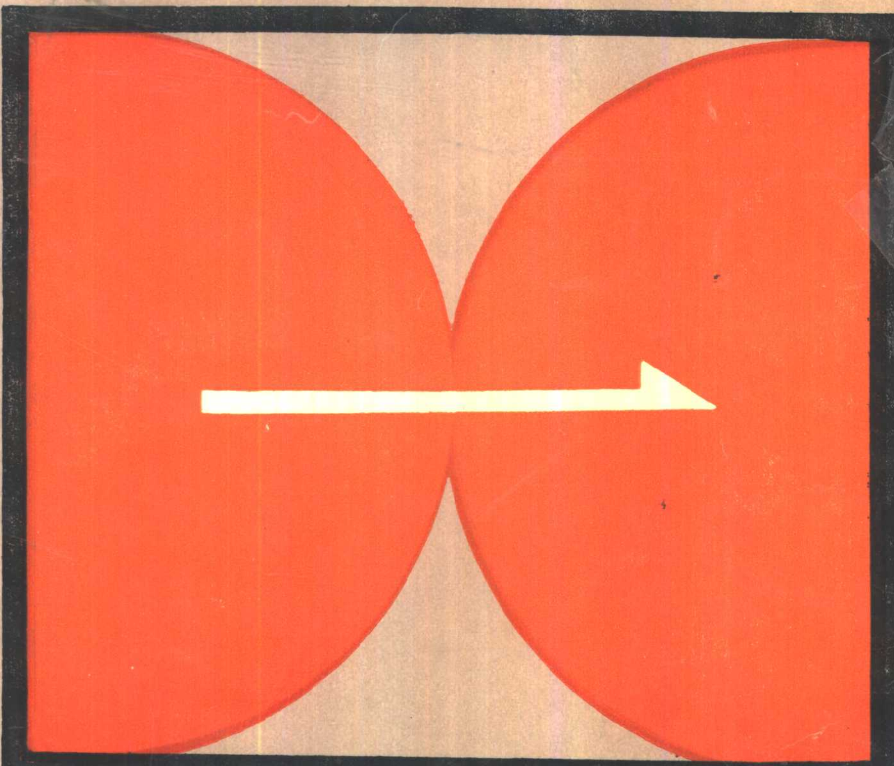
东南大学等七所工科院校　编
马文蔚　柯景凤　改编

物理学

学习指南

（第二版）

马文蔚　薛　豪　谈漱梅　编



高等教育出版社

（京）112 号

内 容 提 要

本书是一本与东南大学等七所工科院校编、马文蔚、柯景凤改编《物理学》（第三版）相配套的辅助性教学用书．编写本书的目的是：帮助读者了解本课程的基本要求，正确理解和掌握物理学的基本概念和基本定律，深入领会和学习物理学的研究方法，进一步培养和提高分析问题、解决问题的能力．为此，本书的章目和顺序与所配套的《物理学》相同，每一章都分成基本要求、线索与联系、学习指导和习题选解四个部分．其中线索与联系着重阐述了这一章与其它相关章节的内在联系，它可帮助读者了解物理学各部分内容之间的相互关系；而学习指导是本书的主要部分，它以总结的方式概括地阐述了每一章的重点内容，指出理解重点内容时容易混淆的问题和应注意的地方，并对难点内容作了较为细致的分析，读者从中可得到一些学习物理学的方法，进而可提高自学物理学的能力．

本书可供理工科高等学校、职工大学、函授大学、广播电视大学、夜大学师生及自学者使用．

责任编辑：奚静平

东南大学等七所工科院校　编
马文蔚　柯景凤　改编
《物理学》学习指南
（第二版）
马文蔚　薛　豪　谈漱梅　编
*
高等教育出版社出版
新华书店总店科技发行所发行
文字六〇三厂印装
*
开本 850×1168　1/32　印张 12　字数 290 000
1987 年 10 月第 1 版
1993 年 6 月第 2 版　1993 年 6 月第 1 次印刷
印数 0 001—10 135
ISBN 7-04-004162-6/O·1205
定价 5.40 元

