

# 大学物理学

## 习题讨论课指导

(第2版)

下

沈慧君 王虎珠

清华大学出版社



# 大学物理学

## 习题讨论课指导

(第2版)

下

沈慧君 王虎珠

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书为大学物理习题讨论课教学用书,是根据教育部高等学校物理基础课程教学指导委员会制订的大学物理教学基本要求,集作者数十年大学物理习题讨论课教学实践经验撰写而成。内容分力学(含狭义相对论)、静电学、稳恒电流磁场、热学、振动与波、光学和量子物理共七章。全书共收入各种类型的题目600多道,题题有详解。选题内容覆盖全部大学物理理论课教学要点,具有代表性。

上册各章节有简炼的“内容提要”和明确的“教学要求”。选题类型有围绕课程重点、难点、基本概念的课内讨论题、计算题,还有供读者复习选用的课后练习题。选题难易层次分明,能满足不同程度的教学需要。书后对课后练习题做了解答,可供参考。

下册内容是对上册的课内讨论题、计算题所做的详细解答。全书解题思路清晰、方法简炼,力求启发、引导、一题多解,并对学生多发性错误进行分析,注重培养逻辑思维及综合分析能力。

本书可供各类高校物理课师生使用,还可作为大学非物理专业、电大及成人自学考试物理课的辅助教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习题讨论课指导.下册/沈慧君,王虎珠编写.---2版.---北京:清华大学出版社,2006.8

ISBN 7-302-13200-3

I. 大… II. ①沈… ②王… III. 物理学—高等学校—习题 IV. O4-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第062707号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 朱红莲

文稿编辑: 赵从锦

印 刷 者: 北京四季青印刷厂

装 订 者: 三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 140×203 印张: 11.125 字数: 289千字

版 次: 2006年8月第2版 2006年8月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-13200-3/O·553

印 数: 1~4000

定 价: 18.00元

# 第 1 版前言

大学物理课是大学理工科的一门重要的基础理论课程。为了适应现代科学技术发展的需要,国内外各大学都在更新教学内容及改革教学方法方面做了不少努力。历年的教学经验证明“物理习题讨论课”这一教学环节对学生明确课程重点,掌握主要概念,基本定理、定律及其灵活运用诸方面,起着举足轻重的作用。然而,目前国内外尚无适用于物理讨论课的教材。为此,我们编写本书,以供物理教师作为教学参考,同时也可供学生作为辅导自学用书。

本书参照工科大学物理基本要求而编写,其选题是在参考了国内外著名教材,经过多次筛选,反复推敲后编辑的。许多综合分析讨论题在知识内容、解题方法及对重要概念的理解、运用方面都具有典型意义。

全书分上、下两册。上册包括大学物理各章节的内容提要、教学要求、讨论题、计算题及课后练习等,共收入选题约 500 个左右。选题具有典型性、综合性,难易层次分明,选题目的明确,便于教师根据学生实际情况和不同教学要求选择使用。同时,还附有全部课后练习题的参考题解及计算题的参考答案供师生们参阅。下册内容是上册课内选题的详细题解。我们编写题解时,努力做到启发、引导、一题多解,并针对学生多发性错误进行分析,以期对培养学生提出问题、分析问题的能力,深入钻研问题及解题能力方面有所裨益,且望有助于教师改进教学方法。

本书初稿曾以讲义形式在清华大学工科物理课中试用,受到

物理教师及学生的欢迎。现经编者修改、补充,重新编写。第2,4,5,6章由沈慧君执笔,第1,3,7章由王虎珠执笔,全书由沈慧君统稿。编写过程中,张三慧教授审阅了全部稿件,逐题进行了校核修改。借此机会向在教学中试用本书初稿的师生们表示衷心的感谢。书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1989年12月于清华园

## 第 2 版前言

大学物理课程对培养有自主创新能力的科技人才起着重要作用。自 20 世纪 80 年代中期以来,大学物理习题讨论课日益受到师生们的关注,它已成为学习大学物理课程不可或缺的重要组成部分。在习题讨论课中,学生通过独立思考、讨论和互相启发,可加深对概念和原理的理解。

《大学物理学习题讨论课指导》上、下册(第 1 版)是 1991 年正式出版的,十几年来前后重印了近二十次,被很多院校采用作为物理课的辅助教材。第 2 版在保持原有体系和特点的基础上,考虑到近年来物理课的发展,做了修改和补充。为了满足不同读者的要求,我们增补了多道新的题目,供大家选用。

