

徐行 主编

王环 副主编

普通物理辅导 及程序练习

PUTONG WULI
FUDAO
JI CHENG
XU LIANXI

高等学校教学用书

上册



天则出版社

高等学校教学用书

徐行 主编 王环 副主编

王文学 张根发

张普庆 穆泗书 林承勇

王芝威 王宏义 编

普通物理辅导及程序练习

天则出版社

04/48

前 言

本书对普通物理各部分内容逐章进行了辅导，全书总共二十章。每章包括四节：第一节内容提要，第二节问题辅导，第三节程序练习，第四节例题分析。在问题辅导一节中着重讲解了对主要概念应如何理解，对容易混淆的概念应如何区别，并对重要规律和公式的物理意义、适用范围和应用经验作了深入细致地说明；在程序练习一节中，有些练习起着复习本章概念和定义的作用，另一些练习则是循序渐进地求解问题，是训练逻辑思维能力的一种练习，是提高解题能力、训练解题技巧的有效实践；在例题分析一节中，重点分析了典型题的解题思路和解题方法。每道题解完后都附了一个“注”，着重说明解这类题的关键所在和容易搞错的地方，或应该注意的事项。本书是根据我们多年从事物理教学的经验，针对学生经常提出的问题及容易混淆的概念编写而成的。本书内容丰富充实，分析细致透彻，针对性比较强，可谓广采众家、自成体系、独具特色，是理工科各专业学生和师专、教育学院、职工大学的学生学习普通物理的一本比较好的辅助教材。

本书由内蒙古大学教授徐行担任主编，由包头师专王环先生主持编写的。其中第一、二、三、四、七、八章由王环先生执笔；第五、六章由内蒙古二机厂职工工学院王文学付教授执笔；第九、十、十一章由包头师专张根发先生执笔；第十二、十三、十四章由胜利油田教育学院张普庆付教授、穆泗书付教授执笔；第十五、十六章由内蒙古一机厂职工工学

院林承勇付教授执笔；第十七、十八章由包头师专王芝威先生执笔；第十九、二十章由包头钢铁公司职工大学王宏义高级实验师执笔。全书由徐行教授修改定稿，由王宏义同志校对。由于我们水平有限，时间仓促，书中错误在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1986年9月

