

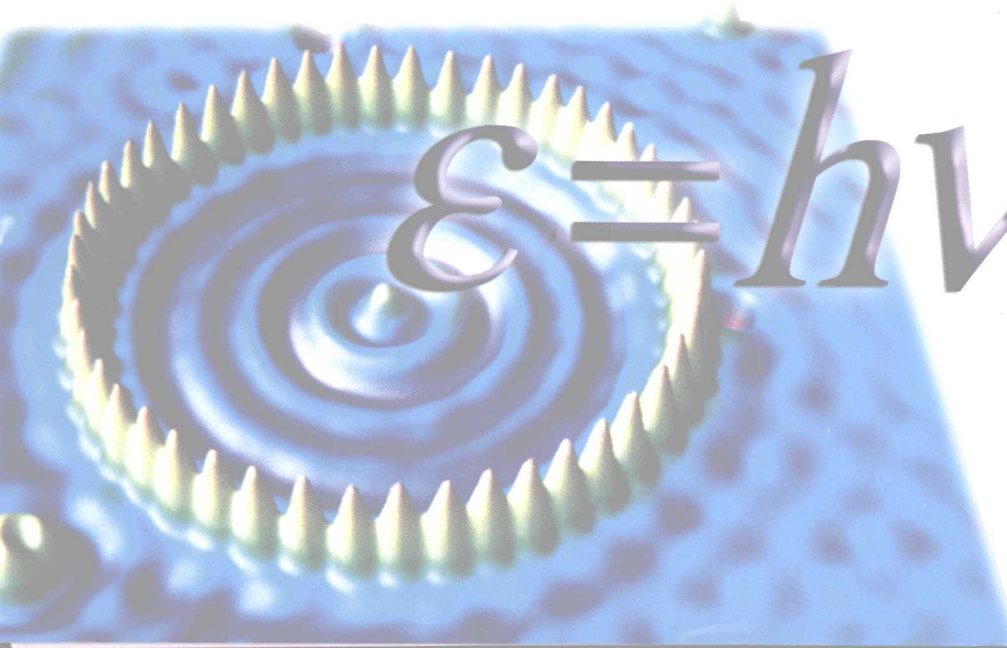
经全国中小学教材审定委员会  
2005 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

# 物理

选修 3-5

人民教育出版社 课程教材研究所 编著  
物理课程教材研究开发中心


$$E=hf$$



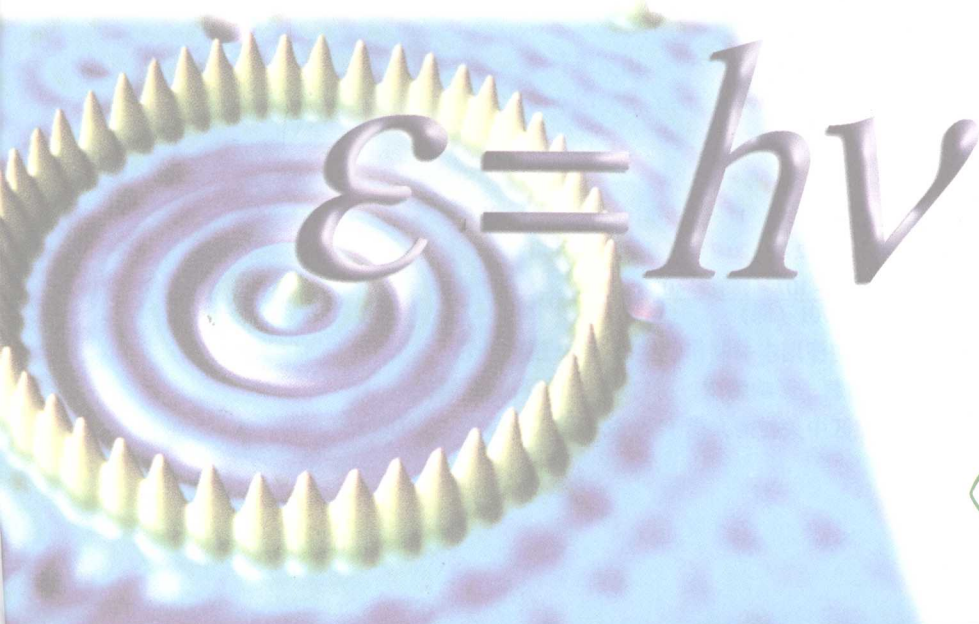
人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书

# 物理

选修 3-5

人民教育出版社 课程教材研究所 编著  
物理课程教材研究开发中心



 人民教育出版社

总主编: 张大昌  
副总主编: 彭前程  
主 编: 张维善  
执笔人员: 苗元秀 孙 新 唐果南 张维善  
绘 图: 王凌波 张 良  
责任编辑: 苗元秀  
版式设计: 马迎莺  
审 读: 王存志

普通高中课程标准实验教科书

物 理

选修 3-5

人民教育出版社 课程教材研究所 编著  
物理课程教材研究开发中心

\*

人民教育出版社 出版发行

网址: <http://www.pep.com.cn>

北京印刷一厂印装 全国新华书店经销

\*

开本: 890 毫米×1 240 毫米 1/16 印张: 6.5 字数: 135 000

2007 年 3 月第 2 版 2007 年 7 月第 12 次印刷

ISBN 978-7-107-18611-0 定价: 7.65 元  
G·11701 (课)

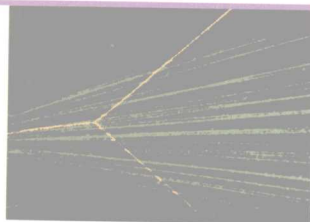
著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与本社出版科联系调换。

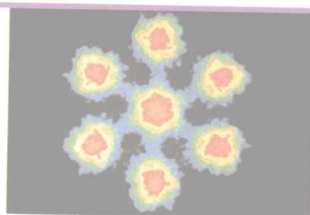
(联系地址: 北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼 邮编: 100081)

