

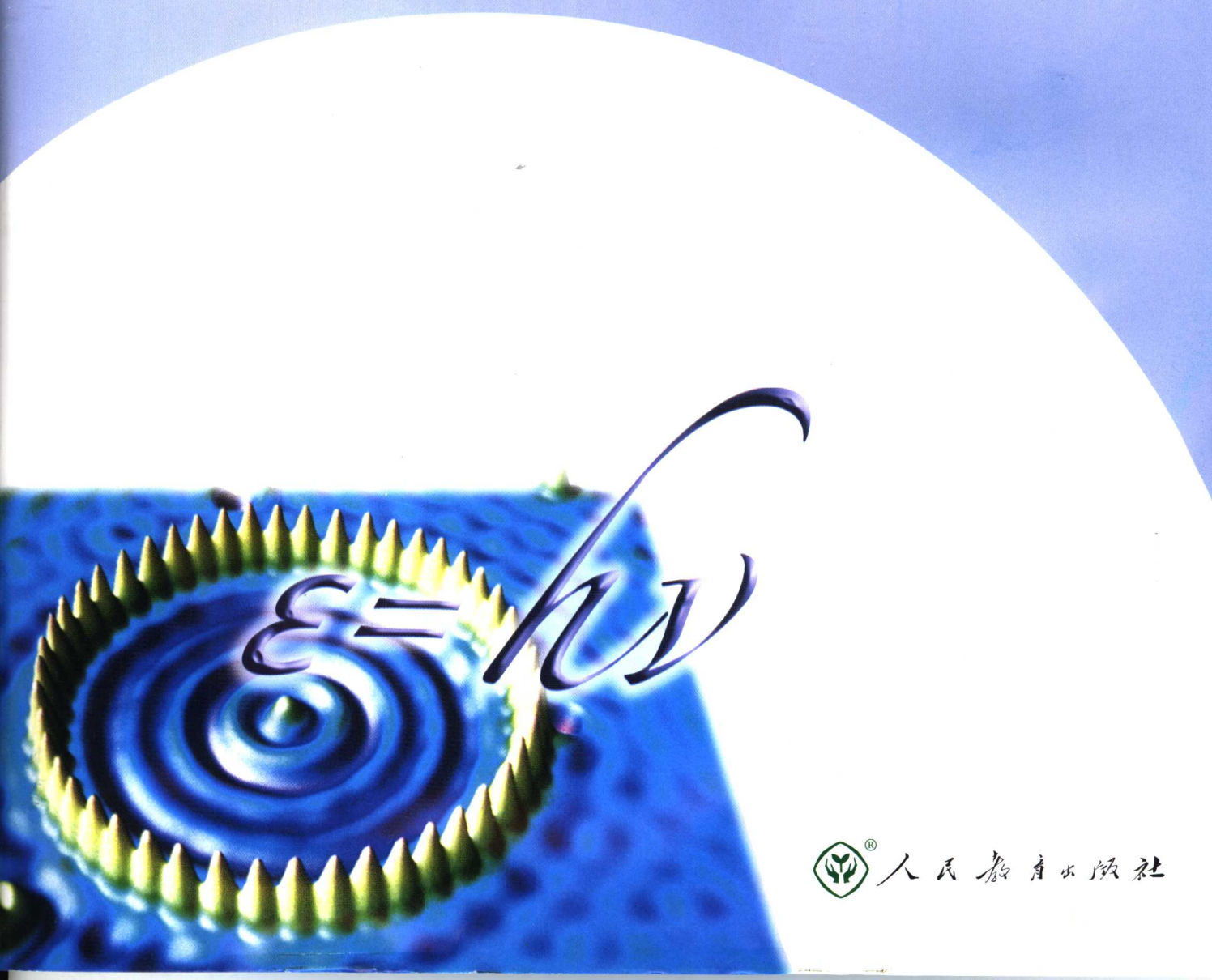
普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 3-5

