



荣德基 总主编

骨干教师

在思维里顿悟
在理解中通透
在运用上熟练
——这就是点拨

点拨®

用科学的CETC差距理论策划创作

新课标
高中物理

选修3-5 | 配人教版

吉林教育出版社



荣德基 总主编

特育名师

点·线·面

新课标

高中物理 选修 3-5

(配人教版)

总主编:荣德基

本册主编:张居君 王磊

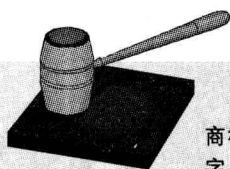
吉林教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

特高级教师点拨·高中物理. 3-5:选修/荣德基主编. —长春:吉林教育出版社, 2008. 1
ISBN 978-7-5383-5382-2

I. 特… II. 荣… III. 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(2007)第 203771 号



律 师 声 明

据读者投诉并经调查,近来发现某些出版社在出版书籍时假冒、盗用注册商标“**点拨**”二字,或者使用与“**点拨**”读音、外形相近、相似的其他文字。这种违背诚信原则,混淆视听,欺骗和误导读者的行为,不仅严重违反了《中华人民共和国商标法》等一系列法律法规,侵害了北京典点瑞泰图文设计有限责任公司及读者的合法权益,而且还违背了市场经济社会公平竞争的基本准则,严重扰乱了市场秩序。为此,本律师受北京典点瑞泰图文设计有限责任公司的委托,发表如下声明:

1. “**点拨**”二字为专用权属于北京典点瑞泰图文设计有限责任公司的注册商标,核定的商标类别为第16类印刷出版物和第41类书籍出版,商标注册证书号分别为:3734778和3734779。

2. 任何单位或者个人,未经北京典点瑞泰图文设计有限责任公司的书面许可使用,在书籍印制、出版时使用“**点拨**”或者与此二字形、字音相近、相似的其他文字为商标的,均属非法,北京典点瑞泰图文设计有限责任公司保留向任何一个印刷、出版、销售上述书籍的侵权人追究法律责任的权利。

3. 本律师同时提醒广大读者,购买书籍时请认准注册商标“**点拨**”。

北京中济律师事务所

律师:段彦

侵权举报电话:(010) 67220969

2007年3月15日

特高级教师点拨·高中物理

荣德基 总主编

责任编辑 常德澍

装帧设计 典点瑞泰

出版 吉林教育出版社(长春市同志街1991号 邮编 130021)

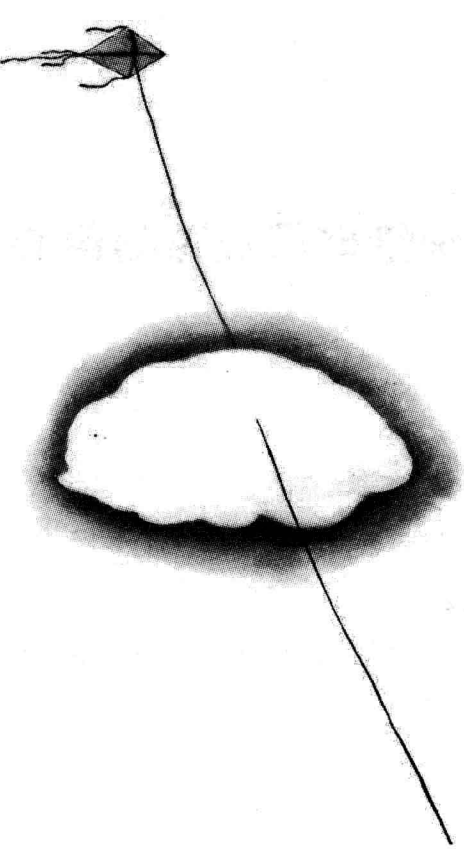
发行 吉林教育出版社

印刷 北京集惠印刷有限责任公司

开本 890×1240 16开本 34.25印张 字数 1032千字

版次 2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷

定价 58.70元(全4册)



青春

青春是一首歌

这首歌，是五千年来飞天长袖中私藏的花瓣

这首歌，是雪山高原静立的清纯雪莲

这首歌，是山间缭绕的冬不拉的袅袅余音

这首歌，是《点拨》，有我优美的歌词，有你清澈的歌喉

青春是一段路

这段路，有“野火烧不尽，春风吹又生”的温暖情怀

这段路，有狂放的心境，有深沉的意志

这段路，有恢弘的想象，有奔放的性情

这段路，是《点拨》，是我的生命之泉，是你的火山喷发

青春是一本书

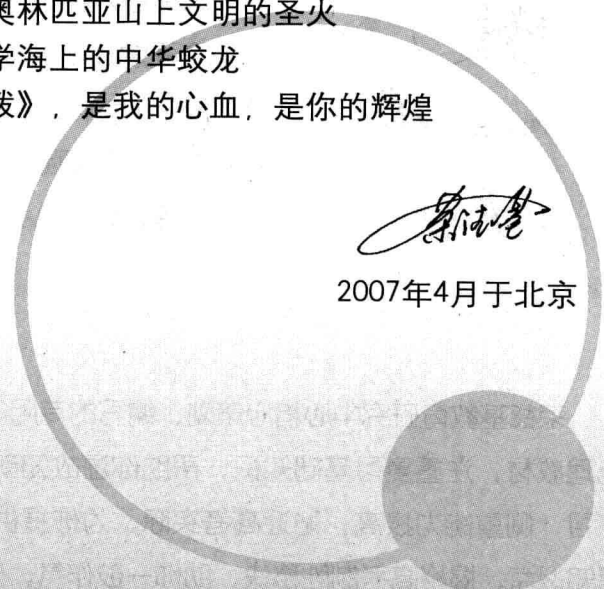
这本书，镌刻着不懈追求的夸父精神

这本书，浸透了大成殿前古柏的绿阴

这本书，燃烧了奥林匹亚山上文明的圣火

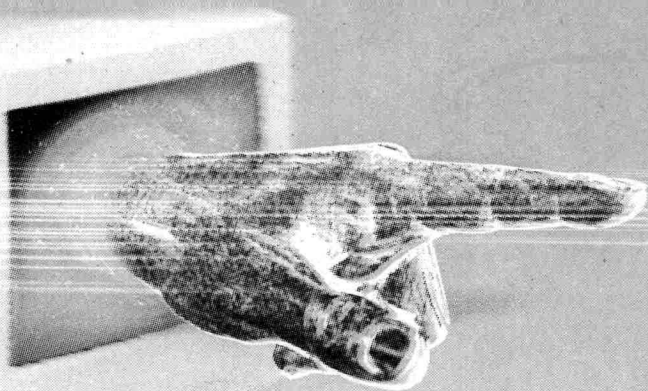
这本书，升腾了学海上的中华蛟龙

这本书，是《点拨》，是我的心血，是你的辉煌



陈海峰

2007年4月于北京



荣德基教辅特色

——荣德基教辅给你最及时的帮助

点拨



《点拨》

荣德基教育研究中心倾力打造的核心品牌，首创教辅图书“点拨”理念，是最能体现荣德基CETC差距学习理论的代表作。该书讲练结合，紧贴课程标准，注重对知识点的归纳总结，对新题型的应用，信息涵盖丰富，答案点拨精准到位。基础与拔高双向并重，知识与能力同步提高，是中学生在听课、练习、考试中的必备图书。

典中点



《典中点》

荣德基教育研究中心的经典作品。与《点拨》并驾齐驱，同为教辅市场的著名品牌。该书以“荣德基CETC差距学习法”为创新之魂，高屋建瓴，题型丰富，梯度分明，难易适当，处处闪现新课标之精华，注重对学习方法与学习技巧的提升，在回顾中提升，在检测中提升。真正让学生知在书中、行在书中、乐在书中！

剖析



《剖析》

荣德基教育研究中心的得力之作，是学生学习的特色知识素材库，是一部全面渗透新课标理念的教辅书。板块按“基础篇、应用篇、拔高篇、练习篇”的结构来安排，构建了科学严密的学习体系，步步为营，节节拔高。参考答案剖析细致，思路清晰，突破难点，总结规律。单元（章）检测卷设计合理，贴近高考，使学生及时找出差距，消灭差距，提高自我。

《点拨高考》

荣德基教育研究中心精心策划、编写的专用备考图书，第一轮依托课本，梳理教材，注重复习基础知识，帮助你温故知新，激活记忆。第二轮专题练习，侧重能力拔高，贴近高考实际，为你提供丰富的资源，全面解析高考知识点，揭秘高考制胜秘诀，助你一鼓作气，信心饱满，决战高考。



点拨 高考

目

录

CONTENTS

第 16 章 动量守恒定律

- 1 第 1 节 实验：探究碰撞中的不变量
- 3 第 2 节 动量守恒定律(一)
- 8 第 3 节 动量守恒定律(二)
- 13 第 4 节 碰 撞
- 18 第 5 节 反冲运动 火箭
- 22 第 6 节 用动量概念表示牛顿第二定律
- 27 本章复习
- 31 第 16 章过关测试题

