大学物理导论
学习辅导

向义和　编著

清华大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书按照《大学物理导论》各章的顺序编排,每章分为 4 部分:内容提要,基本要求,思考题选答,习题解答。在内容提要中简练地介绍了该章的基本概念与原理,定理与定律的表述及其表示式以及物理学家的科学思想方法。提出基本要求有利于学生在学习中分清主次,抓住要点。思考题选答有助于学生准确、深入、具体地理解物理概念。习题解答有助于学生灵活应用概念,提高分析问题和解决问题的能力。通过分析实际问题,进一步充实物理知识。

本书可作为高等院校有关学科"大学物理导论"课程的教学参考书。也可供自学者参阅。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理导论学习辅导/向义和编著 .—北京:清华大学出版社,2000
ISBN 7-302-03979-8

Ⅰ.大... Ⅱ.向... Ⅲ.物理学-高等学校-教学参考资料 Ⅳ.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 35834 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)
http://www.tup.tsinghua.edu.cn
印刷者:北京市清华园胶印厂
发行者:新华书店总店北京发行所
开 本:850×1168 1/32 印张:9.625 字数:251 千字
版 次:2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷
书 号:ISBN 7-302-03979-8/O·245
印 数:0001～5000
定 价:13.50 元

前　言

在物理教学中,解答思考题和作习题是教学的一个重要环节。它对于学生正确地、深入地理解物理概念,掌握基本原理和基本方法,培养分析问题和解决问题的能力,都是十分重要的。为此目的编写了这本辅导教材,期望它能对学生学习《大学物理导论》(以下简称《导论》)起一个引导和铺垫的作用。本书可作为学生的辅导自学用书,也可供物理教师参考。

本书涉及到了《导论》各章节的主要内容,按照《导论》各章的顺序编排,每章分为 4 个部分:内容提要,基本要求,思考题选答,习题解答。在内容提要中,力求用简练而准确的语言来介绍该章的主要内容,包括物理学的概念与原理的表述,物理学的定义、定理与定律的表述及其表示式,以及物理学家的科学思想与科学方法的概述。提出基本要求有利于学生在学习中分清主次,抓住要点。全书共收入 501 个题,其中思考题 198 个,选择了 68 个题给予解答,习题 303 个,都给予了解答。思考题中有关学习和探讨物理学家科学思想和科学方法的题目,本书未予解答,留给学生作为课外写作小论文的选题,学生可以结合《导论》的有关章节,并在查阅有关资料的基础上撰写出论文。

本书所解答的思考题基本上都属于概念题。通过对一些难于理解、易于混淆的概念及学生多发性错误的分析,使学生了解其错误的所在,从而确立正确的物理概念;通过应用概念分析具体问题,使学生了解到物理定理和定律成立的条件,从而对物理概念有一个更加深入和具体的理解;通过应用概念分析实际问题以及历史上物理学家的一些重大失误,使学生认识到成功的实践离不开

正确的理论指导。这些思考题可以作为课堂讨论题,供教师选用。

本书所解答的习题,一部分属于基本题,通过求解这些题使学生理解物理定义、定理和定律及其表示式的意义,熟悉物理学的工作语言和描述方法;另一部分属于提高题,通过对具体问题具体分析,即分析题意,分析涉及的现象和过程,明确需要寻找的关系,把握解题的关键,找到解题的方法和步骤,从而提高分析问题和解决问题的能力;还有一部分属于实际应用题,通过求解工程技术和实际生活中提出的物理问题,可以看到物理学在科学技术和社会生活中的广泛应用。其中的基本题可以作为非理工科学生的习题,其余的题目可以供他们自学提高时参考。

