



高中

同步精练与测试

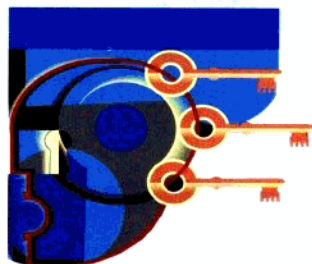
GAOZHONG TONGBU JINGLIAN YU CESHI

配粤教版

物理

选修 3-5

高中课堂优化教学课题组 编



广东省出版集团

全国优秀出版社 广东教育出版社



高中

同步精练与测试

GAOZHONG TONGBU JINGLIAN YU CESHI

配 粤 教 版

物 理

选修 3-5

高中课堂优化教学课题组 编

 广东省出版集团

全国优秀出版社  广东教育出版社

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

高中同步精练与测试. 物理. 3-5: 选修/高中课堂优化教学课题组编.
—广州: 广东教育出版社, 2009. 1
配粤教版
ISBN 978-7-5406-7442-7

I. 高… II. 高… III. 物理课—高中—习题 IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 005164 号

主 编: 周宗明
编委名单: 周宗明 刘志敏
责任编辑: 李 智
责任技编: 肖作勤
装帧设计: 陈国梁

广东教育出版社出版发行

(广州市环市东路 472 号 12-15 楼)

邮政编码 510075

网址 <http://www.gjs.cn>

广东新华发行集团股份有限公司经销

东莞市南城蚝江印刷厂印刷

(东莞市莞太路蚝江)

787 毫米×1092 毫米 16 开本 6.25 印张 125 000 字

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5406-7442-7

定价: 6.85 元

质量监督电话: 020-87613102 购书咨询电话: 020-34120440

前言

《高中同步精练与测试·物理(选修3-5)》是根据《普通高中物理课程标准》的要求和粤教版普通高中课程标准实验教科书《物理(选修3-5)》的内容体系以及大多数学校的教学实际编写,根据广大教师和学生的反映,目前市场上销售教辅资料可谓“品种繁多、琳琅满目”,存在的缺点是题多量多,难度大,没有梯度,针对性不强,不利于学生更好地掌握和消化所学知识.《物理3-5同步精练与测试》正是为了解决这一严重缺陷而编写的,严格遵循“新课标”所倡导的基本理念,试图通过系统化的知识结构、特色鲜明的栏目体系、层次清晰的习题训练,来帮助学生理解教材,掌握知识.

本书按教材的章节顺序编排,依据学生的心理特征和认知规律,设置了简洁、清晰的栏目体系:

【课标要求】依据《普通高中物理课程标准》的目标体系对每节内容的学习目标进行了具体化,旨在使学生的学习更具有整体性、侧重点、针对性、目的性.

【要点落实】是从教材中提炼的主干和重点知识,属于学生务必全面掌握的知识,目的在于明确重点和难点,突出知识的系统化和条理化.

【例题解析】精心设计的典型例题,突出解题方法和知识的归纳,从中得到启发和体会,达到举一反三、触类旁通的目的.

【同步练习】面向所有学生,突出知识的基础性.目的在于巩固所学知识,增加知识储备,提升思维能力.

【拓展练习】面向部分有余力的学生,突出知识的选择性.题型设计源于教材,而不拘泥于教材,目的在于使不同层次、不同能力的学生有所收获.

由于编写时间仓促,书中错误之处在所难免,敬请读者批评指正,以便我们更好地提高和完善.

编者

2008年12月1日





目 录

第一章 碰撞与动量守恒	1
第一节 物体的碰撞	1
第二节 动量 动量守恒	3
第三节 动量守恒定律在碰撞中的应用	11
第四节 反冲运动	19
第五节 自然界中的守恒定律	26
第一章 碰撞与动量守恒能力自测	29
第二章 波粒二象性	33
第一节 光电效应	33
第二节 光子	36
第三节 康普顿效应及其解释	39
第四节 光的波粒二象性	42
第五节 德布罗意波	45
第二章 波粒二象性能力自测	48
第三章 原子结构之谜	51
第一节 敲开原子的大门	51
第二节 原子的结构	52
第三节 氢原子光谱	54
第四节 原子的能级结构	56
第三章 原子结构之谜能力自测	59
第四章 原子核	62
第一节 走进原子核	62
第二节 核衰变与核反应方程	63
第三节 放射性同位素	66
第四节 核力与结合能	68
第五节 裂变与聚变	70
第六节 核能利用	72
第七节 小粒子与大宇宙	75
第四章 原子核能力自测	76
选修3-5 综合能力自测	79
参考答案	83



第一章 碰撞与动量守恒

本章从历史上的碰撞实验出发,通过探究和分析各种碰撞的形式及其所遵循的物理规律,从而得出物理学上普遍适用的规律——动量守恒定律。

动量守恒是自然界中最普遍、最重要的定律之一,它适用于目前物理学研究的各个领域。通过实验理解动量和动量守恒定律,并能用动量守恒定律定量研究一维碰撞、反冲等问题。通过对守恒定律的学习,认识自然界中守恒定律的重要性及其本质。体会自然界的和谐统一,进而从守恒与对称的关系中感受物理学的和谐之美。

