

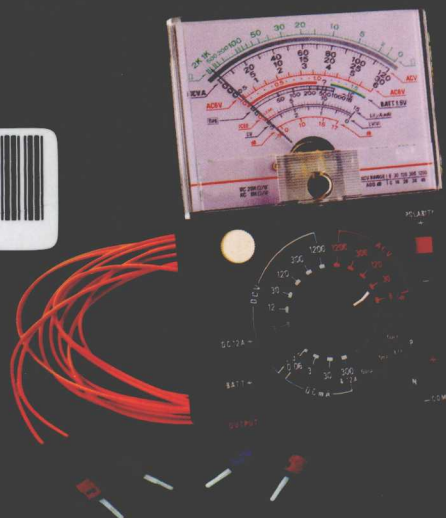
高中新课程 重难点 突破

GAOZHONG XINKECHENG
ZHONGNANDIAN
TUPO

物理 必修2



YZLI0890161807



湖北长江出版集团
湖北教育出版社

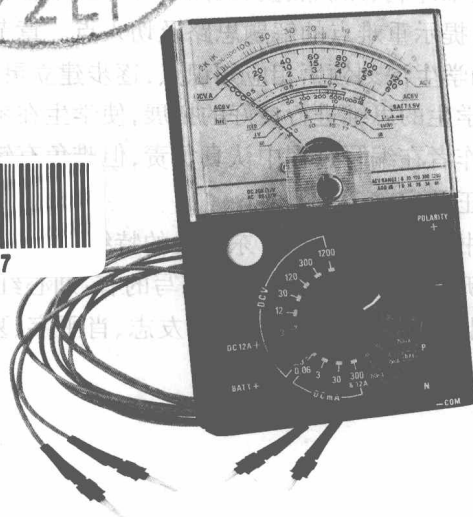
本书编写组 编写

高中新课程 重难点 突破 物理 必修2

GAOZHONG XINKECHENG
ZHONGNANDIAN
TUPO



YZLI0890151807



湖北长江出版集团
湖北教育出版社

(鄂)新登字 02 号

图书在版编目(CIP)数据

高中新课程重难点突破 物理必修 2/本书编写组编写. —武汉:湖北教育出版社,2011. 7

ISBN 978 -7 -5351 -6572 -5

I. 高… II. 本… III. 中学物理课 - 高中 - 教学参考资料
IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 085321 号

出版 发行:湖北教育出版社
网 址:<http://www.hbedup.com>

武汉市青年路 277 号
邮编:430015 电话:027 - 83619605

经 销:新 华 书 店
印 刷:湖北新开元印刷有限公司印刷
开 本:787mm × 1092mm 1/16
版 次:2011 年 7 月第 1 版
字 数:218 千字

(437100 · 咸宁市金桂大道)
8.5 印张
2011 年 7 月第 1 次印刷
印数:1 - 6 000

ISBN 978 -7 -5351 -6572 -5

定价:17.00 元

如印刷、装订影响阅读,承印厂为你调换

前言

随着普通高中新课程改革的不断深入和扩大,为贯彻新课程的精神和要求,并针对学生在未来的新课程条件下的学习能力的要求,我们编写了本套丛书。

本套书打破了新课标各个版本教材的限制,又综合了各个版本教材的内容,做到通用且好用。本套丛书的编写建构在实施新课程的教学和教研基础之上,注重实用性和可操作性。本套丛书以教学大纲为基础,与现行的教材基本同步,全面落实课程内容,达到教学目标和考纲对学生能力的要求。

本套丛书以高中阶段中等成绩学生为目标对象,以帮助学生提升学习成绩和综合素质为主要目的。丛书贯彻了新课标和高考大纲的精神,突破传统的学习模式,通过对本书的学习,要达到将教材知识融会贯通,并在教材基础上有相应的拓展;对解题方法能熟练运用并能迅速找到解题的突破口,帮助解决学生学习过程中最急需解决的问题;提升学生的自学能力,并切实提高分析问题的能力,掌握深入探究问题的方法,拓展解题思路。本丛书区别于传统意义上的教学参考书,将教材知识结构和解题方法规律进行了有效结合。

丛书编写顺序与教材一致,遵循“教材中有什么,我们就提供什么”的原则,以教材内容为模板,按教材章节编写,包括本章节课程的主要概念(内容),设有基础知识、学习方法、重点难点、重难冲刺、知识点拨、巩固练习等多个栏目,用相关例题来说明,并详细叙述解题的方法及技巧,提示重难点的解题思路及切入点。章节后用大量的习题对所学内容进行巩固,复习,以帮助学生深刻领悟相应知识点,逐步建立灵活解题的思路和能力,其中少量难度较高的试题将对学生的思维进行良好的拓展,使学生在考试中立于不败之地。

虽然作者在编写过程中认真负责,但难免有错误及疏漏,恳请广大读者批评指正,以利于再版时修正及完善。

本套书由湖北、山东、广东等地的特级教师和一线教师骨干联合编写。主编:汪学毅。副主编:赵新、王庆平。参加各册编写的有:刘心红、张高庆、万江波、陈永定、曾庆平、何芳平、杨定军、刘亚东、胡敏、王宝成、王友志、肖平宇、夏冬阳、周新平、陈国庆、杨爱民、赵建军、孙晓新、张小兰、徐冬生。

本书编写组
2011年6月

目录

第五章

曲线运动	1
第1节 曲线运动	1
第2节 平抛运动	7
第3节 平抛运动的规律	8
第4节 实验:研究平抛运动	13
第5节 圆周运动	17
第6节 向心加速度	22
第7节 向心力	26
第8节 生活中的圆周运动	32
章末测试	39

第六章

万有引力与航天	41
第1节 行星的运动	41
第2节 太阳与行星间的引力	44
第3节 万有引力定律	47
第4节 万有引力理论的成就	53
第5节 宇宙航行	58
第6节 经典力学的局限性	64
章末测试	68

第七章

机械能守恒定律	71
第1节 追寻守恒量——能量	71
第2节 功	74
第3节 功率	80
第4节 重力势能	86
第5节 探究弹性势能表达式	91
第6节 实验:探究功与速度变化的关系	96
第7节 动能定理	100
第8节 机械能守恒定律	106
第9节 实验:验证机械能守恒定律	112
第10节 能量守恒定律与能源	116
章末测试	123

参考答案	126
-------------	-----

第五章 曲线运动

本章以曲线运动的两种实例——平抛运动和匀速圆周运动为例,研究了物体做曲线的条件及规律,逐步学习匀速圆周运动的相关概念、重要公式,如线速度、角速度、向心加速度和向心力等,以及解决复杂运动的基本方法——运动的合成与分解。学好本章的规律和概念,将会加深对速度、加速度及其关系的理解,更进一步提高运用牛顿定律分析、解决实际问题的能力。

