

物理学

潘生泉 何志江 马松杰编

• 上册 •

中南工业大学出版社

《物 理 学》 （上册）

潘生泉 何志江 马松杰编

中南工业大学出版社出版

湖南省新华书店发行

望城县湘江印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张：9.5 字数：217,887

1985年2月第一版

1986年1月第一次印刷

印数：1—8000

书号：13442.003 定价：2.20元

编 者 的 话

随着教育的不断深入，出现了多层次多渠道办学的生动局面。本科院校招收（两年或三年制）大专班、培训班还在发展扩大，职工大学、函授大学、夜大学不断增加。本教材就是为适应这一层次的教学需要，受有色金属工业总公司的委托而编写的。

编写过程中，我们参考了全国工科专科学校教材会议精神，结合我们近年来的教学实践，制订了编写大纲。为了使本教材有较大的通用性，有色金属工业总公司特邀北方工业大学、昆明工学院、江西冶金学院、长沙有色金属专科学校等院校指派教学经验丰富、学术水平较高的教师对编写大纲进行了充分的讨论。

为避免不必要的重复，本教材对力学部分及分子运动论的有关章节的篇幅作了一些缩减；考虑到专科的特点，我们对电介质、磁介质、热辐射等部分内容的处理进行了简化；全书的数学推导和习题的要求比本科普通物理也相应略有降低。但对基本概念和基本理论的阐述仍比较详尽和严密，对重点和难点也作了比较细致的分析，总的特点是基本概念清楚、重点突出，并保持了普通物理完整的科学体系。

考虑到学生程度和教学要求的不同，有些内容标以“*”，有些证明则用小字，删去这些内容并不影响全书的系统性，教师可根据教学的具体情况自行处理。

本书可作讲课时数为100学时左右的大学专科班、培训班、

职工大学、函授大学、夜大学和高等专科学校一般专业普通物理课程的试用教材，也可作为一般工程技术人员或在职人员进一步提高的自学用书。

全书五大部分的编写情况是：力学、机械振动和机械波由潘生泉执笔；电磁学由何志江执笔；分子物理、热力学、光学和近代物理由马松杰执笔。全书由潘生泉统稿。

湘潭大学颜家壬副教授在百忙中审阅了全部书稿，并提出了不少宝贵意见；北方工业大学、昆明工学院等院校的老师在讨论编写大纲时也提出了很多宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢。由于我们水平有限，加之时间仓促，书中缺点和错误在所难免，希望采用本书的教师、学生和其他读者随时提出宝贵意见，以便改进。

编者 1985年9月于中南工业大学

内 容 简 介

本书是参照1984年8月全国高等专科学校教材会议所制订的教材编写大纲,结合我校近年来的教学实践而编写的。

全书保持了普通物理原有的理论体系。注意到中学的原有基础及专科的特点,对质点力学、电介质、磁介质和热辐射等作了简化。全书内容主次分明、简明扼要,每章末都进行了小结,并附有适量的思考题和习题;各篇附有自我测试题一至两份。

本书分上、下两册。上册内容包括:力学、机械振动、机械波、分子物理学和热力学;下册内容包括:电磁学、光学和近代物理。

本书可作为大学专科班、培训班、夜大、职工大学及高等专科学校一般专业的试用教材,也可作为一般技术人员和其他在职人员的自学用书。

上册目录

第一篇 力学

第一章 质点运动学	(1)
§1-1 参照系 质点.....	(2)
§1-2 描述质点运动的物理量.....	(5)
§1-3 质点运动的几种形式.....	(15)
本章小结.....	(34)
思考题.....	(36)
习题.....	(37)
第二章 质点动力学	(41)
§2-1 牛顿运动定律.....	(41)
§2-2 冲量 动量原理.....	(56)
§2-3 动量守恒定律.....	(60)
§2-4 功.....	(62)
§2-5 动能 动能定理.....	(66)
§2-6 势能 ※功能原理.....	(69)
§2-7 机械能守恒定律 能量转换与守恒定律.....	(78)
§2-8 碰撞.....	(83)
本章小结.....	(86)
思考题.....	(89)
习题.....	(91)
第三章 刚体的转动	(100)
§3-1 刚体的定轴转动.....	(100)
§3-2 转动定律.....	(104)

