

物理

普通高中课程标准实验教材

教师教学用书

选修 3-5

经全国中小学教材审定委员会2005年初审通过
普通高中课程标准实验教科书

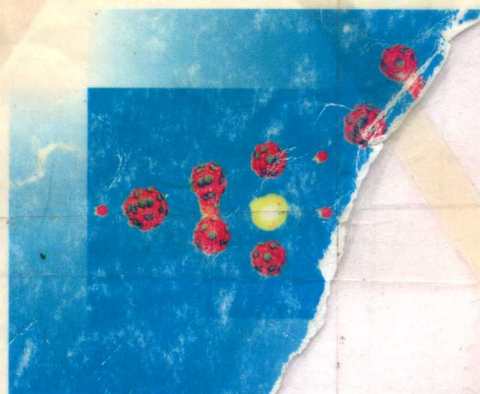
经全国中小学教材审定委员会2005年初审通过
普通高中课程标准实验教科书

经全国中小学教材审定委员会2005年初审通过
普通高中课程标准实验教科书

物理

WULI

选修 3





模块说明

本模块是选修3系列的最后一个模块。按照课程标准的编排，本模块应包括的内容有以下几方面。

教科书首先安排了碰撞、动量、动量守恒定律及其应用等内容。这些内容是牛顿力学中的一部分，动量守恒定律是自然界最普遍的定律之一，在微观领域同样适用，因此这一部分内容也为学习原子、原子核等微观世界中的现象作了准备，是学习这部分内容的必备知识。在动量的教学中，老师们要注意的是，教科书并没按照传统的方法先定义动量，然而介绍几种相互作用的方法，而是通过实验，把碰撞进行分类，再引入动量概念，总结出碰撞中的规律，突出了学生的自主学习，也符合物理概念和物理规律的认识和探究过程。

原子结构理论的出现，是人类对物质世界的认识取得重大进步的标志。教科书介绍了电子的发现、原子核式结构模型的建立、氢原子光谱以及玻尔的原子模型的理论，较为清楚地呈现了这一历史线条以及最基本的物理知识。在光谱分析和应用中介绍了前沿的应用和宇宙大爆炸的思想，体现了教学内容的时代性。

“原子核”部分的内容主要包括原子核的组成、核力、放射性、衰变、裂变、聚变以及对粒子物理的简介，定性地介绍了原子核物理的主要内容。教科书还简单地介绍了可控核反应研究的进展情况，以及恒星中的核反应，拓展了学生的视野。

量子物理起源于对物质波粒二象性的认识，教科书从黑体辐射出发，介绍了普朗克的能量子概念，再从光电效应、康普顿效应以及双缝干涉引入了粒子的波粒二象性，最后给出不确定关系，初步介绍了量子力学重要概念和基本思想。

在知识呈现的同时，教科书注重以物理内容辐射对学生的人文教育，介绍了玻尔、居里夫人等科学家的思想、精神和成就，还介绍了我国一些著名科学家的工作。

教科书通过上述内容结构，完成了课程标准提出的四个二级主题：碰撞与动量守恒；原子结构；原子核；波粒二象性。



第一章 碰撞与动量守恒

一、教学目标要求

1. 通过观察和实验探究，知道碰撞的一般特点。知道弹性碰撞和非弹性碰撞在碰撞过程中的机械能变化。
2. 通过实验探究，理解动量概念、动量定理和动量守恒定律。能用动量定理与动量守恒定律定量分析一维碰撞问题，知道动量守恒定律的普遍意义。
3. 了解中子发现的大致过程，分析动量守恒定律在其中的应用。
4. 了解火箭发射是利用了反冲现象，而反冲现象通常都遵循动量守恒定律。
5. 了解物理学中的守恒定律总是与某种对称性相联系，让学生体会自然界的和谐与统一。

二、活动建议

组织学生制作“喷气船”的活动。

三、本章结构及重难点分析

本章一共四节，可分三个部分进行教学。第1节与第2节各为一个部分，第3、4两节为一个部分。

第1节是通过实验为下面的教学展开打基础。第2节定义了这一章最重要的概念——动量。第3、4两节介绍了碰撞中的规律及应用。这一章的教学重点和难点是动量守恒定律及其应用。

四、教学安排建议

本章教学，每1节1课时，复习1课时，共5课时完成。



第1节 碰撞

□ 教学目标

1. 通过观察图片，初步了解碰撞现象及其特点。
2. 通过实验，使学生能熟练测量质量、速度等基本物理量，能计算动能、动能之和、动能的改变量。
3. 能通过实验中动能改变量的计算，对碰撞进行分类。
4. 通过以上教学活动，培养学生观察和实验的能力，初步培养学生用实验的方法对同一现象从能量的角度进行分类的能力。

□ 情景说明

这一节的情景是图1-1-1，图中列出了学生在日常中见到的碰撞现象。让学生通过观察图片初步了解碰撞这一物理现象的特点，为引入下面的教学作好引导。

□ 过程指导

1. 碰撞现象

先让学生观察图1-1-1，进行思考，然后可用讨论的形式，总结出碰撞现象的一些特点，为整章的教学作好准备。

2. 碰撞中的动能变化

这是一个实验探究。先让学生测量滑块的质量、速度等基本物理量，分别进行三种不同形式碰撞的研究，测定在各种碰撞中动能的变化。按照碰撞中机械能的变化，对碰撞进行分类。

(1) 带弹簧片的滑块的碰撞可以看做是弹性碰撞，这类碰撞遵循的规律是： $\Delta p = 0$ (Δp 为系统总动量的变化量)，即动量守恒定律； $\Delta E = 0$ ，即机械能（这里碰撞前后只有动能）守恒定律。这里有能量的传递，但没有能量的损失，从实验数据中也可以验证这两个结论。

