

本书是一本以南工等七院校编 马文蔚、柯景凤改编《物理学》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内容，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，进而可提高其物理学的自学能力。故本书是学习南工等七院校编 马文蔚、柯景凤改编《物理学》的良师益友。

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

南京工学院等七院校编 《物理学》学习指南
马文蔚、柯景凤 改编

马文蔚·宋玉亭·谈淑梅 编

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
大白楼印刷厂印装

开本850×1168 1/32 印张14.125 字数344,000

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷

印数00 001—15 150

书号13010.01326 定价3.15元

前 言

这本“《物理学》学习指南”是为帮助在校学生和自学青年学习马文蔚、柯景凤改编的《物理学》(下简称教材)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,指出那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，再看习题选解，通过比较来检查自己掌握的程度。

由于编者水平有限，未必能使这本学习指南达到预期目的，书中还会有许多不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

编者

1985.11 于金陵

目 录

第一章	质点运动学	1
第二章	牛顿运动定律	28
第三章	功与能	49
第四章	动量	67
第五章	刚体的转动	90
第六章	万有引力	112
第七章	气体分子运动论	124
第八章	热力学基础	152
第九章	静电场	179
第十章	静电场中的导体和电介质	213
第十一章	稳恒电流	236
第十二章	磁场	250
第十三章	磁介质	279
第十四章	电磁感应 电磁场	287
第十五章	机械振动	319
第十六章	机械波	339
第十七章	电磁振荡和电磁波	356
第十八章	波动光学	364
第十九章	狭义相对论	398
第二十章	量子物理	421

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。

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部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，研究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。本章的任务是描述运动。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，认识到引入参照系和坐标系的重要性。2. 物体的运动可以分解为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中根据先易后难，循序渐进的原则，先讨论直线运动，再讨论曲线运动，进而讨论了平面运动中的抛体运动和圆周运动，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 and 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，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。在曲线运动中，强调了矢量的应用。

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 r 位置矢量是从坐标原点引向质点所在处的

^① 本书凡提到“教材”均指南开工学院等七院校编 马文蔚、柯景凤改编《物理学》（第二版）。

一条有向线段，所以又称矢径。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 P 点，相对于 $Oxyz$ 坐标系，它的位置矢量为 r ；相对于 $O'x'y'z'$ 坐标系，它的位置矢量为 r' 。它们之间的关系为：

$$r = r' + r_0 \quad (1-1)$$

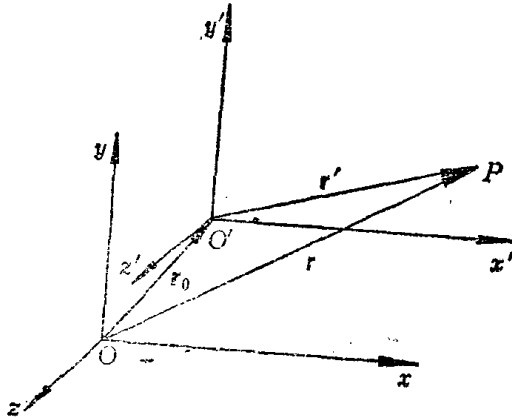


图1-1 位置矢量的相对性

式中 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 Δr 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

$$|\Delta r| \neq \Delta S$$

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变化，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 x 轴正向以速度 v 运动。则在这两个坐标系中，质点在一段时间内的位移与坐标系有关。图中 $\vec{ab} = \Delta r$ ，为质点在 Oxy 坐标系中的位移； $\vec{a'b'} = \Delta r'$ ，为质点在 $O'x'y'$ 坐标系中的位移； $\vec{aa'} = \Delta r_0$ ，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

$$\Delta r = \Delta r' + \Delta r_0 \quad (1-2)$$

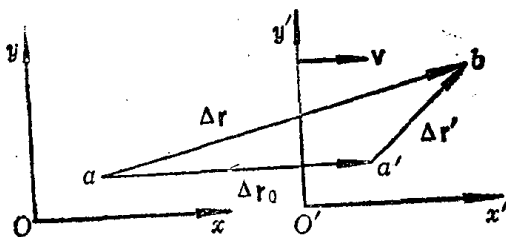


图1-2 位移的相对性

当两个坐标系相对静止时， $r_0 = \text{常矢量}$ ， $\Delta r_0 = 0$ ，这时得到 $\Delta r = \Delta r'$ 。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 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。质点运动可以速度的不变还是变划分为两大类：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，它们都与某一时刻相对应，它们的量值总是相等的，即 $|\boldsymbol{v}| = v$ 。