教师教学用书

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

教师教学用书

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究中心 编著

人民教育出版社

策 划：彭前程
主 编：唐果南
编写人员：周智良 李天鹏 胡安书 黄全安
孙 新 张维善 苗元秀 唐果南
终 审：彭前程
责任编辑：苗元秀
绘 图：谢 伟
版式设计：马迎莺

普通高中课程标准实验教科书

物理 选修 3—5

教师教学用书

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>

益利印刷有限公司印装 全国新华书店经销

*

开本：890 毫米×1 240 毫米 1/16 印张：6.25 字数：157 000

2005 年 10 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-107-19165-9 定价：6.20 元
G·12255 (课)

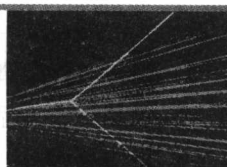
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版科联系调换。

(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

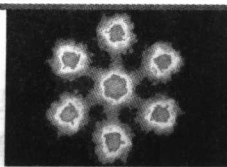
第十六章 动量守恒定律

一、教科书的编写意图	1
二、教学要求与建议	3
三、问题与练习解答	9
四、教学参考资料	15



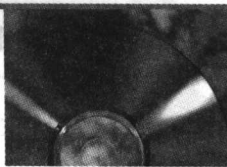
第十七章 波粒二象性

一、教科书的编写意图	26
二、教学要求与建议	30
三、问题与练习解答	35
四、教学参考资料	37



第十八章 原子结构

一、教科书的编写意图	44
二、教学要求与建议	45
三、问题与练习解答	51
四、教学参考资料	54



第十九章 原子核

一、教科书的编写意图	63
二、教学要求与建议	65
三、问题与练习解答	73
四、教学参考资料	76



案例一

87

案例二

92

在中学物理教学中，通过具体实例，得出动量守恒定律，并说明前式是动量定理的特殊情形。这样的处理注重突出几个物理概念定义的给出。本书在这个问题的处理上有所不同，它关注的不仅仅是在定义，而是更关注在追寻“不变量”的实验基础上，由碰撞前后 mv 矢量和保持不变的启示，自然引出“动量”的概念的过程。同时从科学史的角度，展示几代科学家在追寻“不变量”的努力中，逐渐明确“动量”概念形成的历史过程。这就使学生明确，任何科学概念、规律的形成都不是简单的

第十六章

动量守恒定律

一、教科书的编写意图

由于动量守恒定律是自然界的基本守恒定律之一，是研究微观粒子所必需的知识，具体来说，要学习原子结构和原子核的内容，动量的知识是不可缺少的，所以，《课程标准》将动量的内容后置于选修系列3—5模块，而不同以往动量的内容被设置于力学部分。这样调整的目的不仅要求学生学会用动量守恒定律来解决宏观物体的相互作用问题，更重要的是要求以新的观点来认识动量守恒定律，为进一步认识微观粒子的相互作用问题做好铺垫。

1. 在追寻“不变量”中感悟自然界的和谐与统一

本章的设计是从实验探究入手，引导学生追寻碰撞中的“不变量”。这种思想方法对学生来说并不陌生，如在学习《物理2必修》中“机械能及其守恒定律”一章时就有过类似的探究过程。这样处理的目的，一方面是为“动量”概念的引入提供实验的基础；另一方面，是让学生亲身体验探究自然规律的过程，感悟自然界的和谐与统一。

课文设计的实验探究性很强，实验的结论没有给出，这样就增加了实验的难度。不过，为帮助学生沿正确的方向进行实验，课文在适当环节给出了提示。如，实验以“实验的基本思路”和“需要考虑的问题”展开。其中，实验的设计、对“不变量”的推测、实验的操作、数据的处理……都做了明确说明。另外，由于《课程标准》没有对实验的具体做法、使用的器材等做出硬性的规定，为便于提出不同的实验方法，引导学生注重实验中的科学思想，教科书从不同角度呈现三种实验案例供选择，这样就可以因地制宜地进行实验教学。