第 17 章 波粒二象性

- 33 第 1 节 能量量子化：物理学的新纪元
- 35 第 2 节 科学的转折：光的粒子性
- 40 第 3 节 崭新的一页：粒子的波动性
- 43 第 4 节 概率波
- 43 第 5 节 不确定性关系
- 47 本章复习
- 50 第 17 章过关测试题
- 52 选修 3-5 第一阶段测试题

第 18 章 原子结构

- 55 第 1 节 电子的发现
- 57 第 2 节 原子的核式结构模型
- 61 第 3 节 氢原子光谱
- 63 第 4 节 玻尔的原子模型
- 69 本章复习
- 71 第 18 章过关测试题

第 19 章 原子核

- 73 第 1 节 原子核的组成
- 76 第 2 节 放射性元素的衰变
- 80 第 3 节 探测射线的方法
- 80 第 4 节 放射性的应用与防护
- 83 第 5 节 核力与结合能
- 87 第 6 节 重核的裂变
- 90 第 7 节 核聚变
- 94 第 8 节 粒子和宇宙
- 97 本章复习
- 99 第 19 章过关测试题
- 102 选修 3-5 模块过关测试题
- 105 参考答案及点拨



第16章 动量守恒定律

第1节 实验：探究碰撞中的不变量

I. 实验

实验基础解读

一、实验目的

1. 明确探究碰撞中的不变量的基本思路。
2. 探究一维碰撞中的不变量。

二、实验原理

1. 碰撞中的特殊情况——一维碰撞：两个物体碰撞前沿同一直线运动，碰撞后仍沿同一直线运动。

2. 追寻不变量

在一维碰撞的情况下，与物体运动有关的物理量只有物体的质量和物体的速度，设两个物体的质量分别为 m_1 、 m_2 ，碰撞前的速度分别为 v_1 、 v_2 ，碰撞后的速度分别为 v_1' 、 v_2' 。如果速度与规定的正方向一致，则速度取正值，否则取负值。

依据猜想与假设，依次研究以下关系是否成立：

$$(1) m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2';$$

$$(2) m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2;$$

$$(3) \frac{v_1}{m_1} + \frac{v_2}{m_2} = \frac{v_1'}{m_1} + \frac{v_2'}{m_2};$$

.....

探究以上各关系是否成立，关键是准确测量碰撞前后的速度 v_1 、 v_2 、 v_1' 、 v_2' 。因此，利用气垫导轨和与之配套的光电计时装置，可保证两物体碰撞是一维碰撞，并可比较准确地测量出碰撞前后的速度。（参考课本案例一）。

探究碰撞中的不变量，也可以用打点计时器测出物体碰撞前后的速度 v_1 、 v_2 、 v_1' 、 v_2' ，该方法比较适合 $v_2 = 0$ ， $v_1' = v_2'$ （碰后连接成一体）的情况。（参考课本案例三）

特别提醒

寻找的不变量的特点应在各种碰撞的情况下都不改变。一维碰撞是碰撞中特殊的、简单的情况，探究一维碰撞中的不变量，进而研究碰撞中规律的过程，符合认识事物需从特殊到一般的认知规律。

三、实验器材

气垫导轨（配套光电计时器）、打点计时器、小车、滑块、弹簧、细线、砝码、直尺等。

实验过程要点

四、实验步骤

1. 调整导轨使之处于水平状态，并使光电计时器系统开始工作。
2. 导轨上一小车静止，用另一小车与其碰撞。记录两小车的速度变化。（ v_1 、 v_1' 、 v_2 填入下表中）
3. 将两小车用压缩的弹簧和一段细线连接在一起，烧断细线。观察两小车的运动情况，记录 v_1' 、 v_2' 并填入下表中。

人生应该如蜡烛一样，从顶燃到底，一直都是光明的。

	碰撞前		碰撞后	
	m_1	m_2	m_1	m_2
质量				
速度	v_1	v_2	v_1'	v_2'
mv	$m_1 v_1 + m_2 v_2$		$m_1 v_1' + m_2 v_2'$	
mv^2	$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2$		$m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2$	
v/m	$v_1/m_1 + v_2/m_2$		$v_1'/m_1 + v_2'/m_2$	

4. 在一小车上贴上双面胶。用另一小车碰撞它，二者相碰后粘在一起。观察两小车碰撞前后的速度变化。

5. 改变小车质量，重复步骤1~4。

五、注意事项

1. 实验时需保证两小车碰撞前、后都在同一条直线上运动。
2. 实验时，需保证两小车接触面所受摩擦力应足够小。（可用气垫导轨）
3. 记录数据时，应规定正方向，若速度方向与规定的正方向相同，则速度取正值，若速度方向与规定的正方向相反，则取负值。
4. 在误差允许的范围内，验证 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ 成立。

实验迁移设计

一、实验设计

如图16-1-1，把两个大小相同、质量不等的金属球用细线连接起来，中间夹一被压缩了的轻弹簧，置于摩擦可以忽略不计的水平桌面上，如图所示，现烧断细线，观察两球的运动情况，进行必要的测量，探究物体间发生相互作用时的不变量。测量过程中：

- (1) 还必须添加的器材是_____。
- (2) 需直接测量的数据是_____。
- (3) 需要验算的表达式如何表示？

二、实验点评

本实验是在“探究物体间发生相互作用时的不变量”时，为了确定物体速度的方法进行的迁移。两球弹开后，分别以不同的速度离开桌面做平抛运动，两球做平抛运动的时间相等，均为 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ （ h 为桌面离地的高度）。根据平抛运动规律，由两球落地点距抛出点的水平距离 $x = v \cdot t$ ，知两物体水平速度之比等于它们的射程之比。即 $v_1 : v_2 = x_1 : x_2$ ；所以本实验中只需测

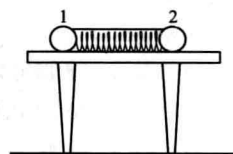


图 16-1-1

量 x_1 、 x_2 即可。测量 x_1 、 x_2 时需准确记下两球落地点位置,故需要直尺、纸、复写纸、图钉、细线、铅锤、木板等。若要探究 $m_1 x_1 = m_2 x_2$ 或者 $m_1 x_1^2 = m_2 x_2^2$ 或者 $\frac{x_1}{m_1} = \frac{x_2}{m_2}$ ……是否成立,还需用天平测量两球质量 m_1 、 m_2 。

解:(1)天平、直尺、铅锤、木板、白纸、复写纸、图钉、细线等。

(2)两小球的质量 m_1 、 m_2 ,两小球做平抛运动的水平位移 x_1 、 x_2 。

(3) $m_1 x_1 = m_2 x_2$ 或 $m_1 x_1^2 = m_2 x_2^2$ 或 $\frac{x_1}{m_1} = \frac{x_2}{m_2}$ …

实验典例训练

【例1】有甲、乙两辆小车,质量分别为 $m_1 = 302\text{g}$, $m_2 = 202\text{g}$,甲小车拖有纸带,通过打点计时器记录它的运动情况,乙小车静止在水平桌面上,甲小车以一定的速度向乙小车运动,跟乙小车发生碰撞后与乙小车粘合在一起共同运动。这个过程中打点计时器在纸带上记录的点迹如图 16-1-2 所示,在图上还标出了用刻度尺量出的各点的数据,已知打点计时器的打点频率为 50Hz 。

单位	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
mm	0	13.2	26.7	40.2	52.8	64.5	75.3	85.2	94.2	102.3	110.3	118.3

图 16-1-2

(1)从纸带上的数据可以得出:两车碰撞过程经历的时间大约为 _____ s;(结果保留两位有效数字)。

(2)碰前甲车的质量与速度的乘积大小为 _____ $\text{kg} \cdot \text{m/s}$,碰后两车的质量与速度的乘积为 _____ $\text{kg} \cdot \text{m/s}$;(结果保留三位有效数字)

(3)两车碰撞过程中,两车的质量与速度的乘积如何变化?

