

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



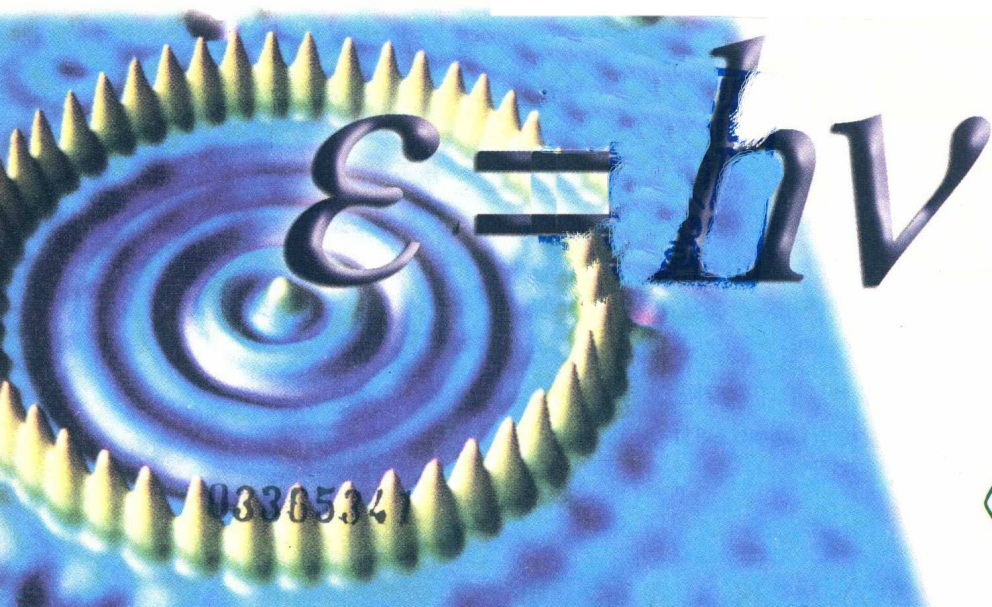
 人民教育出版社

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: 谷雅慧 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
物理课程教材研究开发中心 编著

出 版 人民教育出版社

(北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼 邮编:100081)

网 址 <http://www.pep.com.cn>

代 印 河北省出版总社有限责任公司

发 行 河北省新华书店

印 刷 河北新华联合印刷有限公司

版 次 2010 年 4 月第 3 版

印 次 2018 年 7 月第 17 次印刷

开 本 890 毫米×1240 毫米 1/16

印 张 6.5

字 数 135 千字

印 数 1,488,689-1,585,088 册

书 号 ISBN 978-7-107-18611-0

定 价 7.80 元

冀价管[2018]57 号 冀价审[2018]109128 全国价格举报电话:12358

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使

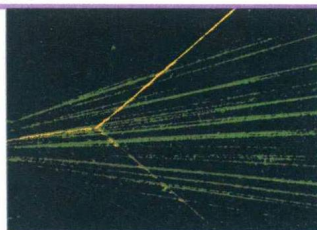
用本产品任何部分·违者必究
如发现内容质量问题,请登录中小学教材意见反馈平台:jcyjfk.pep.com.cn

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与河北新华联合印刷有限公司联系调换。电话:0311-85538083

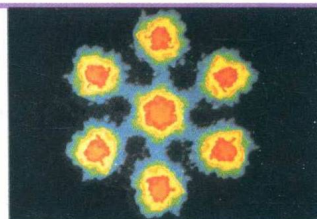
邮购电话:400-707-5816; 0311-66720366 投诉电话:400-851-6118

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 动量和动量定理	6
3 动量守恒定律	12
4 碰撞	17
5 反冲运动 火箭	22



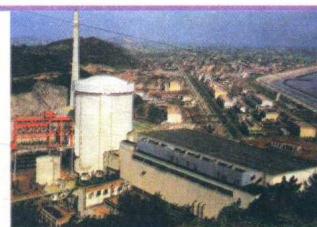
第十七章 波粒二象性	26
1 能量量子化	27
2 光的粒子性	30
3 粒子的波动性	37
4 概率波	40
5 不确定性关系	42