# 目 录

|                 |    |
|-----------------|----|
| 第十六章 动量守恒定律     | 1  |
| 1 实验：探究碰撞中的不变量  | 2  |
| 2 动量守恒定律（一）     | 6  |
| 3 动量守恒定律（二）     | 10 |
| 4 碰撞            | 13 |
| 5 反冲运动 火箭       | 18 |
| 6 用动量概念表示牛顿第二定律 | 21 |



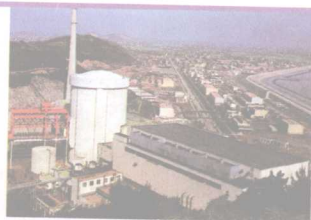
|                 |    |
|-----------------|----|
| 第十七章 波粒二象性      | 26 |
| 1 能量量子化：物理学的新纪元 | 27 |
| 2 科学的转折：光的粒子性   | 30 |
| 3 崭新的一页：粒子的波动性  | 37 |
| 4 概率波           | 40 |
| 5 不确定性关系        | 42 |



|             |    |
|-------------|----|
| 第十八章 原子结构   | 46 |
| 1 电子的发现     | 47 |
| 2 原子的核式结构模型 | 51 |
| 3 氢原子光谱     | 54 |
| 4 玻尔的原子模型   | 57 |



|             |    |
|-------------|----|
| 第十九章 原子核    | 64 |
| 1 原子核的组成    | 65 |
| 2 放射性元素的衰变  | 70 |
| 3 探测射线的方法   | 73 |
| 4 放射性的应用与防护 | 76 |
| 5 核力与结合能    | 79 |
| 6 重核的裂变     | 83 |
| 7 核聚变       | 88 |
| 8 粒子和宇宙     | 91 |



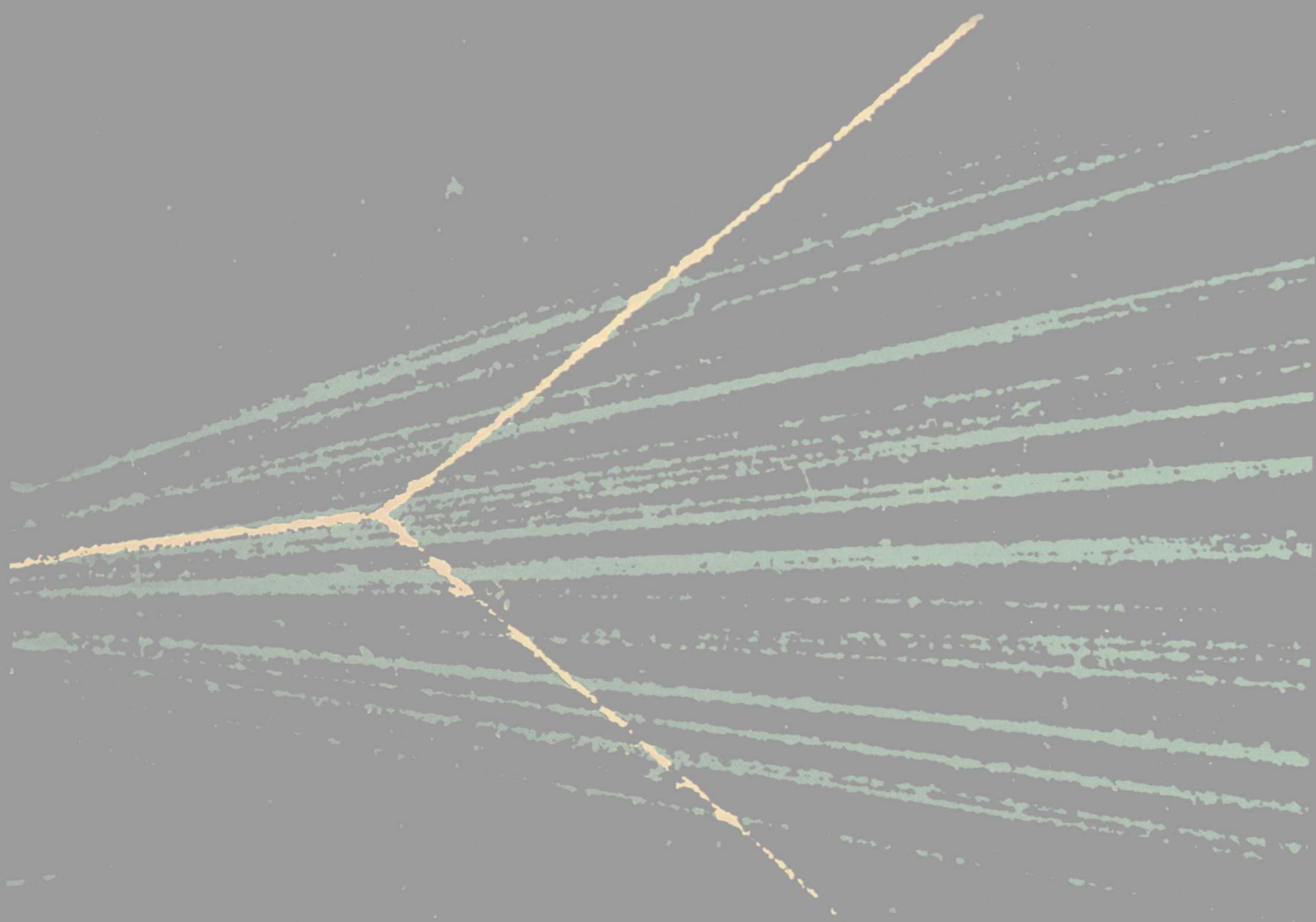
|                 |    |
|-----------------|----|
| 课题研究 研究建筑石材的放射性 | 95 |
|-----------------|----|