本书的选题和求解融会了我校多年来开展物理讨论课所积累的教学经验,并吸取了我校教师和其他院校教师的教学经验和成果,编者在此对他们表示衷心的感谢。

向义和

2000 年 4 月

目　录

第 1 篇　力学…… 1
第 1 章　质点运动学…… 1
第 2 章　牛顿运动定律 …… 16
第 3 章　万有引力 …… 34
第 4 章　动量与角动量 …… 46
第 5 章　功和能 …… 57
第 6 章　振动与波动 …… 82
第 7 章　力学的新进展…… 101
第 8 章　相对论…… 103
第 2 篇　热学…… 119
第 9 章　气体动理论…… 119
第 10 章　热力学第一定律 …… 135
第 11 章　热力学第二定律 …… 153
第 12 章　热学的新进展 …… 170
第 3 篇　电磁学…… 173
第 13 章　静电场 …… 173
第 14 章　磁场 …… 190
第 15 章　电磁感应 …… 211
第 16 章　电磁场和电磁波 …… 225
第 4 篇　光学…… 228
第 17 章　光的干涉 …… 228
第 18 章　光的衍射 …… 238
第 19 章　光的偏振 …… 248

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第 5 篇　原子物理学 …… 257
第 20 章　量子假说与玻尔的氢原子理论 …… 257
第 21 章　量子力学的基本概念与基本原理 …… 271
第 22 章　原子核 …… 283
第 23 章　基本粒子 …… 297

第 1 篇　力　学

第 1 章　质点运动学

1　内容提要

1) 力学的研究对象: 机械运动(物体位置随时间的变动)。

运动学: 只描述物体的运动。

动力学: 研究物体运动与物体间相互作用的关系。

2) 质点: 具有质量而没有大小和形状的理想物体。

参考系: 研究物体运动时所参考的物体。

坐标系: 在一定的参考系中, 为了定量地描述质点的位置和位置随时间的变化所选择的固定的坐标。

3) 速度和加速度

速度: 质点位矢 r 对时间 t 的变化率, 即

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

加速度: 质点速度对时间 t 的变化率, 即

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

速度合成: $v = v_x i + v_y j + v_z k$

加速度合成: $a = a_x i + a_y j + a_z k$

4) 匀加速直线运动

速度: $v = v_0 + at$

位置: $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

速度与位置的关系: $v^2 - v_0^2 = 2ax$

5) **抛体运动**

加速度: $a_x = 0, a_y = -g$

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

位置: $x = (v_0 \cos\theta)t, \quad y = (v_0 \sin\theta)t - \frac{1}{2} g t^2$

6) **圆周运动**

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

角加速度: $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$

加速度: $a = a_n + a_t$

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: $a_t = \frac{dv}{dt} = R\alpha$ **方向沿轨道切线**。

7) **伽利略速度变换**: **一质点相对于两个相对作平动的参考系的速度之间的关系为**

$$v = v' + u$$

其中 v **与** v' **分别表示质点相对于参考系** xOy **与** $x'O'y'$ **的速度**, u **表示参考系** $x'O'y'$ **相对于** xOy **的速度**。

8) **伽利略的科学思想方法**

科学研究的程序: **对现象的一般观察→提出假设→运用数学和逻辑的手段得出推论→通过物理的或思想的实验对推论进行检验→对假设进行修正和推广等等**。

理想实验与科学推理相结合: **如**“**落体佯谬**”**的理想实验和**“**对接斜面**”**的理想实验**。

2　基本要求

1) 从力学产生的社会历史背景认识科学与生产、理论与实践的关系,了解近代力学与古代力学在科学方法上的区别。从伽利略对运动学的研究学习他的科学思想方法。

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

3) 了解运动学的工作语言和描述方法,学会求解直线运动、抛体运动、圆周运动以及相对运动的一些简单的问题。

3　思考题选答

1.1　从力学的起源说明科学与生产的关系。

答　在教材绪论的 0.2 节中,提出了物理学与技术的关系存在两种基本模式,对于力学来说,遵循的是第一种模式,即由于生产实践的需要而创立了力学。在 1.1.4 节中,说明了在 14,15 世纪,资本主义生产的发展,不仅提出了发展科学的需要,还提供了科学发展所需要的材料和仪器,这正是在 17 世纪中叶,力学发展成为一门独立学科的前提。

1.2　近代力学与古代力学在科学方法上有何根本的不同?

答　在 1.1.4 节中,说明了近代力学与古代力学在科学方法上的根本区别是:用观察和实验的科学方法代替了对自然的直接观察方法;用新的数学方法(微积分)代替了初等数学方法。

1.3　回答下列问题:

(1) 位移和路程有何区别?

(2) 速度和速率有何区别?