本章主要体现的思维方法有两种:1. 整体法是系统方法在中学物理解题中的具体表现和应用,整体法的具体运用体现在以下两个方面——(1)对多个物理过程进行整体思维,即把几个过程合为一个过程来处理,如用动量定理或动量守恒定律解决比较复杂的运动。(2)对多个研究对象进行整体思维,即把两个或两个以上的独立的物体合为整体进行考虑,如应用动量守恒定律时,就是把两个或两个以上的物体看成整体或系统。从整体角度出发,忽略中间状态或过程,化繁为简,使问题得以顺利解决。因此系统思维方法应值得我们重视,在学习中应逐步深入掌握并会灵活运用。2. 守恒法——利用物理过程中的某些守恒关系,根据守恒条件,利用相应的守恒定律来解决物理问题的方法。守恒是变中的不变,是事物转化中的一种恒定性。如动量守恒定律,在一个不受外力作用的系统中,系统内各物体之间的相互作用只改变内部各物体的动量,而系统内各物体的总动量保持恒定不变。

由于力和动量均为矢量,因此,在应用动量定理和动量守恒定律时要首先选取正方向,与规定的正方向一致的力或动量取正值,反之取负值而不能只关注力或动量数值的大小;另外,理论上讲,只有在系统所受合外力为零的情况下系统的动量才守恒,但对于某些具体的动量守恒定律应用过程中,若系统所受的外力远小于系统内部相互作用的内力,则也可视为系统的动量守恒,这是一种近似处理问题的方法。

运用守恒定律给我们的解题带来方便,对于物理结构或物理过程较为复杂的问题,优先考虑应用守恒定律。加强对动量和冲量、内力和外力、矢量性、动量定理和动量守恒定律的理解和应用,可以有利于培养我们综合分析问题的能力。



第一节 物体的碰撞

课标要求

1. 了解历史上对碰撞问题的研究过程。
2. 知道生活中各式各样的碰撞形式。
3. 知道弹性碰撞和非弹性碰撞,能正确表达弹性碰撞和非弹性碰撞的特征,会用动量守恒的关系分析弹性碰撞现象与非弹性碰撞现象。

要点落实

一、历史上对碰撞问题的研究

1. 碰撞.

两个或两个以上有相对速度的物体相碰时, 在很短的时间内它们的运动状态发生显著变化, 这种物体间相互作用的过程, 叫做碰撞.

注意, 物理学研究的碰撞并不限于物体直接接触的情况. 分子、原子、质子等微观粒子不直接接触, 但彼此以力相互作用着, 并影响彼此的运动, 这种情况也叫做碰撞.

2. 对碰撞问题研究的意义.

对碰撞问题的研究, 有助于我们认识和了解物体间相互作用的具体规律和丰富的粒子世界.

二、生活中的各种碰撞现象

1. 碰撞现象的基本特征.

(1) 物体间的动量传递是在极短时间内完成的.

(2) 在碰撞的瞬间, 物体间的相互作用力相当大, 其变化规律复杂, 它与碰撞时物体的速度、材料性质、接触表面情况等有关.

2. 对碰撞与非对心碰撞.

当两物体相碰撞时, 若两物体碰撞的接触面均为曲面, 则通过其首先接触的一点, 可作一公法线, 若碰撞时两物体的质心都在这一公法线上, 这种碰撞叫做对心碰撞. 若两物体的质心不都在这条公法线上, 则这种碰撞叫做非对心碰撞.

注意: 中学阶段只研究物体间的对心正碰, 简称正碰.

3. 弹性碰撞和非弹性碰撞.

如果碰撞过程中动能守恒, 即为弹性碰撞; 如果碰撞过程中动能不守恒即为非弹性碰撞; 如果碰后两物体黏合在一起运动, 动能损失最大, 即为完全非弹性碰撞.

例题解析

【例】两个穿孔小球用细线连接, 中间夹有一根压缩的弹簧, 剪开细线, 小球将分别向两侧弹开. 这种现象是否也属于物体的碰撞? 生活中有没有类似的实例?

【解析】碰撞的特点有两个: 一是物体相互作用的时间极短; 二是相撞物体相互作用时间内, 外力的作用远小于物体之间内力的作用. 根据以上两个特点, 可以认为两小球弹开也属于物体的碰撞. 同样的道理, 爆炸也被认为是物体间的碰撞.

同步练习

1. 碰撞的最主要特点是什么?

2. 按形变情况的不同, 正碰可分为几类? 各有什么特点?



第二节 动量 动量守恒

课标要求

1. 理解动量的概念, 知道冲量的定义.
2. 理解动量与冲量的矢量性, 知道动量的变化量也是矢量, 会正确计算一维的动量变化.
3. 理解动量的变化与力之间的确切关系, 会用这一关系解释有关现象及简单的问题.
4. 理解动量守恒定律的确切含义和表达式, 知道动量守恒定律的适用范围, 会用动量守恒定律解释现象.

要点落实

一、动量

1. 定义: 物体的质量与速度的乘积叫动量.
2. 表达式: $p = mv$, 是矢量, 方向与速度的方向相同.
3. 单位: $\text{kg} \cdot \text{m/s}$

二、冲量

1. 定义: 力与力的作用时间的乘积叫做冲量.
2. 表达式: $I = Ft$, 是矢量, 方向与恒力 F 的方向相同, 如果是变力, 其方向与动量变化的方向相同.