第二版前言

本书是以第一版为基础修订的，是与东南大学等七所工科院校编、马文蔚 柯景凤改编的《物理学》(第三版)(下简称教材)相配套的一本辅助性教学用书．修订时，根据1987年国家教委颁布的《高等工业学校大学物理基本要求》，在内容、要求和文字表述等方面进行了必要的修改．此外，还改正了第一版中一些印刷错误．

《物理学》学习指南是为帮助在校学生和自学青年学习教材而编写的．其目的是帮助读者提高自学能力、了解本课程基本要求、掌握基本概念和定律、学习物理学的研究方法、提高分析问题和解决问题的能力．《学习指南》的章目和顺序与教材相同．每一章都含有基本要求、线索与联系、学习指导和习题选解等四个部分．

基本要求部分，扼要地指出每章必须掌握和熟练应用的内容，指出哪些是基本概念和定律，哪些概念必须理解，哪些只需了解一下即可．读者在学习每章教材之前和学习过程中，应经常看看该章的基本要求，这对自学和尝试自学的读者是会有益的．在线索与联系中，着重阐述这一章与其它相关章节的内在联系，它一方面可使读者温故知新，知道一些物理概念和定律是如何逐步建立起来的，另一方面通过前后有关章节研究方法上的类比，可加深对物理理论的理解和必要的记忆．学习指导是本书的主要部分，它概括性和综合性地阐述了每一章的重点内容；对难点作了较为细致的分析，指出理解重点内容时应注意的地方；通过适量的例题来阐述基本定律的应用和解题方法；在求解时，除注意正确引导解题方法外，还注意通过解题来加深理解基本概念和定律．虽然学习指导包含

以上内容，但必须指出，它无论如何没有教材叙述得那么详尽，也不象教材那样循序渐进．因此，读者在学习每章的学习指导之前，应先阅读教材，在搞懂这一章主要内容的基础上，再阅读学习指导，这样就可起到综合归纳的作用．《物理学》学习指南只是学习教材的参考读物，它决不能代替教材．《学习指南》每章最后一个部分，选解了教材中部分习题．应用物理学的基本定律和原理求解物理问题，是学习中很重要的一步，它有助于加深对基本概念和定律的理解，培养分析问题和解决问题的能力，培养解题的技巧和方法．读者应在阅读教材和学习指导之后，先自己解题，再看看习题选解，通过比较来检查自己掌握的程度．

本书第一版中的第一章至第六章，第十五章至第十七章原由宋玉亭编写，本书第二版中上述各章由薛豪修订．由于编者水平有限，未必能使这本学习指南达到预期的目的，书中还可能存在不妥和错误之处，敬请读者批评指正．

编　者

1992.9于金陵

目　录

第一章　质点运动学

基本要求

一　确切理解描述质点运动及运动变化的基本物理量(位置矢量、位移、速度、加速度)的定义及性质，明确这些物理量的矢量性、相对性和瞬时性.

二　明确运动方程的物理意义及作用，会运用运动方程确定质点的位置、位移、速度和加速度.

三　理解运动图线 $x \sim t$、$v \sim t$ 的性质和作用，掌握图线上点、线、斜率和面积所表示的物理内容，会运用图线讨论质点的运动.

四　熟练掌握和运用直线运动中匀变速运动的基本公式，掌握平面运动中抛体运动和圆周运动的规律.

五　掌握伽利略速度变换式，并会运用变换式求解简单的质点相对运动问题.

线索与联系

力学是研究物体机械运动规律及其应用的科学. 所谓机械运动，就是指物体之间或物体内各部分之间的相对位置随时间变化. 因此，力学的任务就是描述运动和解释运动，即研究物体机械运动的规律和物体之间相互作用及由相互作用引起的物体机械运动变化的规律. 在学习本章的过程中，首先要明确两个基本观点：1. 物质运动的绝对性和描述运动的相对性，认识到引入参考系和坐标系的重要性. 2. 物体的运动可以当作几个各自独立进行的运动的叠加，这就是运动叠加原理或运动独立性原理. 实际运动是很

复杂的，但都可以分成平动与转动，振动与波动等运动形式. 而平动又可分为直线运动和曲线运动，匀速运动和变速运动. 教材[①]中根据由一般到特殊的原则，先讨论了一般运动中的位置矢量，位移、速度、加速度和圆周运动，最后讨论了相对运动中的速度相对性问题.

