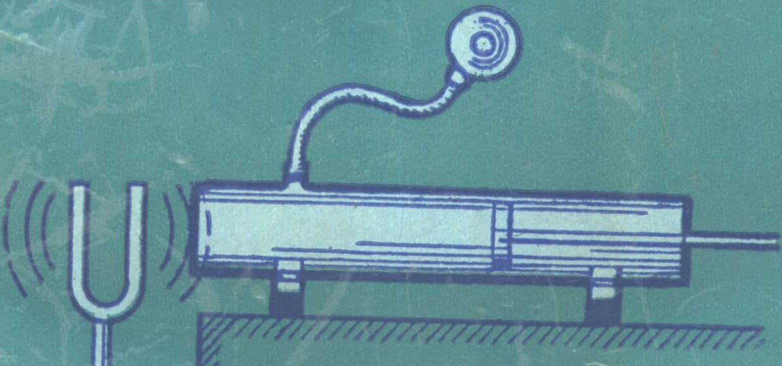
物理学概念纲要与习题集

задачник по физике

张开达 王祖彝 王 珊 编译



同济大学出版社

物理学概念纲要与习题集

苏 A.Г.契尔朵夫 A.A.伏罗别耶夫 编

张开达 王祖彝 王 珊 译

同济大学出版社

沪(204号)

内 容 简 介

本书译自苏联高等教育出版社出版的《Задачник по Физике》。原书是为配合苏联高等工业大学的物理教学而编写，其内容与深度是根据苏联高等工业大学的物理教学大纲而选定。每一单元有足够的习题，它们的难度随题号而增大。在每节之首，列出了解题所需的基本定律与公式；并且有典型例题的详细解释。这一点对函授生将特别有用。

本书可作为高等工业大学的教学用书。也可供其他大专院校以及函授院校的师生选作参考用书。

责任编辑 张智中
封面设计 王肖生

物理学概念纲要与习题集
张开达 王祖彝 玉 珊译
同济大学出版社出版
(上海四平路1239号)
新华书店上海发行所发行
昆山亭林印刷厂印刷
开本 850×1168 1/32 印张 18.875 字数 570千字
1991年11月第1版 1991年11月第1次印刷
印数 1—4000 定价 10.90元
ISBN 7-5608-0831-X/O·83

谨献给

中苏人民的友好事业

译者*

1990.10

---

* 本书第一、三、五章由王祖彝译；第六～十章由王珊译；第四章由张统为译，张开达译其余章节。译稿由张开达统校(其中 §4～§7 由王珊协助)。在翻译过程中，对原书中的印刷错误已作了改正。

吴翔教授对本书的翻译出版给予了热忱的支持与帮助。译者表示衷心的感谢。限于译者水平，错译之处，文责自负。恳请读者指正。

第四版前言

《物理学概念纲要与习题集》第四版有实质性的修改。增加了新的内容：第一章内增添了《相对论力学》，第二章内增加了《统计物理要点》。同时，对版面进行了很大的更新；对大部分单元中的陈旧习题作了删改。

习题集中使用的专有名词、符号和物理量的单位等已与国际通用标法和苏联法定标法相一致。

与过去的版本一样，答案的有效数字为三位。因此，习题中的已知数和附录中的参数表也给出了同样的有效数字。但出于简便的目的，末位数的零就省略了。

作者对手稿的审阅者——莫斯科电机学院普通物理教研室的教师们：A.H.古帕金教授，Г.Φ.叶费希金讲师，D.B.库兹明讲师，H.M.纳维科夫讲师，Ю.A.高尔赫瓦斯基教员，A.Φ.切诺晓夫教员——表示衷心的感谢。他们的建议，极大地改善了本教学参考书的质量。

作者同样对O.M.托捷斯教授提出的指正表示感谢。

对习题集的指正和进一步的改进意见请寄：Москва(莫斯科)К-51，Неглинная ул. Д. 29/14，Издательства «Высшая школа»。

作者

目　录

第一章　力学的物理基础

§1　运　动　学

基本公式

1. 质点在空间的位置由矢径 $\boldsymbol{r}$ 确定：

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

式中 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$、$\boldsymbol{k}$ 分别为 x 轴、y 轴和 z 轴正方向上的单位矢量；x、y、z 为质点的坐标。