3. 单位: $\text{N} \cdot \text{s}$

三、动量变化

1. 定义: 末动量与初动量的矢量差叫做动量变化.
2. 表达式: $\Delta p = mv_1 - mv_0 = m\Delta v$, 是矢量, 方向与 Δv 的方向相同.

四、动量定理

1. 内容: 合力的冲量等于物体的动量变化.
2. 表达式: $I = \Delta p$ 或 $Ft = mv_1 - mv_0$ (是矢量式, 要选取正方向, 研究对象是单个物体)

五、动量守恒定律

1. 内容: 如果一个系统不受外力, 或者所受外力的矢量和为零, 这个系统的总动量保持不变, 这就是动量守恒定律.

2. 表达式: $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1' v_1' + m_2' v_2'$ 或 $\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = 0$ 或 $\Delta p_1 = -\Delta p_2$ (只要求定量掌握一维情况)

3. 适用条件:

- (1) 系统不受外力或者所受外力之和为零.
- (2) 系统受外力, 但外力远小于内力, 可以忽略不计.
- (3) 系统在某一个方向上所受的合外力为零, 则该方向上动量守恒.
- (4) 全过程的某一阶段系统受的合外力为零, 则该阶段系统动量守恒.

例题解析

【例1】如图1-2-1所示, 质量为 m 的小球由高为 h 的光滑斜面顶端无初速滑到底端过程中, 重力、弹力、合力的冲量各是多大?

【解析】力的作用时间都是 $t = \sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \alpha}} = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 力的大小依次是

mg 、 $mg \cos \alpha$ 和 $mg \sin \alpha$, 所以它们的冲量依次是: $I_G = \frac{m \sqrt{2gh}}{\sin \alpha}$, $I_N =$

$$\frac{m \sqrt{2gh}}{\tan \alpha}, I_{\text{合}} = m \sqrt{2gh}$$

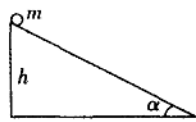


图 1-2-1

特别要注意, 该过程中弹力虽然不做功, 但对物体有冲量。

【例 2】以初速度 v_0 平抛出一个质量为 m 的物体, 抛出后 t 秒内物体的动量变化是多少?

【解析】因为合外力就是重力, 所以 $\Delta p = Ft = mgt$ 。

【点拨】有了动量定理, 不论是求合力的冲量还是求物体动量的变化, 都有了两种可供选择的等价方法。本题用冲量求解, 比先求末动量, 再求初、末动量的矢量差要方便得多。当合外力为恒力时往往用 Ft 来求较为简单; 当合外力为变力时, 在高中阶段只能用 Δp 来求。

【例 3】鸡蛋从同一高度自由下落, 第一次落在地板上, 鸡蛋被打破; 第二次落在泡沫塑料垫上, 没有被打破。这是为什么?

【解析】两次碰地(或碰塑料垫)瞬间鸡蛋的初速度相同, 而末速度都是零也相同, 所以两次碰撞过程鸡蛋的动量变化相同。根据 $Ft = \Delta p$, 第一次与地板作用时的接触时间短, 作用力大, 所以鸡蛋被打破; 第二次与泡沫塑料垫作用的接触时间长, 作用力小, 所以鸡蛋没有被打破。(再说得准确一点是: 鸡蛋被打破是因为受到的压强大。鸡蛋和地板相互作用时的接触面积小而作用力大, 所以压强大, 鸡蛋被打破; 鸡蛋和泡沫塑料垫相互作用时的接触面积大而作用力小, 所以压强小, 鸡蛋未被打破。)

【例 4】某同学要把压在木块下的纸条抽出来(图 1-2-2)。第一次他将纸条迅速抽出, 木块几乎不动; 第二次他将纸条较慢地抽出, 木块反而被拉动了。这是为什么?

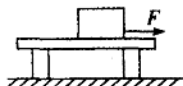


图 1-2-2

【解析】物体动量的改变不是取决于合力的大小, 而是取决于合力冲量的大小。在水平方向上, 第一次木块受到的是滑动摩擦力, 一般来说大于第二次受到的静摩擦力; 但第一次力的作用时间极短, 摩擦力的冲量小, 因此木块没有明显的动量变化, 几乎不动。第二次摩擦力虽然较小, 但它的作用时间长, 摩擦力的冲量反而大, 因此木块会有明显的动量变化。

【例 5】斜面体固定在水平面上, 如图 1-2-3 所示, 质量为 m 的物体沿斜面匀速下滑, 则物体由斜面顶端下滑到斜面底端的过程中, 下述正确的是()。

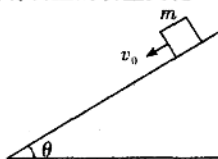


图 1-2-3

- A. 重力与摩擦力对物体的冲量大小相等
- B. 斜面对物体的弹力的冲量大小为零
- C. 物体所受外力的合力的冲量等于零
- D. 重力对物体做的功与物体克服摩擦力所做的功相等

【解析】①物体动量的变化与物体所受一个力的冲量有直接关系吗?(无)

