

新义
哲学 编
刘 英

普通物理 摘要与题解

辽宁科学技术出版社

普通物理提要与题解

周又新 关哲义 刘 英 编

辽宁科学技术出版社

1987年·沈阳

内 容 提 要

本书内容紧紧围绕电视大学普通物理全部三册教材内容,包括力学、热学、电磁学、光学及近代物理各部分的内容提要、解题方法与步骤、应注意的问题及习题解答。

本书的特点是要点突出、脉络清楚、方法详尽、题解明白。适合电大、业大、函大工科各专业及其他自学学员、在学习普通物理课时作为参考。该书每章后附有自我检查题,书末附有历届电大试题及参考答案和评分标准。

普通物理提要与题解

utong Wuli Tiyao Yu Tijie

周又新 关哲义 刘 英 编

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行 朝阳新华商标零印厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 17 $\frac{1}{2}$ 字数: 385,000

1987年3月第1版 1987年3月第1次印刷

· 责任编辑: 陆 明 封面设计: 贾明基

印数: 1—13,569

统一书号: 13288·46 定价: 3.20元

前 言

本书是依据现行中央广播电视大学普通物理教学大纲和1986年在水召开“全国电大普通物理实验课与理论课教学讨论会”提出的普通物理教学要求而编写的。该书紧紧围绕电大现行的普通物理教材，包括全部三册的内容，尽力体现主讲教师在普通物理教学中的指导思想。

本书编写是出于电视大学工科各专业学员在普通物理学习中，由于远距离教学带来的困难和自学的特点，需要有一本能提供普通物理学要点和较详尽的解题思路与方法的辅导材料，作为他们在学习中的参考。基于上述原因，我们编写了这本书，把在多年教学中遇到的各种具体问题，积累并溶入本书之中。力争使本书具有要点突出、脉络清楚、方法详尽、题解明白的特点，便于掌握学习中的重点和难点，能读得懂、学得会。书中包括的内容对于电大、业大、函大工科各专业的学员是最基本的和适宜的。为利于自学，本书在各章后编有自我检查题，使读者能够检验自己的学习效果。全书末还附有历届电大普通物理考试题及参考答案与评分标准，以便读者参考。

本书在编写中参考了教材和一些其他书籍，在此谨对原书的编著者表示谢意。

本书由沈阳广播电视大学物理教研室编写。力学、热学部分由周又新执笔；电磁学部分由关哲义执笔；光学、近代物理部分由刘英执笔。由于编者水平所限，遗误难免，敬请指正。

编 者

1986年10月

目 录

前 言

第一篇 力 学

第一章 运动的描述	1
一、质点运动的描述	1
习题解答	2
二、直线运动及其运动图线表示法	7
习题解答	9
三、平面曲线运动	17
习题解答	19
四、刚体定轴转动的描述	25
习题解答	26
自我检查题	28
第二章 质点动力学	32
一、牛顿运动定律	32
习题解答	34
二、动量定理和动量守恒定律	44
习题解答	47
三、功与能	52
习题解答	55
四、碰撞及综合性习题	70
习题解答	71
自我检查题	83

第三章 刚体定轴转动力学..... 90

一、转动定律及其应用..... 90

习题解答..... 91

二、转动的动能定理、角动量定理及角动量守恒定律..... 90

习题解答..... 101

自我检查题..... 107

第四章 振动学基础..... 110

一、简谐振动及其物理意义..... 110

习题解答..... 112

二、振动图象、角谐振动、振动的合成..... 122

习题解答..... 125

自我检查题..... 134

第二篇 分子物理学和热力学基础

第五章 气体分子运动论..... 137

力学与分子物理学对照..... 137

习题解答..... 142

自我检查题..... 157

第六章 热力学的物理基础..... 160

习题解答..... 164

自我检查题..... 189

第三篇 电磁学

第七章 静电场..... 191

一、库仑定律..... 191

习题解答..... 191

二、电场强度..... 194

习题解答..... 198

三、高斯定理..... 203

习题解答..... 204

四、电势..... 209

第一篇 力 学

第一章 运动的描述

一、质点运动的描述

提 要

四个基本物理量。

1. 位置矢量：描写质点在空间中的位置。

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

2. 位移：描写质点位置变动的大小和方向。

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k}$$

3. 速度：描写质点位置变动的快慢和方向。

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k}$$

4. 加速度：描写质点运动速度变化的快慢和方向。

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$$

解题步骤

1. 选定坐标系；
2. 在坐标系上表示给定的物理量(几何描述)；
3. 应用矢量的运算法则。

注 意

1. 加深理解四个基本物理量的矢量性、相对性、瞬时性；
2. 区别时刻 t 和时间 Δt ；
3. 区别位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和路程 Δs 两个概念；
4. 区别平均速度 $\overline{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 与平均速率 $\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 两个概念。

