

高等学历-物理化学综合



类目：高等学历继续教育统考教材
书名：高等学历-物理化学综合
主编：田东亮
出版社：河北科学技术出版社
开本：大 16 开
书号：978-7-5717-1337-9
使用层次：成人教育
出版时间：2022 年 11 月（2025.1 重印）
定价：40
印刷方式：双色
是否有资源：是

责任编辑：王 宇
责任校对：张克生
美术编辑：张 帆

图书同步精讲课程

-课时多、讲得细、学得快，通过考试更容易-

提升学历就选高等学历继续教育



理论精讲

明确考情
夯实基础



真题讲练

掌握规律
巩固提升



专题突破

把握重点
突破难点



模考训练

模考强化
标准预测

全国各类高等学历继续教育招生考试备考用书
(高中起点升本、专科)

教材系列

- | | |
|---------------------------------|---|
| ☐ 语文 | ☐ 数学(文史财经类) |
| ☐ 数学(理工农医类) | ☐ 英语 |
| ☐ 历史地理综合 | ☒ 物理化学综合 |

试卷系列

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| ☐ 语文 | ☐ 数学(文史财经类) |
| ☐ 数学(理工农医类) | ☐ 英语 |
| ☐ 历史地理综合 | ☐ 物理化学综合 |

全国各类高等学历继续教育统考教材

物理化学综合

高中起点升本科

主编 田东亮

全国各类高等学历继续教育统考教材
全国百所继续教育机构推荐用书

·全新版·

物理化学综合

高中起点升本科

主编 田东亮

✓ 重点讲解

✓ 视频课程

✓ 强化训练

✓ 全新真题



定价：40.00元

①

河北科学技术出版社



河北科学技术出版社

全国各类高等学历继续教育统考教材

全国百所继续教育机构推荐用书

物理化学综合

高中起点升本科

主编 田东亮



河北科学技术出版社

· 石家庄 ·

图书在版编目(CIP)数据

物理化学综合：高中起点升本科 / 田东亮主编. —
石家庄：河北科学技术出版社，2022.11(2025.1 重印)
全国各类高等学历继续教育统考教材 / 张东红主编
ISBN 978-7-5717-1337-9

I. ①物… II. ①田… III. ①物理—成人高等教育—
入学考试—自学参考资料②化学—成人高等教育—入学考
试—自学参考资料 IV. ①G723.47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 200422 号

物理化学综合 高中起点升本科

WULI HUAXUE ZONGHE GAOZHONG QIDIAN SHENG BENKE

主编 田东亮

出版发行 河北科学技术出版社

地 址 石家庄市友谊北大街 330 号(邮编:050061)

印 刷 唐山唐文印刷有限公司

开 本 880 毫米×1230 毫米 1/16

印 张 13

字 数 390 千字

版 次 2022 年 11 月第 1 版

印 次 2025 年 1 月第 3 次印刷

定 价 40.00 元

出版说明

2022年,教育部印发《关于推进新时代普通高等学校学历继续教育改革的实施意见》(以下简称《意见》),要求推进新时代普通高等学校举办的学历继续教育改革发展。《意见》指出普通高等学校举办的学历继续教育统一通过成人高考入学,统一专业教学基本要求,统一最低修业年限,统一毕业证书。为了满足广大考生备考的需要,使其能够顺利通过成人高校统一入学考试,我们组织了有丰富成教经验的一线教师和专家,认真研究了教育部高校学生司和教育部考试中心2020年修订的《全国各类成人高等学校招生复习考试大纲》,并依据2024年版大纲的要求,在把握成人高考命题变化的基础上,精心编写了全国各类高等学历继续教育统考教材。

本系列教材包括:

高中起点升本、专科:《语文》《英语》《数学(文史财经类)》《数学(理工农医类)》《历史地理综合》《物理化学综合》。

专科起点升本科:《政治》《英语》《大学语文》《高等数学(一)》《高等数学(二)》《艺术概论》《民法》《教育理论》《生态学基础》《医学综合》。

在本系列教材的编写过程中,侧重体现如下几个特点:

1. 紧扣大纲,时代性强

本系列教材紧扣最新修订的《全国各类成人高等学校招生复习考试大纲》,内容的编排和选择与新大纲的知识系统完全一致,充分体现了新大纲的知识能力要求。在编写过程中,借鉴和吸收基础教育改革的成果,融入新的命题思想和观点,及时适应成人高考的新变化,具有较强的时代性。

2. 结构合理,重点突出

本系列教材根据知识的内在联系和考生的认知规律,既坚持了“少而精”的原则,又注重了教材内容的完整性,遵循从简单到复杂、由浅入深、循序渐进的原则进行编排。学习起点低,重点突出,更加有利于考生对学科知识内容的理解,提高复习效率。

3. 针对性强,科学实用

本系列教材针对成人高考的实际需要,注重基础知识复习和能力训练,具有较强的针对性和实用性。

本系列教材不仅可供参加全国各类高等学历继续教育统考的考生使用,也适用于高中及以上学历的学生、教师和教研人员学习、参考。

为进一步提高本系列教材的质量,欢迎广大师生提出宝贵意见和建议,以便及时修订,使之日趋完善。

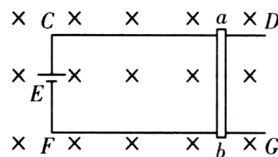
编 者

超高命中,源自精选

命题专家深度解读历年考试真题,对出题内容、题型比例、考查重点、出题形式有独特的把握,在紧密结合考试大纲的基础上,精心提炼核心考点,辅以精选全真试题,准确洞悉命题方向,连续命中原题,一直保持超高命中率!

《物理化学综合》命中实例

1. 汽车尾气中造成空气污染的主要物质是(A)(2017 年统考题)
- A. NO_x B. SO_x
C. H_2O D. CO_2
2. 如图,两根足够长的平行光滑金属导轨 CD 和 FG 上放置一导体杆 ab ,导轨一端接电源 E ;该装置放在一匀强磁场中,磁场方向与导轨平面垂直。则导体杆 ab (D)(2017 年统考题)
- A. 所受安培力方向向左,向左做匀速运动
B. 所受安培力方向向左,向左做变速运动
C. 所受安培力方向向右,向右做匀速运动
D. 所受安培力方向向右,向右做变速运动
3. 下列化合物中既有离子键,又有共价键的是(B)(2020 年统考题)
- A. MgCl_2 B. Na_2SO_4
C. CH_3COOH D. HNO_3
4. 某有机物(只含 C、H、O 三种元素) 4.4g 完全燃烧生成 4.48L (标准状况)二氧化碳和 3.6g 水,此有机物与氢气的相对密度为 22。通过计算求出该有机物的分子式。(2020 年统考题)



【解析】 由题可知,该有机物与氢气的相对密度为 22,

即该有机物相对分子质量为: $22 \times 2 = 44$, 4.4g 该有机物即 $4.4/44 = 0.1\text{mol}$,

生成的二氧化碳和水分别为 $4.48/22.4 = 0.2\text{mol}$, $3.6/18 = 0.2\text{mol}$,

$0.1 : 0.2 : 0.2 = 1 : 2 : 2$,

即化学反应方程式有机物、二氧化碳、水的系数之比为 $1 : 2 : 2$,

则可以对方程式进行配平: $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z + n\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$,

由 C、H 原子守恒可得 $x=2, y=4$, 即 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_z$, 又因为相对分子质量为 44, 所以 $z=1$, 综上该有机物的分子式为 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ 。

说明: 由于篇幅所限, 命中题目不一一列举, 但都在书中以考题的形式出现。

目 录

CONTENTS

物 理

► 第一部分 力学	2
第一章 力	2
第二章 直线运动	8
第三章 牛顿运动定律	14
第四章 机械能 动量	20
第五章 曲线运动	29
第六章 机械振动和机械波	34
► 第二部分 热学	39
第七章 热学	39
► 第三部分 电磁学	42
第八章 电场	42
第九章 恒定电流	49
第十章 磁场	56
第十一章 电磁感应 交变电流	62
► 第四部分 光学	73
第十二章 几何光学	73
第十三章 物理光学	77
► 第五部分 原子物理	82
第十四章 原子物理	82
► 第六部分 物理实验	88
第十五章 物理实验	88

化 学

▶ 第一部分 基本概念和原理	94
第一章 物质及其变化	94
第二章 物质结构 元素周期律	106
第三章 化学反应速率 化学平衡	115
第四章 溶液	121
第五章 电解质溶液	125
▶ 第二部分 常见元素及其重要化合物	131
第六章 空气、氢、氧、水	131
第七章 卤素	133
第八章 硫及其化合物	137
第九章 氮和磷及其化合物	140
第十章 碳和硅及其化合物	143
第十一章 碱金属	146
第十二章 铝及其化合物	148
第十三章 铁及其化合物	149
▶ 第三部分 有机化学基础知识	153
第十四章 烃	153
第十五章 烃的衍生物	162
第十六章 糖类 蛋白质	168
▶ 第四部分 化学基本计算	171
第十七章 有关化学式的计算	171
第十八章 有关物质的量的计算	176
第十九章 有关溶液浓度的计算	181
第二十章 有关化学方程式的计算	184
▶ 第五部分 化学实验基础知识	189
第二十一章 化学实验基础知识	189
第二十二章 气体的制取	193
第二十三章 物质的检验	195

物 理



第一部分 力学

第一章 力

第一节 力的概念、力学中常见的三种力

一、力的概念

1. 力及其作用效果

力的作用不能离开物体而存在,有力必有受力物体和施力物体。

2. 力的三要素

力的作用效果,不仅与力的大小和方向有关,还与力作用在物体上的位置有关,所以力的大小、方向和作用点被称为力的三要素。力是矢量,既有大小又有方向。

二、力学中常见的三种力

1. 重力

由于地球的吸引而使物体受到的力叫作重力。地面附近的一切物体,无论其运动状态如何,都受重力作用。

重力表达式为 $G=mg$ (其中重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$),方向竖直向下(不是垂直向下)。

重力是由万有引力引起的。宇宙中任何有质量的物体之间都存在着相互吸引的力,称为万有引力。它的大小与物体的质量以及两个物体之间的距离有关。物体的质量越大,它们之间的万有引力就越大;物体之间的距离越远,它们之间的万有引力就越小。万有引力公式:

$$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

其中 m_1 和 m_2 分别为两个物体的质量, r 为它们之间的距离, G 为万有引力恒量。 $G=6.67\times 10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ 。

2. 弹力

相互接触的物体间,只要发生了形变,由于要恢复原状,对与它接触的物体会产生力的作用,这种力叫作弹力。

弹力的方向可以这样判断:

- (1)压力和支持力都是弹力。压力、支持力的方向总是垂直于物体的接触面,指向被压或被支持的物体。
- (2)绳的拉力也属于弹力。绳的拉力方向总是沿着绳而指向绳收缩的方向。

3. 摩擦力

相互接触的物体间发生相对运动或有相对运动趋势时,就会在接触面处产生阻碍物体间相对运动

或相对运动趋势的力,这种力叫作摩擦力。

(1)静摩擦力。两个物体之间有相对运动趋势,而没有相对运动时,静摩擦力的大小随着外力的增大而增大,当外力达到某数值时,物体便开始滑动,这表明静摩擦力有一个最大值。静摩擦力的最大值叫作最大静摩擦力,数值上等于物体刚刚开始运动时的外力。