第1节

曲线运动

目标导航



⑤ 基础知识

1. 知道什么是曲线运动及其位移。
2. 知道曲线运动中速度的方向是怎样确定的。
3. 知道运动的合成与分解的概念及其遵循平行四边形定则。
4. 知道物体做曲线运动的条件,会判断做曲线运动的物体所受合外力的大致方向。

⑤ 学习方法

1. 通过生活实例认识曲线运动,体验曲线运动与直线运动的区别。
2. 通过演示实验、数学分析的方法认识曲线运动的特点,体验曲线运动是变速运动及其速度方向的变化。

⑤ 重点难点

1. 对曲线运动速度方向、运动的合成与分解及曲线运动产生条件的理解是本节重点。
2. 理解物体做曲线运动时合力与速度的关系及运用运动的合成与分解处理实际问题是本节难点。

重难冲刺



一、对曲线运动速度方向的认识

1. 曲线运动:曲线运动是一种运动轨迹为曲线的运动。
 2. 曲线运动的方向
 - (1) 做曲线运动物体的速度方向时刻在改变。
 - (2) 质点某一点(或某一时刻)的速度方向是在曲线的这一点的切线方向。
- ①切线方向和物体的走向(轨迹的延伸方向)有

关,我们约定切线方向应与该处轨迹的延伸方向一致,如物体从A运动到B,它经C点时的速度方向如图5-1所示。

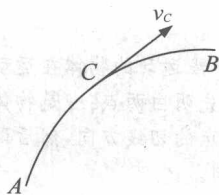


图5-1

②直线运动中的速度方向可看成是曲线运动中速度方向的特例。

3. 曲线运动一定是变速运动

(1)在曲线运动中至少速度的方向要发生变化,因此速度一定变化。

(2)做曲线运动的物体一定具有加速度(合外力一定不为零)。

注意:曲线运动一定是变速运动,一定具有加速度,但变速运动或具有加速度的运动不一定是曲线运动。

例1 翻滚过山车是大型游乐园里的一种比较刺激的娱乐项目。如图5-2所示,翻滚过山车(可看做质点)从高处冲下,过M点时速度方向如图所示,在圆形轨道内经过A、B、C三点,下列说法中正确的是()

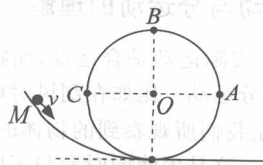


图5-2



- A. 过 A 点时的速度方向沿 AB 方向
- B. 过 B 点时的速度方向沿水平方向
- C. 过 A、C 两点时的速度方向相同
- D. 圆形轨道上与 M 点速度方向相同的点在 AB 段上

段上

导析 翻滚过山车经过 A、B、C 三点的速度方向如图 5-3 所示。由图判断 B 正确，A、C 错误。用直尺和三角板作 M 点速度方向的平行线且与圆相切于 N 点，则过山车过 N 点时速度方向与 M 点相同，D 错误。

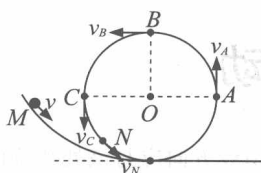


图 5-3

答案 B

说明

在确定做曲线运动的物体在运动轨道上某点的速度方向时，首先明白两点：一是物体沿轨迹的运动方向，二是沿该点的切线方向，然后两方面结合确定某点的速度方向。

拓展 关于曲线运动的速度，下列说法正确的是()

- A. 速度的大小与方向都在时刻变化
- B. 速度的大小不断发生变化，速度的方向不一定发生变化
- C. 速度的方向不断发生变化，速度的大小不一定发生变化
- D. 质点在某一点的速度方向沿曲线上该点的切线方向

导析 物体做曲线运动时速度的方向沿曲线的切线方向，而曲线上不同点的切线方向是不同的，所以速度的方向是不断发生变化的，而速度的大小不一定发生变化。

答案 CD

二、对合运动与分运动的理解

1. 物体的实际运动是合运动，而物体同时参与的其他运动是分运动。比如在刮风时雨滴的运动是斜向下的，这是我们所观察到的物体的实际运动，是雨滴的合运动。这是雨滴同时参与了竖直下落和风吹的水平运动两个分运动的共同效果。

2. 分运动具有独立性：一个物体同时参与几个分运动，其中的任一个分运动并不会因为另有分运动的存在而有所改变，也就是说各分运动分别遵循这一方向上的运动规律而彼此互不影响、相互独立。

3. 运动的等时性：各个分运动与合运动是同时开始、同时结束的，所经历的时间相等。因此我们可以用其中任一个分运动或合运动来计算物体的运动时间。当然，不同时发生的运动不能进行运动的合成。

4. 运动的等效性：像力的合成与分解一样，各分运动合成的共同效果和合运动的效果相同，即分运动与合运动是“等效替代”的关系。

例 2 水滴自高处由静止开始下落，在落地前的过程中遇到水平方向吹来的风，则()

- A. 风速越大，水滴下落的时间越长
- B. 风速越大，水滴下落的时间越短
- C. 水滴下落的时间与风速无关
- D. 水滴下落的速度是风速和自由下落速度两者的合速度

导析 在有风情况下雨滴的运动是雨滴自由下落运动和风吹作用下雨滴水平“飘动”两个分运动的合运动。因此选项 D 正确。根据运动的独立性，雨滴在竖直方向上的自由下落这一分运动不会受风速的影响，因此雨滴下落的时间与风速的大小无关，故选项 A、B 均错，选项 C 正确。

答案 CD

说明

(1) 物体的实际运动是合运动，合运动与分运动具有等时性、等效性。

(2) 当其中一个分运动变化时，其他分运动不受干扰而保持运动性质不变。

拓展 如图 5-4 所示，红蜡块能在玻璃管内的水中匀速上升，若红蜡块从 A 点匀速上升的同时，使玻璃管水平向右做匀加速直线运动，则红蜡块实际运动的轨迹是图中的()

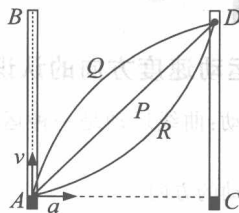


图 5-4

- A. 直线 P
- B. 曲线 Q
- C. 曲线 R
- D. 无法确定

导析 红蜡块参与了竖直方向的匀速直线运动和水平方向的匀加速直线运动两个分运动,实际运动的轨迹即合运动轨迹。由于它在任一点的合速度方向是向上或斜向右上,而合加速度就是水平向右的加速度,它与速度方向之间有一定夹角,故轨迹是曲线。又因为物体做曲线运动时曲线总向加速度方向偏折(或加速度方向总是指向曲线的凹侧),故选项B正确。

答案 B

三、对运动的合成与分解意义和方法的理解

1. 概念:由分运动求合运动的过程叫做运动的合成,由合运动求分运动的过程叫做运动的分解。即:

