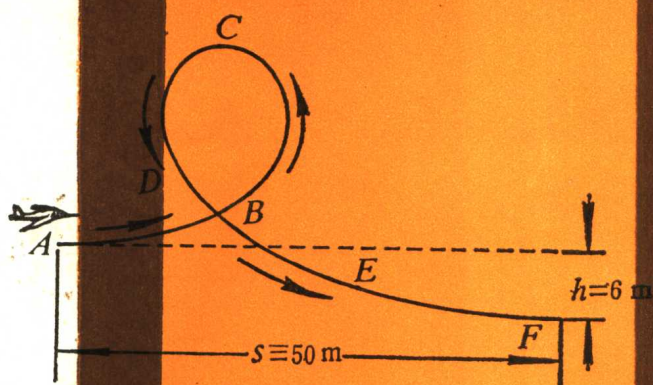


普通物理学习指导

(上册)

周全华 凌琪琪 刘宝钧



天津教育出版社

普通物理学习指导

上册

周全华 凌其其 刘宝钧 编

天津教育出版社

普通物理学习指导

上册

周全华 凌其其 刘宝钧 编

*

天津教育出版社出版

(天津市湖北路27号)

新华书店天津发行所发行

天津武清永兴印刷厂印刷

*

850×1168毫米32开 14.875印张 331千字

1988年5月第1版

1988年5月第1次印刷

印数1—3100

ISBN 7-5309-0176-1

G·129 定价：4.45元

前 言

物理学是一门概念性、实践性和科学性很强的学科。学生在学习这门课程时，常因对物理概念理解模糊和对物理规律运用不够准确而出现各种错误，造成学习上的困难。这个问题对于各类成人高校的学生和广大自学者来说更为突出。为了帮助他们牢固地掌握物理学中的基本概念、基本原理和研究问题的方法，并在解题能力和抽象思维能力方面受到严格的训练，提高分析问题和解决问题的能力，我们在长期教学实践的基础上，编写了这本能够独立使用的普通物理学习指导书。

本书是根据高等工业学校普通物理学教学大纲和职工高等工业专科学校普通物理学教学大纲中规定的教学内容编写的。编写过程中，主要参考了目前高等工科院校和各类成人高校广泛采用的南京工学院等七所工科院校编、马文蔚、柯景凤改编的《物理学》和程守洙、江之永编、朱咏春等修订的《普通物理学》这两部教材。

本书分上、下两册。上册包括质点运动学、牛顿运动定律、功和能、动量、刚体的转动、万有引力、机械振动、机械波、气体分子运动论和热力学基础等内容。下册包括静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒电流、磁场、磁介质、电磁感应、电磁振荡和电磁波、波动光学、狭义相对论和量子物理学等内容。

本书在详尽地分析物理概念和物理学基本原理的同时，还针对学生在学习过程中经常出现的问题指出了这些概念和原理之间的相互联系以及对它们理解和运用时应该注意的问题。为了满足学习基础较好的学生进一步提高的需要，还对某些重要的概念和原理的理解和运用作了必要的引深。为了有效地提高教学质量和引起学生学习物理学的兴趣，本书在讲述基本概念和原理的过程中，适时地向读者提出了许多供思考的问题，以加深对概念和原理的理解。在每章的末尾都给出了解题指导和一定数量的例题和习题。习题都附有标准答案。对于典型的思考问题和习题，本书还作了选答和选解，供读者学习时参考。全书统一采用国际单位制。

由于编者水平有限，书中定有不妥之处。敬请读者批评指正。

编者1987年5月于天津

目 录

第一章 质点运动学	1
一、运动学的描述方法	1
二、质点运动学中的几个基本概念	3
三、直线运动和平面曲线运动	12
四、曲线运动中的切向加速度和法向加速度	29
五、相对运动	33
六、解题指导 例题和习题	34
第二章 牛顿运动定律	62
一、牛顿运动定律的分析	62
二、力的概念 力学中常见的力	68
三、物体受力情况分析	72
四、国际单位制 量纲	76
五、惯性系和非惯性系	78
六、解题指导 例题和习题	80
第三章 功和能	115
一、功和功率	115
二、动能 动能定理	120
三、保守力的功 势能	124
四、物体系统的功能定理	131
五、机械能守恒定律	133

