



大学物理学学习指导

主编 孙厚谦

清华大学出版社

大学物理学学习指导

主 编 孙厚谦
编 者 刘雨龙 俞晓明 史友进
郝玉华 成海英 曹玉娟

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是与《大学物理学》上、下册教材配套的学习参考书,全书按主教材篇章次序分为:力学(包括相对论)、电磁学、热学、振动与波动(包括机械振动、机械波、几何光学和波动光学)、量子物理和新技术五部分共16章。第1章~第12章,第14章,第15章由“基本要求”、“学习指导”、“问题解答”三部分组成,并附有自测题与参考解答,供学习者对学习效果进行自我检测;第13章由“基本要求”、“学习指导”、“问题解答”三部分组成,此外还给出了第16章的问题解答。本书可作为高等学校非物理专业学生的辅导书或自学参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学学习指导 / 孙厚谦主编. —北京:清华大学出版社, 2009.4
ISBN 978-7-302-19600-6

I. 大… II. 孙… III. 物理学—高等学校—教学参考资料 IV. O4
中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第020731号

责任编辑:朱红莲

责任校对:王淑云

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19.75

字 数:477千字

版 次:2009年4月第1版

印 次:2009年4月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:32.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:032538-01



前言

为了帮助读者更好地掌握教材的主要内容,我们编写了这本辅助教材作为学习指导。

本书按教材篇章次序,分为16章,第1章~第12章、第14章、第15章由“基本要求”、“学习指导”、“问题解答”三部分组成,并附有自测题。书后有参考解答;第13章由“基本要求”、“学习指导”、“问题解答”三部分组成;此外还给出了第16章的问题解答。

基本要求。向读者指明该章必须掌握的主要内容,反映了该章的重点,可以成为读者判断该章内容的主与次、重点与一般的依据。

学习指导。分“内容提要”与“重点难点提示”。“内容提要”列出了本章的基本内容,有的地方进行了归纳、对比。“重点难点提示”主要归纳本章的基本原理在解决具体问题时的应用。

问题解答。在主教材中,在一个主要知识点或基本计算方法讲授后,从把握物理思想、理解基本公式、对典型问题举一反三、知识的综合应用与引申等角度,设计了一些问题。本部分对这些问题进行了比较详细的分析与解答。认真阅读与理解这些解答,有助于深入地掌握本课程的内容。

自测题内容由浅入深,难度适宜,供读者自行检测学习效果。

本书不满足于对教材进行简单的提炼和总结,而是力求将老师们多年的教学经验和体会,尽可能地融入其中。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

本书由盐城工学院教材基金资助出版。

编者
2009年1月



目 录

第一篇 力 学

第 1 章 运动学	3
1.1 基本要求	3
1.2 学习指导	3
1.3 问题解答	8
自测题 1	13
自测题 2	16
第 2 章 牛顿运动定律 刚体定轴转动定律	19
2.1 基本要求	19
2.2 学习指导	19
2.3 问题解答	22
自测题 3	25
第 3 章 动量 角动量	29
3.1 基本要求	29
3.2 学习指导	29
3.3 问题解答	32
自测题 4	36
第 4 章 功和能	41
4.1 基本要求	41
4.2 学习指导	41
4.3 问题解答	44
自测题 5	48
自测题 6	51
第 5 章 狭义相对论基础	55
5.1 基本要求	55

5.2 学习指导	55
5.3 问题解答	58
自测题 7	60

第二篇 电 磁 学

第 6 章 静电场	65
6.1 基本要求	65
6.2 学习指导	65
6.3 问题解答	72
自测题 8	81
自测题 9	85
第 7 章 稳恒磁场	91
7.1 基本要求	91
7.2 学习指导	91
7.3 问题解答	96
自测题 10	102
自测题 11	105
第 8 章 电磁感应	109
8.1 基本要求	109
8.2 学习指导	109
8.3 问题解答	114
自测题 12	120
自测题 13	123