两物体间实际发生的静摩擦力 $F_{f\text{静}}$ 在 0 与最大静摩擦力 $F_{f\text{静 max}}$ 之间,即 $0 < F_{f\text{静}} < F_{f\text{静 max}}$ 。

静摩擦力的方向总是沿着接触面的切线方向,并且与物体间相对运动趋势的方向相反。

(2)滑动摩擦力。滑动物体受到的摩擦力叫作滑动摩擦力。滑动摩擦力的方向总是沿着接触面,并且跟物体相对运动的方向相反。

滑动摩擦力的大小 F_f 跟压力 F_N 成正比。

滑动摩擦力的表达式为: $F_f = \mu F_N$ 。

其中 μ 是比例常数(它是两个力的比值,没有单位),叫作动摩擦因数。它的数值既跟相互接触的两个物体的材料有关,又跟接触面的情况(如粗糙程度等)有关。

第二节 物体的受力分析、力的合成和分解、共点力的平衡

一、物体的受力分析

物体受力分析的一般步骤:

(1)根据题意选取适当的研究对象,选取研究对象的原则是要使对问题的研究处理尽量简便。研究对象可以是单个物体或物体的某一部分,也可以是由几个物体组成的系统。

(2)把研究对象从周围物体中隔离出来,只考虑它受到别的物体的作用力,而不考虑它对别的物体的作用力。

(3)力的分析一般按重力、弹力、摩擦力的顺序,做到不漏不多也不重。

(4)正确画出物体力的图示。

二、力的合成和分解

1. 力的合成

当一个物体受到几个力的共同作用时,我们常常可以求出这样一个力,这个力产生的效果跟原来几个力的共同效果相同,这个力就叫作那几个力的合力,原来的几个力叫作分力。求几个力的合力的过程叫作力的合成。

2. 共点力合成的计算

(1)同一直线上的两个力的合成。同方向时 $F = F_1 + F_2$;反方向时 $F = |F_1 - F_2|$,方向和较大的力的方向相同。二力 F_1 、 F_2 的合力 F 的取值范围: $|F_1 - F_2| \leq F \leq (F_1 + F_2)$ 。

(2)互成任意角度的两个力的合成。求两个互成角度的力的合力,可以用表示这两个力的线段做邻边,作平行四边形,它的对角线就表示合力的大小和方向,这叫作力的平行四边形定则。

3. 力的分解

求一个已知力的分力的过程称为力的分解,力的分解是力的合成的逆运算。把一个已知力分解时,如果没有限制条件,将有无数对大小、方向不同的分力。如果在特定条件下,就可以得到确定的解。力的分解通常采用正交分解,即根据给出的题目要求,把一个力分解为两个相互垂直的力。

三、共点力的平衡

(1) 共点力: 作用于物体上同一点的力, 或力的作用线相交于同一点的几个力叫作共点力。我们所讨论的力的合成和分解, 实际上只限于共点力。

(2) 若几个力同时作用于同一物体, 而使物体的运动状态不发生改变(物体仍处于静止状态或匀速直线运动状态), 我们就说这个物体处于平衡状态。

(3) 共点力平衡的条件: 合力为零, 即 $F_{\text{合}} = 0$ 。

如果物体只受到两个力的作用而处于平衡状态, 则这两个力称为一对平衡力, 它们的大小相等、方向相反, 并且作用在同一条直线上。



例题分析

例题 1 物体在粗糙的斜面上向下运动, 则在图 1-1 中的四个受力图中正确的是()

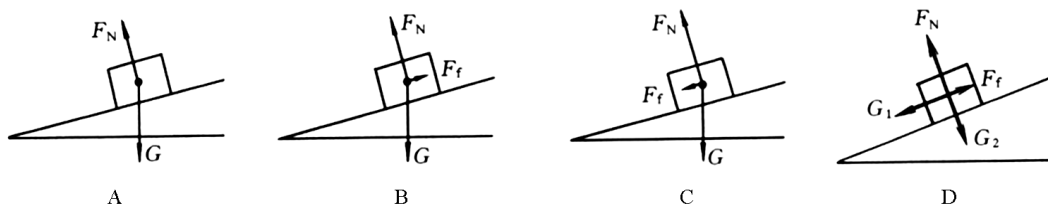


图 1-1

解析: 对物体进行受力分析。首先, 物体受到重力 G 作用, G 的方向竖直向下, 因为物体与斜面接触, 所以斜面对物体有垂直于斜面向上的支持力 F_N 的作用。按题意, 斜面是粗糙的, 因此物体在沿斜面方向还受到摩擦力作用。因为物体的相对运动方向沿斜面向下, 所以滑动摩擦力的方向沿斜面向上。图 A 少画了摩擦力, 图 C 中摩擦力的方向不正确, 图 D 则用 G 的两个分力 G_1 和 G_2 代替 G , 它们都不正确。综上所述, 正确的是图 B。故选 B。

例题 2 如图 1-2 所示, 重量为 G 、半径为 R 的小球, 用长为 R 的细绳挂在光滑的竖直壁面 A 处, 则细绳的拉力 $F_T = \underline{\hspace{2cm}}$, 壁面对小球的弹力 $F_N = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析: 小球的受力情况如图 1-3 所示。重力 G 竖直向下, 壁面对小球的弹力 F_N 水平向右, 细绳的拉力 F_T 的方向沿绳向上。这三个力的作用线都通过球心 O , 它们是共点力。

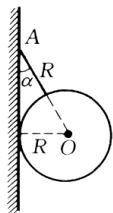


图 1-2

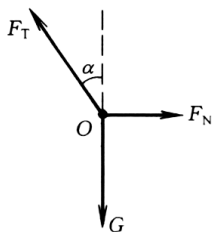


图 1-3

小球在共点力 G 、 F_N 和 F_T 作用下平衡。把拉力 F_T 分解为水平方向和竖直方向的两个分力:

$$F_{T1} = F_T \sin \alpha \quad (1)$$

$$F_{T2} = F_T \cos \alpha \quad (2)$$

由平衡条件, 水平方向有

$$F_N - F_{T1} = 0 \quad (3)$$

竖直方向有

$$F_{T2} - G = 0 \quad (4)$$

考虑到

$$\sin \alpha = \frac{R}{R+R} = \frac{1}{2}, \alpha = 30^\circ$$

$$\cos \alpha = \cos 30^\circ$$

由式(2)、(4)解得

$$F_T = \frac{F_{T2}}{\cos \alpha} = \frac{G}{\cos \alpha} = \frac{2\sqrt{3}}{3}G = 1.15G$$

由式(1)、(3)得

$$F_N = F_{T1} = F_T \sin \alpha = G \tan \alpha = \frac{\sqrt{3}}{3}G = 0.58G$$

例题 3 如图 1-4 所示,一个光滑的小球,放在光滑的墙壁和木板之间,当板与墙之间的夹角 α 增大时,则()

- A. 墙对小球的弹力减小,板对小球的弹力增大
- B. 墙对小球的弹力减小,板对小球的弹力减小
- C. 墙对小球的弹力增大,板对小球的弹力减小
- D. 墙对小球的弹力增大,板对小球的弹力增大

解析: 小球受三个共点力的作用:重力 G , 墙壁的弹力 F_{N1} , 木板的弹力 F_{N2} 。图 1-5 是小球的受力图。

取水平方向和竖直方向为分解力的两个方向。根据力的平衡条件,在水平方向有

$$F_{N1} - F_{N2} \cos \alpha = 0 \quad (1)$$

在竖直方向有

$$F_{N2} \sin \alpha - G = 0 \quad (2)$$

由式(1)、(2)解得

$$F_{N2} = \frac{G}{\sin \alpha}, F_{N1} = F_{N2} \cos \alpha = G \cot \alpha$$

由此可见,当 α 增大时, F_{N2} 减小, F_{N1} 也减小,选 B。

例题 4 如图 1-6 所示,物块在拉力 F 的作用下在水平面上做匀速直线运动。已知 F 的大小为物块重量的 $1/2$, F 与水平方向的夹角为 30° ,求物块与水平面间的滑动摩擦因数。

解析: 物块受四个作用力:重力 G , 地面支持力 F_N , 拉力 F , 摩擦力 F_f 。受力图如图 1-7 所示。物块做匀速直线运动,处于平衡状态。

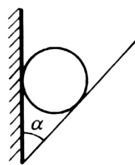


图 1-4

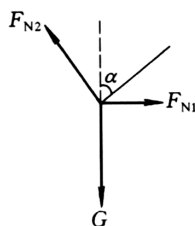


图 1-5

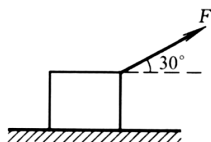


图 1-6

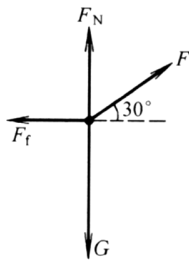


图 1-7

根据平衡条件,在竖直方向有

$$F_N + F \sin 30^\circ - G = 0 \quad (1)$$

在水平方向有

$$F \cos 30^\circ - F_f = 0$$

把 $F_f = \mu F_N$, 代入上式得

$$F \cos 30^\circ - \mu F_N = 0 \quad (2)$$

把式(1) $\times \mu$ 后与式(2)相加得

$$\mu(F \sin 30^\circ - G) + F \cos 30^\circ = 0$$

解得

$$\mu = \frac{F \cos 30^\circ}{G - F \sin 30^\circ}$$

按题意, $F = \frac{G}{2}$, 代入上式得

$$\mu = \frac{\frac{G}{2} \cos 30^\circ}{G - \frac{G}{2} \sin 30^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{3} = 0.58$$

例题 5 一个质量为 m 的球位于光滑地面和竖直的光滑墙面的交界处,如图 1-8(a)所示,外力 F 通过球心,与水平方向成 θ 角,设墙对球的作用力为 F_1 ,地面对球的作用力为 F_2 ,则()

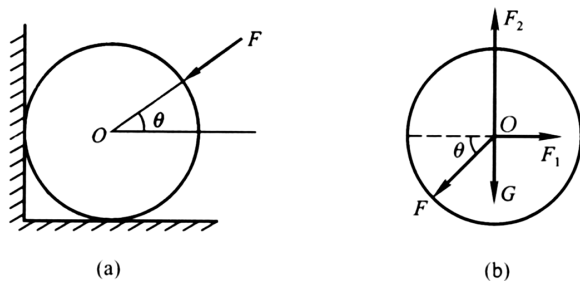


图 1-8

- A. $F_1 = F \cos \theta, F_2 = F \sin \theta$
- B. $F_1 = F \cos \theta, F_2 = F \sin \theta + mg$
- C. $F_1 = F \sin \theta, F_2 = F \cos \theta$
- D. $F_1 = F \sin \theta, F_2 = F \cos \theta + mg$

解析: 球受四个力作用:重力 G , 方向竖直向下;外力 F , 方向斜向下;地面支持力 F_2 , 方向竖直向上;墙的压力 F_1 , 方向水平向右。物体受力图如图 1-8(b)。本题是四个共点力作用下物体的平衡问题, 用力的平衡方程解题。

