

大学物理学习指导

胡亚联 余仕成 主编



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

大学物理学习指导

主 编 胡亚联 余仕成

参 编 黄祝明 何菊明 殷 勇 张 昱

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/胡亚联,余仕成主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2005.1

ISBN 7-5629-2181-4

I. 大…

II. ①胡… ②余…

III. 物理学-高等学校-自学参考资料

IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 003826 号

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.techbook.com.cn>

印刷者:武汉理工大印刷厂

经销者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:15.25

字 数:380 千字

版 次:2005 年 1 月第 1 版

印 次:2005 年 1 月第 1 次印刷

印 数:3300 册

定 价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

序

物理学以研究物质世界的基本规律和本质属性为己任。物理学鞭辟入里的分析方法、高屋建瓴的思维模式、辩证唯物的认识论和世界观以及所展现出来的和谐、对称、统一的科学美,使得她自面世以来,就一直是自然科学的带头学科和坚实支柱。

物理学对自然科学的发展、社会生产力的进步所起的巨大推动作用决定了大学物理学这一课程在高等教育中的地位。大学物理学是理工科大学学生学习一切工程技术知识,培养科学素养和科学情趣的最重要的基础课。在从事大学物理教学和研究的二十多年的生涯中,经常听到有学生对我说:“物理太难学了”、“物理课我听懂了,但就是不会做题”。其实,大学物理并不是简单的公式和概念的罗列,而是科学的思维和研究方法的有机整合。看懂了、听懂了不等于掌握了,记住了公式和概念不等于融会贯通了。因此,大学物理教育工作者的任务不仅仅是传授给学生多少物理知识,更重要的是培养学生的自学能力、创新能力、思维能力、分析和解决实际问题的能力。我们应当传给学生猎枪和狩猎的方法,让学生自己在自然科学的森林中去猎取无穷无尽的食粮。

大学物理学的教学实践表明,学生非常需要一本课外自学指导书。目前国内出版的此类书籍虽有数十余种,但真正适合一般工科本科院校的并不太多。武汉工程大学理学院物理教研室胡亚联、余仕成等六位老师基于长期的教学经验,编写了《大学物理学习指导》一书。本书采取由浅入深、循序渐进的方式,详细阐述了物理学的基本原理、概念和常用公式以及学习大学物理学的基本方法。理工科大学学生时常感到物理知识的混乱和困惑,但随着本书对大学物理重点和难点循循善诱的分析而豁然开朗,将会感觉到物理学的线条其实是那样的简单和明晰。本书通过对大学物理学常见例题的讲述,较为系统地介绍了大学物理习题的解题方法和技巧,这对于提高学生分析和解决实际问题的能力是大有帮助的。

本书特色鲜明,是一本适合一般工科院校本科生学习《大学物理学》的辅导读物,也是一本大学物理教育工作者的很好的教学参考书。相信读者在仔细读完本书后,一定会在物理知识方面有较大的收获。

吴 锋

二〇〇四年十一月十九日于化苑

前 言

大学物理课程是理工科大学学生的一门重要的基础理论课,“做习题”既是学生巩固在课堂上所学知识的必要途径,也是运用所学知识解决实际问题的一种训练。长期坚持认真做好每一道习题有助于严谨科学作风的培养;做一定数量的习题有助于熟练掌握物理概念和物理规律,有助于提高分析问题和解决问题的能力。

教师在课堂上讲解例题是为学生“做习题”做示范,教材和参考书上的例题也是一种示范。很多学生有这样的感受:“听”得懂,“看”得懂,就是自己不会“动”。但是,只有学生自己会“动”手完成作业才是掌握相关物理知识的体现和手段。学生应按如下步骤和要求完成物理作业:

1. 复习:学生在课后应认真复习,包括看课堂笔记、教材和参考书。一定在复习好的基础上再做作业,切不可急于“赶”作业。

2. 审题:要认真“读题”和审题,在弄清题意后,简要写出已知条件和待求物理量。

3. 画示意图:要认真画出必要的示意图,并建立必要的坐标系。

4. 明确方法:要根据已知条件和物理概念与规律,选择解题方法,要做到思路清晰、论证严谨、列方程有依据。

5. 求文字解:对给定数据的计算题一定要养成先求文字解的良好习惯,对得到的文字解应作量纲检查及合理性分析。最后代入数据计算出数值结果,并注明单位。数值计算过程中要注意单位运算和有效数字的运算。

