

名师解惑丛书



机械运动

郑英华 编著

山东教育出版社

名师解惑丛书

机械运动

郑英华 编著

山东教育出版社

1999年·济南

名师解惑丛书

机械运动

郑英华 编著

出版发行：山东教育出版社
地 址：济南市纬一路 321 号

出版日期：1998 年 9 月第 1 版
1999 年 5 月第 2 次印刷
印 数：5001—7000
用纸规格：787 毫米×1092 毫米 32 开
2.625 印张 51 千字

制版印刷：山东新华印刷厂临沂厂

书 号：ISBN 7—5328—2724—0/G·2502
定 价：2.00 元

出版说明

古之学者必有师。师者，所以传道受业解惑也。有感于此，组织部分长年在一線执教、经验丰富的著名教师，以专题讲座形式编辑出版一套限于中学理科知识框架内，源于教材但有些内容又略高于教材的，高级中学数学、物理学、化学“名师解惑丛书”是我们多年的想法和愿望。

两年多来，山东教育出版社理科编辑室经过广泛的调研，以及与部分学生和老师们座谈，我们的初衷不断得到升华，并与作者就丛书的特色取得如下共识：

每册书即为一个专题讲座，其内容由若干教学过程中反映出的疑难知识点组成，通过对典型例题的分析，剖析疑难知识点，帮助学生理清思路，进而达到融会贯通的目的。

每册书通过对知识的综合，帮助学生将过去所学的知识按专题进行系统的归纳和总结；通过适当介绍一些学科知识自身发展的逻辑规律，给学生有关学科思想方法方面的启迪。

总之，这套丛书企盼达到启迪思维、拓宽知识、培养兴趣的目的，以提高学生分析问题和解决问题的能力。

前 言

机械运动，是同学们在高中阶段首先接触到的物理学知识。因此，本书首先重点阐述了在机械运动中，乃至在今后的学习中，必须掌握的基本概念，如位移、速度、加速度等；须逐渐理解进而掌握的分析与研究物理学问题的思想和方法。然后在此基础上，按照运动轨迹的分类，分别讲述了物体做直线运动和曲线运动的规律和特点；讲述了物体做上述运动时，如何建立位移与时间的函数关系和速度与时间的函数关系，以及如何利用数学解析式和函数图象这两种不同的表示方法来描述它们之间的关系。

本书在阐述知识的同时，还列举了一些典型的例题，同学们可通过研读这些例题，构筑解题思路、掌握解题技巧；练习题是为巩固所学知识和方法而精选的，同学们亦可在掌握有关知识后选做一些。

编者

目 录

引 言	1
-----------	---

一、基本概念

(一)参照系	2
(二)位置、位移和路程	3
1. 位置	3
2. 位移	3
3. 路程	4
(三)时刻和时间	4
(四)速度和速率	5
(五)加速度	6
1. 加速度	6
2. 加速度的物理意义	7

二、直线运动

(一)匀速直线运动	9
1. 运动特点	9
2. 运动规律	9
(二)匀变速直线运动	9
1. 运动特点	9
2. 运动规律	10
3. 关于初速度等于零的匀加速直线运动的解题技巧	13
4. 关于无往复过程的匀减速直线运动的解题技巧	18

5. 关于有往复过程的匀减速直线运动的解题技巧	20
6. 关于匀变速直线运动的特征公式的应用	25
7. 利用函数图线描述运动规律	28
8. 相关两物体的运动问题	35
9. 运动的合成和分解	45
(三)在研究曲线运动中的应用	55

三、曲线运动

(一)平抛物体的运动	56
1. 运动特点	56
2. 运动规律	56
(二)斜抛物体的运动	58
1. 运动特点	58
2. 运动规律	58
(三)匀速圆周运动	62
1. 运动特点	62
2. 描述匀速圆周运动的物理量	62
练习题	68
参考答案	76