根据力的平衡方程,在水平方向有

$$F_1 - F \cos \theta = 0$$

在竖直方向有

$$F_2 - F \sin \theta - G = 0$$

解得

$$F_1 = F \cos \theta$$

$$F_2 = F \sin \theta + G = F \sin \theta + mg$$

选 B。



专项练习

- 关于摩擦力的说法,正确的是()
 - 摩擦力总是与物体的运动方向相反
 - 摩擦力的方向总是与物体运动的方向在同一直线上
 - 摩擦力总是阻碍物体间的相对运动
 - 物体在运动时才受摩擦力
- 如图 1-9 所示,甲、乙两个物体叠放在水平桌面上。甲受一个向左的水平力作用,乙受一个向右的水平力作用,两个力的大小均为 F ,两个物体均保持静止状态。甲和乙之间的摩擦力、乙与桌面之间的摩擦力分别为()
 - F 、0
 - 0、 F
 - $2F$ 、 F
 - F 、 $2F$
- 如图 1-10 所示,用力 F 把物块紧压在墙上不动,当 F 增大时,物块对墙的压力 N 及物块受墙的摩擦力 f 的变化情况是()
 - N 增大, f 增大
 - N 增大, f 不变
 - N 变小, f 增大
 - N 变小, f 不变

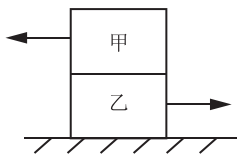


图 1-9

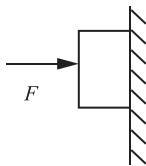


图 1-10

- 如图 1-11 所示,相互垂直的力 $F_1 = 30\text{N}$, $F_2 = 20\text{N}$,力 F_3 与 F_2 反向, $F_3 = 60\text{N}$,求这三个力的合力的大小。
- 如图 1-12 所示,向上匀速运行的自动扶梯上站着一个人,把这个人的受力情况在图上表示出来。
- 用绳吊一重 10N 的光滑小球置于倾角为 30° 的光滑斜面上,小球与斜面接触,且将绳拉成竖直方向(图 1-13)。这时,绳子上的拉力是 N_1 ,球对斜面的压力是 N_2 ,分别求出它们的大小。
- 如图 1-14 所示,一木块质量为 m ,放在倾角为 θ 的静止斜面上,木块间的动摩擦因数为 μ ,当用一水平方向的力 F 推这个木块时,木块沿斜面匀速上升,请画出受力分析图并求出这个水平作用力 F 的大小。
- 如图 1-15 所示,把质量为 m 的球放在木槽中,木槽由两个斜面构成,斜面与水平面的夹角分别为 60° 和 30° 。求球对两斜面的压力。

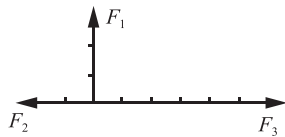


图 1-11

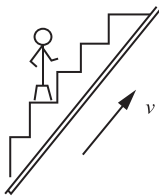


图 1-12

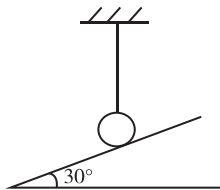


图 1-13

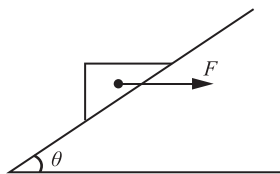


图 1-14

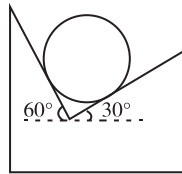


图 1-15



参考答案

1. C 2. A 3. B 4. 50N 5. $\uparrow N_G$ 6. $10\text{N}, 0$

7. 解:木块受重力 mg ,推力 F ,斜面对它的支持力 F_N 和摩擦力 f ,如图 1-6 所示,建立如图坐标系。

由平衡条件得

$$F = F_N \sin \theta + f \cos \theta$$

$$F_N \cos \theta = mg + f \sin \theta$$

又由于 $f = \mu F_N$

$$\text{由以上各式得 } F = \frac{\sin \theta + \mu \cos \theta}{\cos \theta - \mu \sin \theta} mg。$$

8. 解: 根据平衡条件, 如图 1-17 所示。

沿 F_N 方向有

$$F_N - G \cos 30^\circ = 0$$

沿 F_N' 方向有

$$F_N' - G \sin 30^\circ = 0$$

则球对两斜面的压力分别为

$$F_N = G \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} mg$$

$$F_N' = G \sin 30^\circ = \frac{1}{2} mg。$$

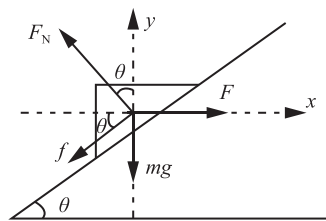


图 1-16

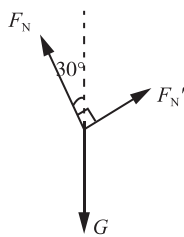


图 1-17

第二章 直线运动

第一节 匀速直线运动

一、参照物、运动的相对性

自然界中的一切物体都在运动, 静止只是相对的。通常说一个物体是运动的还是静止的, 是根据它相对于另一个物体的位置是否改变来判断的。

在判断物体是否运动时, 要选一个假定静止的物体作为标准物体, 这个标准物体叫参照物。选取不同的物体作参照物时, 观察到的运动情况不一定相同, 这表明物体的运动或静止具有相对性。

一般地, 在研究地面上的物体运动时选取地面为参照物。

二、时刻和时间

1. 时刻

时刻是指某一瞬时, 在时间轴上用一点表示, 对应的是位置、速度、动量、动能等状态量。

2. 时间

时间是指两个时刻间的间隔, 在时间轴上用一段表示, 它对应的是位移、路程、冲量、功等过程量。

三、位移和路程

1. 位移

物体位置的变化量叫作位移。

2. 路程

路程只有大小没有方向,是标量。路程不但与物体的初、末位置有关,还与物体在这两个位置间的运动轨迹有关。

3. 位移和路程的区别

- (1)位移是矢量,路程是标量。位移的大小和路程的大小一般不相等。
- (2)只有在物体做直线运动,运动方向始终保持不变时,位移的大小才与路程相等。

四、匀速直线运动

(1)匀速直线运动:物体在一条直线上运动,如果在任何相等时间内所产生的位移相等,那么这种运动称为匀速直线运动。

(2)速度:在匀速直线运动中,时间 t 内的位移 s 与 t 成正比,这个比值叫作速度,即 $v = \frac{s}{t}$ 。

速度是描述物体运动的方向和快慢的物理量,是矢量。速度的大小等于质点在单位时间里通过的位移的大小,速度的方向就是物体运动的方向。

(3)速率:速率是路程和时间的比值。速率是描述物体运动快慢的物理量,是标量。

第二节 匀变速直线运动

一、变速直线运动

(1)变速直线运动:物体在一条直线上运动,如果在相等的时间内,位移不相等,这种运动就叫作变速直线运动。

常用平均速度和瞬时速度来描述做变速直线运动的物体。

(2)平均速度:在变速直线运动中,运动物体的位移和发生这段位移所用的时间的比值,叫作这段时间内的平均速度,用 $\bar{v}$ 表示,即 $\bar{v} = \frac{s}{t}$ 。 $\bar{v}$ 是矢量,方向与位移 s 的方向相同。

(3)瞬时速度:变速直线运动中,运动物体在某一时刻(或某一位置)的速度,叫作瞬时速度,简称速度,用 v 表示。

二、匀变速直线运动

(1)匀变速直线运动:物体在一条直线上运动,如果在相等的时间内速度的变化相等,这种运动就叫作匀变速直线运动。

(2)加速度:在匀变速直线运动中,速度的变化量和所用时间的比值,叫作匀变速直线运动的加速度。加速度是描述速度变化的快慢和方向的物理量。公式: $a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{\Delta v}{t}$ 。

在国际单位制中,加速度的单位是 m/s^2 。

(3)匀变速直线运动的公式:

①速度公式: $v_t = v_0 + at$ 。

②位移公式: $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ 。

③推论: $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ 。

④做匀变速直线运动的平均速度: $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$ 。

⑤已知平均速度求位移： $s = \bar{v}t = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t$ 。

(4)推论：

①匀变速直线运动的物体，在任意两个连续相等的时间里的位移之差是个恒量，即： $\Delta s = s_{n+1} - s_n = aT^2 = \text{恒量}$ 。

②匀变速直线运动的物体，在某段时间内的平均速度，等于该段时间中间时刻的瞬时速度，即：

$$\bar{v} = v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v_t}{2}。$$

三、自由落体运动和重力加速度

(1)自由落体运动：物体只在重力作用下，从静止开始下落的运动叫作自由落体运动。

(2)重力加速度：自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动，用 g 表示。

重力加速度的方向竖直向下，大小由实验测定。地球上不同的地点， g 值不同。在一般计算中常取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ，粗略计算时可取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

(3)自由落体运动的公式：自由落体运动的方向竖直向下。在匀变速直线运动公式中代入 $v_0 = 0$ ， $a = g$ ，就可得自由落体运动的公式。

速度公式： $v_t = gt$ 。

位移公式： $h = \frac{1}{2}gt^2$ 。

速度—位移公式： $v_t^2 = 2gh$ 。

自由落体运动在 t 时间内的平均速度 $\bar{v}_t = \frac{gt}{2}$ 。

此外，自由落体运动的落地速度是 $v_E = \sqrt{2gh_E}$ 。

落地所需时间是 $t = \sqrt{\frac{2h_E}{g}}$ 。

以上公式中， h 是物体下落的距离， h_E 是物体下落时离地面的高度。



例题分析

例题 1 一个物体做匀加速直线运动，在 A 处的速度为 v_A ，在 B 处的速度为 v_B ，如图 2-1 所示。

该物体经过 A 、 B 连线中点 C 时的速度等于()

A. $\frac{v_A + v_B}{2}$

B. $\frac{v_B - v_A}{2}$

C. $\sqrt{\frac{v_A^2 + v_B^2}{2}}$

D. $\sqrt{\frac{v_B^2 - v_A^2}{2}}$

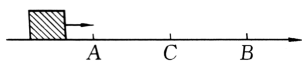


图 2-1

解析：设 A 、 B 之间的距离为 s ，由匀加速直线运动的速度—位移公式知

$$v_B^2 = v_A^2 + 2as \quad (1)$$

$$v_C^2 = v_A^2 + 2a \cdot \frac{s}{2} \quad (2)$$

由式(1)、(2)得

$$v_B^2 - 2v_C^2 = -v_A^2$$

即

$$v_C^2 = \frac{v_A^2 + v_B^2}{2}$$

$$v_C = \sqrt{\frac{v_A^2 + v_B^2}{2}}$$

则选 C。

例题 2 物体从静止开始做匀加速直线运动,第 1 秒内通过的位移是 1m,则物体的加速度是 _____ m/s^2 ,前 3 秒内的位移是 _____ m,第 3s 内的位移是 _____ m。