§3-3 动量矩 动量矩守恒定律	(113)
§3-4 力矩的功 转动动能定理	(117)
本章小结	(123)
思考题	(125)
习题	(126)
自我测试题 一、二	(130)

第二篇 机械振动和机械波

第四章 机械振动	(137)
§4-1 谐振动	(138)
§4-2 描述谐振动的物理量	(143)
§4-3 谐振动的能量	(152)
§4-4 谐振动的合成	(156)
本章小结	(164)
思考题	(165)
习题	(166)
第五章 机械波	(170)
§5-1 机械波的产生和传播	(170)
§5-2 描述波动的物理量	(174)
§5-3 平面谐波的表达式	(178)
§5-4 波的能量	(183)
§5-5 惠更斯原理 波的衍射	(185)
§5-6 波的迭加原理 波的干涉	(188)
本章小结	(198)
思考题	(200)
习题	(201)
自我测试题 三、四	(205)

第三篇 分子物理学和热力学

第六章 气体分子运动论	(210)
§6-1 理想气体状态方程式	(211)
§6-2 理想气体的压强公式	(216)
§6-3 气体分子的平均平动动能与温度的关系	(220)
§6-4 能量按自由度均分原理 理想气体的内能	(222)
§6-5 麦克斯韦气体分子速率分布律	(226)
§6-6 气体分子的平均碰撞次数和平均自由程	(233)
※ §6-7 真实气体的范德瓦尔斯方程	(235)
本章小结	(238)
思考题	(239)
习题	(240)
第七章 热力学基础	(243)
§7-1 系统的内能 功和热量	(243)
§7-2 热力学第一定律	(245)
§7-3 热力学第一定律对理想气体几个等值过程及绝热过程的应用	(250)
§7-4 循环过程 卡诺循环	(258)
※ §7-5 热力学第二定律	(264)
本章小结	(266)
思考题	(268)
习题	(269)
自我测试题 五	(273)
附录 I 矢量	(275)
附录 II 国际单位制 (SI) 的基本单位	(285)
附录 III 国际单位制 (SI) 的辅助单位	(286)
附录 IV 国际单位制 (SI) 词头	(286)
习题答案	(287)
自我测试题答案	(295)

第一篇

力 学

自然界是由物质组成的，一切物质都在不停地运动着。在物质的各种不同运动形式中，最简单、最基本的一种是物体位置的变化。这种变化可以是一个物体相对于另一个物体；也可以是一个物体的某一部分相对于其它部分。我们把这种物体相对位置的变化称之为机械运动。例如，地球绕太阳的运动，水、空气的流动，机器的运转，交通工具的行驶，弹簧的拉、缩等都是机械运动。力学是研究机械运动的客观规律及其应用的科学。

力学发展成为一门系统的独立的学科是在十七世纪末期。牛顿在分析、总结前人的实验和理论的基础上，提出了著名的牛顿运动三定律，奠定了经典力学的基础。以后力学得到了迅速的发展，取得了巨大的成就，在理论上形成了完整的体系。十九世纪末叶以来，随着科学技术的发展，产生了研究高速物体运动规律的相对论力学和研究微观客体运动规律的量子力学。牛顿力学得到了扩展和修正。但在工程技术的广阔领域内，牛顿力学仍然是适用的，能够精确地解决广泛的理论和实际问题。本篇研究的问题限于牛顿力学。

第一章 质点运动学

运动学是研究物体在空间的位置以及描述机械运动的物理量随时间变化的规律的科学。它不涉及引起物体变化的原因。本章主要讨论位移、速度、加速度等基本概念以及几种简单而又重要的质点运动形式——直线运动、抛体运动和圆周运动。这些都是进一步研究复杂运动的基础。

§ 1—1 参照系 质点

一、参照系 坐标系

自然界的一切物体，大至日月星辰，小到原子、分子都在永不停息地运动。绝对静止不动的物体是没有的。房屋和放在桌子上的书本似乎是不动的，但是由于地球既有自转又有绕太阳的公转，因此，房屋、书本也跟着地球在一起运动。太阳也以每秒大约 250 千米的速度在银河系中运动，银河系同样在运动。总之，一切物质都在运动，运动是物质存在的形式，是物质的固有属性。

为了描述一个物体的运动，必须选择另一个运动物体或几个虽在运动而相互间相对静止的物体作为参考标准，然后研究这个物体相对于这些参考物体是如何运动的。我们把被选作参考的物体称为参照系。同一物体的运动，选择不同的参照系，运动状态的描述是不同的。例如，在行驶着的车厢内，坐着的乘客若选车厢为参照系，他是静止的，若选地面为参照系，则

