

经典教材辅导用书



大学物理

学习与解题指导

汤钧民 邹勇 廖红 主编



华中科技大学出版社

21 世纪高等学校辅导教材

大学物理

学习与解题指导

主编 汤钧民 邹 勇 廖 红

编者 (以姓氏笔画为序)

刘大鹏 汤钧民 邹 勇

赵中云 高国勋 韩庆奎

程 放 廖 红

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习与解题指导/汤钧民 邹勇 廖红 主编
武汉:华中科技大学出版社, 2002年11月
ISBN 7-5609-2860-9

I. 大…

II. ①汤… ②邹… ③廖…

III. 物理学-高等学校-教学参考资料

IV. O4

大学物理学习与解题指导

汤钧民 邹勇 廖红 主编

责任编辑:叶见欣
责任校对:蔡晓璐

封面设计:潘 群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

开本:850×1168 1/32

印张:13

字数:437 000

版次:2002年11月第1版

印次:2002年11月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5609-2860-9/O · 275

定价:22.80元

(本

社发行部调换)

内 容 简 介

本书是按学习与解题指导的类型编写的。这有助于读者学习与复习大学物理,有助于读者掌握解题的方法,提高学习与解题的技能。

书中知识内容是根据高等学校大学物理课程的教学要求编写的。它将大学物理内容分为6篇22章,整个章节体系是由现行教科书综合而来的。每章有学习要点与习题详解两块。每篇有一块相应的测试题及解答。第七篇由模拟试题(六套)和解答组成。

本书习题选自于各校平时布置的作业。这些作业题中的大部分、各篇中测试题的大部分以及所有模拟试题选自于全国许多高等学校共同使用的试题库。

本书内容与习题广泛,深浅难易兼而有之。因而可作为高等学校非物理专业本科生大学物理课程的学习与复习的辅导书,也可供大专学生及其他有关人员与各层次教师阅读参考。

前 言

平时做大学物理习题是为了理解和掌握本课程的基本概念、基本规律和基本方法;也是培养学生用科学的思维方式去分析问题和解决问题的手段。考前做题则是为了复习所学知识,检验学生对各部分内容及方法理解和掌握的情况,系统地巩固和提高所掌握的知识。编写本书的目的就是为了帮助学生学习大学物理的基本理论和解题方法。

本书将大学物理内容分为6篇22章进行编写。每章有学习要点、习题详解两块。每篇有一块相应的测试题及解答。第七篇是六套大学物理模拟试题,并附有参考解答。

书中学习要点概括了相应章节基本概念与主要规律和公式。写得较为详尽,以便学生做题复习时好查阅,也便于理解掌握。书中题目主要来源有二:一是多数高等学校平时布置的作业题,一是很多高等学校共同使用的试题库。另有一些取之于清华大学张三慧老师主编的《大学物理学》第二版。书中所选之题,包括选择、填空类型,都有详细解答,有的还有必要的分析,便于学生深入理解基本内容,掌握主要内容,熟练掌握解题的思路和方法。书中的测试题与模拟试题都能帮助读者进行自测和复习。本书适用于大学本科学生学习,其中绝大多数内容与题目也适用于大专学生学习。

以编写内容先后为序,全书由华中科技大学、武汉大学、武汉理工大学三校教师合编。他们是:汤钧民(第1章,第5、6章,热学测试题及解答,第22章,模拟试题(一)、(二)),高国勋(第2、3、4章,力学测试题及解答),程放(第7、8章),刘大鹏(第9、10章),邹勇(第11、12章,模拟试题(三)、(四)),程放、刘大鹏、邹勇(电磁学

ABD 69/08

测试题及解答),廖红(第 13、14、15 章,振动与波动测试题及解答,模拟试题(五)、(六)),韩庆奎(第 16、17、18 章,波动光学测试题及解答),赵中云(第 19、20、21 章,量子物理测试题及解答)。全书由汤钧民统稿。