引 言

一切物体相对于其他物体的位置的改变，或者同一物体各部分相对位置的变化，叫做机械运动，简称运动。这是自然界最简单、最普遍的一种自然现象。

正因如此，为适应生产和生活的需要，人类自很早以前就开始对它进行观察、了解、分析与研究。例如，据史书记载，我国早在先秦的时候，对于“运动”就有过激烈的争论……可以说，描述物体如何运动而不探讨引起这样或那样运动的原因的学科——运动学——是最早开始研究的学科之一。

但是，真正的关于物体运动的研究，是从伽利略所进行的“斜面实验”、“落体实验”，以及他所倡导的、用数学来描述自然现象和自然规律的思想和方法开始的。正如诺贝尔物理学奖获得者德国物理学家冯·劳厄在他的名著《物理学史》中所说的，“真正的运动学……的创建我们要归功于伽利略……”

一、基本概念

机械运动的基本形式分为平动和转动。平动的特点是物体上的各部分运动完全相同；转动的特点是物体上的各部分都围绕同轴做圆周运动。为了研究问题方便，通常将做平动的物体抽象为占有位置、具有质量的点，简称质点。凡是在给定的条件下，其大小可以忽略不计的物体，均可视为质点。研究质点的运动又可称为质点运动学。

按轨迹分类，质点的运动可分为直线运动和曲线运动。

按运动性质分类，质点运动可分为三类，第一类为匀速直线运动；第二类为匀变速运动，其中包括匀变速直线运动（如竖直上抛运动）和匀变速曲线运动（如平抛运动）；第三类为非匀变速运动（如匀速圆周运动）。

机械运动要解决的主要问题是，建立位移、速度和加速度等基本概念；描述物体的运动规律，即质点的位置随时间变化规律及质点的速度随时间变化的规律；建立位移与时间的函数关系及其速度与时间的函数关系，并掌握利用数学公式或函数图象这两种方法来表述这种关系；掌握研究运动学的物理学思想和方法。

（一）参照系

要描述一个物体的位置或位置的变化时，必须指明它是相对于哪一个物体或者哪几个彼此静止的物体而言的，所选

择的物体通常称为参照物。

参照物可以任意选取，但应本着使观测方便和使运动描述尽可能简单的原则。例如，在研究地面上的物体运动时，常取地球为参照物，而且，把相对于地球的运动简称为运动。

相对于不同的参照物，物体的运动状态可能不同。例如，某人坐在匀速行驶的汽车中，他相对于地球做匀速直线运动，相对于汽车则处于静止状态。

可见，研究质点运动必须建立好参照系。

（二）位置、位移和路程

1. 位置

位置就是物体所占据的或所处的空间的一点，它可由位置坐标确定。

在直线运动中，可以一条直线为坐标轴，选直线上某处为坐标原点，并规定好正方向，质点的位置便可用质点所在处坐标值来确定。

在曲线运动中，质点的位置可由曲线所在平面内的直角坐标系中质点所在处坐标 (x, y) 来表示。

2. 位移

位移是描述质点位置变化的物理量，并定义为连接质点初始位置与终止位置的有向线段。位移是矢量，它的方向由初始位置指向终止位置，它的大小由有向线段的长度来表示。

质点做直线运动时，位移为

$$s = x_1 - x_0.$$

式中， x_1 为终止位置坐标， x_0 为初始位置坐标。

质点做曲线运动时，首先，要作出表示位移的有向线段，

然后，解出这条线段的大小和方向。如图 1—1 所示，质点做平抛运动由 O 点运动到 A 点，连接 OA ，即得位移。

位移的大小为

$$s = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}.$$

位移的方向为

$$\tan \varphi = \frac{y_1}{x_1}.$$

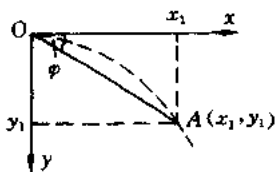


图 1—1

式中， φ 为 s 与 v_0 间的夹角。

位移反映的是物体位置变化的实际效果，其大小与路径无关。例如，做竖直上抛运动的物体，往复经过抛点以上某位置，先后两次位移相等，若回到抛点，其位移为零。

3. 路程

路程是质点运动的实际路径，路程是标量，其大小为质点运动的轨迹的总长度。

路程和位移是完全不同的两个概念，仅从大小而言，一般情况下，位移的大小小于路程，只有在无往复的直线运动中，或者从起始位置到终止位置的时间间隔趋近于零时，位移的大小与路程相等。

