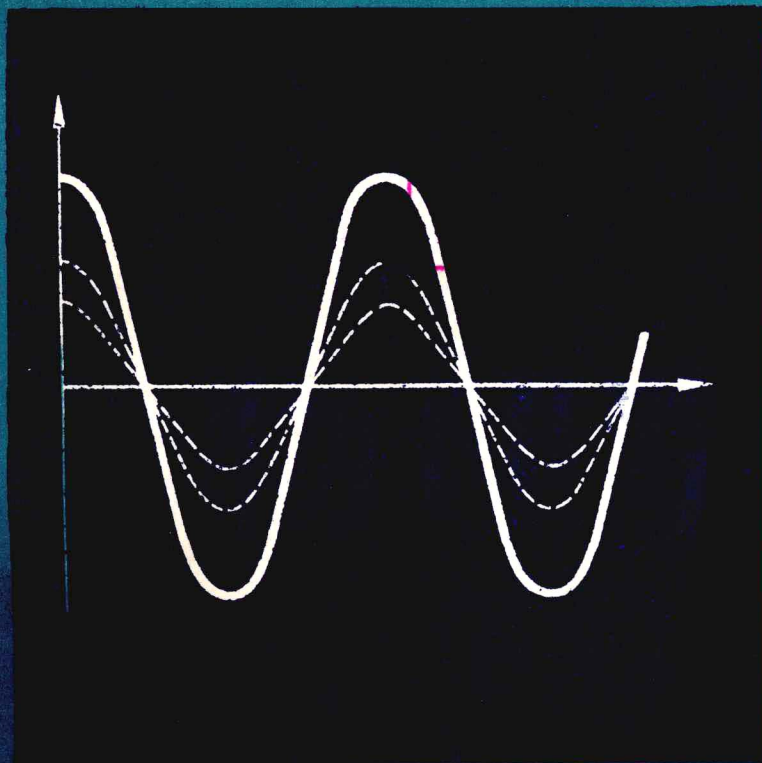
物理学基础

(高等工程专科学校用)

熊秉衡 主编 苏曾燧 主审

上册

WULIXUE JICHU



WULIXUE JICHU

广东科技出版社

物 理 学 基 础

Wulixue Jichu

(高等工程专科学校用)

上 册

熊秉衡 主编 苏曾燧 主审

广东科技

序

随着高等教育的体制改革，高等工程专科学校的数量正在不断增加。数量的增加必须和质量的提高相结合，才能适应培养四化建设人才的需要。

物理课是高等工程本科院校的一门重要基础课，也是高等工程专科学校的一门重要基础课。提高这门课程教学质量的基本条件之一，就是要有一本合适或比较合用的教材。但是，这样的教材目前还少见。因此，这次九省十校联合编写高等工程专科学校物理教材，是非常适时和非常必要的，这对提高高等工程专科学校的物理教学质量，无疑将会起促进作用。

本书和现有的普通物理教材不同，取材适度，简明扼要，体现了专科的特点，既抓住高等工程专科学子必须掌握的基本内容，又考虑到不同专业的不同要求，为基础课结合专业提供了有利条件。本书每章开始提出目的要求，每节开始有预习要点，各个阶段有自我测验，全书还安排了若干次讨论课。这样编写，不仅有利于学生深入牢固地掌握知识，促进学生的智能发展，而且为开展自学创造了有利条件。这或许是本书最大的特点和优点之一。

本书和现有同类教材相比，还有许多自己的特点和优点。它不仅是高等工专比较适用的教材，而且对电大、夜大、职工大学的学生以及立志自学成才的青年，都会有所帮助。相信在使用过程中经过进一步修改后，本书将会成为具有自己特色并受到广大读者普遍欢迎的好书。

葛旭初

1985年4月于长沙水电师范学院

编 者 的 话

我国高等工程专科学校的物理课，一直采用高等工程本科学校的大纲和教材。鉴于专科和本科的种种差异，这样做加重了专科学校的负担，造成教学中的困难。1984年暑假在湖南邵阳召开的首次工专物理教研会上，认为有必要编写适合工程专科使用的物理教材。当时，在会议上制订了一份110学时（理论课）的工程专科物理教学大纲（试行）。会后，我们组成联合编写组，以上述大纲为基本依据，以精选内容、详简适宜、便于教学、发展智能为基本要求，编写这本教材。力求在教材编写上体现工专特点、方便教师对内容的取舍及培养学生能力等方面进行一些探索。

内容安排上，全书共分12章47节。大体上，每节的内容适宜两学时讲授。例题和应用涉及面较广，以便教师选用。习题安排在每节之后，不附答案（拟另行编印全书题解，分章装订，由教师适时分发学生使用）。