②在一个过程中物体受到一个外力的冲量能等于零吗?(否)

③在一个过程中如果物体所受两个外力的冲量大小相等, 这两个外力的大小有什么关系?(大小相等)

④物体所受外力对物体做功为零时, 这个力的冲量是否也一定为零?(否)

【点拨】①物体动量变化只与合外力的冲量有关。

②物体所受一个外力可以对物体不做功, 但这个力的冲量不可能为零。

【例 6】质量为 m 的小球, 从沙坑上方自由下落, 经过时间 t_1 到达沙坑表面, 又经过时间 t_2 停在沙坑里。求: (1) 沙对小球的平均阻力 F ; (2) 小球在沙坑里下落过程所受的总冲量 I 。

【解析】设刚开始下落的位置为 A , 刚好接触沙的位置为 B , 在沙中到达的最低点为 C 。

(1) 在下落的全过程对小球用动量定理: 重力作用时间为 $t_1 + t_2$, 而阻力作用时间仅为 t_2 , 以竖

直向下为正方向,有:

$$mg(t_1+t_2) - Ft_2 = 0, \text{ 解得: } F = \frac{mg(t_1+t_2)}{t_2}.$$

(2) 仍然在下落的全过程对小球用动量定理: 在 t_1 时间内只有重力的冲量, 在 t_2 时间内只有总冲量 (已包括重力冲量在内), 以竖直向下为正方向, 有:

因为 $mg t_1 - I = 0$, 所以 $I = mg t_1$.

【点拨】这种题本身并不难, 也不复杂, 但一定要认真审题. 要根据题意所要求的冲量将各个外力灵活组合. 若本题目给出小球自由下落的高度, 可先把高度转换成时间后再用动量定理. 当 $t_1 > t_2$ 时, $F > mg$.

【例7】如图1-2-5所示, 质量为 M 的汽车带着质量为 m 的拖车在平直公路上以加速度 a 匀加速前进, 当速度为 v_0 时拖车突然与汽车脱钩, 到拖车停下瞬间司机才发现. 若汽车的牵引力一直未变, 车与路面的动摩擦因数为 μ , 那么拖车刚停下时, 汽车的瞬时速度是多大?

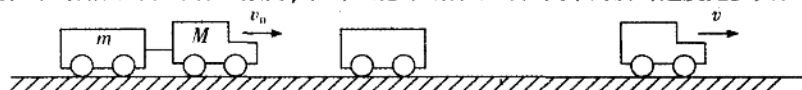


图1-2-5

【解析】以汽车和拖车系统为研究对象, 全过程系统受的合外力始终为 $(M+m)a$, 该过程经历时间为 $\frac{v_0}{\mu g}$, 末状态拖车的动量为零. 全过程对系统用动量定理可得:

$$\text{因为 } (M+m)a \cdot \frac{v_0}{\mu g} = Mv' - (M+m)v_0, \text{ 所以 } v' = \frac{(M+m)(a + \mu g)}{\mu Mg} v_0$$

【点拨】这种方法只能用在拖车停下之前. 因为拖车停下后, 系统受的合外力中少了拖车受到的摩擦力, 因此合外力大小不再是 $(M+m)a$.

【例8】如图1-2-6所示, 质量为 $m=1 \text{ kg}$ 的小球由高 $h_1=0.45 \text{ m}$ 处自由下落, 落到水平地面后, 反跳的最大高度为 $h_2=0.2 \text{ m}$, 从小球下落到反跳到最高点经历的时间为 $\Delta t=0.6 \text{ s}$, 取 $g=10 \text{ m/s}^2$. 求: 小球撞击地面过程中, 球对地面的平均压力的大小 F .

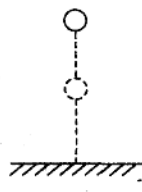


图1-2-6

【解析】以小球为研究对象, 从开始下落到反跳到最高点的全过程动量变化为零, 根据下降、上升高度可知其中下落、上升分别用时 $t_1=0.3 \text{ s}$ 和 $t_2=0.2 \text{ s}$, 因此与地面作用的时间必为 $t_3=0.1 \text{ s}$. 由动量定理得: $mg\Delta t - Ft_3 = 0$, $F=60 \text{ N}$.

【例9】如图1-2-7所示, 静止在水平面上的小船连同球的质量总共为 M , 质量均为 m 的甲、乙两球以大小相等的速度 v 先后向左右水平抛出, 先水平向左抛出甲球, 然后再水平向右以大小相同的速度抛乙球, 判断: 抛球过程中甲、乙两球受到的冲量大小关系.



图1-2-7

解题之前, 请思考下述问题:

- ①抛出甲球前后, 甲球动量分别为多少?
- ②抛出甲球过程船载着乙球如何运动?
- ③抛出乙球前后, 乙球动量分别为多少?
- ④抛球过程中, 两球所受合外力的冲量取决于什么?

结论: 甲球受的冲量大.

【解析】抛甲球时, 甲球受的冲量等于甲球动量的变化 mv , 同时船受到反方向的冲量, 因而获得向右的冲量向右运动起来. 设此时船向右运动的速度为 $v_{船}$, 抛乙球时, 乙球受到的冲量等于乙球动量的变化, 即 $mv - mv_{船}$, 显然甲球受到的冲量大于乙球受的冲量.