本书由沈慧君统稿,在编写过程中,许多老师给予了热情帮助,陈惟蓉、吴念乐教授提供了他们开讨论课使用的题目,林静老师提供了部分新增题目并参加了编写。在此表示诚挚的感谢。

编 者

2006 年 3 月于清华园

# 目 录

<b>第 1 章 力学</b> .....	1
1.1 运动学 .....	1
1.2 牛顿定律.....	14
1.3 功、动能、动量、角动量定理 .....	36
1.4 动量守恒定律、角动量守恒定律、机械能 守恒定律及其综合应用.....	47
1.5 刚体定轴转动.....	61
1.6 狭义相对论运动学.....	73
1.7 狭义相对论动力学.....	93
<b>第 2 章 静电学</b> .....	101
2.1 电场强度 .....	101
2.2 电势 .....	111
2.3 静电场中的导体 .....	121
2.4 静电场中的电介质和电容 .....	133
<b>第 3 章 稳恒电流磁场</b> .....	149
3.1 磁感应强度 $B$ 、毕奥-萨伐尔定律 .....	149
3.2 安培环路定理 .....	159
3.3 磁力 .....	169
3.4 电磁感应 .....	181
3.5 磁介质、自感、互感 .....	198

---

3.6	位移电流、麦克斯韦方程组·····	209
* 3.7	电磁场的相对性·····	217
<b>第4章</b>	<b>热学</b> ·····	222
4.1	气体动理论·····	222
4.2	热力学第一定律·····	237
4.3	热力学第二定律·····	252
<b>第5章</b>	<b>振动与波</b> ·····	268
5.1	简谐振动及其合成·····	268
5.2	机械波的产生与传播·····	284
5.3	波的叠加与干涉·····	294
<b>第6章</b>	<b>光学</b> ·····	305
6.1	光的干涉·····	305
6.2	光的衍射·····	313
6.3	光的偏振·····	327
<b>第7章</b>	<b>量子物理</b> ·····	338



# 第1章 力 学

## 1.1 运 动 学

### 讨论题

1. 选题目的 深入理解质点曲线运动加速度的物理意义。

解 (1) 变化。  $\frac{dv}{dt}$  是质点加速度  $g$  在抛物线轨道上各点切线方向的分量大小, 即切向加速度  $a_t$  的大小 ( $a_t = g \sin \alpha$ ,  $\alpha$  为  $g$  与轨迹法线的夹角)。由于在轨道上不同点  $\alpha$  角不同 (例如: 在起点  $\alpha$  角等于  $\theta$  ( $\theta$  为发射角), 在最高点  $\alpha$  为零, 下落时  $\alpha$  角逐渐变大), 所以切向加速度也随之变化。这也可理解为质点在作抛体运动时其速度大小是非均匀变化的, 所以  $\frac{dv}{dt}$  也变化。但如果将  $\frac{dv}{dt}$  理解为质点运动的加速度  $a$ , 就会得出错误的结论。

(2) 不变。质点作抛体运动时加速度  $\frac{dv}{dt} = g$ , 即等于重力加速度, 为一常矢量。

(3) 变化。法向加速度  $a_n$  是质点加速度在轨道上各点沿法向的分量 ( $a_n = g \cos \alpha$ ), 由于  $\alpha$  角变化, 所以法向加速度大小也是变化的。

(4) 因法向加速度  $a_n = \frac{v^2}{\rho} = g \cos \alpha$ , 故在轨道起点和终点 ( $\alpha = \theta$ )  $a_n$  值最小, 在最高点 ( $\alpha = 0$ )  $a_n = g$  其值最大。而在起点和终点

$v = v_0$ , 值最大, 在最高点  $v = v_0 \cos\theta$ , 值最小。由  $\rho = \frac{v^2}{a_n}$  看出, 在起点和终点曲率半径  $\rho$  值一定最大, 在最高点  $\rho$  值最小。

考虑在起点(或终点)的  $\rho$  值,

$$|a_n| = \frac{v_0^2}{|\rho|} = g \cos\theta$$

则有

$$|\rho| = \frac{v_0^2}{g \cos\theta}$$

2. 选题目的 正确区分速度矢量导数的模与速度矢量模的导数在物理意义上的不同。

解  $\left| \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right| = 0$  即  $|\mathbf{a}| = 0$ , 是加速度为零的运动, 也就是速度大小与方向均不变化的运动——匀速直线运动。

