

成人高等教育自学辅导丛书

普通物理自学指导

上册

胡林 主编

王树宁 齐淑静 陈章璧 编著

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是为满足成人高等教育自学考试的迫切需要而编写的一本普通物理自学指导书。内容安排是根据中央广播电视大学普通物理教学大纲、职工高等工业专科学校普通物理教学大纲及所使用的相应教材编写的，力求按照目前学员的实际水平，适应电视教学及自学函授等各类成人高等教育的特点。

全书分为上、下两册。上册内容是力学和热学，下册内容是电学、光学和近代物理。

本书对物理学中的基本概念和规律作了较为深入的分析，配有大量的例题和思考题，并解答得较为详尽。对指导学员进行自学、复习均有较大帮助。

本书可供电视大学学员、辅导教师、以及有关职工大学、业余大学、函授大学师生和自学青年使用。也可供高等工科院校学生参考。

成人高等教育自学辅导丛书

普通物理自学指导

上 册

胡 林 主 编

王树宁 齐淑静 陈章璧 编著

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

通县曙光印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 10.25印张 227千字

1986年2月第一版 1986年2月北京第一次印刷

印数00001-20900册 定价2.15元

书号7143·6031

前 言

当前，在经济体制改革和新技术革命挑战的形势下，智力开发的重要性更加突出了。我们迫切需要有一支高水平的职工队伍，以加速实现技术现代化，管理现代化，提高经济效益。这就要求在普遍提高职工的政治、文化、技术、业务素质的同时，尽快从现有职工中培养造就大批的专业技术干部和管理干部，形成一支在数量上能基本满足要求，质量上能掌握现代科学技术和经营管理知识，专业配套的职工队伍。可以说，大力加强职工教育，培养各类人才，是摆在我们面前的一项十分重要而又急迫的任务。

这套“成人高等教育自学辅导丛书”就是根据当前加强职工教育的形势和需要而专门组织编写的。

“丛书”以“面向实际，面向生产，为提高职工队伍素质，提高经济效益服务”作为编写指导思想；内容紧密结合成人高等教育理工类(或财经类)部分课程的教学大纲和电视大学及一些函授大学、职工大学、业余大学的教材；在布局、选材、体例和编写形式上尽量适应成人自学的特点。所以，非常适用于理工、财经类电视大学、职工大学、业余大学学员作为学习辅导书，或函授大学作为函授教材；对于广大自学读者，则是帮助他们通过自学高等考试的一种自学读本。

为了切合读者的实际需要，提高学习效果，“丛书”中的每一册都包括基本概念、重点和难点解释、典型例题分

析、总结或提示以及思考与练习等几部分内容，并配有适量的作业测验题(附答案)和电大试题选解。

这套丛书共包括十一门课程，十三册：

- 高等数学自学指导(上、下册)
- 线性规划自学指导
- 线性代数自学指导
- 概率论与数理统计自学指导
- 常微分方程自学指导
- 逻辑代数与BASIC语言自学指导
- 复变函数自学指导。
- 微积分自学指导(财经类)
- 普通物理自学指导(上、下册)
- 普通化学自学指导
- 物理化学自学指导

本书是根据中央广播电视大学普通物理教学大纲、职工高等工业专科学校普通物理学教学大纲(草案)及所使用的相应教材，并结合编者多年从事成人高等教育的教学经验编写而成的。内容力求适应目前电视大学、各类职工大学及函授大学学员的实际水平。每章均包括重点和难点，基本概念和规律，典型例题分析和测验作业等几部分，书后附有参考解答及中央广播电视大学普通物理试题。各章例题中，有个别较难的题目以(*)号标出，供学有余力的读者参考。

本书分上、下两册，共包括五篇二十章。上册为力学、气体分子运动论和热力学基础；下册为电磁学、光学和近代物理。第一篇力学，第二篇分子物理学与热力学，由王树宁执笔；第三篇电磁学由齐淑静执笔；第四篇波动光学，第五

篇近代物理由陈章壁和王树宁执笔，全书由三人共同讨论定稿。陈章壁绘制了全部插图。全书由北京师范大学物理系梁绍荣副教授作了较为详细的审阅，并提出了修改意见；杨振威、李忠等同志对部分篇章提出过宝贵意见。