目 录

前言

第一章 质点运动学

- 1—1 内容提要..... 1
- 1—2 问题辅导..... 8
- 1—3 程序练习..... 14
- 1—4 例题分析..... 29

第二章 牛顿运动定律

- 2—1 内容提要..... 43
- 2—2 问题辅导..... 46
- 2—3 程序练习..... 59
- 2—4 例题分析..... 82

第三章 功和能

- 3—1 内容提要..... 93
- 3—2 问题辅导..... 96
- 3—3 程序练习..... 104
- 3—4 例题分析..... 127

第四章 动量

- 4—1 内容提要..... 137
- 4—2 问题辅导..... 139
- 4—3 程序练习..... 143
- 4—4 例题分析..... 155

第五章 刚体的转动

- 5—1 内容提要..... 166
- 5—2 问题辅导..... 169
- 3 程序练习..... 178

5—4 例题分析..... 194

第六章 万有引力

- 6—1 内容提要..... 205
- 6—2 问题辅导..... 207
- 6—3 程序练习..... 213
- 6—4 例题分析..... 220

第七章 气体分子运动论

- 7—1 内容提要..... 223
- 7—2 问题辅导..... 227
- 7—3 程序练习..... 238
- 7—4 例题分析..... 251

第八章 热力学基础

- 8—1 内容提要..... 263
- 8—2 问题辅导..... 267
- 8—3 程序练习..... 276
- 8—4 例题分析..... 292

第九章 静电场

- 9—1 内容提要..... 301
- 9—2 问题辅导..... 306
- 9—3 程序练习..... 329
- 9—4 例题分析..... 347

第十章 静电场中的导体和电介质

- 10—1 内容提要..... 354
- 10—2 问题辅导..... 359
- 10—3 程序练习..... 368

10—4 例题分析·····	380
----------------	-----

第十一章 稳恒电流

11—1 内容提要·····	387
11—2 问题辅导·····	390
11—3 程序练习·····	396
11—4 例题分析·····	404

第十二章 磁场

12—1 内容提要·····	410
12—2 问题辅导·····	412
12—3 程序练习·····	418
12—4 例题分析·····	426

第十三章 磁介质

13—1 内容提要·····	437
13—2 问题辅导·····	439
13—3 程序练习·····	450
13—4 例题分析·····	455

第十四章 电磁感应 电磁场

14—1 内容提要·····	457
14—2 问题辅导·····	460
14—3 程序练习·····	466
14—4 例题分析·····	476

第十五章 机械振动

15—1 内容提要·····	485
15—2 问题辅导·····	489
15—3 程序练习·····	496
15—4 例题分析·····	504

第十六章 机械波

16—1 内容提要·····	515
16—2 问题辅导·····	518
16—3 程序练习·····	525
16—4 例题分析·····	530

第十七章 电磁振荡和电磁波

17—1 内容提要·····	537
17—2 问题辅导·····	540
17—3 程序练习·····	543
17—4 例题分析·····	553

第十八章 波动光学

18—1 内容提要·····	557
18—2 问题辅导·····	567
18—3 程序练习·····	575
18—4 例题分析·····	599

第十九章 狭义相对论

19—1 内容提要·····	608
19—2 问题辅导·····	612
19—3 程序练习·····	615
19—4 例题分析·····	620

第二十章 量子物理

20—1 内容提要·····	626
20—2 问题辅导·····	635
20—3 程序练习·····	644
20—4 例题分析·····	656

第一章 质点运动学

1—1 内容提要

一、运动描述的相对性

自然界中一切物体都在运动，运动是物质存在的形式，运动是绝对的，静止是相对的。为了描述运动，总要选择一个物体作为标准，这个被选作标准的物体叫做参考系。我们平常所说的物体的运动，都是相对于某个参考系而言的，同一物体相对于不同的参考系，其运动是不同的，因而对其运动的描述也是不同的，这就是运动描述的相对性。

二、质点和刚体

质点和刚体都是理想模型，它们都是实际物体在一定条件下的抽象。

1. 质点 若物体本身的线度在所研究的问题中可以忽略不计，可近似地把这物体看做是一个只有质量而没有大小和形状的几何点，称为质点。哪些物体可以视为质点？哪些物体不能当作质点处理？这要对具体问题作具体分析，不能一概而论。例如，研究地球的公转时可以把地球视为质点，但研究地球自转时就不能把地球视为质点。

2. 刚体 若物体的形变在所研究的问题中可以忽略不计，则这种物体称为刚体。

三、轨迹和路程

1. 轨迹 质点在空间运动时所描出的图形（所经过的路径）称为轨迹。轨迹可以是一条直线，也可以是一条曲线。

2. 路程 在某段时间内，质点在轨迹上通过的路径的总长度称为路程。

四、时刻和时间

1. 时刻 通常把与质点经过某一位置相对应的瞬时称为时刻。

2. 时间 通常把与质点经过某一段路程相对应的时间间隔称为时间。

用钟表来量度时间时，时钟上指针所指的每一位置都表示时刻，而时针的两个不同位置，即两个不同时刻间的间隔则表示时间。

五、平动和转动

1. 平动 如果物体上任何两点连线的方位在运动中始终保持不变，则这种运动称为平动。在平动过程中，物体各点具有相同的运动状态，如位移、速度、加速度等完全相同，因此可用物体任意一点的运动代表整个物体的运动。