想像远比知识重要，知识有涯，而想像能  
环抱整个世界。

——爱因斯坦

## 第十六章

## 动量守恒定律



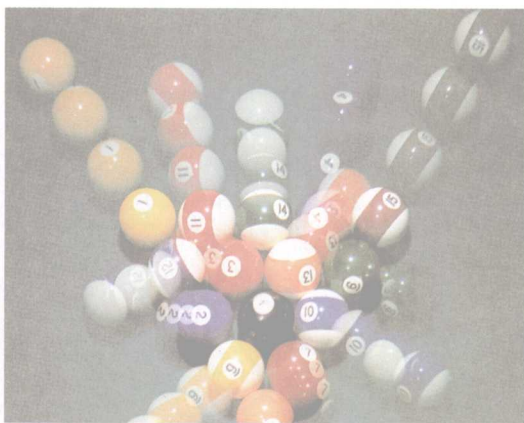
一个微观粒子分裂前后的径迹

台球的碰撞、火箭的起飞、微观粒子的散射，这些运动似乎有天壤之别。然而，物理学的研究表明，它们遵从相同的科学规律——动量守恒定律。动量守恒定律是自然界中最普遍的规律之一，无论是设计火箭还是研究微观粒子，都离不开它。

## 1

## 实验：探究碰撞中的不变量

碰撞是自然界中常见的现象。两节火车车厢之间的挂钩靠碰撞连接，台球由于碰撞而改变运动状态，微观粒子之间更是由于相互碰撞而改变能量甚至使得一种粒子转化为其他粒子。



台球碰撞的频闪照片

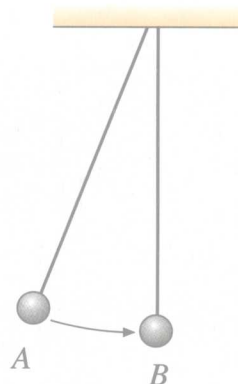


图 16.1-1 观察两球的碰撞

## 演示

如图16.1-1，A、B是两个悬挂起来的钢球，质量相等。使B球静止，拉起A球，放开后A与B碰撞，观察碰撞前后两球运动的变化。

换成质量相差较多的两个小球，重做以上实验。

两个物体碰撞前后的速度都会发生变化，物体的质量不同时速度变化的情况也不一样。那么，碰撞前后会不会有什么物理量保持不变？

下面通过实验研究这个问题。

物理学家始终在寻求自然界万物运动的规律。其中包括在多变的世界里找出某些不变性。在《必修2》的第七章中我们曾经经历过这样的探究过程。

**实验的基本思路** 我们只研究最简单的情况——两个物体碰撞前沿同一直线运动，碰撞后仍沿这条直线运动。这种碰撞叫做一维碰撞。

与物体运动有关的物理量可能有哪些呢？在一维碰撞的情况下只有物体的质量和速度。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 $v_1'$ 、 $v_2'$ ，如果速度与我们设定的方向一致，取正值，否则取负值。

现在的问题是，碰撞前后哪个物理量可能是不变的？质量是不变的，但质量并不描述物体的运动状态，不是我们追寻的“不变量”。速度在碰撞前后是变化的，但一个物体的质量与

它的速度的乘积是不是不变量？如果不是，那么，两个物体各自的质量与自己的速度的乘积之和是不是不变量？也就是说，关系式

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

是否成立？

或者，各自的质量与自己的速度的二次方的乘积之和是不变量？也就是说，关系式

$$m_1v_1^2 + m_2v_2^2 = m_1v_1'^2 + m_2v_2'^2$$

是否成立？

也许，两个物体的速度与自己质量的比值之和在碰撞前后保持不变？也就是说，关系式

$$\frac{v_1}{m_1} + \frac{v_2}{m_2} = \frac{v_1'}{m_1} + \frac{v_2'}{m_2}$$

是否成立？

也许……

碰撞可能有很多情形。例如两个物体可能碰后分开，也可能粘在一起不再分开……我们寻找的不变量必须在各种碰撞的情况下都不改变，这样才符合要求。

**需要考虑的问题** 实验中首要的问题是如何保证碰撞是一维的，即如何保证两个物体在碰撞之前沿同一直线运动，碰撞之后还沿这条直线运动。此外，还要考虑怎样测量物体的质量、怎样测量两个物体在碰撞前后的速度。

质量可以用天平测量，所以，本实验要解决的主要问题是怎样保证物体沿同一直线运动和怎样测量物体的速度。

关于实验数据的处理，下面的表格可供参考。填表时应注意思考：如果小球碰撞后运动的速度与原来的方向相反，应该怎样记录？

|               | 碰撞前                                 |       | 碰撞后                                   |        |
|---------------|-------------------------------------|-------|---------------------------------------|--------|
| 质量            | $m_1$                               | $m_2$ | $m_1$                                 | $m_2$  |
| 速度            | $v_1$                               | $v_2$ | $v_1'$                                | $v_2'$ |
| $mv$          | $m_1v_1 + m_2v_2$                   |       | $m_1v_1' + m_2v_2'$                   |        |
| $mv^2$        | $m_1v_1^2 + m_2v_2^2$               |       | $m_1v_1'^2 + m_2v_2'^2$               |        |
| $\frac{v}{m}$ | $\frac{v_1}{m_1} + \frac{v_2}{m_2}$ |       | $\frac{v_1'}{m_1} + \frac{v_2'}{m_2}$ |        |
| ...           | ...                                 |       | ...                                   |        |

如果左式成立，那就表示“ $m_1v_1 + m_2v_2$ ”是碰撞前后的不变量。

对于每一种碰撞的情况(例如两个物体碰后分开或粘在一起的两种情况),都要填写一个类似的表格,然后根据表中的数据寻找碰撞前后的不变量。举例来说,如果每个表格中 $\frac{v}{m}$ 那一行第二列和第三列的求和的值都相等,那么 $\frac{v_1}{m_1} + \frac{v_2}{m_2}$ 可能就是寻找的不变量。