(2) 不带弹簧片的两滑块碰撞是非弹性碰撞，这种碰撞遵循的规律是： $\Delta p = 0$ ，动量守恒定律； $\Delta E \neq 0$ ，机械能不守恒。碰撞前后有动能的损失，可以从实验中验证。这里除了有能量的传递外，还有部分机械能向其他能的转化，使得机械能（动能）损失了一部分，这一部分机械能转化为滑块的内能。

(3) 滑块涂上橡皮泥的碰撞，碰撞后粘在一起，是非弹性碰撞的一种特殊情况，称作完全非弹性碰撞。这种碰撞与非弹性碰撞遵循的规律相同。不过，这类碰撞较其他非弹性碰撞，机械能的损失最多。

(4) 这一实验不仅从能量的变化中对碰撞进行分类，而且为下面引入动量守恒定律作



好准备。因此，这一实验是这一章的重要探究活动。它展示了物理实验在寻找自然规律中的意义和作用，教师要在课前认真作好准备，让学生在规定的时间内能顺利完成此实验。

(5) 在实验中，老师不要越俎代庖，要让学生自己动手完成测量、计算等具体步骤，充分发挥学生在教学活动中的主体、主动作用。

3. 碰撞的分类

可以在教师的适当引导下，让学生通过实验自己归纳出碰撞的分类。然后教师进行总结，再参考教科书内容，把碰撞问题向学生不熟悉的领域适当拓展。

问题解答

练习与评价

1. 碰撞过程中，物体之间的相互作用时间很短，运动状态发生显著变化。
2. 可根据碰撞前后，参与碰撞物体的总机械能的变化，来划分碰撞的类型。碰撞可分为两类：弹性碰撞和非弹性碰撞。
3. 略。
4. 两个钢球、象牙球之间的碰撞，乒乓球与台面或硬地面的碰撞，都可近似地看做弹性碰撞，而通常见到的各种碰撞都是非弹性碰撞。

发展空间

实验室

一般中学实验室中有这种实验设备，可直接拿来进行实验。两钢球的碰撞可以看做是弹性碰撞，思考的三个问题的答案是：

1. 速度交换。
2. 相等。
3. 速度又一次交换。

如果是不同材料的球，由于质量不同，在摆的最低处不会进行速度交换（参见本章第4节例题1），而且若不是弹性碰撞，机械能也会有损失。

第2节 动量

教学目标

1. 理解动量的概念，会计算动量的改变量。
2. 知道冲量的概念，了解动量定理，能用动量定理解释碰撞现象，解决简单的碰撞问题。
3. 培养学生对矢量的运算能力，能用与动量相关的物理知识解释生活中的碰撞现象，提高学生学习物理的兴趣。



过程指导

1. 动量的概念

(1) 教科书首先从研究碰撞问题的需要引入一个新的物理量——动量. 给出动量的定义、单位, 指出动量是一个矢量.

(2) 学生通过“活动”栏目中的问题学习动量的计算. “活动”中的两个填空是:

①滑块甲的动量大小是 $100.0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 方向是 沿 x 轴正方向;

②滑块乙的动量大小是 $100.0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 方向是 沿 x 轴负方向.

2. 动量的改变量

(1) 教科书指出为了寻找物体在碰撞过程中的规律, 要计算动量的改变量 $\Delta p = p' - p$, Δp 是两矢量的差值, 等于物体碰后的动量减去碰前的动量. 在计算中要注意是矢量运算, 在一维的碰撞中, 可用“+”、“-”号表示动量的方向.

(2) 例1与例2是小球分别在水平方向与竖直方向碰撞的两个典型例子.

在例1中, 用闪光照片来计算出小球碰撞前、后的速度. 这种设计让例题更接近实验的情况. 在光滑水平面上小球的碰撞, 在碰撞前后都做匀速直线运动. 只有在发生碰撞的瞬间, 状态发生变化, 此例题显示的正是这种情况.

动量是矢量, 既有大小, 又有方向. 这里因为是一维的碰撞, 所以方向用正负号来表示. 但要预先规定一个正方向, 一般以 v_1 的方向为正方向.

例题2中的 v_1 根据机械能守恒来计算, 也可以用自由落体公式 ($v^2 = 2gH$) 计算. 此题中要规定正方向, 要注意矢量用符号表示方向的运算方法.

例题1碰撞前后小球做惯性运动, 是匀速直线运动, 而例题2在碰撞前、后是做自由落体与竖直上抛运动, 是匀变速直线运动. 要注意两种情况的区别.

3. 动量定理

(1) “课程标准”对这部分内容没有要求, 但鉴于该定理在力学中的地位以及它在解决一些力学问题时的作用, 我们在教科书中作为一个四级标题进行了介绍. 教科书给出动量定理的形式, 还介绍了冲量的概念. 冲量概念的引入, 一方面是学生可能在日常生活中会遇到这一概念, 了解这一概念有助于把学到的物理知识与日常遇到的物理现象更好地联系起来; 另一方面, 介绍这一概念也便于更好地掌握动量定理.