2. 转动 若物体绕一固定轴转动时，这种运动称为“定轴转动”。此时除转动轴上各点外，其他点都绕轴做圆周运动。若物体绕一固定点转动，称这种运动为“定点转动”。

六、位置矢量 $\vec{r}$

从坐标原点引向质点的有向线段叫做位置矢量，简称位矢，也叫矢径 $\vec{r}$ 。它是描写质点在空间位置的物理量。也可

把 $\vec{r}$ 表示成分量式 $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ ，它是一个矢量，具有矢量性；如选取不同的参考系，或者在同一参考系上选取不同的坐标原点，位矢的数值和方向是不同的，因而对它的描述具有相对性；在质点的运动过程中，位矢是随着时间而改变的，因而它具有瞬时性。

七、位移矢量 $\Delta\vec{r}$

在某段时间内，由运动质点的起始位置引向终止位置的有向线段（或终了时刻的矢径与初始时刻的矢径的矢量差）叫做位移。如图1—1所示，其定义式为

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

位移是描述在一定时间内质点位置变化的物理量，具有大小和方向的意义。

位移是矢量。它和路程不同，路程是在一定时间内质点所经路径的总长度，是标量。

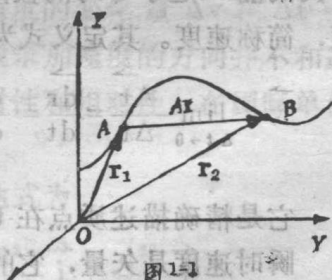


图 1-1

八、速度矢量

1. 平均速度 在某段时间 t 到 $t + \Delta t$ 内，质点的位移 $\Delta\vec{r}$ 与所经历的时间 Δt 的比值叫做该段时间内的平均速度。其定义式为

$$\vec{V} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t}\vec{j} + \frac{\Delta z}{\Delta t}\vec{k}$$

它是描述运动质点在某段时间内位置变化的平均快慢程度（包括方向）的物理量。平均速度是矢量，位移的方向就

是它的方向。

2. 平均速率 在某段时间内质点运动的路程（轨迹的长度）与所经历的时间的比值叫做该段时间内的平均速率。其定义式为

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

它是描述运动质点在某段时间内在其运动轨迹上移动的平均快慢程度（不考虑运动方向）的物理量。平均速率是标量。

3. 瞬时速度 质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内的平均速度 $\bar{v}$ 当时间间隔 Δt 趋于零时的极限，称为质点在 t 时刻的瞬时速度，简称速度。其定义式为

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

它是精确描述质点在 t 时刻运动状态的物理量。

瞬时速度是矢量，它的方向与运动轨迹的切线方向相同。速度除具有矢量性外，还有瞬时性和相对性。它在国际单位制中的单位是 m/s 。

九、加速速矢量

加速度是描述质点的速度随时间变化的物理量。

1. 平均加速度 质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内速度的改变量 $\Delta \vec{v}$ 与时间间隔 Δt 的比值，称为这段时间内的平均加速度。即

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

平均加速度是矢量， $\vec{a}$ 的方向就是 $\Delta \vec{v}$ 的方向，它只能粗略地描述质点在某段时间内速度变化快慢的大概情况。

2. 瞬时加速度 质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内的平均加速度 $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ ，当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限值称为质点在时刻 t 的瞬时加速度，简称加速度。其定义式为

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

加速度是矢量，其方向就是速度的变化量 $\Delta \vec{v}$ 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限方向。必须注意，一般说来加速度的方向并不和速度的方向一致。加速度也具有瞬时性和相对性。在国际单位制中，加速度的单位是 m/s^2 。

加速度在直角坐标系中的表达式为

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2} \vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2} \vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2} \vec{k} \\ &= a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} \end{aligned}$$

加速度在自然坐标系中的表达式为

$$\vec{a} = \frac{v^2}{\rho} \vec{n} + \frac{dv}{dt} \vec{\tau} = a_n \vec{n} + a_\tau \vec{\tau}$$

十、运动规律

设平面直角坐标系 x 轴水平向右为正， y 轴竖直向上为正。

1. 匀变速直线运动：

$$v = v_0 + at, \quad x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2, \quad v^2 = v_0^2 + 2ax$$