六、能量转换与守恒定律·····	135
七、解题指导 例题和习题·····	135
第四章 动量·····	164
一、动量和冲量·····	164
二、动量定理·····	167
三、动量守恒定律·····	173
四、碰撞·····	179
五、质心和质心运动方程·····	186
六、解题指导 例题和习题·····	190
第五章 刚体的转动·····	218
一、刚体运动学·····	218
二、力对固定转轴的力矩·····	224
三、刚体定轴转动的转动定理·····	226
四、力矩的功和刚体的动能·····	232
五、力矩的冲量 角动量和角动量守恒定律·····	236
六、解题指导 例题和习题·····	245
第六章 万有引力·····	282
一、万有引力定律·····	282
二、引力场 引力场强·····	285
三、引力势能·····	287
四、掠面速度·····	290
五、宇宙速度·····	291
六、例题和习题·····	292
第七章 机械振动·····	300
一、简谐振动的基本特征·····	300
二、简谐振动的运动学描述·····	305

三、几种典型的简谐振动系统·····	313
四、简谐振动的能量·····	319
五、简谐振动的合成·····	320
六、阻尼振动 受迫振动 共振·····	322
七、解振动问题的基本方法 例题和习题·····	324
第八章 机械波·····	348
一、机械波的产生·····	348
二、波长、波的周期、频率和波速·····	351
三、平面简谐波·····	354
四、惠更斯原理 波的衍射·····	366
五、波的迭加·····	367
六、求解基本的波动问题的方法 例题和习题·····	374
第九章 气体分子运动论·····	394
一、物质分子运动论的基本概念·····	394
二、气体的状态参量 平衡态与平衡过程·····	396
三、气体的实验定律 理想气体的状态方程·····	398
四、气体分子热运动的基本特征·····	405
五、气体分子运动论 理想气体的分子模型·····	406
六、理想气体的压力公式·····	408
七、理想气体分子的平均平动动能与温度的关系·····	410
八、分子运动的速率分布规律·····	413
九、气体分子的碰撞·····	418
十、重力场中气体的密度随高度的分布·····	421
十一、真实气体 范德瓦耳斯方程·····	422
十二、气体的迁移现象·····	423
十三、例题和习题·····	427

第十章 热力学基础	433
一、热力学的任务和研究方法	433
二、内能 功 热量	434
三、热力学第一定律	436
四、能量均分原理 理想气体的内能	439
五、定容摩尔热容 C_V 定压摩尔热容 C_P	441
六、一定质量的理想气体的几个等值过程的比较	445
七、循环过程 热机效率	447
八、热力学第二定律	450
九、可逆过程和不可逆过程	452
十、卡诺定理	454
十一、例题和习题	455

第一章 质点运动学

一、运动学的描述方法

1. 机械运动和运动学的任务

自然界的一切物质都在不停地运动着。在物质的多种多样的运动形式中，最简单、最常见而又最基本的是机械运动，它是指物体之间或物体内部各部分之间发生的相对位置的变化。

运动学研究物体的位置随时间变化的规律及位移、速度和加速度等物理量之间的关系，而不涉及引起运动及其变化的原因。

本章研究质点运动学。

2. 运动描述的相对性 参照系和坐标系

自然界中一切物体都在不停地运动，绝对静止的物体是没有的。这就是运动的绝对性。

然而，为了描述物体的运动，总要选择另外一个物体（或物体组）作为标准，相对于不同的标准物，物体运动情况的描述是不同的。这就是运动描述的相对性。

参照系 为描述物体运动而选的标准物叫做参照系。在不同的参照系中，对同一物体的运动的描述是不同的。

问题1-1 在一艘内河轮船中，两个旅客有这样的对话：

甲：我静静地坐在这里好半天了，我一点也没有运动。

乙：不对，你看看窗外，河岸上的物体都飞快地向后掠去，船在飞快前进，你也是在很快地运动。

试把他们讲话的含意阐述得确切一些。究竟旅客甲在运动，还是静止？你如何理解运动和静止这两个概念，有没有绝对静止不动的物体？

问题1-2 火车作匀速直线运动，从车内的桌上自由落下一球。车上的人说：“球作直线运动。”而地面上的人说：“球作抛物线运动。”试问：他们两个谁说得对，为什么？

坐标系 为了定量描述物体在空间的运动，必须在参照系上建立一个固定的坐标系。

坐标系包括坐标原点、坐标轴指向和刻度。坐标系可以有不同的类型，视研究问题的方便而定。

3. 质点

确定了参照系和坐标系后，从原则上说，我们就可以定量地描述物体在空间的运动了。但由于任何物体都有一定的形状和大小，且一般说来，物体中各部分的运动情况有所不同，所以要详细地描述物体的运动并非那么容易。然而在许多具体问题中，如果物体的大小和形状可以忽略时，我们可将物体视作一个没有形状和大小而只具有一定质量的点，即质点。质点突出了物体具有质量和在空间占有位置这两个性质。