他的位置在不断地变化。这种在不同参照系中，同一物体的运动状态具有不同描述的性质，称为运动描述的相对性。因此，要研究物体的运动，首先要选取参照系。如何选择参照系？在运动学中是任意的，主要看问题的性质和研究的方便。例如，研究地面附近一般物体的运动，选择地面作参照系是最方便的；发射宇宙火箭，开始阶段主要研究火箭相对于地面的运动，可选地面为参照系，但当火箭进入绕太阳运行的轨道时，选太阳作参照系就更方便了。

为了从数量上确定物体相对于参照系的位置，需要在参照系上选择一个固定的坐标系。通常在参照系上选取一点作为坐标原点，再将通过原点标明数量的有向线段取作坐标轴。最常用的坐标系是直角坐标系，它是由通过坐标原点的三条互相垂直的坐标轴（X轴、Y轴、Z轴）构成的。这样物体在空间的位置，就可用 x 、 y 、 z 三个坐标来表示（图1—1）。如果物体在平面上运动，那么只要用两个坐标，例如 x 、 y ，就可表示它的位置。如果物体在直线上运动，只要用一个坐标，例如 x ，就可表示它的位置。

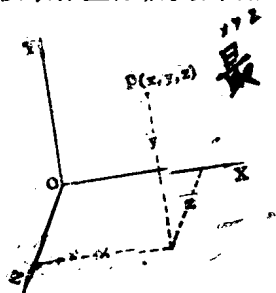


图1—1 直角坐标系

二、质点

任何物体都有一定的大小和形状，一般说来，物体运动时，物体内各点的位置变化是各不相同的。所以要精确描写物体的运动是很困难的。但在很多问题中，物体的大小和形状与所研究的现象无关，或所起作用很小而可以忽略不计。这样，我们就可近似地把所研究的物体看作是一个没有大小和形状、

但具有一定质量的点（即质点），使问题简化。例如，当我们研究地球绕太阳的公转时，由于地球到太阳的距离为地球直径的一万多倍，所以地球的大小与它离开太阳的距离相比可以忽略不计，地球上各点相对于太阳的运动基本上可看作相同，从而把地球当作一个质点；又如，当我们只研究某一段时间内汽车在公路上行驶所通过的路程是多少时，这时车身上各点所通过的路程是相同的，因此可以忽略汽车的大小和形状，把汽车当作一个质点。但当我们来研究地球自转或空气阻力对于汽车运行的影响时，就再也不能把地球和汽车当作质点了。所以，一个物体能否看作质点，完全由我们所研究的问题性质决定。

把物体看作质点这种抽象的研究方法，在实践和理论上具有重要的意义。因为描述质点的运动最简单，并当进一步研究物体的运动时，又可把整个物体看作是由无数个质点组成的，分析这些质点的运动，就能弄清楚整个物体的运动。所以，研究质点的运动是研究物体运动的基础。

应该指出，质点是理想化的“模型”，是实际物体在一定条件下的科学抽象。引用这种理想化模型，可以简化问题的条件，突出主要矛盾，从而更容易找出其中的规律。引入模型是物理学中经常采用的一种行之有效的科学分析方法，以后还将引入许多在不同条件下使用的理想化模型（例如，刚体、简谐振子、理想气体、点电荷等）。

三、时间和时刻

时间和时刻是两个完全不同的概念。在运动学中，与质点所在某一位置相对应的是某一时刻；与质点所走某一段路程相对应的是某段时间。在日常生活中，人们往往混淆了时间与时刻的概念。例如，“火车什么时间开？”“从上海到北京的特

快要开多少时间？”在这两句话中，“时间”的含义是完全不同的。前一句中的“时间”，指的是时刻，表示火车开动的那一瞬间钟表上指针所指的某一读数。而后一句中的“时间”，表示的是火车开动出站到进站停止运动这二个时刻之间的间隔，是钟表上指针连续走动的总读数。