1—1 有人说月球作椭圆运动，也有人说月球的运动轨迹是螺旋线，还有人说月球事实上没有动，你认为谁有道理？

答：都有道理。关键看观察者在何处，即参照系选在何处。当参照系分别选定地球、太阳时，则月球的运动轨迹分别是椭圆、螺旋线；当以月球本身为参照系时，月球静止不动。

本题说明了运动的相对性，对具体物体运动情况的描述依赖于坐标系（参照系）的选择。

1—2 下列问题是否可能，举例说明。

- (1) 一物体具有恒定的速率，但仍有变化的速度；
- (2) 一物体具有恒定的速度，但仍有变化的速率；
- (3) 一物体具有加速度而其速度为零；
- (4) 一物体具有恒定的加速度，但运动方向不断改变；
- (5) 一物体加速度的值很大，但速率不变；
- (6) 一物体具有沿 x 轴正方向的加速度而有沿 x 轴负方向的速度。

答：(1) 可能。速度是矢量，即有大小又有方向，两者之一变化，速度就变化。当一物体速度的大小不变而方向改变时，就具有恒定的速率而仍有变化的速度。例如，匀速率圆周运动。

(2) 不可能。物体有恒定的速度，就是说速度的大小、方向都不变，不可能有变化的速率。

(3) 可能。加速度是速度的变化率，速度有变化就有加速度。在某一时刻，物体的速度为零，但速度正在变化，即下一时刻速度已不为零；那么，在某一时刻就满足物体的速度为零而加速度不为零。例如，作上抛运动的物体到达最高点时，就是如此。

(4) 可能。例如，作斜抛运动的物体，在运动过程中具有恒定的加速度，但运动方向却在不断改变。

(5) 可能。当加速度的方向与速度的方向垂直时，即只有法向加速度而切向加速度为零时，速度只改变方向而不改变大小，就可以出现题述的情况。例如，匀速率圆周运动。

(6) 可能。例如，沿 x 轴负方向运动的汽车在刹车过程中，就具有沿 x 轴负方向的速度并具有沿 x 轴正方向的加速度。

本题突出了速度、加速度的矢量性和瞬时性，并说明速度与加速度既密切相关又是各自独立的两个物理量。

1—3 xy 平面内有一点 A ，其坐标为 $(-4, 3)$ m，试用单位矢量的符号写出其位置矢量 r_A 的表达式，并求 r_A 的大小及 r_A 与 x 轴的夹角。

解：

$$r_A = -4i + 3j \text{ (m)}$$

$$r_A = \sqrt{(-4)^2 + 3^2} = 5 \text{ (m)}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{x}{r} = \cos^{-1} \frac{-4}{5}$$

$$= 143.13^\circ = 143^\circ 7' 5''$$

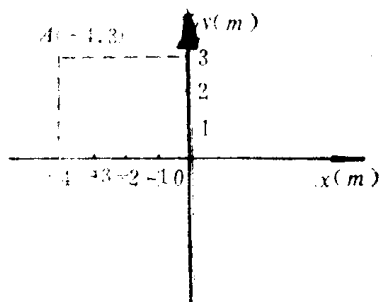


图 1—1

1—4 一人从 O 点出发，走到于 O 点东3米、南5米

的A点,又从A点走到A点西1米、北6米的B点,试写出A点和B点的位置矢量。

解:按上北下南左西右东的习惯建立坐标系,显然

$$\mathbf{r}_A = 3\mathbf{i} - 5\mathbf{j}$$

$$\Delta\mathbf{r} = -\mathbf{i} + 6\mathbf{j}$$

$$\therefore \mathbf{r}_B = \mathbf{r}_A + \Delta\mathbf{r}$$

$$= 2\mathbf{i} + \mathbf{j}$$

1—5 (1) 一人自原点出发, 25秒内向东走了30米, 又在10秒内向南走了10米, 再15秒内向西北走了18米, 试求合位移的大小和方向。

(2) 求每一分位移中的平均速度; 对合位移求平均速度, 并对全路程求平均速率。

(3) 位移和路程有何区别? 在什么情况下两者的量值相等? 平均速度和平均速率有何区别? 在什么情况下两者的量值相等?