分运动 $\xrightarrow[\text{运动的分解}]{\text{运动的合成}}$ 合运动

2. 运动的合成与分解的方法:运动的合成与分解是指描述运动的各物理量,即位移、速度、加速度的合成与分解,由于它们都是矢量,遵循平行四边形定则。

(1)如果两个分运动都在同一条直线上,需选取正方向,与正方向同向的量取“+”,与正方向反向的量取“-”,则矢量运算简化为代数运算。

(2)如果两个分运动互成角度,则遵循平行四边形定则(如图5-5所示)。

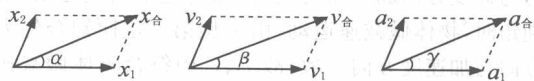


图 5-5

(3)两个相互垂直的分运动的合成:如果两个分运动都是直线运动,且互成角度为 90° ,其分位移为 x_1 、 x_2 ,分速度为 v_1 、 v_2 ,分加速度为 a_1 、 a_2 ,则其合位移 x 、合速度 v 和合加速度 a ,可以运用解直角三角形的方法求得,如图5-6所示。

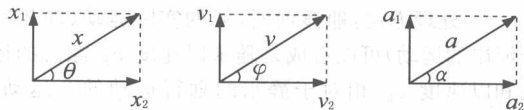


图 5-6

合位移大小和方向为 $x = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$, $\tan\theta = \frac{x_1}{x_2}$ 。

合速度大小和方向为

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}, \tan\varphi = \frac{v_1}{v_2}$$

合加速度的大小和方向为:

$$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}, \tan\alpha = \frac{a_1}{a_2}$$

注意:三个角 θ 、 φ 、 α 大小可以相同,也可以不同。

(4)运动的分解方法:理论上讲一个合运动可以分解成无数组分运动,但在解决实际问题时不可以随心所欲地随便分解。实际进行运动的分解时,需注意以下几个问题:

①确认合运动,就是物体实际表现出来的运动。

②明确实际运动是同时参与了哪两个分运动的结果,找到两个参与的分运动。

③正交分解法是运动分解最常用的方法,选择哪两个互相垂直的方向进行分解是求解问题的关键。

例3 (2010·江苏高考)如图5-7所示,一块橡皮用细线悬挂于O点,用铅笔靠着线的左侧水平向右匀速移动,运动中始终保持悬线竖直,则橡皮运动的速度()

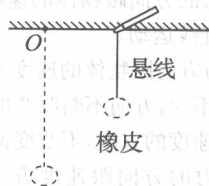


图 5-7

A. 大小和方向均不变

B. 大小不变,方向改变

C. 大小改变,方向不变

D. 大小和方向均改变

导析 橡皮在水平方向做匀速直线运动,在竖直方向做匀速直线运动,其合运动仍是匀速直线运动,其速度大小和方向均不变。选项A符合题意,正确。

答案 A

说明

已知分运动求合运动,要注意各分运动的等时性和矢量合成的平行四边形定则。

拓展

将小球以某一速度抛出,经过一段时间后小球落地,测得落地点与抛出点间的水平距离为4m,竖直距离为3m,求小球从抛出到落地过程中的位移。

导析

以抛出点为坐标原点,以水平方向和竖直方向为两坐标轴,建立平面直角坐标系,如图5-8。

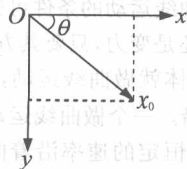


图 5-8



则位移 $x_0 = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} \text{ m} = 5 \text{ m}$

其方向与 x 轴夹角为 θ , 则:

$$\tan\theta = \frac{y}{x} = \frac{3}{4}$$

$$\theta = \arctan \frac{3}{4} = 37^\circ$$

答案 见导析。

四、从力和运动的关系角度理解物体做曲线运动的条件

1. 物体做曲线运动的条件

当物体所受合力的方向跟它速度方向总不在同一条直线上时, 物体做曲线运动。

2. 如何从力和运动的关系分析物体运动性质

(1) 当合外力的方向跟物体的速度方向在同一直线上时, 物体做直线运动。

(2) 当合外力方向跟物体的速度方向始终垂直时, 物体做速度大小不变, 方向不断改变的曲线运动, 此时的合外力只改变速度的方向, 不改变速度的大小。

(3) 当合外力的方向跟速度方向不在同一直线上时, 可将合外力分解到沿着速度方向和垂直于速度方向这两个方向上, 如图 5-9 所示, 沿着速度方向的分力 F_1 改变速度的大小, 垂直于速度方向的分力 F_2 改变速度的方向, 这时物体做曲线运动。

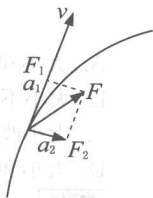


图 5-9

(4) 若力和速度之间的夹角为 θ , 当 $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$ 时, 物体速度增大, 当 $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ 时, 物体速度减小。

3. 合力 F 的指向

做曲线运动的物体所受合力 F 方向与其速度 v 方向分居在轨迹两侧。轨迹弯向合力 F 的方向。

例 4 关于曲线运动, 下列说法错误的是 ()

- A. 物体在恒力作用下不可能做曲线运动
- B. 物体在变力作用下一定做曲线运动
- C. 做曲线运动的物体, 其速度大小一定变化
- D. 加速度大小不变的运动可能是曲线运动

导析 恒力或变力只能决定受力物体的加速度是恒定还是变化, 而不能决定运动的轨迹是直线还是曲线。由物体做曲线运动的条件可知, 无论物体所受的合外力是恒力还是变力, 只要其方向与运动方向不在同一直线上, 物体就做曲线运动, 反之就做直线运动, 故选项 A、B 错。一个做曲线运动的物体, 速率可以不变, 如汽车以恒定的速率沿着曲线公路行驶, 其速度大小就不变, 故选项 C 错。在选项 D 中, 加速度

大小不变仅意味着物体所受的合外力大小不变, 但合外力方向完全可能与运动方向不在同一直线上, 故它完全可能是曲线运动, 所以选项 D 正确。

答案 ABC

说明

① 曲线运动是一种变速运动, 但主要表现在速度的方向在时刻变化, 速度大小不一定变化;

② 物体做曲线运动的条件是: 合外力方向是它速度方向不在同一直线上, 与物体所受的合力大小、方向是否变化无关, 分析问题时抓住问题的关键点。

拓展

图 5-10 中哪幅图能正确描述质点从 M 到 N 减速, 当运动到 P 点时的速度 v 和加速度 a 的方向关系 ()

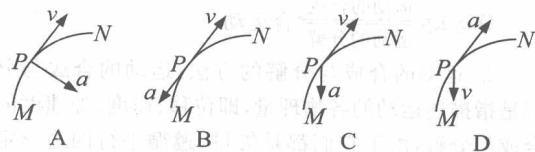


图 5-10

导析

做曲线运动的物体其速度方向在某点的切线方向, 加速度方向即合外力的方向, 指向曲线的凹侧, 则 A、B、C、D 四个图中速度和加速度方向符合曲线运动条件的为 A、C 两项; 曲线运动中, 当合外力与速度方向成直角时, 物体做匀速率曲线运动, 成钝角时, 物体做减速运动, 由牛顿第二定律知合外力方向与加速度方向一致, 故 A、C 中符合物体做减速运动规律的为 C 项。