时间是标量，用 t 表示。在国际单位制中，时间的单位是秒，国际代号是 s 。

§1—2 描述质点运动的物理量

一、位置矢量

在确定的直角坐标系中，质点在空间的位置 P 可用三个坐标 (x, y, z) 来表示，也可用从坐标原点 O 到 P 点的有向线段 $\overrightarrow{OP} = \mathbf{r}$ 来表示（图 1—2）。这个有向线段 $\mathbf{r}$ 称为位置矢量或矢径。矢径 $\mathbf{r}$ 的大小就是 P 点到原点 O 的距离，矢径 $\mathbf{r}$ 的方向表明了 P 点相对于原点 O 的方位。

要确定质点的位置必须同时确定质点的距离和方向。例如，有人告诉你那位要找的朋友的家离你 500 米，你是不会满意的，只有当他进一步说明是在哪个方向时，你才能找到朋友的家。所以，距离和方向是确定一个目标的两个必不可少的条件。

显然， P 点的坐标 x, y, z 就是矢径 $\mathbf{r}$ 沿坐标轴的三个分量。引入单位矢量 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ ，矢径 $\mathbf{r}$ 可写为

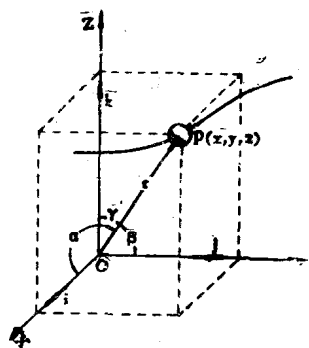


图 1—2 位置矢量

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

矢径 $\mathbf{r}$ 的大小为

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

矢径的方向余弦是

$$\cos \alpha = \frac{x}{r} \quad \cos \beta = \frac{y}{r} \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

运动方程 质点运动时，它的位置是随时间改变的，因此位置矢量 $\mathbf{r}$ 和它的分量 x 、 y 、 z 都是时间 t 的函数。这个函数关系称为质点的运动方程。可表示为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$$

$$\text{或} \quad x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1-1)$$

当质点限制在平面（或直线）上运动时，相应的坐标就只要二个（或一个），运动方程也就只有二个（或一个）分量式了。

质点运动时，在坐标系中描绘出的路线称为轨道。若轨道是直线，则称为直线运动；若轨道是曲线，则称为曲线运动。表示轨道的方程式，称为轨道方程。切不可将轨道方程和运动方程相混淆。从运动方程（1—1）式中消去时间 t ，便得到质点在空间运动的轨道方程。

二、位移

设质点沿图 1—3 所示的平面曲线轨道运动。在时刻 t ，质点位于 A 点，位置矢量为 $\mathbf{r}_A$ ，在 $t + \Delta t$ 时刻，质点运动到 B 点，位置矢量为 $\mathbf{r}_B$ 。在 Δt 时间内，质点位置的变化可用从 A 到 B 的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来表示，称为质点的位移矢量，简称位移。显然，位移 $\overrightarrow{AB}$ 既表示了质点位置

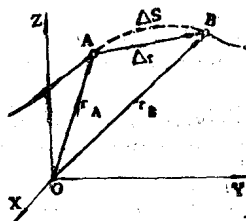


图1—3 位移

变化的大小（A、B之间的距离），又表示了这种变化的方向（B点相对于A点的方位）。若令 $\overrightarrow{AB} = \Delta \mathbf{r}$ ，则根据矢量求和的三角形法则或平行四边形法则，由图1—3可以看出，位置矢量 $\mathbf{r}_B$ 、 $\mathbf{r}_A$ 和位移 $\Delta \mathbf{r}$ 之间的关系为

$$\mathbf{r}_B = \mathbf{r}_A + \Delta \mathbf{r}$$

或
$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A$$

必须注意，位移只表示质点位置变化的实际效果，并不是质点运动所经历的路程。图1—3中虚线所表示的路程（曲线AB）是质点运动轨道的长度。路程是标量，常用 Δs 表示。位移和路程是两个完全不同的概念，即使在直线运动中，位移和路程也是不同的。例如，一人从A点沿直线走100米到B点，又从B点返回A点，则路程是200米，而位移却为零。在一般情况下，只有在时间 Δt 趋近于零时，路程 Δs 和位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的大小才可看作相等。

位置矢量和位移矢量的数值同路程一样都表示长度。在国际单位制中，长度单位是米，国际代号为m。

三、速度

研究质点的运动，不仅要知道任何时刻质点在坐标系中的位置，还要知道质点位置变化的快慢程度和方向。因此引入速度这个物理量来表示物体运动的快慢程度和方向。在力学中只有同时确定物体的位置和速度，才能完全确定物体的运动状态。