### 参考案例一

《必修1》第一章介绍了气垫导轨和光电计时装置的工作原理。利用气垫导轨能够很容易地保证两个滑块的碰撞是一维的。与之配套的光电计时装置可以迅速测量两个滑块碰撞前后的速度。

实验装置如图16.1-2所示。不同的质量可以通过在滑块上加重物的办法实现。应用气垫导轨很容易控制滑块碰撞前的速度或使它在碰撞前静止。因此,这个方案是本实验的首选。

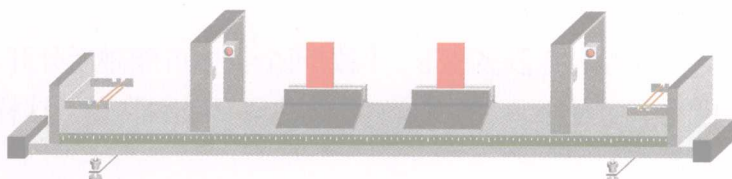


图 16.1-2 气垫导轨

还有两点值得注意。

1. 原来连在一起的两个物体,由于相互之间具有排斥的力而分开,这实际上也是一种碰撞。这种情况可以通过下面的方法实现。

用细线将弹簧片拉成弓形,放在两个滑块之间,并使它们静止。然后烧断细线,弹簧片弹开后落下,两个滑块随即向相反方向运动(图16.1-3甲)。

2. 碰撞时难免有能量损失。只有当某个物理量在能量损失较大和损失较小的碰撞中都不变,它才有可能就是我们寻找的不变量。

在两滑块相碰的端面装上弹性碰撞架(图16.1-3乙),可以得到能量损失很小的碰撞。在滑块的碰撞端贴胶布,可以增大碰撞时的能量损失。如果在两个滑块的碰撞端分别装上撞针和橡皮泥(图16.1-3丙),碰撞时撞针插入橡皮泥中,把两个滑块连接成一体运动,这样的碰撞中能量损失很大(有兴趣的同学不难通过实验证明这一点)。如果在两个滑块的碰撞端分别贴上尼龙拉扣,碰撞时它们也会连成一体。

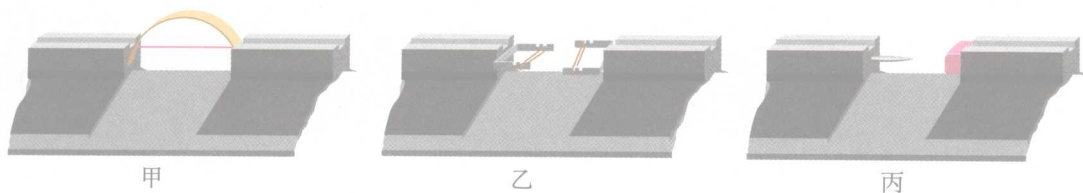


图 16.1-3 利用气垫导轨进行实验的几种情况

### 参考案例二

实验装置如图16.1-4所示。

把两个小球用线悬起来，一个小球静止，拉起另一个小球，放下时它们相碰。

可以测量小球被拉起的角度，从而算出落下时的速度；测量被撞小球摆起的角度，从而算出被撞后的速度。

也可以用贴胶布等方法增大两球碰撞时的能量损失。

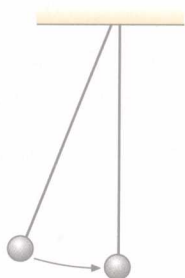


图 16.1-4 通过小球摆起的角度可以知道碰撞时的速度

### 参考案例三

将打点计时器固定在光滑桌面的一端，把纸带穿过打点计时器，连在小车A的后面。让小车A运动，小车B静止。在两小车的碰撞端分别装上撞针和橡皮泥（图16.1-5），碰撞时撞针插入橡皮泥中，把两个小车连接成一体。通过纸带测出它们碰撞前后的速度。

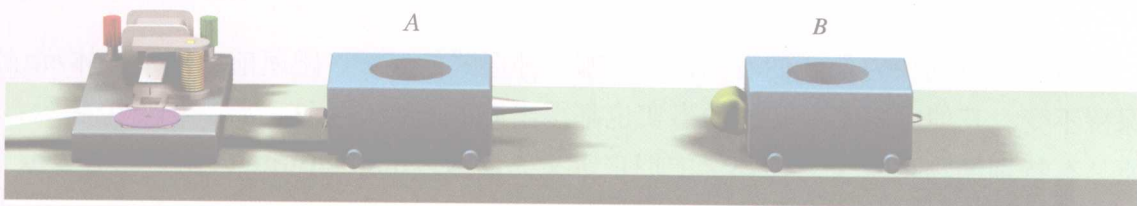


图 16.1-5 用小车研究碰撞

通过这个实验，你是否找到了碰撞前后的“不变量”？即使找到了，它也仍然带有猜想的性质，但你对自己的猜想会增加几分把握。只有根据实验结果推导出的许许多多新结论都与事实一致时，猜想才能成为一条定律。尽管如此，本节实验还是很有意义的，它让我们再一次体验了探究自然规律的过程。

### 问题与练习

- 光滑桌面上有1、2两个小球。1球的质量为0.3 kg，以8 m/s的速度跟质量为0.1 kg的静止的2球碰撞，碰撞后2球的速度变为9 m/s，1球的速度变为5 m/s，方向与原来相同。根据这些实验数据，晓明对这次碰撞的规律做了如下几项猜想。
  - 碰撞后2球获得了速度，是否是1球把速度传递给了2球？经计算，2球增加的速度是9 m/s，1球减小的速度是3 m/s，因此，这种猜想不成立。
  - 碰撞后2球获得了动能，是否是1球把动能传递给了2球？经计算，2球增加的动

能是 4.05 J, 1 球减小的动能是 5.85 J, 这种猜想也不成立。

(3) 请你根据实验数据猜想: 有一个什么物理量, 在这次碰撞中 2 球所增加的这个量与 1 球所减小的这个量相等? 通过计算说明。

2. 水平光滑桌面上有 A、B 两个小车, 质量都是 0.6 kg。A 车的车尾连着一个打点计时器的纸带, A 车以某一速度与静止的 B 车碰撞, 碰后两车连在一起共同向前运动。碰撞前后打点计时器打下的纸带如图 16.1-6 所示。根据这些数据, 请猜想: 把两个小车加在一起计算, 有一个什么物理量在碰撞前后可能是相等的?