本书的开头用《物理世界》代替一般的绪论，将物理世界的轮廓展示给读者。在力学的前两章介绍狭义相对论科学时空观。本书每章之首提出目的要求；每节之首提出预习要点；书中还安排了几份阶段自我检测题。这有助于学生自学。全书提供六次讨论课（每次二学时）参考题，用意在于促进学生能力培养。不同学校和不同专业，物理课教学时数不同，本书可适用于90到110学时的理论课教学（如何取舍，可根据专业需要自行酌定）。此外，有一些章节附有阅读材料，有助于扩大学生的知识面。

本书由长沙铁道学院熊秉衡副教授主编。参加编写的（按章序先后）有：李迺伯（计量专科学校）、李佐周（广东建工专科学校）、王子大（湖南建材专科学校）、庄梅英（武汉河运专科学校）、柯金星（集美航海专科学院）、曾庆福（民航飞行专科学校）、陈灵草（郑州航空管理学院）、曾毅（江西水利专科学校）、方强（连云职业大学）、易振湘（武汉河运专科学校）等同志。书稿完成后，经过两审定稿。由广州大学苏曾燧副教授主审，参加审稿的还有王光柱、田焱生、胡仁祚、刘程、白春儒、刘德纯、丁忠义等同志。白春儒同志为编审本书提供了资料；王继坚同志核对了全部例题和习题的题解；武汉河专制图教研室的同志为本书绘制了插图。

本书在编写过程中，得到北京大学赵凯华教授、湘潭大学颜家壬副教授、湖南省物理学会陈积华副理事长的鼓励和指导。长沙水电师范学院葛旭初教授为本书写了序。两次编审会议及定稿工作得到湖南建材工业专科学校与武汉河运专科学校、广东建工专科学校、计量专科学校在人力物力等方面的大力支持。对上述各种指导与支持，我们在此表示深深的谢意。

由于编者水平有限，缺乏经验，本书不足之处在所难免，欢迎专家与读者批评指教。

目 录

物理世界	(1)
§ 0-1 微观、宏观、宇观	(1)
§ 0-2 基本作用	(4)
§ 0-3 物理的定量研究	(5)
§ 0-4 物理学不断进步	(7)
第一章 质点的运动 时间 空间	(8)
§ 1-1 质点运动的描述 (一)	(8)
§ 1-2 质点运动的描述 (二)	(16)
§ 1-3 经典时空观及其局限	(21)
§ 1-4 相对论时空观	(28)
讨论课参考题 (一)	(34)
第二章 动量和能量	(36)
§ 2-1 动量 动量定理	(36)
§ 2-2 动量守恒定律	(41)
§ 2-3 功 机械能	(46)
§ 2-4 功能原理	(51)
§ 2-5 质量-能量关系	(59)
第三章 刚体的定轴转动	(63)
§ 3-1 描述刚体定轴转动的物理量	(63)
§ 3-2 刚体定轴转动的基本规律	(70)
讨论课参考题 (二)	(77)
自我检测题 (一)	(77)
第四章 振动学基础	(79)
§ 4-1 简谐振动的规律	(79)
§ 4-2 简谐振动的描述	(86)
§ 4-3 简谐振动的合成	(94)
第五章 气体分子运动论	(101)
§ 5-1 气体的压强公式 温度的统计意义	(101)
§ 5-2 能量均分定理 分子速率分布律	(107)
第六章 热力学基础	(114)
§ 6-1 热力学第一定律及其应用	(114)
§ 6-2 循环过程 卡诺循环	(122)
§ 6-3 热力学第二定律及其统计意义	(127)
讨论课参考题 (三)	(131)
自我检测题 (二)	(131)

附录 I	矢量	(134)
附录 I	国际单位制	(139)
附录 II	常用物理常数	(142)
附录 IV	数学公式	(143)

物理世界

——进入科学技术的任何一个领域，都必须敲开物理学的大门——

§0-1 微观 宏观 宇观

物理学是研究物质的基本结构、相互作用和运动形态的基本规律的科学。物理学的研究目的在于认识物质运动的普遍规律和揭示物质各层次的内部结构。

物理科学涉及范围极广。它既研究人们身旁发生的物理现象，也研究宇宙中天体的运动及构造，还研究微观领域中物质的运动规律。

宏观物体，形式多样，五光十色。它们都是由各种分子和原子组成。性质彼此不同的各种元素的原子又由更为基本的粒子——质子、中子和电子组成。通常称这类粒子为“基本粒子”。除质子、中子、电子外，光子、中微子、 μ 子、介子、超子等都是基本粒子。就目前所知，基本粒子的种类已达三百多种。对基本粒子的研究是当前物理学研究的一个重要前沿阵地，形成物理学的一个重要分支，称之为“基本粒子物理学”。研究基本粒子的性质表明，基本粒子还由下一层次的“亚基本粒子”构成。关于这方面，已提出“夸克”和“层子”的理论。物理学家正为从实验上加以证实而努力着。