答案 C

五、小船渡河问题分析

1. 条件: 河岸为平行直线, 水流速度 $v_{\text{水}}$ 恒定, 船相对静水的速度 $v_{\text{船}}$ 大小一定, 河宽设为 d 。

2. 处理方法: 船渡河时, 船的实际运动 (即相对于河岸的运动) 可以看成是随水以速度 $v_{\text{水}}$ 漂流的运动和以速度 $v_{\text{船}}$ 相对于静水的划行运动的合运动。这两个分运动互不干扰, 各自独立, 且具有等时性。

3. 两类典型问题

(1) 小船渡河最短时间问题

如图 5-11 所示, 设船头与河岸成任意角 θ , 这时 $v_{\text{船}}$ 在垂直于河岸方向的速度分量 $v_1 = v_{\text{船}} \sin\theta$, 渡河所需时间 $t = \frac{d}{v_1} = \frac{d}{v_{\text{船}} \sin\theta}$ 可以看出 d 、 $v_{\text{船}}$ 一定时, t 随 $\sin\theta$ 的增大而减小; 当 $\theta = 90^\circ$ 时, $\sin\theta = 1$ (最大), 所

以,当船头与河岸垂直时,渡河时间最短, $t_{\min} = \frac{d}{v_{\text{船}}}$ 。

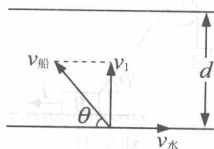


图 5-11

(2) 小船渡河最小位移问题

如图 5-12 所示,渡河的最小位移即河的宽度,为了使渡河位移等于 d ,必须使船的合速度 v 的方向与河岸垂直,这时船头应指向河的上游,并与河岸成一定的角度 θ 。根据三角函数关系有:

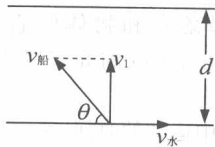


图 5-12

$$v_{\text{船}} \cos\theta - v_{\text{水}} = 0, \text{ 即 } \cos\theta = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}, \theta = \arccos \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}.$$

因为 $0 \leq \cos\theta \leq 1$, 所以只有在 $v_{\text{船}} > v_{\text{水}}$ 时, 船才有可能垂直于河岸横渡。

例 5 某部队在抢险中欲乘船横渡 200m 宽的大河, 河水流速为 2m/s, 已知船在静水中的速度是 4m/s。

(1) 若要在最短时间到达对岸, 船应如何行驶? 何时何处到达对岸?

(2) 若要船到达正对岸, 应如何行驶? 耗时多少?

导析 船参与两个运动: 随水漂流和船在静水中的运动。

(1) 船渡河时, 应将船头始终垂直河岸行驶, 到达对岸用时为 $t_1 = \frac{d}{v_{\text{船}}} = \frac{200}{4} \text{ s} = 50 \text{ s}$ 。

沿水流方向的位移为 $x_{\text{水}} = v_{\text{水}} t_1 = 2 \times 50 \text{ m} = 100 \text{ m}$,

船在正对岸下游 100m 处靠岸。

(2) 要小船垂直渡河, 即合速度应垂直于河岸, 如图 5-13 所示。

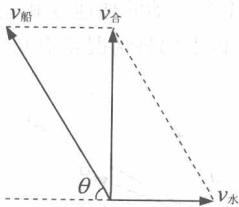


图 5-13

则 $\cos\theta = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$, 所以 $\theta = 60^\circ$, 即船头朝向与上游河岸成 60° 角的方向。

渡河时间为 $t_2 = \frac{d}{v_{\text{合}}} = \frac{d}{v_{\text{船}} \sin\theta} = \frac{200}{4 \sin 60^\circ} \text{ s} = 57.7 \text{ s}$ 。

答案 (1) 船头始终垂直河岸行驶

$t_1 = 50 \text{ s}$ 对岸下游 100m

(2) 船头朝向上游河岸成 60° 角方向行驶

$t_2 = 57.7 \text{ s}$

说明

(1) 合运动与分运动具有等时性, 分运动具有独立性, 小船渡河时间与水流速度 $v_{\text{水}}$ 无关。仅考虑船垂直于河岸方向的分运动速度。

(2) 当 $v_{\text{船}} > v_{\text{水}}$ 时, 船才有可能垂直过河, 此时船头应偏向于河岸上游。

拓展 (2009 · 广东理科) 船在静水中的航速为 v_1 , 水流的速度为 v_2 。为使船行驶到河正对岸的码头, 则 v_1 相对 v_2 的方向应为()

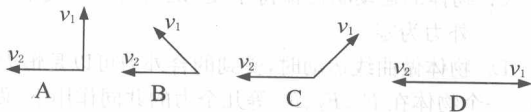


图 5-14

导析 如图 5-15 所示, 船行驶到河对岸必须要求 $v_{\text{合}}$ 与 v_2 垂直, v_1 、 v_2 的合速度能垂直一个分速度 v_2 , 只有 C。

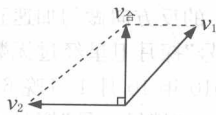


图 5-15

答案 C

巩固练习

一、选择题

- 做曲线运动的物体在运动过程中一定变化的物理量是()
A. 速率 B. 速度
C. 合外力 D. 加速度
- 如图 5-16 所示, 物体沿曲线由 a 点运动至 b 点, 关于物体在 ab 段的运动, 下列说法正确的是()
A. 物体的速度可能不变
B. 物体的速度的不可能均匀变化



C. a 点的速度方向由 a 指向 b

D. ab 段的位移大小一定小于路程

3. 下列关于互成角度的两个初速度不为零的匀变速直线运动的合运动的说法, 正确的是()

A. 一定是直线运动
B. 一定是曲线运动
C. 可能是直线运动, 也可能是曲线运动
D. 以上都不对

4. 一只小船在静水中的速度大小始终为 5m/s , 在流速为 3m/s 的河中航行, 则河岸上的人能看到船的实际航速大小可能是()

A. 1m/s B. 3m/s
C. 8m/s D. 10m/s

5. 下列关于运动状态与受力关系的说法中, 正确的是()

A. 物体的运动状态发生变化, 物体的受力情况一定变化
B. 物体在恒力作用下, 一定做匀变速直线运动
C. 物体的运动状态保持不变, 说明物体所受的合外力为零
D. 物体做曲线运动时, 受到的合外力可以是恒力

6. 一个物体在 F_1 、 F_2 、 F_3 等几个力的共同作用下, 做匀速直线运动。若突然撤去力 F_1 后, 则物体()

A. 可能做曲线运动
B. 不可能继续做直线运动
C. 必然沿 F_1 的方向做直线运动
D. 必然沿 F_1 的反方向做匀加速直线运动

7. 我国“嫦娥二号”探月卫星经过无数人的协作和努力, 终于在 2010 年 10 月 1 日晚 6 时多发射升空。如图 5-17 所示, “嫦娥二号”探月卫星在由地球飞向月球时, 沿曲线从 M 点向 N 点飞行的过程中, 速度逐渐减小。在此过程中探月卫星所受合力方向可能的是()