需要让学生明确的是：课文中提到的“不变量”绝不是“守恒量”。要学生确切理解“守恒量”是学习物理的关键，而有限的几次简单的测量是得不出普适性的物理规律的。但是，应该看到，这样的结果会给我们一个强烈的提示：两个物体在碰撞过程中很可能存在“守恒量”的。应该说，这个猜测是具有实验基础的，但真正要发现规律，其结论不是能简单得出的，只有当从结论推导出的很多新结果都与事实一致时，它才能成为规律。尽管这样的过程学生不可能完成，但他们在追寻“不变量”过程中的切身体验，却是十分有教育价值的。

2. 渗透科学史教育，深化“动量”概念的形成过程。

在中学物理教学中，如何引入“动量”的概念是需要研究的一个问题。过去的教科书多是通过具体实例，得出 $Ft=mv$ ，并直接引入“动量”和“冲量”的概念，然后推导动量定理，并说明前式是动量定理的特殊情形。应该说，这样的处理注重突出几个物理概念定义的给出。

本书在这个问题的处理上有所不同。它所关注的不仅仅是 $p=mv$ 的定义，而是更关注在追寻“不变量”的实验基础上，由碰撞前后 mv 矢量和保持不变的启示，自然引出“动量”的概念的过程。同时从科学史的角度，展示几代科学家在追寻“不变量”的努力中，逐渐明确“动量”概念形成的历史过程。这就使学生明确，任何科学概念、规律的形成都不是简单拼凑

得出的，它需要严格的科学论证过程。体现了在注重知识和技能目标的同时，更关注情感、态度和价值观方面的教育意义。

另外，动量是矢量，学生对此必须有清楚的理解，这里再次涉及对矢量运算的认识问题。动量的运算服从矢量运算的规则，要按照平行四边形定则进行。动量矢量在同一条直线上时，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。

3. 以新的观点处理动量守恒定律

以往的教科书多是从动量定理和牛顿第三定律直接推导出动量守恒定律，并通过实验验证动量守恒定律，这对快速解决碰撞问题是有效的。本书立足多角度引导学生正确认识动量守恒定律。在追寻“不变量”的探究实验和“动量”概念的基础上，引入系统、内力、外力的概念，并通过实例指明区分内力和外力的方法，以及对外力远小于内力情况下，外力可以忽略不计的具体实例的分析方法。

需要特别指出的是：在动量守恒定律的表述上，本书力求简洁、严谨、明了，即“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”。其中最明显的改变是将过去教科书中表述的“外力之和”修改为“外力的矢量和”。目的是强调外力之和的矢量合成性质。所谓“外力的矢量和”是指把作用在系统上的所有外力平移到某点后算出的矢量和。这一点，教科书通过具体实例明确做了说明。

为使学生深入理解动量守恒定律，理解力与运动的关系，本书将动量守恒定律与牛顿运动定律密切结合，使学生深刻认识到系统的动量在整个过程中一直“保持不变”的含义。换言之，“不变”不等于“守恒”，而“保持不变”才意味着“守恒”的存在，这一点会使学生逐步熟悉用“守恒”的观点来处理问题。同时，通过实例揭示了牛顿运动定律从“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的本质。另外，应该使学生知道，动量守恒定律不仅适用于碰撞，也适用于任何形式的相互作用。

动量守恒定律的普适性，为学生深层次认识自然界的和谐与统一提供了很好的例证。同时应该看到，动量守恒定律也为解决力学问题开辟了新的途径。教科书以“弹性碰撞和非弹性碰撞”“对心碰撞和非对心碰撞”“散射”“反冲”“火箭”为例，展示了动量守恒定律解决碰撞问题的优势所在。其中特别应该指出的是，要引导学生以新的观点来认识动量守恒定律，如微观粒子间的相互作用问题——散射。

