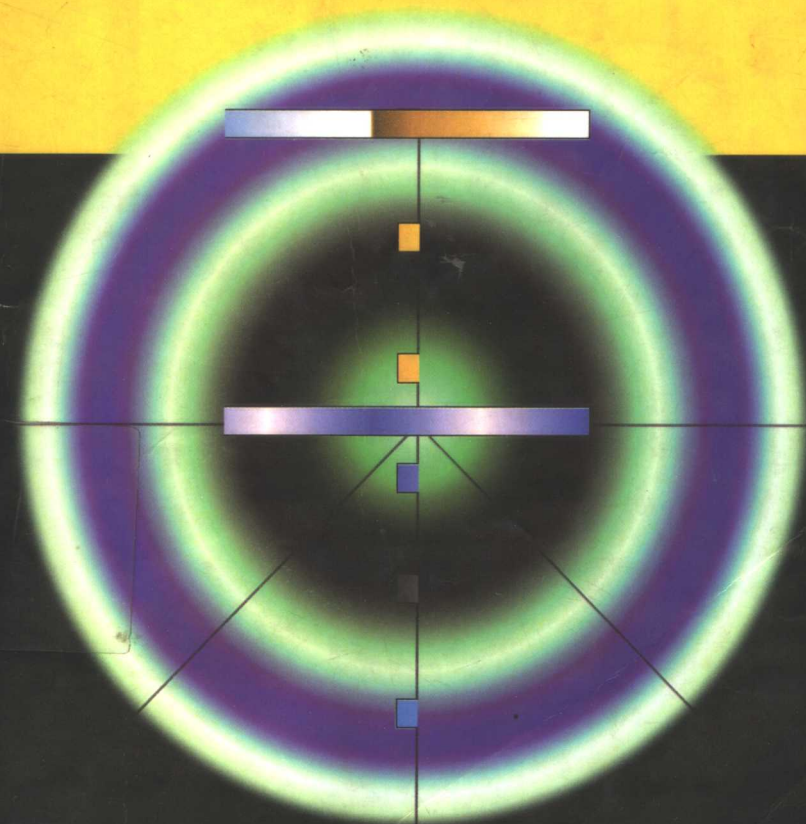


高等学校物理学习辅导教材

大学物理解题指导 与习题课设计

(修订版)

陈力 / 主编 黄德康 王致玉 / 副主编 陈印椿 / 主审



大连理工大学出版社

Dalian University of Technology Press

高等学校物理学习辅导教材

大学物理解题指导与习题课设计

(修订版)

主 编 陈 力
副主编 黄德康
主 审 陈印楮



大连理工大学出版社

内 容 简 介

本书是根据“物理课程教学基本要求”编写的一本大学物理辅助教材,它覆盖了大学物理的全部内容。通过约 160 个问题的讨论加深读者对一些基本概念、基本规律的理解。通过约 180 个典型例题的解答,指导读者掌握正确的解题思路和方法。编写了 13 套自测试题,可供读者学完每一章后检查自己的学习成绩。共设计了 12 次习题课教案,为教师安排辅导课提供参考。

本书可作为普通高校和各类成人高校工科学生学习大学物理的一本参考读物,也是一本自学辅导教材,也为大学物理教师提供了一本教学参考书。

大学物理解题指导与习题课设计

(修订版)

陈 力 主编

大连理工大学出版社出版发行

大连市凌水河 邮政编码 116024

电话:0411-4708842 传真:0411-4708898

E-mail:dlutp@mail.dlptt.ln.cn

大连业发印刷厂印刷

开本:850×1168 毫米 1/32 字数:383 千字 印张:14.25

印数:12001—18000 册

1998 年 1 月第 1 版

2000 年 3 月第 2 版

2000 年 4 月第 3 次印刷

责任编辑:许芳春

责任校对:王 董

封面设计:孙宝福

ISBN 7-5611-1311-0

O · 155

定价:17.00 元

前 言

本书是根据国家教委大学物理课程指导委员会制订的“物理课程教学基本要求”编写的一本大学物理辅助教材。工科大学生在学习大学物理课程时普遍感到概念多、规律多、题目难,抓不住重点,物理很难学。本书的编写宗旨是帮助学生搞清大学物理的基本概念、基本规律;指导解题方法;提高大学生分析问题解决问题的能力。本书共设计了12次习题课,为教师安排辅导课提供参考。

