

大学物理学习指导

陈 力/主编 黄德康 王致玉/副主编 陈印椿/主审

(第三版)



大连理工大学出版社

大学物理学习指导

(第三版)

主 编 陈 力

副主编 黄德康 王致玉

主 审 陈印椿

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/陈力主编.—3版.—大连:大连理工大学出版社,2002.5

ISBN 7-5611-1311-0

I. 大… II. 陈… III. 物理学-高等学校-教学参考资料 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 028222 号

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:0411-4701466
E-mail:dlutp@mail.dlptt.ln.cn
URL: <http://www.dutp.com.cn>
大连理工印刷有限公司印刷

开本:850 毫米×1168 毫米 1/32 字数:456 千字 印张:11.375
印数:30001—36000 册
1998 年 1 月第 1 版 2002 年 5 月第 3 版
2002 年 5 月第 6 次印刷

责任编辑:刘新彦 责任校对:王 董
封面设计:王福刚

定价:15.00 元

第三版前言

本书自出版以来,受到广大读者的一致欢迎,考虑到本书的读者绝大部分还是在校大学生,而不是物理教师,所以这次修订时,把原书中每章的习题课设计部分删除了,把这部分较好的讨论题和例题移到别的段落中,便于读者更系统地阅读。这也是更改书名的原因之一。另外也删除了少量较难的例题,便于读者掌握一些更基本的规律。

再版时间紧迫来不及征求其他编委的意见,修改工作是由我一人完成的,因而缺点、疏漏在所难免。欢迎广大读者批评指正,并对本书进一步修订提出宝贵意见。

主 编

2002年5月

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14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

第 1 章 质点和质点系力学	1
基本要求	1
内容提要	1
重点解疑	7
典型例题	14
同步自测	25
同步自测参考答案	29
第 2 章 刚体的转动	33
基本要求	33
内容提要	33
重点解疑	35
典型例题	37
同步自测	45
同步自测参考答案	47
第 3 章 热力学第一定律 热力学第二定律	49
基本要求	49
内容提要	49
重点解疑	53
典型例题	57
同步自测	63
同步自测参考答案	66
第 4 章 气体动理学理论基础	67
基本要求	67

内容提要	67
重点解疑	70
典型例题	75
同步自测	85
同步自测参考答案	87
第5章 静电场和稳恒电场	88
基本要求	88
内容提要	88
重点解疑	98
典型例题	102
同步自测	120
同步自测参考答案	124
第6章 稳恒磁场	127
基本要求	127
内容提要	127
重点解疑	132
典型例题	138
同步自测	153
同步自测参考答案	157
第7章 电磁场	159
基本要求	159
内容提要	159
重点解疑	162
典型例题	166
同步自测	184
同步自测参考答案	188
第8章 振动	189
基本要求	189

内容提要	189
重点解疑	194
典型例题	199
同步自测	211
同步自测参考答案	215
第 9 章 机械波和电磁波	216
基本要求	216
内容提要	216
重点解疑	221
典型例题	226
同步自测	241
同步自测参考答案	247
第 10 章 光的干涉	248
基本要求	248
内容提要	248
重点解疑	254
典型例题	257
同步自测	262
同步自测参考答案	264
第 11 章 光的衍射、光的偏振	265
基本要求	265
内容提要	265
重点解疑	273
典型例题	280
同步自测	289
同步自测参考答案	291
第 12 章 狭义相对论基础	292
基本要求	292

内容提要	189
重点解疑	194
典型例题	199
同步自测	211
同步自测参考答案	215
第9章 机械波和电磁波	216
基本要求	216
内容提要	216
重点解疑	221
典型例题	226
同步自测	241
同步自测参考答案	247
第10章 光的干涉	248
基本要求	248
内容提要	248
重点解疑	254
典型例题	257
同步自测	262
同步自测参考答案	264
第11章 光的衍射、光的偏振	265
基本要求	265
内容提要	265
重点解疑	273
典型例题	280
同步自测	289
同步自测参考答案	291
第12章 狭义相对论基础	292
基本要求	292

第1章 质点和质点系力学

● 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。

● 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

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

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

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

速度的大小叫速率,速度 $v = \frac{dS}{dt}$, 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(如图1-1),即

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

切向加速度 $\boldsymbol{a}_t = \frac{dv}{dt} \boldsymbol{\tau}$, 它的大小与速率随时间的

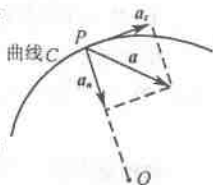


图1-1

变化有关;而法向加速度 $\boldsymbol{a}_n = \frac{v^2}{\rho} \boldsymbol{n}$, ρ 为轨迹曲线在该处的曲率半径, $\boldsymbol{n}$ 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。

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 $\boldsymbol{a}_t = \frac{dv}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\alpha$, 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 $\boldsymbol{a}_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$, 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:

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

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

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

$\boldsymbol{R}(t)$ 表示 t 时刻 K' 系坐标原点 O' 对 K 系的位置矢量, $\boldsymbol{v}_0$ 、 $\boldsymbol{a}_0$ 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 a_0 ,则惯性力 $f = -ma_0$ (m 为质点的质量),在 K' 系中质点的运动规律可以表示为

$$F + (-ma_0) = ma'$$

式中: a' 是质点相对 K' 系的加速度, 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 $f = -ma_{\text{向}}$, $a_{\text{向}}$ 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

$$F + (-ma_{\text{向}}) = 0$$

F 是质点受到的合外力,牵连加速度的大小 $a_{\text{向}} = R\omega^2$, 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

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

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

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

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

$$\sum_{i=1}^n F_i = \frac{d}{dt} \left(\sum_{i=1}^n m_i v_i \right) \quad (\text{微分形式})$$

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

$$\int_t^{t'} \sum_{i=1}^n F_i dt = \sum_{i=1}^n m_i v_i' - \sum_{i=1}^n m_i v_i \quad (\text{积分形式})$$

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

$$M = r \times F$$

力矩 M 是矢量。在直角坐标系中, 如果取 O 点为坐标原点, 则 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 mv , r 是 P 点相对某固定点 O 的位置矢量, 矢积 $r \times mv$ 称为质点对 O 点的动量矩, 用符号 L 表示, 即

$$L = r \times mv$$

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

$$M = \frac{dL}{dt} \quad (\text{微分形式})$$

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

$$M_{\text{外}} = \frac{dL}{dt}$$

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 F 对质点所做的功为

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

如果力 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

$$A = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

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

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

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,取末变形时的势能为零,则伸长量为 x 时,弹簧的表观势能为

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2$$

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

$$A_{\text{保守}} = E_p(I) - E_p(II)$$

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。

● 重点解疑 ●

1. 回答下列问题

(1) 位移和路程有何区别?