第三篇 热 学

第 9 章 气体分子动理论	131
9.1 基本要求	131
9.2 学习指导	131
9.3 问题解答	134
自测题 14	138
第 10 章 热力学基础	142
10.1 基本要求	142
10.2 学习指导	142

10.3 问题解答	147
自测题 15	151
自测题 16	155

第四篇 振动与波动

第 11 章 机械振动	161
11.1 基本要求	161
11.2 学习指导	161
11.3 问题解答	165
自测题 17	174
自测题 18	177
第 12 章 机械波	180
12.1 基本要求	180
12.2 学习指导	180
12.3 问题解答	186
自测题 19	193
自测题 20	196
第 13 章 几何光学简介	199
13.1 基本要求	199
13.2 学习指导	199
13.3 问题解答	202
第 14 章 波动光学	206
14.1 基本要求	206
14.2 学习指导	206
14.3 问题解答	215
自测题 21	224
自测题 22	230
自测题 23	232

第五篇 量子物理与新技术

第 15 章 量子物理基础	237
15.1 基本要求	237
15.2 学习指导	237

15.3 问题解答.....	244
自测题 24	250
自测题 25	252
第 16 章 新技术的物理基础	255
16.1 问题解答.....	255
自测题参考解答.....	259
参考书目.....	306

第一篇

力学

运 动 学

1.1 基本要求

1. 深刻理解描述质点运动及运动变化的基本物理量：位置矢量 r 、位移 Δr 、速度 v 和加速度 a 等，掌握它们的矢量定义；理解速度、加速度的瞬时性；掌握它们在直角坐标系中、自然坐标系中的表示；掌握质点作圆周运动时的角量描述以及角量与线量之间的关系。
2. 理解运动方程的概念，熟练掌握用微积分的方法处理质点运动学的两类基本问题。
3. 掌握刚体定轴转动的描述方法。
4. 了解相对运动、相对速度。

1.2 学习指导

一、内容提要

1. 参照系 坐标系 质点

为描述一个物体的运动，必须选择另一物体或一组彼此相对静止的物体作参照。被选作参照的物体称为参照系。为了把运动物体相对于参照系的位置定量表示出来，需要在参照系上建立适当的坐标系。坐标系是数学化、量化的参照系。

物体的大小和形状在所研究的问题中不起作用或作用不显著可以忽略不计时，可以把该物体看作一个具有质量而没有大小和形状的理想物体，称作质点。

2. 位矢、位移、速度和加速度的矢量表示(定义)

(1) 位置矢量(位矢) r 。在参照系中任选一固定点 O ，从点 O 向质点 P 引一有向线段 OP ，记作矢量 r ，称 r 为质点的位置矢量，简称位矢。

运动方程。质点运动时，位置随时间的变化关系 $r=r(t)$ 即为运动方程。

(2) 位移 Δr 。由质点起始位置指向终止位置的有向线段，即位矢的增量

$$\Delta r = r_2 - r_1$$

路程 Δs 是与位移相联系的一个物理量,它表示质点在某一运动过程中在空间所经历的轨迹的长度。

(3) 速度 \boldsymbol{v} 。它是描述质点运动快慢和方向的物理量

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}$$

方向为质点所在处轨道切线方向并指向质点前进的一侧。

速率 v 是与速度相联系的一个物理量:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

速率 v 等于速度的大小

$$v = \left| \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right|$$

(4) 加速度 \boldsymbol{a} 。它是描述质点速度变化的物理量

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

3. 位矢、位移、速度和加速度的直角坐标表示

(1) 位矢

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

大小

$$r = |\boldsymbol{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

运动方程

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

或

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t)$$

上式也为轨迹的参数方程,消去时间 t , 可得到质点的轨迹方程为

$$f_1(x, y, z) = 0, \quad f_2(x, y, z) = 0$$

(2) 位移

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

(3) 速度

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt}\boldsymbol{k} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k}$$