书中的错误或不足之处,真诚欢迎读者匡正。

编 者

2002 年 9 月

目 录

第一篇 力 学

第1章 质点运动学	(1)
学习要点	(1)
习题详解	(6)
第2章 质点动力学	(29)
学习要点	(29)
习题详解	(34)
第3章 刚体定轴转动	(52)
学习要点	(52)
习题详解	(53)
第4章 狭义相对论	(63)
学习要点	(63)
习题详解	(66)
力学测试题(附解答)	(81)

第二篇 热 学

第5章 气体动理论	(98)
学习要点	(98)
习题详解	(107)
第6章 热力学基础	(127)
学习要点	(127)
习题详解	(135)

热学测试题(附解答).....	(160)
-----------------	-------

第三篇 电 磁 学

第 7 章 静电场.....	(174)
学习要点.....	(174)
习题详解.....	(179)
第 8 章 电流与电场.....	(206)
学习要点.....	(206)
习题详解.....	(207)
第 9 章 稳恒磁场.....	(213)
学习要点.....	(213)
习题详解.....	(217)
第 10 章 磁介质	(247)
学习要点.....	(247)
习题详解.....	(248)
第 11 章 电磁感应	(254)
学习要点.....	(254)
习题详解.....	(258)
第 12 章 麦克斯韦方程组	(282)
学习要点.....	(282)
习题详解.....	(283)
电磁学测试题(附解答).....	(290)

第四篇 振动与波动

第 13 章 振动	(304)
学习要点.....	(304)
习题详解.....	(307)
第 14 章 波动	(335)
学习要点.....	(335)

习题详解.....	(338)
第 15 章 电磁振荡与电磁波	(362)
学习要点.....	(362)
习题详解.....	(363)
振动与波动测试题(附解答).....	(370)

第五篇 波动光学

第 16 章 干涉	(383)
学习要点.....	(383)
习题详解.....	(385)
第 17 章 衍射	(398)
学习要点.....	(398)
习题详解.....	(399)
第 18 章 偏振	(410)
学习要点.....	(410)
习题详解.....	(411)
波动光学测试题(附解答).....	(419)

第六篇 量子物理

第 19 章 光的量子理论	(431)
学习要点.....	(431)
习题详解.....	(433)
第 20 章 波尔量子理论	(439)
学习要点.....	(439)
习题详解.....	(440)
第 21 章 量子力学基础	(446)
学习要点.....	(446)
习题详解.....	(448)
第 22 章 激光 半导体	(463)

学习要点.....	(463)
习题详解.....	(467)
量子物理测试题(附解答).....	(474)

第七篇 模拟试题

模拟试题(一)(上学期)(附解答).....	(481)
模拟试题(二)(下学期)(附解答).....	(500)
模拟试题(三)(上学期)(附解答).....	(520)
模拟试题(四)(下学期)(附解答).....	(533)
模拟试题(五)(上学期)(附解答).....	(544)
模拟试题(六)(下学期)(附解答).....	(553)

第一篇 力 学

第 1 章 质点运动学

学习要点

1. 质点

在某些情况下研究问题时,物体被视为有质量而无大小和形状的点,这样的研究对象称为质点。

2. 参照系

在普遍的相对运动中,为了描述一个物体的运动而被选来作为参考的其它物体称为参照系。参照系的定量化,就是在该参照系上建立固定的坐标系。

3. 位置矢量(矢径)

在坐标系中,从坐标原点 O 到 t 时刻质点所处空间位置 P 点间的有向线段 r ,称为位置矢量(简称矢径或位矢)。

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$$

注意:位矢的大小 $r = |\boldsymbol{r}|$ 。

4. 位移和路程

(1) 位移

它是某一段时间间隔 Δt 内,末时刻 t_2 的位矢 $\boldsymbol{r}_2$ 与初时刻 t_1 的位矢 $\boldsymbol{r}_1$ 之差(位矢变化量) $\Delta \boldsymbol{r}$ 。