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 核裂变	83
7 核聚变	88
8 粒子和宇宙	91



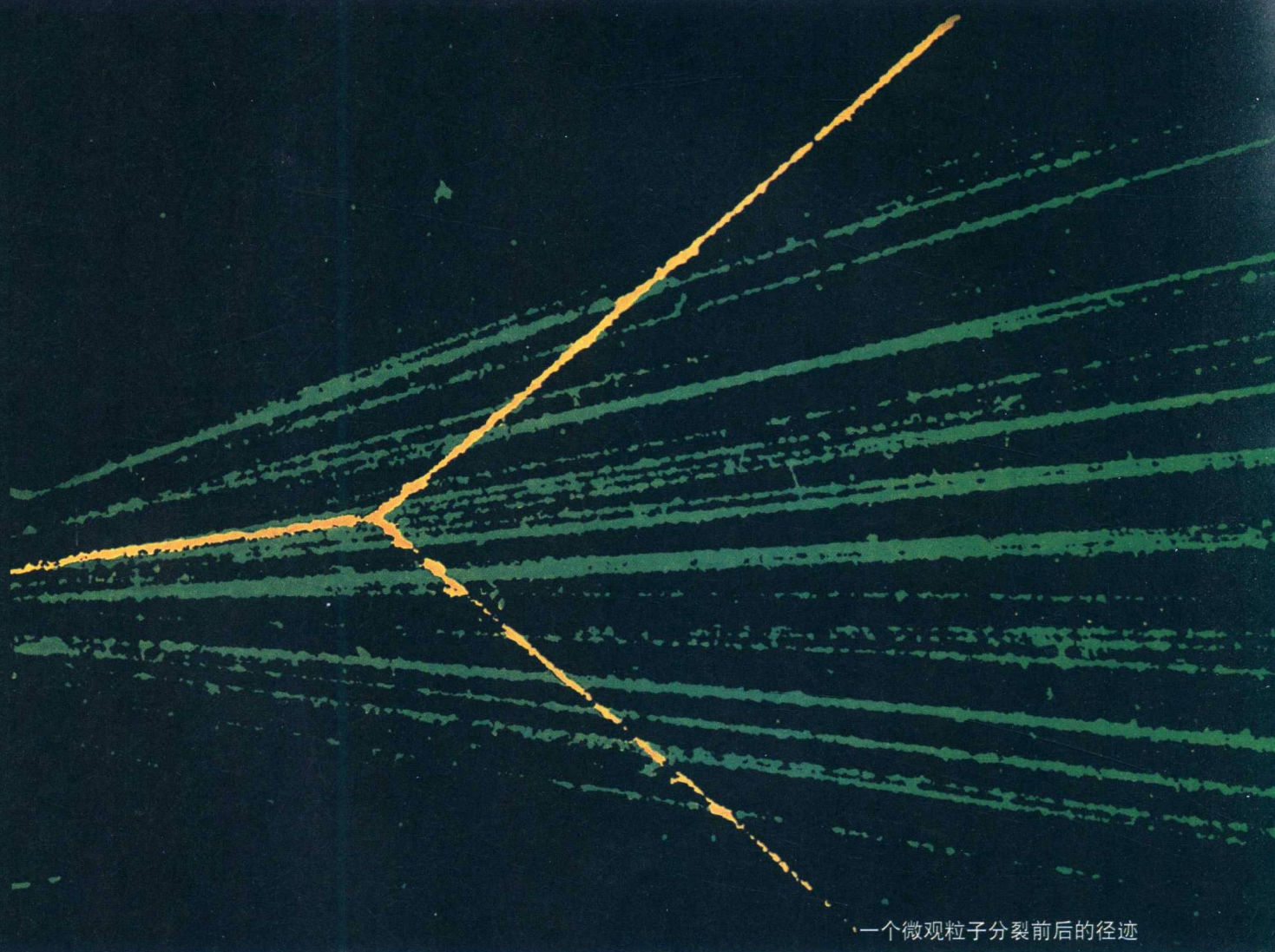
课题研究	95
-------------	----

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



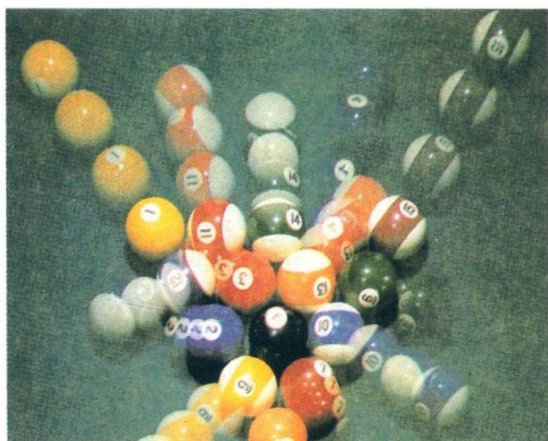
一个微观粒子分裂前后的径迹

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

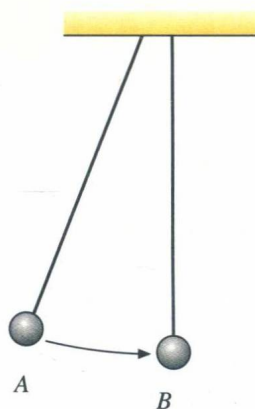


图 16.1-1 观察两球的碰撞

演示

如图16.1-1，A、B是两个用等长细线悬挂起来的相同钢球。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《物理必修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，有关的物理量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坐标轴的方向一致，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……我们寻找的物理量必须在各种碰撞的情况下都不改变，这样才称得上是“不变量”。