物体在平动过程中，物体上每一个点的运动情况完全相同，因此可用其中一个点的运动来代表整个物体的运动。也就是说物体在平动时，可看作质点。

质点的概念是实际物体在一定条件下的科学抽象，运用质点的概念可以使问题简化，而突出主要因素，便于问题的研究。

同时，当我们所研究的运动物体不能视为质点时，可把整个物体看成是由许多质点所组成，分析这些质点的运动也可以弄清整个物体的运动。所以研究质点的运动是研究物体运动的基础。

值得注意的是，一个物体能否看成质点，不是取决于物体本身的大小，而是取决于所研究问题的性质。因此，将物体当作质点是有条件的、相对的、而不是无条件的、绝对的。

问题1-3 研究地球绕太阳公转时，能否将地球视为质点？
研究地球本身自转时，能否将地球视为质点？

问题1-4 研究手表机芯中的小齿轮转动时，能否将它视为质点？

问题1-5 研究炮弹运动时，什么情况下可将其视为质点，什么情况下则不能？

4. 时刻和时间

质点运动时，其空间位置要随时间而变化，因此，需要用时间表示运动的先后次序。时间具有单方向的特性。

时刻 是指某一瞬时，它与质点运动时所在的某一位置相对应。

时间 是指两个时刻间的时间间隔，通常与质点位置的变化相联系。

平常所说的“第1秒”、“第1秒末”指的是时刻，“第1秒内”指的是时间。

二、质点运动学中的几个基本概念

1. 运动方程 位置矢量 轨迹

位置矢量 在固定在参照系上的某个选定的坐标系中，质点的位置用从原点指向质点所在点的矢量 r 表示， r 称为质点的位置矢量或矢径。如图1-1所示。

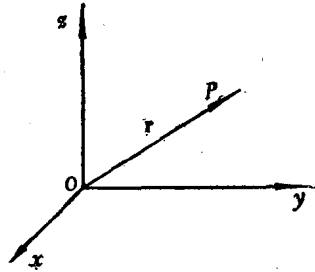


图 1-1

运动方程 所谓质点的运动，就是其位置矢量 r 随时间的推移而变化。用数学语言表述，就是说位置矢量是时间 t 的函数，即

$$r = r(t) \quad (1-1)$$

式 (1-1) 称为质点的运动方程。本章仅讨论质点在直线或平面上运动的运动方程。

若质点作直线运动，如选其运动所在的直线为坐标轴 (x 轴)，其运动方程可简化为：

$$x = x(t) \quad (1-2)$$

质点作平面运动时，若选用平面直角坐标系，其运动方程为：

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

或

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

问题1-6 质点在平面上运动时，写出用平面极坐标表示的运动方程。

[答: $r = r(t)$, $\theta = \theta(t)$]

轨迹 运动质点在空间经过的路线称为轨迹。轨迹为直线

的运动称为直线运动. 轨迹为曲线的运动称为曲线运动. 在式(1-4)中, 消去时间 t , 就得到质点在平面上运动的轨迹方程.

问题1-7 已知一质点的运动方程为

$$\begin{cases} x = 2t \\ y = 2 - t^2 \end{cases}$$

式中 t 以 s 计, x 、 y 以 m 计, 证明该质点运动的轨迹方程为 $y = 2 - \frac{x^2}{4}$. 在坐标纸上画出该方程的轨迹图, 指出质点作的是何种曲线运动. 若在 $t = 1(s)$ 时, 质点运动至 P 点, $t = 2(s)$ 时, 质点在 Q 点, 从图上找出 P 、 Q 点, 并写出 P 、 Q 两点的位置矢量.

(答: $r_p = 2i + j$, $r_Q = 4i - 2j$)

问题1-8 一质点的运动方程为

$$\begin{cases} x = 3\cos\frac{\pi}{6}t \\ y = 3\sin\frac{\pi}{6}t \end{cases}$$

式中 t 以 s 计, x 、 y 以 m 计, 试说明该质点的运动轨迹是以原点为中心, 半径等于 $3(m)$ 的圆.

2. 位移 路程

位移 图1-2中 A 、 B 两点之间的曲线是质点运动轨迹的一部分, t 时刻质点的位置为 r_A , $t + \Delta t$ 时刻质点的位置为 r_B . A 、 B 两点位置矢量的变化由矢量

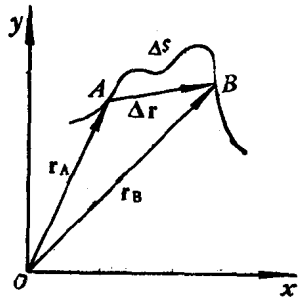


图 1-2

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B(t + \Delta t) - \mathbf{r}_A(t) \quad (1-5)$$