从整个宇宙来看，我们的太阳系只是这宇宙中的沧海一粟。太阳系是银河系的一小点。银河系之外，还有河外星系。银河系只是宇宙的极小部分。宇宙有多大？宇宙的历史有多长？既是科学家感兴趣的问题，也是哲学家热衷的课题。对天体及其运动规律的研究似乎是天文学家的事情。然而，对于天体（主要是行星）的运动规律的研究曾总结出万有引力定律，大大促进了物理学的发展。直到今天，天文学和物理学仍然是既合作又互相促进的兄弟学科。从遥远的天体传来的信息（星光或无线电波）表明，天体也是由在地球上发现的同样的原子和基本粒子构成的；在地球上发现的物理规律又有助于我们理解来自天体的信号。

现在流行的关于“宇宙膨胀”的理论，可以解释天文观测得到的一些现象，如河外星系普遍存在光谱线红移的现象。因而，这个理论变得十分时髦。把宇宙视为膨胀着的，那么，昨天的宇宙应该比今天的宇宙更小，物质更密集。所以，早期的宇宙，可能处在一种非常密集的状态，完全不同于今天看到的星空世界。研究早期的宇宙如何变成今天的宇宙的过程，形成了“大爆炸宇宙学”。按照这种学说，宇宙的演化所经历的几个主要阶段列在下表中。

时 间	阶 段
0 秒	大爆炸开始
10^{-6} 秒	粒子处于热力学平衡
1 秒	平衡中止

10^3 秒 (20分)	氢形成, 开始形成化学元素
10^{14} 秒 (7×10^6 年)	复合
?	星系形成
10^{18} 秒 ($2 \sim 3 \times 10^9$ 年)	类星系形成
(7×10^9 年)	观测到第一个星系
10^{20} 秒 (13×10^9 年)	今天

按照这个理论, 今日宇宙半径的数量级为 10^{27} 米。下面的表中再列出客观世界各种实物的尺度的数量级。

空间尺度 (单位 米)	实 物
...	
10^{27}	宇宙半径
10^{24}	地球到最近的河外星系的距离
10^{21}	地球到银河系的中心的距离
10^{18}	地球到最近的恒星的距离
10^{15}	冥王星的轨道半径
10^{12}	地球到太阳的距离
10^8	地球到月球的距离
10^6	人造卫星的高度
1	一个孩子的高度
10^{-3}	一颗细砂粒
10^{-6}	病毒
10^{-9}	原子半径
10^{-15}	原子核半径
...	

从宏观到微观, 从宏观到宇观, 我们对物理世界的认识已达到如此细微和遥远。从下表可以看到在这么广大范围内各种实物的质量的数量级。

质 量 (单位 克)	物 体
...	
10^{80}	银河系
10^{30}	太阳
10^{24}	地球
10^{22}	月球
10^{10}	一艘巨轮
10^5	一个人
1	一枚邮票
10^{-10}	一个红血球
10^{-20}	一个氧分子
10^{-30}	一个电子
.....	

组成宏观物体由大量的分子、原子等微观粒子组成。不同物体的微观构成及环境的差异，表现出宏观特性迥然不同。就物质形态而言，可分为固态、液态、气态、等离子态等。

固态物体中的分子有相对固定的位置，因而整个物体有固定的形状。其中有一定规律排列者称为晶体，没有固定规律排列者称为非晶体。

液体物质中的分子没有固定的位置，可以相对移动。所以液体没有一定的形状。但是液体分子之间的距离仍较近，分子间的作力使得液体总是凝聚在一起，形成一定的表面。

气态物质，分子间的距离很大，分子间的作用力极弱，分子可以自由行动。因此气体总是充满整个容器。

在一定条件下，中性原子将全部离解为正、负离子。物质的此种形态称为等离子态。例如在太阳和恒星的内部，温度达到几百万甚至上千万开尔文，其中的物质就处于等离子体状态。极高的温度，给不间断的热核反应创造了极好的条件。太阳及恒星正是依靠连续的热核反应维持极高的温度，并向外辐射能量。

有趣的是，还存在着质子态和中子态的物体。晚期的恒星在耗掉大量能量之后，星体的巨大质量引起的引力把全部核子（中子和质子）集中在一起，相当于一个“巨大的原子核”。星体被压缩成密度极大的天体，原子的构造被破坏。众多的电子包围着这种天体。天文学家称为“白矮星”。质量更大的晚期恒星的巨大压力甚至可将电子压入原子核，与核中质子结合成中子，整个星体主要由中子构成，称为“中子星”。