解析:初速度为零的匀加速直线运动的位移公式是

$$s = \frac{at^2}{2}$$

由此得加速度为

$$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \times 1}{1^2} \text{m/s}^2 = 2 \text{m/s}^2$$

由位移公式得前 3s 内的位移是

$$s_3 = \frac{2 \times 3^2}{2} \text{m} = 9 \text{m}$$

同理得前 2s 内的位移是

$$s_2 = \frac{2 \times 2^2}{2} \text{m} = 4 \text{m}$$

于是得第 3 秒内的位移是

$$s_3 - s_2 = (9 - 4) \text{m} = 5 \text{m}$$

例题 3 物体做初速度为零的匀加速直线运动,第 4 秒内的平均速度是 14m/s ,则物体在第 2 秒内的位移是 _____ m,第 4 秒末的速度是 _____ m/s 。

解析:根据式

$$\bar{v} = \frac{v_{t_3} + v_{t_4}}{2}$$

把 $v_{t_3} = at_3$, $v_{t_4} = at_4$ 代入上式得

$$\bar{v} = \frac{a(t_3 + t_4)}{2}$$

由此解得加速度为

$$a = \frac{2\bar{v}}{t_3 + t_4} = \frac{2 \times 14}{3 + 4} \text{m/s}^2 = 4 \text{m/s}^2$$

第 2 秒内的位移是从 $t_1 = 1 \text{s}$ 到 $t_2 = 2 \text{s}$ 时间内的位移,即

$$s = s_2 - s_1$$

即

$$s = \frac{a(t_2^2 - t_1^2)}{2} = \frac{4 \times (2^2 - 1^2)}{2} \text{m} = 6 \text{m}$$

第 4 秒末的速度为

$$v_4 = at_4 = 4 \times 4 \text{m/s} = 16 \text{m/s}$$

例题 4 汽车的速度为 5m/s , 在紧急制动后加速度的大小为 1m/s^2 。汽车在停止前将继续运动

_____ s, 在这段时间里汽车运动的路程是 _____ m。

解析: 汽车制动后做匀减速直线运动, 速度公式为

$$v_t = v_0 + at$$

由此得

$$t = \frac{v_t - v_0}{a}$$

代入题给数值得制动后汽车继续运动的时间为

$$t = \frac{0 - 5}{-1} \text{s} = 5 \text{s}$$

再由匀减速直线运动的速度—位移公式

$$v_t^2 - v_0^2 = 2as$$

得

$$s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a}$$

在上式中取 $v_t = 0$, 得制动后汽车继续运动的路程是

$$s = \frac{-v_0^2}{2a} = \frac{-5^2}{2 \times (-1)} \text{m} = 12.5 \text{m}$$

例题 5 小球做自由落体运动, 落地时间是 4s , 小球下落过程中后 2s 内通过的位移是 (取 $g = 10 \text{m/s}^2$) ()

A. 40m

B. 60m

C. 20m

D. 30m

解析: 小球下落的高度

$$h_E = \frac{gt_E^2}{2} = \frac{10 \times 4^2}{2} \text{m} = 80 \text{m}$$

因为位移与时间的平方成正比, 所以前 2s 内的位移是

$$h_1 = h_E \times \left(\frac{2}{4}\right)^2 = \frac{h_E}{4}$$

由此得后 2s 内小球的位移是

$$h_2 = h_E - h_1 = h_E - \frac{h_E}{4} = \frac{3h_E}{4} = \frac{3 \times 80}{4} \text{m} = 60 \text{m}$$

故选 B。

例题 6 图 2-2 是物体运动的 $v-t$ 图像。求:

(1) 物体运动的加速度;

(2) 物体运动的路程。

解析: 由图知, 物体运动分为两个阶段。在 $t = 3 \text{s}$ 前是初速度为零的匀加速直线运动, 3s 后是匀减

速直线运动,在 5s 时静止。

(1)由 $v-t$ 图上的斜率知在 3s 前的加速度为

$$a_1 = \frac{3-0}{3-0} \text{m/s}^2 = 1 \text{m/s}^2$$

在 3s 后的加速度为

$$a_2 = \frac{3-0}{5-3} \text{m/s}^2 = -1.5 \text{m/s}^2$$

(2) $v-t$ 图下的面积在数值上等于运动的路程,由图中三角形的面积知运动的路程为

$$s = \frac{3 \times 5}{2} \text{m} = 7.5 \text{m}$$

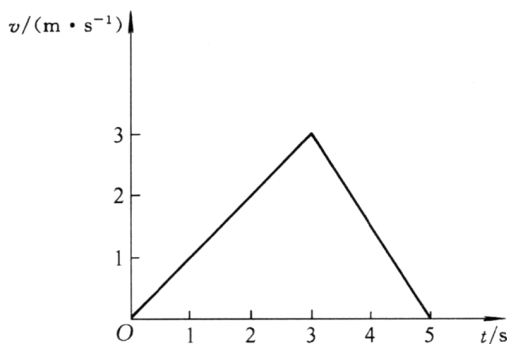


图 2-2



专项练习

- 3 秒内,第 3 秒末,第 3 秒内这三种说法()
A. 都一样 B. 不都一样 C. 都不一样 D. 无法确定
- 某时刻质点的速度是 5m/s 向西,经过 2 秒钟,质点的速度成为 5m/s 向北,则在这 2 秒内它的平均加速度的大小是()
A. $\sqrt{2} \cdot 5 \text{m/s}^2$ B. 0 C. 5m/s^2 D. $\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 5 \text{m/s}^2$
- 几个做匀加速直线运动的物体,运动 t 秒后,则()
A. 受力大的那一个物体走过的路程一定长
B. 初速度大的那一个物体走过的路程一定长
C. 末速度大的那一个物体走过的路程一定长
D. 平均速度大的那一个物体走过的路程一定长
- 关于速度和加速度的关系,以下说法正确的是()
A. 物体的速度增大,则加速度一定增大
B. 物体的加速度减小,则速度一定减小
C. 物体运动时,可以速度改变而加速度不变
D. 物体运动时,可以速度不变而加速度改变
- 物体以初速度 v_0 沿不光滑的斜面向上滑行,经过时间 t_1 到达轨迹的最高点。然后,从轨迹的最高点由静止沿这个斜面下滑,又经过时间 t_2 返回到原出发点,则()
A. $t_1 > t_2$ B. $t_1 = t_2$
C. $t_1 < t_2$ D. 条件不足,无法判断
- 物体从距地面 h 高处自由下落,当它经过距离地面 $h/2$ 高的位置时,速度是_____;当它的速度是落地速度的一半时,经过的位置距地面的高度是_____。
- 三个做匀加速直线运动的质点,其速度图像如图 2-3 所示,则 t_0 时刻加速度最小的是质点_____,加速度最大的是质点_____,速度最小的是质点_____,速度最大的是质点_____。
- 做匀加速直线运动的物体,测得过 A 点时的速度为 v_1 ,过 B 点时的速度为 v_2 ,且 $v_2 > v_1$,则通过 AB 中点时的速度是_____,通过 AB 两点所用时间的

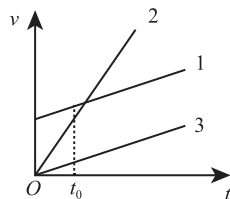


图 2-3

中间时刻的速度是_____。

9. 某人骑自行车沿一坡路下行, 车在坡顶时的速度是 1m/s , 他先以 0.5m/s^2 的加速度行驶 4s , 然后又匀速行驶 4s 到达坡底。这个坡的长度为_____ m ; 自行车匀速行驶的速度为_____ m/s ; 自行车在这段时间内的平均速度是_____ m/s 。
10. A 物体从甲地开始以 4m/s 的速度匀速运动, A 开始运动后 1s , 在其后方距甲地 8m 远的乙地, 有一物体 B 从静止开始以 2m/s^2 的加速度追赶 A 物体。求:
- (1) B 经多长时间追上 A 物体;
- (2) B 追上 A 时离甲地多远。



参考答案

1. C 2. D 3. D 4. C 5. C

6. $\sqrt{gh}$, $\frac{3}{4}h$ 7. 1, 2, 3, 1

8. $\sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2}{2}}$, $\frac{v_1 + v_2}{2}$ (提示: 通过 AB 的中点时, 把 AB 分成两部分, 每部分长为 s , 此时速度为 $v_{\text{中}}$,

根据 $v_{\text{中}}^2 = v_1^2 + 2as$ 和 $v_2^2 = v_{\text{中}}^2 + 2as$, 由二式联立求出 $v_{\text{中}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2}{2}}$ 。在中间时刻, 设此时速度为 $v'_{\text{中}}$,

根据 $v'_{\text{中}} = v_1 + at$ 和 $v_2 = v'_{\text{中}} + at$, 二式联立得 $v'_{\text{中}} = \frac{v_1 + v_2}{2}$)

9. 20, 3, 2.5

10. 解: (1) 设 B 经时间 t 追上 A 物体, 此时 A 已运动了时间 $(t+1)\text{s}$, 由题意及运动学公式得 $v_A(t+1) + 8 = \frac{1}{2}a_B t^2$,

解得 $t_1 = 6\text{s}$, $t_2 = -2\text{s}$ (舍去)。

(2) B 追上 A 时距甲地的距离即是物体 A 运动的位移 $s_A = v_A(t+1) = 4(6+1)\text{m} = 28\text{m}$ 。

第三章 牛顿运动定律

第一节 牛顿运动定律

一、牛顿第一定律

任何物体总保持静止或匀速直线运动, 直到有外力迫使它改变这种状态为止, 这叫作牛顿第一定律, 也叫作惯性定律。

牛顿第一定律表明, 要使物体运动状态发生改变, 就一定要有外力作用。物体运动状态的改变表现为速度的改变, 也就是说, 力是使物体运动状态发生变化的原因。

二、牛顿第二定律

物体在受到合外力作用时, 所产生的加速度的大小与合外力的大小成正比, 与物体的质量成反比, 加速度的方向与合外力的方向相同。数学表达式:

牛顿第二定律指出,力是改变物体运动状态、使物体产生加速度的原因。

三、牛顿第三定律

一对作用力和反作用力与一对平衡力是两个不同的概念,两者不能混淆。

第二节 牛顿运动定律的应用

(1)确定研究对象。

(2)分析研究对象的受力情况,并画出它的受力图。

$$F_{1r} + F_{2r} + F_{3r} + \dots = ma_r$$

$$F_{1v} + F_{2v} + F_{3v} + \dots = ma_v$$

(4)根据题意,分析方程式中哪些量是已知的,哪些量是待求的。如果已知物体的受力情况,可以先用牛顿第二定律求出加速度 a ,再应用运动学公式求解物体的运动情况;如果已知物体的运动情况,先用运动学公式求出 a ,然后再应用牛顿第二定律求解物体的受力情况。