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

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1 = (x_2 - x_1)\boldsymbol{i} + (y_2 - y_1)\boldsymbol{j} + (z_2 - z_1)\boldsymbol{k}$$

$$= \Delta x i + \Delta y j + \Delta z k$$

dt 时间内的位移表示为:

$$d\mathbf{r} = dx i + dy j + dz k$$

(2) 路程

它是某一段时间间隔 Δt 内, 运动轨迹(通常为曲线)的长度 ΔS 。 dt 时间内的路程表示为 dS 。

注意: ① Δr 与 ΔS 是不同的两个物理量。设质点于先后两时刻 t_1, t_2 分别位于空间 P_1, P_2 两点。位移 Δr 是位置矢量的变化量, ΔS 是经历的轨迹长度。 Δr 是矢量, ΔS 是标量; 它们的大小通常不相等, 即通常情况下, $|\Delta r| \neq \Delta S$ 。在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|dr| = dS$ 。

② 物理学中, $|\Delta r| = |r_2 - r_1|$, $\Delta r = |r_2| - |r_1|$, 因此, 一般情况下, $|\Delta r| \neq \Delta r$ 。同理, 一般情况下, $|dr| \neq dr$ 。

5. 速度

它是描述物体位置矢量变化快慢的物理量。它是矢量, 既表示物体运动快慢, 又表示物体向哪个方向运动。

$$\text{速度} \quad \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} i + \frac{dy}{dt} j + \frac{dz}{dt} k = v_x i + v_y j + v_z k$$

$$\text{速率(速度大小)} \quad v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{dS}{dt}$$

速度方向 运动轨迹的切线(向前)方向。

$$\text{平均速度} \quad \bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}_0}{t - t_0}$$

$$\text{平均速率} \quad \bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

注意: ① 物理学中, $|\Delta v| = |v_2 - v_1|$, $\Delta v = |v_2| - |v_1|$ 。因此, 一般情况下, $|\Delta v| \neq \Delta v$ 。

同理, 一般情况下, $|dv| \neq dv$ 。

$$\text{② 由于 } |dr| \neq dr, \text{ 所以, 一般情况下, } v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| \neq \frac{dr}{dt}。$$

6. 加速度

它是描述物体速度变化快慢的物理量。它是矢量, 既表示物体

速度大小变化快慢,又表示物体速度方向变化快慢。

加速度

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{dv}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k} \\ &= \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\mathbf{k} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k} \\ \mathbf{a} &= \mathbf{a}_\tau + \mathbf{a}_n \end{aligned}$$

加速度大小

$$a = |\mathbf{a}| = \left| \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right| = \left| \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} \right| = |\mathbf{a}_\tau + \mathbf{a}_n|$$

加速度方向 指向运动轨迹(曲线)凹边的一侧。

平均加速度
$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{v} - \mathbf{v}_0}{t - t_0}$$

切向加速度 描述物体速度大小变化情况。其表达式为:

$$\mathbf{a}_\tau = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau}$$

大小
$$a_\tau = |\mathbf{a}_\tau| = \frac{dv}{dt}$$

方向 运动轨迹的切线方向。

法向加速度 描述物体速度方向变化情况。其表达式为:

$$\mathbf{a}_n = \frac{v^2}{\rho}\mathbf{n}$$

大小
$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

方向 沿曲率半径指向曲率中心。

注意: 由于 $|d\mathbf{v}| \neq dv$, 所以, 一般情况下, $a = |\mathbf{a}| = \left| \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right| \neq \frac{dv}{dt} = a_\tau$ 。