大小(速率)为

$$v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \frac{ds}{dt}$$

(4) 加速度

$$\boldsymbol{a} = \frac{dv_x}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dv_y}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dv_z}{dt}\boldsymbol{k} = \frac{d^2x}{dt^2}\boldsymbol{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\boldsymbol{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\boldsymbol{k} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} + a_z\boldsymbol{k}$$

大小为

$$a = |\boldsymbol{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

(5) 直线运动

① 运动方程

$$x = x(t)$$

② 速度

$$v = \frac{dx}{dt}$$

③ 加速度

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

在直线运动中,各量的方向通过正负号来反映。

4. 自然坐标系中的速度和加速度

(1) 自然坐标系。某一点的切向坐标轴通过该点沿轨迹的切线方向并指向质点前进的一侧,该方向单位矢量用 e_t 表示;法向坐标轴通过该点沿轨迹的法线方向并指向曲线的凹侧,该方向单位矢量用 e_n 表示。

(2) 速度

$$v = ve_t = \frac{ds}{dt}e_t$$

(3) 加速度

$$a = a_t + a_n = a_t e_t + a_n e_n = \frac{dv}{dt}e_t + \frac{v^2}{\rho}e_n$$

加速度的大小

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\rho}\right)^2}$$

方向用 a 与 e_t 夹角来表示

$$\tan \theta = \frac{a_n}{a_t}$$

如果是圆周运动,式中的曲率半径则为圆的半径,是常数。

5. 圆周运动的角量表示

(1) 角坐标

$$\theta$$

(2) 角速度

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

(3) 角加速度

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

(4) 角量与线量的关系

$$v = R\omega$$

$$a_t = R\alpha, \quad a_n = v\omega = R\omega^2$$

6. 运动学的两类基本问题

(1) 根据质点的运动方程,用求导数的方法,求出质点的速度和加速度。在这类问题中,运动方程有时是直接给出的;有时需要先根据题意,选择合适的坐标系,建立运动方程,然后进行有关计算。

(2) 已知加速度函数及初始条件($t=0$ 时质点的位置、速度),或已知速度函数和初始条件($t=0$ 时质点的位置),求质点的运动方程。这类问题主要应用积分的方法加以求解。

7. 相对运动

设有两个参照系,一个为 K 系(即 Oxy 坐标系),另一个为 K' 系(即 $O'x'y'$ 坐标系)。 K' 系沿 Ox 轴以速度 u 相对 K 系运动。开始时(即 $t=0$)这两个参照系相重合,两坐标系间的位移、速度关系为

$$\begin{aligned}\Delta r &= \Delta r' + u\Delta t \\ v &= v' + u\end{aligned}$$

8. 质心 C

它是与质点系质量分布有关的一个代表点,其位置在平均意义上代表着质量分布的中心。不管质点系所受外力如何分布,质心的运动就像是把质点系的全部质量集中于质心,所有外力的矢量和也作用于质心的一个质点的运动。

质心坐标

$$r_c = \frac{\sum m_i r_i}{m}$$

或

$$x_c = \frac{\sum m_i x_i}{m}, \quad y_c = \frac{\sum m_i y_i}{m}, \quad z_c = \frac{\sum m_i z_i}{m}$$

式中 $m = \sum m_i$ 为系统的总质量。如果质量连续分布,求质心时应将求和改为积分。

9. 刚体定轴转动的描述

(1) 刚体。在外力作用下,形状和大小均保持不变的物体。

(2) 刚体的定轴转动。刚体上所有的质点都绕一固定不动的直线(转轴)作圆周运动。

(3) 刚体的定轴转动方程。定义垂直于转轴的平面为转动平面。任意选取一个转动平面,以转轴与转动平面的交点 O 为原点,过点 O 在转动平面内作一射线为参考方向(Ox 轴),这样刚体的方位可由原点 O 到转动平面上任一点 P 的位矢 r 与 Ox 的夹角 θ 来确定, θ 称为刚体定轴转动的角坐标。角坐标随时间变化的函数式