(3) 位移的相对性，必然导致速度的相对性，即速度与所取的参照系和坐标系有关。对式 (1-1) 两边同除时间间隔 Δt ，并令 $\Delta t \rightarrow 0$ ，取极限，有

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}' + \boldsymbol{v}_0 \quad (1-3)$$

式中 \boldsymbol{v} 为质点相对于静止坐标系 Oxy 的速度； \boldsymbol{v}' 为质点相对于运动坐标系 $O'x'y'$ 的速度； \boldsymbol{v}_0 为运动坐标系相对于静止坐标系的速度。

4 加速度 a 加速度是描述质点速度变化快慢和方向的物理量，是描述质点运动状态变化趋势的物理量，它是矢量。变速运动可以加速度的不变还是变，划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，加速度与速度如果同方向，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)。

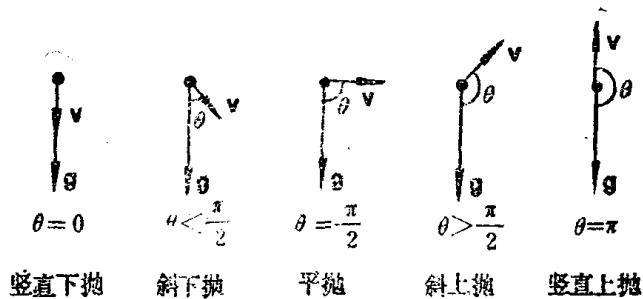


图1-3 各种抛体运动

在曲线运动中，常把质点的加速度分解为切向加速度 a_t 和法向加速度 a_n ，即

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n = a_t \boldsymbol{\tau} + a_n \mathbf{n} = \frac{dv}{dt} \boldsymbol{\tau} + \frac{v^2}{\rho} \mathbf{n} \quad (1-4)$$

式中 $\boldsymbol{\tau}$ 、 \mathbf{n} 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：

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} = 0, \quad \text{直线运动} \quad \left\{ \begin{array}{l} a_t \neq 0 \quad \text{变速直线运动} \\ a_t = C \quad \text{匀变速直线运动} \\ a_t = 0 \quad \text{匀速直线运动} \end{array} \right.$$

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} \neq 0, \quad \text{曲线运动} \quad \left\{ \begin{array}{l} a_t \neq 0, \rho \neq C' \quad \text{一般曲线运动} \\ a_t \neq 0, \rho = C' \quad \text{变速圆周运动} \\ a_t = C'', \rho = C' \quad \text{匀变速圆周运动} \\ a_t = 0, \rho = C' \quad \text{匀速圆周运动} \end{array} \right.$$

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) 对于相对静止或相对作匀速直线运动的两坐标系来说，质点的加速度具有不变性，与坐标系的选取无关。但对于相对作变速运动的坐标系来说，加速度具有相对性。这可以由式(1-3)看出， $v_0(t)$ 是两坐标系的相对速度，是时间 t 的函数。故有

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv'}{dt} + \frac{dv_0}{dt} = a' + a_0 \quad (1-5)$$

式中 a 为质点相对于 Oxy 坐标系的加速度； a' 为相对于 $O'x'y'$ 坐标系的加速度； a_0 为 $O'x'y'$ 坐标系相对 Oxy 坐标系的加速度。

(4) 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2-4节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

质点位置随时间变化的函数关系式称为质点的运动方程：

$$r = r(t) \quad (1-6a)$$

在直角坐标系中为

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1-6b)$$

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

$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$$

或写成矢量式

$$\mathbf{r} = v_0 t \mathbf{i} + \frac{1}{2} g t^2 \mathbf{j}$$

上式是选取水平初速度 v_0 的方向为 x 轴正向，铅直向下为 y 轴正向。

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

$$x = g(y) \quad (1-7)$$

如上述的平抛运动中，消去运动方程中的时间 t ，得到轨道方程

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

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 A 点) 给出某时刻 t 质点的位置为 x 。曲线上某点 (如 A 点) 切线的斜率表示该时刻质点瞬