6. 结果讨论:要对结果进行必要的讨论,这样可加深对某一类物理问题的理解,起到举一反三的作用。

在现行的教育体制改革中,中学物理教学内容减少了,基本要求降低了,但大学物理的教学内容没有减少,基本要求没有降低,教学课时没有增加;并且高等院校扩大招生后,大学新生的基础知识相对薄弱了。这些情形既增大了教师的教学难度,也导致学生学习和掌握大学物理知识更加困难。为了克服这些困难,学生应花更多的课外时间来学习大学物理,本书正是为这一目的而编写的。

本书按照大学物理的教学内容分单元编写,每一单元分基本要求、基本概念与规律、典型例题。基本要求是参照教育部高等学校工科物理课程教学指导委员会下发的《大学物理课程教学基本要求》,针对一般性高等学校工科专业的学生提出的。基本要求中对各知识点的要求分了解、理解和掌握等层次,学生应将要求理解和掌握的知识点当作重点;基本概念与规律是对该单元教学内容的简要总结,并配有体现该单元各相关概念和规律之间关系的“知识脉络图”,便于学生复习时参考;典型例题部分是本书的重点内容,选配了各单元中与重要知识点相关的例题,这部分可作为习题课的补充。在编写题解时,我们努力做到启发、引导、规范、一题多解,以期对学生分析问题、解决问题能力的提高有所帮助。学生在学习这部分内容时,应注重解题方法的正确运用。书后配有检测题,以备学生自测使用。

本书第一、二、三单元由余仕成执笔;第四、五、六单元由张昱、余仕成执笔;第七、八单元由殷勇执笔;第九、十、十七单元和各单元知识脉络图由何菊明执笔;第十一、十二、十三单元由胡亚联执笔;第十四、十五、十六单元由黄祝明、胡亚联执笔。本书统稿工作由胡亚联、余仕成完

成。

本书出版过程中,得到了武汉工程大学教务处、理学院和武汉理工大学出版社的关心和支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,编写时间仓促,书中难免有不足和错误之处,敬请老师和同学们提出宝贵的意见。

编 者

2004 年 12 月

目 录

第一单元 质点运动学	(1)
一、基本要求	(1)
二、基本概念与规律	(1)
三、典型例题	(3)
第二单元 质点动力学	(7)
一、基本要求	(7)
二、基本概念与规律	(7)
三、典型例题	(11)
第三单元 刚体力学	(17)
一、基本要求	(17)
二、基本概念与规律	(17)
三、典型例题	(20)
第四单元 相对论基础	(26)
一、基本要求	(26)
二、基本概念与规律	(26)
三、典型例题	(29)
第五单元 气体分子运动论	(35)
一、基本要求	(35)
二、基本概念与规律	(35)
三、典型例题	(38)
第六单元 热力学基础	(44)
一、基本要求	(44)
二、基本概念与规律	(44)
三、典型例题	(48)
第七单元 静电场	(53)
一、基本要求	(53)
二、基本概念与规律	(53)
三、典型例题	(57)
第八单元 稳恒磁场	(65)
一、基本要求	(65)
二、基本概念与规律	(65)
三、典型例题	(69)
第九单元 静电场中的导体、电介质	(76)
一、基本要求	(76)
二、基本概念与规律	(76)

三、典型例题·····	(78)
第十单元 介质中的磁场·····	(85)
一、基本要求·····	(85)
二、基本概念与规律·····	(85)
三、典型例题·····	(88)
第十一单元 电磁感应与电磁场·····	(91)
一、基本要求·····	(91)
二、基本概念与规律·····	(91)
三、典型例题·····	(97)
第十二单元 振动·····	(109)
一、基本要求·····	(109)
二、基本概念与规律·····	(109)
三、典型例题·····	(120)
第十三单元 波动·····	(129)
一、基本要求·····	(129)
二、基本概念与规律·····	(129)
三、典型例题·····	(136)
第十四单元 光的干涉·····	(147)
一、基本要求·····	(147)
二、基本概念与规律·····	(147)
三、典型例题·····	(159)
第十五单元 光的衍射·····	(164)
一、基本要求·····	(164)
二、基本概念与规律·····	(164)
三、典型例题·····	(173)
第十六单元 光的偏振·····	(178)
一、基本要求·····	(178)
二、基本概念与规律·····	(178)
三、典型例题·····	(183)
第十七单元 量子力学基础·····	(186)
一、基本要求·····	(186)
二、基本概念与规律·····	(186)
三、典型例题·····	(191)
模拟试题一·····	(196)
模拟试题二·····	(199)
模拟试题三·····	(202)
模拟试题四·····	(205)
模拟试题五·····	(209)
模拟试题六·····	(212)
模拟试题七·····	(215)