其次要明确，由于物体的运动是复杂的，为探讨物体运动的规律，必须掌握物理学的研究方法，即观察、实验、归纳、分析、抽象、假说等. 其中抽象方法是很重要的，它是从实际问题和现象出发，抓住现象和事物的本质及主要因素，撇开次要的、局部的和偶然的因素，在一定的条件和前提下建立起理想模型，借助于模型探讨事物的规律和本质. 质点就是我们所遇到的第一个理想模型，它突出了物体"具有质量"和"占有位置"这两个主要因素，在一定条件下忽略了物体的"大小"和"形状"这两个次要因素. 质点的概念对于研究实际物体的运动带来了极大的方便，因为实际物体可以看作是质点的集合体. 除质点之外，我们以后还会遇到一系列理想模型，如刚体、理想气体、点电荷等. 在学习这些概念时，我们一定要深刻理解它们的物理涵义和性质，明确它们的适用范围和成立条件.

最后要重视数学对描述运动和研究运动规律的重要作用，要学会如何把物理概念和规律，用数学的语言来表达；如何从数学的表达式中去体会和挖掘丰富的物理含义. 与中学物理相比，本教材除了在概念上加以深化外，还广泛地运用了矢量和微积分. 在处理问题时，强调坐标的选取，运动方程的应用和微积分的运用.

---

① 本书凡提到"教材"均指东南大学等七所工科院校编马文蔚、柯景凤改编《物理学》(第三版).

学习指导

一 描述质点运动和运动变化的物理量

1 位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 位置矢量是从坐标原点引向质点所在处的一条有向线段，所以又称径矢．它是用来确定质点在空间的位置和描述质点运动状态的物理量．要明确位置矢量的矢量性、瞬时性和相对性．位置矢量的相对性可由图 1-1 中看出，质点位于空间点 P，相对于 $Oxyz$ 坐标系，它的位置矢量为 $\boldsymbol{r}$；相对于 $O'x'y'z'$ 坐标系，它的位置矢量为 $\boldsymbol{r}'$．它们之间的关系为：

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}'+\boldsymbol{r}_0 \tag{1-1}$$

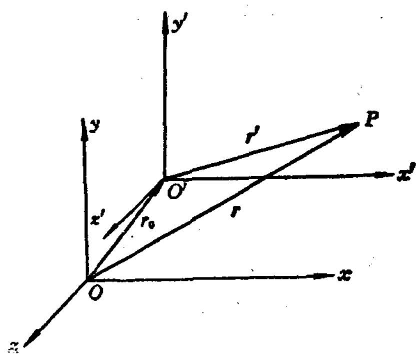


图 1-1 位置矢量的相对性

式中 $\boldsymbol{r}_0$ 为 $O'x'y'z'$ 坐标系原点 O' 相对于 $Oxyz$ 坐标系原点 O 的位置矢量．

2 位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 和路程 ΔS 位移是描述质点位置变化大小和方向的物理量，它与质点的运动状态变化相对应．

路程是质点在空间运动所经历的轨迹长度，恒为正．在一般情况下，位移的大小并不等于路程，即

$$|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta S$$

只有质点运动的方向始终沿某一方向作直线运动时，它们才

相等.

对于位移和路程应明确:

(1) 位移是矢量,有大小和方向,满足矢量运算法则. 路程是标量,满足算术运算法则.

(2) 位移与位置矢量虽都是矢量,但含义不同. 位置矢量可确定某时刻质点相对于坐标系原点的距离与方位,与坐标系原点的选取有关. 位移是在一段时间间隔内质点位置矢量的增量,与相对静止的两个不同坐标系的原点选取无关.

