高校经典教材配套考研辅导系列

普通物理学

题解精粹

田旭　赵中云　主编

崇文书局

高校经典教材配套考研辅导

普通物理学题解精粹

主　编：田　旭　赵中云
副主编：刘奇琼　周蔚华
　　　　张小玲　李建青

崇文书局

(鄂)新登字07号

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学题解精粹/田旭主编. -武汉:
崇文书局,2003
ISBN 7-5403-0674-2

Ⅰ.普… Ⅱ.田… Ⅲ.普通物理学-研究生-
入学考试-解题 Ⅳ.04-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第082674号

出版发行:崇文书局
(武汉市黄鹂路75号 430077)
印 刷:汉川市育才印务有限责任公司
开 本:850x1168 1/32
印 张:11.5
版 次:2003年9月第1版
印 次:2003年9月第1次印刷
字 数:280千字
定 价:18.80元

前　言

普通物理，又称大学物理，是高等学校一门重要基础课，许多高校理工、师范专业将其作为研究生入学考试科目。

要想深入理解普通物理学及在科学技术中的应用，应该多解算习题。如果准备参加研究生普通物理入学考试，则更应该理论联系实际，反复加强练习。作者潜心收集我国高校近年来研究生入学考试普通物理学试题，精心提炼、研究写成此书，旨在为高校师生和准备研究生普通物理学入学考试的考生提供一本有用的参考书。

本书按力学、电磁学、热学、光学和量子物理学顺序编排。各部分编写都是先从研究生普通物理学入学考试考点综述开始，接下来的经典题解对每一试题均给出本题考点及详细的解答，试题的解题思路和解题技巧则贯穿于解题过程之中。我们建议读者使用本书时，不要急着看本书解答，而应先亲自解之，再参看答案，以期本书更具参考价值。

本书由赵中云、刘奇琼、周蔚华、张小玲、李建青、田旭等编写。他们都是有普通物理学丰富的教学及研究生入学试题出卷经验的高校教师。尽管作者分工执笔，各部分均经互换通读、相互磋商，但欠妥之处，在所难免，如蒙读者指正，不胜感激之至。

编　者

2003 年 7 月

目　　录

第一部分　力　学

一、考点综述

1. 运动学方程、速度和加速度

(1) 运动学方程,参数方程,轨迹方程.

位置矢量 $\vec{r}$ 与时间 t 的函数关系

$$\vec{r} = \vec{r}(t)$$

称为运动学方程

平面运动时,取直角坐标(x、y),位矢分量为

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}$$

称为直角坐标系运动学方程的参数方程形式.消去参数 t,得 x、y 的函数关系

$$f(x、y) = 0$$

称为直角坐标系下的轨迹方程.取极坐标(r、θ),位矢分量为

$$\begin{cases} r = r(t) \\ \theta = \theta(t) \end{cases}$$

称为极坐标系下运动学方程的参数方程形式.消去参数 t,得 r、θ 的函数关系

$$f(r、\theta) = 0$$

称为极坐标系下的轨迹方程.

(2) 速度

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

取直角坐标系、速度分量为

$$V_x = \frac{dx}{dt}, V_y = \frac{dy}{dt}, V_z = \frac{dz}{dt}$$

即 $$\vec{V} = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k}$$

而速度的大小称为速率

$$V = |\vec{V}| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

平面极坐标(r、θ)下的速度径向分量

$$V_r = \frac{dr}{dt}$$

角向分量

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

位移 $d\vec{r}$ 与路程 ds 的关系

$$|d\vec{r}| = ds$$

而一般来说

$$|\Delta\vec{r}| \neq |\Delta s|$$

速度合成定理

$$\vec{V}_{绝} = \vec{V}_{相} + \vec{V}_{牵}$$

(3) 加速度

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

直角坐标系下，它的分量是

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}, a_y = \frac{dV_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}, a_z = \frac{dV_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}$$

而它的大小则由

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

平面极坐标系下的加速度分量是

$$a_r = \frac{d^2 r}{dt^2} - r\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$$

$$a_\theta = 2\frac{dr}{dt}\frac{d\theta}{dt} + r\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{d\theta}{dt}\right)$$

自然坐标系下切向加速度

$$a_\tau = \frac{dV}{dt}$$

法向加速度

$$a_n = \frac{V^2}{\rho}$$

2. 牛顿运动定律及动量定理

(1) 牛顿第二定律

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

投影式,例如

$$F_x = ma_x = m\frac{dV_x}{dt} = m\frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$F_r = ma_r = m\frac{d^2 r}{dt^2} - mr\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$$

$$F_\theta = ma_\theta = m\frac{1}{r}\frac{d}{dt}\left(r^2\frac{d\theta}{dt}\right)$$