4. 尝试用动量概念表示牛顿第二定律

本章由于动量概念的引入方式的改变，使动量定理的导出设置于动量守恒定律之后。要引导学生尝试用动量的概念表示牛顿第二定律，从而明确动量定理的物理实质与牛顿第二定律是相同的。这样处理有助于对动量概念以及描述力与运动的关系问题有更加深入的理解。

动量定理和动量守恒定律不但适用于恒力，而且适用于变力，正因为适用于变力，它们才有广泛的应用。不过，因其理论推导较难，在中学阶段不宜做过高要求，课本用积分的思想（必修物理模块部分有渗透）定性做了说明。这样可以开阔学生的思路，便于他们自觉地运用所学知识来处理问题。在变力的情况下，动量定理公式中的 F 应理解为变力在作用时间内的平均值。

二、教学要求与建议

课时分配建议

第1单元	1 实验：探究碰撞中的不变量	(2 学时)
	2 动量守恒定律（一）	(2 学时)
	3 动量守恒定律（二）	(1 学时)
第2单元	4 碰撞	(1 学时)
	5 反冲运动 火箭	(1 学时)
第3单元	6 用动量概念表示牛顿第二定律	(1 学时)

1 实验：探究碰撞中的不变量

(1) 教材分析

本节教材从生产、生活中的现象（包括实验现象）中提出研究的问题——碰撞前后会不会有什么物理量保持不变呢？接着提出了猜想。为了证实猜想而提出了“实验的基本思路”和实验中“需要考虑的问题”。同时，提供三套实验方案供学生选择，最后让学生亲自动手，体验寻找碰撞中“不变量”的过程。教学内容的核心是引导学生经历碰撞问题的研究过程。一方面为下一节“动量”概念的引入提供实验的基础；另一方面，让学生亲身体验探究自然规律的过程，感悟自然界的和谐与统一。同时，将实验技能的训练与科学探究过程的体验有机地结合也是不容忽视的。

(2) 探究碰撞中“不变量”的教学

教科书设计这样一节实验课（2 课时），建议在本章第一节课进行，不要放到“动量守恒定律”之后，否则就失去了探究式学习的宗旨。通过实验寻找“不变量”，在一定意义上增加了实验的难度。因此在实验前要下大力气引导学生思考问题，关注碰撞问题所表现出的物体运动状态的改变，即与物体运动有关的物理量。物体的速度是描述物体运动状态的物理量，物体的运动状态变化是以速度这一物理量的变化表现出来的。通过课本中的演示实验的结果应该看出，两物体碰撞后质量虽然没有改变，但运动状态改变的程度与物体质量的大小有关。让学生猜想碰撞后可能的“不变量”后，设计所要测量的物理量，即碰撞前后的速度以及物体的质量。教学中要针对具体实验参考案例设计实验，要求说明其实验原理、实验条件、主要测量的物理量、重要的实验步骤、数据的记录、数据的处理。

对于书中列出的三个参考案例，应结合学校和学生的实际，重点介绍其中之一，并准备好器材，做好分组实验进行探究。这是本节教学的一个重要环节，学生要通过实验亲自去发现隐藏在现象背后的自然规律。