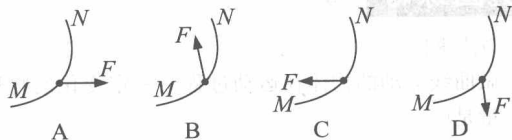


图 5-17

8. (2009 · 湖北黄冈) 如图 5-18 所示, 物体 A 和 B 质量均为 m , 分别与轻绳连接跨过定滑轮且 A 离滑轮足够远(不计绳与滑轮之间的摩擦)。当用水平变力 F 拉物体 B 时, B 沿水平方向向右做匀速直

线运动。下列判断正确的是()

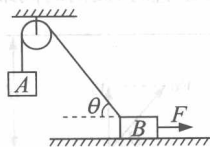


图 5-18

- A. 物体 A 也做匀速直线运动
B. 绳子拉力始终大于物体 A 所受的重力
C. 物体 A 的速度小于物体 B 的速度
D. 物体 A 的速度大于物体 B 的速度

二、计算题

9. 飞机空投物体时, 由于降落伞的作用, 物体在空中匀速下落, 降落伞和物体竖直下降的速度为 5m/s 。飞机在 500m 的高空以 108km/h 的速度水平飞行时, 求:

- (1) 物体在空中运动的时间;
(2) 物体在下降过程中水平方向移动的距离。

答 案

1. [解析] 做曲线运动的物体速度方向始终沿曲线的切线方向。速度方向时刻变化, 速度大小不一定变。故 A 错, B 正确。由物体做曲线运动条件可知合外力是变化与物体做曲线运动无关。而加速度与合外力具有一致性, 故 C、D 均错。

[答案] B

2. [解析] 做曲线运动的物体速度方向时刻改变, 即使速度大小不变, 速度方向也发生变化, 故 A 项错; 做曲线运动的物体必定受到力的作用, 当物体所受力为恒力时, 物体的加速度恒定, 速度均匀变化, B 项错; a 点的速度沿 a 点的切线方向, C 项错; 做曲线运动的物体的位移大小必小于路程, D 项正确。

[答案] D

3. [解析] 两个分运动的初速度合成、加速度合成如图 5-19 所示。当 a 和 v 共线时, 物体做直线运动; 当 a 和 v 不共线时, 物体做曲线运动。由于题目没有给出两个分运动的加速度和速度的具体数值与方向, 所以上两种情况都有可能, 故正确答案为 C。

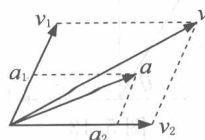


图 5-19

可见,判别物体是否做曲线运动,主要是判断合速度和合加速度是否在同一条直线上,所以首先要判断出合加速度和合速度的方向。

[答案]C

4. [解析]速度的合成与力的合成有相似的规律,两个大小已知,方向不确定的速度的合速度大小满足 $|v_1 - v_2| \leq v \leq v_1 + v_2$ 。

[答案]BC

5. [解析]根据牛顿第二定律,当物体所受合外力不等于零时,其运动状态就要发生变化。若合外力的方向跟物体的速度方向成一定角度时,合外力产生的加速度方向跟速度方向也成一定角度,因此物体的速度不仅方向一定发生变化,而且大小也发生变化,即物体应做曲线运动。物体做曲线运动时,所受合外力可以是恒力,也可以是变力。

[答案]CD

6. [解析]物体做匀速直线运动的速度方向与 F_1 的方向关系不明确,可能是相同、相反或不在同一条直线上。因此,撤去 F_1 后物体所受合外力的方向与速度 v 的方向关系不确定,所以选项 A 是正确的。

[答案]A

7. [解析]“嫦娥二号”探月卫星做曲线运动,所受合力指向曲线的凹处。故 A、D 错误。曲线运动的速度沿曲线的切线方向,当合外力与速度的夹角大于 90° 时,速度会逐渐减小,故 C 选项正确。

[答案]C

8. [解析]设 B 的速度为 v ,把此速度 v 沿绳向下和垂直于绳斜向上的方向进行分解,则沿绳方向的速度 $v_A = v \cdot \cos\theta$ 。因 v 不变,故 v_A 是增大的,所以绳对 A 有向上的加速度,由 $T - mg = ma$ 知,拉力 $T > mg$ 。且由 $v_A = v \cdot \cos\theta$ 可知, $v_A < v$ 。

[答案]BC

9. [解析](1)空投的物体和降落伞参与了两个分运动:水平分运动和竖直分运动。物体下降的时间

$$t = \frac{h}{v_y} = \frac{500}{5} \text{ s} = 100 \text{ s}.$$

(2)根据运动的等时性,物体在水平方向运动的时间也为 100s。物体离开飞机后,其水平分运动的速度等于飞机的速度即 $v_x = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$,则物体的水平位移 $x = v_x t = 30 \times 100 \text{ m} = 3000 \text{ m}$ 。

[答案](1)100s (2)3000m

第2节

目标导航



基础知识

1. 理解平抛运动是匀变速运动,其加速度为 g 。
2. 理解平抛运动可以分解为水平方向的匀速直线运动与竖直方向的自由落体运动,并且这两个分运动互不影响。
3. 会用平抛运动的相关规律解答问题。

学习方法

1. 通过生活实例认识抛体运动,体验研究物理学的一般思想方法。
2. 应用数学分析、归纳的方法探究平抛运动的一般规律,体验物理学“化曲为直”“化繁为简”的方法。

重点难点

1. 抛体运动的性质,平抛运动的一般规律是本节重点。
2. 应用数学知识分析归纳抛体运动的规律,总结平抛运动的有用结论及抛体运动规律的应用是本节难点。

平抛运动

重难冲刺



抛体运动的性质

1. 定义:将物体以一定的初速度抛出,且物体只在重力作用下的运动。
2. 运动的性质:抛体运动只受重力作用,其加速度 $a = g$,所以抛体运动是匀变速运动,竖直上抛和竖直下抛运动是匀变速直线运动,平抛和斜抛运动是匀变速曲线运动。
3. 处理方法:将曲线运动分解为两个简单的直线运动来研究。最常用的方法是将抛体运动在水平方向和竖直方向进行正交分解,即分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的匀变速直线运动。

例 1 关于平抛运动的性质,以下说法中正确的是()

- A. 变加速运动
- B. 匀变速运动
- C. 匀速率曲线运动
- D. 不可能是两个匀速直线运动的合运动

导析 平抛运动是水平抛出且只有重力作用下



的运动,所以是加速度恒为 g 的匀变速运动,故 AC 选项错误,B 项正确。平抛运动可分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动,所以 D 项正确。

答案 BD

说明

(1)判断物体是否做匀变速运动,仅看物体的加速度(或合外力)是否恒定。只要加速度(或合外力)恒定,则物体一定做匀变速运动。加速度(或合外力)恒定是指大小、方向均不变。