用坐标形式表示运动的运动学方程为

$$x=f_1(t);\ y=f_2(t);\ z=f_3(t),$$

式中，t 为时间。

2. 平均速度

$$\langle\boldsymbol{v}\rangle=\Delta\boldsymbol{r}/\Delta t,$$

式中，$\Delta\boldsymbol{r}$ 为质点在时间间隔 Δt 内的位移。

平均对地速度

$$\langle v\rangle=\Delta s/\Delta t\text{①},$$

式中，Δs 是质点在时间间隔 Δt 内所通过的路程。

瞬时速度

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{i}v_x+\boldsymbol{j}v_y+\boldsymbol{k}v_z,$$

式中，$v_x=\mathrm{d}x/\mathrm{d}t$；$v_y=\mathrm{d}y/\mathrm{d}t$；$v_z=dz/\mathrm{d}t$ 是速度 $\boldsymbol{v}$ 在各坐标轴上的投影。

速度的绝对值

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}。$$

① 在常见的一些力学教材中，往往将 $\langle v\rangle=\triangle s/\triangle t$ 称为质点在时间间隔 $\triangle t$ 内的平均速率——译者注

3. 加速度

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{i}a_x+\boldsymbol{j}a_y+\boldsymbol{k}a_z,$$

式中，$a_x=\mathrm{d}/\mathrm{d}t$; $a_y=\mathrm{d}v_y/\mathrm{d}t$; $a_z=\mathrm{d}v_z/\mathrm{d}t$ 是加速度 $\boldsymbol{a}$ 在各坐标轴上的投影。

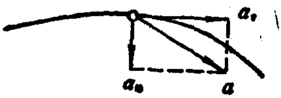


图 1.1

加速度的绝对值

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

在曲线运动的情况下，加速度可以表示为法向分量 $\boldsymbol{a}_n$ 和切向分量 $\boldsymbol{a}_\tau$ 之和(图 1.1)：

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_n+\boldsymbol{a}_\tau。$$

这些加速度的绝对值分别为

$$a_n=v^2/R;\ a_\tau=\mathrm{d}v/\mathrm{d}t;\ a=\sqrt{a_n^2+a_\tau^2},$$

式中，R 为轨道在该点处的曲率半径。

4. 质点沿 X 轴作匀速运动时的运动学方程式为

$$x=x_0+vt$$

式中，x_0 为初始坐标；t 为时间。在匀速运动的情况下，

$$v=\text{常数},\ a=0。$$

5. 质点沿 X 轴作匀变速运动 ($a=$ 常数) 时的运动学方程式为

$$x=x_0+v_0t+at^2/2,$$

式中，v_0 为初速；t 为时间。

质点作匀变速运动时的速度为

$$v=v_0+at。$$

6. 在给定转轴的情况下，刚体的位置用旋转角(或者角位移) φ 确定。转动运动的运动学方程为

$$\varphi=f(t)。$$

7. 平均角速度

$$\langle\omega\rangle=\Delta\varphi/\Delta t,$$

式中，$\Delta\varphi$ 是刚体在时间间隔 Δt 内旋转角的变化。

瞬时角速度*

---

* 角速度和角加速度是轴矢量，它们的方向与转轴重合。

$$\omega = \mathrm{d}\varphi/\mathrm{d}t。$$

8．角加速度*

$$\varepsilon = \mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t。$$

9．匀速转动的运动学方程为

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t,$$

这里，φ_0 是初始角位移；t 是时间。在匀速转动的情况下

$$\omega = 常数，\varepsilon = 0。$$

转动频率

$$n = N/t, 或者\ n = 1/T,$$

式中，N 是物体在时间 t 内转动的周数；T 为转动周期（即转动一周所需要的时间）。

10．匀变速转动（ε = 常数）的运动学方程为

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \varepsilon t^2/2,$$

式中，ω_0 是初始角速度；t 是时间。

在匀变速转动的情况下，物体的角速度为

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t。$$

11．描述质点转动特征的角量与线量之间的关系用下列公式表示：

质点沿着半径为 R 的

圆弧通过的路程………$s = \varphi R$（φ 是物体的旋转角）

质点的线速度………$v = \omega R$, $\boldsymbol{v} = [\boldsymbol{\omega R}]$

质点的加速度：

切向加速度………$a_\tau = \varepsilon R$, $\boldsymbol{a}_\tau = [\boldsymbol{\varepsilon R}]$

法向加速度………$a_n = \omega^2 R$, $\boldsymbol{a}_n = -\omega^2 \boldsymbol{R}$

例　　题

1．已知质点沿直线（X 轴）运动的运动方程为 $x = A + Bt + Ct^3$，式中 $A = 4\mathrm{m}$，$B = 2\mathrm{m/s}$，$C = -0.5\mathrm{m/s^3}$，求在 $t_1 = 2\mathrm{s}$ 这一时刻：1）质点的坐标 x_1；2）瞬时速度 v_1；3）瞬时加速度 a_1。