上面只给出自然界中的无生命物质图景的大概轮廓。应该指出，不要把上述图景看成静止的。无论是深入到原子内部，还是大到宇宙中的天体，所有物体都处在不停息的运动中。

§0-2 基本作用

通常把物体之间的相互作用称为力。现在，人们认识了的自然界中的基本作用力共有四种，它们是：重力相互作用、电磁相互作用、强相互作用、弱相互作用。

万有引力和电磁力在本世纪以前已被认识。强力和弱力则是在研究原子核和基本粒子过程中认识的。这四种相互作用的相对强度（以强相互作用的强度为1）和作用范围的比较如下表所示：

力的种类	强相互作用	电磁相互作用	弱相互作用	重力相互作用
相对强度	1	10^{-2}	10^{-12}	10^{-40}
作用范围(m)	10^{-15}	长	$<10^{-17}$	长

强相互作用是发生在核子（中子、质子）之间，使原子核结合在一起的力。它不像万有引力和电磁作用那样与距离平方成反比。当两个核子的距离大于 10^{-14} 米时，它们之间的强相互作用微弱得可以忽略不计；而当它们的距离小于 10^{-14} 米时，强相互作用骤然增大；然而，当两个核子靠得更近些，达到 2×10^{-16} 米时，核子之间的作用又变成巨大的斥力。参与强相互作用的基本粒子，称为“强子”。一切强子都参与弱相互作用。此外，参与弱作用的有轻子、中微子等轻子。弱相互作用的范围更小，小于 10^{-17} 米。万有引力在四种作用中最弱，只在研究天体的运动时，由于其质量巨大，万有引力才起主要作用。有电荷或磁矩的粒子之间都有电磁作用。电磁作用在宏观领域和微观领域都起重要作用。

基本作用过程可以举例说明如下。两个电子之间的电磁相互作用是：其中一个电子放出一个光子，因此电子变成能量较低的电子。光子向第二个电子移动，被吸收，此第二个电子变成能量较高的电子。如此，光子在两个电子之间不断前后传递，把能量和动量从一个电子传到另一个电子。每个电子的动量的变化率等于另一个电子向它施加电磁力。两个带电粒子之间的电磁相互作用，用它们之间交换光子来解释。所以又称为“交换力”。电磁作用的传递者是光子。强作用的传递者是介子。弱相互作用的传递者是 W^+ 和 Z^0 粒子。引力相互作用的传递者被认为是引力子。但引力子至今尚未被发现。一般估计，在不远的将来，也许还找不到它，这是因为引力相互作用太弱。

爱因斯坦（A. Einstein 1879—1955）生前追求统一场论，他企图建立一个包括引力场（引力作用）和电磁场（电磁作用）的统一场理论。而建立四个基本作用之间的统一的理论是物理学界追求的目标。爱因斯坦奋斗了卅年，未得成功。他带着热切的希望和必定成功的信念离开人世。1967年美物理学家温伯格（S. Weinberg 1933—）和巴基斯坦物理学家萨拉姆（A. Salam 1926—）先后独立提出弱相互作用和电磁作用统一的理论，并得到实验证实。物理学朝统一场论迈开了坚实的一步。

如人们在日常生活中的直觉的力很多，例如两个物体碰撞时的相互作用力、摩擦力、气体分子对器壁的压力等。它们都起源于分子间的相互作用，即与分子有关。而分子力与原子中

的电结构有密切联系。原子之间的作用的基础是电磁作用。这种力足够大，通常正、负电荷总是紧密地结合在一起。所有的物体，甚至包括人类本身，都由极精细的和彼此强烈作用的正、负微粒组成。

§0-3 物理的定量研究

本书是工专物理基础教材，书中只涉及物理学最基础的知识。为帮助读者熟悉物理研究中的一些特点，从中得到点学习方法上的启发，就如下几个问题作一简单介绍。

一、物理模型

为了突出所要研究的主要问题，便于寻求规律，物理学常常把所研究的对象加以简化，使之抽象成理想的模型。这种理想模型保留实际物体的主要特征。次要因素则不予考虑或暂时不予考虑。此类理想模型被称为“物理模型”。例如质点、刚体、理想气体等，都是物理模型。

经典力学研究宏观物体的运动，定义质点模型后，既可很方便地处理简单的力学问题，又能以此为起点，进一步研究复杂的力学问题。

质点是指在运动中可以看作一个点的物体，或者说，它是一个具有质量的点（与几何点区别，又称它为“物理点”）。它保留了物体的两个主要特征：物体的质量和物体的空间位置。在如下情况下可以把运动物体当作质点处理。

