大学物理学

习题讨论课指导

下册

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

（下册）

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用书，是参阅国家教委物理课程指导委员会制定的工科大学物理教学基本要求而编写的。下册内容是上册课内选题的详细题解。

本书可作为工科大学物理习题讨论课之用，也可作大学非物理类专业、职工夜大、电大及成人自学考试物理课的参考书。

大学物理学习题讨论课指导
（下册）
沈慧君 王虎珠
☆
清华大学出版社出版
北京 清华园
国防科工委印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所发行
☆
开本：787×1092 1/32 印张：10.25 字数：230千字
1991年7月第1版 1991年7月第1次印刷
印数：00001～15000
ISBN7-302-00850-7/O·119
定价：2.35元

前　　言

大学物理课是理工科大学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，国内外大学都在更新教学内容与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，对学生掌握课程重点；弄清主要概念、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，以供物理教师做为教学参考；同时也供学生做为辅助、辅导教材。

本书是参照工科大学物理基本要求而编写的。本书的选题是在参考了国内外著名教材基础上经过多次筛选、反复推敲后编辑的。许多综合分析讨论题无论在知识内容、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，上册内容包括各章的教学要求、讨论题及课后练习题等，共收入选题500个左右。选题具有典型性、综合性、难易层次分明、　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。书后附有全部课后练习题的解答及计算题的答案，可供师生们参阅。下册内容是上册课内讨论题、计算题的全部解答及多发性错误的分析。我们编写题解时，做到启发、引导、一题多解，并针对课程的难点及学生容易出现的错误进行分析。本书对培养学生提出问题、分析问题的能力，深入钻研及解题的能力颇有裨

益，也有助于教师起举一反三的启发作用，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、重写。本书第一、三、七各章由王虎珠执笔，第二、四、五、六各章由沈慧君执笔，最后由沈慧君统稿。全书编写过程中，张三慧教授审阅了全部稿件，逐题校核修改。借此机会向有关老师以及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

目 录

第一章　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$\boldsymbol{g}$在抛物线轨道上各点切线方向的分量大小，即切向加速度$\boldsymbol{a}_t$的大小($a_t = g\sin\alpha$，α为$\boldsymbol{g}$与轨迹法线的夹角)。由于在轨道上不同点α角不同，例如：在起点α角等于θ(θ为发射角)，在最高点α为零，下落时α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$\boldsymbol{a}$，就会得出错误的结论。

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

(3)变化。法向加速度$\boldsymbol{a}_n$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α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$v=v_0$为最大，在最高点$v=v_0\cos\theta$，是最小。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ρ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 $\left|\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}\right|=0$即$|\boldsymbol{a}|=0$，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。

$\frac{d|\boldsymbol{v}|}{dt}=0$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，所以$\frac{dr}{dt}$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$\boldsymbol{v}$和$\boldsymbol{a}$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(即矢量模之差)为$\Delta r=|\boldsymbol{r}_2|-|\boldsymbol{r}_1|$，如图1.1(*a*)所示。同理$\Delta\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1$，$\Delta v=|\boldsymbol{v}_2|-|\boldsymbol{v}_1|$。

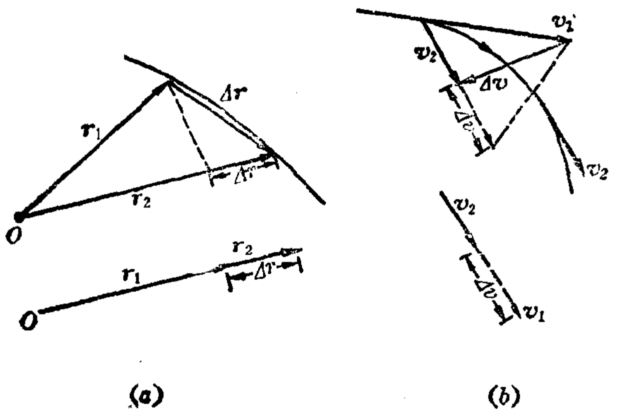

图 1.1

*5. **选题目的** 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 $\boldsymbol{V}=V\hat{\boldsymbol{x}}$，小球初速度为$\boldsymbol{v}_0=v_0\hat{\boldsymbol{y}}$，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。

6. **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，但并不能由此推论法向加速度必定为零。只要速度方向有变化，其法向加速度一定不为零。