解：1）　已知质点的运动方程，故只要将已知的时间值 t_1 替

代运动方程里的 t，就可求得质点在该时刻的坐标为

$$x_1 = A + Bt_1 + Ct_1^3$$

把 A, B, C, t_1 的数值代入上式并经计算后，即得

$$x_1 = 4\text{m}$$

2) 任意时刻的瞬时速度可用坐标 x 对时间 t 求微商的方法来求之：

$$v = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2。$$

于是，在给定时刻 t_1，瞬时速度为

$$v_1 = B + 3Ct_1^2$$

将 B, C, t_1 的数值代入上式并经计算后，即得

$$v_1 = -4\text{m/s}。$$

负号表明质点在 $t_1 = 2\text{s}$ 这一时刻沿坐标轴的负方向运动。

3) 由坐标 x 对时间 t 取二阶导数，就得质点在任意时刻的瞬时加速度：

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = 6Ct。$$

于是，在给定时刻 t_1，瞬时加速度等于

$$a_1 = 6Ct_1。$$

把 C 和 t_1 的数值代入上式并经计算后，得

$$a_1 = -6\text{m/s}^{-2}。$$

负号表明，加速度矢量的方向与坐标轴的负方向相同，并且在本题的条件下对任何时刻都是如此。

2. 已知质点沿 X 轴运动的运动学方程为

$x = A + Bt + Ct^2$，式中 $A = 5\text{m}$, $B = 4\text{m/s}$, $C = -1\text{m/s}^2$。

1) 作出坐标 x 和路程对时间的关系的曲线图。2) 求出从 $t_1 = 1\text{s}$ 到 $t_2 = 6\text{s}$ 这一时间间隔内的平均速度 $\langle v_x \rangle$。3) 求出在同一时间间隔内的平均对地速度 $\langle v \rangle$。

解：1) 为了作出质点的坐标对时间的关系的曲线图，我们要找出有特征的坐标数值（如初始坐标和最大坐标）以及与上述坐标和数值为零的坐标相对应的时刻。

初始坐标对应于 $t=0$ 这一时刻，它的数值等于

$$x_0=x|_{t=0}=A=5\,\mathrm{m}。$$

当质点开始反向运动(即速度改变符号)时，就达到坐标的最大值。假如把坐标对时间的一阶导数取作零，就可求出这一时刻：

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=B+2Ct=0,\quad \text{由此得}$$

$$t=-\frac{B}{2C}=2\mathrm{s}。$$

最大坐标为

$$x_{\max}=x|_{t=2}=9\,\mathrm{m}。$$

我们从下式找出与坐标 $x=0$ 相对应的时刻 t：

$$x=A+Bt+Ct^2=0,$$

解所得到的关于 t 的二次方程便得

$$t=(-B\pm\sqrt{B^2-4AC})/(2C)。$$

将 A、B、C 之数值代入上式并经计算后，即得

$$t=(2\pm3)\mathrm{s}$$

这样，我们得到两个时间值：$t'=5\mathrm{s}$ 和 $t''=-1\mathrm{s}$。由于第二个时间值不满足本题的条件($t\geqslant0$)，故舍之。

质点的坐标与时间的关系图是二次曲线。为了作出此曲线，必需要有 5 个点，因为二次曲线的方程包含 5 个系数，所以，除了前面已经算出的 3 个有特征的坐标值之外，我们还要寻找两个与时刻 $t_1=1\mathrm{s}$ 和 $t_2=6\mathrm{s}$ 相对应的坐标值：

$$x_1=A+Bt_1+Ct_1^2=8\mathrm{m},\ x_2=A+Bt_2+Ct_2^2=-7\mathrm{m}。$$

将所得数据列表如下：

时间，s	$t_0=0$	$t_1=1$	$t_B=2$	$t'=5$	$t_2=6$
坐标，m	$x_0=A=5$	$x_1=8$	$x_{\max}=9$	$x=0$	$x_2=-7$