2. 自由落体运动:

$$v = gt, \quad y = \frac{1}{2} gt^2, \quad v^2 = 2gy$$

3. 竖直上抛运动:

$$v = v_0 - gt, \quad y = v_0 t - \frac{1}{2} gt^2, \quad v^2 = v_0^2 - 2gy$$

4. 平抛运动:

$$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = -gt, \end{cases} \quad \begin{cases} x = v_0 t \\ y = -\frac{1}{2} gt^2; \end{cases} \quad y = -\frac{g}{2v_0^2} x^2$$

5. 斜抛运动:

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

$$y = x \tan \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2$$

抛体运动的总时间:

$$T = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

抛体达到最大高度所需时间:

$$t_H = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

抛体的射程:

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$(R_{\max} = \frac{v_0^2}{g})$$

抛体运动的最大高度:

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

6. 相对运动

设动坐标系 S' 相对于静坐标系 S 以恒定速度 $\vec{u}$ 沿 x 轴运动, 在 Δt 时间内质点 M 在 S 系中的位移矢量 $\Delta \vec{r}$ 等于质点 M 在 S' 系中的位移矢量 $\Delta \vec{r}'$ 与 S' 系相对 S 系的位移矢量 $\vec{u} \Delta t$ 之和, 如图 1-2 所示。即

$$\Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}' + \vec{u} \Delta t$$

质点 M 相对 S 系的速度等于它相对 S' 系的速度与 S' 系相对 S 系的速度的矢量和。即

$$\vec{v}_{M \text{ 对 } S} = \vec{v}_{M \text{ 对 } S'} + \vec{u}_{S' \text{ 对 } S}$$

各个速度都有两个脚注, 每个脚注的顺序都有确定的含意。就是说, 每个速度都是指前一个脚注代表的物体相对于后一个脚注代表的物体的速度。若把某一个速度矢量的两个脚注顺序交换时, 则在速度矢量前应冠以负号。即

$$\vec{v}_{M \text{ 对 } S'} = -\vec{v}_{S' \text{ 对 } M}$$

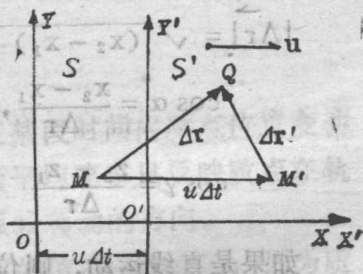


图 1-2

1—2 问题辅导

一、位移和路程

1. 位移 在某段时间内, 从运动质点的起始位置引向终止位置的有向线段或运动质点终止时刻的位置矢量 $\vec{r}_2$ 与初始时刻的位置矢量 $\vec{r}_1$ 的矢量差,

叫做位移。即

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

二者的顺序不能颠倒。

位移 $\Delta \vec{r}$ 是表示质点在某段时间 Δt 内相对于坐标系位置变动情况的物理量。

2. 位移 $\Delta \vec{r}$ 的大小及方向

$$|\Delta \vec{r}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{x_2 - x_1}{\Delta r}, \quad \cos \beta = \frac{y_2 - y_1}{\Delta r},$$

$$\cos \gamma = \frac{z_2 - z_1}{\Delta r}$$

如果是直线运动, 则位移的大小 $|\Delta \vec{r}| = x_2 - x_1$, 位移的方向只能与所取坐标轴同向或反向, 即

$$\cos \alpha = \pm 1$$

3. 位移是矢量 遵守平行四边形法则, 如果位移都沿着某一坐标轴, 则可按代数量进行运算。

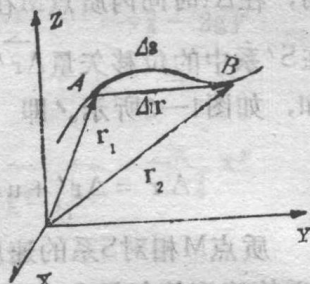


图 1-3

4. 位移和路程的区别 质点的位移是从初始位置引向终止位置的有向线段，是矢量。路程是质点在某轨迹上所通过的路径的总长度，是绝对值。一般说来在同一段时间间隔内，路程和位移的大小并不相等。只有当质点沿直线轨迹做单向运动（没有调头）时，路程和位移的大小才相等。

