

大学生和自学者用

普通物理学

辅导与答疑

(力学与热学)

北京出版社

普通物理学辅导与答疑

(力学与热学)

清华大学 现代应用物理系 编写
基础物理教研组

北京出版社

内 容 简 介

本书系由清华大学现代应用物理系基础物理教研组集中了有丰富教学经验的老师编写，体现了他们的教学心得和体会。

全书在概括总结物理学概念、定律、方法的基础上分清主次，突出重点，解释重点中的难点和容易混淆的地方，并精选了近50个有代表性的疑难问题予以解答，以帮助学生掌握基础知识，培养分析、解决问题的能力，适于理工科大学学生及广大自学者使用，也可供高等院校教师参考。

普通物理学辅导与答疑

(力学与热学)

Putong Wulixue Fudao yu Dayi

清华大学 现代应用物理系 编写
基础物理教研组

*

北京出版社出版

(北京北三环中路6号)

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11.75印张 254,000字

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数：1—9,700

书号：7071·1137 定价：1.85元

编写说明

对于理工科大学生(包括职工大学和电视大学学员)来说,学习普通物理学的主要目的,在于掌握物理学的基本概念、基本规律和基本方法,培养运用物理学的基础知识分析和解决问题的能力。为此,我们参照我国通用的高等学校工科类与非物理专业理科类普通物理学的教学大纲,结合多年来的教学工作经验和心得体会,编写了这一套《普通物理学辅导与答疑》。希望能够帮助理工科大学生对物理学的基本内容理解得更深一些,运用得更活一些;并希望有助于广大自学者和已经学完普通物理学的读者,在原有知识的基础上总结提高,启发他们深入钻研问题的积极性,回答他们曾经提出和思考过的某些疑难问题。

本书力图把物理学的基本概念、定律和方法准确地阐述清楚,力求在概括和总结的基础上分清主次,突出重点,解释重点中的难点和容易混淆的地方。为了使本书有较大的适用性,书中的每一章都大致可分为前后两部分,前面的部分属于基本内容,反映的是基本的教学要求;后面的部分则是略高于教学要求的内容和专题性的深入讨论与说明。我们希望这样的安排能够作到使不同水平的读者各得其所,使本书起到课外的辅导与答疑的作用。

本书计划分三册出版。本册共有两篇,第一篇是力学,主要包括质点运动学、质点动力学、刚体力学和狭义相对论基础;第二篇是热学,主要包括气体分子运动论和热力学基础。崔砚生同志承担了本册的主编工作,并编写了某些段落

和若干疑难问题；陈惟蓉同志编写了第一篇的前四章；高炳坤同志编写了第一篇的后两章和第二篇；杨秀珍同志编写了若干疑难问题。

在编写本书的过程中，得到了张三慧教授热情的帮助和具体的指导，他审阅了本册的全部内容，并提出了宝贵的意见。本书第六章有若干问题还直接取自他编写的讲义。我们对此表示衷心的感谢。

本书的编写参考了若干现有的教材，在许多方面得到启发与教益，这里难于一一指明，在此一并致谢。

由于我们水平有限，加之编写时间仓促，书中难免有缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

清华大学 现代应用物理系
基础物理教研组

1984年11月

目 录

第一篇 力 学

第一章 运动学	(1)
§ 1.1 位移、速度和加速度	(1)
1.1.1 位移、速度、加速度的定义	(1)
1.1.2 速度、加速度的基本性质	(2)
§ 1.2 质点运动学的常用公式	(6)
1.2.1 匀加速直线运动	(6)
1.2.2 圆周运动的加速度	(7)
1.2.3 角量与线量的关系	(9)
§ 1.3 相对运动,速度相加原理及其适用范围	(10)
1.3.1 相对运动与速度相加原理	(10)
1.3.2 古典力学的时空观与速度相加原理的适用范围	(11)
§ 1.4 几个容易混淆的概念	(12)
1.4.1 参照系与坐标系	(12)
1.4.2 $ \Delta r $ 与 $ \Delta r $, $ \Delta v $ 与 $ \Delta v $	(14)
1.4.3 速度的合成、分解与伽利略速度变换关系	(15)
1.4.4 运动的合成、分解与运动的独立性	(16)
§ 1.5 运动学解题的要求与举例	(18)
1.5.1 解题的基本要求	(18)
1.5.2 解题举例	(19)