题后思考:



①解本题选择了几个研究对象？（三个对象：甲球、乙球和船）

②对每个研究对象如何使用动量定律列出方程？（着重强调方向性，例如对甲球以左为正方向， $F_{\text{甲}} t_{\text{甲}} = mv$ ，对乙球以右为正方向， $F_{\text{乙}} t_{\text{乙}} = mv - mv_{\text{船}}$ ，各字母只表示绝对值）

【例 10】质量为 m 的物块以初速 v_0 沿倾角为 θ 的粗糙斜面冲上斜面，滑到 B 点速度为零，然后滑下回到 A 点（如图 1-2-8）。关于物块所受的冲量，下述说法中正确的是（ ）。

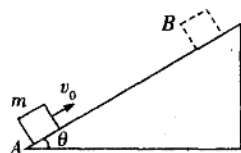


图 1-2-8

- A. 物块上滑过程和下滑过程受到摩擦力冲量等值反向
- B. 物块上滑过程和下滑过程受到重力的冲量等值同向
- C. 物块从冲上斜面 A 点到返回 A 点的整个过程中所受到各外力的

冲量的总和方向向下

- D. 物块从冲上斜面到返回斜面底端的整个过程中合外力的冲量总和小于 $2mv$

解题前请思考：

①上滑下滑过程中，摩擦力的方向是什么方向；上滑和下滑所用时间长短用什么方法比较最简单？（用 $t = \frac{s}{v}$ ）

②重力的冲量是否在任何过程中都是竖直向下的？

③合外力的冲量大小及方向用什么规律判断和计算最为方便？（用物体动量的变化）

【解析】因上滑时间小于下滑时间，则各力的冲量都是上滑过程小于下滑过程，重力的冲量方向永远竖直向下，合力冲量的大小和方向，用动量定理最方便。以沿斜面向下为正方向，有 $Ft = mv_1 - (-mv_0)$ ，因为 $v_1 < v_0$ ，所以 $Ft < 2mv_0$ ，故应选 D。

【例 11】如图 1-2-9 所示的装置中，木块与水平桌面间的接触是光滑的，子弹沿水平方向射入木块后留在木块内，将弹簧压缩到最短。现将子弹、木块和弹簧合在一起作为研究对象（系统），则此系统在从子弹开始射入木块到弹簧压缩至最短的整个过程中（ ）。

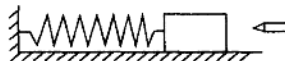


图 1-2-9

- A. 动量守恒、机械能守恒
- B. 动量不守恒、机械能不守恒
- C. 动量守恒、机械能不守恒
- D. 动量不守恒、机械能守恒

【解析】若以子弹、木块和弹簧合在一起作为研究对象（系统），从子弹开始射入木块到弹簧压缩至最短时，弹簧固定端墙壁对弹簧有外力作用，因此动量不守恒。而在子弹射入木块时，存在剧烈摩擦作用，有一部分能量将转化为内能，机械能也不守恒。实际上，在子弹射入木块这一瞬间过程，取子弹与木块为系统则可认为动量守恒（此瞬间弹簧尚未形变）。子弹射入木块后木块压缩弹簧过程中，机械能守恒，但动量不守恒。物理规律总是在一定条件下得出的，因此在分析问题时，不但要弄清取谁作研究对象，还要弄清过程的阶段的选取，判断各阶段满足物理规律的条件。所以选 B。

【例 12】质量为 m 的小车中挂有一个单摆，摆球的质量为 m_0 ，小车和单摆以恒定的速度 v_0 沿水平地面运动，与位于正对面的质量为 m_1 的静止木块发生碰撞，碰撞时间极短，在此过程中，下列哪些说法是可能发生的（ ）。

- A. 小车、木块、摆球的速度都发生变化，分别为 v_1 、 v_2 和 v_3 ，且满足： $(m + m_0) v_0 = mv_1 + m_1 v_2 + m_0 v_3$ ；
- B. 摆球的速度不变，小车和木块的速度为 v_1 、 v_2 ，且满足： $mv_0 = mv_1 + m_1 v_2$ ；
- C. 摆球的速度不变，小车和木块的速度都为 v ，且满足： $mv_0 = (m + m_1) v$ ；
- D. 小车和摆球的速度都变为 v_1 ，木块的速度变为 v_2 ，且满足： $(m + m_0) v_0 = (m + m_0) v_1 + m_1 v_2$



【解析】小车与木块相碰，随之发生的将有两个过程：其一是，小车与木块相碰，作用时间极短，过程结束时小车与木块速度发生了变化，而小球的速度未变；其二是，摆球将要相对于车向右摆动，又导致小车与木块速度的改变。但是题目中已明确指出只需讨论碰撞的极短过程，不需考虑第二过程。因此，我们只需分析 B、C 两项。其实，小车与木块相碰后，将可能会出现两种情况，即碰撞后小车与木块合二为一或它们碰后又分开，前者正是 C 项所描述的，后者正是 B 项所描述的，所以 B、C 两项正确。