(3) 在相对运动的两个不同坐标系中,位移具有相对性. 在图 1-2 中,$O'x'y'$ 坐标系相对于 Oxy 坐标系沿 Ox 轴正向以速度 $\boldsymbol{u}$ 运动,质点在一段时间间隔内的位移则与坐标系有关. 图中

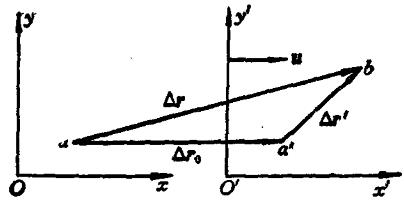


图 1-2 位移的相对性

$\overrightarrow{ab}=\Delta\boldsymbol{r}$,为质点在 Oxy 坐标系中的位移;$\overrightarrow{a'b}=\Delta\boldsymbol{r}'$,为质点在 $O'x'y'$ 坐标系中的位移;$\overrightarrow{aa'}=\Delta\boldsymbol{r}_0$,为 $O'x'y'$ 坐标系相对于 Oxy 坐标系在同一时间间隔内的位移. 它们之间的关系为

$$\Delta\boldsymbol{r}=\Delta\boldsymbol{r}'+\Delta\boldsymbol{r}_0 \tag{1-2}$$

当两个坐标系相对静止时,$\boldsymbol{r}_0=$常矢量,$\Delta\boldsymbol{r}_0=0$,这时得到 $\Delta\boldsymbol{r}=\Delta\boldsymbol{r}'$. 这就是在(2)中所指出的情况,在两个相对静止的坐标系中,质点的位移是相同的.

3 速度 $\boldsymbol{v}$ 和速率 v 速度是描述质点位置变化快慢和方向的物理量,与质点的运动状态相对应,是矢量. 从质点的运动速度

变与不变来划分，运动有匀速运动和变速运动．变速运动可以用平均速度和(瞬时)速度来描述质点的运动．

速率是描述质点运动路程随时间变化快慢的物理量，它是标量，恒为正．对变速运动来说，也有平均速率与(瞬时)速率之分．

对速度和速率应明确：

(1) 平均速度和平均速率是两个不同的概念，不能混为一谈．一般说来，它们的量值是不相等的，如质点绕闭合路径一周的平均速度等于零，而平均速率却不为零．只有当质点作速度方向不变的直线运动时，它们的量值才相等．

(2) 速度和速率具有瞬时性，相对应与某一时刻，它们的量值总是相等的，即 $|\boldsymbol{v}|=v$.

4 加速度 $\boldsymbol{a}$ 加速度是描述质点速度变化快慢和方向的物理量，它是描述质点运动状态变化趋势的物理量，是矢量．从变速运动的加速度变与不变来划分，变速运动可分为匀变速运动和非匀变速运动．非匀变速运动可以用平均加速度和(瞬时)加速度来描述质点的运动．

在直线运动中，如果加速度与速度同方向，则质点作加速运动；如果它们反方向，则质点作减速运动．在抛体运动中，加速度与速度的方向成各种不同的夹角 θ 时，则质点将作各种不同的运动(图 1-3)．

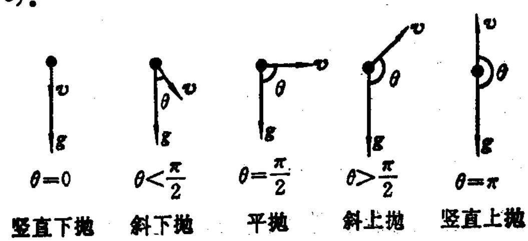


图 1-3 各种抛体运动

在曲线运动中，常把质点的加速度 $\boldsymbol{a}$ 分解为切向加速度 $\boldsymbol{a}_t$ 和

法向加速度 a_n，即

$$a=a_t+a_n=a_t\tau^0+a_n n^0=\frac{dv}{dt}\tau^0+\frac{v^2}{\rho}n^0 \qquad (1\text{-}3)$$

式中 τ^0、n^0 分别为切向和法向的单位矢量；ρ 为曲线的曲率半径.