第二章 牛顿定律	(26)
§ 2.1 牛顿三定律的内容	(26)
§ 2.2 对牛顿三定律的认识	(26)
2.2.1 惯性与惯性运动	(26)
2.2.2 牛顿第二定律的表达式	(27)
2.2.3 牛顿定律科学概括了力的概念	(30)
2.2.4 牛顿定律应用的对象是质点	(30)
§ 2.3 牛顿定律和参照系	(30)
2.3.1 牛顿定律并非在所有的参照系中都可以应用	(30)
2.3.2 牛顿第一定律定义了惯性参照系	(31)
2.3.3 力学中常用的三个惯性系	(32)
§ 2.4 受力分析的难点——摩擦力的分析	(32)
2.4.1 常见力中接触力的特点	(33)
2.4.2 静摩擦力方向的分析	(34)
2.4.3 随转台匀角速转动物体的相对运动趋势的分析	(35)
§ 2.5 应用牛顿定律解题的一般方法	(36)
§ 2.6 牛顿定律应用的典型例题	(41)
§ 2.7 非惯性系中力和加速度之间的关系	(48)
2.7.1 在非惯性系中引入惯性力	(48)
2.7.2 惯性力不是相互作用力	(50)
2.7.3 非惯性系与力场的等效性	(51)
2.7.4 重力和地球的引力	(51)
2.7.5 非惯性系中牛顿定律的应用举例	(53)
第三章 功与能	(55)
§ 3.1 功与能的基本概念	(55)
3.1.1 功	(55)

3.1.2	保守力	(56)
3.1.3	动能	(58)
3.1.4	势能	(58)
3.1.5	机械能	(61)
§ 3.2	功与能的主要规律及基本联系	(62)
3.2.1	功与能的主要规律	(62)
3.2.2	功与能的基本联系	(64)
§ 3.3	利用功能关系解题的基本步骤	(65)
§ 3.4	典型例题	(67)
§ 3.5	对功、能概念的进一步分析	(73)
3.5.1	关于功的定义的几种不同说法	(73)
3.5.2	“一对力”的功	(75)
3.5.3	关于保守力及势能概念的深入说明	(78)
3.5.4	重力势能与万有引力势能的关系	(82)
3.5.5	从一对对内力做功分析弹簧势能变化的方法	(84)
3.5.6	在某个惯性系中系统的机械能守恒, 在其他惯性系中是否也守恒	(85)
第四章	动量与角动量	(87)
§ 4.1	动量与角动量的基本概念和基本规律	(87)
4.1.1	动量与角动量的基本概念和有关的物理量	(87)
4.1.2	动量与角动量的基本定律	(90)
4.1.3	几个概念的对比及守恒条件的比较	(96)
§ 4.2	用动量定理对变质量问题的分析	(101)
4.2.1	古典力学中变质量问题的涵义	(101)
4.2.2	变质量问题的一般公式	(101)
4.2.3	两个典型的变质量问题	(103)
§ 4.3	角动量守恒与行星运动	(107)
4.3.1	行星运动是平面运动	(107)