模拟试题八..... (218)

模拟试题九..... (221)

模拟试题十..... (224)

模拟试题参考答案..... (227)

附表一 基本物理常数..... (231)

附表二 国际单位制(SI)简介..... (232)

第一单元 质点运动学

一、基本要求

- (1)理解理想模型——质点、参考系和坐标系的概念。
- (2)掌握描述质点运动的基本量:位置矢量、位移、速度、加速度的概念和特点(矢量性、瞬时性、相对性),并学会计算方法。
- (3)掌握用自然坐标求切向加速度和法向加速度。
- (4)根据质点在平面内的运动方程,能熟练地求出任意时刻的位置矢量、速度、加速度。了解已知质点的加速度或速度,求速度或运动方程。
- (5)理解相对运动、相对速度。

二、基本概念与规律

1. 参考系与坐标系

为了(定性)描述一个物体的运动状态,选作参考的另一物体称为参考系。参考系选定后,必须在参考系上建立一个适当的坐标系(坐标系的原点固定在参考系中),才能定量地描述物体的位置和它的运动状态。常用的坐标系有直角坐标系、自然坐标系等。

2. 质点与质点系

将被研究的物体看作一个只具有质量而没有大小和形状的几何点,称为质点。由若干相互作用的质点组成的质点系统,简称为质点系。

质点是力学中重要的基础模型,它忽略了实在物体的形状和大小。一个物体能否当作质点取决于以下两个因素:一是物体的尺度 d 与相关距离 l 的比值 d/l ;二是物体的运动形式。如在研究地球绕太阳公转的运动形式时,由于地球的尺度(地球直径)与日地距离(相关距离)的比值很小,这时可将地球当作质点。

3. 质点运动矢量描述的四个基本物理量

(1)位矢 r :从坐标原点指向质点所在处的有向线段叫做该质点的位置矢量,简称位矢。它描述了质点在空间中的位置。质点运动时,它的位矢是随时间变化的,则位矢 r 为时间 t 的矢量函数,一般表示为 $r=r(t)$,这样的表达式称为质点的运动方程(矢量形式)。运动方程在直角坐标系中的分量形式为: $x=x(t)$, $y=y(t)$, $z=z(t)$;在自然坐标系中的形式为 $s=s(t)$ 。

(2)位移 Δr :某一质点运动过程中(经历时间为 $\Delta t=t_2-t_1$),由起始位置(对应时刻 t_1)指向终止位置(对应时刻 t_2)的有向线段叫做位移矢量,简称位移。它描述了运动质点的位置变化。与位移相联系的另一物理量是路程 Δs ,其定义是质点在某一运动过程中在空间走过的实际轨迹的长度。但路程 Δs 是标量,且总有 $\Delta s \geq |\Delta r|$ (什么情况下才取等号?)。在运动过程时间 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下,它们对应的无限小量是相等的,即 $ds=|dr|$ 。另外,当始末位置一定时,则位移是唯一确定的,但可有许多不同的路程。

在同一参考系中,选不同的坐标(原点)来描写质点的运动时,质点的位矢不同,但位移相

同。

(3)速度 v :描述质点运动快慢的物理量。相关的物理量有四个:

平均速度: $\bar{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$, 近似地描述质点在 Δt 时间内的平均快慢。其近似程度决定于 Δt 的大小。

瞬时速度: $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$, 瞬时速度也简称为速度, 其大小精确地描述质点在 t 时刻运动的快慢, 其方向就是 t 时刻质点运动的方向, 即质点所在处的轨道切线方向, 并指向质点的运动方向。

平均速率: $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, 它也近似地描述质点在 Δt 时间内的平均快慢。