(2)物体做直线运动还是曲线运动。取决于物体加速度(合外力)方向与速度方向是否共线:

共线——直线运动,不共线——曲线运动。平抛运动是典型的匀变速曲线运动。

拓展 从水平匀速飞行的直升机上向外自由释放一个物体,不计空气阻力,在物体下落过程中,下列说法正确的是()

- A. 从飞机上看,物体静止
- B. 从飞机上看,物体始终在飞机的后方
- C. 从地面上看,物体做平抛运动
- D. 从地面上看,物体做自由落体运动

导析 在匀速飞行的飞机上释放物体,物体有一水平速度,故从地面上看,物体做平抛运动,C 对 D 错;飞机的速度与物体水平方向上的速度相同,故物体始终在飞机的正下方,且相对飞机的竖直位移越来越大,A、B 错。

答案 C

第3节 平抛运动的规律

平抛运动可以看成是水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动的合运动。

以抛出点为原点,取水平方向为 x 轴,正方向与初速度 v_0 的方向相同;竖直方向为 y 轴,正方向向下;物体在任一时刻 t 位置坐标为 $P(x, y)$,位移 x_0 、速度 v_t (如图 5-20 所示)的关系为:

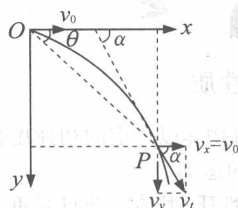


图 5-20

(1)速度公式

水平分速度 $v_x = v_0$, 竖直分速度 $v_y = gt$, t 时刻平抛物体的速度大小和方向:

$$v_t = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad \tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{g}{v_0} t$$

(2)位移公式(位置坐标)

水平分位移: $x = v_0 t$

竖直分位移: $y = \frac{1}{2} g t^2$

t 时间内合位移的大小和方向

$$x_0 = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{g}{2v_0} t$$

(3)平抛运动的轨迹

由 $x = v_0 t$, $y = \frac{1}{2} g t^2$ 可得

$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2$$

故平抛运动的轨迹是一条抛物线。

例 2 (2009 · 广东高考) 为了清理堵塞河道的冰凌, 空军实施投弹爆破, 飞机在河道上空高 H 处以速度 v_0 水平匀速飞行, 投掷下炸弹并击中目标, 求炸弹脱离飞机到击中目标所飞行的水平距离及击中目标时的速度大小。(不计空气阻力)

导析 炸弹做平抛运动, 设炸弹从脱离飞机到击中目标所飞行的水平距离为 x 。

$$\text{则有: } x = v_0 t \quad H = \frac{1}{2} g t^2$$

$$\text{联立以上各式解得 } x = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

设击中目标时的竖直速度大小为 v_y , 击中目标时的速度大小为 v , $v_y = gt = \sqrt{2gH}$, $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$

$$\text{联立以上各式解得 } v = \sqrt{v_0^2 + 2gH}$$

答案 $v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad \sqrt{v_0^2 + 2gH}$

说明

处理平抛问题时, 一般方法是进行水平和竖直方向上的分解。运用分运动、合运动的独立性、等时性、等效性分析。

拓展 农民在精选谷种时, 常用一种叫“风车”的农具进行分选。在同一风力作用下, 谷种和瘪谷

(空壳)谷粒都从洞口水平飞出,结果谷种和瘪谷落地点不同,自然分开,如图 5-21 所示。若不计空气阻力,对这一现象,下列分析正确的是()

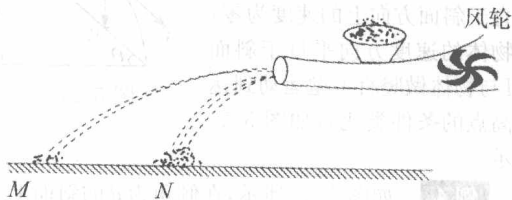


图 5-21

- A. 谷种飞出洞口时的速度比瘪谷飞出洞口时的速度大些

导析 在同一风力作用下, 谷种质量大, 获得速度小, A 错; 由于空气阻力不计, 两者均做平抛运动, 故 B 对; 由于下落高度一样, 所以落地时间相同, C 错; 由公式 $x=vt$ 知谷种的水平射程小, 即 N 处为谷种, D 错。

答案 B

一、平抛运动的几个有用的结论

(1) 运动时间: $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 即平抛物体在空中的飞行时间仅取决于下落的高度, 与初速度 v_0 无关。

(2) 落地的水平距离 $l_x = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 即水平距离与初速度 v_0 和下落高度 h 有关, 与其他因素无关。

(3)落地速度 $v_t = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$, 即落地速度也只与初速度 v_0 和下落高度 h 有关。

(4)平抛物体的运动中,任意两个时刻的速度变化量 $\Delta v=g \cdot \Delta t$,方向恒为竖直向下,且 v_0 、 Δv 、 v_t 三个速度矢量构成的三角形一定是直角三角形。如图5-22所示。

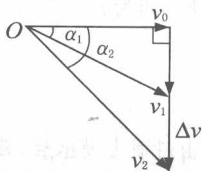


图 5-22

(5)平抛运动的速度偏角与位移偏角的关系如图 5-23 所示。有 $\tan\theta = \frac{y}{x} = \frac{g}{2v_0}t$

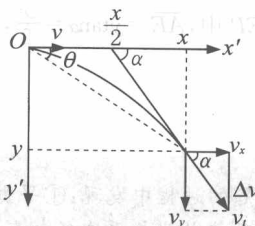


图 5-23

$$\tan\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{\frac{1}{2}v_0t} = \frac{y}{x}$$

结论:平抛运动的偏角公式: $\tan\alpha = \frac{y}{\frac{x}{2}}$

两偏角关系: $\tan\alpha = 2\tan\theta$

由于 $\tan\alpha = 2\tan\theta$, 则 v_t 的反向延长线与 x 轴的交点为水平位移的中点。

例 3 如图 5-24 所示,为一物体平抛运动的 x - y 图像,物体从 O 点抛出, x 、 y 分别为其水平和竖直位移。在物体运动过程中的任一点 $P(x, y)$,其速度的反向延长线交于 x 轴的 A 点(A 点未画出),则 OA 的长度为()

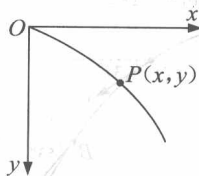


图 5-24

- A. x B. $0.5x$
C. $0.3x$ D. 不能确定

导析 作出图示(如图 5-25), 设 v 与竖直方向的夹角为 α , 根据几何关系: $\tan\alpha = \frac{v_0}{v_y}$ ①

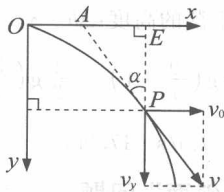


图 5-25

由平抛运动规律得水平方向: $x = v_0 t$ ②

竖直方向: $y = \frac{1}{2} v_y t$ ③

由①②③式得 $\tan\alpha = \frac{x}{2y}$



在 $\text{Rt}\triangle AEP$ 中, $\overline{AE} = y \tan \alpha = \frac{x}{2}$, 所以 $\overline{OA} = \frac{x}{2} = 0.5x$