利用表中的数据，我们可画出质点的坐标与时间的关系曲线（图 1.2)。

根据下列一些考虑，我们作出路程曲线图：(1) 到速度改变符号时为止，路程和坐标相同；(2) 从质点的返回时刻开始，它向相

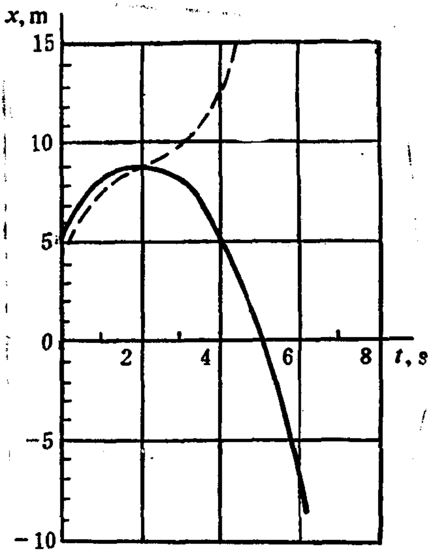


图 1.2

反方向运动，因而它的坐标的数值减小，而与此同时它所通过的路程却按照其坐标减小的规律继续增加。

因此，到 $t_B=2s$ 这一时刻为止，路程曲线图与坐标曲线图重合，而从这一时刻开始路程曲线图是坐标曲线图的镜像反映（图1.2）。

2） 在时间间隔 t_2-t_1 之中平均速度由下式确定：

$$\langle v_x\rangle=(x_2-x_1)/(t_2-t_1)。$$

将表中 x_1，x_2，t_1，t_2 的数值同时代入上式经计算后便得

$$\langle v_x\rangle=-3\text{m/s}。$$

3）平均对地速度 $\langle v\rangle$ 从下式求出：

$$\langle v\rangle=s/(t_2-t_1),$$

式中，S 为质点在时间间隔 t_2-t_1 内所通过的路程。从图1.2的曲线上可以看出，这路程由两段所组成：$s_1=x_{\max}-x_1$（即质点在时间间隔 t_B-t_1 内通过的路程）和 $s_2=x_{\max}+|x_2|$（即它在时间间隔 t_2-t_B 内通过的路程）。因此，路程

$$s = s_1 + s_2 = (x_{\max} - x_1) + (x_{\max} + |x_2|)$$
$$= 2x_{\max} + |x_2| - x_1。$$

将 x_1，$|x_2|$，$x_{\max}$ 的数值同时代入上式并经计算后，得

$$s = 17\,\mathrm{m}。$$

于是，要寻找的平均对地速度为

$$\langle v\rangle = s/(t_2 - t_1) = 3.4\,\mathrm{m/s}。$$

要注意的是，平均对地速度总是正的。

3．汽车沿着公路上的弧形转弯处运动（图 1.3），圆弧的曲率半径 $R = 50\,\mathrm{m}$。冷车的运动方程式*为 $\xi(t) = A + Bt + Ct^2$，式中 $A = 10\,\mathrm{m}$，$B = 10\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，$C = -0.5\,\mathrm{m/s^2}$。求：1）汽车在 $t = 5\mathrm{s}$ 这一时刻的速度 v，它的切向加速度 a_τ，法向加速度 a_n 和总加速度 a；2）从汽车开始运动时起，在时间间隔 $\tau = 10\mathrm{s}$ 内，它所通过的路程 s 和发生的位移之模 $|\Delta\boldsymbol{r}|$。

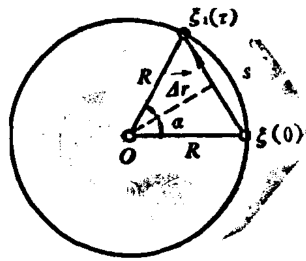


图 1.3

解：1） 知道了运动方程，则由坐标对时间取一阶导数就可求得速度：

$$v = \frac{d\xi}{dt} = B + 2Ct。$$

将 B、C、t 的数值代入这个表达式中经计算，便得 $v = 5\,\mathrm{m/s}$。

由速度对时间取一阶导数就得切向加速度：

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = 2C。$$

将 C 之值代入，便得 $a_\tau = -1\,\mathrm{m/s^2}$。

法向加速度由公式 $a_n = v^2/R$ 确定。将求得的速度值和已知的轨道曲率半径的数值代入这个公式，经计算，便得：

$$a_n = 0.5\,\mathrm{m/s^2}$$

正如从图 1.1 中可以看到的那样，总加速度是加速度 $\boldsymbol{a}_\tau$ 和

*在给出的运动方程里，ξ 表示从圆周上的某一个起点开始算起的曲线坐标。

$\boldsymbol{a}_n$ 的几何和：$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_\tau+\boldsymbol{a}_n$。加速度的绝对值 $a=\sqrt{a_\tau^2+a_n^2}$。将已求出的 a_τ 和 a_n 的数值代入这个表示式中，即得