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

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

$$dv=adt$$

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

$$v=a_0t+\frac{a_0}{2\tau}t^2+C_1$$

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

$$v=a_0t+\frac{a_0}{2\tau}t^2$$

根据直线运动的速度定义有

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

$$dx=vdt$$

$$x=\int vdt=\int\left(a_0t+\frac{a_0}{2\tau}t^2\right)dt$$

$$=\frac{a_0}{2}t^2+\frac{a_0}{6\tau}t^3+C_2$$

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Δt，A运动到A'处，B运动到B'处，如图1.2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。

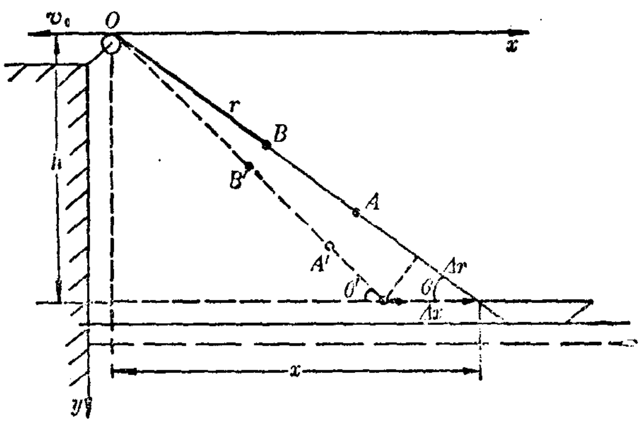

图 1.2

（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θ，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1.2看出当船行走了$\varDelta x$后，绳与水平面夹角由θ变为θ'，而绳缩短了$\varDelta r$，其关系为$\frac{\varDelta r}{|\varDelta x|}=\cos\theta$。由于$|v|=\frac{|dx|}{dt}$，$v_0=\left|\frac{dr}{dt}\right|$，所以应有$v_0=v\cos\theta$，而不是$v=v_0\cos\theta$。

（3）建立如图1.2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$\frac{\varDelta r}{|\varDelta x|}=\cos\theta$可知$\frac{\varDelta r}{|\varDelta x|}$的值是减小的。若取同样的时间间隔，$\varDelta r$相同；则$|\varDelta x|$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$v_0\neq\left|\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}\right|$。

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1.2看出船的位矢为

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

而

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

由速度定义有

$$\boldsymbol{v}=\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}=\frac{dx}{dt}\hat{\boldsymbol{x}}+\frac{dh}{dt}\hat{\boldsymbol{y}}$$

$$=\frac{dx}{dt}\hat{x}+0=v_x\hat{x}$$

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

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

因绳子变短故$\frac{dr}{dt}=-v_0$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 $$\boldsymbol{v}=-\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}v_0\hat{x}$$

负号表示$\boldsymbol{v}$的方向与正x方向相反。

根据加速度定义

$$a_x=\frac{dv_x}{dt}=-v_0\frac{d}{dt}(\sqrt{x^2+h^2}/x)$$

$$=v_0\frac{h^2}{x^2\sqrt{x^2+h^2}}\frac{dx}{dt}=\frac{-v_0^2h^2}{x^3}$$

$$a_y=0$$

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

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

$$\frac{|dx|}{dt}=\frac{\frac{|dr|}{dt}}{\cos\theta}$$

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

$$v_0=-\frac{dr}{dt}=-\frac{d}{dt}\sqrt{x^2+h^2}$$

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

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。

$$a'=g-a_0$$

建如图1.3所示的坐标，则有

$$a'=g+a_0$$

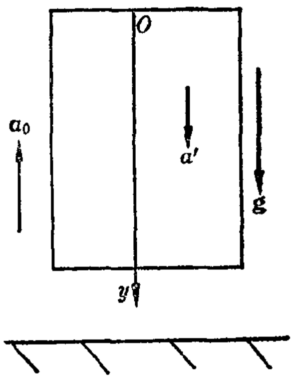

图 1.3

则有　$$y_2-y_1=\frac{1}{2}a't^2$$

$$y_2-y_1=h$$

$$t=\sqrt{\frac{2h}{g+a_0}}=\sqrt{\frac{2\times 2.74}{1.22+9.8}}$$

$$=0.705\text{s}$$

(2)分别设y'与y为螺帽相对升降机与地面的位移，y_0为升降机相对地面的位移，根据位移相对关系有

$$y=y'-y_0=h-\left(v_0t+\frac{1}{2}a_0t^2\right)$$

$$=h-\left[v_0t+\frac{1}{2}(a'-g)t^2\right]$$

$$=h-v_0t-h+\frac{1}{2}gt^2$$

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

$$=\frac{1}{2}\times 9.8\times(0.705)^2-2.44\times 0.705$$

$$=0.715\text{m}$$