

50
D186

全国高等教育自学考试

物理(工)自学辅导

全国高等教育自学考试指导委员会组编

主 编 丁俊华 祁有龙
撰稿人 丁俊华 祁有龙
李镇敌

辽 宁 大 学 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

物理(工)自学辅导/丁俊华 祁有龙主编. - 沈阳: 辽宁大学出版社, 2002. 1

ISBN 7-5610-3935-2

I. 物… II. ①丁… ②祁… III. 物理-高等教育-自学考试-自学参考资料 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 21597 号

辽宁大学出版社出版

网址: <http://www.lnupress.com.cn>

Email: mailer@lnupress.com.cn

(沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码 110036)

开本: 880 毫米 × 1230 毫米 1/32 字数: 230 千字 印张: 8.5

丹东日报印刷厂印刷 印数: 50301 - 60300 册

2002 年 1 月第 1 版

2002 年 4 月第 5 次印刷

责任编辑: 红舸 浩东

责任校对: 张建红

定价: 14.00 元

版权所有 翻印必究

如有印刷质量问题请与当地教材供应部门联系调换

出版前言

为了完善高等教育自学考试教育形式,促进高等教育自学考试的发展,我们组织编写了全国高等教育自学考试自学辅导书。

自学辅导书以全国考委公布的课程自学考试大纲为依据,以全国统编自考教材为蓝本,旨在帮助自学者达到学习目标,顺利通过国家考试。

自学辅导书是高等教育自学考试教育媒体的重要组成部分,我们将根据专业的开考情况和考生的实际需要,陆续组织编写、出版文字、音像等多种自学媒体,由此构成与大纲、教材相配套的、完整的自学媒体系统。

全国高等教育自学考试指导委员会

2002年1月

目 录

第一篇 力 学

第一章 质点运动学和牛顿运动定律.....	3
本章小结.....	3
问题讨论.....	7
例题分析	10
第二章 守恒定律	25
本章小结	25
问题讨论	31
例题分析	36
复习题	48

第二篇 热 学

第三章 气体动理论	55
本章小结	55
问题讨论	56
例题分析	65
第四章 热力学基础	69
本章小结	69
问题讨论	72
例题分析	76
复习题	79

第三篇 电 磁 学

第五章 静电场	87
---------------	----

本章小结	87
问题讨论	92
例题分析	100
第六章 稳恒电流的磁场	116
本章小结	116
问题讨论	122
例题分析	131
第七章 电磁感应与电磁场	145
本章小结	145
问题讨论	148
例题分析	160
复习题	176

第四篇 振动、波动、波动光学

第八章 机械振动	185
本章小结	185
问题讨论	188
例题分析	191
第九章 机械波	197
本章小结	197
问题讨论	200
例题分析	202
第十章 电磁振荡与电磁波	206
本章小结	206
问题讨论	208
例题分析	210
第十一章 波动光学	212
本章小结	212
问题讨论	217
例题分析	220

复习题.....	224
----------	-----

第五篇 近代物理基础

第十二章 狭义相对论基础.....	235
本章小结.....	235
问题讨论.....	237
例题分析.....	238
第十三章 波和粒子.....	241
本章小结.....	241
问题讨论.....	245
例题分析.....	247
复习题.....	250
复习题参考答案及部分题解.....	254

第 一 篇

力 学

第一章 质点运动学和牛顿运动定律

本章小结

一、描述一个质点的机械运动状态需要知道以下情况以及反映这些情况的物理量:

任一时刻 t : 质点在哪儿

位矢 $\mathbf{r}(t)$

运动的快慢和方向

速度 $\mathbf{v}(t)$

运动快慢和方向的变化率

加速度 $\mathbf{a}(t)$

运动学就是用矢量 $\mathbf{r}(t)$ 、 $\mathbf{v}(t)$ 、 $\mathbf{a}(t)$ 来描述质点的运动状态。而且还可通过把运动分解为沿各个坐标轴方向的分运动,用位置、速度、加速度在坐标轴上的投影式来描述质点的运动状态。

无论是用矢量法还是用投影法,都必须先选定参考系和坐标系。在运动学问题中,参考系可以任意选择,视讨论问题方便而定。在本章中用到的坐标系是直角坐标系和自然坐标系,这是在力学中最常用的两种坐标系。

