

# 大学物理学

## 习题讨论课指导

(第2版)

上

沈慧君 王虎珠

清华大学出版社



## 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.上册/沈慧君,王虎珠编写. 2版. --北京:清华大学出版社,2006.8

ISBN 7-302-13228-3

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065001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:赵从棉

印刷者:北京四季青印刷厂

装订者:二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:11.375 字数:294千字

版 次:2006年8月第2版 2006年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-13228-3/O·554

印 数:1~4000

定 价:18.00元

## 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,许多教师给予了热情帮助,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

# 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”这一教学环节在学生明确课程重点,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、补充后重新编写。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

## 物理作业要求

为了清除“题海战术”和“完成物理作业就是学好物理的主要标志!”的思想影响,我们在普通物理学课程一开始必须强调:做一定数量的习题是为了熟练掌握、灵活运用基本物理概念和原理,提高分析、解决问题的能力。长期坚持认真地做每一道习题还有助于培养严谨的科学作风,提高清晰的论证和表达能力。

为了帮助同学们高标准地完成物理作业,兹提出如下要求。

(1) 认真复习: 要求学生在课后复习(看笔记、教科书及参考书)时,要认真钻研,理解其内容,掌握其规律。一定要在复习好的基础上做作业,切不可急于赶作业,更不能满足于只会用中学里掌握的老方法来求解问题。

(2) 搞清题意: 做题前一定要仔细审题,在搞清题意后,简要写出该题的已知条件和所求的物理量,或者完整地把题抄出。

(3) 画示意图: 要认真地用直尺、圆规画出必要的示意图。如力学中应画受力图,建立坐标等。

(4) 明确根据: 做作业时要根据物理概念和原理,作必要的分析说明,思路要清晰,论证要严谨,列方程要有根据。

(5) 先求文字解: 对给明数据的计算题一定要养成先求得文字解的习惯。对文字解要作量纲检查及合理性分析。最后再代入数据,计算出数值结果,并注明单位。数值结果一般取三位有效数字。

(6) 讨论结果: 对结果进行必要的讨论,常常可以加深对某一类物理问题的理解,起到举一反三的效果。

此外,还要求作业要书写工整,卷面干净悦目,对于书写潦草,不按要求解题的作业,教师可将其退回,要求重做。

下面以两则力学习题作为示范,供同学们参考。

**例 1** 一升降机以加速度  $a=1.22\text{m/s}^2$  上升。当上升速度为  $v_0=2.44\text{m/s}$  时,有一螺帽自升降机顶板上松落,升降机顶板与底板间距离  $h=2.74\text{m}$ 。试求:(1)螺帽从顶板落到底板所需时间  $t$ ; (2)螺帽相对于地面下降的距离  $d$ 。

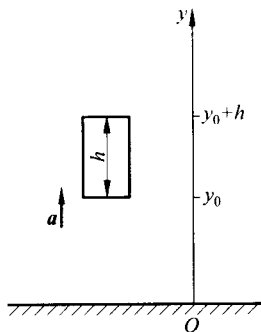
**解** (1) 选如例 1 解图所示的坐标,当螺帽自顶板松落时,底板坐标为  $y_0$ ,顶板与螺帽坐标为  $y_0+h$ ,经过时间  $t$ ,底板与螺帽坐标分别为  $y_1, y_2$ 。由匀加速直线运动位移公式:

$$y_1 - y_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$y_2 - (y_0 + h) = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

当螺帽落到底板上时,  $y_1 = y_2$ , 由以上二式可得出

$$v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = h + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$



例 1 解图

由此解得

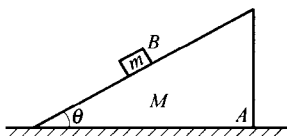
$$t = \sqrt{\frac{2h}{a+g}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.74}{1.22 + 9.80}} = 0.705\text{s}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad d &= y_0 + h - y_2 = \frac{1}{2} g t^2 - v_0 t \\ &= \frac{1}{2} \times 9.8 \times (0.705)^2 - 2.44 \times 0.705 \\ &= 0.715\text{m} \end{aligned}$$

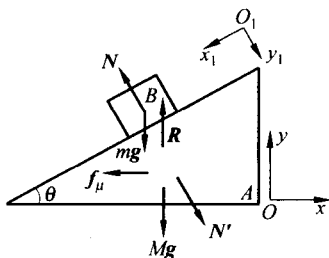
**例 2** 如例 2 题图所示,质量为  $M$ 、倾角为  $\theta$  的三角形木块  $A$  放在地面上,其底面与地面间的摩擦系数为  $\mu$ 。  $A$  上放一质量为

$m$  的木块  $B$ , 设  $A, B$  间无摩擦作用。求  $B$  下滑时,  $\mu$  至少为多大方能使  $A$  在地面上不动?