瞬时速率: $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$, 瞬时速率也简称为速率, 它等于瞬时速度的大小, 但平均速率不一定等于平均速度的大小, 有 $\bar{v} \geq |\bar{v}|$ 。

(4)加速度:描述质点速度变化快慢的物理量。同样地有平均加速度 $\bar{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ 和瞬时加速度 $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}$ 。加速度的大小和方向也可以从动力学的角度进行判断。

在理解这四个物理量时, 要注意以下几点:

①矢量性。在上述定义中, 这四个物理量都定义为矢量, 需要特别注意矢量的方向和运算规则。在较复杂的问题中, 可以建立坐标系, 对相应物理量的坐标分量进行运算, 如加速度在直角坐标系中有:

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2} \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \\ \text{或: } a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}, \\ \text{方向可用方向余弦表示。} \end{cases}$$

加速度在自然坐标系中有:

$$\begin{cases} a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2} \\ a_n = \frac{v^2}{\rho} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{a} = a_\tau \boldsymbol{\tau} + a_n \mathbf{n} \\ \text{或: } a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}, \\ \text{方向用与速度方向的夹角 } \alpha = \arctan \frac{a_n}{a_\tau} \text{ 来表示。} \end{cases}$$

上式中, a_τ 为切向加速度, 描述速度大小的变化快慢; a_n 为法向加速度, 描述速度方向的变化快慢。

②瞬时性。在四个物理量中, 位置矢量、速度和加速度都具有瞬时性, 而位移矢量对应于某一时间间隔。

③相对性。四个物理量都是相对于某一参考系定义的, 故在分析具体问题时, 首先要选定参考系。

4. 经典力学的平动坐标系变换(伽利略变换)

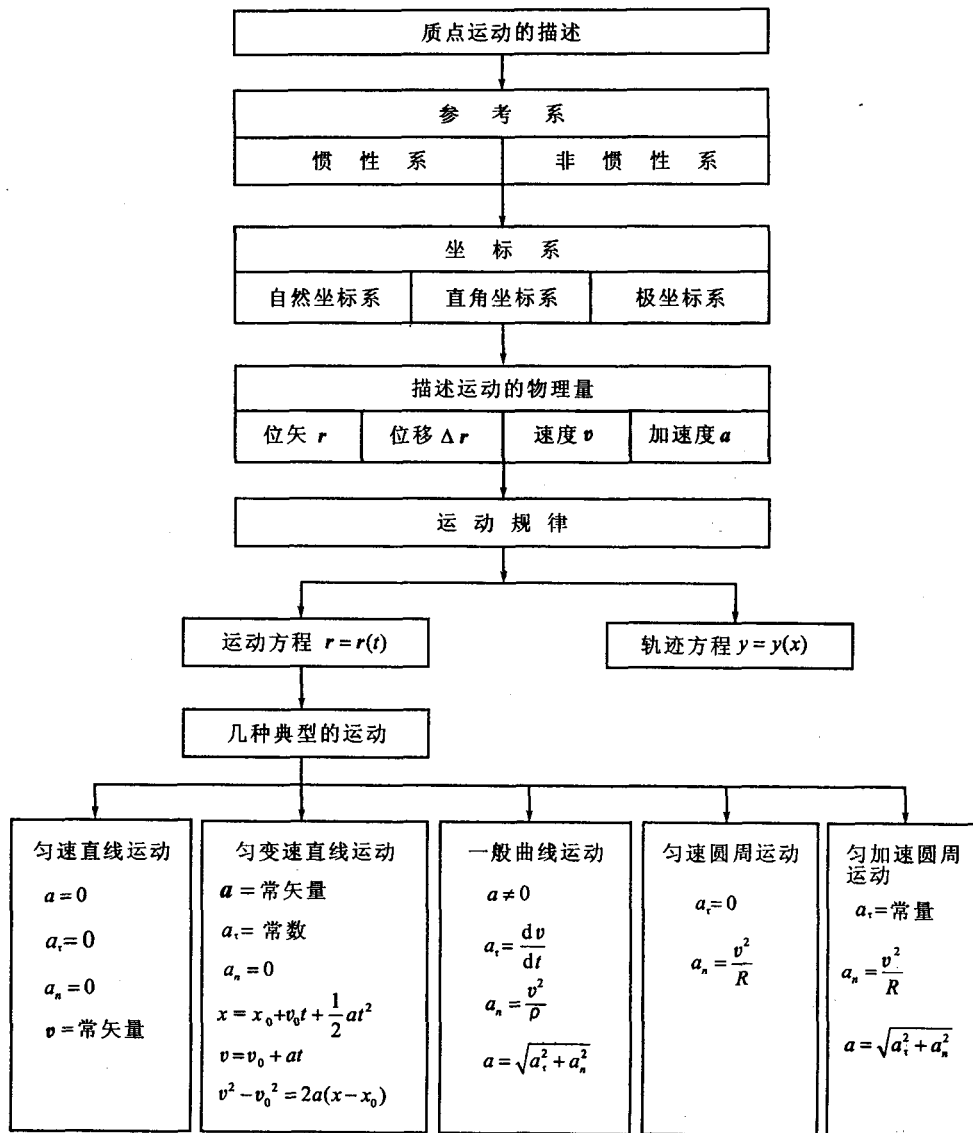
$$\mathbf{r}_{P \text{ 对 } K} = \mathbf{r}_{P \text{ 对 } K'} + \mathbf{r}_{K' \text{ 对 } K}$$