解: 按上北下南左西右东的习惯建立坐标系, 依题意, 有

$$\Delta\mathbf{r}_{OA} = 30\mathbf{i}$$

$$\Delta\mathbf{r}_{AB} = -10\mathbf{j}$$

$$\Delta\mathbf{r}_{BC} = -\frac{18}{\sqrt{2}}\mathbf{i} + \frac{18}{\sqrt{2}}\mathbf{j}$$

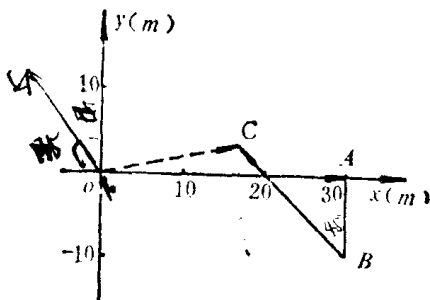


图 1—3

则合位移为

$$\Delta\mathbf{r}_{OC} = \Delta\mathbf{r}_{OA} + \Delta\mathbf{r}_{AB} + \Delta\mathbf{r}_{BC} = 17.3\mathbf{i} + 2.7\mathbf{j}$$

其大小为 $\Delta r_{oc} = \sqrt{17.3^2 + 2.7^2} = 17.5 \text{ (m)}$

其方向余弦为 $\cos \alpha = \frac{\Delta x}{\Delta r} = 17.3/17.5 = 0.9885$

$\therefore \alpha = 8.67^\circ = 8^\circ 40'$

(2) 每一分位移中的平均速度分别为 沿此方向

$\overline{v}_1 = \frac{\Delta r_{OA}}{\Delta t_1} = \frac{30}{25} \mathbf{i} = 1.2 \mathbf{i} \text{ (m/s)} \quad (\text{向东})$

$\overline{v}_2 = \frac{\Delta r_{AB}}{\Delta t_2} = -\frac{10}{10} \mathbf{j} = -1.0 \mathbf{j} \text{ (m/s)} \quad (\text{向南})$

$\overline{v}_3 = \frac{\Delta r_{BC}}{\Delta t_3} = -\frac{18}{15\sqrt{2}} \mathbf{i} + \frac{18}{15\sqrt{2}} \mathbf{j} = -0.85 \mathbf{i} + 0.85 \mathbf{j}$

$|\overline{v}_3| = \sqrt{(-0.85)^2 + (0.85)^2} = 1.2 \text{ (m/s)}$

$\alpha = \cos^{-1} \frac{-0.85}{1.2} = \cos^{-1} (-0.708) = 135^\circ$

其方向为东偏北 135° (或向西北方向)

合位移的平均速度为

$\overline{v} = \frac{\Delta r_{oc}}{\Delta t} = (17.3 \mathbf{i} + 2.7 \mathbf{j}) / (25 + 10 + 15) = 0.346 \mathbf{i} + 0.0538 \mathbf{j}$

$|\overline{v}| = \sqrt{0.346^2 + 0.0538^2} = 0.35 \text{ (m/s)}$

$\alpha = \cos^{-1} \frac{0.346}{0.35} = \cos^{-1} 0.9886 = 8^\circ 40'$

其方向为东偏北 $8^\circ 40'$

全路程的平均速率为

$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = 30 + 10 + 18 = 58$

$\overline{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{58}{50} = 1.16 \text{ (m/s)}$

(3) 位移是矢量，路程是标量；位移是某一段运动轨

迹上的起点和终点间的有向直线段，路程是这一段运动轨迹的曲线长度；位移只由运动质点的始末位置决定而与运动的实际路径无关，而路程由运动的实际路径决定。只有当物体作直进直线运动时，两者的量值相等。

平均速度是矢量，平均速率是标量；平均速度定义为在某段时间内质点位移与所经历时间之比，即 $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ ，其物理意义在于描述运动质点在某段时间内位置变化的平均快慢（包括方向）程度，而平均速率定义为在某段时间内质点的路程与所经历时间之比，即 $\bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ ，其物理意义在于描述质点沿轨迹移动的平均快慢（不反映方向）；两者是两个根本不同的概念，只有当物体作直进直线运动时，两者的量值才相等。应该指出，物体即使作直线运动，若运动并非始终朝一个方向时，平均速率与平均速度的量值也不相等。

1—6 设质点的运动方程为： $x = x(t)$ ， $y = y(t)$ 。在计算质点的速度和加速度时，有人先求出， $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ，然后根据 $v = \frac{dr}{dt}$ 和 $a = \frac{d^2r}{dt^2}$ 求出结果；又有人先计算速度和加速度的分量再合成而求得结果，即 $v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$ 和 $a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$ ，你认为哪一种方法正确？为什么？两者的差别何在？