参加这套书编写工作的都是有经验的高等学校教师或成人教育工作者，其中有些同志还讲授过电视大学的有关课程或担任过电大辅导课主讲教师。“丛书”融汇了他们多年的教学经验和心得体会，更鲜明地具有电视教学及自学、辅导、函授多用的特色。

在编写过程中，我们得到各课程的有关教授和专家的关怀和指导，有些同志直接参予审阅、整理等工作，在此一并表示深切的谢意。

组织编写这类面向成人读者、自学、辅导、电教、函授多用的大专读本还是第一次，欢迎读者对“丛书”的内容、布局、结构、形式等提出宝贵意见，以帮助我们改进工作，提高“丛书”质量。

胡 林

1985年7月

目 录

前 言

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	1
第二章 质点动力学	40
I 力的瞬时作用规律	40
II 力对时间累积作用规律	72
III 力对空间累积作用规律	85
IV 碰撞和动力学综合性问题解法	109
第三章 刚体的转动	125
第四章 振动学基础	156

第二篇 分子物理学和热力学

第五章 气体分子运动论	190
第六章 热力学的物理基础	239
附录 I 测验作业参考解答	292
附录 II 中央广播电视大学一九八二级普通物理 试题(上)、补考题(上)及答案	309

第一篇 力学

物理学是研究物质运动中最普遍、最基本运动形式的一门科学，它包括机械运动、电磁运动、分子热运动、原子和原子核内部的运动等。

机械运动是最简单、最基本的运动形式，它是指物体之间或物体各部分之间发生的相对位置变化。力学的研究对象就是机械运动的客观规律及其应用。机械运动的基本形式有平动和转动。

本篇主要研究运动学和动力学两大部分，主要内容包括质点运动学、质点动力学、刚体的转动和机械振动。

第一章 质点运动学

物体在平动过程中，物体内各点的位置无相对变化，物体内各点所运动的情况完全相同，因此常可用物体上任何一点的运动代表整体的运动情况。平动又可分为直线运动和曲线运动。在力学中，研究物体位置随时间变化规律的这部分内容叫运动学。

本章主要是从运动学的角度描述质点的直线运动和曲线运动，在内容中引入了描写质点运动的几个物理量：位置矢量、位移、速度和加速度。着重从速度、加速度的瞬时性、矢量性和相对性三方面深入理解这两个基本概念。从运动规

律上主要研究了匀变速直线运动，圆周运动和抛体运动等。

一、地位和特点

1. 地位

本章内容是为学习普通物理力学打基础的。通过引入位置矢量、位移、速度、加速度这几个物理量对机械运动进行描述，指出物体的运动状态如何随时间变化，而不涉及到引起变化的原因，这些内容是学习力学重点内容的预备知识。例如位置矢量、速度都是描写质点状态的参量，与动力学中势能、动量、动能这些状态量有密切的关系，而位移是描写质点位置变动的量，与功这个过程量有关。加速度概念是沟通质点运动学与动力学之间的一个桥梁。因此学好质点运动学的知识就为学习以下各章打下良好的基础。

2. 特点

(1) 在中学的基础上相应提高

大家在中学都学过速度、加速度的概念，也学过匀速、匀变速直线运动的规律，我们要在这个基础上相应的提高。例如通过对速度、加速度的瞬时性、矢量性、相对性的分析更全面、更深入理解这两个概念。在解题方法上，由于出现物理量的不均匀变化，要使用微积分数学计算。

(2) 突出处理问题的方法

(i) 首先我们遇到学习物理的第一个理想化模型——质点。质点是实际物体在一定条件下的抽象，把复杂的、具体的物体，用简单的模型来代替。这样可简化它的条件，突出主要矛盾，便于找出其中的规律。

应用理想化模型研究问题的方法，是物理学的重要研究方法之一。

(ii) 在理解速度、加速度瞬时性概念时，我们的处理

方法是：对变速直线运动采用取小段的方法，先解决“变”与“不变”的矛盾，然后再用取极限的方法，解决“近似”与“精确”的矛盾。对于曲线运动，处理方法也是取小段，先解决“曲”与“直”的矛盾，然后再应用直线运动的方法引入速度、加速度瞬时性概念。