(2) 教科书指出了在撞击过程中, 撞击物的受力一般是一个变力, 这与学生在牛顿力学中接触到的恒力不同, 但如把变力用碰撞过程中的平均作用力 \bar{F} 替代, 就可用动量定理, 求得碰撞物体之间的相互作用力. 教科书中的例题正是说明了这一点. 教学中也可以让学生用动量定理求出以上例题1与例题2中墙面、地面对小球的平均作用力.

(3) 教科书最后的“讨论交流”栏目, 是让学生通过讨论, 用动量定理解释图中的现象, 教师还可以进一步让学生举出更多的类似例子, 进行交流分析. 分析的关键是 $\Delta p = Ft$. 因为地面上放置泡沫塑料和海绵, 使得鸡蛋、人在与地面的碰撞过程中, 虽然 Δp 没有变, 但是 t 变大了, F 就变小了.



问题解答

练习与评价

1. D.

2. 纸与厚书之间的滑动摩擦力 f 是一定的, 当缓缓拉动纸端时, 由于作用时间大, 作用在厚书上的冲量 (ft) 就大, 按动量定理 $Ft = \Delta p$, 厚书的动量发生变化, 就运动起来了; 当迅速拉动纸端时, 由于作用时间短, 冲量 (ft) 很小, 不足以使厚书动起来.

3. 物体在运动的过程中只受重力的作用, 因此由动量定理, 重力的冲量大小就等于动量变化的大小.

$$\Delta p = mgt$$

根据自由落体公式

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

$$t = \sqrt{\frac{20 \times 2}{10}} \text{ s} = 2 \text{ s}$$

$$\text{则 } \Delta p = 5 \times 10 \times 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 100 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Δp 的方向与 mg 方向一致, 竖直向下, 可以做出 p' 、 p 与 Δp 三矢量的关系图 (如图1-1).

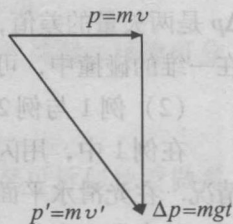


图1-1

4. 取竖直向下的方向为正方向, 以锤为研究对象, 分析其受力与动量的变化. 由题给出的条件得

$$\text{碰前 } p = 10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}; \text{ 碰后 } p' = -5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

锤子在碰撞过程中受到的合外力是: 重力与铁砧给它的作用力. 由动量定理

$$(mg + \bar{F})t = p' - p$$

$$\bar{F} = \frac{-5 - 10}{0.02} \text{ N} - 10 \text{ N} = -750 \text{ N} - 10 \text{ N} = -760 \text{ N}$$

负号表示锤子受到铁砧的作用力的方向向上, 与设定正方向相反. 显然铁砧受到锤子的作用力, 由牛顿第三定律可知其应是方向向下, 大小为 760 N. 从题中计算可知, 重力仅是平均作用力的 1/75, 通常可以略去, 直接用公式 $\bar{F}t = \Delta p$.

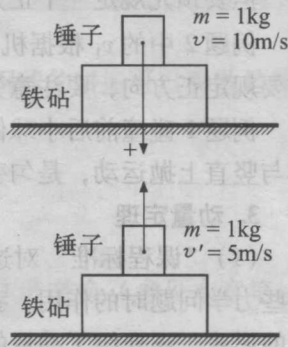


图1-2

参考例题

【例题1】如图1-3所示, 高度 $h = 1 \text{ m}$, 质量 $m = 0.1 \text{ kg}$ 的小钢球自由下落, 与钢板碰撞后弹起, 上升高度 $h' = 0.8 \text{ m}$. 若碰撞时间 $t = 0.02 \text{ s}$, 试求

(1) 合力对小球的冲量 I 为多少?

(2) 小球对钢板的平均冲力 F 为多少? (g 取 10 m/s^2)

【解】小球运动过程分为三个阶段: 自由下落; 碰撞; 上抛.

小球下落刚接触钢板的速度 $v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 1} \text{ m/s} = 4.5 \text{ m/s}$, 小球上抛的初速度



$$v_2 = \sqrt{2gh'} = \sqrt{2 \times 10 \times 0.8} \text{ m/s} = 4 \text{ m/s}$$

(1) 合力对小球的冲量 $I = m(v_2 - v_1)$, 设向上为正方向, 则有 $I = 0.1(4 + 4.5) \text{ N} \cdot \text{s} = 0.85 \text{ N} \cdot \text{s}$.

(2) 设钢板对小球的平均冲力 N , 其受力如图 1-3.

$$I = (N - mg)t = m(v_2 - v_1); N = \frac{m\Delta v}{0.02} + mg = \frac{0.85}{0.02} + 0.1 \times 10 = 43.5 \text{ N}.$$

N 为钢板对小球的作用力, 根据牛顿第三定律, 钢板所受平均冲力

$$F = N = 43.5 \text{ N}, \text{ 方向向下 (如图 1-3 示).}$$

【例题 2】如在上题的钢板表面铺一层泡沫塑料, 使碰撞时间延长为 0.5 s, 其他条件不变, 试求钢板与泡沫所受平均冲击力 F 为多大?

$$\text{【解】 上式 } F = N = \frac{m\Delta v}{0.5} + mg = \left(\frac{0.85}{0.5} + 0.1 \times 10\right) \text{ N} = 2.7 \text{ N}$$

其冲击力由于碰撞时间的增长而减小, 所以, 在地面上若铺上一张厚泡沫塑料. 从数米高处落下的鸡蛋也不会破碎, 就是这个道理.