4.3.2	对开普勒第二定律的证明	(108)
4.3.3	远、近日点速率的关系	(109)
§ 4.4	典型例题	(110)
§ 4.5	质心参照系	(118)
4.5.1	质心参照系是零动量参照系	(119)
4.5.2	质心参照系是讨论质点系运动的重要参照系	(119)
4.5.3	质心系中碰撞问题的研究	(122)
§ 4.6	对几个有关动量和功能问题的分析	(129)
4.6.1	动量守恒条件的再讨论	(129)
4.6.2	质心系是非惯性系时的功能原理	(130)
4.6.3	为何在地球—卫星系统中研究动量关系不能选 地球为参照系, 而研究能量关系却可选地球为 参照系	(133)
4.6.4	汽车启动过程中几个力学问题的讨论	(136)
第五章	刚体	(141)
§ 5.1	刚体的基本概念	(141)
5.1.1	刚体的几种运动形式	(141)
5.1.2	刚体的重要的物理量和表达式	(142)
§ 5.2	刚体的基本规律	(146)
5.2.1	刚体的运动学规律	(146)
5.2.2	关于刚体转动惯量的规律	(148)
5.2.3	刚体的动力学规律	(150)
§ 5.3	典型例题	(155)
§ 5.4	对几个疑难问题的分析	(168)
5.4.1	圆盘纯滚动时的转动定律	(168)
5.4.2	转动圆盘啮合时的角动量守恒问题	(172)
5.4.3	滑冰运动员作旋转动作时的动力学分析	(174)

5.4.4	圆盘滚动中静摩擦力所做的功	(176)
5.4.5	为什么角速度与转心的位置无关	(178)
5.4.6	角位移是否为矢量	(179)
第六章 狭义相对论基础		(186)
§ 6.1	相对论的基本原理	(186)
6.1.1	相对论的基本假设	(186)
6.1.2	相对论是对古典时空观和牛顿力学的彻底革命	(189)
§ 6.2	相对论的时空观	(193)
6.2.1	同时性的相对性	(195)
6.2.2	时序	(197)
6.2.3	时间膨胀	(199)
6.2.4	长度缩短	(200)
6.2.5	洛仑兹速度变换	(201)
6.2.6	洛仑兹加速度变换	(204)
§ 6.3	相对论力学	(205)
6.3.1	相对论质量	(205)
6.3.2	相对论动量	(206)
6.3.3	相对论动量变化率	(206)
6.3.4	相对论动能	(208)
6.3.5	相对论能量	(209)
6.3.6	相对论动量和能量的关系	(211)
§ 6.4	典型例题	(212)
§ 6.5	对几个问题的进一步说明与分析	(230)
6.5.1	相对论动量与能量变换	(230)
6.5.2	相对论动量变化率的变换	(233)
6.5.3	相对论的起源	(235)
6.5.4	双生子佯谬	(240)

6.5.5	球的视状	(242)
6.5.6	从一个特例证明相对论质量与其速率的关系式 ...	(247)
6.5.7	能否选光子为参照系	(249)
6.5.8	光速 c 是否是宇宙间的极限速度	(249)

第二篇 热 学

第七章	气体分子运动论	(251)
§ 7.1	概述	(251)
7.1.1	热学系统	(251)
7.1.2	热运动的研究方法	(252)
7.1.3	统计规律	(253)
7.1.4	平衡态	(254)
7.1.5	V 、 P 、 T 的物理意义	(255)
§ 7.2	气体分子运动论的基本概念	(256)
7.2.1	经典分子运动论的基本思想	(256)
7.2.2	在平衡态的情况下气体分子运动的统计性假设	(256)
7.2.3	气体的微观模型	(257)
§ 7.3	气体分子运动论的基本规律	(259)
7.3.1	气体的状态方程	(259)
7.3.2	压强的统计解释与理想气体的压强公式	(261)
7.3.3	温度的统计解释	(262)
7.3.4	能量的统计规律	(262)
7.3.5	麦克斯韦速率分布律	(265)
7.3.6	碰撞的统计规律	(270)
7.3.7	内迁移现象的规律	(271)
§ 7.4	典型例题	(274)
§ 7.5	对几个问题的进一步说明与分析	(284)