图 16.1-6 碰撞前后纸带上打下的点迹

## 2

### 动量守恒定律(一)

**动量** 上节的探究使我们看到, 不论哪一种形式的碰撞, 碰撞前后两个物体  $mv$  的矢量和保持不变。其他实验和观察到的事实也都得出同样的结论。这就给我们一个启示:  $mv$  很可能具有特别的物理意义。物理学中把它定义为**动量 (momentum)**, 用字母  $p$  表示

$$p = mv$$

科学前辈就是在追寻不变量的努力中, 逐渐明确了动量的概念。

最先提出动量具有守恒性思想的是法国科学家笛卡儿 (R. Descartes, 1596—1650)。他继承了伽利略的说法, 把物体的大小 (质量) 与速率的乘积叫做动量, 并认为它是量度运动的惟一正确的物理量。然而, 笛卡儿忽略了动量的方向性。尽管如此, 他的工作还是给后来人的继续探索打下了很好的基础。

1668 年, 惠更斯发表了一篇题为《关于碰撞对物体运动的影响》的论文, 总结了他对碰撞问题的实验和理论研究。结论是: “每个物体所具有的‘动量’在碰撞时可以增多或减少, 但是它们的量值在同一个方向的总和却保持不变, 如果减去反方向运动的话。”他在这里明确指出了动量的方向性和守恒性, 可以认为是动量守恒关系的最初表述。

牛顿把笛卡儿的定义做了修改, 即不用质量与**速率**的乘积, 而明确地用质量与**速度**的乘积定义动量。这样就可以更清楚地表述动量的方向性及其守恒关系。

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**相同。

**例题 1** 一个质量是 0.1 kg 的钢球, 以 6 m/s 的速度水平向右运动, 碰到一个坚硬的障

碍物后被弹回，沿着同一直线以6 m/s的速度水平向左运动（图 16.2-1），碰撞前后钢球的动量各是多少？碰撞前后钢球的动量变化了多少？

**分析** 动量是矢量，虽然碰撞前后钢球速度的大小没有变化，都是6 m/s，但速度的方向变化了，所以动量的方向也发生了变化。也就是说，碰撞前后的动量并不相同。

为了求得钢球动量的变化量，先要确定碰撞前和碰撞后钢球的动量。碰撞前后钢球是在同一条直线上运动的。选定坐标轴的方向，例如，取水平向右的方向为坐标轴的方向。碰撞前钢球的运动方向与坐标轴的方向相同，动量为正值；碰撞后钢球的运动方向与坐标轴的方向相反，动量为负值。钢球动量的变化等于碰撞后的动量减去碰撞前的动量。

**解** 取水平向右的方向为坐标轴的方向。碰撞前钢球的速度  $v = 6 \text{ m/s}$ ，碰撞前钢球的动量为

$$p = mv = 0.1 \times 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

碰撞后钢球的速度  $v' = -6 \text{ m/s}$ ，碰撞后钢球动量为

$$p' = mv' = -0.1 \times 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -0.6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

碰撞前后钢球动量的变化为

$$\Delta p = p' - p = (-0.6 - 0.6) \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -1.2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

动量的变化  $\Delta p$  是矢量，求得的数值为负值，表示  $\Delta p$  的方向与坐标轴的方向相反，即  $\Delta p$  的方向水平向左。

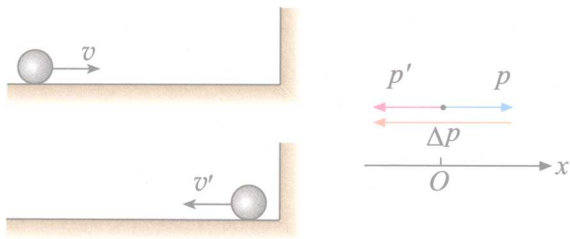


图 16.2-1 碰撞前后钢球的动量变化了多少？

如果物体的运动是直线运动，即动量矢量始终保持在同一条直线上，在选定一个正方向之后，动量的运算就可以简化成代数运算。

从这个例子可以看出，动量的单位由质量的单位与速度的单位构成，是千克米每秒，符号应该是  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。

**系统 内力和外力** 上节实验研究的是碰撞。与过去研究的大多数力学问题不同，碰撞的研究对象不是一个物体，而是两个（或多个）物体。我们说这两个（或多个）物体组成了一个力学系统（system）。实际上过去我们也曾涉及系统的问题。例如，重力势能属于地面附近的物体与地球组成的系统；轻质弹簧产生的弹性势能属于它所连接的两个物体。在碰撞问题中，研究炸弹的爆炸时，它的所有碎片及产生的燃气也要作为一个系统来处理。

碰撞时两个物体之间一定有相互作用力，由于这两个物体是属于同一系统的，它们之间的力叫做**内力（internal force）**。两个物体还会受到重力，如果放到桌面上，它们还会受到桌面的支持力、摩擦力。这些力是系统以外的物体施加的，叫做**外力（external force）**。