(3) 瞬时速度和平均速度的区别和联系是什么?

答　(1) 如教材中图 1.6 所示,Δr 是质点在 t 到 t+ Δt 这一段时间的位移,是一矢量。Δs 是在这段时间内质点沿轨道所经过

的路程，就是曲线 P_1P_2 的长度，是一标量。一般地说 $\Delta s \neq |\Delta \boldsymbol{r}|$，只有在时间 Δt 趋近于零时，Δs 与 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 方可视为相等。

(2) 速度 $v = dr/dt$，即位矢 $\boldsymbol{r}$ 对时间 t 的一阶导数，是一矢量。质点在时刻 t 的速度方向沿着该时刻质点所在处运动轨道的切线方向而指向运动的前方。速度的大小叫速率，用 v 表示，$v = |\boldsymbol{v}|$，是一标量。速率的大小为质点所走的路程对时间的变化率。

(3) 平均速度 $\bar{\boldsymbol{v}} = \Delta \boldsymbol{r}/\Delta t$，即质点的位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 和发生这段位移所经过的时间 Δt 的比值。速度 v 是 Δt 趋于零时的平均速度。

1.5　设质点的运动函数为 $x = x(t), y = y(t)$。在计算质点的速度和加速度时，有人求出 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$，然后根据

$$v = \frac{dr}{dt} \quad 及 \quad a = \frac{d^2r}{dt^2}$$

求出结果；又有人先计算速度和加速度的分量，再合成求得结果，即

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \quad 及 \quad a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$$

你认为两种方法中哪一种正确？两者差别何在？

答　后一种方法正确。速度和加速度都是矢量，满足关系

$$\boldsymbol{v} = \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt}\boldsymbol{j}, \quad \boldsymbol{a} = \frac{d^2x}{dt^2}\boldsymbol{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\boldsymbol{j}$$

所以 $v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$；$a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$

前一种方法，只考虑了矢径 $\boldsymbol{r}$ 的量值随 t 的变化，但矢径本身是个矢量，其方向也是在改变的，所以这种求法不对。

1.8　行星轨道为椭圆，已知任一时刻的加速度方向都指向椭圆的一个焦点(太阳所在处)，分别分析行星在通过题图 1.1 中 M，N 两位置时，其速率正在增大还是在减小？

答　如题图 1.1 所示，在 M 点由于速度 $\boldsymbol{v}$ 与加速度 $\boldsymbol{a}$ 的夹角

α大于 90°,速率是减速的。在 N 点由于速度 v 与加速度 a 的夹角 β小于 90°,速率是加速的。

4 习题解答

1.1 一质点在 xy 平面上运动,运动函数为 $x = 2t$, $y = 19 - 2t^2$。

题图 1.1

(1) 求质点运动的轨道方程并画出轨道曲线。

(2) 求 $t_1 = 1s$ 和 $t_2 = 2s$ 时,质点的位置、速度和加速度。

解 (1) 由 $x = 2t$, $y = 19 - 2t^2$ 得 $x^2 + 2y - 38 = 0$,即 $y = 19 - \frac{x^2}{2}$,轨道曲线为抛物线。(见题 1.1 图)

题 1.1 图

(2) $r(1) = 2i + 17j$

$r(2) = 4i + 11j$

$v = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j = 2i - 4tj$

需要全本请访问 www.ertongbook.com

$$a=\frac{dv_x}{dt}i+\frac{dv_y}{dt}j=-4j$$

当 t= 1s 时, v = 2i- 4j , a= - 4j ;

当 t= 2s 时, v = 2i- 8j , a= - 4j 。

1.2 已知质点的运动方程为 r= (acosωt)i+ (bsinωt)j , 其中 a, b, ω为正常数。

(1) 计算质点的速度和加速度;

(2) 证明运动的轨迹是一椭圆, 其长短轴分别为 2a 与 2b, 质点的加速度恒指向椭圆中心。

解 (1) 由题设知质点的坐标为 $x=a\cos\omega t, y=b\sin\omega t$。

$$v_x=\frac{dx}{dt}=-a\omega\sin\omega t, v_y=\frac{dy}{dt}=b\omega\cos\omega t$$