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，空格是在测量或计算后填写的。填表时要注意思考：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

《物理必修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。

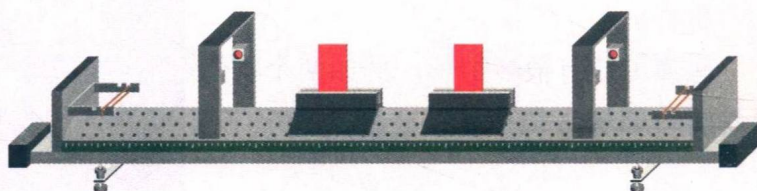


图 16.1-2 气垫导轨

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。

如图16.1-3甲，用细线将两个滑块拉近，把弹簧压缩，然后烧断细线，弹簧弹开后落下，两个滑块由静止向相反方向运动。

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，使两个滑块连成一体运动，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。

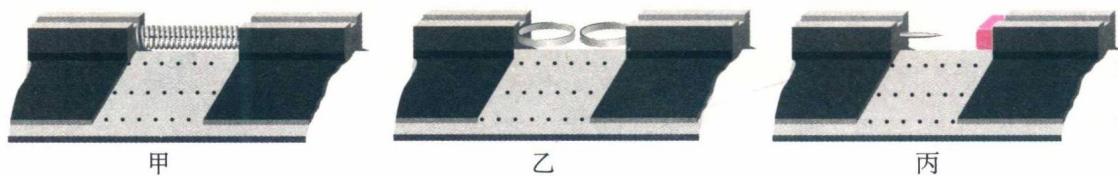


图 16.1-3 利用气垫导轨进行实验的几种情况

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。

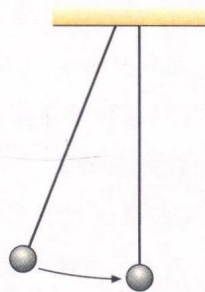


图 16.1-4 通过小球摆起的角度可以知道碰撞时的速度

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（也可在A、B两个小车的碰撞端贴上尼龙拉扣）。通过纸带测出它们碰撞前后的速度。