【例 13】如图 1-2-10 所示，甲、乙两小孩各乘一辆冰车在水平冰面上游戏。甲和他的冰车总质量共为 30 kg，乙和他的冰车总质量也是 30 kg。游戏时，甲推着一个质量为 15 kg 的箱子和他一起以 2 m/s 的速度滑行，乙以同样大小的速度迎面滑来。为了避免相撞，甲突然将箱子滑冰面推给乙，箱子滑到乙处，乙迅速抓住。若不计冰面摩擦，求甲至少以多大速度（相对地）将箱子推出，才能避免与乙相撞？

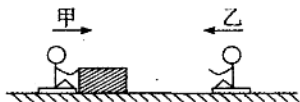


图 1-2-10

【解析】要想刚好避免相撞，要求乙抓住箱子后与甲的速度正好相等，设甲推出箱子后的速度为 v_1 ，箱子的速度为 v ，乙抓住箱子后的速度为 v_2 。

对甲和箱子，推箱子前后动量守恒，以初速度方向为正，由动量守恒定律：

$$(M+m)v_0 = mv + Mv_1 \quad ①$$

对乙和箱子，抓住箱子前后动量守恒，以箱子初速方向为正，由动量守恒定律有：

$$mv - Mv_0 = (m+M)v_2 \quad ②$$

刚好不相撞的条件是： $v_1 = v_2$ ③

由①②③解得： $v = 5.2 \text{ m/s}$ ，方向与甲和箱子初速一致。

【点拨】本题从动量守恒定律的应用角度看并不难，但需对两个物体的运动关系分析清楚（乙和箱子、甲的运动关系如何，才能不相撞）。这就需要我们z要将“不相撞”的实际要求转化为物理条件，即甲、乙可以同方向运动，但只要乙的速度不小于甲的速度，就不可能相撞。

同步练习

- 关于冲量下述说法正确的是（ ）。
 - 作用力越大，冲量越大
 - 力的作用时间越长，冲量越大
 - 恒力的作用时间长，则冲量大
 - 上述说法均不正确
- 下列说法中正确的是（ ）。
 - 运动物体的动量的方向总是与它的运动方向相同
 - 作用于物体上的合外力的冲量不为零，则物体的动量一定发生变化
 - 作用于物体上的合外力的冲量方向总是与物体的动量方向相同
 - 作用于物体上的合外力的冲量方向总是与物体的动量变化方向相同
- 质量为 0.5 kg 的物体，它做直线运动的位移方程为 $s = (4t + 6t^2) \text{ m}$ ，则其动量的变化量对时间的变化率为（ ）。
 - 6 N
 - 1.5 N
 - $(2 + 2t) \text{ N}$
 - 0
- 关于力的冲量和物体的动量之间的关系，正确的是（ ）。
 - 物体受到的力的冲量越大，物体的动量就越大
 - 物体受到的力的冲量越大，物体受到的冲力一定越大
 - 物体受到的力的冲量越大，物体的动量变化一定越大
 - 以上说法都不正确
- 跳高时要铺上厚厚的垫子，这是为了（ ）。
 - 减少运动员受到的冲量
 - 减少运动员受到的冲力

C. 减少运动员的动量变化

D. 减少运动员的惯性

6. 质量相等的 P 和 Q , 并排静止在光滑的水平桌面上, 现用一水平恒力推物体 P , 同时给 Q 一个与 F 同方向的瞬时冲量 I , 使两物体开始运动, 当两物体重新相遇时, 所经历的时间为 ().

- A. $\frac{I}{F}$ B. $\frac{2I}{F}$ C. $\frac{2F}{I}$ D. $\frac{F}{I}$

7. A 、 B 两个相互作用的物体, 在相互作用的过程中合外力为零, 下列说法正确的是 ().

- A. A 的动量变大, B 的动量一定变大
B. A 的动量变大, B 的动量一定变小
C. A 与 B 的动量变化相等
D. A 与 B 受到的冲量大小相等

8. 一粒钢珠从静止状态开始自由下落, 然后陷入泥潭中. 若把在空中下落的过程称为过程 I, 进入泥潭直到停止的过程称为过程 II, 则 ().

- A. 过程 I 中钢珠的动量的改变量等于重力的冲量
B. 过程 II 中阻力的冲量的大小等于过程 I 中重力的冲量的大小
C. I、II 两个过程中合外力的总冲量等于零
D. 过程 II 中钢珠的动量的改变量等于零

9. 船静止在水中, 若水的阻力不计, 当先后以相对地面相等的速率, 分别从船头与船尾水平抛出两个质量相等的物体, 抛出时两物体的速度方向相反, 则两物体抛出以后, 船的状态是 ().

- A. 仍保持静止状态 B. 船向前运动
C. 船向后运动 D. 无法判断

10. 一艘小船的质量为 M , 船上站着一个人质量为 m , 人和船原处于静止状态. 水对船的阻力忽略不计, 当人从船尾向船头走过距离 d 时 (相对于船), 小船后退的距离为 ().

- A. $\frac{md}{M}$ B. $\frac{Md}{M-m}$ C. $\frac{Md}{M+m}$ D. $\frac{md}{M+m}$

11. 设一小型宇宙飞船沿人造地球卫星的轨道做匀速圆周运动, 如果飞船与其速度相反的方向抛出一个物体 A (质量不可忽略), 下列说法中正确的是 ().