7.5.1	麦克斯韦速度分布律	(284)
7.5.2	由麦克斯韦速度分布律推导麦克斯韦速率分布律	(291)
7.5.3	玻尔兹曼分布律	(292)
7.5.4	单位时间内碰到单位面积器壁上的分子数	(296)
7.5.5	用麦克斯韦速度分布律求压强	(298)
7.5.6	分子按动能的分布律	(299)
7.5.7	麦克斯韦速度分布律是研究理想气体各种规律的 出发点.....	(304)
第八章 热力学基础		(305)
§ 8.1	关于热力学过程的概念	(305)
8.1.1	准静态过程	(306)
8.1.2	可逆过程	(309)
8.1.3	不可逆过程	(309)
8.1.4	循环过程	(311)
8.1.5	绝热过程	(313)
8.1.6	等值过程	(313)
§ 8.2	热力学过程中的能量转化关系——热力学 第一定律	(315)
8.2.1	功	(315)
8.2.2	热量	(316)
8.2.3	焦耳热功当量实验	(317)
8.2.4	内能	(318)
8.2.5	热力学第一定律	(320)
8.2.6	热力学第一定律的应用	(321)
§ 8.3	热力学过程中方向性的规律——热力学第 二定律	(330)
8.3.1	热机的效率和致冷机的致冷系数	(330)

8.3.2	卡诺循环	(331)
8.3.3	热力学第二定律	(333)
8.3.4	卡诺定理	(335)
8.3.5	热力学第二定律的数学表达——熵和熵增原理	(336)
8.3.6	热力学第二定律数学表达式的应用	(339)
§ 8.4	典型例题	(341)
§ 8.5	对几个问题的进一步说明和分析	(351)
8.5.1	非平衡态下的热力学第一定律	(351)
8.5.2	热力学第二定律的统计解释	(352)
8.5.3	从宏观上看功和热的差异	(355)
8.5.4	热力学第二定律的开尔文表述和克劳修斯表述等 价性的证明.....	(356)
8.5.5	热力学温标及其与理想气体温标的一致性	(358)
8.5.6	气体的自由膨胀与热力学第二定律的开尔文表述	(360)
8.5.7	多个热源的热机是否能够只吸热不放热	(363)
8.5.8	等容过程中对克劳修斯等式和不等式的分析	(365)

第一篇 力学

第一章 运动学

§ 1.1 位移、速度和加速度

1.1.1 位移、速度、加速度的定义

位移 Δr 设质点 t 时刻在 P_1 点, $t + \Delta t$ 时刻运动到 P_2 点, 则由 P_1 点引向 P_2 点的矢量 $\overrightarrow{P_1 P_2}$ 叫做质点在 t 到 $t + \Delta t$ 这段时间内的位移. 它描述质点空间位置的改变.

若分别以 r_1 、 r_2 表示质点在 P_1 、 P_2 两位置时相对于坐标原点 O 的位置矢量 (简称位矢), 则质点在 Δt 时间内的位移可写为 Δr (图1.1), 且

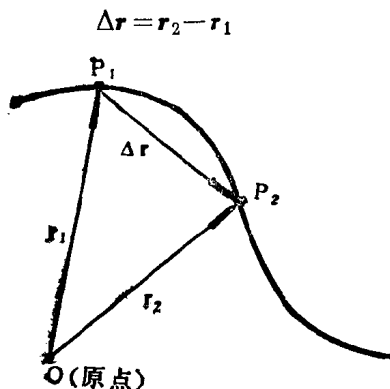


图 1.1

速度 v 设 t 时刻到 $t + \Delta t$ 时刻质点的位移为 Δr , 当 Δt

趋于零时，量 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的极限叫做质点在 t 时刻的速度，即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.1)$$

或者说，质点的速度是质点的位置矢量随时间的变化率。它描述质点运动的快慢和方向。

速度的大小称速率，由式(1.1)有

$$|\mathbf{v}| = v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} \quad (1.2)$$