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\omega\sqrt{a^2\sin^2\omega t+b^2\cos^2\omega t}$$

$$a_x=\frac{dv_x}{dt}=-a\omega^2\cos\omega t, a_y=\frac{dv_y}{dt}=-b\omega^2\sin\omega t$$

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=\omega^2\sqrt{a^2\cos^2\omega t+b^2\sin^2\omega t}=\omega^2 r$$

写成矢量表示式

$$v=-a\omega\sin\omega t i+b\omega\cos\omega t j$$

$$a=-a\omega^2\cos\omega t i-b\omega^2\sin\omega t j$$

(2) 从 x, y 的参数方程中消去 t 得质点的轨道方程为

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2+\left(\frac{y}{b}\right)^2=\cos^2\omega t+\sin^2\omega t=1$$

这是长轴为 2a, 短轴为 2b 的椭圆方程。由 a 得

$$a=-\omega^2(a\cos\omega t i+b\sin\omega t j)=-\omega^2 r$$

a 与 r 方向相反, 即指向椭圆中心。

1.3 如题 1.3 图, 在离船高度为 h 的岸边, 绞车以恒定的速率 v_0 收拖缆绳, 使船靠岸, 求当船头与岸的水平距离为 x 时船的速度和加速度。

题 1.3 图

解　选择一直角坐标系，原点在绞车处，x 轴沿水平方向，y 轴竖直向下，任一时刻船的坐标为

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

$$y = h$$

其中 l 为这时的绳长，在绞车收绳过程中，l 随时间变短，故 l 是时间的函数，因此上式中 x 实际是时间的函数。

由速度定义

$$v_y = \frac{dy}{dt} = 0$$

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{l}{\sqrt{l^2 - h^2}} \frac{dl}{dt}$$

根据题意，绞车收绳过程中 l 随时间减小，故 $\frac{dl}{dt} = -v_0$，代入上式得

$$v_x = \frac{-l}{\sqrt{l^2 - h^2}} v_0 = -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x} v_0$$

$v_x < 0$ 表明船的速度方向与选定的 x 轴正方向相反。

又由加速度定义

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = 0$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = -v_0 \left[-\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x^2} + \frac{1}{x} \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} \right] \frac{dx}{dt}$$

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

$a_x < 0$ 表明船的加速度方向也和 x 轴方向相反。由于 a_x 与 v_x 同号，故v 、a 方向相同，船作加速率运动。又由解答可见 a_x 随 x 而变，即 a_x 随时间而变，因此船作变加速运动。

1.4　如题 1.4 图所示，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 v_0 步行。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。

题 1.4 图

解　以过灯的垂线与水平面的交点为原点建立坐标，设头顶影子的速度为 v，按速度定义有

$$v = \frac{d(x + x')}{dt} = \frac{dx}{dt} + \frac{dx'}{dt} = v_0 + \frac{dx'}{dt}$$