- A. A 与飞船都可能沿原轨道运动
B. A 与飞船都不可能沿原轨道运动
C. A 运动的轨道半径若减小, 则飞船飞行的轨道半径一定增大
D. A 可能沿地球半径方向竖直下落, 则飞船运动的半径将增大

12. 如图 1-2-11 所示, 质量为 m 的人立于平板车上, 人与车的总质量为 M , 人与车以速度 v_1 在光滑水平面上向东运动. 当此人相对于车以速度 v_2 竖直跳起时, 车的速度变为 ().

- A. $\frac{Mv_1 - Mv_2}{M - m}$ 向东 B. $\frac{Mv_1}{M - m}$ 向东
C. $\frac{Mv_1 + Mv_2}{M - m}$ 向东 D. v_1 向东

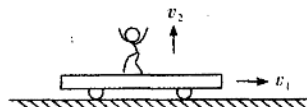


图 1-2-11

拓展练习

13. 一质量为 0.1 kg 的小球从 0.80 m 高处自由下落到一厚软垫上. 若从小球接触软垫到小球陷至最低点经历了 0.2 s , 则这段时间内软垫对小球的冲量为 _____. (取 $g = 10 \text{ m/s}^2$,



不计空气阻力)

14. 蹦床是运动员在一张绷紧的弹性网上蹦跳、翻滚并做各种空中动作的运动项目. 一个质量为 60 kg 的运动员, 从离水平网面 3.2 m 高处自由下落, 触网后沿竖直方向弹回到离水平网面 5.0 m 高处. 已知运动员与网面接触的时间为 1.2 s . 若把在这段时间内网对运动员的作用力当做恒力处理, 求此力的大小. ($g = 10\text{ m/s}^2$)

15. 一个质量为 $m = 2\text{ kg}$ 的物体, 在 $F_1 = 8\text{ N}$ 的水平推力作用下, 从静止开始沿水平面运动了 $t_1 = 5\text{ s}$, 然后推力减小为 $F_2 = 5\text{ N}$, 方向不变, 物体又运动了 $t_2 = 4\text{ s}$ 后撤去外力, 物体再经过 $t_3 = 6\text{ s}$ 停下来. 试求物体在水平面上所受的摩擦力.

16. 如图 1-2-12 所示, 有两个物体 A、B, 紧靠着放在光滑水平桌面上, A 的质量为 2 kg , B 的质量为 3 kg . 有一颗质量为 100 g 的子弹以 800 m/s 的水平速度射入 A, 经过 0.01 s 又射入物体 B, 最后停在 B 中, A 对子弹的阻力为 $3 \times 10^3\text{ N}$, 求 A、B 最终的速度.

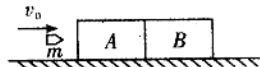


图 1-2-12

17. 设质量为 m 的子弹以初速度 v_0 射向静止在光滑水平面上的质量为 M 的木块, 并留在木块中不再射出, 子弹钻入木块深度为 d . 求木块对子弹的平均阻力的大小和该过程中木块前进的距离.

备 选 练 习

18. 如图 1-2-13 所示, 打桩机锤头质量为 M , 从距桩顶 h 高处自由下落, 打在质量为 m 的木桩上, 且在极短时间内便随桩一起向下运动, 使得木桩深入泥土的距离为 s , 那么在木桩下陷过程中泥土对木桩的平均阻力是多少?

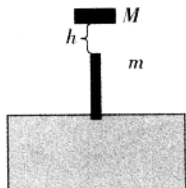


图 1-2-13

19. 如图 1-2-14 所示, C 是放在光滑的水平面上的一块木板, 木板的质量为 $3m$, 在木板的上面有两块质量均为 m 的小木块 A 和 B , 它们与木板间的动摩擦因数均为 μ . 最初木板静止, A 、 B 两木块同时以方向水平向右的初速度 v_0 和 $2v_0$ 在木板上滑动, 木板足够长, A 、 B 始终未滑离木板. 求:

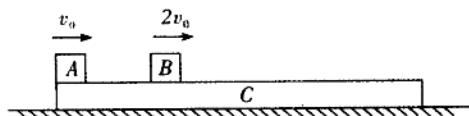


图 1-2-14

- (1) 木块 B 从刚开始运动到与木板 C 速度刚好相等的过程木块 B 所发生的位移;
- (2) 木块 A 在整个过程中的最小速度.

第三节 动量守恒定律在碰撞中的应用

课标要求

1. 知道应用动量守恒定律解决问题时应注意的问题.
2. 掌握应用动量守恒定律解决问题的一般步骤.
3. 能综合应用动量守恒定律和其他定律解决一维运动的有关问题.

要点落实

一、怎样计算系统的总动量,才不易发生错误

1. 必须选取同一参照物.
2. 因为中学只研究一维空间的动量守恒,因此,首先选取正方向,变矢量计算为代数运算.
3. 计算总动量时,先求出每个物体的动量,然后求代数和,注意每个物体的动量符号一同代入计算之(不管各物体间的位置关系如何).