答案 B

说明

从解答本题的过程中发现: ①平抛运动中以抛出点 O 为坐标原点的坐标系中任一点 $P(x, y)$ 的速度方向与竖直方向的夹角为 α , 则 $\tan \alpha = \frac{x}{2y}$; ②其速度的反向延长线交于 x 轴的 $\frac{x}{2}$ 处。这两个结论可以用于分析其他的平抛、类平抛运动。



拓展

某一物体以一定的初速度水平抛出, 在某 1s 内其速度方向与水平方向的夹角由 37° 变成 53° , 则此物体的初速度大小是多少? 此物体在这 1s 内下落的高度是多少? ($g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$)



导析

如图 5-26 所示, 设物体经过 A 点时 v_A 与水平方向的夹角为 37° , 经过 B 点时 v_B 与水平方向的夹角为 53° 。设从初始位置到 A 点经历时间 t , 则到 B 点共经历时间 $t+1$ s。

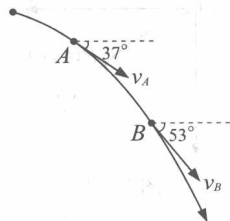


图 5-26

$$v_{yA} = gt = v_0 \tan 37^\circ \quad v_{yB} = g(t+1) = v_0 \tan 53^\circ$$

由以上两式解得

$$\text{初速度 } v_0 = 17.1 \text{ m/s, 且 } t = \frac{9}{7} \text{ s}$$

$$\text{在这 1s 内下落的高度: } \Delta h = y_B - y_A = \frac{1}{2} g(t+1)^2 - \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g \left(\frac{9}{7} + 1 \right)^2 - \frac{1}{2} g \left(\frac{9}{7} \right)^2 = 17.9 \text{ m.}$$



答案

17.1 m/s 17.9 m

二、“平抛+斜面”问题

“平抛+斜面”问题一直是高考的热点之一, 解决这类问题应注意以下几点:

(1) 斜面的倾角 θ 是一个很重要的条件, 一定要用上。

(2) 当物体做平抛运动, 落到斜面上时, 若已知斜面倾角, 则相当于间接告诉合速度或合位移的方向。

这类题型是将平抛规律与几何知识综合起来。例如, 求平抛运动中物体离斜面最远的条件: 在垂直于斜面方向上的速度为零, 或物体的速度方向平行于斜面 (可与物体做竖直上抛运动到达最高点的条件类比), 如图 5-27 所示。

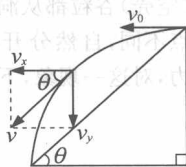


图 5-27

例 4 如图 5-28 所示, 在倾角为 θ 的斜面上 A 点, 以水平速度 v_0 抛出一个球, 不计空气阻力, 它落到斜面上 B 点所用的时间为 ()

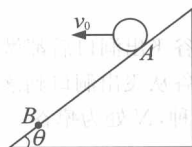


图 5-28

- A. $\frac{2v_0 \sin \theta}{g}$ B. $\frac{2v_0 \tan \theta}{g}$
C. $\frac{v_0 \sin \theta}{g}$ D. $\frac{v_0 \tan \theta}{g}$

导析

设小球从抛出至落到斜面上所用时间为 t , 在这段时间内水平位移和竖直位移分别为

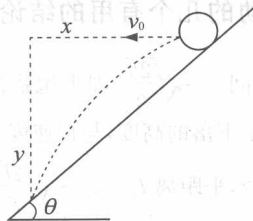


图 5-29

$$x = v_0 t, y = \frac{1}{2} g t^2$$

如图所示, 由几何关系知

$$\tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2} g t^2}{v_0 t} = \frac{g t}{2 v_0}$$

$$\text{故小球的运动时间为 } t = \frac{2 v_0}{g} \tan \theta.$$

答案 B

说明

该题中物体由斜面上抛出后, 又落到斜面上, 则斜面倾角 θ 与物体合位移与水平方向的夹角相等, 故 $\tan \theta = \frac{y}{x}$ 。



拓展

如图 5-30 所示, 以 9.8 m/s 的水平初速

度抛出的物体,飞行一段时间后,垂直地撞在倾角 $\theta=30^\circ$ 的斜面上,则物体飞行的时间是多少? ($g=9.8\text{m/s}^2$)

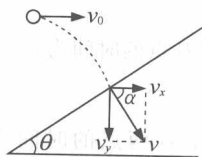


图 5-30

导析 平抛运动在水平方向的分运动是匀速直线运动,所以撞在斜面上时,水平方向速度为 $v_x=v_0=9.8\text{m/s}$,合速度垂直于斜面,即合速度 v 与 v_x (水平方向)成 $\alpha=60^\circ$ 角。如图所示,竖直方向速度

$$v_y=v_0 \tan 60^\circ=9.8\sqrt{3}\text{m/s}$$

$$\text{因为 } v_y=gt, \text{ 所以 } t=\frac{v_y}{g}=\frac{9.8\sqrt{3}}{9.8}\text{s}=\sqrt{3}\text{s}.$$

$t=\sqrt{3}\text{s}$ 即为所求的飞行时间。

答案 $t=\sqrt{3}\text{s}$

巩固练习

一、选择题

1. 一个物体从某一确定的高度以 v_0 的初速度水平抛出,已知它落地时的速度为 v_t ,那么它的运动时间是()
 A. $\frac{v_t-v_0}{g}$ B. $\frac{v_t-v_0}{2g}$
 C. $\frac{v_t^2-v_0^2}{2g}$ D. $\frac{\sqrt{v_t^2-v_0^2}}{g}$
2. (2008·全国)如图 5-31 所示,一物体自倾角为 θ 的固定斜面顶端沿水平方向抛出后落在斜面上。物体与斜面接触时速度与水平方向的夹角 φ 满足()

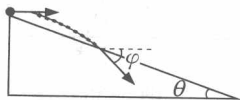


图 5-31

- A. $\tan\varphi=\sin\theta$ B. $\tan\varphi=\cos\theta$
 - C. $\tan\varphi=\tan\theta$ D. $\tan\varphi=2\tan\theta$
3. 如图 5-32 所示,某一小球以 $v_0=10\text{m/s}$ 的速度水平抛出,在落地之前经过空中 A、B 两点,在 A 点小球速度方向与水平方向的夹角为 45° ,在 B 点小球速度方向与水平方向的夹角为 60° (空气阻力忽略不计, g 取 10m/s^2)。以下判断中正确的是()

A. 小球经过 A、B 两点间的时间 $t=(\sqrt{3}-1)\text{s}$

B. 小球经过 A、B 两点

间的时间 $t=\sqrt{3}\text{s}$

C. A、B 两点间的高度差

$h=10\text{m}$

D. A、B 两点间的高度差

$h=15\text{m}$

4. 人站在平台上平抛一小球,球离手时的速度为

v_1 ,落地时速度为 v_2 ,不计空气阻力,图 5-33 中能

表示出速度矢量的演变过程的是()