解:(1)0.10 (2)0.202; 0.203 (3)(在误差范围内), $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v'$ 。

点拨:本题通过分析纸带来确定甲车速度的变化。从纸带上 0 点开始每 0.02s 内甲车位移分别为 13.2mm、13.5mm、13.5mm、12.6mm、11.7mm、10.8mm、9.9mm、9mm、8.1mm、8mm、8mm。

(1)从以上数据可知从第 3 点到第 8 个点是碰撞过程,则 $t = 5 \times 0.02\text{s} = 0.10\text{s}$,该段时间内甲车做减速运动。(2)甲车与乙车碰前速度: $v_1 = \frac{40.2}{3 \times 0.02} \times 10^{-3} \text{m/s} = 0.670 \text{m/s}$,碰前甲车质量与速度的乘积 $m_1 v_1 = 0.302 \text{kg} \times 0.670 \text{m/s} = 0.202 \text{kg} \cdot \text{m/s}$;碰后两车的速度 $v_2' = v_1' = v'$, $v' = \frac{118.3 - 94.2}{3 \times 0.02} \times 10^{-3} \text{m/s} = 0.402 \text{m/s}$,碰后两车的质量与速度的乘积 $(m_1 + m_2) v' = (0.302 + 0.202) \times 0.402 \text{kg} \cdot \text{m/s} = 0.203 \text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。(3)(在误差范围内),两车的质量与速度的乘积保持不变,即 $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v'$ 。

【例2】某同学用图 16-1-3 甲所示装置,通过半径相同的 A、B 两球的碰撞来寻找不变量,图中 PQ 是斜槽,QR 为水平槽,实验时先使 A 球从斜槽上某一固定位置 G 由静止开始滚下,落到位于水平地面的记录纸上,留下痕迹,重复上述操作 10 次,得到 10 个落点痕迹,再把 B 球放在水平槽上靠近槽末端的地方,让 A 球仍从位置 G 由静止开始滚下,和 B 球碰撞后,A、B 球分别在记录纸上留下各自的落点痕迹,重复这种操作 10 次,图中 O 是水平槽末端口在记录纸上的垂直投影点, P' 为未放被碰小

球 B 时 A 球的平均落点, M 为与 B 球碰后 A 球的平均落点, N 为被碰球 B 的平均落点。若 B 球落点痕迹如图 16-1-3 乙所示,其中米尺水平放置,且平行于 OP' ,米尺的零点与 O 点对齐。

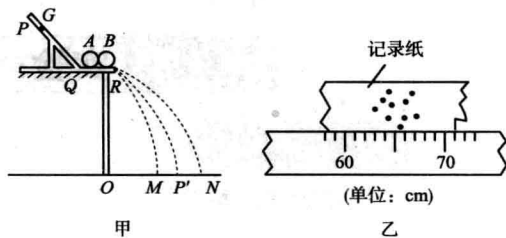


图 16-1-3

(1)碰撞后 B 球的水平射程应为 _____ cm。

(2)在以下选项中,哪些物理量是本次实验必须进行测量的?答: _____ (填选项号)。

- A. 水平槽上未放 B 球时,测量 A 球平均落点位置到 O 点的距离
- B. A 球与 B 球碰撞后,测量 A 球平均落点位置到 O 点的距离
- C. 测量 A 球或 B 球的直径
- D. 测量 A 球和 B 球的质量
- E. 测量 G 点相对于水平槽面的高度

解:(1)64.7 (2)A、B、D

点拨:本题结合平抛运动的规律,将“探究碰撞中质量与速度的乘积”转化为质量与水平位移的乘积。即研究 $m_A \overline{OP'}$ 与 $m_A \overline{OM} + m_B \overline{ON}$ 是否相等。在确定 P' 时,可将 10 个点圈在圆内的最小圆的圆心作为平均落点;同样方法可确定碰后 B 球平均落点,测量结果为 64.7cm(64.6~64.8cm 均可)。

II. 巩固提升 评估反馈

A 组教材针对性训练 (105)

实验题

1. 用天平、气垫导轨(带光电计时器和两个滑块)探究物体间发生相互作用时的不变量,本实验可用自动照相机代替打点计时器(闪光频率为 10Hz),步骤方法如下:

(1)用天平称出两滑块的质量。 $m_A = 0.10\text{kg}$, $m_B = 0.20\text{kg}$,放在水平的气垫导轨上(导轨上标尺的最小分度为 1cm,滑块可看作质点)。

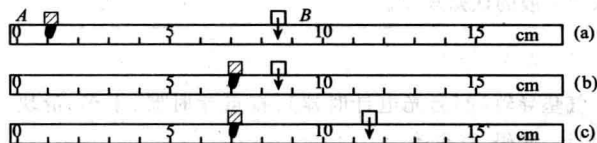


图 16-1-4

(2)碰撞前后连续三次闪光拍照得图 16-1-4(a)(b)(c)。

(3)根据图示数据探究物体间发生相互作用时的不变量。



2. 某同学设计了一个用打点计时器探究碰撞过程中不变量的实验:在小车甲的前端粘有橡皮泥,推动小车甲使之做匀速直线运动。然后与原来静止在前方的小车乙相碰并粘合成一体,而后两车继续做匀速直线运动,他设计的具体装置如图16-1-5所示。在小车甲后连着纸带,打点计时器打点频率为50Hz,长木板下垫着小木片用以平衡摩擦力。



图 16-1-5

- (1)若已得到打点纸带如图16-1-6所示,并测得各计数点间距离标在图上,A为运动起始的第一点,则应选 段起计算小车甲的碰前速度,应选 段来计算小车甲和乙碰后的共同速度(以上两格填“AB”或“BC”或“CD”或“DE”)。

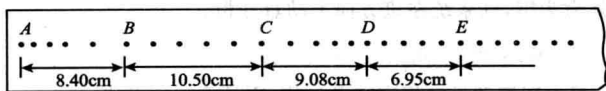


图 16-1-6

- (2)已测得小车甲的质量 $m_{\text{甲}} = 0.40\text{kg}$, 小车乙的质量 $m_{\text{乙}} = 0.20\text{kg}$, 由以上测量结果可得:碰前 $m_{\text{甲}} v_{\text{甲}} + m_{\text{乙}} v_{\text{乙}} =$ _____

$\text{kg} \cdot \text{m/s}$; 碰后 $m_{\text{甲}} v_{\text{甲}}' + m_{\text{乙}} v_{\text{乙}}' =$ _____ $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。

3. 气垫导轨是常用的一种实验仪器,它是利用气泵使带孔的导轨与滑块之间形成气垫,使滑块悬浮在导轨上,滑块在导轨上的运动可视为无摩擦的。在实验室中我们可以用带竖直挡板C和D的气垫导轨和质量均为M的滑块A和B进行实验,如图16-1-7所示,实验步骤如下:

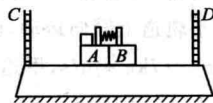


图 16-1-7

- (1)在A上固定一质量为m的砝码,在A和B之间放入一个处于压缩状态的弹簧,用电动卡销卡住置于气垫导轨上;
(2)按下电钮放开卡销,同时分别记录滑块A、B运动时间的计时器开始工作,当A、B滑块分别碰撞C、D挡板时计时结束,记下A、B分别到达C、D的运动时间 t_1 、 t_2 ;
(3)重复几次:

- ①在调整气垫导轨时应注意 _____。
②还应测量的数据有 _____。
③A、B被弹开过程中遵守的关系式是 _____。

第2节 动量守恒定律(一)

1. 阅读教材 整合提炼

一、动量

- 动量的定义:运动物体的 和 的乘积叫动量,其表达式 $p =$ _____。在国际单位制中动量的单位是 _____,符号是 _____。
- 动量的方向:由于速度是矢量,所以动量也是矢量,它的方向与速度的方向 _____。
- 动量的变化: $\Delta p = p' - p$, Δp 也是 _____,因而符合 _____ 运算法则。同一直线上动量的变化,应先规定正方向,把矢量运算转化为 _____。
- 动量的相对性:由于速度具有相对性,因而动量也具有相对性。即动量的大小和方向与 _____ 的选取有关,通常讲的动量是指以 _____ 为参考系的。
- 动量 p 与动能 E_k 间的数值关系是 $p =$ _____ 或者 $E_k =$ _____,二者都是状态量。

二、系统、内力、外力

- 系统:相互作用的几个物体所组成的 _____ 叫做系统。
- 内力:系统内各物体之间的 _____ 叫做内力。
- 外力:外部其他物体对 _____ 的作用力叫做外力。

三、动量守恒定律

- 内容:一个系统不受 _____ 或者所受外力的 _____ 为零,这个系统的总动量 _____。
- 动量守恒定律的表达式: $p = p'$, 对于两个物体组成的系统,表达式可写成 $m_1 v_1 + m_2 v_2 =$ _____ 或者 $\Delta p_1 = -\Delta p_2$ 。

- 适用条件:①系统不受 _____。②系统受到外力,但外力之和为 _____。③系统在某一方向上不受外力或所受外力之和为 _____,则在该方向上动量 _____。④系统内力 _____ 外力或者在某一方向上内力 _____ 外力。
- 动量守恒定律是自然界普遍适用的基本规律之一,它既适用于宏观、低速物体,也适用于 _____ 物体。

特别提醒

- 应用动量守恒定律解题时,应明确所研究的系统由哪几个物体组成。
- 动量守恒定律中,各物体相互作用前后的动量,必须相对于同一惯性系。

你答对了吗?