$$\mathbf{v}_{P \text{ 对 } K} = \mathbf{v}_{P \text{ 对 } K'} + \mathbf{v}_{K' \text{ 对 } K}$$

$$a_{P\text{对}K} = a_{P\text{对}K'} + a_{K'\text{对}K}$$

其中 P 表示研究对象, K 和 K' 表示两个相对运动的参考系。解相对运动问题常用速度变换式, 要注意以下几点: (1) 要确定一个研究对象 P , 两个作相对运动的参考系 K 和 K' , 并弄清楚伽利略速度变换式中各矢量的具体意义, 哪些量的大小或方向是已知的? 哪些量的大小或方向是未知的? (2) 作出矢量加减法运算图。(3) 常要用到解斜三角形的知识。

5. 知识脉络图



三、典型例题

在质点运动学中, 主要有两大类问题: 在某一参考系中质点运动的描述问题和不同参考系之间的相对运动问题。在质点运动的描述问题中, 又可分两类基本问题:

(1) 微分问题: 位矢 $r \xrightarrow{\text{微分}}$ 速度 $v \xrightarrow{\text{微分}}$ 加速度 a , 即已知运动方程, 利用速度和加速度的微

分定义式进行计算。

(2) 积分问题: 位矢 $r = \int v dt \xleftarrow{\text{积分}}$ 速度 $v = \int a dt \xleftarrow{\text{积分}}$ 加速度 a , 上式中的积分在具体问题中常常是定积分。

【例 1.1】 飞轮作加速转动时, 轮边缘上一点的运动方程为 $s = 0.1t^3$ (SI)。飞轮半径为 2m。当此点的速率 $v = 30\text{m/s}$ 时, 其切向加速度和法向加速度各为多少?

分析: 此题属于微分问题, 给定的运动方程是自然坐标系中的形式。

解: 因为
$$v = \frac{ds}{dt} = 0.3t^2$$

当 $v = 30 = 0.3t^2$, 则 $t = 10\text{s}$ 。

所以
$$a_t = \frac{dv}{dt} = 0.6t = 6(\text{m/s}^2)$$

$$a_n = v^2/R = \frac{30^2}{2} = 450(\text{m/s}^2)$$

【例 1.2】 质点 M 在水平面内的运动轨迹如图 1.1 所示, OA 段为直线, AB 、 BC 段分别为不同半径的两个 $1/4$ 圆周。设 $t = 0$ 时, M 在 O 点, 已知运动学方程为

$$S = 30t + 5t^2 \text{ (SI)}$$

求 $t = 2\text{s}$ 时刻, 质点 M 的切向加速度和法向加速度。

解: 此题属于微分问题, 给定的运动方程是自然坐标系中的形式, 注意轨迹由不同形式的线段连接而成。首先求出 $t = 2\text{s}$ 时质点在轨迹上的位置:

$$S = 80(\text{m})$$

则 $t = 2\text{s}$ 时质点在大圆上运动。

各瞬时质点的速率:

$$v = dS/dt = 30 + 10t$$

故 $t = 2\text{s}$ 时, $v = 50\text{m/s}$ 。

因此, 各瞬时质点的切向加速度和法向加速度分别为:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2} = 10\text{m/s}^2$$