解 建坐标并画出  $A, B$  所受的力, 如例 2 解图所示。



例 2 题图



例 2 解图

对  $A$ : 由于在地面上不动,  $a_A = 0$ , 由牛顿第二定律有

$$x \text{ 向: } N' \sin \theta - f_\mu = 0 \quad (1)$$

$$y \text{ 向: } R - Mg - N' \cos \theta = 0 \quad (2)$$

对  $B$ : 在  $y_1$  方向加速度为零, 由牛顿第二定律有

$$mg \cos \theta - N = 0$$

即

$$N = mg \cos \theta$$

由牛顿第三定律有

$$N' = N = mg \cos \theta$$

由式①得

$$f_\mu = mg \cos \theta \sin \theta$$

由式②得

$$R = Mg + mg \cos^2 \theta$$

$A$  不动时,  $f_\mu$  应为静摩擦力, 故  $f_\mu \leq \mu R$ , 由此得

$$\mu \geq \frac{m \sin \theta \cos \theta}{M + m \cos^2 \theta}$$

即  $\mu$  至少等于此数才能使  $B$  下滑时  $A$  不动。



讨论与分析:

(1)  $\mu$  应该是个纯数(无量纲), 而  $\frac{m \sin \theta \cos \theta}{M + m \cos^2 \theta}$  是个纯数, 所以此结果量纲正确。

(2) 当  $m \rightarrow 0$  或  $M \rightarrow \infty$  时,  $M$  应该是静止的, 这与  $\mu$  的大小无关。而将  $m \rightarrow 0$  或  $M \rightarrow \infty$  代入  $\frac{m \sin \theta \cos \theta}{M + m \cos^2 \theta}$ , 正给出  $\mu \geq 0$ , 即  $\mu$  可以取任意正值, 这与前述相符, 说明此结果是合理的。

# 目 录

<b>第 1 章 力学</b> .....	1
1.1 运动学 .....	1
1.2 牛顿定律 .....	8
1.3 功、动能、动量、角动量定理 .....	16
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.....	23
1.5 刚体的定轴转动.....	31
1.6 狭义相对论运动学.....	42
1.7 狭义相对论动力学.....	50
<b>第 2 章 静电学</b> .....	55
2.1 电场强度.....	55
2.2 电势.....	60
2.3 静电场中的导体.....	65
2.4 静电场中的电介质和电容.....	69
<b>第 3 章 稳恒电流磁场</b> .....	76
3.1 磁感应强度 $B$ (毕奥-萨伐尔定律) .....	76
3.2 安培环路定理.....	82
3.3 磁力.....	88
3.4 电磁感应.....	95
3.5 磁介质、自感、互感 .....	106

---

3.6	位移电流、麦克斯韦方程组·····	112
*3.7	电磁场的相对性·····	116
<b>第4章</b>	<b>热学</b> ·····	121
4.1	气体动理论·····	121
4.2	热力学第一定律·····	129
4.3	热力学第二定律·····	138
<b>第5章</b>	<b>振动与波</b> ·····	145
5.1	简谐振动及其合成·····	145
5.2	机械波的产生与传播·····	156
5.3	波的叠加与干涉·····	164
<b>第6章</b>	<b>光学</b> ·····	173
6.1	光的干涉·····	173
6.2	光的衍射·····	181
6.3	光的偏振·····	189
<b>第7章</b>	<b>量子物理</b> ·····	198
	<b>课后练习参考解答</b> ·····	207
	<b>计算题参考答案</b> ·····	334

# 第1章 力 学

## 1.1 运 动 学

### 一、内容提要

1. 参照系 用以确定物体位置所用的物体称为参照系。

2. 运动函数(或运动方程)

位置矢量 用以确定质点位置的矢量:

$$\vec{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\hat{x} + y(t)\hat{y} + z(t)\hat{z}$$

位移矢量 质点在一段时间  $\Delta t$  内位置的变化:

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)$$

3. 速度与加速度的定义

速度 质点位置矢量对时间的变化率:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

加速度 质点速度对时间的变化率:

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

4. 抛体运动

位置  $x = v_0 \cos\theta \cdot t, \quad y = v_0 \sin\theta t - \frac{1}{2}gt^2$

速度  $v_x = v_0 \cos\theta, \quad v_y = v_0 \sin\theta - gt$

加速度  $a_x = 0, \quad a_y = -g$

## 5. 圆周运动

$$\text{角速度} \quad \omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{v}{R}$$

$$\text{角加速度} \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\text{加速度} \quad \mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n$$