一、1. 质量;速度; mv ; 千克·米/秒; $\text{kg} \cdot \text{m/s}$

2. 相同

3. 矢量;矢量;代数运算

4. 参考系;地面

5. $\sqrt{2mE_k}$; $\frac{p^2}{2m}$

二、1. 整体

2. 相互作用力

3. 系统

三、1. 外力;矢量和;保持不变

2. $m_1 v_1' + m_2 v_2'$

3. ①外力;②零;③零;守恒;④远大于;远大于

4. 微观、高速

II. 预习效果评估

(105)

1. 对于任何一个质量不变的物体,下列说法正确的是()

- A. 物体的动量发生变化,其动能一定变化
B. 物体的动量发生变化,其动能不一定变化
C. 物体的动能发生变化,其动量一定变化
D. 物体的动能发生变化,其动量不一定变化

2. 甲、乙两球在光滑水平轨道上同向运动,已知它们的动量分别是 $p_{\text{甲}} = 5\text{kg} \cdot \text{m/s}$, $p_{\text{乙}} = 7\text{kg} \cdot \text{m/s}$,甲追上乙并发生碰撞,碰撞后乙球的动量变为 $p'_{\text{乙}} = 10\text{kg} \cdot \text{m/s}$,则两球质量 $m_{\text{甲}}$ 与 $m_{\text{乙}}$ 的关系可能是()

- A. $m_{\text{甲}} = m_{\text{乙}}$ B. $m_{\text{乙}} = 2m_{\text{甲}}$
C. $m_{\text{乙}} = 4m_{\text{甲}}$ D. $m_{\text{乙}} = 6m_{\text{甲}}$

3. 在光滑水平面上 A、B 两小车中间有一弹簧,如图 16-2-1 所示,用手抓住两小车并将弹簧压缩后使两小车处于静止状态。将两小车及弹簧看作一个系统,下面说法正确的是()

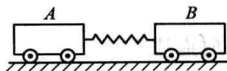


图 16-2-1

- A. 两手同时放开后,系统总动量始终为零
B. 先放开左手,再放开右手,之后动量不守恒
C. 先放开左手,后放开右手,总动量向左
D. 无论何时放手,两手放开后,在弹簧恢复原长时,系统总动量都保持不变,但系统的总动量不一定为零
4. 如图 16-2-2 所示, A、B、C 三木块的质量分别为 $m_A = 0.5\text{kg}$, $m_B = 0.3\text{kg}$, $m_C = 0.2\text{kg}$, A 和 B 紧靠着放在光滑的水平面上, C 以 $v_0 = 25\text{m/s}$ 的水平初速度沿 A 的上表面滑行到 B 的上表面,由于摩擦力,最终 C 木块与 B 木块以 8m/s 的共同速度向右运动,求 C 刚脱离 A 时, A 的速度和 C 的速度。

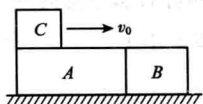


图 16-2-2

III. 重难点探究

一、透彻理解动量的概念

1. 动量是描述物体运动状态的量,通常所说的物体的动量是指物体在某一时刻的动量,求动量时应明确物体某一时刻的瞬时速度。
2. 动量的矢量性:动量的表达式 $p = mv$ 是矢量表达式,动量的方向与物体瞬时速度方向相同,计算动量时,如果物体在一条直线上运动,则选定一个正方向后,动量的矢量运算就可以转化为代数运算了。
3. 动量具有相对性:选取不同的参考系,同一物体的速度可能不同,物体的动量也就不同,即动量具有相对性,通常在不说明参考系的情况下,物体的动量是指相对地面的动量。
4. 正确区别动量和动能:

(1) 动量是矢量、动能是标量,动量的改变量由合外力 F 和其作用时间 t 共同决定,动能的改变由合力 F 做的功决定(动能定理),动量改变时,其动能可能不变化,比如做匀速圆周运

动的物体,物体的动量因速度方向改变而改变,而物体的动能因速率不变而不变化。

(2) 动能 E_k 与动量 p 都是状态量,动能是从能量的角度描述物体的状态。二者之间关系为 $p^2 = 2mE_k$ 或者 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 。

二、正确把握动量守恒的条件

1. 系统不受外力

这是一种理想化的情形,如天空中两星球的碰撞、微观粒子间的碰撞都可视为这种情形。

2. 系统虽然受到了外力的作用,但合外力为零。例如,在光滑水平面上两物体的碰撞,两物体组成的系统受到的重力和支持力的合力为零,系统动量守恒。

3. 系统所受外力的合力虽不为零,但系统外力比内力小得多,外力可忽略不计,系统的总动量近似守恒。例如,炸弹在空中爆炸的瞬间,火药的内力远大于其重力,可忽略重力,动量近似守恒。

4. 系统所受的合外力虽不为零,即 $F_{\text{合}} \neq 0$,但在某一方向上合外力为零,则系统在该方向上动量守恒。

三、深入理解动量守恒定律的内容

深入理解动量守恒定律及应用,要注意以下几点:

1. 研究对象:牛顿第二定律、动能定理的研究对象一般为单个物体,而动量守恒定律的研究对象则为两个或两个以上相互作用的物体所组成的系统。
研究阶段:动量守恒是对所研究系统的某个过程而言的,所以研究这类问题时要特别注意分析哪一阶段是守恒阶段。
2. 动量守恒的条件是系统不受外力或所受的合外力是零,这就意味着一旦系统所受的合外力不为零,系统的总动量将发生变化。所以,合外力才是系统动量发生改变的原因,系统的内力只能影响系统内各物体的动量,但不会影响系统的总动量。
3. 动量守恒指的是总动量在相互作用的过程中时刻守恒,而不是只有始末状态才守恒。实际列方程时,可在这守恒的无数个状态中任选两个状态来列方程。
4. 系统动量守恒定律的四性:
 - (1) 矢量性。公式中的 v_1 、 v_2 、 v'_1 和 v'_2 都是矢量。只有它们在同一直线上时,并先选定正方向,确定各速度的正、负(表示方向)后,才能用代数方程运算,这点要特别注意。
 - (2) 参考系的同一性。速度具有相对性,公式中的 v_1 、 v_2 、 v'_1 和 v'_2 均应对同一参考系而言,一般均取对地的速度。
 - (3) 状态的同一性。相互作用前的总动量,这个“前”是指相互作用前的某一时刻,所以 v_1 、 v_2 均是此时刻的瞬时速度;同理 v'_1 、 v'_2 应是相互作用后的同一时刻的瞬时速度。
 - (4) 普适性。动量守恒定律不仅适用于两个物体组成的系统,也适用于多个物体组成的系统,不仅适用于宏观物体组成的系统,也适用于微观粒子组成的系统。

IV. 出题角度归纳 体验创新

出题角度一
动量、动量的变化

【例 1】如图 16-2-3 所示, PQS 是固定于竖直平面内的光滑的 $\frac{1}{4}$ 圆周轨道, 圆心 O 在 S 的正上方。在 O 和 P 两点各有一



质量为 m 的小物块 a 和 b , 从同一时刻开始, a 自由下落, b 沿圆弧下滑。以下说法正确的是 ()

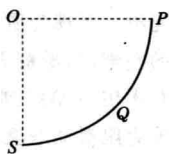


图 16-2-3

- A. a 比 b 先到达 S , 它们在 S 点的动量不相等
- B. a 与 b 同时到达 S , 它们在 S 点的动量不相等
- C. a 比 b 先到达 S , 它们在 S 点的动量相等
- D. b 比 a 先到达 S , 它们在 S 点的动量相等

解: A 由机械能守恒可知, 两物体在同一高度处下落, 最后速度的大小相等, 但因为 b 物块沿竖直方向的分速度小于 a 物块竖直方向的速度, 所以 a 物块先到达 S 点; 此时 a 物块的速度方向为竖直向下, b 物块的速度方向为水平向左, 所以两物块的动量不相等。

题眼点拨: 本题关键之处在于两物体在 S 点的速度方向不同, 即动量方向不同。

类题解法揭示: 动量变化问题的分析方法: 由 $\Delta p = p_2 - p_1 = mv_2 - mv_1 = m\Delta v$, 知 Δp 也为矢量, 其方向与 Δv 方向相同, 求 Δv 时, 应遵守矢量运算法则如图 16-2-4 所示, 若在同一条直线上, 可规定正方向将矢量运算转化为代数运算。

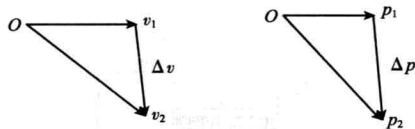


图 16-2-4

类题易错点揭示: 动量是矢量, 动量的变化也是矢量, $\Delta p = p_2 - p_1$ 为矢量表达式, 当 p_2, p_1 在同一直线上时, 可规定正方向, 将矢量运算转化为代数运算; 当 p_2, p_1 不在同一直线上时, 应依据平行四边形定则, 初学者易忽略 p 及 Δp 的方向性而出现错误, 应正确理解动量的概念从而避免出错。