来描述, $\Delta \mathbf{r}$ 叫做质点在 $t \rightarrow t + \Delta t$ 时间内的位移,如图1-2所示,其方向从起始位置 A 指向终了位置 B .位移在直角坐标中的投影为

$$\begin{cases} \Delta x = x(t + \Delta t) - x(t) \\ \Delta y = y(t + \Delta t) - y(t) \end{cases} \quad (1-6)$$

问题1-9 证明问题1-7中, PQ 之间的位移为 $\Delta \mathbf{r} = 2\mathbf{i} - 3\mathbf{j}$

问题1-10 飞机在天空翻筋斗, 经历的路线如图1-3所示的 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$. 设始点 A 与终点 F 的水平距离 $s = 50(\text{m})$, 垂直距离 $h = 6(\text{m})$. 绘出总位移矢量, 并按上述数据求出位移的大小和方向.

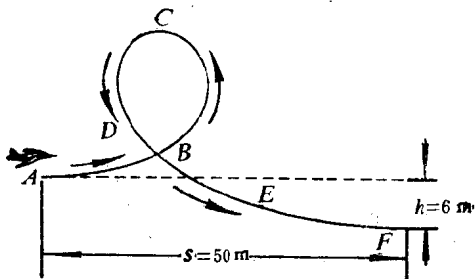


图 1-3

[答: 位移大小: $|\mathbf{AF}| = 50.4(\text{m})$.
方向: 与水平方向夹角 $\theta = 6^\circ 51'$]

路程 在一段时间内质点运动轨迹的长度叫做路程. 如图1-2中 AB 两点间曲线的长度 Δs 叫做在 Δt 时间内经历的路程.

在理解位移的概念时，应注意：

(1) 位移与位置矢量的区别与联系：

a. 位移与位置矢量均为矢量，都与参照系的选择有关。但位置矢量还与坐标原点的选择有关，而位移却与坐标原点的选择无关。

b. 位置矢量与一确定的时刻相对应，是瞬时量。位移与一定的时间间隔相对应，是过程量。若选取 t 时刻质点的位置为坐标原点，则 Δt 时间内质的位移与它在 $t + \Delta t$ 时刻的位置矢量相一致。

c. 注意符号 $|\Delta r|$ 和 Δr 的区别。 $|\Delta r|$ 表示位移的大小。而 Δr 表示位置矢量大小的变化。在图 1-2 中， $|\Delta r| = |r_B - r_A|$ 是 AB 线段的长度， $\Delta r = |r_B| - |r_A|$ 是 OB 与 OA 两线段之差。在相同的时间间隔内，一般 $|\Delta r| \neq \Delta r$ ，仅当质点作直线运动时，两者才相等。

(2) 位移与路程的区别：

a. 位移表示质点位置的变化，是矢量。路程表示质点所通过的实际路线的长短，是标量。

b. 一般情况下，质点在某一时间间隔 Δt 内的路程 Δs 大于位移的大小 $|\Delta r|$ ，仅当在直线运动中质点的运动方向保持不变和曲线运动中 $\Delta t \rightarrow 0$ 的两种情况下，两者才相等，故

$$|\Delta r| \leq \Delta s \quad (1-7)$$

问题 1-11 从原点到 P 点的位置矢量 $r_p = -2i + 6j$ ，而 P 点到 Q 点的位移 $\Delta r = 4i - 2j$ ，求从原点到 Q 点的位置矢量，并作图表示。

(答： $r_Q = 2i + 4j$)

问题 1-12 手表的分针长为 1.5cm，一个小时内分针顶端

的位移是多少？所走的路程是多少？（答： 位移为零；路程 9.42cm）

问题1-13 在上题中，分针顶端位移大小的最大值和路程最大值处分针顶端所在的位置是否相同？（答： 不同）

3. 速度 速率

速度是描述物体运动状态的物理量。

平均速度： $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ ，描述一段时间内物体位移的平均变化情况，是矢量， \bar{v} 的方向为 Δt 时间内位移 Δr 的方向。

瞬时速度： $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt}$ ，是位置矢量对时间的微商，等于 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度的极限，它描述物体在某一时刻（或位置）的运动情况。 v 的方向为位移 Δr 的极限方向，即沿运动轨迹的切线并指向质点运动的方向。

问题1-14 在变速直线运动中，各段位移内的平均速度与每一时刻的瞬时速度是否相同？为什么？平均速度总是等于瞬时速度的运动是什么运动？

平均速率： $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ，一段时间内质点通过的路程与所用时间的比。它是标量。

瞬时速率： $\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$ ，由于在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时， $\Delta s = |\Delta r|$ 故瞬时速率就是瞬时速度的大小。

在理解速度和速率的概念时，应注意：