平均速度 如图1—3所示，在时刻 t 到 $t + \Delta t$ 这段时间内，质点的位移为 $\Delta \mathbf{r}$ 。那末， $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比值，称为质点在时间 Δt 内的平均速度，用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示，则有

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

平均速度是矢量。平均速度的大小是 $|\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}|$ ，它表示质点在确定的时间间隔 Δt 内位置变化的平均快慢程度。平均速度的方向与在这段时间间隔内位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同。由图 1—4 可见，质点运动时，经历不同的时间间隔 Δt_1 和 Δt_2 后，从 A 点分别运动到 B_1 和 B_2 点，则质点经过的位移分别为 $\overline{AB}_1 = \Delta \mathbf{r}_1$ 及 $\overline{AB}_2 = \Delta \mathbf{r}_2$ 。质点运动的平均速度分别为 $\overline{\mathbf{v}}_1 = \frac{\Delta \mathbf{r}_1}{\Delta t_1}$ 及

$\overline{\mathbf{v}}_2 = \frac{\Delta \mathbf{r}_2}{\Delta t_2}$ 。显然，平均速度 $\overline{\mathbf{v}}_2$ 与 $\overline{\mathbf{v}}_1$ 不仅方向不同，而且一般说来大小也不一样。由此可知，当用平均速度来描述质点运动时，必须指明是哪一段时间或哪一段位移内的平均速度。

瞬时速度 除质点作匀速直线运动外，用平均速度来描述物体的运动是比较粗略的。因为平均速度只能反映在一段时间内质点位移的平均变化，而不能反映出质点在任一时刻（或任一位置）的运动情况。在许多实际问题中，都必须精确知道质点在某一瞬间的真实运动情况。例如，人造卫星能否进入预定的轨道，决定于卫星脱离火箭那一瞬间的运动速度；在原子能反应堆中，中子打击铀—235 原子核能否引起铀核裂变，决定于中子进入铀核时那一瞬间的运动速度。那末，怎样才能精确地描述质点在某一时刻（或某一位置）的真实运动情况呢？

以图 1—4 所示的质点运动为例。若 B 点比较接近 A 点，则位移 $\Delta \mathbf{r}$ 较小，相应地，所用的时间间隔 Δt 也较短，此时 A、B 两点间的平均速度就能比较真实地反映质点在 A 点附近的运动。显然，时间间隔 Δt 取得越短，B 点越接近于 A 点，所求得的平均速度就越接近 A 点的真实运动情况。当时间间隔 Δt 趋近于零时，平均速度的极限值就表示质点在这一时刻（或这一位置）的真实速度，称为瞬时速度，简称速度，用 $\mathbf{v}$ 表示，则有

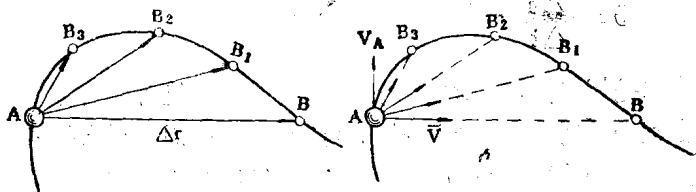


图1—4 质点在轨道上A点处的速度方向

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

亦即瞬时速度等于矢径对时间的一阶导数。

速度是矢量。速度的方向就是当 Δt 趋近于零时，位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向。如图1—4所示，位移 $\Delta \mathbf{r} = \overline{AB}$ 沿着割线AB的方向。当 Δt 逐渐减小而趋近于零时，B点逐渐趋近于A点，相应地割线AB也逐渐趋近于A点的切线。所以质点沿任意曲线运动时，在某一时刻的速度方向就是沿着轨道上质点所在点的切线，并指向质点前进的方向。

在直角坐标系中，矢径 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ ，代入(1—2)式，可知速度及其三个分量是

$$\mathbf{v} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k}$$

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1-3)$$

速度的大小为

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-4)$$

速率 在工程技术中经常使用速率这个物理量。速率描述质点所经历路程变化的快慢，而不考虑质点运动的方向。在图1—4中，质点在 Δt 时间内所经过的路程是曲线段 $\widehat{AB} = \Delta s$ ，则 Δs 与 Δt 的比值称为在时间 Δt 内质点的平均速率，即