小试牛刀 (105)

1. 关于动量的增量 $\Delta p = p_2 - p_1$, 下列说法中正确的是 ()

- A. $|\Delta p| > |p_2|$ 或 $|\Delta p| > |p_1|$ 是可能的
- B. $\Delta p \perp p_2$ 或 $\Delta p \perp p_1$ 是可能的
- C. 如果 $|p_2| = |p_1|$, 则 $|\Delta p|$ 一定为零
- D. 如果 $|p_2| = |p_1|$, 则 $|\Delta p| \neq 0$ 是可能的

出题角度二

动量守恒的条件——系统所受合外力为零

【例 2】如图 16-2-5 所示, A, B 两物块质量之比 $m_A : m_B = 3 : 2$, 原来静止在平板小车 C 上, A, B 间有一根被压缩的弹簧, 地面光滑, 当两物体被同时释放后, 则 ()

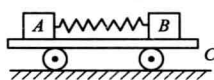


图 16-2-5

- A. 若 A, B 与平板车上表面间的动摩擦因数相同, A, B 组成系统的动量守恒
- B. 若 A, B 与平板车上表面间的动摩擦因数相同, A, B, C 组成系统的动量守恒
- C. 若 A, B 所受的摩擦力大小相等, A, B 组成系统的动量守恒

D. 若 A, B 所受的摩擦力大小相等, A, B, C 组成系统的动量守恒

解: B, C, D 弹簧突然释放后, A, B 受到平板车的滑动摩擦力 $f = \mu \cdot F_N, F_{N_A} > F_{N_B}$, 若 μ 相同, 则 $f_A > f_B$, A, B 组成系统合外力不等于零。故 A, B 组成的系统动量不守恒, 选项 A 不正确; 若 A, B 与小车 C 组成系统, A 与 C, B 与 C 的摩擦力则为系统内力, A, B, C 系统受到的合外力为零, 故 A, B, C 系统动量守恒, 选项 B, D 正确; 若 A, B 组成系统, A, B 受到的摩擦力合力为零, 该系统动量也是守恒的, 选项 C 正确。

题眼点拨: 本题关键是明确系统的内力、外力。因此, 必须先明确系统由哪几个物体组成, 这几个物体的相互作用叫内力, 其他物体对系统的作用叫做外力; 外力之合为零时, 系统动量守恒。

类题解法揭示: 系统是否动量守恒的判定方法:

- (1) 分析动量守恒时要着眼系统, 分清外力与内力。
- (2) 研究系统受到的外力矢量和。
- (3) 外力矢量和为零, 则系统动量守恒; 若外力在某一方向上合力为零, 则在该方向上系统动量守恒。
- (4) 系统动量严格守恒的情况很少, 在分析具体问题时要注意把实际过程理想化。

小试牛刀 (105)

2. 如图 16-2-6 所示, 完全相同的 A, B 两物块随足够长的水平传送带按图中所示方向匀速运动。 A, B 间夹有少量炸药, 对 A, B 在炸药爆炸过程及随后的运动过程的下列说法中, 其中正确的是 ()

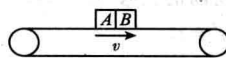


图 16-2-6

- A. 炸药爆炸后瞬间, A, B 两物块速度方向一定相同
- B. 炸药爆炸后瞬间, A, B 两物块速度方向一定相反
- C. 炸药爆炸过程中, A, B 两物块组成的系统动量不守恒
- D. A, B 在炸药爆炸后至 A, B 相对传送带静止过程中动量守恒

出题角度三

动量守恒定律的应用

【例 3】质量为 M 的小车静止在光滑的水平面上, 小车的上表面是一光滑的曲面, 末端是水平的, 如图 16-2-7 所示, 小车被挡板 P 挡住, 质量为 m 的物体从距地面高 H 处自由下落, 然后沿光滑的曲面继续下滑, 物体落地点与小车右端距离为 x_0 , 若撤去挡板 P , 物体仍从原处自由落下, 求物体落地时落地点与小车右端距离是多少?

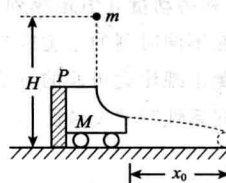


图 16-2-7

解: 当小车被挡住时, 物体落在小车上沿曲面向下滑动, 对小车有斜向下的压力, 由于 P 的作用小车处于静止状态, 物体离

开小车时速度为 v_1 , 最终平抛落地; 当去掉挡板, 由于力的作用, 小车将向左加速运动, 动能增大, 根据水平方向动量守恒可知, 物体水平向右运动。整个过程机械能守恒, 物体滑离小车时的动能将比在前一种情况下小, 最终平抛落地时, 小车同时向左运动, 所求距离是物体平抛过程中的水平位移与小车位移的和。求出此种情况下, 物体离开车时的速度 v_2 , 及此时车的速度 v_2' 和相应运动的时间是关键, 在物体与小车相互作用过程中水平方向动量守恒, 这是解决 v_2 、 v_2' 间关系的具体方法。

挡住小车时, 设物体滑落时的速度 v_1 , 物体从最高点下落至滑离小车时机械能守恒, 设车尾部(右端)离地面高为 h , 则有

$$mg(H-h) = \frac{1}{2}mv_1^2 \quad ①.$$

由平抛运动的规律有 $x_0 = v_1 t$ ②,

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad ③.$$

设去掉挡板后物体离开小车时速度大小为 v_2 , 小车速度大小为 v_2' , 物体从最高点至离开小车时系统机械能守恒, 有

$$mg(H-h) = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}Mv_2'^2 \quad ④.$$

物体与小车相互作用过程中水平方向动量守恒, 有

$$Mv_2' - mv_2 = 0 \quad ⑤.$$

此式不仅给出了 v_2 与 v_2' 大小的关系, 同时也说明了 v_2 是向右的, 物体离开车后对地做平抛运动:

$$x_2 = v_2 t' \quad ⑥, h = \frac{1}{2}gt'^2 \quad ⑦.$$

小车在 t' 时间内向前的位移 $x_2' = v_2' t'$.

比较⑦③两式得 $t' = t$,

$$\text{解①④⑤式得 } v_2 = \sqrt{\frac{M}{M+m}} \cdot v_1, v_2' = \frac{m}{M}v_2.$$

此种情况下落地点距车右端的距离:

$$x = x_2 + x_2' = (v_2 + v_2')t = \left(1 + \frac{m}{M}\right)v_2 \cdot t = \frac{M+m}{M}\sqrt{\frac{M}{M+m}} \cdot$$

$$v_1 t = x_0 \sqrt{\frac{M+m}{M}}.$$

► 题眼点拨: 本题综合应用了机械能守恒、动量守恒以及平抛运动的知识。关键之处在于根据动量守恒判断物体离车时速度与速度之间的关系。

► 类题解法揭示: 应用动量守恒定律解题步骤:

- (1) 以相互作用的系统为研究对象;
- (2) 分析研究对象所受的外力;
- (3) 判断系统是否符合动量守恒的条件;
- (4) 规定正方向, 确定初、末状态动量的正、负号;
- (5) 根据动量守恒定律列式求解。

► 类题易错点揭示: 利用动量守恒定律列方程时, 易出现的错误是将系统内各物体在不同时刻的速度或不同参考系的速度放在等式的同一边。避免出现该类错误的方法是正确理解动量守恒定律的“同时性”、“同系性”及“矢量性”。

► 小试牛刀 (105)

3. 如图 16-2-8 所示, 质量 $M=4\text{kg}$ 的滑板 B 静止放在光滑水平面上, 滑板右端固定着一根轻质弹簧, 弹簧的自由端 C 到滑板左端的距离 $l=0.5\text{m}$, 这段滑板与木块 A 之间的动摩擦因数 $\mu=0.2$; 而弹簧自由端 C 到弹簧固定端 D 所对应的滑板上表面

光滑。可视为质点的小木块 A 的质量 $m=1\text{kg}$, 原来静止于滑板的左端, 当滑板 B 受水平方向的恒力 $F=14\text{N}$ 作用时间 t 后, 这时木块 A 恰好到达弹簧的自由端 C 处, 假设 A 、 B 间的最大静摩擦力跟滑动摩擦力相等, g 取 10m/s^2 , 试求:

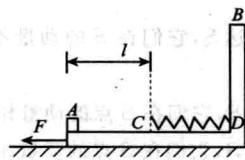


图 16-2-8

- (1) 水平恒力 F 的作用时间 t 。
- (2) 木块 A 压缩弹簧过程中弹簧的最大弹性势能。

V. 巩固提升 评估反馈

(A) 组教材针对性训练 (106)