【例题 3】高压采煤水枪出口水的截面积为 S , 水的射速为 v , 射到煤层上后, 水速为零. 若水的密度为 ρ , 求水对煤层的冲力.

【分析】从水枪中射出的水是连续的, 为了能使连续的水像固体那样便于分析, 我们取一小段时间的水进行研究. 射向煤层的水, 对煤层有冲击作用, 则煤层对一定量的水 (水作为研究对象) 也会产生力的作用. 此力即为冲力, 可由动量定理来求出. 再由牛顿第三定律就可求得水对煤层的作用力.

【解】设在 Δt 时间内, 从水枪射出的水质量为 Δm , 则

$$\Delta m = \rho S \cdot v \cdot \Delta t$$

以 Δm 为研究对象, 它在 Δt 时间内动量变化为

$$\Delta p = \Delta m(0 - v) = -\rho S v^2 \Delta t$$

设 F_N 为水对煤层的冲力, F'_N 为煤层对水的反冲力, 以 F'_N 的方向为正方向, 根据动量定理 (忽略水的重力) 有

$$F'_N \Delta t = \Delta p = -\rho v^2 S \Delta t$$

解得

$$F'_N = -\rho v^2 S$$

根据牛顿第三定律 $F_N = -F'_N$. 所以, 水对煤层的冲力为

$$F_N = \rho v^2 S$$

注意, 在遇到连续的流体运动的问题时, 一定要假设一段时间, 然后把这一段时间内流过的质量作为研究对象, 再应用动量定理求解.

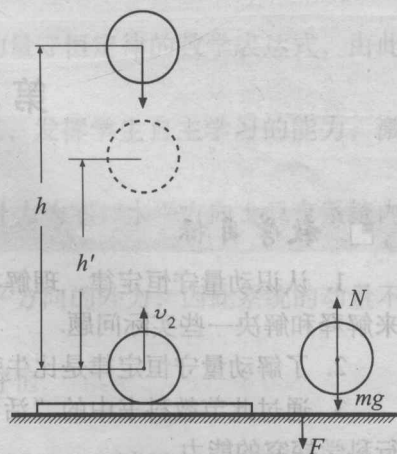


图 1-3



第3节 动量守恒定律

□ 教学目标

1. 认识动量守恒定律，理解在一维碰撞中动量守恒定律的表达式，并能用这个表达式来解释和解决一些实际问题。
2. 了解动量守恒定律是比牛顿运动定律适用范围更广的普遍成立的一个定律。
3. 通过此节教科书中的“活动”和“理性探究”，从实验和推理两个方面培养学生进行科学探究的能力。

□ 过程指导

1. 系统的动量

- (1) 先让学生知道关于系统的概念。
- (2) 要让学生知道什么是系统的动量，以及系统动量的计算方法。进一步让学生注意动量是矢量，系统的动量是指系统内部各物体动量的矢量和。
- (3) 探寻各个变化量中的不变量，是科学研究的重要方法。在各个科学领域中都非常重视这种方法。要让学生通过“碰撞”例子的研究，初步知道、认识这种方法，培养自己的科学探究能力。
- (4) 此节中的“活动”，是用第1节“碰撞”的实验数据，计算各碰撞物的动量、系统的动量及动量的改变量。并从此表中归纳得出无论何种形式的碰撞，系统动量都守恒这一重要物理规律。

(5) 活动中的全部内容要求每一个学生独立完成。完成后教师可从系统动量的改变量 $\Delta p = 0$ ，引导学生展开讨论，并由此引入动量守恒定律。

2. 动量守恒定律

(1) 通过上面的讨论，要让学生认识到在第1节的实验中，“无论是何种形式的碰撞，在碰撞前后系统的动量是不变的”。

(2) 要着重分析系统动量不变的条件。教科书从对一个具体例子的分析，指出系统所受的合力为零是系统动量守恒的条件。

这个例子可以推广到一般情况。对于这个推广教科书作了一个说明——“理论探究和全部已知的客观事实都已证明：系统所受的合外力为零，是系统碰撞前后动量不变的条件。”由此得到一个普遍适用的结论。

(3) 把有限个实验得出的“规律”推广到普遍的情况，要作两点说明。

① 无论怎样，也不可能把与这个结论相关的所有实验都做完。因此这种从“个别”推广到“一般”的方法是科学研究中常用的方法。

② 只要有一个实验否定这个规律，那么，这个规律就不能成立，就不能推广到普遍的



情况. 一种连续对称性碰撞有一个守恒量与之相对应, 提出了迪朗名字定理

(4) 要让学生掌握式(1-5), 知道它是一维情况的动量守恒定律的数学表达式, 由此可以解决中学阶段的动量守恒问题.

(5) 引导学生对“讨论交流”栏目进行认真讨论交流, 发挥学生自主学习的能力, 激发学生讨论交流的热情, 所得结论是:

①在水平方向上的完全非弹性碰撞. 竖直方向上的合外力为零, 水平方向上只有系统内部的相互作用力, 因此碰撞过程中动量守恒.