a_t 是速度大小变化而产生的加速度，a_n 是速度方向变化而产生的加速度. 由 a_t 和 a_n 可以判断质点的运动:

$$a_n=\frac{v^2}{\rho}=0,\ (\rho\to\infty)\quad \text{直线运动}\begin{cases} a_t\neq 0 & \text{变速直线运动}\\ a_t=C & \text{匀变速直线运动}\\ a_t=0 & \text{匀速直线运动}\end{cases}$$

$$a_n=\frac{v^2}{\rho}\neq 0,\text{曲线运动}\begin{cases} a_t\neq 0,\rho\neq C' & \text{一般曲线运动}\\ a_t\neq 0,\rho=C' & \text{变速圆周运动}\\ a_t=C'',\rho=C' & \text{匀变速圆周运动}\\ a_t=0,\rho=C' & \text{匀速圆周运动}\end{cases}$$

式中 C、C'、C'' 分别为不同的常量.

从上面可以看出，法向加速度 a_n 是否为零，是判断质点作直线运动还是作曲线运动的充分必要条件.

对于加速度，应明确:

(1) 加速度具有矢量性，它的方向总是与速度变化(Δv) 的方向一致，而不一定与速度(v)的方向一致.

(2) 加速度具有瞬时性.

(3) 要分清速度与加速度是两个不同的概念. 速度大时，加速度不一定大；速度为零时，加速度不一定为零. 反之，加速度为零时，速度不一定为零. 速度增大时，加速度不一定也在增大，它可能在减小. 这主要看速度的变化率 $\frac{dv}{dt}$ 是大于零，还是小于零. 这个问题在下一章中还会遇到，教材第2-5节例4 讨论物体在粘滞流体中的运动时，物体所受的阻力与速度的大小成正比，则在这种阻力作用下，物体下落时随着速度的增大，它的加速度将减小.

二 运动方程与轨道方程

质点的位置矢量随时间变化的函数关系式，称为质点的运动方程：

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t) \tag{1-4a}$$

在直角坐标系中为

$$x=x(t), \qquad y=y(t), \qquad z=z(t) \tag{1-4b}$$

对于描述质点运动规律来说，运动方程是至关重要的，确定质点的运动方程是运动学的重要任务之一．有了运动方程，我们就可以知道任意时刻质点的位置和速度，即知道该时刻质点的运动状态．如平抛运动，它的运动方程为

$$\begin{cases} x=v_0 t \\ y=\dfrac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

或写成矢量式

$$\boldsymbol{r}=v_0 t\boldsymbol{i}+\frac{1}{2}gt^2\boldsymbol{j}$$

上式是选取水平初速度 $\boldsymbol{v}_0$ 的方向为 Ox 轴的正向，铅直向下为 Oy 轴的正向．

质点运动时在空间所经历的路径称为轨道．轨道的数学表达式称为轨道方程，在直角坐标系中为：

$$y=f(x)$$

或

$$x=g(y) \tag{1-5}$$

如上述的平抛运动中，消去运动方程中的时间 t，得到的轨道方程

$$y=\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0}\right)^2$$

为一抛物线方程．

三 质点运动的图线描述

质点的运动可以用运动方程来描述，也可以通过图线形象直观地来描述．用图线描述运动或物理量之间的关系，是物理学中常用的方法，必须熟悉这种方法．

1 位置-时间图线（x-t 图）表示质点位置随时间变化关系的曲线．曲线上的某点（如图 1-4 中点 A）给出某时刻 t 质点的位置为 x．曲线上某点（如点 A）切线的斜率表示该时刻质点（瞬时）速度的大小，即 $v=\frac{dx}{dt}=\mathrm{tg}\alpha$．

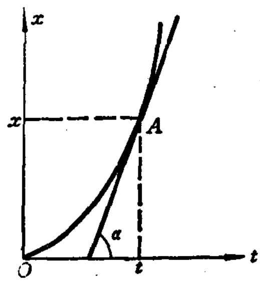


图 1-4 质点的 x-t 图

如平抛运动，$x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}gt^2$，x-t 图是一条过原点的直线，其斜率即为 v_0．y-t 图是一条过原点的抛物线，线上各点的斜率随时间逐渐增大，说明质点沿 y 轴作加速运动．