一、选择题

1. 如图 16-2-9 所示, 水平面上有两个木块, 两木块质量分别为 m_1 、 m_2 , 且 $m_2=2m_1$, 开始两木块之间有一根用轻绳缚住的压缩弹簧, 烧断细绳后, 两木块分别向左、右运动, 若两木块与水平面间的动摩擦因数 $\mu_1=2\mu_2$, 则在弹簧伸长的过程中, 两木块 ()

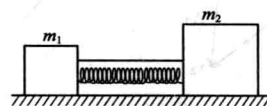


图 16-2-9

- 动量大小之比为 $1:1$
 - 速度大小之比为 $2:1$
 - 通过的路程之比为 $2:1$
 - 通过的路程之比为 $1:1$
2. 一物体从某高处静止下落, 设所受空气阻力恒定, 当它下落 h 时动量大小为 p_1 , 下落 $2h$ 时的动量大小为 p_2 , 那么 $p_1:p_2$ 应为 ()
- $1:1$
 - $1:\sqrt{2}$
 - $1:2$
 - $1:4$
3. 质量相同的 A 、 B 两木块从同一高度自由落下, 如图 16-2-10 所示, 当 A 木块落至某一位置时, 被水平飞来的子弹很快地击中(设子弹未穿出), 则 A 、 B 两木块在空中的运动时间 t_A 、 t_B 的关系为 ()

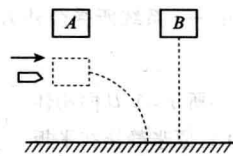


图 16-2-10

- $t_A=t_B$
 - $t_A>t_B$
 - $t_A<t_B$
 - 无法判断
4. 机车拖着车厢在平直的铁轨上匀速行驶, 某时刻车厢突然脱钩, 而机车的牵引力保持不变, 机车和车厢各自受的阻力也不变, 在车厢停止前 ()
- 总动量守恒, 动能和增大



B. 总动量守恒, 动能和减小

C. 总动量守恒, 动能和不变

D. 总动量增加, 动能和不变

二、填空题

5. 将两条完全相同、磁性很强的条形磁铁固定在质量相等的甲、乙两个小车上, 如图 16-2-11 所示, 开始时甲车的速度为 3m/s , 方向向右, 乙车的速度大小为 2m/s , 方向向左, 并在同一条直线上, 不计摩擦力, 当乙车的速度为零时, 甲车的速度大小为 _____, 方向 _____。

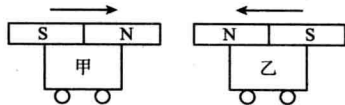


图 16-2-11

三、解答题

6. 如图 16-2-12 所示, 质量为 m 的子弹, 以速度 v 水平射入用轻绳悬挂在空中的木块, 木块的质量为 M , 绳长为 L , 子弹停留在木块中, 求子弹射入木块后的瞬间绳子张力的

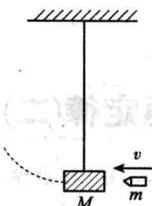


图 16-2-12

7. 如图 16-2-13 所示, 在水平面上放置质量为 $M=800\text{g}$ 的木块, 一质量为 $m=50\text{g}$ 的子弹以 $v_0=170\text{m/s}$ 的水平速度射入木块, 最终与木块一起运动。若木块与地面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$, 求木块在地面上滑行的距离。(g 取 10m/s^2)

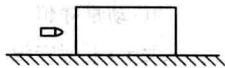


图 16-2-13

B 组 能力提升训练 (106)

8. 如图 16-2-14 所示, 水平桌面上放着一个半径为 R 的光滑环形轨道, 在轨道内放入两个质量分别是 M 和 m 的小球 (均可看做质点), 两球间夹着少许炸药。开始时两球接触, 点燃炸药爆炸后两球沿轨道反向运动一段时间后相遇。到它们相遇时, M 转过的角度 θ 是多少?

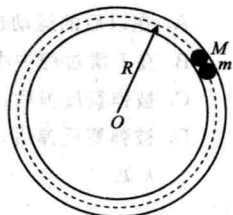


图 16-2-14

9. 如图 16-2-15 所示, 一辆质量为 M 的平板小车在光滑水平面上以速度 v 做直线运动, 今在车的前端轻轻地放上一质量为 m 的物体, 物体放在小车上时相对于地面的速度为零, 设物体与车之间的动摩擦因数为 μ , 为使物体不致从车上滑下去, 车的长度最短为多少? (物体可看作质点)

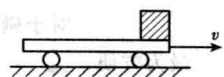


图 16-2-15

组题摸高考 (106)

10. (2007, 四川, 6分) 如图 16-2-16 所示, 弹簧的一端固定在竖直墙上, 质量为 m 的光滑弧形槽静止在光滑水平面上, 底部与水平面平滑连接, 一

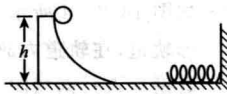


图 16-2-16

- 个质量也为 m 的小球从槽高 h 处开始自由下滑()
- A. 在以后的运动过程中, 小球和槽的动量始终守恒
- B. 在下滑过程中小球和槽之间的相互作用力始终不做功
- C. 被弹簧反弹后, 小球和槽都做速率不变的直线运动
- D. 被弹簧反弹后, 小球和槽的机械能守恒, 小球能回到槽高 h 处
11. (2007, 全国 I, 18分) 如图 16-2-17 所示, 质量为 m 的由绝缘材料制成的球与质量为 $M=19m$ 的金属球并排悬挂。现将绝缘球拉至与竖直方向成 60° 角的位置自由释放, 下摆后在最低点处与金属球发生弹性碰撞。在平衡位置附近存在

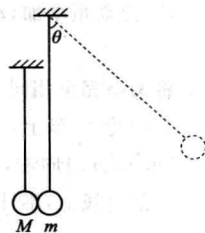


图 16-2-17

垂直于纸面的磁场。已知由于磁场的阻尼作用, 金属球将于再次碰撞前停在最低点处。求经过几次碰撞后绝缘球偏离竖直方向的最大角度将小于 45° 。

第3节 动量守恒定律(二)

I. 阅读教材 整合提炼

一、动量守恒与牛顿运动定律的比较

1. 动量守恒定律与牛顿运动定律在经典力学中都占有极其重要的地位, 两者密切相关。牛顿运动定律从_____的角度反映物体间的相互作用; 动量守恒定律从_____的角度描述物体间的相互作用。
2. 适用范围: 动量守恒定律适用于目前为止的一切领域。牛顿运动定律只适用于研究_____的问题。
3. 应用过程的比较: 用牛顿定律解决问题要涉及整个过程中的力, 而动量守恒只涉及过程始末两个状态, 与运动中的细节_____。对于碰撞、爆炸类的复杂问题应用_____求解最为方便。
4. 在_____力的简化情况下, 可由牛顿运动定律推导出_____定律。

二、爆炸问题的处理方法

1. 对于爆炸问题, 在爆炸的瞬间, 火药产生的内力一般远远_____其他外力, 所以在火药爆炸的瞬间, 系统的动量_____。
2. 在爆炸、碰撞问题中, 相互作用的是_____力, 用牛顿运动定律求解非常复杂, 甚至无法求解, 而应用_____问题往往能大大简化。
3. 爆炸过程和碰撞过程的共同之处是动量守恒; 不同之处是: 爆炸过程系统的动能_____, 碰撞过程的系统动能不增加, 理想化的碰撞认为动能_____, 一般情况下, 系统动能是_____的。

三、系统的平均动量守恒——人船模型

1. 若系统在全过程中动量守恒, 则在全过程中的平均动量也必定_____。
2. 由“人船模型”求物体位移的问题, 大都是系统原来处在_____状态, 然后通过内力相互作用, 二者发生位移。

3. 由“人船模型”求相互作用的两物体位移时, 由 $m_1 \bar{v}_1' = m_2 \bar{v}_2'$, 可得 $m_1 \bar{s}_1 = m_2 \bar{s}_2$, 其中, s_1 、 s_2 为二者对地位移。

四、动量守恒定律与机械能守恒定律的比较

1. 动量守恒定律和机械能守恒定律研究的对象都是相互作用的物体组成的_____, 且研究的都是某一运动过程, 但二者守恒的条件_____。
2. 系统动量是否守恒, 决定于系统所受_____是否为零, 系统的机械能是否守恒, 决定于是否有重力(或弹力)以外的力_____。

特别提醒

爆炸前的动量指即将爆炸那一刻的动量, 爆炸后的动量指爆炸刚好结束那一刻的动量。

你答对了吗?