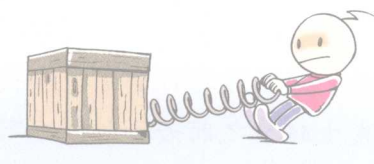


图 16.2-2 图中的弹性势能属于木箱和拉弹簧的人

**动量守恒定律** 经过几代物理学家的探索与争论，人们在18世纪形成了这样的共识：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 (law of conservation of momentum)。

为了正确认识动量守恒定律，需要注意以下几点。

### 1. 区分内力和外力

以在光滑水平桌面上发生碰撞的两个物体为例，它们之间一定有相互作用，这是内力；它们还要受到重力和桌面对它们的支持力，这是外力。水平桌面上的每个物体所受的重力与它所受的支持力都是大小相等、方向相反的，矢量和为零，因此系统所受的外力的矢量和为零。光滑水平桌面上两个物体碰撞的问题符合动量守恒定律的条件。

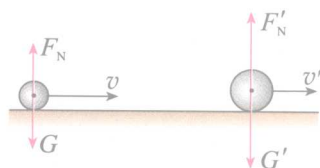


图 16.2-3 这两个物体碰撞时它们所受的外力的矢量和为零

### 2. 在总动量一定的情况下，每个物体的动量可以发生很大的变化

例如，静止的两辆小车用细线相连，中间有一个压缩了的弹簧（图 16.2-4）。烧断细线后，由于弹力的作用，两辆小车分别向左右运动，它们都获得了动量，但动量的矢量和仍然是零。



图 16.2-4 烧断细线后，尽管两辆小车都将获得动量，但它们动量的矢量和仍然为零。

**例题 2** 在列车编组站里，一辆  $m_1 = 1.8 \times 10^4 \text{ kg}$  的货车在平直轨道上以  $v_1 = 2 \text{ m/s}$  的速度运动，碰上一辆  $m_2 = 2.2 \times 10^4 \text{ kg}$  的静止的货车，它们碰撞后结合在一起继续运动。求货车碰撞后运动的速度。

**分析** 两辆货车在碰撞过程中发生相互作用，它们是一个系统，这个系统是我们的研究对象。系统所受的外力有：重力、地面支持力、地面摩擦力和空气阻力。重力与支持力之和等于零，摩擦力和空气阻力远小于碰撞过程中发生的内力，可以忽略。因此，可以认为碰撞过程中系统所受外力的矢量和为零，动量守恒。

为了应用动量守恒定律解决这个问题，需要确定碰撞前后的动量。碰撞前的动量是指即将发生碰撞那一时刻的动量，而不是指发生碰撞之前若干时间以前的动量；碰撞后的动量是指碰撞刚结束那一时刻的动量，而不是指碰撞结束若干时间之后的动量。

**解** 沿碰撞前货车运动的方向建立坐标轴（图 16.2-5），则有  $v_1 = 2 \text{ m/s}$ 。设两车结合后的速度为  $v$ 。两车碰撞前的总动量为

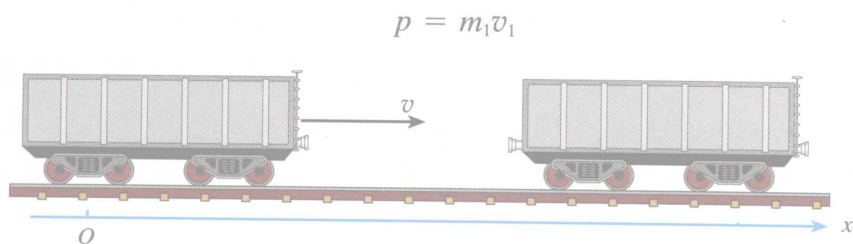


图 16.2-5 两车碰撞前的状态

分析物理现象不但要明确研究对象，而且要明确研究的是哪一段过程。也就是说，要明确哪个状态是我们研究的过程的初状态，哪个是过程的末状态。初状态是开始相互作用时的状态，末状态是相互作用结束时的状态。

碰撞后的总动量为

$$p' = (m_1 + m_2) v$$

由动量守恒定律  $p' = p$  可得

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v$$

所以

$$v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

代入数值, 得

$$v = 0.9 \text{ m/s}$$

两车结合后速度的大小是  $0.9 \text{ m/s}$ ;  $v$  是正值, 表示结合后仍然向右运动。

### 问题与练习

1. 解答以下三个小题, 思考动量与动能的区别。

- (1) 质量为  $2 \text{ kg}$  的物体, 速度由  $3 \text{ m/s}$  增大为  $6 \text{ m/s}$ , 它的动量和动能各增大为原来的几倍?
- (2) 质量为  $2 \text{ kg}$  的物体, 速度由向东的  $3 \text{ m/s}$  变为向西的  $3 \text{ m/s}$ , 它的动量和动能是否变化了? 如果变化了, 变化量各是多少?
- (3)  $A$  物体质量是  $2 \text{ kg}$ , 速度是  $3 \text{ m/s}$ , 方向向东;  $B$  物体质量是  $3 \text{ kg}$ , 速度是  $4 \text{ m/s}$ , 方向向西。它们的动量之和是多少? 动能之和是多少?