$\frac{d|\mathbf{v}|}{dt} = 0$  表示速度大小不变的运动, 即  $a_t = 0$  的运动, 但速度方向可以变化, 如匀速率圆周运动等。

3. 选题目的 正确区别矢径导数之模与矢径模的导数在物理意义上的不同。

解  $r$  为矢径的模,  $\frac{dr}{dt}$  表示的是质点运动过程矢径大小的变化率, 所以除直线运动外, 它不是质点的速率。  $\frac{d^2r}{dt^2}$  也不是质点的加速度。例如, 质点以坐标原点为圆心作圆周运动时, 质点的速度与加速度均不为零。但由于质点的矢径(即圆的半径)大小不变, 从而  $\frac{dr}{dt} = 0$  及  $\frac{d^2r}{dt^2} = 0$ , 这显然不对。正确的计算方法为后者, 即先求矢径各分量对时间的导数, 再求  $\mathbf{v}$  和  $\mathbf{a}$  的模。只有这样, 才能正确反映速度与加速度的矢量性。

常出现的问题是,虽知道  $\frac{dr}{dt}$  和  $\frac{d^2r}{dt^2}$  不是质点的速度与加速度,但不明确它们和矢量  $\boldsymbol{v}, \boldsymbol{a}$  的关系。

4. 选题目的 正确区分矢量差与矢量模之差在物理意义上的不同。

解  $\Delta \boldsymbol{r}$  是  $\boldsymbol{r}_2$  与  $\boldsymbol{r}_1$  两矢量之差,即  $\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1$ 。而  $\Delta r$  是二矢量长度之差(矢量模之差)即  $\Delta r = |\boldsymbol{r}_2| - |\boldsymbol{r}_1|$ ,如图 1.1(a)所示。同理  $\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1$ ,  $\Delta v = |\boldsymbol{v}_2| - |\boldsymbol{v}_1|$ 。

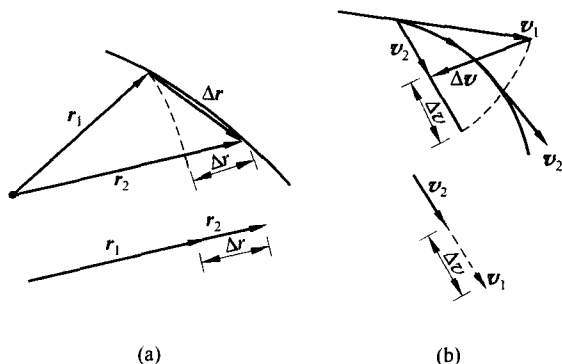


图 1.1

5. 选题目的 正确区分位移矢量模的积分与位移矢量积分的模以及位移矢量模的增量与位移矢量的增量。

解 (1)  $d\boldsymbol{r}$  代表元位移,  $\int_{(A)}^{(B)} d\boldsymbol{r}$  是质点从  $A$  到  $B$  过程中各元位移之和,即该过程中的总位移,所以  $\left| \int_{(A)}^{(B)} d\boldsymbol{r} \right|$  为总位移的模,即总位移的大小。如图 1.2 中直线段  $\overline{AB} = |\boldsymbol{r}_B - \boldsymbol{r}_A|$ 。

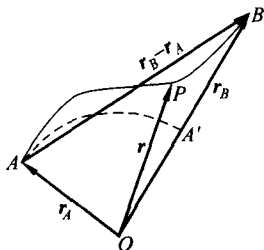


图 1.2

(2)  $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}| = \mathrm{d}s$  表示与元位移相应的路程,  $\int_{(A)}^{(B)} |\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$  是质点从 A 到 B 沿曲线  $\widehat{APB}$  所经历的总路程。如图 1.2 中曲线  $\widehat{APB}$  的总长度。

(3)  $r$  为矢径  $\boldsymbol{r}$  的模, 即  $r = |\boldsymbol{r}|$ 。  $\mathrm{d}r$  是微小位移时矢径大小的变化(或增量), 即  $\mathrm{d}r = r(t + \mathrm{d}t) - r(t)$ 。 则  $\int_{(A)}^{(B)} \mathrm{d}r$  是质点从 A 到 B 时矢径大小的增量, 即  $\int_{(A)}^{(B)} \mathrm{d}r = r_B - r_A$ 。 如图 1.2 中  $\overline{A'B'} = \overline{OB} - \overline{OA'} (\overline{OA'} = \overline{OA})$ 。