（1）、物体平动时，各点具有相同的速度。这时，可以当作一个质点来研究其运动。通常把物体的质心的位置当作此质点的位置，想象地认为物体的全部质量都集中在这一点。

（2）运动物体的尺度比它运动的空间范围小得很多时，也可把此物体看作质点。例如地球这个庞然大物，在研究它绕太阳公转时，可以忽略地球的大小和转动，当作一个质点对待。

如果所研究的物体不能当作一个质点处理，可以把运动物体看作若干个质点的集合——质点组。研究了其中每一个质点的运动之后，整个物体运动情况也就清楚了。

二、物理量和物理公式

物理学在描述物体的运动特性和规律时，使用一种专门的词汇和语言——物理量和物理公式。

力 F 、质量 m 、能量 E 、温度 T 、电场强度 E ……都是物理量。在物理学家的眼中，客观世界变成了许许多多物理量；自然界的物理规律变成了联系物理量的物理公式；每一个物理量都被赋予严格、准确的涵义。读者只有透彻地理解每个物理量的涵义，进入物理领域才能感到不陌生，才能自由地进行抽象思维。

不妨在这里介绍一下人们对“动能”这个物理量的认识和确立过程。1669年，惠更斯

(C. Huygens, 1629—1695) 在研究碰撞时发现, 参与碰撞的每个物体的质量与速度平方的乘积 mv^2 之和守恒。于是, 把 mv^2 称为物体的“活力”。后来, 研究力对物体做功, 发现做功只改变活力的二分之一 (即 $\frac{1}{2}mv^2$), 才重新定义了动能 $E_K = \frac{1}{2}mv^2$ 。动能被确定, 是十九世纪的事情。从活力 mv^2 到动能 $\frac{1}{2}mv^2$, 仅仅差一个 $\frac{1}{2}$ 因子, 却经历了差不多二百

年的历史。这个因子的有无, 反映了这个物理量是否有实在的物理意义。从爱因斯坦相对论质能公式也可以证明, $\frac{1}{2}mv^2$ 是相对论普遍动能公式 $E_K = mc^2 - m_0c^2$ 的经典近似。

对物理公式, 不要停留在数学关系上去认识它, 应该理解它所包含的物理内容。物理公式大致可分为如下三类:

(1)、物理定律, 例如 $F=ma$; $pV=\frac{M}{\mu}RT$; $F=\frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ 。

(2)、物理量的定义式, 如

功 $W = \int F \cdot dr$; 转动惯量 $I = \int r^2 dm$; 通量 $d\Phi = B \cdot dS$ 。

(3)、从物理定律得到的重要结论, 如高斯定理 $\int_S D \cdot dS = \int_V \rho dK$ 。

在均匀磁场中一段载流导线所受的力 $F = I l \times B$ 。

三、量度 单位和量纲

没有量值的量度, 很难说是一门精确的科学。科学离不开测量和量度。欲进行有意义的量度, 必须对每个物理量规定 (定义) 单位。

科学技术是世界范围的活动, 要求有统一的单位。现在各国都趋向于使用国际单位制 (SI)。SI 是法文 “Le Système International d’Unités” 的缩写。我国已于 1984 年 2 月 27 日公布以国际单位制为基础的《中华人民共和国法定计量单位》。

如前述, 物理量之间靠物理公式联系起来。可以选出一些物理量的单位当作基本单位 (相应的物理量称为基本量)。这些基本单位成为构成其他物理量 (称导出量) 的单位 (称为导出单位) 的基础。

国际单位制的基本单位有七个, 它们是: 长度的米 (m)、质量的千克 (kg)、时间的秒 (s)、电流的安培 (A)、热力学温度的开尔文 (K)、物质的量的摩尔 (mol)、发光强度的坎德拉 (cd)。它们的定义请见本书附录 I。

物理学中, 为了表示基本量和导出量的关系, 对每一个基本量规定一个确定的符号。然后, 再用这些符号的不同组合来表达每一个导出量。把这些符号和符号的组合称为物理量的

量纲或量纲式。长度的量纲是 L ；质量的量纲是 M ；时间的量纲是 T ；电流强度的量纲是 I ；热力学温度的量纲是 Θ ；物质的量的量纲是 H ，发光强度的量纲是 J 。按上述规定，在 $S I$ 单位制中，速度的量纲是 $[v] = L T^{-1}$ ；功和能量的量纲是 $L^2 M T^{-2}$ ；热容量的量纲 $[C] = L^2 M T^{-2} \Theta^{-1}$ ；电势的量纲 $[U] = L^2 M T^{-3} I^{-1}$ 等等。