$$\theta = \theta(t)$$

为刚体定轴转动的转动方程。这样就可以用描述圆周运动的方法来描述刚体的定轴转动。

二、重点难点提示

质点运动学的基本问题主要有两类,在教材 1.4 节中以直线运动为例已作了详细的讨论,并在该节和第 1 章的其他部分给出了较多的例题,本章的大部分习题也是针对这两类问题的。其基本精神就是运用微积分求解物理问题。掌握好这方面的方法,对于研究力学、机械振动和机械波、电磁场等有至关重要的意义。下面我们以直线运动为例更详细地介绍解决第二类基本问题的一般程序。

1. 已知加速度 $a=a(t)$ 和初始条件 $t=0$ 时的 v_0, x_0 , 则由

$$a = \frac{dv}{dt}, \quad dv = a dt$$

有

$$\int_{v_0}^v dv = \int_0^t a(t) dt$$

得

$$v(t) = v_0 + \int_0^t a(t) dt$$

又由

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad dx = v dt$$

有

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t v(t) dt$$

得

$$x(t) = x_0 + \int_0^t v(t) dt$$

如教材例 1-8, 习题 1-12 等。

2. 已知加速度是时间 t 的隐函数和初始条件 $t=0$ 时的 v_0, x_0

(1) 已知加速度 $a=a(v)$, 根据需要可以有两种不同的分离变量的方法。

① 由

$$a(v) = \frac{dv}{dt}, \quad dt = \frac{dv}{a(v)}$$

有

$$\int_0^t dt = \int_{v_0}^v \frac{dv}{a(v)}$$

可求得 $v(t)$ 。如果可以解出速度作为时间 t 的显函数, 则可求出 $x(t)$, 如教材例 1-9, 习题 1-14。

② 由

$$a(v) = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx}, \quad dx = \frac{v dv}{a(v)}$$

有

$$\int_{x_0}^x dx = \int_{v_0}^v \frac{v dv}{a(v)}$$

可求得 $x(v)$ 。如果可以解出速度作为坐标 x 的显函数,则可求出 $x(t)$,如教材中例 1-10。

(2) 已知加速度 $a=a(x)$ 和 $t=0$ 时的 v_0, x_0 , 由

$$a(x) = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx}, \quad v dv = a(x) dx$$

有

$$\int_{v_0}^v v dv = \int_{x_0}^x a(x) dx$$

可求得 $v(x)$ 。再由

$$v(x) = \frac{dx}{dt}, \quad dt = \frac{dx}{v(x)}$$

有

$$\int_0^t dt = \int_{x_0}^x \frac{dx}{v(x)}$$

可求得 x 与 t 的函数关系,如教材例 1-11,习题 1-15。

上述方法可以推广到(1)质点的二维、三维运动;(2)质点的圆周运动;(3)刚体的定轴转动。

对于矢量性质的物理量的计算结果的表示形式,作如下说明。

(1) 矢量形式。如二维直角坐标系中

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j}$$

自然坐标系中

$$\mathbf{a} = a_t \mathbf{e}_t + a_n \mathbf{e}_n$$

(2) 分别给出大小和方向。以加速度的表示为例,如二维直角坐标系中,大小

$$a = |\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

与 Ox 轴的夹角

$$\tan \theta = \frac{a_y}{a_x}$$

自然坐标系中,大小

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

方向可以用 \mathbf{a} 与 \mathbf{e}_t (即 \mathbf{v}) 夹角来表示

$$\tan \theta = \frac{a_n}{a_t}$$

如果没有明确要求,结果表示成两种形式中的任一种都可以。如果要求分别给出大小和方向,注意与图示相结合说明方向。

1.3 问题解答

问题 1-1 质点作曲线运动,在时刻 t 质点的位矢为 \mathbf{r} ,速度为 \mathbf{v} ,速率为 v , t 至 $t+\Delta t$ 时间内的位移为 $\Delta \mathbf{r}$,路程为 Δs ,位移的大小的变化量为 Δr (或记为 $\Delta |\mathbf{r}|$),平均速度为 $\bar{\mathbf{v}}$,平均