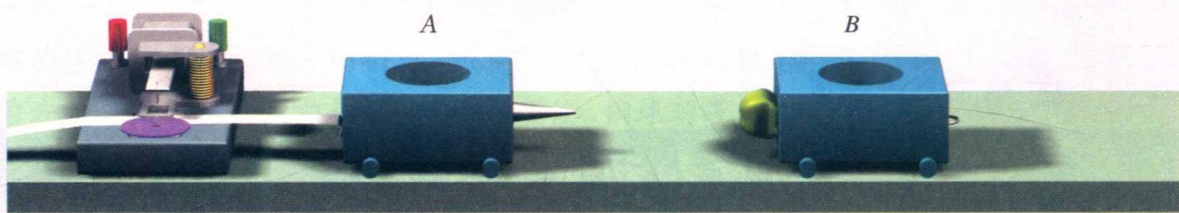


图 16.1-5 用小车研究碰撞

同学们还可以自己设计方案，使两个物体以其他形式碰撞。实验时可以综合考察几种不同方式的碰撞。例如，研究能量损失较小的碰撞时，可以选用参考案例二；研究碰撞后两个物体结合在一起的情况时，可以选用参考案例三。

通过这些实验，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的速度与质量为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。

(1) 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。

(2) 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: 把两个小车合在一起考虑, 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

动量和动量定理

动量 上节的探究结果向我们提示, 对于发生碰撞的两个物体来说, 它们的“ mv ”的矢量和在碰撞前后很可能是保持不变的, 对于各种形式的碰撞都是这样。也就是说, 两个物体碰撞时, 一个物体的 mv 减少了, 另一个物体的 mv 一定会增加, 而且它的增加量与前一个物体的减少量相等。这使我们意识到, mv 这个物理量具有特别的意义。物理学中把它定义为物体的**动量(momentum)**, 用字母 p 表示

$$p = mv$$

由于速度是矢量, 所以**动量也是矢量**, 动量的方向与速度的方向相同。

最先提出动量概念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。不过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上的研究, 其结论是: “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。

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碰撞前后动量的关系。

科学前辈就是在追寻不变量的努力中,逐渐建立了动量的概念。

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,碰到坚硬的墙壁后弹回,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

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

碰撞前后钢球动量的变化为

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

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

动量定理 在本章第 1 节我们只是看到,碰撞前后两个物体的**动量之和**保持不变,并不涉及各个物体自身的动量怎样变化。通过上面的例题我们又看到,一个物体动量的变化是因为它受到了力的作用(上题中是墙壁对它的作用)。看来解决单个物体动量变化的问题可以从牛顿运动定律入手。

物体在碰撞过程中受到的作用力会变化,但初步研究时可以把作用力按恒力处理。假定一个质量为 m 的物体在碰撞时受到另一个物体对它的作用力是恒力 F , 在这个力的作用下,

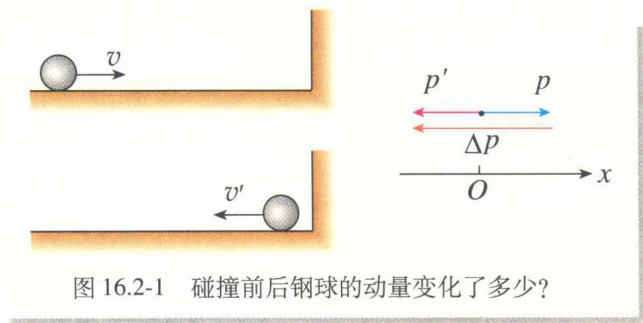


图 16.2-1 碰撞前后钢球的动量变化了多少?

如果物体沿直线运动,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,符号是 $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。

两个物体碰撞时发生相互作用,正是相互作用力使两个物体的动量都改变了。

物体做匀变速直线运动。在碰撞初始两物体刚刚接触的时刻 t ，它的速度为 v ，在碰撞结束两物体分离的时刻 t' ，它的速度为 v' (图 16.2-2)，那么这个物体在碰撞过程中的加速度就是

$$a = \frac{v' - v}{t' - t}$$

因此

$$F = ma = m \frac{v' - v}{t' - t} = \frac{mv' - mv}{t' - t} = \frac{p' - p}{t' - t}$$