（三）时刻和时间

通常把某一瞬间称为时刻，如 2s 末，3s 末，5s 初等等。两个时刻的间隔称为时间，如头 2s 内、2s 内等等。

在研究质点的运动时，时刻与质点的位置相对应，与质点的某一运动状态相对应。而时间与质点运动的位移或路程相对应，与质点的一段运动过程相对应。

(四) 速度和速率

速度是描述物体的运动方向和位置变化快慢程度的物理量，它是矢量，其方向与位移的方向相同。

在匀速直线运动中，物体的位移 s 与运动时间 t 成正比，这一关系可表示为

$$s = vt.$$

式中， v 实际反映了物体的位移随时间变化的快慢程度。因此，速度定义为

$$v = \frac{s}{t}.$$

由上述分析可见，速度表示的是物体的位移随时间的变化率。

在变速运动中，物体的位移 s 与运动时间 t 的比值，只能表征做变速运动的质点，在确定的时间里，位移随时间的平均变化的快慢。因此，在变速运动中，平均速度定义为

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

式中， s 为 t 时间内的位移。平均速度是矢量，其方向与位移的方向相同。

注意：平均速度不能描述质点的运动的平均快慢。例如，某质点经过一段时间的运动又回到了出发点，因为其位移等于零，所以，平均速度等于零。显然，质点是运动的，是有一定运动快慢而不是静止的。

平均速度与所选定的时间阶段及其长短有关，所以，平均速度只在确定的时间内有意义。

在变速运动中，平均速率定义为

$$\bar{v} = \frac{l}{t}.$$

式中， l 为 t 时间内通过的路程，它是标量。

平均速率能描述物体运动的平均快慢程度。一般情况下，平均速率大于平均速度的大小，只有在无往复直线运动中，和所取时间间隔趋近于零的情况下，两者才能相等。

在变速运动中，瞬时速度定义为

$$v_{\text{瞬}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

式中， Δs 为 t 时刻附近无限短的一段时间内的位移。

可见，变速运动中的任一时刻 t 的瞬时速度，实际上是 t 时刻附近无限短的时间内的平均速度。

瞬时速度是矢量。瞬时速度的方向就是质点在该时刻的运动方向，也就是运动轨迹在该点的切线方向。

因为无限短时间内的位移的大小等于路程，所以，瞬时速度的大小等于瞬时速率，简称速率。

由上述分析可见，只有瞬时速度才能表征物体运动的真实状态。

（五）加速度

1. 加速度

加速度是描述物体速度变化快慢的物理量。它是矢量，其方向与速度改变量的方向相同。

在匀变速运动中，加速度的大小不变，方向也不变。加速度定义为

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

式中, Δv 为物体在 Δt 时间内的速度改变量, Δv 等于末、初速度的矢量差.

可见, 加速度具体表示的是物体的速度矢量随时间的变化率, 与 $v_{\text{瞬}}$ 和 Δv 无关.

在非匀变速运动中, 平均加速度定义为

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

式中, Δv 仍为 Δt 时间内速度的变化量, $\bar{a}$ 随 Δt 的取值不同而不同, 它不能准确地描述任意时刻的物体运动的速度变化的快慢程度.

在非匀变速运动中, 瞬时加速度定义为

$$a_{\text{瞬}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

式中, Δv 是无限短的时间内速度的变化量, 它能精确地描述某一时刻速度变化的方向和变化的快慢. 对于一个非匀变速运动, 它是一个变量, 可能仅是大小变化, 也可能仅是方向变化 (如匀速圆周运动), 还可能是大小、方向均变化.