$$a=1.12\,\mathrm{m/s^2}。$$

2) 为了算出汽车通过的路程 s，我们要注意的是，在运动向一个方向的情况下（就象在本题条件下所发生的那样），路程 s 等于曲线坐标 ξ 的增量，亦即

$$s=\xi(\tau)-\xi(0),$$

或者

$$s=A+B\tau+C\tau^2-A=B\tau+C\tau^2$$

将 B、C、τ 的数值代入到所得到的表达式中并经计算后便得

$$S=50\,\mathrm{m}$$

从图 1.3 可以看出，位移的模等于 $|\Delta\boldsymbol{r}|=2R\sin\left(\dfrac{\alpha}{2}\right)$，式中，$\alpha$ 为确定汽车在轨道上始末位置 $\xi(0)$ 和 $\xi(\tau)$ 的两个矢径之间的夹角。若以弧度计，则这个角的大小就是路程 s 与轨道曲率半径 R 之比，亦即 $\alpha=s/R$。因此，

$$|\Delta\boldsymbol{r}|=2R\sin\frac{s}{2R}。$$

将 R、s 的数值代入上式并经计算后，即得

$$|\Delta\boldsymbol{r}|=47.9\,\mathrm{m}。$$

4. 飞轮以 $n_0=10\mathrm{s}^{-1}$ 的恒定频率旋转，在开始制动时转动是匀减速的。当制动停止后，飞转又重新恢复匀速转动，但转动频率已变成 $n=6\mathrm{s}^{-1}$。如果在飞轮作匀减速运动的时间内，它共转了 $N=50$ 周，试求飞轮的角加速度和制动的延续时间 t。

解：飞轮的角加速度 ε 是由关系式 $\omega^2-\omega_0^2=2\varepsilon\varphi$ 和初角速度 ω_0 与末角速度 ω 相联系的，由此得 $\varepsilon=(\omega^2-\omega_0^2)/(2\varphi)$，但因为 $\varphi=2\pi N$，$\omega=2\pi n$，故 $\varepsilon=\dfrac{\omega^2-\omega_0^2}{2\varphi}=\dfrac{\pi(n^2-n_0^2)}{N}$。

将 π、n、n_0、N 等量的数值代入上式并经计算后，可得

$$\varepsilon=-4.02\,\mathrm{rad/s^2}。$$

式中负号表示飞轮作减速转动。

若利用将回转角φ与转动的平均角速度$\langle\omega\rangle$和时间t联系起来的公式：$\varphi=\langle\omega\rangle t$，则可求得制动的延续时间。根据本题的条件，角速度与时间成线性关系，所以平均角速度可写成$\langle\omega\rangle=(\omega_0+\omega)/2$，于是有

$$\varphi=(\omega_0+\omega)t/2=\pi(n_0+n)t,$$

由此得出

$$t=\frac{\varphi}{\pi(n_0+n)}=\frac{2N}{n_0+n}$$

将各个数值代入其中经计算后，即得

$$t=6.25\,\mathrm{s}。$$

习　　题

直线运动

1-1　两条笔直的道路相交成角$\alpha=60°$。两辆汽车沿着这两条道路离开交叉点：其中一辆汽车的速度为$v_1=60\,\mathrm{km/h}$，另一辆的速度为$v_2=80\,\mathrm{km/h}$。假设两辆汽车是同时经过交叉点的，试求其中任意一辆汽车离开另一辆的速度v'和v''。

1-2　质点在$t_1=15\,\mathrm{s}$内以$v_1=5\,\mathrm{m/s}$的速度运动，在$t_2=10\,\mathrm{s}$内以$v_2=8\,\mathrm{m/s}$的速度运动，而在$t_3=6\,\mathrm{s}$内以$v_3=20\,\mathrm{m/s}$的速度运动，问质点的平均对地速度$\langle v\rangle$为多少？

1-3　汽车以$v_1=60\mathrm{km/h}$的速度通过了全部路程的3/4，剩下的路程以$v_2=80\,\mathrm{km/h}$的速度驶完。问汽车的平均对地速度为多少？

1-4　在路程的前一半中，物体以$v_1=2\mathrm{m/s}$的速度运动，在路程的后一半中它又以$v_2=8\mathrm{m/s}$的速度运动。试求物体的平均对地速度$\langle v\rangle$。

1-5　在时间$t_1=2\mathrm{s}$内，物体通过了路程的前一半，在时间$t_2=8\mathrm{s}$内，它又通过了路程的后一半，假设路程$s=20\mathrm{m}$，试求物体的平均对地速度$\langle v\rangle$。

1-6　对于某一物体的运动来说，其速度与时间之间的关系如