由于 $\Delta p = p' - p$ ， $\Delta t = t' - t$ ，所以

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (1)$$

(1)式表示：物体动量的变化率等于它所受的力。(1)式也可以写成

$$mv' - mv = F(t' - t) \quad (2)$$

(2)式的左边是物体在 t 到 t' 这段时间里动量的增加量，右边既与力的大小、方向有关，又与力的作用时间有关。(2)式告诉我们：力越大、作用时间越长，物体的动量增加得越多。看来， $F(t' - t)$ 这个量反映了力的作用对时间的积累效应。物理学中把力与力的作用时间的乘积叫做力的冲量 (impulse)，通常用字母 I 表示

$$I = F(t' - t)$$

如果用 p 和 p' 分别代表物体在过程始末的动量，那么(2)式可以写为

$$p' - p = I \quad (3)$$

(3)式或(2)式表明：物体在一个过程始末的动量变化量等于它在这个过程中所受力的冲量。这个关系叫做动量定理 (theorem of momentum)。

如果物体受的力不是恒力，物体不做匀变速运动，那么可以依必修物理课中常用的方法，把过程细分为很多短暂的过程，每个过程中物体受的力没有很大的变化，可以近似看做匀变速运动，能够应用(2)或(3)式。把应用于每个短暂过程的关系式相加，就得到了应用于整个过程的动量定理，形式上与(2)或(3)式完全一样。这时，(1)式和(2)式中的 F 应该理解为变力的平均值。

动量定理的物理实质与牛顿第二定律相同，但有时应用起来更方便。

例题 2 一个质量为 0.18 kg 的垒球，以 25 m/s 的水平速度飞向球棒，被球棒打击后，反向水平飞回，速度的大小为 45 m/s 。若球棒与垒球的作用时间为 0.01 s ，球棒对垒球的平均作

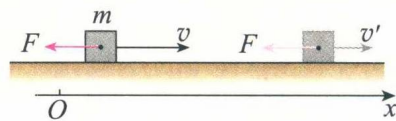


图 16.2-2 力的作用使物体的动量发生了变化

(1)式是牛顿第二定律的另一种形式，牛顿当初就是这样表达的。

由于动量和力都是矢量，所以(1)式是个矢量式，它不仅表示了动量变化率与力之间的大小的关系，也表示了它们之间的方向关系。

你认为冲量是标量还是矢量？

用力是多大?

分析 球棒对垒球的作用力是变力,力的作用时间很短。在这个短时间内,力先是急剧地增大,然后又急剧地减小为0。在冲击、碰撞这类问题中,相互作用的时间很短,力的变化都具有这个特点。动量定理适用于变力,因此,可以用动量定理计算球棒对垒球的平均作用力。

由题中所给的量可以算出垒球的初动量和末动量,由动量定理即可求出垒球所受的平均作用力。

解 沿垒球飞向球棒时的方向建立坐标轴,垒球的初动量为

$$p = mv = 0.18 \times 25 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 4.5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

垒球的末动量为

$$p' = mv' = -0.18 \times 45 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -8.1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

由动量定理知垒球所受的平均作用力为

$$F = \frac{p' - p}{t' - t} = \frac{-8.1 - 4.5}{0.01} \text{ N} = -1\,260 \text{ N}$$

垒球所受的平均力的大小为1 260 N,负号表示力的方向与坐标轴的方向相反,即力的方向与垒球飞来的方向相反。

从(1)、(2)两式和上面的例子我们得到这样的启示:要使物体的动量发生一定的变化,可以用较大的力作用较短的时间,也可以用较小的力作用较长的时间。

玻璃杯落在水泥地面会破碎,落在地毯上不会破碎,怎样解释这个现象?从同样的高度落到地面,两种情况下动量的变化量是一样的,地面对杯子的力的冲量也应该一样。但是柔软的地毯对杯子的作用时间较长,因此作用力会小些,玻璃杯不易破碎。易碎物品运输时要用柔软材料包装,船舷和码头常常悬挂旧轮胎,都是为了延长作用时间以减小作用力。

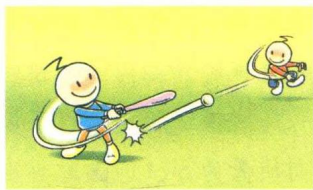


图 16.2-3 计算垒球受到的作用力

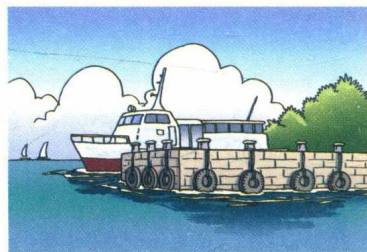


图 16.2-4 船与码头相碰时,旧轮胎能延长船与码头的作用时间,减小作用力。

科学漫步

汽车碰撞试验

汽车安全性能是当今衡量汽车品质的重要指标,也是未来汽车发展的三大主题(安全、节能、环保)之一。实车碰撞试验是综合评价汽车安全性能最有效的方法,也是各国政府检验汽车安全性能的强制手段之一。