(iii) 在处理平面曲线运动时，常用的方法是把复杂运动看成几个简单运动的合成。例如斜抛运动，匀速率圆周运动等，都可视为两个互相垂直的直线运动的合成。

(3) 运用数学知识较多：矢量的加减法运算，几何图线，极限及微积分的运算等都是经常使用的。

二、重点和难点

1. 重点要求

(1) 通过速度、加速度的瞬时性、矢量性和相对性，确切理解瞬时速度和瞬时加速度的概念。

(2) 熟练掌握匀变速直线运动的基本公式。

(3) 掌握用矢量分解的方法处理曲线运动问题。记住斜抛和圆运动的有关公式。

2. 难点

(1) 速度、加速度概念的相对性，速度合成定理，尤其是对于变换参照系，这些是初学者所不大熟悉的。

(2) 圆周运动中向心加速度和切向加速度公式的推导不易接受。产生困难的原因是：从物理方面看，加速度概念的瞬时性和矢量性集中在一起，使得有些学员对这一物理过程的空间模型建立不起来。从数学方面看，矢量的合成与分解，极限的概念，微分的概念集中在一起，也造成数学上的困难。

需要说明的是，在本书的内容安排中，对相对速度概

念，速度合成定理，不作基本要求。

对 \vec{a}_x 和 \vec{a}_y 公式的推导，建议读者在阅读这部分内容前，先要复习一下矢量的合成与分解的知识，熟悉矢量三角形法则。

三、基本概念

1. 位置矢量：

它是描写质点在空间位置的物理量。

当质点作平面曲线运动时，质点在空间的位置可用有向线段 $\vec{OP} = \vec{r}$ 来表示，如图1.1所示。位置矢量 \vec{r} 是一个矢量，

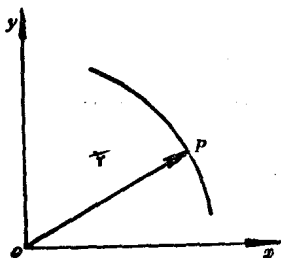


图 1.1

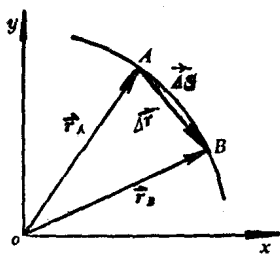


图 1.2

\vec{r} 随时间 t 变化的关系 $\vec{r} = \vec{r}(t)$ 叫运动方程，

$x = x(t)$ ， $y = y(t)$ 是 $\vec{r} = \vec{r}(t)$ 的两个分量式。

当质点作直线运动时，只用一维坐标， $x = x(t)$ 就可以描写清楚了。

2. 位移

位移是描写初始时刻 A 和终了时刻 B 质点位置变动的大小和方向的物理量。从 A 引向 B 的有向线段 \vec{AB} 称为质点的位移。位移是一个矢量，如图1.2所示。

要注意路程和位移的区别，位置矢量和位移的区别。路程是标量，位移是矢量。路程是物体经历的实际路径，而位移是质点初末两位置矢量之差，表示质点位置的改变，位移一般并不是质点所经历的实际路线。例如在图 1.2 中，位移是矢量 AB ，而路程是弧长 ΔS 。又如一物体绕半径为 R 圆周运动一周后，又回到原始位置，其路程为 $2\pi R$ ，而位移是零。

即使在直线运动中，位移和路程一般也不相同。只有当质点作直线直进运动时，位移的数值才与路程相同，位移图线才与路程图线重合。

位置矢量是从坐标原点引向质点所在位置的一有向线段，而位移是两位置矢量之差。只有取质点运动起始点为坐标原点，两者才一致。

当质点作直线运动时，要注意坐标与位移的本质区别，坐标为该点位置 x ，位移是有向线段 AB 。当质点从原点开始运动的条件下 ($t = 0, x_0 = 0$)，坐标与位移大小是相同的 $(x - x_0) = (x - 0) = x$ 。

当质点起始位置不在坐标原点时，($t = 0, x_0 \neq 0$) 一般坐标 x 并不等于位移 $x - x_0$ 的大小，如图 1.3 所示。

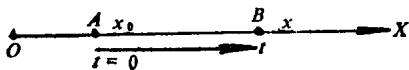


图 1.3

3. 速度

速度是描写质点位置变动的快慢和方向的物理量。

(1) 瞬时性：在直线运动中，位移矢量的方向用正、负号表示，可作代数量处理。

在任意的变速直线运动中，要求各点的运动速度。处理方法是，把变速直线运动的整个位移分成许多小段位移，在每一小段位移内，我们近似地认为运动速度是不变的，这样在每一段位移内，可按匀速直线运动处理。这一小段内的平均速度