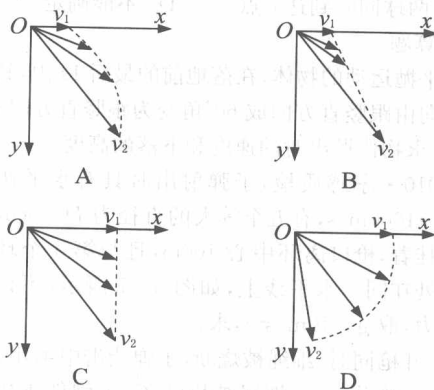


图 5-33

5. 如图 5-34 所示,一节车厢沿着平直轨道以速度 v_0 匀速行驶,车厢内货架边缘放一球,离车厢地板高度为 h 。当车厢突然以加速度 a 做匀加速运动时,货架上的小球将落下。小球落到地板上时,落点到货架边缘的水平距离是()

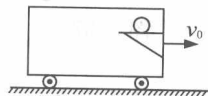


图 5-34

- A. $v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$ B. $\frac{ah}{2g}$
 - C. $\frac{ah}{g}$ D. $v_0\frac{ah}{g}+\frac{ah}{g}$
6. (2010·全国理综)一水平抛出的小球落到一倾角为 θ 的斜面上时,其速度方向与斜面垂直,运动轨迹如图 5-35 中虚线所示。小球在竖直方向下落的距离与在水平方向通过的距离之比为()

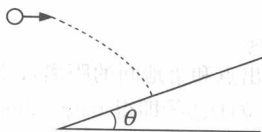


图 5-35

A. $\frac{1}{\tan\theta}$

B. $\frac{1}{2\tan\theta}$

C. $\tan\theta$ D. $2\tan\theta$

7. 如图 5-36 所示,在光滑的水平面上有一个小球 a 以初速度 v_0 运动,同时刻在它的正上方有小球 b 也以初速度 v_0 水平抛出,并落于 c 点,则()

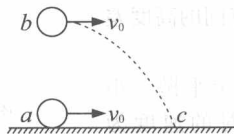


图 5-36

- A. 小球 a 先到达 c 点 B. 小球 b 先到达 c 点
C. 两球同时到达 c 点 D. 不能确定

二、计算题

8. 做平抛运动的物体,在落地前的最后 1s 内,其速度方向由跟竖直方向成 60° 角变为跟竖直方向成 45° 角,求物体抛出时的速度和下落的高度。
9. (2010·孝感质检)子弹射出时具有水平初速度 $v_0=1000\text{m/s}$,有五个等大的直径为 $D=5\text{cm}$ 的环悬挂着,枪口离环中心 100m,且与第 4 个环的环心处在同一水平线上,如图 5-37 所示(不计空气阻力,取 $g=10\text{m/s}^2$),求:

- (1)开枪同时,细绳被烧断,子弹能击中第几个环?
(2)开枪前 0.1s 细绳被烧断了,子弹能击中第几个环?

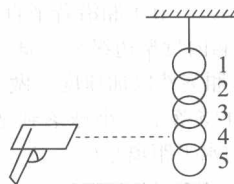


图 5-37

答案

1. [解析]由平抛运动知识知,物体落地时的竖直分速度 $v_y = \sqrt{v_t^2 - v_0^2}$ 由 $v_y = gt$ 得 $t = \frac{\sqrt{v_t^2 - v_0^2}}{g}$,故 D 正确。

[答案]D

2. [解析]由平抛运动的规律可得 $vsin\varphi = gt$ ①
 $l sin\theta = \frac{1}{2}gt^2$ ②
 $l cos\theta = vt cos\varphi$ ③
式中 l 为抛出点和落地间的距离, v 为落到斜面时的速度。联立①②③即得 $\tan\varphi = 2\tan\theta$ 。

[答案]D

3. [解析]小球在 A 点的竖直分速度 $v_{Ay} = v_0 \tan 45^\circ = v_0$,在 B 点的竖直分速度 $v_{By} = v_0 \tan 60^\circ = \sqrt{3}v_0$,由

$$v_y = gt \text{ 得小球从抛出到 A 点的时间为 } t_1 = \frac{v_{Ay}}{g} = \frac{10}{10}\text{s} = 1\text{s}.$$

$$\text{小球从抛出到 B 点的时间为 } t_2 = \frac{\sqrt{3}v_0}{g} = \frac{\sqrt{3} \times 10}{10}\text{s} = \sqrt{3}\text{s}.$$

$$\text{故小球经过 A、B 两点的时间为 } \Delta t = t_2 - t_1 = (\sqrt{3} - 1)\text{s}.$$

$$\text{小球从抛出点到 A、B 两位置的过程中,在竖直方向下落的高度分别为 } h_A = \frac{1}{2}gt_1^2 = 5\text{m}, h_B = \frac{1}{2}gt_2^2 = 15\text{m}.$$

$$\text{故 A、B 两位置的高度差 } h = h_B - h_A = 10\text{m}. \text{ AC 正确.}$$

[答案]AC

4. [解析]做平抛运动的水平方向的分速度不变,即无论到哪一时刻,速度在 x 轴上的分量始终等于 v_1 。

[答案]C

5. [解析]小球落到车厢地板上的时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$,小球的水平位移 $x_1 = v_0 t$,小车的水平位移 $x_2 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$,则落点到货架的水平距离 $\Delta x = x_2 - x_1 = \frac{1}{2}at^2 = \frac{ah}{g}$ 。

[答案]C

6. [解析]如图 5-38 平抛的末速度与竖直方向的夹角等于斜面倾角 θ ,则有: $\tan\theta = \frac{v_0}{gt}$ 。则下落高度与水平射程之比为 $\frac{y}{x} = \frac{gt^2}{2v_0 t} = \frac{gt}{2v_0} = \frac{1}{2\tan\theta}$,B 正确。

$$\frac{y}{x} = \frac{gt^2}{2v_0 t} = \frac{gt}{2v_0} = \frac{1}{2\tan\theta}, \text{ B 正确.}$$

[答案]B

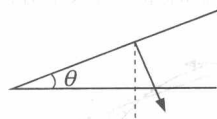


图 5-38

7. [解析]小球 b 做的是平抛运动,在水平方向上做匀速直线运动,和小球 a 的运动是相同的,所以两个小球将同时到达 c 点。

[答案]C

8. [解析]设物体的初速度为 v_0 。根据题意画出反映速度关系的矢量图如图 5-39 所示。最后 1s 内速度的变化量 $\Delta v = g\Delta t = 9.8\text{m/s}$,且方向竖直向下。分析矢量图可

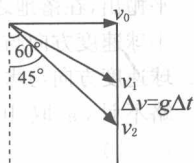


图 5-39