例题分析

A. 9.8N

B. 7. 8N

C. 11. 8N

D. 0

$$F > mg = 9.8 \text{ N}$$

据此应排除 A、B、D, 选 C。

讨论:当电梯减速下降时,它的加速度也向上, $F > mg$ 。

A. 上升时减小,下落时增大

B. 上升时增大,下落时也增大

C. 上升时减小,下落时也减小

D. 上升时增大,下落时减小

解析:物体上升过程中,阻力方向与重力方向相同。合外力为

$$F_{\text{r}} = G + F_{\text{f}}$$

方向竖直向下,与物体运动方向相反,所以物体做减速运动,随着速度减小, F_f 减小, $F_{\perp}$ 减小,物体的加速度减小。据此,排除 B、D。

在物体下落过程中,阻力方向与重力方向相反,合外力为

$$F_{\text{下}} = G - F_f$$

方向竖直向下,与物体运动方向相同,因此物体做加速运动。 F_f 随着速度的增大而增大, $F_{\text{下}}$ 将随之减小,物体的加速度减小,选 C。

例题 3 如图 3-1 所示,小车上有一根竖直杆,杆上套一块木块,木块的质量为 m ,它与杆之间的摩擦因数是 μ 。当小车匀加速运动时,木块匀速下滑,小车运动的加速度是_____。

解析:以木块为研究对象。木块受重力 G 、摩擦力 F_f 和杆的弹力 F_N 的作用,受力图如图 3-2。

对木块写出牛顿方程式,在水平方向有

$$F_N = ma \quad (1)$$

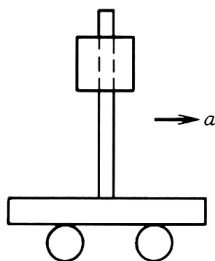


图 3-1

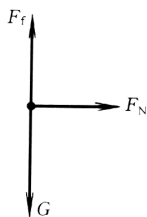


图 3-2

在竖直方向有

$$F_f - mg = 0$$

把 $F_f = \mu F_N$ 代入上式得

$$\mu F_N - mg = 0 \quad (2)$$

由式(1)、(2)解得

$$a = \frac{g}{\mu}$$

例题 4 在高楼的楼顶上同时抛出两个小球 A 和 B, A 以初速度 3m/s 竖直向上抛, B 以初速度 2m/s 竖直向下抛, 设空气阻力是小球重量的 0.2 倍, 则 0.1s 时 A、B 的距离是_____m。(取 $g = 10\text{m/s}^2$)

解析:以 A 为研究对象, 取竖直向上的方向为正方向, 当 A 向上运动时阻力向下, 根据牛顿第二定律有

$$-m_A g - F_f = m_A a_A$$

因此 A 的加速度为

$$a_A = -g - \frac{F_f}{m_A}$$

按题意, $F_f = 0.2m_A g$, 代入得

$$a_A = -g - 0.2g = -1.2g$$

A 做匀减速直线运动, 它到达最高点(即转折点)的时间是

$$t = -\frac{v_{A0}}{a_A} = \frac{v_{A0}}{1.2g} = \frac{3}{1.2 \times 10} \text{s}$$

$$= 0.25\text{s}$$

可见在 0.1s 时 A 仍处于上升阶段。

以 B 为研究对象, B 向下运动, 阻力向上, 它的牛顿方程式是

$$F_f - m_B g = m_B a_B$$

$$a_B = \frac{F_f}{m_B} - g = 0.2g - g = -0.8g$$

A、B 以相对初速度

$$v_0 = v_{A0} - v_{B0} = [3 - (-2)]\text{m/s} = 5\text{m/s}$$

和相对加速度

$$a = a_A - a_B = -1.2g - (-0.8g) = -0.4g$$

做匀变速直线运动。

因此 0.1s 时 A、B 的距离是

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2} = \left(5 \times 0.1 - \frac{0.4 \times 10 \times 0.1^2}{2} \right) \text{m} = 0.48\text{m}$$

例题 5 如图 3-3 所示, 车厢中悬挂着一个质量为 m 的小球 A, A 离开车厢地板的高度 $h = 0.8\text{m}$, 当车厢沿水平方向匀加速运动时, 绳子与竖直方向的夹角 $\theta = 37^\circ$ 。今把绳子剪断, 问当 A 落在地板上时, 车厢比小球多前进了多少距离? (取 $\tan 37^\circ = \frac{3}{4}$)

解析: 以小球为研究对象, 它受重力和绳子拉力的作用, 根据绳子与竖直方向的夹角 θ 可以决定车厢运动的加速度, 当绳子剪断后, 小球做平抛运动, 而车厢继续做匀加速直线运动。

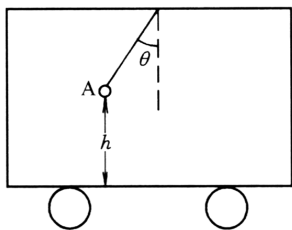


图 3-3

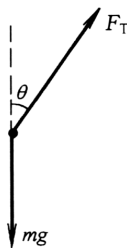


图 3-4

小球的受力如图 3-4 所示, 对它写出牛顿方程式有

$$F_T \cos \theta - mg = 0, F_T \sin \theta = ma$$

得

$$a = g \tan \theta = g \tan 37^\circ = \frac{3g}{4} \quad (1)$$

剪断绳子后小球做平抛运动, 它落地的时间是

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (2)$$

设绳子剪断时小球和车厢的速度为 v_0 , 则小球落地时水平方向的位移为

$$s_{\text{球}} = v_0 t$$

车厢在 t 时间内前进的位移为

$$s_{\text{车}} = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

因此车厢比小球多前进了

$$s = s_{\text{车}} - s_{\text{球}} = \frac{at^2}{2}$$

把式(1)、(2)代入上式得

$$s = \frac{1}{2} \times \frac{3g}{4} \times \frac{2h}{g} = \frac{3h}{4} = \frac{3}{4} \times 0.8\text{m} = 0.6\text{m}$$

例题 6 质量 $m' = 24\text{kg}$ 的气球,以 $v_0 = 2\text{m/s}$ 的速度匀速上升,升到高度 $h_1 = 200\text{m}$ 时,从气球上落下一个体积很小、质量 $m = 4\text{kg}$ 的物体,求物体脱离气球 5s 时气球的高度。(取 $g = 10\text{m/s}^2$)

解析: 气球受到三个作用力的作用:重力 G ,方向竖直向下;动力 F (即空气浮力),方向竖直向上;空气阻力 F' ,方向竖直向下。当气球匀速上升时有

$$F - m'g - F' = 0$$

由此得

$$F = m'g + F' \quad (1)$$

从气球上脱落一个物体后,气球的质量减小,重力减小, F 和 F' 不变,因此合力向上。可见,气球脱离物体后做初速度为 v_0 的匀加速直线运动。当气球匀加速上升时有

$$F - (m' - m)g - F' = (m' - m)a$$

把式(1)代入得

$$m'g + F' - (m' - m)g - F' = (m' - m)a$$

由此解得加速度为

$$a = \frac{mg}{m' - m} \quad (2)$$

按照匀加速直线运动的位移公式,5 秒时气球上升的高度为

$$h_2 = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

把式(2)代入得

$$h_2 = v_0 t + \frac{mgt^2}{2(m' - m)}$$

代入得

$$h_2 = \left[2 \times 5 + \frac{4 \times 10 \times 5^2}{2 \times (24 - 4)} \right] \text{m} = 35\text{m}$$

因此物体脱离气球 5s 时气球的高度是

$$h = h_1 + h_2 = (200 + 35)\text{m} = 235\text{m}$$



专项练习

- 升降机以加速度 a 竖直向上做匀加速运动时,电梯内天花板上有一只松动的螺丝帽突然从天花板上落下,若用 g 表示重力加速度,这时螺丝帽相对于地面的加速度是()
A. $g - a$ B. $g + a$ C. a D. g
- 质量为 1kg 的物体,受到三个力的作用并处于静止状态。当其中一个力 $F_1 = 2\text{N}$ 停止作用 2s 后,物体运动的方向和大小是()
A. 与 F_1 反方向,速度大小是 4m/s B. 与 F_1 反方向,速度大小是 2m/s

- C. 与 F_1 同方向, 速度大小是 4m/s D. 与 F_1 同方向, 速度大小是 2m/s
3. 一个物体在两个彼此平衡的力 F 和 F_1 的作用下做匀速直线运动, 现在把其中 F_1 逐渐减小到零, 而 F 保持不变, 则()
- A. 在 F_1 减小的过程中, 物体做匀加速直线运动。速度增大
B. 在 F_1 减小的过程中, 物体加速度增大, 速度增大
C. 在 F_1 减小的过程中, 物体加速度增大, 速度不一定增大
D. 当 F_1 减小到零时, 物体的加速度最大, 速度最大
4. 如图 3-5 所示, 在沿水平向右运动的车厢内, 用绳吊起一个质量为 m 的小球。当悬线向后倾斜, 与竖直方向间的夹角为 θ 时, 则车前进的加速度是()
- A. $g \sin \theta$ B. $g \cos \theta$
C. $g \tan \theta$ D. $g \cot \theta$
5. 一个物体的质量是 0.2kg , 竖直下落时的加速度是 9m/s^2 , 它受到的阻力的大小是_____。若加速度是 11m/s^2 , 物体除受重力和阻力外, 还受一个大小为_____的力, 这个力的方向_____。
6. 一个恒定合外力 F 作用于物体 A 时产生的加速度为 a_1 , 此恒定合外力 F 作用于物体 B 时产生的加速度为 a_2 , 当把 A、B 两物体捆在一起, 则在恒定合外力 F 作用下产生的加速度 $a = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
7. 如图 3-6 所示, 质量为 1.5kg 的物体随水平传送带一起向右运动。当它们的加速度为 3m/s^2 时, 物体所受的摩擦力大小为_____, 方向_____。当它们以 4m/s 的速度匀速运动时, 物体所受摩擦力的大小为_____。
8. 一个质量为 45kg 的男孩站在升降机里。当升降机以 2m/s 的速度匀速上升时, 他对地板压力的大小是_____; 当升降机以 1m/s^2 的加速度匀加速上升时, 他对地板压力的大小是_____; 当升降机以 1m/s^2 的加速度匀减速上升时, 他对地板压力的大小是_____; 当升降机以 1m/s^2 的加速度匀加速下降时, 他对地板压力的大小是_____。($g = 10\text{m/s}^2$)
9. 在倾角为 $\alpha = 30^\circ$ 的斜面上, 一个物体以初速度 $v_0 = 10\text{m/s}$ 向上滑行, 它向上滑了 8m 后又开始向下滑行, 取 $g = 10\text{m/s}^2$, 求:
- (1) 物体沿斜面向上滑行的加速度;
(2) 物体与斜面间的动摩擦因数。

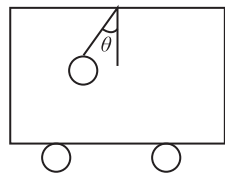


图 3-5

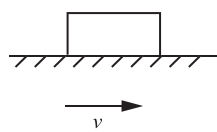


图 3-6



参考答案

1. D 2. A 3. C 4. C
5. 0.16N , 0.4N , 竖直向下 6. $\frac{a_1 a_2}{a_1 + a_2}$
7. 4.5N , 水平向右, 0 8. 450N , 495N , 405N , 405N
9. 解: (1) 根据匀减速直线运动的速度—位移公式 $2as = v_t^2 - v_0^2$ 知, 物体在斜面上向上滑行时的加速度 $a = \frac{v_0^2}{2s} = \frac{10^2}{2 \times 8} \text{m/s}^2 = 6.25\text{m/s}^2$, 方向沿斜面向下。
- (2) 物体向上运动时, 摩擦力 F_f 的方向沿斜面向下, 受力如图 3-7 所示, 因此由牛顿第二定律有
- $$mg \sin \alpha + F_f = ma \quad \text{①}$$