时速度的大小，即 $v = \frac{dx}{dt} = \operatorname{tg} \alpha$ 。

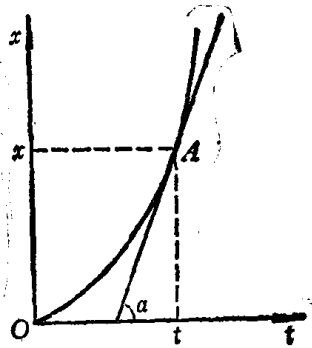


图1-4 质点的 $x-t$ 图

如平抛运动， $x = v_0 t$ ， $y = \frac{1}{2} g t^2$ ， $x-t$ 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。

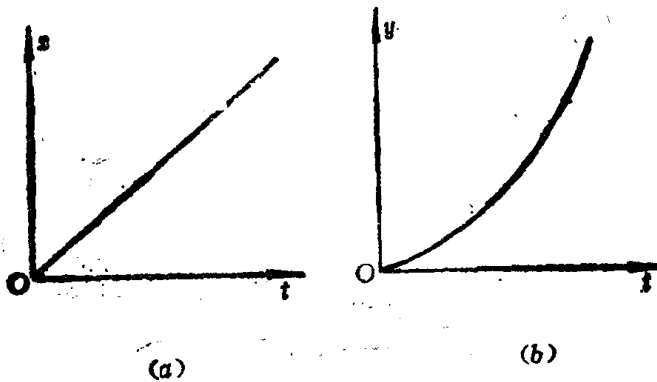


图1-5 平抛运动的位置-时间图线

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 B 点) 表示某时刻 t 质

点的速度大小为 v 。曲线上某点（如 B 点）切线的斜率表示该时刻质点瞬时加速度的大小，即 $a = \frac{dv}{dt} = \text{tg}\beta$ 。曲线与纵坐标的交点表示 $t=0$ 时刻质点的速度 v_0 。曲线与横坐标 Ot 所包围的面积，即为 $0 \rightarrow t$ 这段时间内质点的位移。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。

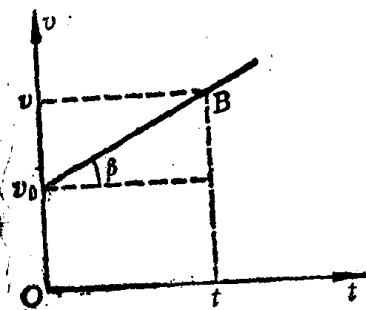


图1-6 质点的 $v-t$ 图

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）。

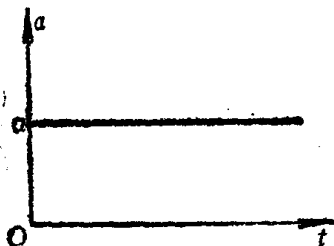


图1-7 匀变速直线运动的 $a-t$ 图

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。如已知质点的运动方程为

$$x = x(t)$$

则质点的速度、加速度分别为

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

位移为

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

2 已知质点加速度或速度与时间的关系，以及初始条件，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

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

初始条件为 v_0 和 x_0 ，则速度为

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

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

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

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 x 轴运动，其速度为 $v = 10 + 2t^2$ ，式中 v 与 t 的单位分别为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 s 。当 $t = 0$ 时，质点位于坐标原点右方 20m 处。求：(1) 在 $t = 2\text{s}$ 时，质点的加速度；(2) 质点的运

运方程；(3) 第3秒内的位移。

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

(1) 加速度为

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

在 $t=2\text{s}$ 时, $a=4\times 2=8\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。

(2) 由于 $v = \frac{dx}{dt}$, 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 $t=3\text{s}$ 时质点的位置为:

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

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

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

五 平面曲线运动

平面曲线运动的运动方程为

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} \quad (1-8)$$

1 平抛运动 运动方程为

$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$$

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

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

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

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

习题选解

解题是复习后进一步消化和巩固所学知识的必要步骤，是培养运用理论分析问题和解决问题能力的重要环节，也是训练自己推理、运算、表达等技能的基本手段。因此，在学习物理的过程中，必须做一定数量各种类型的习题。要达到上述要求，必须做到一“严”、二“精”、三“思”。“严”是指做题要有一定的格式和步骤，思路清晰，条理分明，字迹端正，作图认真。“精”是指做题要有选择，要精心思考，做一题有一题的收获，粗做十题，不如精做一题。“思”是指做题时要经常联系教材中的一些基本概念和规律，做题之后不要一对答案了事，要从解题的过程和结果中，加深对概念和规律的理解，从而收到举一反三之效。