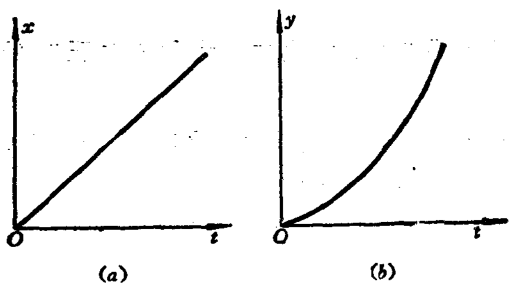


图 1-5 平抛运动的位置-时间图线

2 速度-时间图线（v-t 图） 表示质点速度大小随时间变化关系的曲线．曲线上的点（如图 1-6 中点 B）表示某时刻 t 质点的速度大小为 v．曲线上某点（如点 B）切线的斜率表示该时刻质点（瞬时）加速度的大小，即 $a=\frac{dv}{dt}=\mathrm{tg}\beta$．曲线与纵坐标的交点表示

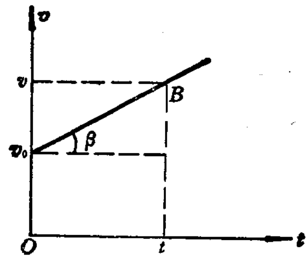


图 1-6　质点的 v-t 图

$t=0$ 时刻质点的速度 v_0. 曲线与横坐标 Ot 所包围的面积，即为从 $t=0$ 到 $t=t$ 这段时间间隔内质点的位移. 面积在横坐标上方，则位移为正；若在下方，则为负. 而面积的绝对值之和，则表示质点所经历的路程.

3　加速度-时间图线（a-t 图）　表示加速度随时间变化关系的曲线. 曲线上的点表示该时刻质点加速度的大小. 在匀变速直线运动中，加速度是一常量，则它的 a-t 图应是一条与横坐标平行的直线（图 1-7）.

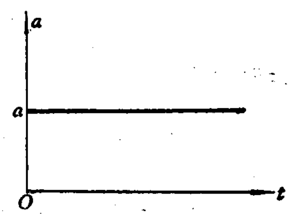


图 1-7　匀变速直线运动的 a-t 图

四　直线运动

直线运动中的问题可以归纳为两大类型：

1　已知质点的直线运动方程，求质点的位置、位移、速度和加速度. 这类问题主要用微分的方法. 如已知质点的直线运动方程为

$$x=x(t)$$

则质点的速度、加速度分别为

$$v=\frac{dx}{dt},\qquad a=\frac{dv}{dt}=\frac{d^2x}{dt^2}$$

位移为

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

2 已知质点在直线上运动时，其加速度或速度与时间的关系，以及初始条件，要求建立质点的运动方程．这类问题主要用积分的方法．

如已知质点的加速度为

$$a = a(t) = \frac{dv}{dt}$$

又知初始条件为：$t=0$ 时 $v=v_0$，$x=x_0$．则在时刻 t 质点的速度 v 为

$$\int_{v_0}^{v} dv = \int_0^t a(t)\,dt$$

$$v - v_0 = \int_0^t a(t)\,dt$$

$$v = v_0 + \int_0^t a(t)\,dt$$

其运动方程为

$$x = x_0 + \int_0^t v\,dt = x_0 + \int_0^t \left[v_0 + \int_0^t a(t)\,dt\right]dt$$

例 已知质点沿 Ox 轴运动，其速度为 $v=10+2t^2$，式中 v 与 t 的单位分别为 $\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ 和 s．当 $t=0$ 时，质点位于坐标原点右方 20 m 处．求：(1)在 $t=2$ s 时，质点的加速度；(2)质点的运动方程；(3)第 3 秒内的位移．

解 由题意知 $t=0$ 时，$x_0=20$ m，$v_0=10\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$．

(1) 加速度为

$$a = \frac{dv}{dt} = 4t$$

在 $t=2$ s 时，$a=4\times2=8\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$．

(2) 由于 $v=\dfrac{dx}{dt}$，所以 $dx=v\,dt$，积分有

$$\int_{x_0}^{x} dx = \int_0^t v\,dt = \int_0^t [10+2t^2]\,dt = 10t + \frac{2}{3}t^3$$