②因为墙壁对系统总有力的作用. 这是系统受到的水平方向的外力, 因此系统的动量不守恒.

③系统由两小车与磁铁构成, 合外力为零, 系统动量守恒.

3. 动量守恒定律的普通意义

(1) 通过理性探究, 让学生认识到动量守恒定律比牛顿运动定律适用范围更广, 是自然界中最普遍、最基本的定律之一.

(2) 在图1-3-2中, 以向右为“+”方向, 建立坐标. 先以球1为研究对象, 并按碰撞中小球的实际运动方向规定动量符号. 碰前的动量为 m_1v_1 , 碰后的动量为 $(-m_1v_1')$.

由动量定理

$$(-m_1v_1') - m_1v_1 = (-\bar{F}_{21})\Delta t \quad (1)$$

同理

$$m_2v_2' - (-m_2v_2) = \bar{F}_{12}\Delta t \quad (2)$$

由牛顿第三定律

$$\bar{F}_{12} = -\bar{F}_{21} \quad (3)$$

故有

$$m_1v_1' + m_1v_1 = m_2v_2' + m_2v_2$$

参考例题

【例题1】如图1-4, 车厢长度为 l , 质量为 M , 静止于光滑的水平面上, 车厢内有一质量为 m 的物体以速度 v_0 向右运动, 与车厢壁来回碰撞 n 次后, 静止于车厢内, 则此时车厢的速度为多少?

【分析】无论中间 M 与 m 的碰撞过程多么复杂, 只要系统所受的合外力为零, 系统的动量就守恒.

【解】题中“静止于车厢中”指相对静止, 设此时车厢速度为 v , 则 m 速度亦为 v , 取向右为“+”方向, 得

$$mv_0 + 0 = (M + m)v$$

$$v = \frac{m}{M + m}v_0, \text{ 方向向右.}$$

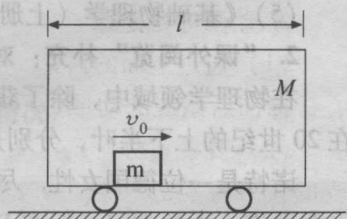


图1-4



问题解答

练习与评价

- 建立向右为“+”方向的坐标，原系统动量为零，由动量守恒可得方程

$$0.5 \times 0.8 + 0.2v_2' = 0$$

$$v_2' = -\frac{0.5 \times 0.8}{0.2} \text{ m/s} = -2 \text{ m/s}$$
，小车以 2 m/s 向左运动。
- (是完全非弹性碰撞) 设共同速度为 v' ，则

$$600 \times 15 + 400 \times 10 = (600 + 400)v'$$

$$v' = \frac{600 \times 15 + 400 \times 10}{1000} \text{ cm/s} = 13 \text{ cm/s}$$
- 从小木块到达平板车上开始，到木块与车获得共同速度为止，这个过程是我们要考察的碰撞过程。在这个过程中系统的合外力为零。因为木块与平车之间的摩擦力是系统的内力，动量守恒定律依然成立。
- (1) $p_{\text{总}} = p_1 + p_2 = 2 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} + 4 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = 18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。
 (2) $p_{\text{总}} = 2 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} + 4 \text{ kg} \times (-2) \text{ m/s} = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。
 (3) 能。根据动量守恒定律。
 (4) $2 \times 6 + 4 \times (-3) = 0$ 。碰撞后两球动量大小相等，方向相反，因为总动量为零。

发展空间

1. 关于这方面的材料很多，老师们若有兴趣还可阅读下列资料。

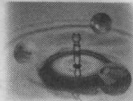
- (1) 《力学》漆安慎、杜婵英，高等教育出版社，第五章第4节。
- (2) 《守恒定律和空间、时间对称性》，《物理通报》1984第1期。
- (3) 《文科物理十五讲》吴宗汉编著，北京大学出版社，2005年4月，第3讲第6节。
- (4) 《大学基础物理（上册）》张三慧编著，清华大学出版社，2003年11月，132-139。
- (5) 《基础物理学（上册）》蔡怀新等，高等教育出版社，2003年7月，150。

2. “课外阅读”补充：对称王国的两位贵妇人

在物理学领域中，除了获得诺贝尔奖的居里夫人外，还有两位杰出的女性，她们分别处在 20 世纪的上半叶，分别是西方人和东方人。

诺特是一位德国女性。尽管法国在 1861 年，英国在 1878 年，意大利在 1885 年开始允许女性进入大学学习，但在 19—20 世纪交接的时代，一个德国女性要想进入学术界还有极大的障碍。诺特读完了大学，并取得了博士学位，但仍然不能找到一个学术职位。伟大的数学家希尔伯特很赏识诺特的才华，试图为她在格丁根大学争取到无偿讲课的权利。但是，依照 1908 年德国通过的一条规定，只有男士在格丁根大学有开课权，希尔伯特的努力没有成功。

1918 年，德国在“一战”中的战败给社会带来了变化，女性的法律地位得到了提高。在这段时间里，诺特一直在研究那些在对称变换下保持不变的作用量，她天才地发现，作用



量的每一种连续对称性都将有一个守恒量与之相对应,提出了她闻名于世的定理。

一个对称与守恒之间的这种联系不仅是深刻的,而且也是极有用的。实验上每观测到一个守恒量,这就告诉我们自然界含有一个与此相对应的连续对称性。在18世纪后半叶,人们已经知道电荷守恒。在诺特定理发现后,物理学家们又重新考察电磁理论,并寻找与电荷守恒相应的对称性。在寻找的过程中,发现了被称作“规范对称性”的连续对称性。诺特定理使得物理学取得了更多的成功。物理学家爱因斯坦称她是“自妇女开始受到高等教育以来有过的最杰出的、富有创造性的天才。”