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} = \frac{(30 + 10t)^2}{\rho}$$

故 $t = 2\text{s}$ 时, $a_t = 10\text{m/s}^2$, $a_n = 83.3\text{m/s}^2$ 。

【例 1.3】 如图 1.2 所示, 质点 P 在水平面内沿一半径为 $R = 2\text{m}$ 的圆轨道转动。转动的角速度 ω 与时间 t 的函数关系为 $\omega = kt^2$ (k 为常量)。已知 $t = 2\text{s}$ 时, 质点 P 的速度值为 32m/s 。试求 $t = 1\text{s}$ 时, 质点 P 的速度与加速度的大小。

解: 此题属于微分问题, 给定的是角速度与时间的关系, 要注意利用角量和线量的关系。根据已知条件确定常量 k 。

$$k = \omega/t^2 = v/(Rt^2) = 4(\text{rad/s}^3)$$

则

$$\omega = 4t^2, \quad v = R\omega = 4Rt^2$$

当 $t = 1\text{s}$ 时, $v = 4Rt^2 = 8(\text{m/s})$

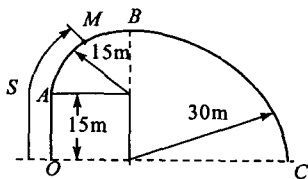


图 1.1 例 1.2 图

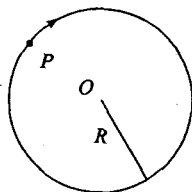


图 1.2 例 1.3 图

切向加速度: $a_t = dv/dt = 8Rt = 16(\text{m/s}^2)$

法向加速度: $a_n = v^2/R = 32(\text{m/s}^2)$

加速度的大小: $a = (a_t^2 + a_n^2)^{1/2} = 35.8(\text{m/s}^2)$

【例 1.4】某物体的运动规律为 $dv/dt = -kv^2t$, 式中的 k 为大于零的常数。当 $t=0$ 时, 初速度为 v_0 , 求速度 v 与时间 t 的函数关系。

解: 此题属于积分问题, 已知加速度 $a(t)$, 通过积分求速度, 注意速度 v 是随时间变化的量。由 $\frac{dv}{dt} = -kv^2t$ 分离变量得 $-\frac{dv}{v^2} = kt dt$, 两边积分:

$$\int_{v_0}^v -\frac{dv}{v^2} = \int_0^t kt dt$$

得:

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} = \frac{kt^2}{2}$$

则 $\frac{1}{v} = \frac{1}{v_0} + \frac{kt^2}{2}$ 即为所求的速度 v 与时间 t 的函数关系。

【例 1.5】一质点沿 X 轴运动, 其加速度 a 与位置坐标 x 的关系为 $a = 2 + 6x^2(\text{SI})$ 。如果质点在原点处的速度为零, 试求其在任意位置处的速度。

解: 此题亦属于积分问题, 但已知的加速度是随坐标 x 的变化形式。解答时不能直接进行积分, 需要根据复合函数的导数法则, 通过分离变量变为标准积分形式然后积分。

由 $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{v dv}{dx}$ 及 $a = \frac{dv}{dt} = 2 + 6x^2$ 得:

$$(2 + 6x^2) dx = v dv$$

两边积分

$$\int_0^v v dv = \int_0^x (2 + 6x^2) dx$$

得:

$$\frac{v^2}{2} = 2x + 2x^3$$

所以

$$v = 2\sqrt{x + x^3} \quad (\text{m/s})$$

【例 1.6】某人骑自行车以速率 v 向正西方行驶, 遇到由北向南刮的风(设风速大小也为 v), 则他感到风是从什么方向吹来?

解: 此题属于相对运动问题。选风为研究对象 P , 地面和人分别为两个参考系 K 和 K' , 已知人相对于地面的速度 $v_{K'K}$ 的大小和方向以及风相对于地面的速度 v_{PK} 的大小和方向, 要求解的是风相对于人的速度 $v_{PK'}$, 由伽利略速度变换式 $v_{PK} = v_{PK'} + v_{K'K}$ 作出矢量图如图 1.3 所示。由图和已知条件可得到人感到的是西北风。

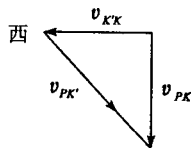


图 1.3 例 1.6 图

【例 1.7】一飞机相对于空气以恒定速率 v 沿正方形轨道飞行, 在无风天气其运动周期为 T 。若有恒定小风沿平行于正方形的一对边吹来, 风速为 $V = kv$ ($k \ll 1$)。求飞机仍沿原正方形(对地)轨道飞行时周期要增加多少?