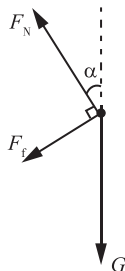


图 3-7

$$\text{又由 } F_N = mg \cos \alpha \quad (2)$$

$$F_f = \mu F_N \quad (3)$$

联立①②③得动摩擦因数为

$$\mu = \frac{F_f}{F_N} = \frac{a}{g \cos \alpha} - \tan \alpha$$

代入已知数据得

$$\mu = \frac{6.25}{10 \cos 30^\circ} - \tan 30^\circ \approx 0.14。$$

第四章 机械能 动量

第一节 功、功率

一、功

当力的方向与位移方向相同时,功(W)等于力(F)与位移(s)的乘积,即

$$W = Fs$$

当力的方向与位移方向成某一角度 α 时。功(W)等于力(F)、位移(s)、力与位移夹角的余弦的乘积,即

$$W = Fs \cos \alpha$$

二、功率

在物理学中,做功的快慢用功率来表示。功 W 跟完成这个功所用的时间 t 的比值叫功率。用 P 表示功率,则 $P = \frac{W}{t}$ 。

功率和功一样是标量,只有大小没有方向。在国际单位制中,功率的单位是瓦特,简称瓦,符号为 W , $1W = 1J/s$ 。瓦这个单位较小,技术上常用千瓦(kW)作功率的单位, $1kW = 1000W$ 。

$$\text{把 } W = Fs \cos \alpha \text{ 代入功率公式有 } P = \frac{W}{t} = \frac{Fs \cos \alpha}{t}。$$

$$\text{因 } \frac{s}{t} = v, \text{ 于是有 } P = Fv \cos \alpha。$$

当 v 是瞬时速度, P 是瞬时功率;若 v 是平均速度, P 是平均功率, θ 是 F 与 v 方向间的夹角。

第二节 动能、动能定理

一、动能

物体由于运动而具有的能叫作动能,静止的物体,动能等于零。

$$\text{物体的动能公式是 } E_k = \frac{1}{2}mv^2。$$

其中 E_k 为物体的动能, m 为物体的质量, v 为物体的运动速度。

二、动能定理

设物体的加速度为 a , 则由牛顿第二定律 $F=ma$ 和匀变速直线运动公式 $s=\frac{v_2^2-v_1^2}{2a}$ 可得外力所做的功 $W=Fs=ma \cdot \frac{v_2^2-v_1^2}{2a}=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$, 或写成 $W=E_{k2}-E_{k1}$ 。式中 E_{k1} 、 E_{k2} 分别为此物体初状态和末状态的动能。这表明, 合外力对物体所做的功, 等于物体动能的改变量, 这就是动能定理。

第三节 势能、机械能守恒定律

一、势能

物体由于被举高或发生弹性形变而具有的能叫作势能。

物体由于被举高而具有重力势能, 它的大小随物体和地球的相对位置的变化而变化, 重力势能是一种引力势能。一个质量为 m 的物体, 被举到高度为 h 处, 具有的重力势能为 $E_p=mgh$ 。

物体由于发生弹性形变而具有的能量叫作弹性势能。弹簧的弹性势能的大小与劲度系数和形变量有关。弹簧的形变量和劲度系数越大, 弹簧的弹性势能就越大。

二、机械能

动能和势能统称为机械能: $E=E_k+E_p$ 。

不同形式的机械能之间是可以相互转化的。

三、机械能守恒定律

物体在自由下落过程中, 它的动能和重力势能之和保持不变, 即

$$E_k+E_p=\text{恒量}$$

在只有重力(或弹簧弹力)做功的过程中, 物体的动能和重力势能(或弹性势能)发生相互转化, 但总的机械能保持不变。这个结论叫作机械能守恒定律。

四、功和能量转化的关系

(1) 合外力对物体所做的功等于物体动能的变化量: $W_{\text{合}}=E_{k\text{末}}-E_{k\text{初}}$ (动能定理)。

(2) 只有重力(或弹力)做功的过程中, 物体的机械能守恒。

(3) 只要重力对物体做功, 物体的重力势能一定变化, 且 $W_G=E_{p\text{初}}-E_{p\text{末}}$, 重力势能的变化只跟重力做功有关。

(4) 重力和弹力之外的力对物体做的功 W_F , 等于物体机械能的变化: $W_F=E_{\text{末}}-E_{\text{初}}$ 。

第四节 冲量、动量、动量定理、动量守恒定律

一、冲量

作用在物体上的力 F 跟力的作用时间 t 的乘积 Ft , 叫作该力对这个物体的冲量, 常用符号 I 表示, 即

$$I= Ft$$

冲量是矢量, 它的方向和作用力的方向相同。冲量的单位是 $\text{N} \cdot \text{s}$ 。

二、动量

物体的质量 m 和速度 v 的乘积 mv 叫作动量, 常用符号 p 表示, 即

$$p = mv$$

动量是矢量,它的方向和速度的方向一致。动量的单位是 $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。动量是状态量,计算时相应的速度应取这一时刻的瞬时速度。动量的变化量 $\Delta p = p_2 - p_1$ 。

三、动量定理

物体在运动过程中所受合外力的冲量,等于它的动量的改变量,即

$$F_{\text{合}} t = p_2 - p_1 = mv_2 - mv_1$$

四、动量守恒定律

把一些相关的物体作为整体来研究时,这个整体被称为系统。系统中各物体动量的合成,叫作系统的总动量。系统以外其他物体对系统中物体的作用力,叫作系统所受到的外力。

系统所受合外力为零时,这个系统的总动量保持恒定,这个结论叫作动量守恒定律。

注意:

(1) 动量定理 $Ft = mv_2 - mv_1$ 是矢量式,做题时务必注意, F 是指物体受到的合外力(或是一个力的平均力),若力的作用在一条直线上,则应确定正方向,凡与所取正方向相反的矢量均应取负值。

(2) 应用动量守恒定律, $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ 时,首先应确定正方向,然后确定始、末状态下各物体的动量的正负,最后列出方程式求解。



例题分析

例题 1 用长为 l 的细绳系住一个质量为 m 的小球,使它在竖直平面内做变速圆周运动,运动一周后小球的动能增加了 E ,重力对小球做功为 A_G ,绳子拉力对小球做功为 A_T ,则()。

A. $A_G = 2mgl, A_T = E - 2mgl$

B. $A_G = 2mgl, A_T = E - mgl$

C. $A_G = 2mgl, A_T = -2mgl$

D. $A_G = 0, A_T = 0$

解析: 小球做圆周运动,绳子拉力始终沿圆周的半径方向,与运动方向垂直,因此拉力始终不做功,排除 A、B、C,小球运动一周后回到原来的位置,高度不变,因此在小球运动一周的全过程中重力的总功为零,D 正确,选 D。

但是,题意给出小球运动一周后动能增加了 E ,这说明除了绳子拉力和重力外小球还受到其他外力的作用,这个外力对小球做了功,使它的动能增加。如把绳子的一端固定,用手拉住小球使绳子拉紧,然后小球在手的作用下绕固定端在竖直平面内做圆周运动,手做功等于 E 。

例题 2 如图 4-1 所示,质量为 m 的物体,从离地面高 h 处的 A 点由静止开始沿坡路下滑,到达 B 点停止。要把它从 B 点沿坡路拉回到 A 点,外力做功至少是_____。

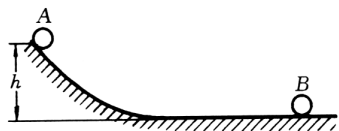


图 4-1

解析: 本题没有给出地面阻力的情况,所以必须用动能定理解题。

物体从 A 点滑到 B 点的过程中只有重力和阻力做功,重力做正功,阻力做负功。在用外力把物体从 B 拉回到 A 的过程中,外力、重力和阻力都做功,外力做正功,重力和阻力都做负功。

物体从 A 点由静止开始运动,初动能为零。物体到 B 点处停止,末动能也为零。因此物体在 A 到 B 的过程中有

$$W = W_G - |W_f| = 0$$

因此

$$|W_f| = W_G$$

因为 $W_G = mgh$

所以

$$|W_f| = mgh \quad (1)$$

再考虑把物体从 B 拉回 A 的过程。设此过程中外力的功为 W_F , 重力的功为 W'_G , 由于路面情况不变, 阻力的功仍为 W_f 。根据动能定理有

$$W = W_F + W'_G - |W_f| = \frac{mv^2}{2}$$

v 是物体回到 A 点处的末速度。因为重力做负功, 所以

$$W'_G = -mgh \quad (2)$$

把式(1)、(2)代入得

$$W_F - 2mgh = \frac{mv^2}{2}$$

即

$$W_F = \frac{mv^2}{2} + 2mgh \geq 2mgh$$

因此, 外力的功至少为 $2mgh$ 。

例题 3 如图 4-2 所示, 把小球拉到水平位置后自由释放, 设小球质量为 m , 悬线长是 l , 则小球经过最低点时悬线的拉力是()。

- A. $3mg$ B. $2mg$ C. mg D. 0

解析: 小球在运动过程中, 受重力 G 和绳子拉力 F_T 的作用。绳子拉力不做功, 只有重力做功。因此机械能守恒。

选最低点为重力势能的零点。小球在开始运动时只有重力势能, 动能为零, 机械能为

$$E_0 = E_p = mgl$$

小球在最低点时, 只有动能, 重力势能为零, 它的机械能为

$$E = E_k = \frac{mv^2}{2}$$

因为机械能守恒, 所以

$$E = E_0$$

由此得

$$\frac{mv^2}{2} = mgl \quad (1)$$

小球在最低点时, 根据向心力公式有

$$F = F_T - mg = \frac{mv^2}{l}$$

因此, 绳子的拉力为

$$F_T = mg + \frac{mv^2}{l} \quad (2)$$

由式(1)、(2)得

$$F_T = mg + 2mg = 3mg$$

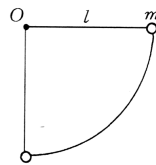


图 4-2

选 A。

例题 4 如图 4-3 所示,在弹簧的一端悬挂一个质量为 m 的小球,小球处于平衡位置静止不动。今用手把小球放回到弹簧原长处,然后使小球在原长处静止释放,设手做功为 W ,则小球经过平衡位置时的速率为()

A. $\sqrt{\frac{W}{4m}}$

B. $\sqrt{\frac{W}{2m}}$

C. $\sqrt{\frac{W}{m}}$

D. $\sqrt{\frac{2W}{m}}$

解析:以小球为研究对象。小球运动的全过程是在手的作用下从平衡位置到弹簧原长处,然后自由释放,小球回到平衡位置。在全过程中小球受重力、弹簧的弹力和手的作用力。因为小球的始末位置相同(平衡位置),所以重力势能不变,重力的总功为零。此外,弹簧在始末位置的形变相同,弹性势能不变,弹力的总功也为零。整个过程中只有手对小球做功,用动能定理解题。