法向加速度  $a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$ , 方向沿半径指向圆心。

切向加速度  $a_t = \frac{dv}{dt}$ , 方向沿轨道切线。

6. 伽利略速度相加定理 一质点相对于两个相对作平动的参照系的速度之间的关系为

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

式中,  $\mathbf{v}$  与  $\mathbf{v}'$  分别表示质点相对参照系  $xOy$  与  $x'O'y'$  的速度;  $\mathbf{u}$  表示参照系  $x'O'y'$  相对于  $xOy$  的速度。

## 二、教学要求

1. 本节为首次习题课, 应明确做题要求, 严格做题步骤。要强调培养良好的科学作风以及提高清晰的论证与表达能力, 为以后的学习打下良好的基础。

2. 提倡课堂讨论, 鼓励学生上课时积极发表不同意见, 以达到开拓思路、共同提高的目的。避免只会用中学所掌握的方法去解决问题。

3. 加深对位置、速度、加速度等概念的理解, 明确它们的相对性、瞬时性、矢量性。

4. 复习巩固中学学过的一维匀加速运动、自由落体运动及抛体运动的规律。

5. 加深对切向加速度和法向加速度概念的理解, 并能灵活运用。

6. 正确应用伽利略速度变换式解决实际问题。

### 三、讨论题

1. 一质点作抛体运动(忽略空气阻力),如图 1.1 所示。

回答下列问题。

质点在运动过程中:

(1)  $\frac{dv}{dt}$  是否变化?

(2)  $\frac{d\mathbf{v}}{dt}$  是否变化?

(3) 法向加速度是否变化?

(4) 轨道何处曲率半径最大? 其数值是多少?

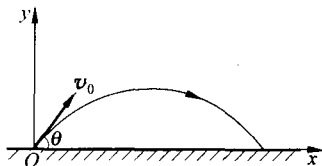


图 1.1

2.  $\left| \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right| = 0$  的运动是什么运动?  $\frac{d|\mathbf{v}|}{dt} = 0$  的运动是什么

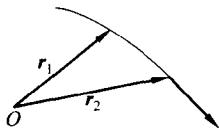
运动?

3. 设质点的运动方程为  $x=x(t), y=y(t)$ 。在计算质点的速度和加速度时有人先求出  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ , 然后根据  $v = \frac{dr}{dt}$  和  $a = \frac{d^2 r}{dt^2}$  求

出结果;也有人先计算出分量,再合成求解,即  $v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$ ,

$a = \sqrt{\left(\frac{d^2 x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2 y}{dt^2}\right)^2}$ 。你认为哪种方法正确? 为什么?

4. 在图 1.2 的图(a), (b)中,分别标出  $\Delta r, \Delta r$  与  $\Delta \mathbf{v}, \Delta \mathbf{v}$ 。



(a)



(b)

图 1.2

5. 质点  $P$  沿如图 1.3 所示曲线运动, 轨迹由  $A$  至  $B$ ,  $r$  为某时刻位矢, 下列各式代表什么? 在图中标出。

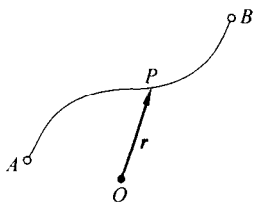


图 1.3

$$(1) \left| \int_A^B dr \right|;$$

$$(2) \int_A^B |dr|;$$

$$(3) \int_A^B dr。$$

- \* 6. 一竖直上抛的小球, 相对固定在站台上的坐标系  $xOy$  ( $y$  轴竖直向上), 其运动方程为:  $x=0, y=v_0t - \frac{1}{2}gt^2$ 。现在一沿  $x$  轴正向匀速运动的火车上建立坐标  $x'O'y'$ ,  $x'$  与  $x$  轴、 $y'$  与  $y$  轴分别平行, 且  $t=0$  时原点  $O'$  与原点  $O$  相重合

- (1) 求在  $x'O'y'$  坐标系中小球的运动方程。
- (2) 求在  $x'O'y'$  坐标系中小球的运动轨道。
- (3) 分别求出在  $xOy$  与  $x'O'y'$  坐标系中小球加速度的大小和方向。

7. 对曲线运动的认识有下面两种说法, 试判断其是否正确:

- (1) 物体作曲线运动时必定有加速度, 加速度的法向分量必不为零。
- (2) 物体作曲线运动时, 速度方向必定沿着运动轨道的切线方向, 速度的法向分量为零, 因此其法向加速度也必定为零。