1998年6月18日,国产轿车在清华大学汽车工程研究所进行的整车安全性碰撞试验取得成功,

被誉为“中国轿车第一撞”。从此，我国汽车的整车安全性碰撞试验开始与国际接轨。

碰撞试验是让汽车以48.3 km/h的国际标准碰撞速度驶向质量为80 t的国际标准碰撞试验台。由于障碍物是固定的，所以撞击使汽车的动量一下子变到0，其冲击力相当于以100 km/h左右的速度撞向非固定物体。“轰”的一声巨响之后，试验车撞在试验台上，载着模拟乘员的崭新轿车眨眼间被撞得短了一大截。技术人员马上查看车辆受损情况：安全气囊是否爆开？安全带是否发挥有效作用？前挡风玻璃是否破碎？“乘员”是否完好无损？车门是否能够正常开启？……还要取出各种传感器，做进一步处理，通过计算机得到碰撞试验的各项数据。

在汽车碰撞试验中，“乘员”身上安装着传感器。汽车碰撞时产生的冲击力不仅很大，而且很复杂。在碰撞瞬间冲击力的波形与碰撞的速度、相撞双方的质量分布、接触位置的形状、材料、变形等因素相关。人体能够承受的冲击力有多大？这与许多因素有关，其中最重要的就是力的方向。撞车时是否受伤在很大程度上要看人体受到冲击的位置。相同质量、相同车型、相同的相对速度下进行的多次碰撞，对乘员的伤害程度可能有很大的差别。

问题：轿车前面的发动机舱是不是越坚固越好？



怎样用动量定理解释安全气囊的保护作用？

科学足迹

历史上关于运动量度的争论

历史上，一种观点认为应该用物理量 mv 来量度运动的“强弱”，另一种观点认为应该用物理量 mv^2 来量度运动的“强弱”。

主张以 mv 量度运动的代表人物是笛卡儿。他认为：“在物质中存在一定量的运动，它的总和在世界上永远不会增加也不会消失。”这实际上是后来所说的动量守恒定律的雏形。

主张以 mv^2 量度运动的代表人物是莱布尼兹。他认为守恒的应该是 Σmv^2 而不是 Σmv 。

经过半个多世纪的争论，法国科学家达兰贝尔(d'Alembert, 1717—1788)用他的研究指出，双方实际是从不同的角度描述了运动的守恒性。

用现在的科学术语说，就是：“力”既可以通过动量来表示

$$F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$$

又可以通过动能来表示

$$F = \frac{\Delta(\frac{1}{2}mv^2)}{\Delta x}$$

Σmv 表示对各个物体的质量与速度的乘积 mv 求和。

因此，动能 $\frac{1}{2}mv^2$ 决定了物体在力 F 的阻碍下能够运动多远；而动量 mv 则决定了物体在力 F 的阻碍下能够运动多长时间。也就是说，动量定理反映了力对时间的累积效应；动能定理反映了力对空间的累积效应。

这场争论一方面促进了机械能概念及整个能量概念的形成，并使人们对多种运动形式及其相互转变的认识更加深入；另一方面，动量与动量守恒定律也在争论中显示出了它们的重要性。

做一做

动量与能量之间具有密切的关系，这种关系在粒子的研究中更显得重要。

某实物粒子在速度不太大时的动能可以用它的速度 v 表示： $E = \frac{1}{2}mv^2$ ，请你导出用动量 p 表示动能的公式。同样，请你导出用动能 E 表示动量的公式。

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 kg 的物体，速度由 3 m/s 增大为 6 m/s，它的动量和动能各增大为原来的几倍？