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

把整体上的“变”转化为小段内的“不变”，用这种处理方法先解决了“变”与“不变”的矛盾，但这种描述仍是近似的，不精确的。下一步再解决“近似”与“精确”的矛盾。处理方法是，令 $\Delta t \rightarrow 0$ 取极限。其数学表达式为

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

在变速直线运动中，某点的瞬时速度就是在该点附近一小段位移内平均速度的极限值。

对于质点的曲线运动，怎样描述其运动的快慢呢？处理方法仍然是把任一条曲线，分割成许许多多小段，每一小段可视为直线。可把质点的任一平面曲线运动，视为是由无限多个无限短的直线运动组成的。这样把整体上的曲线运动转化为局部的直线运动。在解决了“曲”与“直”的矛盾后，就可以按直线运动来描述质点在各个时刻的瞬时速度了，即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

(2) 矢量性

在直线运动中，建立了坐标轴 Ox 后，运动的方向与 x 轴方向一致时， v 取正，与 Ox 轴反向时取负。这样在直线运动中，速度矢量可作标量处理，用正负号即可说明速度的方

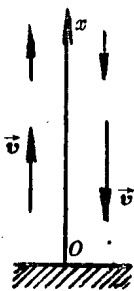


图 1.4

向。例如竖直上抛运动，若取 Ox 轴向上，则物体上升时 v 取“+”，下落时 v 取“-”，如图 1.4 所示。

在曲线运动中，速度的矢量性更突出了，质点速度的方向，沿着曲线上质点所在处的切线，并指向质点前进的方向。

例如质点的斜抛运动，在建立直角坐标系后，则质点在 A 点的速度可分解为 v_x 和 v_y ，其大小和方向可表示为：

速度的大小

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$$

速度的方向可用 \vec{v} 与水平方向的夹角 θ 来表示，如图 1.5 所示。

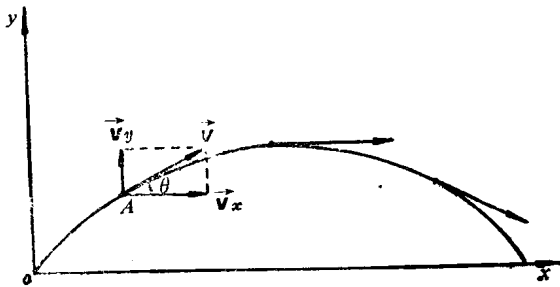


图 1.5

$$\theta = \text{tg}^{-1} \frac{v_y}{v_x}$$

(3) 相对性

物体的运动是绝对的，但对运动的描述却是相对的，对同一物体运动的描述，若选取不同的参照系，速度数值的大小和方向是不相同的。例如小船在流动的河水中过河，以河水为参照系，小船相对流水有一划行速度 $\vec{v}_{\text{船对水}}$ ，而河水对地面的流速为 $\vec{v}_{\text{水对地}}$ ，小船同时参与这两种运动。若以地面为参照系，人们在地面上观测到的小船相对地面的速度为

$$\vec{v}_{\text{船对地}} = \vec{v}_{\text{船对水}} + \vec{v}_{\text{水对地}}$$

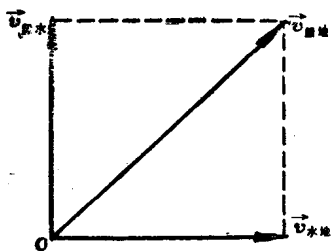


图 1.6

速度是个矢量，应满足矢量运算法则，则上述三个速度矢量之间满足平行四边形法则，如图1.6所示。

从上面的公式看到有三种速度，涉及到三个具体对象。一个是船，它是我们所研究的运动物体，用 A 表示。一个是水，它是船的参照系，但水同时又对地运动，称为运动参照系，用 B 表示。另一个是地，它既是船运动的一个参照系，

同时又是水运动的一个参照系。所以称为基本参照系，用 C 表示。则三种速度之间满足

$$\vec{v}_{A对C} = \vec{v}_{A对B} + \vec{v}_{B对C}$$

这个公式称为速度合成定理。其中称 $\vec{v}_{A对C}$ 为绝对速度；称 $\vec{v}_{A对B}$ 为相对速度，称 $\vec{v}_{B对C}$ 为牵连速度。即绝对速度为相对速度与牵连速度的矢量和。