“参考案例一”的误差较小，准确性较高，但可能有的学校不一定能提供多套气垫导轨和光电门，可以考虑改为演示实验。

“参考案例二”由于角度的测量有困难，适于定性研究。

“参考案例三”由于只有一个打点计时器，适于研究完全非弹性碰撞。

下面提供另一个参考案例。

实验装置如图 16-1 所示。让一个质量较大的小球 m_1 从斜槽上滚下来，跟放在斜槽末端的另一质量较小的小球（半径相同） m_2 发生碰撞（正碰）。

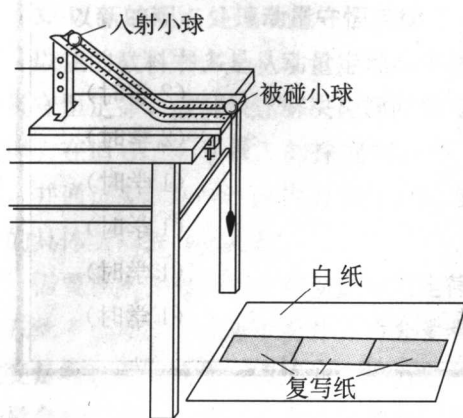


图 16-1

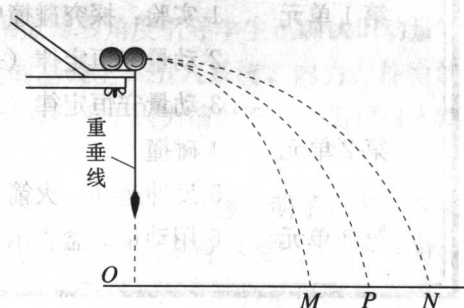


图 16-2

小球的质量可以用天平称出。怎样简便地测出两个小球碰撞前后的速度呢？两球碰撞前后的速度方向都是水平的，因此两球碰撞前后的速度，可以利用平抛运动的知识求出。在这个实验中，做平抛运动的小球落到地面，它们的下落高度相同，飞行时间 t 也就相同，它们飞行的水平距离 $x=vt$ 与小球开始做平抛运动时的水平速度 v 成正比。

设小球下落的时间为 t ，质量为 m_1 的入射小球碰前的速度为 v_1 ，碰撞后，入射小球的速度是 v'_1 ，被碰小球的速度是 v'_2 。则在图 16-2 中

$$OP = v_1 t \quad v_1 = \frac{OP}{t}$$

$$OM = v'_1 t \quad v'_1 = \frac{OM}{t}$$

$$ON = v'_2 t \quad v'_2 = \frac{ON}{t}$$

具体实验操作如下：安装好实验装置。将斜槽固定在桌边，使槽的末端点的切线是水平的。被碰小球放在斜槽前端边缘处。为了记录小球飞出的水平距离，在地上铺一张白纸，白纸上铺放复写纸，当小球落在复写纸上时，便在白纸上留下了小球落地的痕迹。在白纸上记下重垂线所指的位置 O （图 16-2）。

先不放上被碰小球，让入射小球从斜槽上某一高处滚下，重复 10 次。用尽可能小的圆把所有的小球落点圈在里面。圆心 P 就是小球落点的平均位置。

把被碰小球放在斜槽前端边缘处，让入射小球从原来的高度滚下，使它们发生碰撞。重复实验 10 次。用同样的方法标出碰撞后入射小球的落点的平均位置 M 和被碰小球的落点的平均位置 N 。

线段 ON 的长度是被碰小球飞出的水平距离； OM 是碰撞后小球 m_1 飞行的距离； OP 则是不发生碰撞时 m_1 飞行的距离。用刻度尺测量线段 OM 、 OP 、 ON 的长度。

本实验设计思想巧妙之处在于用长度测量代替速度测量。

注意事项：①斜槽末端的切线必须水平；②入射球与被碰球的球心连线与入射球的初速度

方向一致；③入射球每次都必须从斜槽上同一位置由静止开始滚下；④地面须水平，白纸铺好后，实验过程中不能移动，否则会造成很大误差。

对实验结果的分析和论证应该使学生明确，有限次简单的测量是得不出普适性的物理规律的。应该说，对碰撞中存在守恒量的猜测是具有实验基础的，教学所关注的是科学探究过程中的切身体验的教育价值。可以说，中学教学中的科学探究最应该注意的就是猜想与假设这个要素，猜想与假设是创造性思维中最活跃的因素。自然规律不是根据有限的（尽管可能是大量的）事实归纳出来的，新知识的建立常常不在于实验证据的多寡，而在于研究者的洞察力。科学中的重大发现是这样，日常生活与工作中的新认识、新见解也是这样。