速率为 \bar{v} 。

(1) 根据题意, 必定有(B)。

(A) $|\Delta r| = \Delta s = \Delta r$

(B) $\Delta s > |\Delta r| \geq \Delta r$, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|dr| = ds \neq dr$

(C) $\Delta s > |\Delta r| \geq \Delta r$, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|dr| = dr \neq ds$

(D) $\Delta s > |\Delta r| \geq \Delta r$, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|dr| = ds = dr$

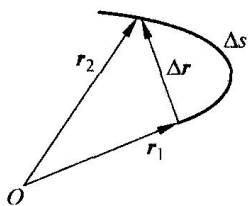
(2) 根据题意, 必定有(C)。

(A) $|v| = v, \quad |\bar{v}| = \bar{v}$

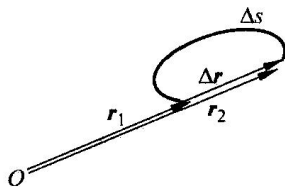
(B) $|v| \neq v, \quad |\bar{v}| \neq \bar{v}$

(C) $|v| = v, \quad |\bar{v}| \neq \bar{v}$

(D) $|v| \neq v, \quad |\bar{v}| = \bar{v}$



问题 1-1 解用图 1



问题 1-1 解用图 2

答 (1) 正确回答该题的关键是明确有关量的定义, 见问题 1-1 解用图 1, $|\Delta r| = |r_2 - r_1|$ 是位矢的增量的模, $\Delta r = |r_2| - |r_1|$ 是位矢的模的增量, Δs 是一段时间内所经历的路程。这三个量都与有限时间间隔相联系。题中讲明质点作曲线运动, $\Delta s > |\Delta r|$ 是显然的。在一般情况下, $|r_1|$ 、 $|r_2|$ 、 $|\Delta r|$ 构成三角形, 那么 $\Delta r = |r_2| - |r_1|$ 是三角形两边之差, 其必然小于第三边 $|\Delta r|$, 而且 Δr 可以小于零。但在特殊情况下, 如质点作单向直线运动, $\Delta s = |\Delta r| = \Delta r$, 但本题讲明质点作曲线运动, 从而排除了这一情况。 $|\Delta r| \geq \Delta r$ 中的等号发生于 r_1 、 r_2 同向且 $|r_2| \geq |r_1|$ (问题 1-1 解用图 2)。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|dr| = ds$ 是光滑曲线 (曲线上每一点处都具有切线, 且切线随切点的移动而连续转动) 的基本性质, 在无穷小时间间隔中, dr 必小于 $|dr|$ 、 ds 。

(2) $|v| = \left| \frac{dr}{dt} \right|$ 代表 v 的大小, $v = \frac{ds}{dt}$ 代表速率, 由速度、速率定义知两者恒相等;

$|\bar{v}| = \left| \frac{\Delta r}{\Delta t} \right|$, $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 由问题 1-1 解用图 1 知对曲线运动必不相等。

问题 1-2 作平面运动的质点在某瞬时位矢为 $r = xi + yj$, 对其速度的大小有 4 种意见:

(1) $\frac{dr}{dt}$; (2) $\frac{dr}{dt}$; (3) $\frac{ds}{dt}$; (4) $\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$ 。下列叙述正确的是(D)。

(A) 只有(1)、(2)正确

(B) 只有(2)正确

(C) 只有(2)、(3)正确

(D) 只有(3)、(4)正确

答 $\frac{dr}{dt}$ 表示位矢的模的变化率。在直角坐标系中, $r = |r| = \sqrt{x^2 + y^2}$, 那么

$$\frac{dr}{dt} = \frac{x \frac{dx}{dt} + y \frac{dy}{dt}}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{v}}{r} = v e_r$$