小球最初静止在平衡位置,因此初动能

$$E_{k0} = 0$$

设小球回到平衡位置的速率为 v ,末动能为

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

根据动能定理有

$$W = E_k - E_{k0} = \frac{mv^2}{2}$$

解得

$$v = \sqrt{\frac{2W}{m}}$$

选 D。

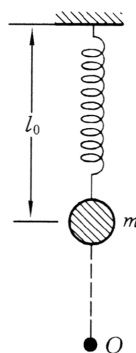


图 4-3

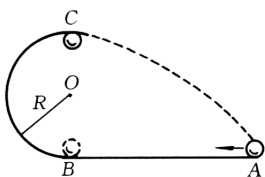


图 4-4

例题 5 小球在外力作用下,由静止开始从 A 点出发作匀加速直线运动,到达 B 点时消除外力。然后,小球冲上竖直平面内半径为 R 的光滑半圆环,恰能维持在圆环上做圆周运动,到达最高点 C 后抛出,最后落回到原来的出发点 A 处,如图 4-4 所示。试求小球在 AB 段运动的加速度为多大。

解析:为了便于求解,我们先分析小球的运动过程。小球的运动过程可分为三个阶段。第一阶段,小球在外力作用下从 A 到 B 做初速度为零的匀加速直线运动。第二阶段,消除外力后,小球冲上半径为 R 的光滑半圆环,由 B 到达圆环最高点 C。第三阶段,小球在 C 点沿速度方向飞出,做平抛运动落回到 A 点。

先考虑小球由 B 到 C 的过程。因小球在 C 点的速度恰能维持小球做圆周运动,故小球在该点的速度 v_C 满足下式

$$m \frac{v_C^2}{R} = mg$$

即

$$v_C = \sqrt{Rg}$$

选小球、地球为研究对象,运动过程中只有重力做功,小球从 B 到 C 过程中机械能守恒。

设 B 处为重力势能的零点,有

$$E_B = \frac{1}{2}mv_B^2; E_C = \frac{1}{2}mv_C^2 + 2mgR$$

因为

$$E_B = E_C$$

故

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}mv_C^2 + 2mgR$$

解得

$$v_B^2 = 5Rg$$

再考虑小球由 C 到 A 的过程。这时,小球做初速度为 v_C 的平抛运动,因此从 C 到 A 所需的时间等于小球从 C 点自由下落到地面的时间。即

$$2R = \frac{1}{2}gt^2$$

$$t = \sqrt{\frac{4R}{g}}$$

而 AB 段的长度即为小球做平抛运动的水平距离 s ,

$$s = v_C t = \sqrt{Rg} \times \sqrt{\frac{4R}{g}} = 2R$$

最后考虑小球在 AB 段的运动。由题意可知,小球做初速度为零的匀加速运动,故有

$$v_B^2 = 2as$$

于是,小球在 AB 段的加速度为

$$\begin{aligned} a &= \frac{v_B^2}{2s} = \frac{5Rg}{4R} = \frac{5}{4}g = \frac{5}{4} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \\ &= 12.25 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

例题 6 两个物体的质量分别为 m_1 和 m_2 , $m_2 : m_1 = 3 : 1$ 。当它们的动量相等时,它们的动能之比 $E_{k1} : E_{k2} =$ _____; 当它们的动能相等时,它们的动量之比 $p_1 : p_2 =$ _____。

解析: 对于同一个物体来说,动能与动量的大小之间有确定的关系

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$$

因此

$$E_{k1} = \frac{p_1^2}{2m_1}$$

$$E_{k2} = \frac{p_2^2}{2m_2}$$

它们之间的动能比为

$$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^2 \cdot \frac{m_2}{m_1}$$

上式中, $p_1 = p_2$ 时

$$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \frac{m_2}{m_1} = 3 : 1$$

当 $E_{k1} = E_{k2}$ 时

$$\frac{p_1}{p_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} = 1 : \sqrt{3}$$

例题 7 两个相向运动的小球,碰撞后两球静止,则碰撞前两球()

- A. 动能相等 B. 动量相等
C. 动量的大小相等 D. 速度相等

解析:选两个小球为系统,两小球碰撞时相互作用力远大于外力,所以动量守恒。根据动量守恒有

$$p_{10} + p_{20} = p_1 + p_2$$

按题意,碰撞后两小球静止, $p_1 + p_2 = 0$, 故有

$$p_{10} = -p_{20}$$

上式表明两小球碰前动量大小相等,方向相反,所以选 C。

例题 8 在光滑水平桌面上有一轻质弹簧,它的两端分别放有两个小球 A 和 B。今用两手挤住小球,使弹簧受到压缩而静止在桌面上,然后同时松开两手。已知两球的质量 $m_A : m_B = 1 : 2$,则在弹簧恢复原长的过程中的任意时刻,两球的动量大小之比 $|p_A| : |p_B|$ 和动能之比 $E_{kA} : E_{kB}$ 分别是()

- A. 2 : 1, 2 : 1 B. 1 : 2, 1 : 2
C. 1 : 1, 1 : 2 D. 1 : 1, 2 : 1

解析:选两个小球为研究对象。它们受的重力与桌面的支持力抵消。它们在水平方向上均受弹簧弹力的作用,但因作用在两小球上弹力的大小相等而方向相反,所以矢量和为零。因此,在弹簧恢复原长的过程中,两个小球的总动量守恒。两小球由静止释放,所以开始运动时的总动量 $p_0 = 0$,由动量守恒知任意时刻有

$$p = p_A + p_B = 0$$

即

$$|p_A| : |p_B| = 1 : 1$$

据此可排除 A、B。

再根据动量与动能的关系

$$E_k = \frac{p^2}{2m}$$

得

$$E_{kA} : E_{kB} = p_A^2 m_B : p_B^2 m_A = m_B : m_A = 2 : 1$$

故选 D。

如果选两个小球和弹簧为研究对象,则在弹簧恢复原长的过程中,只有弹簧的弹力做功,系统的机械能守恒。但是,机械能守恒并不等于两个小球的动能之和保持不变。因此,在本题的情形下还必须考虑弹簧的弹性势能,它是系统机械能中的一部分。显然,在弹簧恢复原长的过程中,弹簧的形状时刻变化,因此弹性势能也时刻变化。

例题 9 如图 4-5 所示,在光滑的地面上有一辆平板车,车的两端分别站着 A 和 B 两个人,质量为 m_A 和 m_B , $m_A > m_B$ 。最初人和车都处于静止状态,现在,两人同时由静止开始相向而行, A 和 B 对地面的速度大小相等,则车()

- A. 向右运动 B. 静止不动
C. 向左运动 D. 左右往返运动



图 4-5

解析:选车和人为系统。系统所受的外力为地面的支持力和车、人的重力,这些力的矢量和为零,系统动量守恒。

按题意,人和小车均静止,系统的初动量为零,

$$p_0 = p_{A0} + p_{B0} + p_{车0} = 0$$

两人运动后,系统的动量为

$$p = p_A + p_B + p_{车}$$

选向右为正方向,则

$$p_A = m_A v_A$$

$$p_B = -m_B v_B$$

因为 $m_A > m_B$, $v_A = v_B$, 所以

$$p_A + p_B > 0$$

由于动量守恒,因此

$$p = p_A + p_B + p_{车} = p_0 = 0$$

由此得

$$p_{车} = -(p_A + p_B) < 0$$

这表明 $v_{车} < 0$, 车向左运动, 选 C。

例题 10 一个爆竹在升到最高点 h 处爆炸, 爆炸后分成质量 $m_1 : m_2 = 1 : 2$ 的两块, 其中 m_1 获得水平速度 v , 则两块爆竹落地时相距为_____。

解析:爆竹在爆炸的瞬间, 内力是爆炸力, 内力远比其他外力大, 因此爆竹在爆炸前后动量守恒。爆竹在最高点爆炸, 爆炸前动量为零。根据动量守恒知, 爆竹爆炸后的总动量也为零。由于 m_1 获得水平速度 v , 因此 m_2 获得方向相反的水平速度。可见, m_1 、 m_2 都做平抛运动, 由此可求它们落地时的距离。

爆竹在最高处速度 $v = 0$, 因此爆炸前的初动量

$$p_0 = 0$$

设爆竹爆炸后, m_1 、 m_2 的速度分别为 v_1 、 v_2 , 则爆炸后的末动量为

$$p = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

因为动量守恒 $p_0 = p$, 故有

$$0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

由此得

$$v_2 = -\frac{m_1}{m_2} v_1 = -\frac{v}{2}$$

爆炸后 m_1 以初速度 v 做平抛运动, m_2 以初速度 $-\frac{v}{2}$ 做平抛运动, 落地时间为

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

于是得 m_1 的水平射程为

$$x_1 = v \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

m_2 的水平射程为

$$x_2 = -\frac{v}{2} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

因此 m_1 、 m_2 落地时相距为

$$\Delta x = x_1 - x_2 = \frac{3v}{2} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$



专项练习

- 当重力对物体做正功时,物体的()
 A. 重力势能一定减小,动能一定增大
 B. 重力势能一定增加,动能一定减小
 C. 重力势能一定减小,动能不一定增加
 D. 重力势能不一定减小,动能一定增加
- 两物体质量之比 1 : 3,它们距离地面的高度之比也为 1 : 3,则它们落地时的动能之比为()
 A. 1 : 3
 B. 3 : 1
 C. 9 : 1
 D. 1 : 9
- 把质量 $m = 0.5 \text{ kg}$ 的物体以初速度 $v_0 = 6 \text{ m/s}$ 水平抛出,经过 0.8 s 后物体的动量增加了(取 $g = 10 \text{ m/s}^2$)()
 A. $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
 B. $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
 C. $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
 D. $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- 如果两个相向运动的小球碰撞后都变为静止状态,那么,对于碰撞前两个小球的下列说法,正确的是()
 A. 质量一定相等
 B. 动量一定相等
 C. 动量的大小一定相等
 D. 速度一定相等
- 小球的质量是 m ,沿水平方向以速度 v 撞击墙壁,球被反向弹回时速度的大小是 $\frac{4}{5}v$,球与墙壁撞击的时间是 t ,在撞击过程中球对墙壁平均作用力的大小是()
 A. $\frac{mv}{5t}$
 B. $\frac{4mv}{5t}$
 C. $\frac{mv}{t}$
 D. $\frac{9mv}{5t}$
- 一个人用 10 m/s 的速度踢出质量为 0.2 kg 的足球,球在地面上运动了一段距离后,滚上斜面,在斜面上 1.0 m 高处速度变为零,人踢球时做的功是 _____ J,球在运动中克服摩擦力做的功是 _____ J。
- 起重机把一重物从地面以加速度 $a = 2 \text{ m/s}^2$ 匀加速地升高 5 m ,重物的质量是 50 kg ,钢绳的拉力是 _____ N,拉力所做的功是 _____ J。
- 如图 4-6 所示,质量为 m 的子弹水平地射入质量为 m' 的沙箱后,沙箱与子弹以一定速度 v 运动,已知摆角 $\theta = 60^\circ$,绳长为 L 。子弹射入沙箱时的初速度是 _____,子弹对沙箱作用力的冲量是 _____。

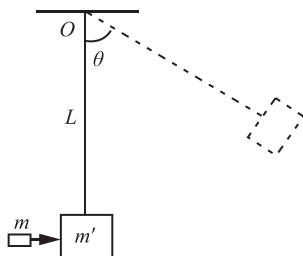


图 4-6

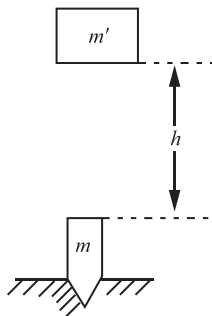


图 4-7

- 质量 $m = 3.0 \text{ kg}$ 的物体放置在光滑的水平桌面上,在 $F = 12 \text{ N}$ 的水平力作用下,速度由 10 m/s 增加到

22m/s, 则力作用的时间是_____ s。

10. 如图 4-7 所示, 质量为 m' 的重锤在高为 h 处自由下落, 打击质量为 m 的桩, 问:

(1) 因碰撞损失的动能是多少?