1935年,诺特不幸去世了。在诺特去世前一年,1912年出生于江苏浏河的吴健雄在南京的中央大学毕业了。1936年,她获得赴美深造的机会。

1956年6月,李政道和杨振宁提出弱相互作用过程宇称不守恒的思想,这要由实验来证实。吴健雄接受了李政道和杨振宁的请求,并立即开始工作。

在她的实验中,钴-60原子核的自旋方向和它的 β 衰变的电子出射方向形成左手螺旋,而不形成右手螺旋,这表明自然界只出现了左手,左右对称破坏了。她的实验结果证实了弱相互作用中的宇称不守恒,这在整个物理界产生了极为深远的影响。

当代物理学发展中的其他一些重要问题或争论,通过吴健雄的工作也得到了解决和证明或一定程度上的澄清。她以其为数众多的贡献获得了崇高的荣誉。1958年普林斯顿大学授予她名誉科学博士称号。这是该大学首次把这个荣誉学位授予一位女性。她还获得了其他15所大学的名誉学位。美国总统授予她1975年国家科学勋章。

第4节 动量守恒定律的应用

□ 教学目标

1. 让学生初步掌握应用动量守恒定律分析和解决一些具体问题的方法,培养学生应用物理规律解决问题的能力。
2. 学会一维碰撞问题的定量分析方法。
3. 了解中子发现的历史背景及其与动量守恒定律的关系。
4. 初步了解反冲现象所遵守的力学规律及火箭发射的大致情况。

□ 过程指导

1. 几个碰撞问题的定量分析

(1) 例题1是一维碰撞中的典型问题:已知碰前的 v_1 、 v_2 ,求碰后的 v_1' 与 v_2' 。因为是完全弹性碰撞,所以可列出机械能(动能)守恒与动量守恒两个方程,由两个方程求解两个未知数。方程有确定解。

求得解(6)后,分别对 $m_1 > m_2$ 、 $m_1 < m_2$ 、 $m_1 = m_2$,以及 $m_1 \gg m_2$ 四种情况分析讨论,也是这一例题中的重要部分。



(2) 例题 2 是日常生活中能见到的一个完全非弹性碰撞的典型例子, 可让学生自己去完成. 从而更好地掌握完全非弹性碰撞问题的解法: 由一个方程 (动量守恒定律), 求一个未知量 (碰后的共同速度).

(3) 这一例题分为两部分, 前一部分介绍了发现中子的简明历史, 后一部分对中子的发现进行了定量分析. 定量分析中要注意利用动量守恒定律和能量守恒定律是求中性粒子的质量 m , 而不是速度, 这是与其他碰撞问题不同之处.

2. 火箭的发射与反冲现象

可让学生先阅读再相互讨论. 主要知道以下三点:

(1) 反冲现象遵循动量守恒定律.

(2) 火箭的最大速度取决于两个条件: 喷气速度与质量比.

(3) 多级火箭发射的大致情形.

□ 参考例题

如图 1-5 所示, 在光滑的水平面上有两个并排放置的木块 A、B, 已知 A、B 质量分别为 $m_A=0.5 \text{ kg}$, $m_B=0.3 \text{ kg}$, 现有质量 $m_0=0.08 \text{ kg}$ 的小物块 C 以速度 $v_0=25 \text{ m/s}$ 沿 A 表面水平向右滑动, 由于 C 与 A、B 间均有摩擦, C 最终停在 B 上, B、C 最后的共同速度大小 $v=2.5 \text{ m/s}$, 求:

(1) A 木块最终速度的大小;

(2) C 物块滑离 A 木块时的速度大小.

分析: 在解题中, 要正确分析物理过程: 当 C 刚滑离 A 时, A、B 应有共同的速度. 当这一瞬间过后, A 将做匀速运动, B 仍加速, 从而 A、B 脱离, 当 B、C 相对静止后, B、C 整体也将维持匀速直线运动.

解: 当 C 刚滑动离开 A 时, A、B 有共同的速度, 也是 A 的最终速度, 设为 v_1 , 设此时 C 的速度为 v_2 , 则对 A、B、C 构成的系统, 由动量守恒定律, 对 C 刚滑动到离开 A 时, 应有

$$m_0 v_0 = m_0 v_2 + (m_A + m_B) v_1 \quad (1)$$

最终 C 静止在 B 上, 与 B 有共同速度 v 后, 有

$$m_0 v_0 = m_A v_1 + (m_0 + m_B) v \quad (2)$$

联立 (1) (2), 可得

$$v_1 = 2.1 \text{ m/s}, \quad v_2 = 4 \text{ m/s}.$$

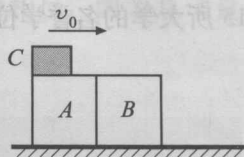


图 1-5

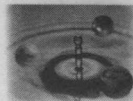
□ 问题解答

练习与评价

1. 略.