二、位矢 $\mathbf{r}(t)$ 、速度 $\mathbf{v}(t)$ 、加速度 $\mathbf{a}(t)$ 是运动学中的三个基本物理量。位矢 $\mathbf{r}(t)$ 是用来确定质点在空间相对于参考系的位置的。随着质点的运动,位矢 $\mathbf{r}(t)$ 随时而变,它是时刻 t 的函数;这函数反映了质点的运动规律,称为质点的运动方程。速度 $\mathbf{v}(t)$ 反映质点运动的快慢和方向,以位矢对时间的变化率 $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$ 来量度。加速度则反映运动快慢和方向变化的趋势,以速度对时间的变化率 $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$ 来量度。

三、对于速度和加速度,要掌握其瞬时性、矢量性和相对性。

1. **瞬时性**: 瞬时速度和瞬时加速度指的是质点在某一时刻的速度和

加速度,是用来描写该瞬时的运动或运动变化情况的。 $\mathbf{v}(t)$ 、 $\mathbf{a}(t)$ 都是随时变化的;对应于不同时刻 t ,其大小和方向都可能不同,是 t 的函数;这函数说明它们如何随时刻变化的规律。平均速度和平均加速度则是描述一段时间内的运动和运动变化的平均情况。一般说到“速度”和“加速度”两词,在不特别指明是瞬时的还是平均的情况下,都是指的瞬时速度和瞬时加速度。

2. 矢量性:速度与加速度都是矢量,除了数值大小以外,还有方向。速度的方向就是质点运动的方向;而加速度的方向是速度的改变的方向,即在时间间隔趋于零时,速度增量 $\Delta\mathbf{v}$ 的方向,加速度的方向和速度的方向并不相同。即使在直线运动中速度与加速度的方向也并不一定是同方向,也可以是相反方向。初学者对这一点往往容易有错觉,必须加以注意。

既然 $\mathbf{r}(t)$ 、 $\mathbf{v}(t)=\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ 、 $\mathbf{a}(t)=\frac{d\mathbf{v}}{dt}$ 都是矢量,可以直接用矢量运算法求它们之间的关系;也可以用解析方法用 $\mathbf{r}$ 、 $\mathbf{v}$ 、 $\mathbf{a}$ 在坐标轴上的投影式来描述质点的运动状态。

在直角坐标系中:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{r} &= x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k} \\ \mathbf{v} &= v_x\hat{i} + v_y\hat{j} + v_z\hat{k} \\ &= \frac{dx}{dt}\hat{i} + \frac{dy}{dt}\hat{j} + \frac{dz}{dt}\hat{k} \end{aligned} \right\} v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{a} &= a_x\hat{i} + a_y\hat{j} + a_z\hat{k} \\ &= \frac{dv_x}{dt}\hat{i} + \frac{dv_y}{dt}\hat{j} + \frac{dv_z}{dt}\hat{k} \end{aligned} \right\} a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

在求解质点的圆周运动问题时,还常采用自然坐标系把加速度 $\mathbf{a}$ 分解为法向加速度 $\mathbf{a}_n$ 和切向加速度 $\mathbf{a}_\tau$ 两个互相垂直的分量

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{a} &= \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_\tau \\ a_n &= \frac{v^2}{R}, a_\tau = \frac{dv}{dt} \end{aligned} \right\} a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$$

$\mathbf{a}_n$ 的方向沿半径指向圆心, $\mathbf{a}_\tau$ 的方向沿圆周切线,可能与速度 $\mathbf{v}$ 同方向,也可能与速度 $\mathbf{v}$ 相反方向。这种分解方法的优点是,把速度大小的变化和方向的变化区分开来分别加以定量描述。法向加速度表征速度方向的变化率而切向加速度表征速度大小的变化率。

3. 相对性:质点运动的位矢 $\mathbf{r}(t)$ 、速度 $\mathbf{v}(t)$ 、加速度 $\mathbf{a}(t)$ 的函数形式

都是相对于某一定的参考系的。同一质点的运动,相对于不同的参考系,一般会有不同的位矢、速度和加速度;而在两个有相对运动的参考系之间,存在有一定的速度或加速度变换公式。

四、在进行解题时,一种比较系统的方法是先用文字符号演算,得出结果的文字表达式,最后再代入题目所给的数据进行数值计算。这样做的好处在于:

1. 便于检查结果是否正确,如果错了也便于找出错误出在什么地方。

2. 从结果的文字式还可以对结果进行一般性的讨论。而且,如果在演算过程中某些量可以消去,则既可以了解到影响结果的真正因素,也可以节省不少数值计算的工作量。

五、牛顿三定律是经典质点动力学的基础和核心内容,它们是从实践中归纳出来的客观规律,是反映客观真理的基本原理,其正确性是在实践中被直接或间接证明了的。读者要对定律本身以及它们的相互联系有深入的理解,才能用来解决简单的质点动力学问题。

六、物体间并不是彼此孤立的,而是相互联系、相互作用的;而这种相互间的联系和作用在自然界中是多方面的,“力”就是从一个方面反映了这种相互作用,它是从机械运动方面反映了物体间的相互作用。力的概念是力学中最基本的概念,力不是凭空产生的,因此在分析力时应该从物体间的相互联系上去找寻力。在提到一个力时,必须弄清它是由哪个物体作用的(施力者),并作用在哪个物体上(受力者),切忌凭直觉、凭经验来猜测和判断。

七、任一物体都不可能完全不受外力作用,但由于相互制约的结果,所受的作用力可以互相抵消或互相平衡而不显出改变物体运动状态的效果。牛顿第一定律指出了当物体所受合外力等于零时,其运动与物体不受力时情形一样,即它的运动状态是静止或是作匀速直线运动。

八、第一定律还说明了物体具有保持其运动状态不变的顽强性,即**惯性**。力的作用迫使物体运动状态改变,而物体的惯性企图保持物体的运动状态不变。惯性是物质在运动中呈现的特性,是物质最基本的特性之一。量度惯性大小的量是**质量**。物质的特性是多方面的,惯性只是其中之一。

九、牛顿第二定律给出了力、质量与加速度之间的定量关系:

$$F=ma$$

对于牛顿第二定律,要掌握以下四方面:

1. **瞬时性:** $F=ma$ 是一个瞬时关系式,其中 F 是在某一时刻 t 物体所受的瞬时力, a 是同一时刻物体的瞬时加速度;过一段时间,在另一时刻,若 F 改变, a 也同时随着改变。 F 和 a 同时存在、同时改变、同时消失。

2. **矢量性:** $F=ma$ 是一个矢量式, F 和 a 都是有方向的矢量,等式左右不仅要大小相等,而且要方向相同。

在应用中,经常用牛顿第二定律沿选定坐标轴的投影式。常用的是直角坐标系:

$$F_x=ma_x$$

$$F_y=ma_y$$

$$F_z=ma_z$$

和自然坐标系:

$$F_n=ma_n$$

$$F_\tau=ma_\tau$$

3. **叠加性:** $F=ma$ 式中 F 是作用在物体上的所有力的合力。物体运动的加速度 a 是由合力所决定的而不仅仅由其中一个力所决定。例如,在教材中第一章 § 9[例1.6]中木箱所受的拉力 F 斜向右上方,但木箱的加速度 a 为水平向右; a 与拉力 F 不同方向,而且 ma 的大小也不等于拉力 F 的大小。这是因为木箱除了受拉力 F 以外,还同时受其他力 P 、 N 、 f ;而 a 的方向决定于这四个力的合力(图1—1。)

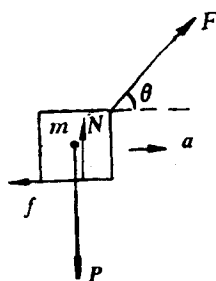


图1—1

合力和分力对受力物体的作用服从叠加原理。

4. **相对性:** 牛顿第二定律 $F=ma$ 只相对于惯性系成立,在非惯性系中不成立。

另外,牛顿定律只适用于宏观物体(即包含大量分子、原子的物体),一般不适用于微观粒子(个别分子、原子);且只适用于研究物体的低速运动问题(速度比光速小得多的情形),而不适用于研究物体的高速运动问题(速度接近于光速的情形)。

十、牛顿第三定律说明力的相互作用性质:

1. 作用力与反作用力等值、共线、反向,但是分别作用在不同物体上,因而不能互相平衡或抵消。
2. 作用力与反作用力是同时产生、同时消失,并不是先有作用力,然后才产生反作用力的。

问题讨论

一、关于速度的大小与加速度的大小间关系的讨论。一般地说,质点运动速度 v 的大小与加速度 a 之间不存在简单关系,质点速度大时,其加速度不一定大;反之,加速度大时,其速度也不一定大。速率为零时,其加速度不一定为零;反之,加速度为零时,其速率不一定为零。举例说明之:

1. 汽车从静止开始的起动阶段中,其速率 v 很小,但其加速度 $a \neq 0$ 而且很大。而当汽车在高速公路上飞速匀速行驶时,其速率 v 很大但其加速度 $a = 0$ 。

2. 单摆在铅垂平面内摆动,当摆锤在最高点时,其速率 $v = 0$,但其加速度 $a = g \sin \theta_0 \neq 0$ 。在摆锤向下摆动过程中,速率 v 增大而其切向加速度 $a_t = g \sin \theta$ 随着 θ 的减小而减小。当摆锤经过铅垂位置时,速率 v 最大而其切向加速度 $a_t = 0$ 。图1-2

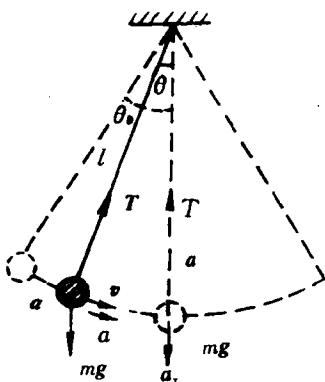


图1-2

二、速率 $v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|$, $v \neq \frac{dr}{dt}$ 。

不能把速率 v 误认为 $\frac{dr}{dt}$ 。因为按数学符号的意义, $\frac{dr}{dt}$ 代表位置矢量 $\mathbf{r}$ 的模 r (或绝对值 $|\mathbf{r}|$) 的变化率,而速率 $v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|$ 是位置矢量的变化率的模 (或绝对值)。二者的含义不同,一般地说,二者的数值也不相等。例如,一个沿圆周运动的质点,对圆心的位矢 $\mathbf{r}$ 的模 r 是常量,即 $\Delta r = 0$,故应有 $\frac{dr}{dt} = 0$;但位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的模 $|\Delta \mathbf{r}| \neq 0$,因而速率 $v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| \neq 0$ 如图1-3所示。

三、正确区分一对作用力与反作用力和一对平衡力。

一定要把作用力与反作用力这一对力和一对互相平衡的力区分开,这是检验我们对牛顿第三定律是否真正理解的一个重要方面。当一个物体同时受到两个力的作用而处于静止或匀速运动状态时,这两个力大小也相等,方向也相反,这样的一对力叫做平衡力。一对平衡力和一对作用力与反作用力的重要区别在于:一对平衡力是

同时作用于同一物体,而一对作用力与反作用力则分别作用在两个不同的物体上。例如,一静止在地面上的重物,它同时受到重力 P 和地面的支持力 N 两个力的作用而静止不动, P 和 N 是一对平衡力;而 P 的反作用力是重物对地球的吸引力 P' ,作用在地球上(P' 的作用点画在地心处); N 的反作用力是重物对地面的压力 N' ,作用在地面上(图1—4)。

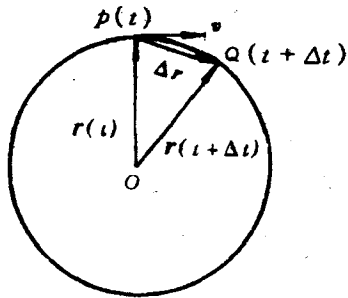


图1—3

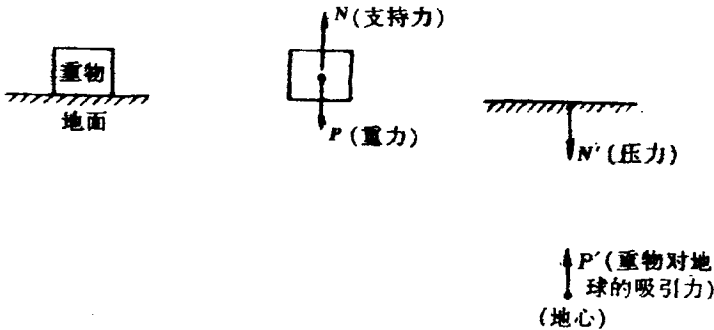


图1—4

四、在用牛顿定律解题时要准确选择研究对象方能得到所求的结果。例如在图1—4所示的例子中,怎样才能求出重物对地面的正压力 N' ? 有的读者也许会想:“重物对地面的正压力 N' 既然是作用在地面上的,能不能直接选地面为研究对象,对它进行受力和运动情况的分析以求出重物