(2) 如果地面的平均阻力是 f , 桩可打进多深?



参考答案

1. C 2. D 3. B 4. C 5. D

6. 10, 8.04 7. 590, 2950

8. $\frac{m+m'}{m}\sqrt{gL}, m'\sqrt{gL}$ 9. 3.0

10. 解: (1) 根据自由落体运动公式可得重锤自由下落 h 时的速度为 $v_0 = \sqrt{2gh}$ ①

重锤与桩碰撞后的速度为 v , 根据动量守恒定律有 $m'v_0 = (m' + m)v$ ②

$$\Delta E_k = E_{k0} - E_k = \frac{1}{2}m'v_0^2 - \frac{1}{2}(m' + m)v^2 \quad ③$$

联立①②③得 $\Delta E_k = \frac{mm'}{m+m'}gh$ 。

(2) 重锤和桩一起打入土中时, 受重力 G 和阻力 f 的作用, 合外力为

$$F_{\text{合}} = f - G = f - (m' + m)g \quad ④$$

设桩打入土中的深度为 d , 则根据动能定理有

$$F_{\text{合}} d = \frac{1}{2}(m' + m)v^2 \quad ⑤$$

联立①②③④⑤得 $d = \frac{m'^2 gh}{(m' + m)[f - (m' + m)g]}$ 。

第五章 曲线运动

第一节 平抛运动

一、曲线运动

物体在受到与它的运动方向成角度的力的作用时做曲线运动。

1. 曲线运动中速度的方向

在曲线运动中, 运动质点在某一点的瞬时速度方向, 就是通过曲线的这一点的切线的方向。

2. 物体做曲线运动的条件

如果物体受到的合外力的方向跟速度的方向不在一条直线上, 而是成一角度, 合外力就不但改变物体速度的大小, 而且改变速度的方向, 物体就做曲线运动。

二、平抛运动

将物体用一定的初速度水平抛出, 物体只在重力作用下的曲线运动叫作平抛运动。平抛运动可以

看作两个分运动合成的,一个是水平方向上的匀速直线运动,其速度公式为 $v_x = v_0$,位移公式为 $x = v_0 t$;一个是竖直方向上的自由落体运动,其速度公式为 $v_y = gt$,位移公式为 $y = \frac{1}{2}gt^2$ 。

第二节 圆周运动

一、匀速圆周运动

1. 匀速圆周运动

做圆周运动的物体,如果在相等的时间里通过的弧长都相等,这种运动叫作匀速圆周运动。

2. 角速度和线速度

在匀速圆周运动中,连接物体和圆心的半径转过的角度 θ 与所用时间 t 的比值叫作匀速圆周运动的角速度,用 ω 表示角速度,则 $\omega = \theta / t$ 。

在国际单位制中,角速度的单位是弧度每秒(rad/s)。对于做匀速圆周运动的物体,角速度是一个恒量。

因物体在一个周期 T 内转过的角度是 2π ,所以 $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ 。

物体做匀速圆周运动时,速度的方向是时刻改变的,但大小不变,等于物体通过的弧长 s 和所用时间 t 之比,即 $v = \frac{s}{t}$,这个比值叫作线速度。线速度常用计算式: $v = \frac{2\pi r}{T}$,式中, r 为圆周半径, T 为周期。

3. 周期和频率

做圆周运动的物体运动一周所需要的时间叫作周期(T),单位是秒(s)。做圆周运动的物体在单位时间内沿圆周绕圆心转过的圈数叫作频率(f),单位是赫兹,符号为 Hz。

周期 T 和频率 f 都是表示匀速圆周运动快慢的物理量,它们之间的关系是 $f = \frac{1}{T}$ 或 $T = \frac{1}{f}$ 。

4. 线速度、角速度、周期、频率的关系

$$T = \frac{1}{f}, \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f = r\omega$$

5. 向心加速度

向心加速度的大小: $a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$ 。

方向总是指向圆心。向心加速度只能改变线速度的方向,而不能改变它的大小。

6. 向心力

匀速圆周运动的加速度总是指向圆心,可见,这时物体受到的合外力方向总是指向圆心的,叫作向心力,向心力的表达式为 $F = ma = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$ 。

方向总是沿半径指向圆心,时刻在变化。向心力不是恒力,因为它的方向在变化。

二、人造地球卫星、第一宇宙速度

对于在地球表面附近运动的卫星,理论推得第一宇宙速度为

$$v_1 = \sqrt{gR}$$

式中, g 为重力加速度, R 为地球的半径。



例题分析

例题 1 飞机在 $h_E = 500\text{m}$ 高空中以 $v_1 = 60\text{m/s}$ 的速度水平飞行, 海面上有一艘敌舰以 $v_2 = 15\text{m/s}$ 的速度与飞机同向航行。该飞机要轰炸敌舰, 应在何处投弹? 如果敌舰与飞机反向航行, 其他条件不变, 应在何处投弹? (取 $g = 10\text{m/s}^2$)

解析: 炸弹脱离飞机后做平抛运动, 初速度就是飞机的速度 v_1 。

炸弹的飞行时间是

$$t_f = \sqrt{\frac{2h_E}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 500}{10}} \text{s} = 10\text{s}$$

在这段时间里, 炸弹飞行的水平距离是

$$s_1 = v_1 t_f$$

敌舰航行的距离是

$$s_2 = v_2 t_f$$

设飞机投弹时离开敌舰的水平距离是 s 。为了使炸弹击中敌舰, 炸弹与敌舰必须在 t_f 时相遇, 因此

$$s_1 = s + s_2$$

由此得

$$s = s_1 - s_2 = v_1 t_f - v_2 t_f = (v_1 - v_2) t_f$$

代入题给数据后得到

$$s = (60 - 15) \times 10\text{m} = 450\text{m}$$

如果敌舰与飞机反向航行, 为使炸弹击中敌舰, 应有

$$s = s_1 + s_2 = (v_1 + v_2) t_f$$

由此得

$$s = (60 + 15) \times 10\text{m} = 750\text{m}$$

例题 2 电子在半径为 $5.29 \times 10^{-11}\text{m}$ 的圆周轨道上以 $2.18 \times 10^6\text{m/s}$ 的速度绕原子核做匀速圆周运动。电子运动的加速度是 _____ m/s^2 , 角速度是 _____ rad/s 。

解析: 电子的向心加速度为

$$a = \frac{v^2}{R}$$

代入题给数据得

$$a = \frac{(2.18 \times 10^6)^2}{5.29 \times 10^{-11}} \text{m/s}^2 = 8.98 \times 10^{22} \text{m/s}^2$$

根据线速度与角速度的关系得

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{2.18 \times 10^6}{5.29 \times 10^{-11}} \text{rad/s} = 4.12 \times 10^{16} \text{rad/s}$$

例题 3 汽车的质量为 m , 行驶速度为 v 。求汽车在以下各情况中对桥面的压力:

- (1) 通过水平桥面;
- (2) 通过半径为 R 的凸形桥面最高点;
- (3) 通过半径为 R 的凹形桥面最低点。

解析:如图 5-1 所示,汽车在三种情况中,都在竖直方向受到重力 G 和桥面支持力 F_N 的作用。 F_N 的反作用力 F'_N 就是所要求的汽车对桥面的压力。

(1)汽车做匀速直线运动,竖直方向无加速度,因此

$$F_N - G = 0$$

按牛顿第三定律,得

$$F'_N = F_N = mg$$

(2)汽车做匀速圆周运动,最高点处向心加速度向下,因此合外力方向向下,大小等于 $G - F_N$ 。合外力就是向心力,因此

$$G - F_N = m \frac{v^2}{R}$$

$$F'_N = F_N = mg - m \frac{v^2}{R}$$

(3)汽车仍做匀速圆周运动,最低点处的向心加速度向上,因此合外力方向向上,大小等于 $F_N - G$ 。由向心力公式,有

$$F_N - G = m \frac{v^2}{R}$$

$$F'_N = F_N = mg + m \frac{v^2}{R}$$

在三种情况中,凸形桥面所受的压力最小。因此,常见的桥很多是凸形桥。

本例说明,做直线运动的物体,在垂直于速度的方向上没有加速度。因此,所受到的支持力不变;做圆周运动的物体,在垂直于速度的方向上有加速度。因此,所受到的支持力随速度大小和轨道半径的不同而改变。

例题 4 物体用长为 l 的细绳拴着,在竖直平面内做圆周运动。当物体通过最高点时,速度至少是

()

A. $\sqrt{\frac{gl}{2}}$

B. $\sqrt{gl}$

C. $\sqrt{2gl}$

D. $\sqrt{3gl}$

解析:物体在最高点时,重力 G 与绳子拉力 F_T 的方向都竖直向下指向圆心,因此向心力为 $F = G + F_T$ 。根据向心力公式有

$$F_T + G = \frac{mv^2}{l}$$

即

$$F_T = \frac{mv^2}{l} - G = m \left(\frac{v^2}{l} - g \right)$$

可见,物体通过最高点的速度变小时,拉力 F_T 随之减小。 F_T 的最小值是 0,由此得物体通过最高点的的速度是

$$v_{\min} = \sqrt{gl}$$

讨论:当物体在竖直平面内做圆周运动的速度过小,以致物体在最高点的速度达不到 $\sqrt{gl}$ 时,则物体不可能达到圆周的最高点,物体不能绕圆周运动一周。此外,物体做变速圆周运动时,所有外力沿半径方向的分力之和等于向心力,但并不等于物体所受的合外力。做变速圆周运动的物体,它的速度的大小、方向都在改变,加速度并不指向圆心,所以合外力也不指向圆心。

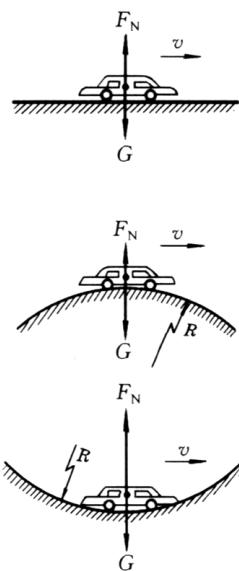


图 5-1