· 6. 选题目的 明确参照系与运动描述的关系。

解 (1) 设火车相对站台的速度为  $\boldsymbol{V} = V\hat{x}$ , 小球初速度为  $\boldsymbol{v}_0 = v_0\hat{y}$ , 则在  $x'O'y'$  坐标系中小球的运动方程为

$$x' = -Vt$$

$$y' = v_0t - \frac{1}{2}gt^2$$

(2) 由以上二式消去时间  $t$  后, 则为小球在  $x'O'y'$  系中的运动轨迹方程

$$y' = -\frac{v_0}{V}x' - \frac{g}{2} \frac{x'^2}{V^2}$$

(3) 在  $xOy$  系中

$$a_x = 0$$

$$a_y = -g \quad (\text{方向向下})$$

在  $x'O'y'$  系中

$$a'_x = 0$$

$$a'_y = -g \quad (\text{方向向下})$$

由以上结果看出, 在不同参照系中小球的运动表现不同, 有不同的描述。但若两参照系相对作匀速直线运动, 小球的加速度是相同的。

7. 选题目的 深入理解曲线运动的法向加速度与切向加速度的物理意义。

解 (1) 正确(在轨道的拐点处除外)。

(2) 结论前半部分正确,最后一句话不正确。因为虽然速度的法向分量为零,但并不能由此推出法向加速度必定为零。只要速度方向有变化,其法向加速度就一定不为零。

### 计算题

1. 选题目的 用微积分方法由质点运动加速度求解质点速度与位置。

解 由题意可知,加速度和时间的关系为

$$a = a_0 + \frac{a_0}{\tau}t$$

根据直线运动加速度的定义,有

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

$$dv = a dt$$

$$v = \int a dt = \int \left( a_0 + \frac{a_0}{\tau}t \right) dt$$

$$v = a_0 t + \frac{a_0}{2\tau}t^2 + C_1$$

式中的积分常数  $C_1$  可由初始条件定出,由  $t=0$  时  $v=0$  得  $C_1=0$ , 则有

$$v = a_0 t + \frac{a_0}{2\tau}t^2$$

根据直线运动的速度定义,有

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

$$dx = v dt$$

$$\begin{aligned}
 x &= \int v dt = \int \left( a_0 t + \frac{a_0}{2\tau} t^2 \right) dt \\
 &= \frac{a_0}{2} t^2 + \frac{a_0}{6\tau} t^3 + C_2
 \end{aligned}$$

由  $t=0$  时  $x=0$  得  $C_2=0$ , 则有

$$x = \frac{a_0}{2} t^2 + \frac{a_0}{6\tau} t^3$$

## 2. 选题目的 加速度与速度定义的灵活应用计算。

**解** 首先讨论如下问题,明确收绳速率  $v_0$  与绳的速度以及船的速度三者区别与联系。

(1) 现取绳上的两点  $A$  和  $B$ 。对地面参照系说,在收绳使船前移过程中,经过一段时间  $\Delta t$ ,  $A$  运动到  $A'$  处,  $B$  运动到  $B'$  处,如图 1.3 所示。二者移动的距离不同,位移的方向也不同,但时间间隔是相同的,因此绳上各点的移动速度均不相等。而  $v_0$  是绳上各点沿绳方向运动的速率,它不代表绳上各点的运动速率。

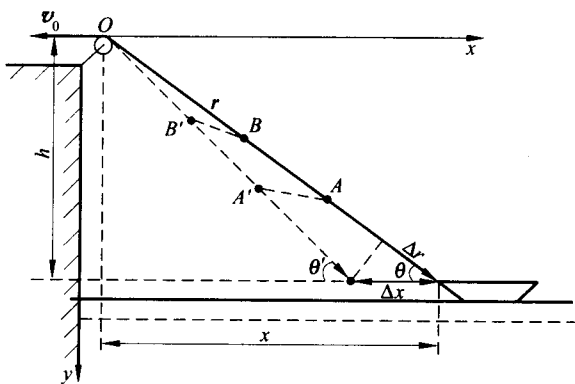


图 1.3

(2) 如果认为  $v_0$  是船头的速率,运动方向沿着绳,则船沿水面运动的速度是这一速度的水平分量。设绳与水平方向夹角为

$\theta$ , 船的水平速度为

$$v = v_0 \cos\theta < v_0$$

显然这个结论是错误的。由图 1.3 看出, 当船行走了  $\Delta x$  后, 绳与水平面夹角由  $\theta$  变为  $\theta'$ , 而绳缩短了  $\Delta r$ , 其关系为  $\frac{\Delta r}{|\Delta x|} = \cos\theta$ 。