2. 手榴弹在最高点爆炸时, 炸后在水平方向动量守恒, 设手榴弹前进方向为正方向, 则

$$mv = m_A v_A' + m_B v_B'$$



9. 先从图中未确定 $1 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} = 0.6 \text{ kg} \times 15 \text{ m/s} + 0.4 \text{ kg} \cdot v_B'$ 用动量守恒定律
对于A球, $t=0$ 时, $x_A = 10 \text{ m}$, $0 \cdot v_B' = -10 \text{ m/s}$

另一块弹片爆炸后速度大小为 10 m/s , 方向与手榴弹原飞行方向相反.

3. 设炮弹前进方向为正方向, 炮身的后退速度为 v . 未开炮前, 系统的动量为 0 , 由动量守恒

$$10 \text{ kg} \times 600 \text{ m/s} + 2.0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot v = 0$$

$$\text{所以 } v = -\frac{6000}{2000} \text{ N} = -3 \text{ m/s}$$

$$F_{\text{阻}} = 2 \times 10^3 \times 10 \times 30\% \text{ N} = 6000 \text{ N}$$

因为 $v_t^2 - v_0^2 = 2ax$, $a = F_{\text{阻}}/m_{\text{炮}} = 3 \text{ m/s}^2$

可求得炮身后退的距离为

$$x = \frac{0 - (-3)^2}{2 \times 3} \text{ m} = -1.5 \text{ m}$$

4. 设A球的质量为 m_A , B球的质量为 m_B , 由动量守恒定律

$$m_A v_0 = (-m_A v_0/2) + m_B v_0/3$$

可得

$$m_A/m_B = 2/9$$

章末习题解答

1. 绳子剪断后, 虽然A、B沿两相反方向运动, 但系统的动量仍然守恒.

$$m_A v_A + (-m_B v_B) = 0, \text{ 即 } 2m_B v_A + (-m_B v_B) = 0.$$

得 $2v_A = v_B$, A的速率是B的 $\frac{1}{2}$.

所以二者动量大小相等, 而A的速率是B的一半, 总动量仍然等于零. 选(AD).

2. M与m构成的系统, 水平方向无外力作用, 竖直方向合外力不为零. 因此系统水平方向动量守恒, 选(C).

3. 因为在水平方向系统无外力的作用, 因此系统水平方向的动量总是守恒的. 当人在投篮的过程中, 动量保持守恒, 由于球有向左的动量(相当于反冲), 因此车与人会具有向右的动量.

而当向左运动的球碰撞篮框、篮板等物时, 会得一个冲量, 使运动球的动量方向发生改变, 同时这个球也会给篮框、篮板等物一个相反的冲量, 而使小车的动量发生变化, 因此在投篮的过程中, 小车要左右运动, 但当投完球后, 小车将静止不动. 选(D).

4. 系统任何时候的动量都是守恒的. 小车向左运动, 则二人运动的合动量应当向右, 即有 $m_A v_A > m_B v_B$. 由于A能成立, C也可以成立. 所以选(AC).



5. 如图 1-6, 运用动量定理

$$Ft - \mu mgt' = 0 - 0$$

可解得总时间 $t' = \frac{Ft}{\mu mg}$.

6. 由图 1-7 可见, 经半个圆周, 向心力的冲量 $I_1 = mv - (-mv) = 2mv$; 经一个圆周, 向心力的冲量

$$I_2 = mv - mv = 0.$$

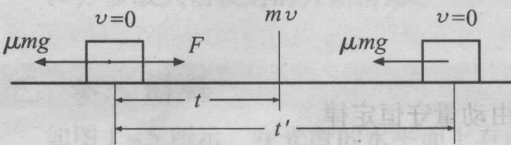


图 1-6

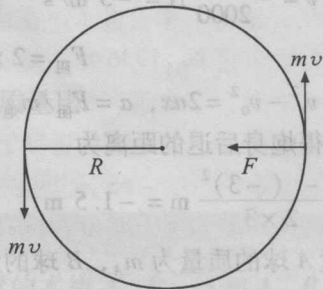


图 1-7

7. 分析如图 1-8, 先求出货包到达斜面底端时的速度. 由匀变速直线运动的公式 $v^2 = 2ax$, $a = g\sin\theta$, $x = 0.3 \text{ m}$, 得出 $v = \sqrt{3} \text{ m/s}$.

当货包滑入车里时, 可当作是完全非弹性碰撞, 水平方向上动量守恒.

$$mv\cos 30^\circ = (M+m)v'$$

可求得货包进入小车后的共同速度

$$v' = \frac{mv\cos 30^\circ}{m+M} = \frac{2 \times \sqrt{3} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{15} \text{ m/s} = 0.2 \text{ m/s}$$

小车与货包获得 0.2 m/s 的共同速度后, 由于摩擦力的作用, 会慢慢停下来. 小车的加速度为 $a = -\mu g$, 与小车运动方向相反, 由公式 $v_0^2 - v^2 = 2ax$, 可得

$$0^2 - (0.2)^2 = 2 \times (-\mu g) \cdot x$$

$$x = (0.2)^2 / (2 \times 10 \times 0.02) = 0.1 \text{ m}.$$

8. 以铁锤为研究对象, 以竖直向下为正方向建立坐标, 由动量定理可建立方程

$$(mg + \bar{F}) \Delta t = -mv_2 - mv_1$$

$$\bar{F} = -m(v_1 + v_2) / \Delta t - mg$$

铁锤对木桩的平均作用力 $\bar{F}' = -\bar{F}$, 为

$$\bar{F}' = m(v_1 + v_2) / \Delta t + mg$$

mg 与 $m(v_1 + v_2) / \Delta t$ 相比很小时, 常常可以略去.