7. 运动方程和轨迹方程

(1) 运动方程

描述运动质点的位置矢量或坐标随时间变化的状况的方程,或者说,质点的位置矢量或坐标对于时间的函数,称为运动方程。
即

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

或 $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$

(2) 轨迹方程

消去运动方程中的时间 t , 得到的质点在空间运动中, 其各坐标之间的关系式, 称为轨迹方程。

8. 运动学中的角量

角位置用 θ 表示。

角位置变化量 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$

角位移用 $d\theta$ 表示。

角速度 $\omega = \frac{d\theta}{dt}$

角加速度 $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

9. 线量与角量的关系

$$S = R\theta$$

式中, S 是半径为 R 的圆上圆心角 θ 对应的弧长。

$$dS = \rho d\theta$$

式中, dS 是曲率半径为 ρ 的曲线上, 曲率中心角 $d\theta$ 对应的弧长。

$$v = \frac{dS}{dt} = R \frac{d\theta}{dt} = R\omega$$

$$a_r = \frac{dv}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\beta \quad (\text{沿该点切线方向})$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2 \quad (\text{指向圆心})$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_n = \frac{dv}{dt} \boldsymbol{\tau} + \frac{v^2}{R} \mathbf{n} \quad (\text{用于圆周运动})$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_n = \frac{dv}{dt} \boldsymbol{\tau} + \frac{v^2}{\rho} \mathbf{n} \quad (\text{用于一般的曲线运动})$$

10. 匀变速运动

加速度的大小和方向都不随时间改变的运动称为匀变速运动。

$\mathbf{a}$ = 常矢量; 初始条件为 $t=0$ 时, 有 $\mathbf{r}_0$ 与 $\mathbf{v}_0$, 则

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t, \quad \mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0t + \frac{1}{2}\mathbf{a}t^2$$

分量式

$$\begin{cases} v_x = v_{0x} + a_x t \\ v_y = v_{0y} + a_y t \\ v_z = v_{0z} + a_z t \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \\ y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \\ z = z_0 + v_{0z}t + \frac{1}{2}a_z t^2 \end{cases}$$

注意:以上各式中加速度和速度的正负,由它们的分矢量相对于坐标轴的正方向而定,相同为正,相反为负。

11. 匀加速直线运动

质点沿一条直线(即一维)的匀加速运动称为匀加速直线运动。当设 $t=0$ 时, $x_0=0$, 则有:

$$v = v_0 + at, \quad x = v_0t + \frac{1}{2}at^2, \quad v^2 - v_0^2 = 2ax$$

注意:当质点作匀减速直线运动时,加速度方向与速度方向相反,设速度方向为正,则加速度为负。

自由落体运动 忽略阻力,物体因重力作用从静止开始下落的运动。设竖直向下的方向作为 y 轴的正方向,释放物体点为坐标原点,有:

$$v = gt, \quad y = \frac{1}{2}gt^2, \quad v^2 = 2gy$$

12. 抛体运动

从空间(地面上方)某点向空中抛出一物体,它在空中的运动称为抛体运动。忽略气体对它的作用,抛体运动一般是在竖直平面内的二维运动。设竖直向上的方向为 y 轴的正方向,抛出物体的位

移水平分量方向为 x 轴正方向, 抛出物体点为坐标原点, 初速度与 x 轴的夹角为抛射角 θ (向上为正角), 有:

$$\begin{aligned} a_x &= 0, & a_y &= -g \\ v_x &= v_0 \cos \theta, & v_y &= v_0 \sin \theta - gt \\ x &= v_0 \cos \theta \cdot t, & y &= v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \end{aligned}$$

13. 相对运动

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{\text{相对}} &= \mathbf{r}_{\text{绝对}} - \mathbf{r}_{\text{牵连}} \\ \Delta \mathbf{r}_{\text{相对}} &= \Delta \mathbf{r}_{\text{绝对}} - \Delta \mathbf{r}_{\text{牵连}} \\ \mathbf{v}_{\text{相对}} &= \mathbf{v}_{\text{绝对}} - \mathbf{v}_{\text{牵连}} \\ \mathbf{a}_{\text{相对}} &= \mathbf{a}_{\text{绝对}} - \mathbf{a}_{\text{牵连}} \end{aligned}$$