5. 位移和位置矢量的区别 位置矢量是从坐标原点引向运动质点所在位置的有向线段，位移是终点的位置矢量和起点的位置矢量的矢量差；它们虽然都和参考系有关，但位置矢量还和坐标原点的选择有关，位移却与坐标原点的选择无关；位置矢量与时刻相对应，是个瞬时量，而位移则与时间间隔相对应，是个过程量。

二、平均速度和平均速率

1. 平均速度是质点的位移与所经历时间的比值，即 $\bar{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ ；平均速率是在某段时间内质点通过的路程与所经历时间的比值，即 $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 。

2. 平均速度是矢量，它表示在某段时间内质点位置变动的平均快慢程度（包括方向）；而平均速率只反映质点在轨迹上移动的平均快慢程度，而不反映移动的方向。

3. 平均速度的大小和平均速率的值不一定相等，因为质点在相同时间里通过的路程和发生的位移不一定相等，即一般说来 $|\Delta \vec{r}| \neq \Delta s$ ， $\therefore \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} \neq \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 。

4. 在一般直线运动中质点的平均速度为

$\overline{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} v(t) dt}{t_2 - t_1}$ 这个速度并不等于

$\frac{v_1 + v_2}{2}$ ，但在匀变速直线运动中可以证明平均速度等

于 $\overline{v} = \frac{v_1 + v_2}{2}$ 。

例 一质点以 10m/s 的恒定速率向东运动，当它刚刚到达距出发点为 d 的一点后，立即以 20m/s 的恒定速率往回运动，并返回原处。问在全过程中的平均速度和平均速率各为多少？

解：以质点为研究对象，取 x 轴向右（代表向东）为正，以出发点为坐标原点，从出发时刻开始计时。

质点从出发点到返回原地其位移为

$$\vec{r} = 0$$

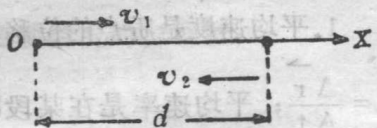


图 1-4

所以在这段时间内的平均速度等于

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = 0$$

而质点往返共通过的路程 $\Delta s = 2d$

所经历的时间
$$\Delta t = \frac{d}{v_1} + \frac{d}{v_2} = \frac{(v_1 + v_2) d}{v_1 v_2}$$

所以在这段时间内的平均速率

$$\begin{aligned}\bar{v} &= \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2d}{(v_1 + v_2) d} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} = \frac{2 \times 10 \times 20}{10 + 20} \\ &= 13.3 \text{ (m/s)}\end{aligned}$$

在本题中质点不是做匀变速运动，故平均速度不能用

$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2} \text{ 来求。一定要注意公式的适用范围。}$$

三、瞬时速度

1. 瞬时速度 是质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内的平均速度 $\bar{v}$ 当时间间隔 Δt 趋于零时的极限。实际上瞬时速度是无法按照定义去直接测量的，通常采取测量极短时间内的平均速度作为瞬时速度的近似值。但在概念上不能因此而把瞬时速度的定义搞错。瞬时速度等于位置矢量对时间的变化率，而不等于位移对时间的变化率。因为质点的位置矢量总与一定的时刻相对应，位置矢量对时间的变化率恰好说明位置变动的快慢和方向，即质点的速度。

2. 瞬时速度是矢量 它的方向就是质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内的位移 $\Delta \vec{r}$ 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限方向，即 t 时刻质点所在点的切线方向。速度方向代表质点的运动方向。

3. 瞬时速度的大小等于瞬时速率 由图1—3可知当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，质点在 Δt 内所通过的路程 Δs 和位移矢量的量值 $|\Delta \vec{r}|$ 趋于相等，因此瞬时速度的大小和瞬时速率相等。即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \left| \vec{v} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \frac{|\vec{dr}|}{dt}$$