由于  $|v| = \left| \frac{dx}{dt} \right|$ ,  $v_0 = \left| \frac{dr}{dt} \right|$ , 所以应有  $v_0 = v \cos\theta$ , 而不是  $v = v_0 \cos\theta$ 。

(3) 建立如图 1.3 所示的坐标(设滑轮为质点), 视船为一质点。从图中看出, 在收绳拉船过程中绳与水平面的夹角是逐渐增大的 ( $\theta' > \theta$ ),  $\cos\theta$  值减小, 由关系式  $\frac{\Delta r}{|\Delta x|} = \cos\theta$  可知  $\frac{\Delta r}{|\Delta x|}$  的值是减小的。若取同样的时间间隔,  $\Delta r$  相同, 则  $|\Delta x|$  必然增大, 可见船的速率  $v$  增大。船并不是以  $v_0$  速率均匀地移动, 所以  $v_0 \neq \left| \frac{dr}{dt} \right|$ 。

通过上述讨论, 已基本明确了  $v_0$  的物理意义。 $v_0$  是  $\left| \frac{dr}{dt} \right|$ , 即矢径大小的变化率, 也就是绳子长短的变化率, 可称为收绳速率。

解法一 由图 1.3 看出, 船的位矢为

$$\mathbf{r} = x\hat{\mathbf{x}} + h\hat{\mathbf{y}}$$

而

$$x = \sqrt{r^2 - h^2}$$

由速度定义有

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\hat{\mathbf{x}} + \frac{dh}{dt}\hat{\mathbf{y}} \\ &= \frac{dx}{dt}\hat{\mathbf{x}} + 0 = v_x\hat{\mathbf{x}} \end{aligned}$$

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} \sqrt{r^2 - h^2} = \frac{r}{\sqrt{r^2 - h^2}} \frac{dr}{dt}$$

因绳子变短,故将  $\frac{dr}{dt} = -v_0$  代入上式有

$$v_x = -\frac{r}{\sqrt{r^2 - h^2}} v_0 = -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x} v_0$$

故

$$\boldsymbol{v} = -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x} v_0 \hat{\boldsymbol{x}}$$

负号表示  $\boldsymbol{v}$  的方向与正  $x$  方向相反。

根据加速度定义

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = -v_0 \frac{d}{dt} \left( \frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x} \right) \\ &= v_0 \frac{h^2}{x^2 \sqrt{x^2 + h^2}} \frac{dx}{dt} = \frac{-v_0^2 h^2}{x^3} \end{aligned}$$

$$a_y = 0$$

故

$$\boldsymbol{a} = -\frac{v_0^2 h^2}{x^3} \hat{\boldsymbol{x}}$$

负号表示  $\boldsymbol{a}$  的方向与  $x$  正方向相反,但由于  $\boldsymbol{v}$  与  $\boldsymbol{a}$  同向,所以船是加速靠岸的。

解法二 因

$$\frac{|\Delta r|}{|\Delta x|} = \cos\theta$$

则有

$$\begin{aligned} |\Delta x| &= \frac{|\Delta r|}{\cos\theta} \\ \frac{dx}{dt} &= \frac{dr}{dt} \frac{1}{\cos\theta} \end{aligned}$$



即

$$|v_x| = \frac{|v_0|}{\cos\theta}$$

因

$$\cos\theta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}}$$

考虑到  $v_x$  方向, 所以

$$v_x = -\frac{v_0 \sqrt{x^2 + h^2}}{x}$$

而

$$v_y = 0$$

$a$  的解法同上。

解法三 根据  $v_0$  的物理意义

$$\begin{aligned} v_0 &= -\frac{dr}{dt} = -\frac{d}{dt} \sqrt{x^2 + h^2} \\ &= -\frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} \frac{dx}{dt} \\ &= -\frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} v_x \end{aligned}$$

所以有

$$v_x = -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x} v_0$$

### 3. 选题目的 位移和加速度相对性的应用。

解 (1) 分别设  $a'$  与  $g$  为螺帽相对升降机和地面的加速度,  $a_0$  为升降机相对地面的加速度, 根据加速度相对关系有

$$a' = g - a_0$$

建立如图 1.4 所示的坐标, 则有

$$a' = g + a_0$$

所以