一、1. 力; 动量

2. 宏观; 低速

3. 无关; 动量守恒定律

4. 恒; 动量守恒

二、1. 大于; 近似守恒

2. 变; 动量守恒

3. 增加; 不变; 减小

三、1. 守恒 2. 静止 3. =

四、1. 系统; 不同 2. 合外力; 做功

II. 预习效果评估

(106)

1. 装好炮弹的大炮总质量为 M , 其中炮弹的质量为 m , 已知炮弹出口时对地的速度大小为 v , 方向与水平方向间的夹角为 α , 不计炮身与地面间的摩擦, 则炮车后退的速度大小是()

A. $\frac{mv}{M-m}$

B. $\frac{mv \cos \alpha}{M-m}$

C. $\frac{mv \cos \alpha}{M}$

D. $\frac{mv}{M}$



2. 一颗手榴弹被投出后到达最高点时的速度为 $v_0 = 10 \text{ m/s}$, 设它炸成两块后, 质量为 0.4 kg 的大块速度大小为 250 m/s , 方向与原来方向相反, 若取 v_0 方向为正方向, 则质量为 0.2 kg 的小块速度为_____。
3. 光滑水平面上放着一质量为 M 的槽, 槽与水平面相切且光滑, 如图 16-3-1 所示, 一质量为 m 的小球以 v_0 向槽运动, 若开始时槽固定不动, 求小球上升的高度(槽足够高); 若槽不固定, 则小球能上升多高?

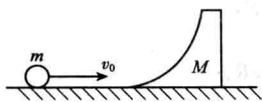


图 16-3-1

4. 质量为 M 的热气球, 载有一质量为 m 的人, 气球静止在离地面高为 h 的空中, 气球下悬一根质量忽略不计的绳梯。此人想沿绳梯爬下至地面, 为了安全到达地面, 绳梯至少为多长?(不计人的身高)

III. 重难点探究

一、用牛顿运动定律推导动量守恒定律

构建情景:

光滑水平桌面上做匀速运动的两个小球, 质量分别是 m_1 和 m_2 , 沿同一直线向相同方向运动, 初速度分别是 v_1 和 v_2 , 且 $v_2 > v_1$ 。两球发生碰撞后速度分别是 v_1' 和 v_2' 。

理论推导:

设碰撞过程中第一个球和第二个球所受的平均作用力分别是 F_1 和 F_2 。

根据牛顿第二定律, 碰撞过程中 1、2 两球的加速度分别是:

$$a_1 = \frac{F_1}{m_1}, a_2 = \frac{F_2}{m_2};$$

根据牛顿第三定律, F_1 和 F_2 大小相等、方向相反, 即 $F_1 = -F_2$ 。

所以 $m_1 a_1 = -m_2 a_2$ 。

碰撞时两球之间的作用时间很短, 用 Δt 表示, 这样, 加速度与碰撞前后速度的关系就是 $a_1 = \frac{v_1' - v_1}{\Delta t}, a_2 = \frac{v_2' - v_2}{\Delta t}$ 。

把上式代入 $m_1 a_1 = -m_2 a_2$, 移项后得到

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'。$$

两个物体碰撞过程中每个时刻都满足 $F_1 = -F_2$, 因此对过程中任意两个时刻的状态都适用, 也就是说系统的动量在整个过程中一直保持不变。

二、碰撞及爆炸过程的特点

1. 时间特点: 在碰撞、爆炸现象中, 相互作用时间很短。
2. 相互作用力特点: 在相互作用过程中, 相互作用力先是急剧增大, 然后再急剧减小, 平均作用力很大。
3. 动量守恒条件特点: 系统的内力远远大于外力, 所以, 系统即使所受外力之和不为零, 外力也可以忽略, 系统的总动量守恒。
4. 位移特点: 碰撞、爆炸过程是在一瞬间发生的, 时间极短, 所以, 在物体发生碰撞、爆炸的瞬间, 可忽略物体的位移。可以认为物体在碰撞、爆炸前后仍在同一位置。

5. 能量特点: 碰前总动能 E_k 与碰后总动能 E_k' 满足: $E_k \geq E_k'$, 爆炸过程系统的动能增加。
6. 处理同一直线上的碰撞、爆炸问题时, 必须先规定正方向, 与正方向同向的矢量为正, 与正方向相反的矢量为负。

IV. 出题角度归纳 体验创新

出题角度一

碰撞、爆炸中的动量守恒

【例 1】以与水平方向成 60° 角的初速度 v_0 斜向上抛出的手榴弹, 到达最高点时炸成质量分别为 m 和 $2m$ 的两块。其中质量大的一块沿着原来的方向以 $2v_0$ 的速度飞行。求质量较小的另一块弹片的速度大小和方向。并分析此过程系统机械能的变化情况。

解: 斜抛的手榴弹在水平方向上做匀速直线运动, 在最高点处爆炸前的速度 $v_1 = v_0 \cdot \cos 60^\circ = \frac{1}{2} v_0$ ①。设 v_1 的方向为正方向, 由动量守恒定律得: $3m v_1 = 2m \times 2v_0 + m v_2$,

解得 $v_2 = -2.5 v_0$ 。

负号表示 v_2 的方向与爆炸前手榴弹的速度方向相反。

手榴弹爆炸前的动能:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 3m v_1^2 = \frac{3}{2} m \left(\frac{v_0}{2} \right)^2 = \frac{3}{8} m v_0^2。$$

手榴弹爆炸后的动能:

$$E_k' = \frac{1}{2} \cdot 2m (2v_0)^2 + \frac{1}{2} \cdot m v_2^2 = \frac{57}{8} m v_0^2。$$

爆炸前后系统动能的增量: $\Delta E_k = E_k' - E_k = \frac{27}{4} m v_0^2$ 。

题眼点拨: 火药爆炸的瞬间, 火药产生的内力远远大于其他外力, 系统动量可近似认为守恒。由动量守恒定律列出方程即可求解, 求解时, 注意各量的方向性。

类题解法揭示: 碰撞、爆炸类问题的解决方法:

(1) 确定所研究系统由哪些物体组成, 判断是否符合动量守恒条件, 由于爆炸、碰撞均在极短的时间内发生, 相互作用的物体的运动状态发生了显著变化, 相互作用力先急剧增大后急剧减小, 平均作用力很大, 外力通常远小于系统的内力, 可忽略不计, 所以认为碰撞或爆炸过程中动量是守恒的。

(2) 明确系统的初末状态, 即碰撞、爆炸前后的动量 $m_1 v_1, m_2 v_2, \dots, m_1 v_1', m_2 v_2' \dots$

(3) 规定正方向, 依据动量守恒定律列出方程, 并求解。

小试牛刀 (107)

1. 质量相等的五个物块在一光滑水平面上排成一条直线, 且彼此隔开一定的距离, 具有初速度 v_0 的第 5 个物块向左运动, 依次与其余四个静止物块发生碰撞, 如图 16-3-2 所示, 最后这五个物块粘成一个整体, 则它们最后的速度为_____。

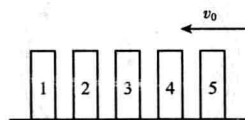


图 16-3-2

出题角度二

利用“人船模型”求相互作用的物体的位移

【例2】有一只小船停在静水中,船上一人从船头走到船尾。如果人的质量 $m=60\text{kg}$,船的质量 $M=120\text{kg}$,船长为 $l=3\text{m}$,则船在水中移动的距离是多少?(水的阻力不计)

解:人在船上走时,由于人、船系统所受合力为零,总动量守恒,因此系统的平均动量也守恒。如图16-3-3所示。

设人从船头到船尾的时间为 t ,在这段时间里船后退的距离为 x ,人相对地运动的距离为 $l-x$,选船后退方向为正方向,由动量守恒有: $M \cdot \frac{x}{t} - m \frac{l-x}{t} = 0$,

$$\text{所以 } x = \frac{m}{M+m} \cdot l = 1\text{m}.$$

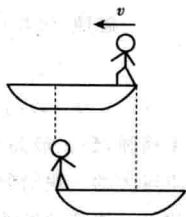


图 16-3-3

→ 题眼点拨:本题中“系统”动量守恒,速度和位移都应对应同一参考系而言,因此,画出草图便可确定人与船对地的位移关系。

→ 类题解法揭示:“人船模型”——平均动量守恒的应用。

(1)情景:系统原来静止,后通过内力相互作用发生位移。

(2)结论:二者相互作用时,动量守恒,则 $m_1 v_1' + m_2 v_2' = 0$ 。可写为 $m_1 v_1' t + m_2 v_2' t = 0$,即 $m_1 s_1 + m_2 s_2 = 0$ 。

(3)需注意的问题:表达式中的速度、位移均是相对于同一参考系而言。

→ 类题易错点揭示:该类题的易错之处在于把不同参考系下的速度、位移代入了表达式。避免出错的关键是正确理解动量守恒定律。

→ 小试牛刀 (107)

2. 一个质量为 M ,底面边长为 b 的三角形劈静止于光滑的水平桌面上(如图16-3-4),有一质量为 m 的小球由三角形劈的斜面顶部无初速滑到底部时,劈移动的距离为_____。