注意: 如果两个参照系之间相对作匀速直线运动, 则

$$\mathbf{a}_{\text{相对}} = \mathbf{a}_{\text{绝对}}$$

14. 四性

矢径、位移、速度、加速度都具有矢量性、瞬时性、叠加性、相对性。

15. 运动学的两类问题

① 已知运动方程 $\mathbf{r}=\mathbf{r}(t)$, 求速度 $\mathbf{v}=\mathbf{v}(t)$, 加速度 $\mathbf{a}=\mathbf{a}(t)$ 。这需用到数学工具求导。

② 已知加速度 $\mathbf{a}$ 与初始条件 $\mathbf{v}_0, \mathbf{r}_0$, 求运动方程 $\mathbf{r}=\mathbf{r}(t)$ 。这需用到数学工具积分。

习题详解

【1-1】哈勃为美国天文学家, 他于 1929 年根据银河外星云 (即银河系以外星系) 的资料指出: 银河外星云正远离我们而去, 而且离我们越远, 速率越大。用 r 和 v 表示距离和速率, 有:

$$v_0 = H_0 r$$

v_0 与 r 的这一正比关系称为哈勃定律。比例系数 H_0 称为哈勃常量。此定律是宇宙大爆炸的依据之一。目前对 H_0 的最好估值为

$H_0 = 2.1 \times 10^{-2} (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) / \text{l. y.}$ (其中单位 l. y. 是光年)。根据哈勃定律估算宇宙的年龄与大小。

解 宇宙从大爆炸的时刻起,到现在还在膨胀。视它为近似地匀速膨胀。由哈勃定律得膨胀时间(即宇宙的年龄)为:

$$t_0 = \frac{r}{v_0} = H_0^{-1} = \frac{1 \text{ l. y.}}{2.1 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \\ = 4.50 \times 10^{17} \text{ s} = 143 \times 10^8 \text{ a}$$

其中,单位 a 是年。

按相对论,光速是宇宙中最大的速度。在宇宙年龄的这段时间里,光走过的距离 R_0 可视为宇宙大小的半径,有:

$$R_0 = ct_0 = 3.00 \times 10^8 \times 4.50 \times 10^{17} \text{ m} \\ = 1.35 \times 10^{26} \text{ m} = 1.35 \times 10^{23} \text{ km}$$

答案:宇宙的年龄为 $143 \times 10^8 \text{ a}$,宇宙的大小为半径为 $1.35 \times 10^{23} \text{ km}$ 的球形。

【1-2】一质点在平面上作一般曲线运动,其瞬时速度为 $\boldsymbol{v}$,瞬时速率为 v ,某一段时间内的平均速度为 $\bar{\boldsymbol{v}}$,平均速率为 $\bar{v}$,它们之间的关系必定有()。

- A. $|\boldsymbol{v}| = v, |\bar{\boldsymbol{v}}| = \bar{v}$ B. $|\boldsymbol{v}| \neq v, |\bar{\boldsymbol{v}}| = \bar{v}$
C. $|\boldsymbol{v}| \neq v, |\bar{\boldsymbol{v}}| \neq \bar{v}$ D. $|\boldsymbol{v}| = v, |\bar{\boldsymbol{v}}| \neq \bar{v}$

解 在一般曲线运动中,这四个物理量的定义式如下:

$$\text{瞬时速度 } \boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}, \quad \text{瞬时速率 } v = \frac{dS}{dt}$$

$$\text{平均速度 } \bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}, \quad \text{平均速率 } \bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

瞬时时刻的物理量含义是 $\Delta t \rightarrow 0$ 这一时刻的物理量。对于上面两瞬时量,情况是

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \\ |\boldsymbol{v}| = \left| \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t}$$