在推导物理公式的过程中，常常可以检查等式两边的量纲是否一致来判断是否出错。因为只有量纲相同的物理量才能相加或相等。量纲还有一些其它的辅助作用，在此不再赘述。

§0-4 物理学不断进步

近三百年，特别是近一百年来，物理学迅速发展着。它为人类三次工业革命作了巨大贡献，并正在为当前人类面临的新的产业革命而大显身手。尽管我们面前还有许多未知数，但毕竟已揭示出不少基本的物理规律。物理学的这些成就，究其原因，首要的是实验。实验是科学知识的源泉，又是科学理论的唯一鉴定者。新发现的实验事实无情地违背旧有的理论，从而导致新理论的诞生。这种情况，在物理学的发展过程中屡见不鲜。

物理学是实验科学。物理学的基本定律都是从实验事实中总结出来的。例如能量守恒定律、电荷守恒定律、动量守恒定律、动量矩守恒定律，都是如此。它们的正确性只取决于从它们推出的结论与实验事实的一致。

物理理论大体分为两部分：本世纪以前物理学的成就称为“经典物理学”，它包括经典力学（牛顿力学）、经典统计力学、经典电磁理论等。从本世纪初以来物理学发生的革命性的成就归为“近代物理学”，它的主要支柱是相对论和量子理论。理论是实验事实的升华，它作为一种观念指导人们科学地思考；它又提供了研究科学，处理实际问题的有效方法。

回顾历史，我们对那些为物理学发展贡献毕生精力乃至生命，做出伟大成就的物理学家怀着深深的敬意。他们中有坚持真理，为科学献身的布鲁诺（G. Bruno 1600年被烧死于火刑柱上）、伽里略（Galileo 1564—1642）；有经典理论的奠基人牛顿（I. Newton 1642—1727）和麦克斯韦（J. C. Maxwell 1831—1879）；有相对论的大师爱因斯坦和量子理论的启蒙者普朗克（M. V. Planck 1858—1947）……。一代接一代，许许多多物理学家的辛勤劳动，创造了人类的共同财富——物理学，为现代物质文明建立了重要的理论基础。

第一章 质点的运动 时间 空间

物体之间或者同一物体各部分之间相对位置的变化称为机械运动(通常简称为运动),它是自然界中最简单、最普遍的一种运动形式。物理学中研究机械运动的规律及其应用的部分称为力学,这是本书从本章起到第四章止的主要内容,本章研究质点运动的描述和时间与空间的基本原理。

物体运动的描述,离不开时间和空间。怎样正确理解时间和空间这两个概念呢?这是研究力学时首先要解决的问题。本章在深入讨论描述质点运动的物理量——位置矢量、位移、速度和加速度的概念之后,便简要介绍从经典时空观念到相对论时空观念的历史发展,并比较深入地讨论时间、空间和物质运动三者之间的紧密联系,以帮助读者建立科学的时空观。

学习本章的目的和要求是:

1. 掌握描述质点运动的几个基本物理量——位置矢量(矢径)、位移、速度和加速度的概念;认识运动的相对性、迭加性、矢量性和瞬时性;

2. 学会从已知的运动方程通过求导得到速度和加速度;知道从已知的速度或加速度可以通过积分求得运动方程;

3. 认识牛顿的绝对时空观念(伽利略变换)及其局限性;

4. 理解爱因斯坦建立的相对论时空观(洛伦兹变换、同时性的相对性、空间收缩效应和时间膨胀效应);认识相对论时空观是时空基本属性更普遍、更真实的反映,伽利略变换可视为洛伦兹变换在低速($v \ll c$)条件下的极好近似。

§1-1 质点运动的描述(一)

预习要点

1. 本书附录 I (矢量)中的第一、二、四点和附录 II (数学公式)中的第四点。

2. 质点空间位置的确定——位置矢量的概念。

3. 质点位置变化的描述——位移的概念。

4. 质点空间位置变化快慢和变化方向的描述——速度的概念。

5. 质点速度变化快慢和变化方向的描述——加速度的概念。

6. 运动方程的涵义及表达式,运动方程与轨道方程的区别与联系;已知运动方程求速度和加速度的方法。

一、运动描述的相对性

我们先来看一个例子:坐在前进的车厢中的两名乘客讨论固定在车厢中的某一物体的运动情况。甲以车厢或另一些固定在车厢中的物体作参考,观察到该物体的位置没有发生变化,因而说它是静止的;乙以地面或另一些固定在地面上的物体作参考,观察到该物体的位置在不断变化,因而说它是运动的。类似的例子还有许多,如在匀速前进中的车厢中的自由