本书共分十四章,覆盖了大学物理的全部内容。每章以内容提要、问题讨论、解题指导、习题课设计为主要内容。每章配备了自测试题,自测试题给出了解答。内容提要中总结了本章的基本概念和基本规律。问题讨论中提出了若干重点、难点问题进行分析、讨论,澄清一些常见错误和模糊认识,加深了对基本规律的理解。解题指导中则精选了一些经典例题。通过解题分析、一题多解、分析常见错误等方法指导学生的解题思路和方法。我们也选了少量“超纲”的例题,这是为了满足那些优秀学生进一步学习的需要。习题课设计部分有讨论题、典型题示例、课堂练习题,为大学物理教师上辅导课提供了一份教案。自测试题题型以选择题、填空题、计算题为主,题目的分布与教学要求吻合,自测试题是为学生学习本章后检查学习效果提供一种手段。

本书是由大连轻工学院、大连海事大学、大连理工大学物理教研室的同仁共同编写的。编写分工为:力学由大连理工大学陈力、张殿凤编写;热物理学基础由大连理工大学宋丽彦、孟祥君编写;电磁学由大连理工大学王雪莹、李淑凤、李雪春编写;振动和波动由大连轻

工学院王致玉、王永良、詹卫伸编写；光学由大连海事大学黄德康编写；近代物理学基础由大连理工大学余虹、郑殊、马春利编写。本书主审为大连理工大学陈印椿教授，他对本书编写提出了很多宝贵建议。最后的审定、统稿是陈印椿、陈力负责完成的。

在本书的编写过程中，大连理工大学物理教研室的孙盛新、杨松林、曲延文、崔善庆诸教授曾给予大力支持。在此，表示衷心感谢。

我们在编写本书时参考了清华大学、北京工业大学等兄弟院校编写的相关书籍，因参考书籍很多就不一一列举了。在此，一并表示深深的谢意。

由于时间仓促、水平有限，不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

主 编

1997 年 9 月

目 录

前 言

第一章 质点和质点系力学	1
一、基本要求	1
二、内容提要	1
三、问题讨论	8
四、解题指导	17
五、自测试题	33
六、习题课设计	40
第二章 刚体的转动	49
一、基本要求	49
二、内容提要	49
三、问题讨论	51
四、解题指导	54
五、自测试题	61
六、习题课设计	65
第三章 热力学第一定律 热力学第二定律	72
一、基本要求	72
二、内容提要	72
三、问题讨论	77
四、解题指导	81
五、自测试题	87

六、习题课设计	91
第四章 气体动理学理论基础	97
一、基本要求	97
二、内容提要	97
三、问题讨论	101
四、解题指导	106
五、自测试题	116
六、习题课设计	118
第五章 静电场和稳恒电场	124
一、基本要求	124
二、内容提要	124
三、问题讨论	135
四、解题指导	140
五、自测试题	157
六、习题课设计	163
第六章 稳恒磁场	171
一、基本要求	171
二、内容提要	171
三、问题讨论	176
四、解题指导	182
五、自测试题	199
第七章 电磁场	205
一、基本要求	205
二、内容提要	205
三、问题讨论	208
四、解题指导	212
五、自测试题	232
六、习题课设计	237
第八章 振动	245

一、基本要求	245
二、内容提要	245
三、问题讨论	250
四、解题指导	254
五、自测试题	267
六、习题课设计	272
第九章 机械波和电磁波	280
一、基本要求	280
二、内容提要	280
三、问题讨论	286
四、解题指导	292
五、自测试题	303
六、习题课设计	310
第十章 光的干涉	322
一、基本要求	322
二、内容提要	322
三、问题讨论	328
四、解题指导	331
五、自测试题	336
六、习题课设计	338
第十一章 光的衍射、光的偏振	343
一、基本要求	343
二、内容提要	343
三、问题讨论	351
四、解题指导	356
五、自测试题	364
六、习题课设计	366
第十二章 狭义相对论基础	375
一、基本要求	375

二、内容提要	375
三、问题讨论	380
四、解题指导	388
五、自测试题	395
六、习题课设计	396
第十三章 量子力学基础	402
一、基本要求	402
二、内容提要	402
三、问题讨论	409
四、解题指导	413
五、自测试题	422
六、习题课设计	425
第十四章 固体和激光	430
一、基本要求	430
二、内容提要	430
三、问题讨论	434
四、解题指导	436
附录	439
附录一 物理常数表	439
附录二 国际单位制(SI)	441