其中 ds 是质点在 dt 时间间隔内通过的路程。

加速度 \mathbf{a} 设 t 时刻质点速度为 \mathbf{v}_1 ， $t + \Delta t$ 时刻速度为 \mathbf{v}_2 ， Δt 时间间隔内的速度增量为

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1$$

当 Δt 趋于零时，量 $\frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ 的极限叫做质点在 t 时刻的加速度，

即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1.3)$$

或者说，加速度是速度随时间的变化率。它描述速度变化的快慢和方向。

1.1.2 速度、加速度的基本性质

矢量性 \mathbf{v} 、 \mathbf{a} 都是矢量，它们具有一切矢量所具有的共同性。

第一，这些量本身既有大小，又有方向。

对于速度、加速度等量，不仅要给出大小，还应注明方向。

两个速度（或两个加速度）只有在大小相等、方向相同时才能称为相等。由此可以判定，作等速运动的质点的轨迹必然是直线；同理，所谓等加速运动是指加速度大小、方向都恒定的运动。

第二，它们都可以在选定的坐标系中以其分量的解析式表示。

普通物理课程中最常用的坐标系是直角坐标系。对于空间直角坐标系(图1.2)，质点的位置矢量可表示为

$$\mathbf{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z} \quad (1.4)$$

速度可以表示为

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= v_x\hat{x} + v_y\hat{y} + v_z\hat{z} \\ &= \frac{dx}{dt}\hat{x} + \frac{dy}{dt}\hat{y} + \frac{dz}{dt}\hat{z} \end{aligned} \quad (1.5)$$

其中， \hat{x} 、 \hat{y} 、 \hat{z} 分别代表沿 x 、 y 、 z 坐标轴正方向的单位矢量； v_x 、 v_y 、 v_z 是速度 \mathbf{v} 沿三个坐标轴的投影，又称 \mathbf{v} 沿三个坐标轴的分量，相应地有

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1.6)$$

速度 \mathbf{v} 和它的三个分量的关系如下：

速度 \mathbf{v} 的大小

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1.7a)$$

速度 \mathbf{v} 的三个方向余弦

$$\cos \alpha = \frac{v_x}{v}, \quad \cos \beta = \frac{v_y}{v}, \quad \cos \gamma = \frac{v_z}{v} \quad (1.7b)$$

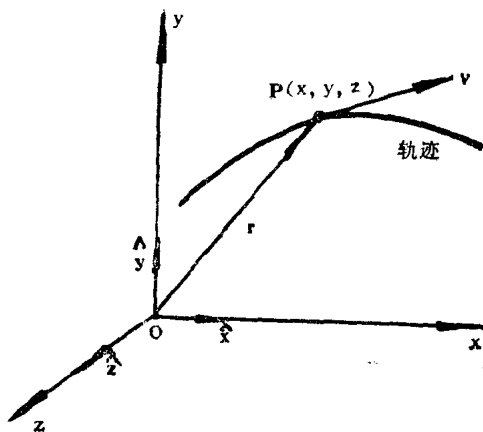


图 1.2

其中 α 、 β 、 γ 分别是速度矢量 \boldsymbol{v} 与 x 、 y 、 z 轴的夹角。

加速度可表示为

$$\begin{aligned} \boldsymbol{a} &= a_x \hat{x} + a_y \hat{y} + a_z \hat{z} \\ &= \frac{dv_x}{dt} \hat{x} + \frac{dv_y}{dt} \hat{y} + \frac{dv_z}{dt} \hat{z} \end{aligned} \quad (1.8a)$$

其中

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} \end{cases} \quad (1.8b)$$

为加速度 \boldsymbol{a} 沿 x 、 y 、 z 三个轴的分量。

\boldsymbol{a} 和它的三个分量 a_x 、 a_y 、 a_z 之间的关系式与 \boldsymbol{v} 和 v_x 、 v_y 、 v_z 间的关系式的形式相同。