答：后一种方法正确，前一种方法是错误的。

位移、速度、加速度皆为矢量，故求速度和加速度应根据矢量求导法则，即

$$r = x(t) \mathbf{i} + y(t) \mathbf{j}$$

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j}$$

$$\mathbf{a} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2} \mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2} \mathbf{j}$$

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

加速度的值为

$$a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$$

第一种方法的错误在于， r 为矢量，即 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$ ，

而 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 仅是 r 的大小，只对 r 的大小 r 求导，即 $\frac{dr}{dt}$ 根本不是速度的大小，这里应特别注意

$$v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

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

应该指出，在使用平面极坐标的情况下， $\frac{dr}{dt}$ 可表示为速度的径向分量，而 $\frac{d^2r}{dt^2}$ 仅表示为速度的径向分量的瞬时变化率。

二、直线运动及其运动图线表示法

提 要

在直线运动中， r 、 v 、 a 始终在同一直线上，是一

维运动, 这时质点的运动方程、参量方程、轨迹方程合而为一, 即 $x = x(t)$

若 $x = x(t)$ 为一次函数, 如 $x = bt + c$ 则表示匀速直线运动; 若为二次函数, 如 $x = bt^2 + ct + d$ 则表示匀变速直线运动; 若为三次函数, 如 $x = bt^3 + ct^2 + dt + e$ 则表示非匀变速直线运动; 若为正弦函数, 如 $x = b\cos(ct + d)$ 则表示简谐振动。

习题类型

1. 已知质点的运动方程, 用微分的方法, 可以求出质点在各个时刻的位置、速度和加速度, 以及某段时间内的位移。

2. 已知加速度(或速度)与时间的函数关系, 以及初始条件, 用积分的方法, 可以求出质点的运动方程。

3. 解决有关匀变速直线运动的习题, 其特点是加速度为一恒量, 公式有:

$$v = v_0 + at$$

$$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

注 意

在一维运动中, 矢量可用带有正负号的代数量表示,

($\pm x$, $\pm v$, $\pm a$) 如 $x > 0$ 表示质点位置在坐标原点的右侧, $x < 0$ 表示质点位置在原点左侧; $v > 0$ (或 $\Delta x > 0$) 表示运动方向指向 $+x$ 方向, $v < 0$ (或 $\Delta x < 0$) 表示运动方向指向 $-x$ 方向; 而 $a > 0$ 或表示沿 $+x$ 方向加速 (此时 $v > 0$), 或表示沿 $-x$ 方向减速 (此时 $v < 0$), $a < 0$ 或表示沿 $+x$ 方向减速 (此时 $v > 0$), 或表示沿 $-x$ 方向加速 (此时 $v < 0$)。

在解决比较复杂的匀变速直线运动的习题时，应先画草图，选定研究对象，并分析研究对象运动过程的特点。

1—7 (1) $x-t$ 图的物理意义如何？图中的一个点表示什么？图中的一条线表示什么？

(2) $v-t$ 图的物理意义如何？图中的一个点表示什么？图中的一条线表示什么？

答：(1) $x-t$ 图的物理意义在于描述作直线运动的质点的坐标随时间的变化规律。如图 1—4，图上的任一点 P ，表示某一质点在某一时刻的坐标（位置）。图上的任一条线（如 OA ， DE ， FG 或曲线 OBC ）表示某一质点的坐标（位置）随时间的变化情况。其中水平线（如 FG ）表示质点的位置不随时间变化（静止）；直线 OA 表示质点作匀速直线运动，且起点在坐标原点；直线 DE 表示质点作匀速直线运动，且起点不在原点；曲线 OBC 表示质点作变速直线运动（不表示曲线运动！）。

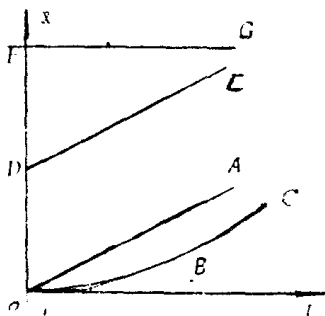


图 1—4

(2) $v-t$ 图的物理意义在于描述作直线运动的质点的速度随时间的变化规律。

图上的任一个点，表示质点在某一时刻的速度，图上的任一条线表示质点的速度随时间的变化情况，水平线表示质点的速度不随时间变化（匀速直线运动），而竖直线是不可能出现的（不需时间质点的速度就改变）。