第一章 质点和质点系力学

一、基本要求

教学基本要求分为三级:掌握、理解、了解。

1. 理解质点模型和参考系、惯性系等概念。
2. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度等描述质点运动和运动变化的物理量。

能借助于直角坐标系熟练地计算质点在平面内运动时的速度和加速度,能熟练计算质点作圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度。

3. 掌握牛顿三定律及其适用条件。
4. 掌握功的概念。能熟练地计算直线运动情况下变力的功,掌握保守力做功特点及势能的概念,会计算势能。
5. 掌握质点的动能定理和动量定理。能用它们分析、解决质点在平面内运动时的简单力学问题。

掌握机械能守恒定律、动量守恒定律及它们的适用条件。掌握运用守恒定律分析问题的思路和方法。能分析简单系统在平面内运动的力学问题。

6. 理解动量矩(角动量)概念,通过质点在平面内运动理解动量矩守恒定律及其适用条件。能应用该定律分析、计算有关问题。

7. 理解牛顿力学的相对性原理,理解伽里略坐标、速度变换。能分析与平动有关的相对运动问题。

二、内容提要

1. 位置矢量、位移、路程

质点作机械运动时,为了确定质点在空间的位置,需要引入位置矢量,在直角坐标中位置矢量和坐标的关系是

$$\mathbf{r} = xi + yj + zk$$

质点运动时,其位置随时间变化,位置矢量是时间的函数,即

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

上式叫做质点的运动函数,一般称为质点的运动学方程。

质点在 t_1 时刻的位置矢量为 $\mathbf{r}_1$, t_2 时刻的位置矢量为 $\mathbf{r}_2$,在 $t_2 - t_1$ 这段时间内质点的位移定义为

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}$$

位移和路程是两个不同的概念。

2. 速度

为了描写质点运动的快慢程度以及运动的方向,需要引进速度矢量,即

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

在直角坐标中,速度的三个分量分别为

$$v_x = \frac{dx}{dt} \quad v_y = \frac{dy}{dt} \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

速度的大小叫速率,速度 $\mathbf{v} = \frac{dS}{dt}$,它是路程对时间的导数。

在自然坐标中,速度亦可作如下表示

$$\mathbf{v} = \frac{dS}{dt} \boldsymbol{\tau}$$

$\boldsymbol{\tau}$ 表示质点运动轨迹上切线方向的单位矢量,用它表示速度的方向。

3. 加速度

为了描写速度变化的快慢程度,需要引进加速度。其定义为

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k}$$

在直角坐标系中,加速度的三个分量分别为

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$$

$$a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}$$

在自然坐标中,加速度可分解为切向加速度和法向加速度,即

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n$$

切向加速度 $\mathbf{a}_t = \frac{dv}{dt} \boldsymbol{\tau}$, 它的大小与速率随时间的变化有关; 而法向加速度 $\mathbf{a}_n = \frac{v^2}{\rho} \mathbf{n}$, ρ 为轨迹曲线在该处的曲率半径, $\mathbf{n}$ 表示该处指向曲率中心的单位矢量。速度的方向发生变化时产生法向加速度。

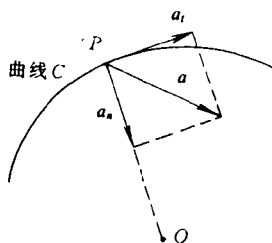


图 1-2-1

4. 质点作圆周运动

此时可引进角位移 $\Delta\theta$, 角速度 ω 、角加速度 α , 描述质点的运动, 角速度的定义为

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

角加速度的定义为

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

速率和角速度的关系为

$$v = R\omega$$

R 为圆轨道的半径, 此时质点的切向加速度 $a_t = \frac{dv}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\alpha$, 当质点作匀速率圆周运动时, 因 $\omega = \text{常数}$, 切向加速度为零, 而法向加速度 $a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$, 也叫向心加速度。

5. 相对运动

当直角坐标系 K' 相对坐标系 K 平动时, 在 K 和 K' 系中所描写

的运动质点的位置矢量、速度、加速度有以下关系：

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{R}(t) + \mathbf{r}'(t)$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{v}'$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}'$$

$\mathbf{R}(t)$ 表示 t 时刻 K' 系坐标原点 O' 对 K 系的位置矢量, $\mathbf{v}_0, \mathbf{a}_0$ 表示 O' 相对于 K 系的速度和加速度, 也叫牵连速度和牵连加速度。