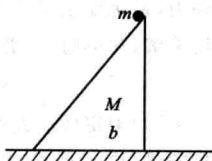


图 16-3-4

出题角度三

动量守恒与机械能守恒相综合

【例3】如图16-3-5所示,半径为 R 的光滑圆形轨道固定在竖直面内。小球 A 、 B 的质量分别为 m 、 βm (β 为待定系数)。 A 球从左边与圆心等高处由静止开始沿轨道下滑,与静止于轨道最低点的 B 球相撞,碰撞后 A 、 B 球能达到的最大高度均为 $\frac{1}{4}R$,碰撞过程中无机械能损失。重力加速度为 g 。试求:

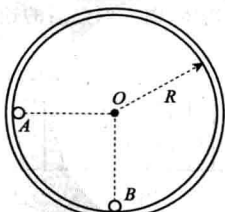


图 16-3-5

(1)待定系数 β ;

(2)第一次碰撞刚结束时小球 A 、 B 各自的速度和 B 球对轨道的压力;

(3)小球 A 、 B 在轨道最低处第二次碰撞刚结束时各自的速度,并讨论小球 A 、 B 在轨道最低处第 n 次碰撞刚结束时各自的速度。

解:(1)由 $mgR = \frac{m}{4}v_1^2 + \frac{\beta m}{4}v_2^2$,得 $\beta=3$ 。

(2)设 A 、 B 第一次碰撞刚结束时的速度分别为 v_1 、 v_2 ,则

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{4}mgR,$$

$$\frac{1}{2}\beta mv_2^2 = \frac{\beta}{4}mgR.$$

$$\text{设向右为正、向左为负,解得: } \begin{cases} v_1 = -\sqrt{\frac{1}{2}gR}, \text{方向向左,} \\ v_2 = \sqrt{\frac{1}{2}gR}, \text{方向向右.} \end{cases}$$

设轨道对 B 的支持力为 N_B , B 球对轨道的压力为 N_B' ,

则 $N_B - \beta mg = \beta m \frac{v_2^2}{R}$,所以 $N_B' = -N_B = -4.5mg$,方向竖直向下。

(3)设 A 、 B 第二次碰撞刚结束时的速度分别为 v_1' 、 v_2' ,则

$$\begin{cases} -mv_1 - \beta mv_2 = mv_1' + \beta mv_2', \\ mgR = \frac{1}{2}mv_1'^2 + \frac{1}{2}\beta mv_2'^2. \end{cases}$$

解得 $v_1' = -\sqrt{2gR}$, $v_2' = 0$ 。

(另一组解: $v_1' = -v_1$, $v_2' = -v_2$ 不合题意,舍去)。

由此可得:当 n 为奇数时,小球 A 、 B 在第 n 次碰撞刚结束时的速度分别与其第一次碰撞刚结束时相同;当 n 为偶数时,小球 A 、 B 在第 n 次碰撞刚结束时的速度分别与其第二次碰撞刚结束时相同。

→ 题眼点拨:本题为动量守恒定律、机械能守恒定律、牛顿运动定律相结合的题目,认真审题、明确物体的运动过程是正确解决该类综合问题的关键。

→ 类题解法揭示:动量、能量综合应用题的求解:

动量守恒定律、机械能守恒定律、动能定理、功能关系的综合应用是高中物理的重点、难点,求解这类题目时要注意:

(1)认真审题,明确物体的运动过程。

分析这类问题的过程往往比较复杂,必须仔细阅读原题,搞清已知条件,判断哪一个过程机械能守恒,哪一个过程动量守恒。

(2)灵活运用动量、能量关系。

有的题目可能动量守恒,机械能不守恒;或机械能守恒,动量不守恒;或者动量在整个变化过程中守恒,而机械能在某一个过程中有损失等,过程的选取要灵活,既要熟悉一定的典型题,又不能死套题型、公式。

→ 小试牛刀 (107)

3. 一轻质弹簧,两端各连着质量均为 m 的滑块 A 和 B 。静止在光滑水平面上,滑块 A 被水平飞来的质量为 $\frac{m}{4}$ 、

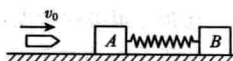


图 16-3-6

速度为 v_0 的子弹击中且没有穿出,如图16-3-6所示,求:

(1)击中瞬间, A 和 B 的速度分别为多大?



(2)以后运动过程中弹簧的最大弹性势能为多少?

V. 巩固提升 评估反馈

A 组 教材针对性训练 (107)

一、选择题

1. 在质量为 M 的小车中挂有一单摆, 摆球的质量为 m_0 , 小车(和单摆)以恒定的速度 v_0 沿光滑水平面运动, 与位于正对面的质量为 m 的静止木块发生碰撞, 如图 16-3-7 所示。碰撞的时间极短, 在碰撞过程中, 下列情况可能发生的是()

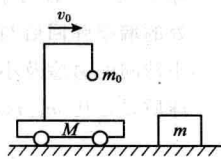


图 16-3-7

- A. 小车和摆球的速度都变为 v_1 , 木块的速度变为 v_2 , 满足 $(M+m_0)v_0 = (M+m_0)v_1 + mv_2$
- B. 小车、木块、摆球的速度都发生变化, 分别变为 v_1 、 v_2 、 v_3 , 满足 $(M+m_0)v_0 = Mv_1 + mv_2 + m_0v_3$
- C. 摆球的速度不变, 小车和木块的速度变为 v_1 和 v_2 , 满足 $Mv_0 = Mv_1 + mv_2$
- D. 摆球的速度不变, 小车和木块的速度变为 v' , 满足 $Mv_0 = (M+m)v'$
2. 一列火车共有 n 节车厢, 各节车厢质量相等, 相邻车厢间留有空隙, 首端第一节车厢以速度 v 向第二节撞去, 并连接在一起, 然后再向第三节撞去, 并又连接在一起, 这样依次撞下去, 使 n 节车厢全部运动起来, 那么最后火车的速度是() (铁轨对车厢的摩擦不计)

- A. v B. nv C. $\frac{v}{n}$ D. n^2v

3. 平静的水面上停着一只小船, 船头站立着一个人, 船的质量是人的质量的 8 倍。从某时刻起, 这个人向船尾走去, 走到船中部他突然停止走动。水对船的阻力忽略不计。下列说法中正确的是()
- A. 人走动时, 他相对于水面的速度和小船相对于水面的速度大小相等、方向相反
- B. 他突然停止走动后, 船由于惯性还会继续运动一小段时间
- C. 人在船上走动过程中, 人对水面的位移是船对水面的位移的 9 倍
- D. 人在船上走动过程中, 人的动能是船的动能的 8 倍
4. 质量相等的 A、B 两球之间压缩一根轻弹簧, 静置于光滑水平桌面上, 当用板挡住小球 A 而只释放 B 球时, B 球被弹出落到距桌边水平距离为 s 的地面上, 如图 16-3-8 所示。若再次以相同量压缩该弹簧, 取走 A 左边的挡板, 将 A、B 同时释放, 则 B 球的落地点距桌边为()

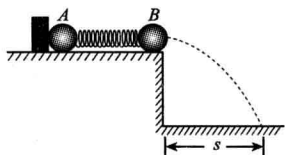


图 16-3-8

- A. $\frac{s}{2}$ B. $\sqrt{2}s$ C. s D. $\frac{\sqrt{2}}{2}s$

5. 向空中发射一物体, 不计空气阻力, 当此物体的速度恰好沿水

平方向时, 物体炸裂成 a、b 两块, 若质量较大的 a 块的速度方向仍沿原来的方向, 则()

- A. b 的速度方向一定与原速度方向相反
- B. 从炸裂到落地的这段时间里, a 飞行的水平距离一定比 b 的大
- C. a、b 一定同时落到水平地面
- D. 在炸裂过程中, a、b 受到爆炸力的冲量大小一定相等

二、解答题

6. 如图 16-3-9 所示, 小车 B 原来静止在光滑水平面上, 一个质量为 m 的铁块 A (可视为质点), 以水平速度 $v_0 = 4.0 \text{ m/s}$ 滑上质量为 M 的小车 B 的左端, 最后恰能滑到小车的右端。已知 $M:m = 3:1$, 小车长 $L = 1.2 \text{ m}$, g 取 10 m/s^2 。求:

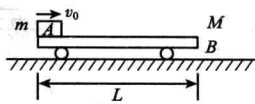


图 16-3-9

- (1) A、B 最后的速度;

- (2) 铁块与小车之间的动摩擦因数;

- (3) 铁块 A 速度减小到最小所经历的时间。

7. 如图 16-3-10 所示, 质量分别为 m_1 、 m_2 的物块 A、B 通过轻弹簧连接在一起, 静止于光滑水平面上。现给物块 A 一初速度, 使其向右运动, 若要使弹簧弹性势能最大时, 系统的动能恰好为弹性势能的 2 倍, 则 m_1 与 m_2 应满足什么关系?



图 16-3-10