(2) 质量为 2 kg 的物体，速度由向东的 3 m/s 变为向西的 3 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 kg，速度是 3 m/s，方向向东；B 物体质量是 3 kg，速度是 4 m/s，方向向西。它们的动量的矢量和是多少？它们的动能之和是多少？

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，请及时总结。

2. 在光滑水平面上，原来静止的物体在水平力 F 的作用下，经过时间 t 、通过位移 l 后，动量变为 p 、动能变为 E_k 。以下说法正确的是

- A. 在 F 作用下，这个物体若经过位移 $2l$ ，其动量将等于 $2p$ ；
- B. 在 F 作用下，这个物体若经过时间 $2t$ ，其动量将等于 $2p$ ；
- C. 在 F 作用下，这个物体若经过时间 $2t$ ，其动能将等于 $2E_k$ ；
- D. 在 F 作用下，这个物体若经过位移 $2l$ ，其动能将等于 $2E_k$ 。

3. 一个质量 $m = 10$ kg 的物体，以 $v = 10$ m/s 的速度做直线运动，受到一个反方向的作用力 F (图 16.2-5)，经过 4 s，速度变为反向 2 m/s。这个力是多大？

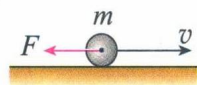


图 16.2-5 求力的大小

- 质量是40 kg的铁锤从5 m高处落下，打在水泥桩上，与水泥桩撞击的时间是0.05 s。撞击时，铁锤对桩的平均冲击力有多大？
- 体操运动员在落地时总要屈腿（图16.2-6），这是为什么？
- 甲、乙两人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（图16.2-7）。在甲推乙之前，他们的总动量为0；甲推乙后，他们都有了动量，总动量还等于0吗？已知甲的质量为45 kg，乙的质量为50 kg，甲的速率与乙的速率之比是多大？

提示：首先考虑甲对乙、乙对甲两个冲量的关系。

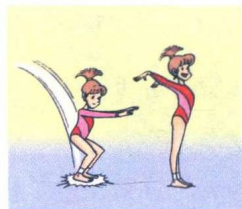


图16.2-6 落地时为什么要屈腿？



图16.2-7 两人速率之比是多大？

3

动量守恒定律

系统 内力和外力 本章研究了碰撞问题。与过去遇到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；弹簧具有的弹性势能属于构成它的许多小小的物质单元（这些物质单元之间有弹力的作用）组成的系统。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。

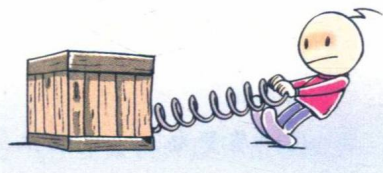


图16.3-1 图中的弹性势能属于组成弹簧的许多物质单元

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个系统的，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）**。

动量守恒定律 通过第1节的实验大家已经意识到，两个物体碰撞前后它们的总动量是不变的。现在再从另一个角度，即牛顿运动定律的角度考察这个问题。

如图16.3-2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，

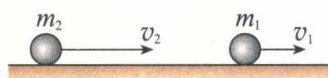


图16.3-2 用牛顿运动定律分析碰撞过程

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 Δt 表示。这样, 加速度与碰撞前后速度的关系就是

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

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。这个结论与第1节的实验结果一致。

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。因此我们说这个过程中动量是守恒的。

历史上, 通过几代物理学家在实验上和理论上的分析、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0, 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0, 因此系统所受的外力的矢量和为0。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。

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16.3-4)。烧断细线后, 由

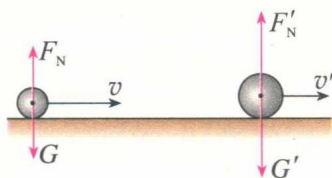


图 16.3-3 这两个物体碰撞时它们所受的外力的矢量和为0

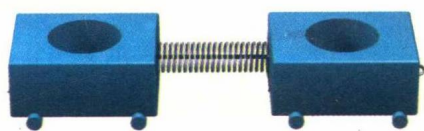


图 16.3-4 烧断细线后, 尽管两辆小车都将获得动量, 但它们动量的矢量和仍然为0。