6. 牛顿运动定律

牛顿运动定律 牛顿三定律是大量实验事实的总结, 不是理论推导的结果。第一、第二定律是各自独立的定律, 不能认为第一定律是第二定律的推论。

惯性参考系 适用牛顿定律的参考系叫惯性参考系。相对于惯性系作匀速直线运动的另一参考系也是惯性系。相对于惯性系作加速运动的参考系, 则是非惯性系。

惯性力 为了在非惯性参考系中, 也能应用牛顿定律, 要在运动质点上加惯性力、惯性力不是物体间的相互作用力。

设参考系 K' 相对惯性系 K 作加速平动, 加速度为 $\mathbf{a}_0$, 则惯性力 $\mathbf{f} = -m\mathbf{a}_0$ (m 为质点的质量), 在 K' 系中质点的运动规律可以表示为

$$\mathbf{F} + (-m\mathbf{a}_0) = m\mathbf{a}'$$

上式中 $\mathbf{a}'$ 是质点相对 K' 系的加速度, $\mathbf{F}$ 是质点受到其他物体所给予的合外力。

如果 K' 系相对惯性系 K 作匀速转动, 质点相对于非惯性系 K' 是静止的, 则在质点上加一个惯性离心力 $\mathbf{f} = -m\mathbf{a}_*$, $\mathbf{a}_*$ 是 K' 系相对于 K 系的转动加速度。质点在 K' 系中的动力学规律为

$$\mathbf{F} + (-m\mathbf{a}_*) = 0$$

$\mathbf{F}$ 是质点受到的合外力, 牵连加速度的大小 $a_* = R\omega^2$, R 为质点相对于转轴的距离, ω 为 K' 系相对于 K 系的转动角速度。

7. 动量定理、动量守恒定律

质点的动量定理 在惯性系中, 质点动量的时间变化率等于质点所受的力, 即

$$\mathbf{F} = \frac{d}{dt}(m \mathbf{v}) \quad (\text{微分形式})$$

在 $t \rightarrow t'$ 一段时间内质点动量的增量等于该时间内质点所受力的冲量,即

$$\int_t^{t'} \mathbf{F}(t) dt = m \mathbf{v}' - m \mathbf{v} \quad (\text{积分形式})$$

质点系的动量定理 质点系动量的时间变化率等于它所受外力的矢量和,即

$$\sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i = \frac{d}{dt} \left(\sum_{i=1}^n m_i \mathbf{v}_i \right) \quad (\text{微分形式})$$

在 $t \rightarrow t'$ 一段时间内,质点系动量的增量等于它所受外力的冲量,即

$$\int_t^{t'} \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i dt = \sum_{i=1}^n m_i \mathbf{v}'_i - \sum_{i=1}^n m_i \mathbf{v}_i \quad (\text{积分形式})$$

由上可见,质点系动量的变化只受外力影响,与内力无关。值得注意的是在非惯性系中运用动量定理时,要考虑由惯性力引起的动量变化。

动量守恒定律 如果质点系所受合外力恒等于零,则质点系的动量不会改变;如果合外力在某一方向的分量恒为零,则其动量在该方向的分量不会改变。孤立系统不受外界作用,系统的动量保持不变。

8. 动量矩定理、动量矩守恒定律

力矩 物体受力 $\mathbf{F}$ 作用,力的作用点为 P , $\mathbf{r}$ 是 P 点对某固定点 O 的位置矢量,矢积 $\mathbf{r} \times \mathbf{F}$ 称为力 $\mathbf{F}$ 对 O 点的力矩,用符号 $\mathbf{M}$ 表示,即

$$\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

力矩 $\mathbf{M}$ 是矢量。在直角坐标系中,如果取 O 点为坐标原点,则 $\mathbf{M}$ 的 3 个分量分别是:

$$M_x = yF_z - zF_y$$

$$M_y = zF_x - xF_z$$

$$M_z = xF_y - yF_x$$

力矩沿某个轴的分量又称力对该轴的力矩。与某轴平行的分力对该

轴的力矩没有贡献。

动量矩(角动量) 设质点通过 P 点时的动量为 $m\mathbf{v}$, $\mathbf{r}$ 是 P 点相对某固定点 O 的位置矢量, 矢积 $\mathbf{r} \times m\mathbf{v}$ 称为质点对 O 点的动量矩, 用符号 L 表示, 即