2 动量守恒定律（一）

（1）教材分析

本节在前面科学探究的基础上提出了动量的概念，并从物理学史的角度来加以认识。动量是矢量，在计算动量的变化量时应注意它的矢量性。由于考虑的是由多个物体组成的系统，且动量守恒定律成立的条件是系统所受外力的矢量和为零，因此在应用时需注意区分内力和外力。

动量守恒定律只考虑物体相互作用前后的动量，不考虑相互作用过程中各个瞬间细节，即使在牛顿定律适用范围内，它也能解决许多由于相互作用力难以确定而不能直接应用牛顿定律的问题。这正是动量守恒定律的特点和优点，它为我们解决力学问题提供了一种新的方法和思路。

（2）动量的教学

提出动量时，一定要明确 $p=mv$ 中的 v 是指物体的瞬时速度，从而说明动量是状态量（与时刻或位置对应），而且是矢量，其方向与速度的方向一致。要明确动量变化的意义，即动量的变化等于作用后的动量减去作用前的动量。

在对例题的分析讲解中，应明确钢球与障碍物的碰撞是一个物理过程，哪怕时间极短，动量的变化也是这一极短过程的末动量与初动量的矢量之差，是矢量。在处理一维问题时，动量的变化量可以用两种方法得到：一是选取正方向，用正、负号表示动量和动量的变化的方向，二是用作图法求解，要注意初、末动量要画在同一起点上，从初动量的箭头指向末动量的箭头的有向线段就是动量的变化量。动量的矢量性运算的训练，可以为动量守恒定律中碰撞前后动量的矢量和运算打好基础。在教学过程中，作为对比，可以让学生回忆速度的变化量，另外要注意动量与动能的区别。

（3）动量守恒定律（一）的教学

明确动量守恒定律的内容，理解守恒条件和矢量性。理解“总动量”就是系统内各个物体动量的矢量和。可以设置多种情景，列出多种表达式，以帮助学生理解。

在讲解例题时应先让学生明确系统、内力和外力，判断是否满足守恒条件。应该使学生注意，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，知道碰撞过程的初状态是刚开始发生相互作用时的状态，末状态是相互作用刚结束时的状态。分析清楚所研究的对象和过程，再分别画出初、末态的情景图，并列出初、末态的总动量，最后才列方程求解。解题过程的表述也力求清楚、规范。可以引导学生从例题总结出解决这类问题的分析思路，以

便学生更好地掌握和运用动量守恒定律分析和解决问题。

应用动量守恒定律分析问题研究的对象不是一个物体，而是相互作用的两个或多个物体。下列情况下动量守恒定律成立：

- ①物体不受外力作用；
- ②物体受外力作用，但所受外力的矢量和为零；
- ③物体受外力作用，所受外力的矢量和也不为零，但远小于物体间的相互作用力。

最后一种情况严格说只是动量近似守恒，但却是最常见的情况。例如，两个球在水平面上相互碰撞时，外力（地面的摩擦力）远小于球相互间的碰撞力；飞行的手榴弹爆炸时重力远小于爆炸力；大炮发射时，地面对炮身的阻力远小于炮身与炮弹的相互作用力，等等。也可以列举一些不满足动量守恒的例子，如，用肩部紧紧抵住步枪枪托进行射击，子弹和枪身组成的系统动量就不守恒等，来加深学生对问题的理解。

教学中要让学生明确：

①动量守恒定律的表达式实际上是一个矢量式。用来处理一维问题时，要选定一个正方向，化一维矢量运算为代数运算。在例题中，是取相互作用物体的一个已知的初速度方向为正方向。公式 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$ 中的运算符号均为加号，但速度本身的价值可正、可负。选定一已知方向为正，相反的速度则为负值。