$$F_\tau = ma_\tau = m\frac{dV}{dt}$$

$$F_n = ma_n = m\frac{V^2}{\rho}$$

(2) 动量定理

$$\vec{I} = \int_{t_0}^{t}\vec{F}\,dt = \vec{p} - \vec{p}_0$$

投影式,例如

$$I_x = \int_{t_0}^{t} F_x dt = p_x - p_{x0}$$

(3) 动量守恒定律

若 $\vec{F} = 0$,则 $\vec{P} = \vec{P}_0$

或者若 $F_x = 0$,则 $P_x = P_{x0}$

3. 相互作用及惯性力

(1) 万有引力

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

(2) 重力加速度

$$g = \frac{GM}{R^2} = 9.8(m \cdot s^{-2})$$

M 是地球的质量

(3) 弹性力

$$F = -kx$$

(4) 支承力与摩擦力

(5) 惯性力

以角速度 ω 旋转的非惯性系中,存在着离心力

$$\vec{F} = m\omega^2 x\vec{i} + m\omega^2 y\vec{j}$$

科利奥利力

$$\vec{F} = 2m\omega\frac{dy}{dt}\vec{i} - 2m\omega\frac{dx}{dt}\vec{j}$$

4. 机械能守恒定律

(1) 功

$$A_{ab} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_a^b F\cos\theta ds$$

(2) 动能

$$E_k = \frac{1}{2}mV^2$$

(3) 势能

若$\oint \vec{F} \cdot d\vec{s} = 0$,则势能 $E_{pa} = \int_a^c \vec{F} \cdot d\vec{s}$($C$ 为势能零点)

例如

重力势能 $E_P = mgh$ (C 取在 $h = 0$ 处)

万有引力势能 $E_P = -G\frac{m_1 m_2}{r}$ (C 取在 $r = \infty$ 处)

弹性势能 $E_P = \frac{1}{2}kx^2$ (C 取在 $x = 0$ 处)

(4) 机械能守恒定律

若 $A_{外} + A_{内非} = 0$,则机械能

$$E = \frac{1}{2}mV^2 + E_P = 恒量$$

5. 角动量守恒

(1) 角动量守恒定律

若 $\vec{M} = 0$,则 $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P} =$ 恒矢量

(2) 天体运动轨道方程

$$r = \frac{l}{1 + \varepsilon\cos\theta}$$

$$l = \frac{r^2}{GM}\frac{d\theta}{dt}$$

$$\varepsilon = \left[1 + \frac{2Er^4}{G^2M^2m}\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2\right]^{1/2}$$

当 $E < 0$ 时,为椭圆轨道,$E = 0$ 时,为抛物线轨道,$E > 0$ 时,为双曲线轨道.

6. 刚体运动

(1) 线量与角量的关系

$$\Delta s = r\Delta\theta$$

$$v = r\omega$$

$$a_\tau = r\beta, a_n = r\omega^2$$

(2) 转动定律

$$M = I\beta$$

(3) 转动刚体的动能

$$E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$$

角动量 $$L = I\omega$$

7. 振动与波

(1) 简谐振动

运动微分方程为

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

通解为

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

ω 为角频率，A 为振幅，φ 为初位相，$T = \dfrac{2\pi}{\omega}$ 为周期，$\nu = \dfrac{1}{T}$ 为频率.

两同振动方向、同频率、位相差恒定的简谐振动

$$x_1 = A_1\cos(\omega t + \varphi_1), x_2 = A_2\cos(\omega t + \varphi_2)$$

则合振动 $x = A\cos(\omega t + \varphi)$

振幅 $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 + \varphi_1)}$，

位相 $\varphi = \tan^{-1}(\dfrac{A_1\sin\varphi_1}{})$，质量为 m，劲度为 k，弹簧振子

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$E_k = \frac{1}{2}m(\frac{dx}{dt})^2$$

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2$$

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}kA^2$$

(2) 衰减振动

运动微分方程为

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

通解分为三种情况

(a) 衰减振动($\gamma < \omega_0$)

$$x = Ce^{-\gamma t}\cos(\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}t + \varphi)$$

(b) 强衰减($\gamma > \omega_0$)

$$x = e^{-\gamma t}[Ae^{\sqrt{\gamma^2-\omega_0^2}t} + Be^{-\sqrt{\gamma^2-\omega_0^2}t}]$$

(c) 临界衰减($\gamma = \omega_0$)

$$x = e^{-\gamma t}(A + Bt)$$

(3) 受迫振动

运动微分方程为

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = F_0\cos\omega t$$

特解为

$$x = \frac{F_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2\omega^2}}\cos(\omega t + \varphi)$$

当 $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2}$ 时,发生共振

(4) 波动方程

波动微分方程

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = u^2\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

平面简谐波解

$$y = A\cos\left[\omega\left(t \mp \frac{x}{u}\right) + \varphi\right]$$

ω 为角频率，u 为波速，$v = \frac{\omega}{2\pi}$ 为频率，$T = \frac{1}{2}$ 为周期，$\lambda = uT$ 为波长，"$\mp$" 分别表示波沿 x 轴正向、负向传播.