落下的物体，相对于车厢是作直线运动；相对于地面却是作抛物线运动。大量诸如此类的观察实例告诉我们，在描述一个物体的运动时，总是要事先选择另一个物体或一组彼此之间相对静止的物体作参考。被选作参考的物体称为参照系。选择不同的参照系，对同一物体运动的描述将是不同的。虽然运动本身是绝对的，但对运动的描述却有赖于参照系的选择。这一事实被称为运动描述的相对性。我们研究某一物体的运动时，首先必须明确这种运动是相对于哪一个参照系而言的。否则就无法确定物体的运动情况。在运动学中，参照系是可以任意选择的，但根据问题的性质恰当地选择参照系往往可给研究带来方便。为简单起见，本书描述物体运动时，凡没有特别指明的，都是以地面作为参照系。必须指出，说某物体静止只不过是说该物体相对某一参照系的位置没有发生变化；应当把静止理解为物体的一种运动状态，说物体由静止开始运动，其真实含义是物体的运动状态发生变化。

二、运动的迭加性

一条小船横渡流速均匀分布的河流时，如果沿垂直于河水流动的方向行驶，那末它并不能到达对岸的A点，而只能到达A点下游的某点B，如图1-1所示。

事实上，若水不流动，经过一段时间 Δt ，小船应到达A点；若船不行驶，船将随水流运动，在相同时间 Δt 内，它应到达C点。现在小船同时参与两种运动：垂直于水流行驶和随水流运动，这两种运动迭加的结果是小船到达B点。大量观察和实验的事实都证明，如果一个物体同时参与几个分运动，那么，其中一个分运动不会影响另一个分运动。或者说，一个运动可以看成由几个各自独立进行的运动迭加而成；并且描述其中任何分运动的位移、速度、加速度的迭加，都满足矢量的平行四边形法则。这个结论称为运动迭加原理或运动独立性原理。运动迭加原理可以帮助我们进一步领会描述质点运动的物理量（位

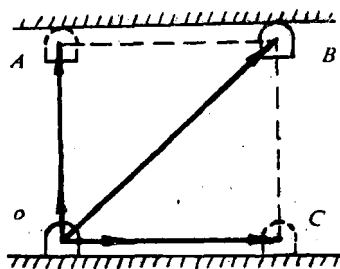


图1-1

移、速度和加速度)的矢量性。在物理学中使用矢量表示某些物理量和物理定律，将使物理概念和规律的表达具有简洁、明了的形式，也使理论推导过程大为简化。

三、描述质点运动的物理量

位置矢量 位置矢量的概念是为了确定质点在空间的位置而引入的。

如果我们在参照系上选取某一固定点O作为参考点，则有向线段 $\overrightarrow{OM}$ 便可唯一地确定某时刻质点M在空间的位置，如图1-2(a)所示。有向线段 $\overrightarrow{OM} = \mathbf{r}$ 称为质点的位置矢量。如果以O点为坐标原点，引入三条在空间互相垂直的坐标轴X、Y、Z，构成空间直角坐标系（简称笛氏坐标系）。设三坐标轴正方向的单位矢量依次为 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ ， $\mathbf{r}$ 在三轴上的投影依次为 x 、 y 、 z ，则 $\mathbf{r}$ 可表示为

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

(1-1)

$\mathbf{r}$ 的大小 r 由下式决定：

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

$\mathbf{r}$ 的方向可由它的三个方向余弦决定:

$$\cos(\mathbf{r}, \mathbf{i}) = \frac{x}{r}, \cos(\mathbf{r}, \mathbf{j}) = \frac{y}{r},$$

$$\cos(\mathbf{r}, \mathbf{k}) = \frac{z}{r}$$

位移矢量 位移的概念是为了描述质点空间位置的变化而引入的。

如图 1-3 所示, 设质点 M 在 t_1 时刻位于 M_1 点。质点沿轨道曲线 S 运动, 在 t_2 时刻达到 M_2 点。 M_1 、 M_2 两点的位置矢量分别为 $\mathbf{r}_1$ 和 $\mathbf{r}_2$ 。则质点在空间的位置变化可由从起点 M_1 到终点 M_2 的矢量 $\overrightarrow{M_1M_2}$ 表示。由矢量运算法则知 $\mathbf{r}_1 + \overrightarrow{M_1M_2} = \mathbf{r}_2$, 因此有

$$\overrightarrow{M_1M_2} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \Delta \mathbf{r} \quad (1-2)$$

$\Delta \mathbf{r}$ 是描述空间位置变化的物理量, 它同时表示质点空间的位置变化的距离和方向, 称为位移矢量, 简称位移。

必须注意, 位移表示质点位置的改变, 它并不是质点运动所经历的路程。质点从 M_1 运动到 M_2 所经历的路程 Δs 是图 1-3 中轨道曲线 S 上的一段弧

长 $\overline{M_1M_2}$, 它是标量, 并且恒取正值。位移则是矢量。在一般情况下, 路程 Δs 与位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$