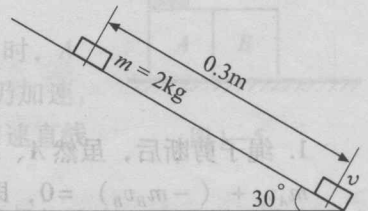
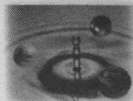


图 1-8



9. 先从图中来确定 AB 两球的运动情况.

对于 A 球, $t=0$ 时, $x_{1A}=10$ m, $t=2$ s 时, $x_{2A}=4$ m, 是向坐标原点运动.

运动的速度是 $v_A = (x_{2A} - x_{1A}) / 2 \text{ s} = (4 \text{ m} - 10 \text{ m}) / 2 \text{ s} = -3 \text{ m/s}$.

对于 B 球, $t=0$ 时, $x_{1B}=0$, $t=2$ s 时, $x_{2B}=4$ m, 是背向坐标原点运动.

运动的速度是 $v_B = (4 \text{ m} - 0) / 2 \text{ s} = 2 \text{ m/s}$.

碰后它们粘在一起, 获得共同的速度 v , $v = -(2 - 4) \text{ m} / (4 - 2) \text{ s} = -1 \text{ m/s}$.

再由动量守恒

$$m_A v_A + m_B v_B = (m_A + m_B) v$$

$$1 \text{ kg} \times (-3 \text{ m/s}) + m_B \times 2 \text{ m/s} = (1 \text{ kg} + m_B) \times (-1 \text{ m/s})$$

$$m_B = \frac{2}{3} \text{ kg}.$$

10. 由动量守恒

$$mv_0 = (M + m) v \quad (1)$$

当子弹射入木块的瞬间, 摩擦力的冲量可以略去, 上述方程成立.

子弹射入木块后, 获得共同速度 v , 继续运动距离 x 停下. 在此过程中, 系统的加速度为 $a = -\mu g$, 方向与木块运动方向相反, 由 $v^2 - v_0^2 = 2ax$ 可得

$$0 - v^2 = 2(-\mu g)x$$

代入 (1)

$$\frac{(mv_0)^2}{(m+M)^2} = 2\mu gx, \text{ 得出 } v_0 = \frac{m+M}{m} \sqrt{2\mu gx}$$

11. 设沙袋的最后速度为 v , 由水平方向的动量守恒, 则

$$20 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 200 \text{ m/s} \times 5 = (20 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 5 + 4.9 \text{ kg}) v$$

$$v = 4 \text{ m/s}.$$

12. 以车内的人为研究对象,

人的初速度为 $v_0 = (108 \times 10^3) \text{ m} / 3600 \text{ s} = 30 \text{ m/s}$, 末速度 $v_t = 0$

设碰撞的时间为 Δt , 车行距离 $x = 0.3 \text{ m}$, 由公式 $x = \bar{v} t$, 可得

$$x = \frac{v_0 + v_t}{2} \Delta t, \Delta t = 2x / v_0 = (2 \times 0.3 / 30) \text{ s} = 0.02 \text{ s}$$

由动量定理

$$\bar{F} \Delta t = \Delta(mv), \bar{F} = \frac{0 - 70 \times 30}{0.02} \text{ N} = -105\,000 \text{ N}$$

负号表示人受到的平均作用力方向与车子运动的方向相反.

这个作用力很大, 一般是车上设置在乘客前方的设备给予乘客的撞击力.

13. (1) 喷出气体运动的方向与火箭运动的方向相反, 系统的动量可认为是守恒的, 设火箭前进方向为“+”方向, 第一次气体喷出后, 火箭的速度为 v_1 , 则

$$(M - m) v_1 - mv = 0 \quad (1)$$

$$v_1 = mv / (M - m)$$

第二次气体喷出后, 火箭速度为 v_2 , 则



5. 如图 1-6, 运用动量守恒定律 $(M-2m)v_2 - mv = (M-m)v_1$ 两式联立解得 $v_1 = 2mv / (M-2m)$ (2)

则可得

$$v_3 = 3mv / (M-3m) = \frac{3 \times 0.2 \times 1000}{300 - 3 \times 0.2} \text{ m/s} \approx 2 \text{ m/s}$$

以此类推, 可得第 n 次喷出气体后的速度为 v_n

$$(M-nm)v_n - mv = [M - (n-1)m]v_{n-1}$$

所以 $v_n = nmv / (M-nm)$

因为每秒喷射 20 次, 所以第 1s 末火箭的速度为

$$v_{20} = 20mv / (M-20m) = \frac{20 \times 0.2 \times 1000}{300 - 20 \times 0.2} \text{ m/s} = 13.5 \text{ m/s}$$

另解:

设喷出三次气体后火箭的速度为 v_3 , 以火箭和喷出三次气体为研究对象, 有动量守恒

$$(M-3m)v_3 - 3mv = 0$$

所以 $v_3 = 3mv / (M-3m) = 2 \text{ m/s}$.

同理可得

$$(M-20m)v_{20} - 20mv = 0$$

$$v_{20} = 20mv / (M-20m) = 13.5 \text{ m/s}.$$