对地面的正压力?”在本题中这样做是达不到目的的。因为牛顿第二定律告诉我们,是合力决定物体的加速度,如今对地面来说,除了重物对它有正压力作用以外,还有许多其他力的作用;而在本题中,其他力都是不知道的,所以无法用牛顿第二定律求出我们所要的正压力。只有利用牛顿第三定律先求它的反作用力,亦即先求地面对重物的支持力 N ,这就需要选重物为研究对象来进行分析了。在解力学习题时经常会遇到类似的问题,当某一待求的力直接求不出时,可以先求它的反作用力,然后再利用牛顿第三定律得到所求的力。

五、两物接触面间正压力的大小除了取决于两物间挤压程度的大小以外,还和接触物的运动状态有关。

例如在图1—1所示的例题中,有的读者以为“木箱以其本身的重量压在地面上,因而木箱对地面的正压力 N' 总应等于木箱的重力 mg 。”这种想法是不正确的。应该说木箱的重量是它所受的重力,不是它压其他物体的力,而且在本例中,木箱对地面的正压力小于木箱的重力 $N' = N = \frac{mg}{\mu \tan \theta + 1} < mg$ 。这是因为两接触面之间的正压力来源于接触物的弹性形变,而形变的程度取决于外界挤压程度的大小。本例中在竖直方向除了存在重力 mg 以外,还有拉力 F 的分力 $F \sin \theta$,这个向上的拉力减轻了接触面间的挤压程度,因而正压力减小。

正压力的大小还和接触物的运动状态有关。例如沿一斜面下滑的重物(图1—5),它对斜面的正压力也小于重物的重量, $N' = N = mg \cos \theta < mg$ 。这是因为接触面是倾斜的,在接触面的法线方向上,重物与斜面间互相挤压的程度不如重物与水平面间互相挤压的程度。另外,当接触物在法线方向有加速度时,正压力的大小也会随之改变;关于这个问题的详细讨论,见下面[例题4]和[例题5]。

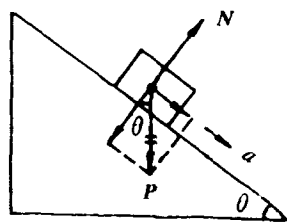


图1—5

例题分析

〔例题1〕 一质点沿 x 轴作直线运动, 已知其加速度 $a = -4t \text{ m/s}^2$, 在 $t=0$ 时刻的初位置 $x_0 = 5 \text{ m}$, 初速度 $v_0 = 8 \text{ m/s}$ 。求: (1) 质点各时刻的速度和位置的表达式; (2) 在 $t=1, 2, 4 \text{ s}$ 时刻, 质点的速度和位置。

〔解〕 (1) 这是一个已知加速度 $a(t)$, 求速度 $v(t)$ 和位置 $x(t)$ 的问题。因为 $a(t) = \frac{dv}{dt}$, 由 $a(t)$ 求 $v(t)$ 需要运用积分方法:

$$\begin{aligned} dv &= a(t) dt \\ \int_{v_0}^{v(t)} dv &= \int_0^t a(t) dt \\ v(t) - v_0 &= \int_0^t a(t) dt \\ v(t) &= v_0 + \int_0^t a(t) dt \end{aligned}$$

在本例中, 已知 $a(t) = -4t$, 所以

$$\begin{aligned} v(t) &= v_0 + \int_0^t (-4t) dt \\ &= v_0 - 2t^2 \end{aligned}$$

代入题目所给的初始条件 $v_0 = 8 \text{ m/s}$, 得质点各时刻的速度

$$v(t) = 8 - 2t^2 \text{ m/s}$$

同样因为 $v(t) = \frac{dx}{dt}$, 由 $v(t)$ 求 $x(t)$ 需要运用积分方法:

$$\begin{aligned} dx &= v(t) dt \\ \int_{x_0}^{x(t)} dx &= \int_0^t v(t) dt \\ x(t) - x_0 &= \int_0^t v(t) dt \\ x(t) &= x_0 + \int_0^t v(t) dt \\ &= x_0 + \int_0^t (8 - 2t^2) dt \\ &= x_0 + 8t - \frac{2}{3}t^3 \end{aligned}$$