(图 1-3 中割线 $\overline{M_1M_2}$ 的长度) 并不相等。只有当质点作单方向的直线运动时, 路程与位移的大小才相等。另外, 在时间间隔 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下, $M_1 \rightarrow M_2$, 割线长 $\overline{M_1M_2}$ 和弧长 $\overline{M_1M_2}$ 已无法区分, 可认为路程和位移的大小相等, 用微分表示为 $ds = |d\mathbf{r}|$ 。

在笛氏坐标系中, 位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 的坐标表达式为:

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k} \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \end{aligned}$$

速度矢量 速度的概念是为了描述质点位置变化快慢和变化的方向而引入的。

如果质点在 t 到 $t + \Delta t$ 这段时间内的位移是 $\Delta \mathbf{r}$, 则 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比值可以反映该段时间内质点位置总变化的方向和平均快慢。我们将质点位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与发生这一位移的时间间隔 Δt 之比, 称为质点在这段时间内的平均速度, 记作 $\bar{\mathbf{v}}$, 则

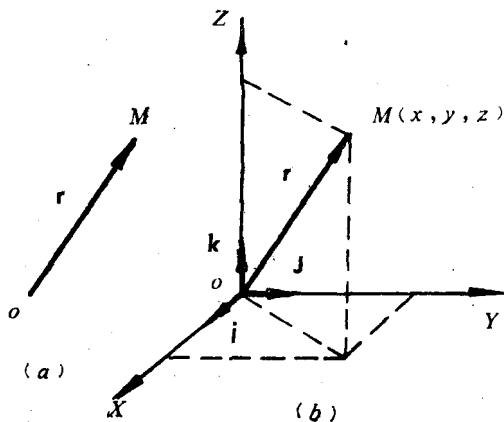


图 1-2

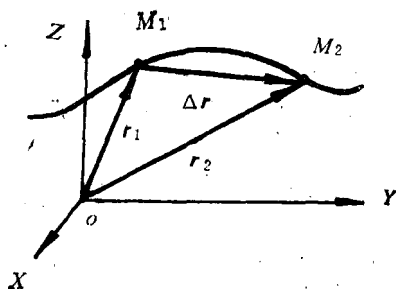


图 1-3

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)}{\Delta t}$$

平均速度是矢量。它的大小 $|\bar{\mathbf{v}}| = \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$ ，它的方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同。

实际上，质点在 t 到 $t + \Delta t$ 这段时间内各个不同时刻的运动快慢和运动方向一般是不同的。因此，用平均速度描述质点的运动只是粗略的。如图 1-4 所示，观察时间越短，平均速度越能逼真地反映质点运动的方向和快慢。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，比值 $\frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$ 将无限接近于一

确定的数值，称作比值 $\frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$ 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限，这一极限值就是质点在时刻 t 运动快慢的确切描述；与此同时 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的方向无限靠近 t 时刻质点所在处轨道的切线，这一切线方向（指向运动的一方）就是 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限方向，它表示质点在时刻 t 的真实运动方向。因此，我们将 t 到 $t + \Delta t$ 时间内质点平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限，定义为质点在 t 时刻的瞬时速度，简称速度，用 $\mathbf{v}$ 表示，即

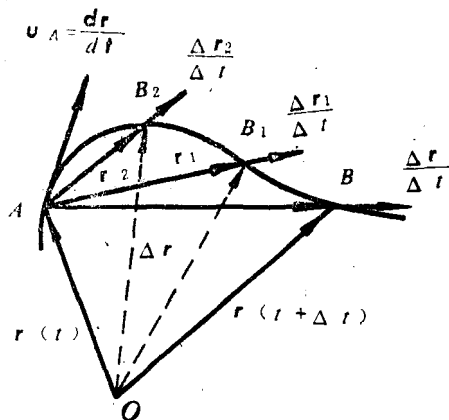


图 1-4

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-3)$$

用微积分语言，速度等于位置矢量对时间的一阶导数。

速度是矢量，速度的大小用 v 表示，则

$$v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} \quad (1-3a)$$

式中 $\frac{ds}{dt}$ 是路程对时间的瞬时变化率，称为瞬时速率。可见，瞬时速度的大小和瞬时速率是相等的。速度的方向，沿着轨道上质点所在点的切线，并指向运动的一方。

在笛氏坐标系中有

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} \\ \text{且 } v_x &= \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \\ v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \\ \cos(\mathbf{v}, \mathbf{i}) &= \frac{v_x}{v}, \quad \cos(\mathbf{v}, \mathbf{j}) = \frac{v_y}{v}, \quad \cos(\mathbf{v}, \mathbf{k}) = \frac{v_z}{v} \end{aligned} \quad (1-3b)$$