解答后做个小结, 说说动量与动能有什么不同。以后的学习中还会学到动量与动能的区别, 请注意及时总结。

2. 甲、乙两位同学静止在光滑的冰面上, 甲推了乙一下, 结果两人向相反方向滑去。甲推乙前, 他们的总动量为零。甲推乙后, 他们都有了动量, 总动量还等于零吗? 已知甲的质量为  $50 \text{ kg}$ , 乙的质量为  $45 \text{ kg}$ , 甲的速率与乙的速率之比是多大?
3.  $A$ 、 $B$  两个物体在同一直线上沿同一方向运动,  $A$  的质量是  $5 \text{ kg}$ , 速度是  $9 \text{ m/s}$ ,  $B$  的质量是  $2 \text{ kg}$ , 速度是  $6 \text{ m/s}$ 。 $A$  从后面追上  $B$ , 它们相互作用一段时间后,  $B$  的速度增大为  $10 \text{ m/s}$ , 方向不变, 这时  $A$  的速度是多大? 方向如何? 以上过程中除  $A$ 、 $B$  两物体的相互作用力外, 其他的力可以忽略。
4. 质量是  $10 \text{ g}$  的子弹, 以  $300 \text{ m/s}$  的速度射入质量是  $24 \text{ g}$ 、静止在光滑水平桌面上的木块, 并留在木块中。子弹留在木块中以后, 木块运动的速度是多大? 如果子弹把木块打穿, 子弹穿过后的速度为  $100 \text{ m/s}$ , 这时木块的速度又是多大?

## 3

## 动量守恒定律(二)

**动量守恒定律与牛顿运动定律** 我们用牛顿运动定律分析两个小球的碰撞。可以看到, 所得结论与动量守恒定律的结论相同。

如图 16.3-1 所示, 在水平桌面上做匀速运动的两个小球, 质量分别是  $m_1$  和  $m_2$ , 沿着同一直线向相同的方向运动, 速度分别是  $v_1$  和  $v_2$ ,  $v_2 > v_1$ 。当第二个小球追上第一个小球时两球碰撞。碰撞后的速度分别是  $v_1'$  和  $v_2'$ 。碰撞过程中第一个球所受第二个球对它的作用力是  $F_1$ , 第二个球所受第一个球对它的作用力是  $F_2$ 。

根据牛顿第二定律, 碰撞过程中两球的加速度分别是

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

根据牛顿第三定律,  $F_1$  与  $F_2$  大小相等、方向相反, 即

$$F_1 = -F_2$$

所以

$$m_1 a_1 = -m_2 a_2$$

碰撞时两球之间力的作用时间很短, 用  $\Delta t$  表示。这样, 加速度与碰撞前后速度的关系就是

$$a_1 = \frac{v_1' - v_1}{\Delta t}, \quad a_2 = \frac{v_2' - v_2}{\Delta t}$$

把加速度的表达式代入  $m_1 a_1 = -m_2 a_2$ , 移项后得到

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

它的物理意义是: 两球碰撞前的动量之和等于碰撞后的动量之和。这个结果与动量守恒定律是一致的。

由于两个物体碰撞过程中的每个时刻都有  $F_1 = -F_2$ , 因此上面 (1) 式对过程中的任意两时刻的状态都适用, 也就是说, 系统的动量在整个过程中一直保持不变。因此, 我们才说这个过程中动量是守恒的。

**动量守恒定律的普适性** 既然许多问题可以通过牛顿运动定律解决, 为什么还要研究动量守恒定律?

从上面的例子可以看到, 用牛顿运动定律解决问题要涉及整个过程中的力。有的时候, 力的形式很复杂, 甚至是变化的, 解起来很复杂, 甚至不能求解。但是动量守恒定律只涉及过程始末两个状态, 与过程中力的细节无关。这样, 问

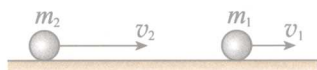


图16.3-1 用牛顿运动定律分析碰撞过程

碰撞后前面的球变快, 后面的球变慢, 所以两球的受力方向一定相反, 也就是说,  $F_1$  与  $F_2$  的符号一定相反。

自然规律本身是和谐的。如果新的认识与过去的认识出现了矛盾, 那么或者是我们的推理出现了错误, 或者过去认识的规律在新环境下不适用了。

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“力”的角度反映物体间的相互作用; 动量守恒定律从“动量”的角度描述物体间的相互作用。

题往往能大大简化。

除此之外,两者还有更深刻的差别。近代物理的研究对象已经扩展到我们直接经验所不熟悉的高速(接近光速)、微观(小到分子、原子的尺度)领域。实验事实证明,在这些领域,牛顿运动定律不再适用,而动量守恒定律仍然正确。

电磁场是现代物理学的重要研究对象。在下一章我们会看到,电磁场的运动,即电磁波,也具有动量,它与粒子的相互作用也遵守动量守恒定律。

动量守恒定律是一个独立的实验规律,它适用于目前为止物理学研究的一切领域。随着学习的深入,同学们对此将有更深刻的体会。

**例题** 一枚在空中飞行的导弹,质量为 $m$ ,在某点的速度为 $v$ ,方向水平。导弹在该点突然炸裂成两块(图16.3-2),其中质量为 $m_1$ 的一块沿着与 $v$ 相反的方向飞去,速度为 $v_1$ 。求炸裂后另一块的速度 $v_2$ 。

**分析** 炸裂前,可以认为导弹是由质量为 $m_1$ 和 $(m - m_1)$ 的两部分组成,导弹的炸裂过程可以看做这两部分相互作用的过程。这两部分组成的系统是我们的研究对象。在炸裂过程中,炸裂成的两部分都受到重力的作用,所受外力的矢量和不为零,但是它们所受的重力远小于爆炸时燃气对它们的作用力,所以爆炸过程中重力的作用可以忽略,可以认为系统满足动量守恒定律的条件。

**解** 导弹炸裂前的总动量为

$$p = mv$$

炸裂后的总动量为

$$p' = m_1 v_1 + (m - m_1) v_2$$

根据动量守恒定律 $p' = p$ ,可得

$$m_1 v_1 + (m - m_1) v_2 = mv$$

解出

$$v_2 = \frac{mv - m_1 v_1}{m - m_1}$$

若沿炸裂前速度 $v$ 的方向建立坐标轴, $v$ 为正值; $v_1$ 与 $v$ 的方向相反, $v_1$ 为负值。此外,一定有 $m - m_1 > 0$ 。于是,由上式可知, $v_2$ 应为正值。这表示质量为 $(m - m_1)$ 的那部分沿着与坐标轴相同的方向飞去。这个结论容易理解。炸裂的一部分沿着相反的方向飞去,另一部分不会也沿着相反的方向飞去,假如这样,炸裂后的总动量将与炸裂前的总动量方向相反,动量就不守恒了。