由 $\frac{H}{x+ x'} = \frac{h}{x}$ 得

$$x' = \frac{hx}{H - h}$$

于是 $\frac{dx'}{dt} = \frac{h}{H - h}\frac{dx}{dt} = \frac{h}{H - h}v_0$，故

$$v = v_0 + \frac{hv_0}{H - h} = \frac{H}{H - h}v_0$$

1.5　以初速度 20 m/s 竖直上抛一物体以后，又以 10 m/s 的初速竖直上抛另一物体，在高度为 4 m 的地方相遇。试求上抛两物体的时间差为多少？

解　如果在时刻 t 相遇，则先抛的物体运动了时间 t，后抛的物体运动了 t- Δt 的时间，由自由落体公式得

$$20t - \frac{1}{2}gt^2 = 4 \qquad ①$$

$$10(t - \Delta t) - \frac{1}{2}g(t - \Delta t)^2 = 4 \qquad ②$$

从①，②式得

$$t = \frac{20 \pm \sqrt{400 - 8g}}{g} \qquad ③$$

$$t - \Delta t = \frac{10 \pm \sqrt{100 - 8g}}{g} \qquad ④$$

先抛物体在下落的过程中与后抛物体相遇，③式的根号前取正号，而后抛物体是上升时相遇的，④式的根号前取负号。由③式减④式得

$$\Delta t = \frac{1}{g}\left(10 + \sqrt{400 - 8g} + \sqrt{100 - 8g}\right)$$

$$= \frac{1}{9.8}\left(10 + \sqrt{321.6} + \sqrt{21.6}\right) = 3.3\ \text{s}$$

1.6　某种飞机起飞时要有 240 km/h 的速率才能离开地面，若起飞的加速度是 7 m/s²，

(1) 它要在跑道上跑多长时间才能离开地面？在跑道上跑多远？

(2) 如果这架飞机要在航空母舰上起飞，而航空母舰上供起飞的跑道只有 100 m，那么在起飞时应该用弹射设备来使飞机得到一个多大的初速度？

解　(1) 由静止起飞　$v = 0 + at$

$$t = \frac{v}{a} = \frac{240\times 10^3}{3.6\times 10^3\times 7} = 9.5\ \text{s}$$

$$L = \frac{v^2}{2a} = \left(\frac{240}{3.6}\right)^2\times\frac{1}{2\times 7} = 317.5\ \text{m}$$

(2) $v^2 = v_0^2 + 2aS$

$$v_0^2 = v^2 - 2aS = \left(\frac{240}{3.6}\right)^2 - 2\times 7\times 100 = 3044\ \text{m}^2/\text{s}^2$$

所以 $v_0 = 55.2\ \text{m/s}$

1.7 用炮弹射击离炮台水平距离为 5000 m, 高度为 200 m 处山坡上的目标, 已测出从炮弹出口到击中目标所经过的时间为 15 s, 若不计空气的阻力, 求:

(1) 炮筒的仰角;

(2) 炮弹的出口速度;

(3) 炮弹所能达到的最大高度;

(4) 命中目标时炮弹的速度。

解 (1) 设 $t = 0$ 时, 炮弹从炮口射出。选炮口为原点, x 轴和 y 轴分别沿水平方向和竖直方向。设目标的位置 $x = R, y = H$, 炮弹的初速度 v_0 沿 x 轴和 y 轴的分量分别为

$$v_{0x} = v_0\cos\alpha \quad v_{0y} = v_0\sin\alpha$$

设 t 为炮弹击中目标时间, 按抛体运动规律有

$$t = \frac{R}{v_{0x}} = \frac{5\,000}{v_0\cos\alpha} = 15, \quad \text{即 } v_0\cos\alpha = \frac{1\,000}{3}$$

$$H = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 = v_0\sin\alpha\times 15 - \frac{1}{2}\times 9.8\times (15)^2 = 200$$

即

$$v_0\sin\alpha = \frac{1\,303}{15} = 87$$

于是有 $\tan\alpha = 0.26$, $\alpha = 14°36'$

(2) $v_0 = \dfrac{1\,000}{3\cos 14°36'} = \dfrac{1\,000}{3\times 0.968} = 344.4\ \text{m/s}$

(3) 设炮弹能达到的最大高度为 H_{max}, 有

$$H_{max} = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{(v_0 \sin\alpha)^2}{2g} = \frac{(87)^2}{2\times 9.8} = 386\ \text{m}$$

(4) 设击中目标时的速度为 v, 其分量为 v_x, v_y, 有

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos\alpha = 344.4 \times 0.968 = 333.4\ \text{m/s}$$

$$v_y = v_0 \sin\alpha - gt = 344.4 \times 0.252 - 9.8 \times 15 = -60.2\ \text{m/s}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 339\ \text{m/s}$$

设v 与 x 轴的夹角为 θ, 有

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-60.2}{333.4} = -0.181$$

所以 θ = -10°16′, 负号表示为俯角。

1.8 如题 1.8 图(a)所示, 一人乘摩托车在水平方向行驶, 要在 A 处越过 5 m 宽的壕沟, 如果沟对面比 A 处低 1.25 m, 问摩托车的速度至少要有多大?

(a) (b)

题 1.8 图

解 设摩托车在 A 处的速度为 v_0, 沟宽为 R, 两沟面高低差为 h, 如题 1.8 图(b)所示。按平抛运动规律有

$$R = v_0 t \qquad ①$$

$$-h = -\frac{1}{2} g t^2 \qquad ②$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com