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$$

动量矩也是矢量。在直角坐标中, 它的 3 个分量为

$$L_x = ymv_z - zmv_y$$

$$L_y = zmv_x - xmv_z$$

$$L_z = xmv_y - ymv_x$$

质点的动量矩定理 相对于惯性系, 质点所受的合力对某一定点的力矩等于质点对同一定点的动量矩的时间变化率, 即

$$\mathbf{M} = \frac{d\mathbf{L}}{dt} \quad (\text{微分形式})$$

质点系的动量矩定理 质点系动量矩的时间变化率等于它所受的外力矩。即

$$\sum_{i=1}^n \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_i = \frac{d}{dt} \left(\sum_{i=1}^n \mathbf{r}_i \times m_i \mathbf{v}_i \right)$$

或写成

$$\mathbf{M}_{\text{外}} = \frac{d\mathbf{L}}{dt}$$

因为质点系的内力矩之和为零, 它对质点系总动量矩的变化没有影响。

动量矩守恒定律 如果外力对某定点的力矩恒为零, 则质点系对该定点的动量矩不会改变。孤立系统不受外界作用, 故它对任一定点的动量矩保持不变。

9. 功、动能定理

变力的功 质点沿某一路径 c 从 a 点运动到 b 点, 力 $\mathbf{F}$ 对质点所做的功为

$$A = \int_{a \rightarrow b}^{(c)} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$$

如果力 $\mathbf{F}$ 做功与路径无关, 这种力称为保守力。重力、万有引力、弹性力都是保守力。用数学式表达保守力的特点, 即

$$\oint_{(c)} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = 0$$

质点的动能定理 相对于惯性系, 合力对质点所做的功等于质点动能的增量, 即

$$A = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

质点系的动能定理 外力和内力做的功之总和等于质点系动能的增量, 即

$$A_{\text{外}} + A_{\text{内}} = \Delta E_K$$

$$\text{质点系的动能 } E_K = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i v_i^2$$

在质点系内, 虽然内力成对出现, 但其做功的总和不一定为零, 对质点系动能的变化可能是有影响的。

10. 保守质点系的功能原理、机械能守恒定律

势能 内力为保守力的质点系称为保守质点系。因保守力做功与路径无关, 只和质点系的初、末位形相关, 由此可引进势能的概念。定义保守质点系处于位形 I 的势能为当它从位形 I 到标准位形 I_0 时内力所做的功, 即

$$E_P(I) = A_{\text{内}}(I \rightarrow I_0)$$

标准位形的势能选为零。

质点与地球作为质点系, 取质点处在地面上的状态为标准位形, 则质点离地面高度为 h 时的重力势能为

$$E_P = mgh$$

相互吸引的两个质点作为一个质点系, 取两质点无限远离的状态为标准位形, 则两质点相距为 r 时的引力势能为

$$E_P = -G \frac{Mm}{r} \quad (G \text{ 为万有引力常数})$$

弹性变形体没有一般意义下的形变势能。在准静态变形过程中可引进表观势能。对一根轻弹簧来说,当它作等温均匀变形时,取未变形时的势能为零,则伸长量为 x 时,弹簧的表观势能为

$$E_P = \frac{1}{2} k x^2$$

k 为弹簧的劲度系数。

保守质点系从位形 I 变到位形 II 时,保守内力做的功等于质点系势能的减量,即

$$A_{\text{保守}} = E_P(\text{I}) - E_P(\text{II})$$

保守质点系的功能原理 外力对保守质点系所做的功等于其机械能的增量,即

$$A_{\text{外}} = \Delta(E_K + E_P)$$

机械能守恒定律 孤立的保守质点系,与外界无相互作用,其机械能保持不变。换句话说,对于一个保守质点系,在运动和变化过程中,只有保守内力对它做功,系统的机械能守恒。

三、问题讨论

1. 回答下列问题

- (1) 位移和路程有何区别?
- (2) 瞬时速度和瞬时速率有何区别?
- (3) 瞬时速度和平均速度的区别和联系是什么?

(4) 有人说:“平均速率等于平均速度的模”,又有人说: $\left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{dr}{dt}$, 试论述两种说法是否正确?

答 (1) 如图 1-3-1 所示,质点从 P_1 运动到 P_2 时,路程为 $\widehat{P_1 P_2}$, 位移为 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$, 两者显然不同,位移是一个矢量,路程是一个标量。只有质点作直线运动而且速度方向不变时,位移的大小才等于路