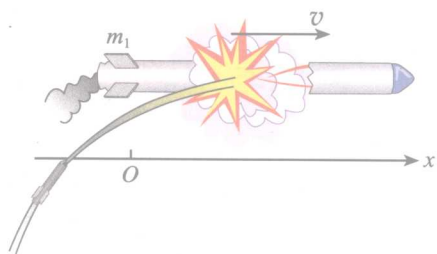


图 16.3-2 已知一块的飞行速度,求另一块的飞行速度。

物体炸裂时一般不会正好分成两块,也不会正好沿水平方向飞行。这里是对问题做的简化处理。

## 思考与讨论

如图16.3-3所示,一个质量是0.2 kg的钢球,以2 m/s的速度斜射到坚硬的大大理石板上,入射的角度是 $45^\circ$ ,碰撞后被斜着弹出,弹出的角度也是 $45^\circ$ ,速度仍为2 m/s。请你用作图的方法求出钢球动量变化的大小和方向。

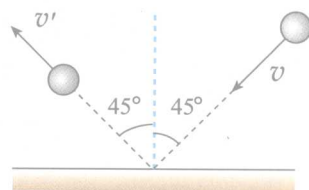


图 16.3-3 求动量的变化量

## 问题与练习

1. 原来静止在滑冰场上的两个人,不论谁来推谁一下,两个人都会向相反方向滑去,他们的动量都发生了变化。两个人本来都没有动量,现在都有了动量,他们的动量变化服从什么规律?



图 16.3-4

2. 质量为 60 kg 的运动员站在一艘质量是 120 kg 的小平板木船上。从某时刻开始,运动员开始从船头向船尾跑去,2 s 末到达船尾时获得了 6 m/s 相对于河岸的水平速度。以下不考虑水的阻力。
  - (1) 设运动员在这 2 s 内的运动是匀加速直线运动,运动员受到的水平作用力是多大?
  - (2) 这 2 s 内运动员对船的水平作用力是多大?
  - (3) 这 2 s 内船倒退的加速度是多大? 2 s 末船获得了多大的速度?
  - (4) 不考虑运动员与船的相互作用过程的细节,请用动量守恒定律计算 2 s 末船的速度。
  - (5) 如果运动员与船的相互作用力是变力,船的速度还是第(4)小题计算的值吗?
  - (6) 如果运动员在某一瞬时的速度是 3 m/s,此时此刻船的速度是多大?

3. 在光滑的水平面上有一辆平板车,一个人站在车上用大锤敲打车的左端(图 16.3-5)。在连续的敲打下,这辆车能持续地向右运动吗? 说明理由。



图 16.3-5 大锤连续敲打,车能持续向右运动吗?

4. A、B 两个粒子都带正电, B 的电荷量是 A 的 2 倍、B 的质量是 A 的 4 倍。A 以已知速度  $v$  向静止的 B 粒子飞去。由于库仑斥力,它们之间的距离缩短到某一极限值后又被弹开,然后各自以新的速度做匀速直线运动。设作用前后它们的轨迹都在同一直线上,请在以上提供的信息中选择有用的已知条件,计算当 A、B 之间的距离最近时它们各自的速度。

5. 某机车以  $0.8 \text{ m/s}$  的速度驶向停在铁轨上的 15 节车厢，跟它们对接。机车跟第一节车厢相碰后，它们连在一起具有一个共同的速度，紧接着又跟第二节车厢相碰，就这样，直至碰上最后一节车厢。设机车和车厢的质量都相等，求：跟最后一节车厢碰撞后车厢的速度。铁轨的摩擦忽略不计。
6. 甲、乙两物体沿同一直线相向运动，甲物体的速度是  $6 \text{ m/s}$ ，乙物体的速度是  $2 \text{ m/s}$ 。碰撞后两物体都沿各自原方向的反方向运动，速度都是  $4 \text{ m/s}$ 。求甲、乙两物体的质量之比。
7. 在细线下吊着一个质量为  $m_1$  的沙袋，构成一个单摆，摆长为  $l$ 。一颗质量为  $m$  的子弹水平射入沙袋并留在沙袋中，随沙袋一起摆动。已知沙袋摆动时摆线的最大偏角是  $\theta$ ，求子弹射入沙袋前的速度。

## 4

## 碰撞

碰撞是十分普遍的现象，特别是在有关微观粒子的探讨中，碰撞的研究起着重要的作用。

**弹性碰撞和非弹性碰撞** 从前两节的分析可以看到，碰撞过程遵从动量守恒定律。那么，碰撞过程也一定遵从能量守恒定律吗？例如，两个物体相碰，碰撞之前它们的动能之和与碰撞之后的动能之和相等吗？

## 思考与讨论

在本章第1节开始的演示中，一个钢球与另一个静止的钢球相碰，如果两个钢球的质量相等，第一个钢球停止运动，第二个钢球能摆到同样的高度，说明这个碰撞过程中没有能量损失，碰撞过程能量守恒。

碰撞过程中能量总是守恒的吗？我们分析一个例子。

如图16.4-1，两个物体的质量都是  $m$ ，碰撞以前一个物体静止，另一个以速度  $v$  向它撞去。碰撞以

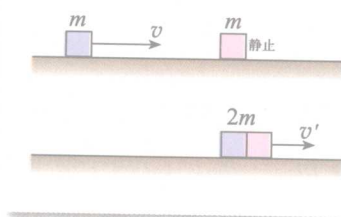


图16.4-1 碰撞后两个物体结合在一起，碰撞过程中能量守恒吗？