所以 $$x=x_0+10t+\frac{2}{3}t^3=20+10t+\frac{2}{3}t^3$$

(3) 由上式可求出 $t=2\,\text{s}$ 时和 $t=3\,\text{s}$ 时质点的坐标为:

$$x_2=20+10\times2+\frac{2}{3}\times2^3=45.33\text{m}$$

$$x_3=20+10\times3+\frac{2}{3}\times3^3=58\text{ m}$$

所以,在这段时间里,质点的位移为

$$\Delta x=x_3-x_2=58-45.33=12.67\text{ m}$$

五　平面曲线运动

平面曲线运动的运动方程为

$$\boldsymbol{r}=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j} \tag{1-6}$$

1　平抛运动　运动方程为

$$\begin{cases}x=v_0t\\ y=\dfrac{1}{2}gt^2\end{cases}$$

轨道方程为

$$y=\frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0^2}$$

2　斜上抛运动　运动方程为

$$\begin{cases}x=v_0\cos\theta t\\ y=v_0\sin\theta t-\dfrac{1}{2}gt^2\end{cases}$$

轨道方程为

$$y=x\operatorname{tg}\theta-\frac{g}{2(v_0\cos\theta)^2}x^2$$

3　匀速圆周运动　运动方程为

$$\begin{cases}x=R\cos\omega t\\ y=R\sin\omega t\end{cases}$$

式中R为圆周运动的半径: ω 为质点作圆周运动的角速度. 轨道方程为

$$R=\sqrt{x^2+y^2}$$

六　相对运动

不同参考系对同一个物体运动的描述是不同的．式(1-2) 给出了质点在两个以恒定速度 $\boldsymbol{u}$ 作相对运动的坐标系中位移之间的关系．位移的这种相对性，必然导致速度的相对性，即速度与所取的参考系和坐标系有关．对式(1-2)，两边同除时间间隔 Δt，并令 $\Delta t\to 0$，取极限，有

$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}'+\boldsymbol{u} \tag{1-7a}$$

式中 $\boldsymbol{v}$ 是质点相对于静止坐标系的速度，称绝对速度；$\boldsymbol{v}'$ 是质点相对于运动坐标系的速度，称相对速度；$\boldsymbol{u}$ 是动坐标系相对于静坐标系的速度，称牵连速度．可见，其中绝对运动和相对运动是对质点运动而言的，牵连运动则是指参考系的运动．所以，在研究相对运动的问题时，首先要明确哪个是被描述的客体，哪个是动参考系(O' 系)，哪个是静参考系(O 系)．通常我们取地面或与地面保持相对静止的物体作为静系，而与地面有相对运动的物体作为动系．因此，式(1-7a)也可表成

$$\boldsymbol{v}_{PO}=\boldsymbol{v}_{PO'}+\boldsymbol{v}_{O'O} \tag{1-7b}$$

即质点 P 相对静系 O 的速度，等于质点 P 相对动系 O' 的速度加上 O' 系相对 O 系的速度．式(1-2)和式(1-7a,b)称为伽利略变换公式，式(1-7a,b)也可称为速度合成定理．

速度的相对性必导致加速度的相对性，对式(1-7b) 两边同除时间间隔 Δt，且令 $\Delta t\to 0$，取其极限得

$$\frac{d\boldsymbol{v}_{PO}}{dt}=\frac{d\boldsymbol{v}_{PO'}}{dt}+\frac{d\boldsymbol{v}_{O'O}}{dt}$$

即

$$\boldsymbol{a}_{PO}=\boldsymbol{a}_{PO'}+\boldsymbol{a}_{O'O} \tag{1-8}$$

上式表明，质点 P 相对于静系 O 的加速度 $\boldsymbol{a}_{PO}$，等于质点 P 相对于动系 O' 的加速度 $\boldsymbol{a}_{PO'}$ 加上静系 O 相对动系 O' 的加速度 $\boldsymbol{a}_{O'O}$．由此可见，当两坐标系保持相对静止或作匀速直线运动时，式(1-8)