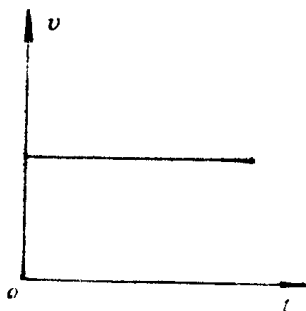


图 1—5

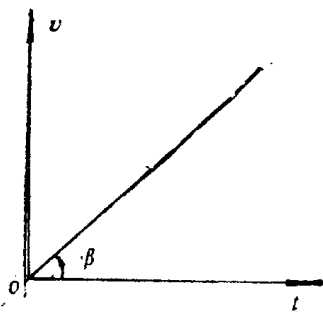


图 1—6

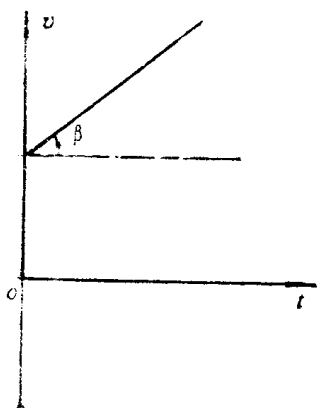


图 1—7

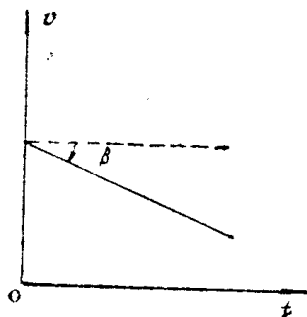


图 1—8

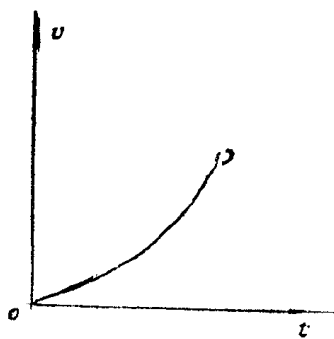


图 1—9

图 1—5 表示匀速直线运动， $v = \text{恒量}$ ；图 1—6 表示匀加速直线运动， $v_0 = 0$ ， $v = at$ ， $a = \text{tg}\beta$ ；图 1—7 表示匀加速直线运动， $v_0 \neq 0$ ， $v = v_0 + at$ ， $a = \text{tg}\beta$ ；图 1—8 表示匀减速直线运动， $v_0 \neq 0$ ， $v = v_0 - at$ ， $a = \text{tg}\beta$ ；图 1—9 表示变加速直线运动，曲线上任一点切线的斜

率表示质点在该时刻的加速度 $\frac{dv}{dt}$ 。

1—8 设某物体的直线运动过程可用图 1—10 中的折线 $ABCD$ 表示, 问 (1) OA 和 BC 这两线段各表示什么?

(2) 相应于 AB 和 CD 两线段的加速度方向如何? (3) 面积 $OABCD$ 表示什么?

答: (1) OA 线段表示物体初速度的大小, BC 线段表示在与其相对应的时间内物体以匀速度运动。(2) AB 线段表示在与其相对应的时间内加速度方向与运动方向相同, 即物体作匀加速运动; CD 线段表示在与其相对应的时间内加速度方向与运动方向相反, 即物体作匀减速运动。(3) 面积 $OABCD$ 表示物体在运动的全过程中所经历的路程。

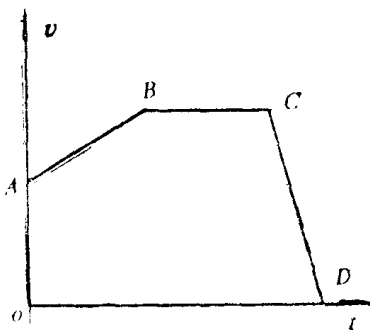


图 1—10

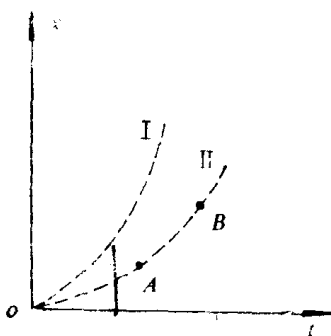


图 1—11

1—9 在图 1—11 中的两条抛物线 I 和 II 表示什么类型的运动? 两者有何不同? II 中的 A 、 B 两点, 哪一点的速度较大?

答: I 和 II 均表示初始位置为零、初速度亦为零的匀加速直线运动; I 所表示的运动较 II 所表示的运动加速度大; 在抛物线 II 中, B 点的速度比 A 点大。

1—10 一质点沿 Ox 轴运动, 其运动方程为