沿波线方向两点，相位差与坐标差的关系.

$$\Delta\varphi = -\frac{2\pi}{\lambda}\Delta x$$

(5) 多普勒效应

$$\nu' = \nu\frac{u - u_0}{u - u_s}$$

u_0 为观察者的速度，u_s 为波源的速度，v 为波源的振动频率，ν' 为观察到的频率.

(6) 波的叠加

叠加原理

两个波 $y_1(x,t) = A_1\cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_1\right)$,

$$y_2(x,t) = A_2\cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_2\right)$$

$$y(x、t) = y_1(x、t) + y_2(x、t)$$

相干波干涉

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\left[\varphi_2 - \varphi_1 - \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1)\right]}$$

(7) 混沌

混沌运动只在非线性系统中发生，其显著特征是(a) 对初值的极端敏感性，(b) 存在奇异吸引力，(c) 具有分形结构.

8. 狭义相对论

(1) 相对性原理与光速不变原理

(2) 洛仑兹坐标变换.

$$\begin{cases} x' = \dfrac{x - vt}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \dfrac{t - \dfrac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \end{cases}$$

(3) 相对论长度收缩

$$l = l_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

相对论时间延缓

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$$

(4) 高速运动物体的质量、动量和能量

质量 $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

动量 $P = mv = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

动能 $E_k = mc^2 - m_0c^2$

静能 $E_0 = m_0c^2$

总能量 $E = mc^2$

能量—动量关系 $E^2 = P^2c^2 + m_0^2c^4$

二、经典题解

Ⅰ. 运动学

1.（北京大学2002年）　质点作平面运动.在平面极坐标系中其角速度与矢径的长度成反比，比例系数为常量 a_1，径向速率为常量 a_2. $t=0$时，$r=r_0$，$\theta=0$.求质点在任意时刻 t 时的位置 $r=r(t)$，$\theta=\theta(t)$ 和加速度及质点的轨迹方程 $r=r(\theta)$.

本题考点：在极坐标下求轨迹方程、加速度

解：$\dot{\theta}=\omega=\dfrac{a_1}{r}$　　$\dot{v}=a_2$

$$\vec{v}=\frac{d\vec{r}}{dt}=a_2\vec{i}+a_1\vec{j}$$

$$\frac{dr}{dt}=a_2 \qquad r=a_2t+r_0 \qquad \frac{d\theta}{dt}=\frac{a_1}{r}$$

$$\frac{d\theta}{dr}\cdot\frac{dr}{dt}=\frac{a_1}{r} \qquad a_2\frac{d\theta}{dr}=\frac{d\theta}{dt}=\frac{a_1}{r}$$

$$d\theta=\frac{a_1}{a_2}\frac{dr}{r}$$

$$\theta=\frac{a_1}{a_2}\ln\frac{r}{r_0}=\frac{a_1}{a_2}\ln\frac{a_2t+r_0}{r_0}$$

轨迹方程 $r=r_0e^{\frac{a_2}{a_1}\theta}$

加速度　$\vec{a}=\dfrac{d}{dt}\vec{v}=\dfrac{d}{dt}(v_r\vec{i}+r\dot{\theta}\vec{j})$

$$=a_2\frac{d\vec{i}}{dt}+a_1\frac{d\vec{j}}{dt}$$

$$=a_2\frac{a_1}{r}\vec{j}+a_1(-\frac{a_1}{r})\vec{i}$$

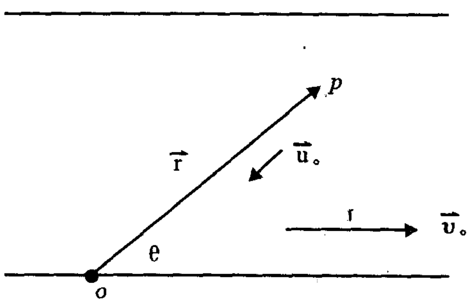
$$= -\frac{a_1^2}{r}\vec{i} + \frac{a_1 a_2}{r}\vec{j}$$

2.（北京大学2001年） 河中的小船 P 系在缆绳一端，固定于岸上 O 点的绞盘机以固定的速度 u_0 收回缆绳，已知水流速为 v_0（u_0，v_0 为常量）. 在平面极坐标系中，

(1) 求 P 点的速度

(2) 若 $t = 0$ 时，$r = r_0$，$\theta = \theta(t)$，求 P 点的运动轨迹.

本题考点：相对运动



解：(1) $\begin{cases} V_r = -u_0 \\ V_\theta = v_0\sin\theta \end{cases}$

(2) $$\frac{dr}{dt} = -u_0 \Rightarrow r = r_0 - u_0 t$$

$$r\frac{d\theta}{dt} = v_0\sin\theta$$

$$(r_0 - u_0 t)\frac{d\theta}{dt} = v_0\sin\theta$$

$$\frac{d\theta}{\sin\theta} = \frac{v_0 dt}{r_0 - u_0 t}$$

$$\ln\tan\frac{\theta}{2}\Big|_{\theta_0}^{\theta} = -\left[\frac{v}{u_0}\ln(r_0 - u_0 t)\right]\Big|_0^t$$