#### 四、计算题

1. 一质点由静止开始作直线运动, 初始加速度为  $a_0$ , 以后加速度均匀增加, 每经过  $\tau$  秒增加  $a_0$ , 求经过  $t$  秒后质点的速度和运动的距离。

2. 在离船的高度为  $h$  的岸边, 绞车以恒定的速率  $v_0$  收拖缆绳, 使船靠岸, 如图 1.4 所示。求当船头与岸的水平距离为  $x$  时, 船的速度与加速度, 并讨论以下几个问题。

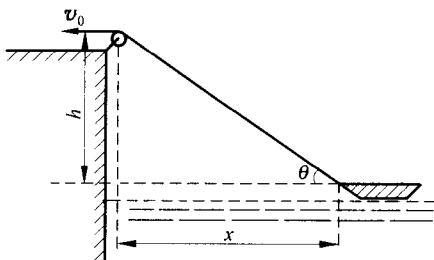


图 1.4

(1) 缆绳上各点的速度相同吗?

(2) 有人认为船的速度为  $v = v_0 \cos\theta$  ( $\theta$  为缆绳与水平面间的夹角) 对不对? 为什么?

(3) 还有人认为, 若设船为运动的质点, 以岸上滑轮处为原点, 则  $v_0 = \left| \frac{dr}{dt} \right|$ , 这种看法对不对?  $v_0$  的物理意义是什么?

3. “物理作业要求”中例 1 是以地面为参照系求解的, 若以升降机为参照系求解结果又如何? 并比较讨论其结果。

4. 在地面上某处用枪瞄准挂在射程之内一棵树上的靶。当子弹射离枪口时, 靶恰好自由下落。试证明子弹总能正好击中自由下落的靶。

5. 一质点在水平面内以顺时针方向沿半径为  $2\text{m}$  的圆形轨道运动。此质点的角速度与运动时间的平方成正比, 即  $\omega = Kt^2$  (SI 制), 式中  $K$  为常数。已知质点在第  $2\text{s}$  末的线速度为  $32\text{m/s}$ , 试求  $t = 0.50\text{s}$  时质点的线速度与加速度。

6. 火车停止时, 侧窗上雨滴轨迹向前倾斜  $\theta_0$  角。火车以某



一速度匀速前进时,侧窗上雨滴轨迹向后倾斜  $\theta_1$  角,火车加快以另一速度匀速前进时侧窗上雨滴轨迹向后倾斜  $\theta_2$  角,求火车加快前后的速度之比。

7. 在湖面上以  $3\text{m/s}$  的速度向东行驶的 A 船上看到 B 船以  $4\text{m/s}$  的速度从北面驶近 A 船。

(1) 在湖岸上看, B 船的速度如何?

(2) 如果 A 船的速度变为  $6\text{m/s}$  (方向不变), 在 A 船上看 B 船的速度又为多少?

### 五、课后练习

1.  $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_x + \boldsymbol{v}_y$  与  $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}' + \boldsymbol{u}$  在数学上都是矢量合成, 在物理上有什么差别?

2. 一质点沿  $x$  轴运动, 其加速度为  $a = 4t$  (SI 制), 当  $t = 0$  时, 物体静止于  $x = 10\text{m}$  处。试求质点的速度、位置与时间的关系式。

$$\left[ v = 2t^2; x = \frac{2}{3}t^3 + 10 \right]$$

3. 已知一质点的运动方程为  $\boldsymbol{r} = 2t\hat{x} + (2 - t^2)\hat{y}$  (SI 制)。

(1) 画出质点的运动轨迹。

(2) 求出  $t = 1\text{s}$  和  $t = 2\text{s}$  时质点的位矢。

(3) 求出  $1\text{s}$  末和  $2\text{s}$  末的速度与加速度。

$$\left[ \boldsymbol{r}_1 = 2\hat{x} + \hat{y}, \boldsymbol{r}_2 = 4\hat{x} - 2\hat{y}; v_1 = 2\sqrt{2}\text{m/s}, \theta_1 = -45^\circ, \right. \\ \left. v_2 = 2\sqrt{5}\text{m/s}, \theta_2 = -63^\circ 26'; \boldsymbol{a} = -2\hat{y} \right]$$

4. 路灯离地面高度为  $H$ , 一个身高为  $h$  的人, 在灯下水平路面上以匀速度  $\boldsymbol{v}_0$  步行, 如图 1.5 所示。求当人与灯的水平距离为  $x$  时, 他的头顶在地面上的影子移动的速度的大小。

$$\left[ v = \frac{H}{H-h}v_0 \right]$$