2. 加速度的物理意义

在直线运动中, 加速度的方向与速度的方向平行, 加速度是描述速度大小变化快慢的物理量. 当两者同向时, 质点运动速率增加, 若加速度的值较大, 速率增加得快; 若加速度的值较小, 速率增加得慢. 当两者反向时, 质点运动速率减小, 加速度值的大小决定速率减小得快慢.

在曲线运动中, 加速度与初速度之间有一夹角, 加速度在速度方向上的分量叫切向加速度, 它是描述速度大小变化

快慢的物理量。加速度在垂直速度方向上的分量叫法向加速度，它是描述速度方向变化快慢的物理量。例如，在匀速圆周运动中，切向加速度等于零，只有法向加速度，又称向心加速度，它是用来描述速度方向变化快慢程度的物理量。

综上所述，可根据加速度是否恒定，来判断质点运动的性质，即加速度恒定的运动是匀变速运动，加速度变化的运动是非匀变速运动。也可以根据加速度与初速度是否有夹角来判断质点运动的轨迹是直线的，还是曲线。例如，在平抛运动和斜抛运动中，其加速度恒定，但与初速度有一定夹角，故为匀变速曲线运动，而在弹簧振子的运动中，其加速度的大小与位移成正比，方向与速度平行，故为非匀变速直线运动。在匀速圆周运动中，其加速度的大小不变，方向始终与速度垂直，故为非匀变速曲线运动。

二、直线运动

(一) 匀速直线运动

物体在一条直线上运动，如果在相等的时间里的位移相等，那么，这种运动就称为匀速直线运动，简称为匀速运动。

1. 运动特点

匀速直线运动的速度是一个恒量；加速度为零。

2. 运动规律

匀速直线运动的位移公式为

$$s = vt.$$

此式表明，在匀速直线运动中，物体的位移 s 与运动时间 t 成正比。

匀速直线运动的速度公式为

$$v = \frac{s}{t}.$$

此式表明，速度是物体位移随时间的变化率。速度反映了匀速运动的快慢程度。

(二) 匀变速直线运动

在一条直线上运动的物体，如果在相等的时间里速度变化相等，那么，这种运动就称为匀变速直线运动，简称为匀变速运动。

1. 运动特点

匀变速直线运动的速度随时间均匀地变化；加速度是一个恒量。

2. 运动规律

匀变速直线运动的基本公式为

$$v_t = v_0 + at; \quad (1)$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2. \quad (2)$$

匀变速直线运动的导出公式为

$$s = v_t t - \frac{1}{2} at^2; \quad (3)$$

$$s = \frac{v_0 + v_t}{2} t; \quad (4)$$

$$v_t^2 - v_0^2 = 2as. \quad (5)$$

上述的 5 个公式中，均为 5 个物理量 (v_0 、 v_t 、 t 、 a 、 s) 中的 4 个量的不重复的组合。例如，(1) 式中缺 s ；(2) 式中缺 v_t ；(3) 式中缺 v_0 ；(4) 式中缺 a ；(5) 式中缺 t 。因此，对于一段匀变速直线运动，只要知道了其中 3 个量，就可解出其余的 2 个量。

对于匀加速直线运动，公式中各矢量均取正值。对于匀减速运动，通常取 v_0 的方向为正方向，而 a 取负值。

〔例 1〕 一列车在速度为 15m/s 时开始刹车，加速度是 -0.4m/s^2 。问经过多长时间列车速度可达原来的 $\frac{1}{3}$ ？这段时间的位移为多少？

分析与解：由题设条件，已知 v_0 、 v_t 、 a ，若求 t ，可选公式 $v_t = v_0 + at$ 。若求 s ，可选公式 $v_t^2 - v_0^2 = -2as$ 。所以，由

$$v_t = v_0 + at,$$