解: 以飞机为研究对象 P , 地面为 K 系, 风为 K' 系, 速率 v 和 V 分别是飞机和风相对于地面的速度, 正方形是地面所观察到的运动轨迹形式。

设正方形边长为 L , 则无风时 $L = vT/4$ 。

在有风天气为使飞机仍在正方形轨道上飞行, 飞机在每条边上的航行方向(相对于空气的速度方向)和飞行时间均须作相应调整, 如图 1.4 所示(图中风速从左向右)。

令: $L = (v+V)t_1 = (v-V)t_2 = v't_3$

其中: $v'^2 + V^2 = v^2$

新的运动周期为:

$$\begin{aligned} T' &= t_1 + t_2 + 2t_3 = \frac{L}{v+V} + \frac{L}{v-V} + \frac{2L}{\sqrt{v^2 - V^2}} \\ &\approx \frac{L}{v} \left[(1-k+k^2) + (1+k+k^2) + 2\left(1 + \frac{1}{2}k^2\right) \right] \\ &= \frac{4L}{v} + \frac{3k^2L}{v} = T \left(1 + \frac{3k^2}{4}\right) \end{aligned}$$

则周期增加: $\Delta T = T' - T = \frac{3}{4}k^2 T$

【例 1.8】 当火车静止时,乘客发现雨滴下落方向偏向车头,偏角为 30° ,当火车以 35m/s 的速率沿水平直路行驶时,发现雨滴下落方向偏向车尾,偏角为 45° ,假设雨滴相对于地的速度保持不变,试计算雨滴相对地的速度大小。

解:选雨滴为研究对象 P ,地面为 K 系,火车为 K' 系,注意偏角都是相对于竖直方向。

已知:雨滴对地面速度 $(v_{PK}) v_a$ 的方向偏前 30° ,火车行驶时,雨滴对火车的相对速度 $(v_{PK'}) v_r$ 偏后 45° ,火车速度 $(v_{KK'}) v_t = 35\text{m/s}$,方向水平。

矢量图如图 1.5,由伽利略速度变换: $v_a = v_r + v_t$,其水平方向投影和竖直方向投影分别为:

$$v_a \sin 30^\circ = v_t - v_r \sin 45^\circ$$

$$v_a \cos 30^\circ = v_r \cos 45^\circ$$

由此二式解出:

$$v_a = \frac{v_t}{\sin 30^\circ + \sin 45^\circ \frac{\cos 30^\circ}{\cos 45^\circ}} = 25.6(\text{m/s})$$

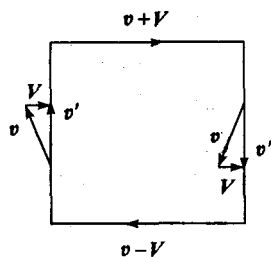


图 1.4 例 1.7 图

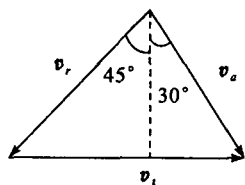


图 1.5 例 1.8 图

第二单元 质点动力学

一、基本要求

- (1)掌握牛顿三定律的物理实质和适用条件,了解惯性系和非惯性系的概念。
- (2)掌握动量和冲量的概念及动量原理,并理解各量的矢量性、状态过程的特征,熟练掌握动量守恒定律及其适用条件,特别是二维问题。
- (3)掌握功的定义,能熟练计算作用在质点上变力做的功,理解功与过程有关的性质。
- (4)掌握保守力做功的特点及势能的概念,掌握重力势能、万有引力势能和弹簧的弹性势能的概念、势能曲线及其计算方法,特别注意势能零点的选择。
- (5)掌握质点与质点系的动能定理、机械能守恒定律,并能联系动量守恒定律分析、解决简单力学系统在平面内运动的力学问题。
- (6)理解对心碰撞中的完全弹性和完全非弹性碰撞。