〔思考题〕

平均速率与平均速度有哪些不同？

$$\bullet \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

率路程变化率
度位移变化率
标
矢

答：平均速率的定义是物体所经过的路径的长度与通过该路程所用的时间之比，它是个标量。而平均速度是物体位移与通过该位移所用时间之比，平均速度是个矢量。

只有在直线直进运动中，平均速度矢量的大小才等于平均速率。在直线运动中，当运动并不始终沿一方向时，平均速率也不等于平均速度的大小。例如物体从A经过B到达C后又回到B点。如图1.7所示。

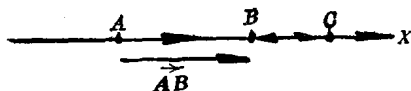


图 1.7

平均速度

$$\vec{v} = \frac{\vec{AB}}{\Delta t}$$

其大小为

$$v = \frac{\overline{AB}}{\Delta t}$$

而平均速率为

$$\bar{v} = \frac{\overline{AB} + 2\overline{BC}}{\Delta t}$$

若物体作平面曲线运动从A→B，如图1.8所示。

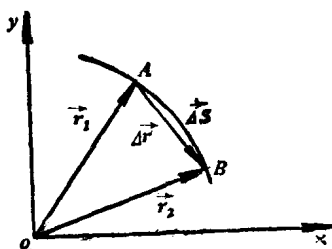


图1.8

平均速度

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

平均速度大小

$$|\bar{v}| = \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t}$$

而平均速率

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

显然

$$\Delta s \neq |\Delta \vec{r}|$$

因此平均速率不等于平均速度的大小。

4. 加速度

加速度是描写质点运动速度变化快慢的物理量。

(1) 瞬时性

在直线运动中，速度矢量的方向以正、负表示，可作代数量处理。

在变加速直线运动中，我们要求各点的加速度，处理方法与引入瞬时速度的方法类似，把变加速直线运动分割成许多小段，在每一小段位移内，可近似地认为速度变化是均匀的，按匀变速直线运动处理。这一小段的平均加速度为 $\bar{a} =$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

把整体运动的“非匀变”转化为小段内的“匀变”，用这种方法，先解决了“非匀变”与“匀变”之间的矛盾。某点的瞬时加速度可以近似地用含有该点的一小段位移内的平均加速度值来代替。

但这种描述仍是近似的，不精确的。怎样解决“近似”与“精确”的矛盾呢？处理方法还是令 $\Delta t \rightarrow 0$ ，求平均加速度的极限值。即

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

某点的瞬时加速度就是在该点附近一小段位移内的平均加速度，在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限值。

(2) 矢量性

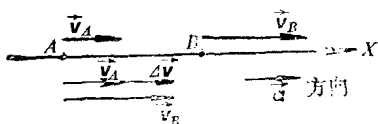


图1.9

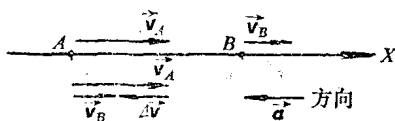


图 1.10

加速度的方向就是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时， $\Delta \vec{v}$ 的极限方向，因而 \vec{a} 的方向与同一时刻 \vec{v} 的方向一般是不相同的。

在直线运动中，当速率增大时， \vec{a} 与 \vec{v}_A 同方向，如图1.9所示。当速率减小时， \vec{a} 与 \vec{v}_A 反向。如图1.10所示。

注意加速度矢量的方向用标量的正负表示时，其正负是与坐标轴的选取有关的。如竖直上抛运动，若取x轴方向向上，物体上升时重力加速度 \vec{g} 取“-”。下落时虽然速度值越来越大，重力加速度 \vec{g} 仍取“-”。如图1.11所示。

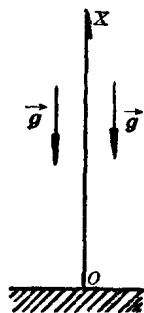


图 1.11

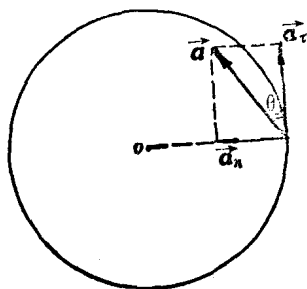


图 1.12

在匀速率圆周运动中，加速度的方向总是沿半径指向圆心。