二、应用动量守恒定律解题步骤

1. 明确研究对象,确定守恒方向(关于守恒方向的判断可从现象上作简单的定性判断).
2. 明确作用前后,选取正方向,确定作用前总动量 $p_{\text{前}}$ 和作用后总动量 $p_{\text{后}}$.
3. 列方程: $p_{\text{前}} = p_{\text{后}}$.
4. 解方程.

三、了解碰撞的分类及规律

时间极短 ($\Delta t \rightarrow 0$) 的物体间相互作用称为“碰撞”.任何一种“碰撞”都遵守动量守恒定律.

1. 弹性碰撞.

碰撞过程中物体无机械能损失,即只发生机械能传递而不发生能量转化.同时遵守动量守恒定律和机械能守恒定律.为此,举例说明:

如图 1-3-1 所示,在光滑水平面上,质量为 m_1 的小球以速度 v_1 与质量为 m_2 的静止小球发生弹性碰撞,碰撞后两球各自的速度多大?

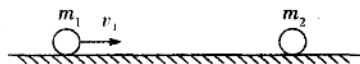


图 1-3-1

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad ①$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \quad ②$$

由①、②式解得

$$\begin{cases} v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 \\ v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 \end{cases}$$

由上面结论可知

$$(1) \text{ 当 } m_1 = m_2 \text{ 时, } \begin{cases} v_1' = 0 \\ v_2' = v_1 \end{cases}$$

显然, m_1 的动能完全传递给了 m_2 , 因此, $m_1 = m_2$ 是能量传递最大的条件.



$$(2) \text{ 当 } m_1 \ll m_2 \text{ 时, } \begin{cases} v_1' = -v_1 \\ v_2' = 0 \end{cases}$$

显然, m_1 的动能没有传递给 m_2 , 因此, $m_1 \ll m_2$ 是能量传递最小的条件.

2. 非弹性碰撞.

碰撞过程有机械能损失——发生了能量转化.

遵守的规律是 $\begin{cases} \Delta p = 0 \text{ 即动量守恒} \\ W = \Delta E \text{ 即功能原理} \end{cases}$

在非弹性碰撞中, 有一种特殊情况: 碰撞后两物体有共同速度, 这类碰撞叫完全非弹性碰撞.

在处理碰撞问题时, 要注意: ①碰撞后总能量小于或等于碰撞前总能量; ②碰撞后两物体的速度关系为 $v_2' \geq v_1'$.

例题解析

【例1】质量为 m 的 A 球以水平速度 v 与静止在光滑的水平面上的质量为 $3m$ 的 B 球正碰, A 球的速度变为原来的 $1/2$, 则碰后 B 球的速度是 (以 v 的方向为正方向). ()

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

【解析】碰撞后 A 球、 B 球若同向运动, A 球速度小于 B 球速度, 显然答案中没有, 因此, A 球碰撞后方向一定改变, A 球动量应 $m(-\frac{v}{2})$.

由动量守恒定律得: $mv = m(-\frac{v}{2}) + 3mv'$, 所以 $v' = \frac{v}{2}$. 故 D 正确.

【例2】甲、乙两球在水平光滑轨道上向同方向运动, 已知它们的动量分别是 $p_1 = 5 \text{ kg} \cdot \text{ms}^{-1}$, $p_2 = 7 \text{ kg} \cdot \text{ms}^{-1}$, 甲从后面追上乙并发生碰撞, 碰后乙球的动量变为 $10 \text{ kg} \cdot \text{ms}^{-1}$, 则二球质量 m_1 与 m_2 间的关系可能是下面的哪几种? ()

- A. $m_1 = m_2$ B. $2m_1 = m_2$ C. $4m_1 = m_2$ D. $6m_1 = m_2$

【解析】甲、乙两球在碰撞过程中动量守恒, 所以有:

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2' \quad \text{即: } p_1' = 2 \text{ kg} \cdot \text{ms}^{-1}.$$

由于在碰撞过程中, 不可能有其他形式的能量转化为机械能, 只能是系统内物体间机械能相互转化或一部分机械能转化为内能, 因此系统的机械能不会增加. 所以有:

$$\frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2} \geq \frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2}$$

所以有: $m_1 \leq \frac{21}{51}m_2$, 不少学生就选择 C、D 选项.

这个结论合“理”, 但却不合“情”. 因为题目给出物理情景是“甲从后面追上乙”, 要符合这一物理情景, 就必须有 $\frac{p_1}{m_1} > \frac{p_2}{m_2}$, 即 $m_1 < \frac{5}{7}m_2$; 同时还要符合碰撞后乙球的速度必须大于或等于甲球的速度这一物理情景, 即 $\frac{p_1'}{m_1} < \frac{p_2'}{m_2}$, 所以 $m_1 > \frac{1}{5}m_2$. 因此选项 D 是不合“情”的, 正确的答案应该是 C 选项.

【例3】如图 1-3-2 所示, 半径和动能都相等的两个小球相向而行. 甲球质量 $m_{\text{甲}}$ 大于乙球质量 $m_{\text{乙}}$, 水平面是光滑的, 两球做对心碰撞以后的运动情况可能是下述哪些情况? ()

- A. 甲球速度为零, 乙球速度不为零
B. 两球速度都不为零
C. 乙球速度为零, 甲球速度不为零

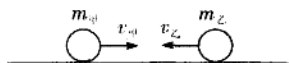


图 1-3-2