二、基本概念与规律

1. 惯性参考系

牛顿第一定律(惯性定律)成立的参考系称为惯性参考系。牛顿第一定律不成立的参考系称为非惯性参考系。

2. 牛顿运动定律

第一定律(惯性定律):任何物体都保持静止或匀速直线运动状态,直到其他物体对它作用的力迫使它改变这种状态为止。

第二定律:

$$F = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{dp}{dt}$$

当 m 为常量时, $F = ma$ 。

第三定律:作用力与反作用力大小相等,方向相反,在同一直线上(但作用在不同的物体上)。

理解牛顿运动定律时应注意:

(1)牛顿运动定律的适用条件:仅适用于惯性参考系;仅适用于物体速度比光速低得多的情况,不适用于接近光速的高速运动物体,在高速情况下,必须应用相对论力学,牛顿力学是相对论力学的低速近似;一般仅适用于宏观物体,在微观领域中,要应用量子力学,而牛顿力学是量子力学的宏观近似。

(2)牛顿第二定律是牛顿力学体系的核心,质量 m 是物体惯性的量度,反映了物体保持原来运动状态的本领;第二定律方程是基本的动力学方程,它说明了物体所受合力与动量变化率的瞬时关系。

(3)利用牛顿运动定律解决动力学问题的方法步骤可概括为:选物体,查受力,看运动,建坐标,列方程,解方程。

(4)受力分析是解决动力学问题的重要过程,要掌握以下常见力的特征和相关计算方法:

万有引力、重力、弹性力(弹簧的弹性力、绳中的张力、支持力等)、摩擦力(静摩擦力、滑动摩擦力)。

(5)力学问题常将动力学问题和运动学问题结合起来,一般可将力学问题分为两类:一类是已知力求运动,这类问题与运动学中的积分问题相关联;另一类是已知运动求力,这类问题与运动学中的微分问题相关联。

3. 惯性力

在非惯性系中,为了使牛顿运动定律在形式上能够成立,引入了惯性力这种虚拟力,特别是在第二定律中,在物体所受合力中加入惯性力,就可以利用它来分析和处理非惯性系中的物体运动问题。

在平动加速参考系中的惯性力: $F_{\text{惯}} = -ma$;

在转动参考系中的惯性力称为惯性离心力: $F_i = m\omega^2 r$ 。

4. 动量定理

冲量:表示力对时间的积累作用。

恒力冲量: $I = F\Delta t$;

变力在无限小作用时间内的元冲量: $dI = Fdt$;

变力在时间 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内的冲量: $I = \int_{t_1}^{t_2} Fdt$ 。

动量定理:反映动量变化与力的冲量的矢量关系。

微分形式: $Fdt = dp$,即合外力的元冲量等于质点(或质点系)动量的微小增量。

积分形式: $\int_{t_0}^t Fdt = p - p_0$,即合外力的冲量等于质点(或质点系)动量的增量。

5. 动量守恒定律

当系统所受合外力为零时,

$$\sum_i p_i = \text{常矢量}$$

应用动量守恒定律时要注意:

(1)动量守恒的条件是合外力为零,即 $\sum_i F_i = 0$ 。但下面两种情况也可应用动量守恒定律:一是在外力相比内力小得多的情况下,外力对质点系的总动量变化影响甚微小,这时可认为近似满足守恒条件,也就是可近似地应用动量守恒定律;二是系统所受的外力矢量和并不为零,但合外力在某一坐标轴上的分量为零的情况,此时系统的总动量虽不守恒,但在该坐标轴的总动量的分量守恒。

(2)在动量守恒定律中,系统的动量是守恒量或不变量。由于动量是矢量,故系统的总动量不变是指系统内各物体动量的矢量和不变,而不是指其中某一个物体的动量不变,此外各物体的动量还必须都应相对于同一惯性参考系。

(3)动量守恒定律是物理学最普遍、最基本的定律之一。动量守恒定律虽然是从表述宏观物体运动规律的牛顿运动定律导出的,但近代的科学实验和理论分析都表明:大到天体间的相互作用,小到质子、中子、电子等微观粒子间的相互作用都遵守动量守恒定律;而在微观领域中,牛顿运动定律是不适用的。

6. 质心

质心是一个质点系的质量等效中心。