②动量守恒定律指的是系统任一瞬时的动量矢量和恒定。

③应用动量守恒定律时，各物体的速度必须是相对同一惯性系的速度。一般以地球为参考系。

④动量守恒定律不仅适用于宏观系统，也适用于微观系统。

3 动量守恒定律（二）

（1）教材分析

前一节已涉及动量守恒在历史上是如何被提出的，本节则以一维情况下两个相互作用的小球为例，根据牛顿第二定律和第三定律，推导出具体的动量守恒的表达式，并由此给出动量守恒定律的一般表述。这样的处理，使学生对动量守恒定律的理解更深刻。

动量守恒定律并不是由牛顿运动定律导出的，而是一条独立的实验定律，教科书第1节“探究碰撞中的不变量”的设计目的就在于突出这一点。它比牛顿运动定律适用范围广泛，是自然界客观存在的基本规律之一。从物理学发展史看，动量守恒定律也要比牛顿运动定律发现得早。为避免给学生造成动量守恒定律“是牛顿运动定律的导出结果”的错误认识，强调动量守恒定律作为自然界普遍适用的实验定律的地位，教材专门安排了一段讲述动量守恒定律的普遍适用性和牛顿运动定律适用范围的局限性的内容。

（2）动量守恒定律（二）的教学

在推导动量守恒定律时要注意情景的设置，明确条件。进一步要明确牛顿运动定律和动量守恒定律不是等价的，动量守恒定律是一个独立的实验定律，它适用于目前为止物理学研究的一切领域，而牛顿运动定律只适用于宏观、低速的情形。应用动量守恒定律解决碰撞等问题时不涉及过程中的复杂受力情况，更为方便。

本节的例题进一步加深了对动量守恒定律的守恒条件和矢量性的理解。在分析例题时，一

要明确题目中的 v 、 v_1 、 v_2 均是指的速度矢量，包含大小和方向，二要明确内力远远大于外力时，动量守恒定律依然成立，三要明确教材上列出的动量守恒的方程是矢量方程，最后才选择正方向讨论 v_2 的方向。

例题还可以变化为：已知爆炸后与初速度的方向一致的那块弹片（质量为 $m+m_1$ ）的速度，求另一块弹片（质量为 m_1 ）的速度。将会在结论的讨论中发现 m_1 的速度有三种可能性：其方向仍然向前、为零或反方向。还可以用矢量图来反应这一情况。这类问题很典型。人从运动着的滑板车向前跳出，就属于这类问题。

“思考与讨论”中提出的问题，重在加深理解动量的改变量是末动量与初动量的矢量之差，也是矢量。虽然教学中不要求做这种计算，但是思考一下这个问题，会帮助学生加深对动量的矢量性的认识。

4 碰 撞

(1) 教材分析

回顾第1节的演示实验，提出了弹性碰撞的概念，进而提出非弹性碰撞的概念。通过“思考与讨论”，进行理论推导，从而解释了第1节的演示实验。明确对心碰撞和非对心碰撞的概念，进一步介绍了微观粒子的碰撞现象——散射。最后介绍了中子的发现过程，让学生进一步了解动量守恒定律的应用。

(2) 碰撞的教学

碰撞指的是物体间相互作用持续时间很短，而物体间相互作用力很大的现象。在这一现象中，一般满足内力远大于外力，故可以用动量守恒定律处理碰撞问题。明确了这些之后，可以向学生提出两个物体碰撞前后其能量是否守恒的问题。因为在处理碰撞问题过程中，学生往往关注的是动量及动量守恒定律的应用，而对系统的总能量是否守恒的问题容易忽视。我们知道，碰撞系统机械能是不会增加的。只有在弹性碰撞的情况下，碰撞系统机械能守恒。所以，对于弹性碰撞和非弹性碰撞的教学，应该发挥学生的主观能动性，让他们根据课本中“思考与讨论”的提示，自己分析列出方程，解出结果后，再做讨论。

还可以在第1节的演示实验的基础上，演示非弹性碰撞和完全非弹性碰撞，只要在两个钢球间粘上少量的橡皮泥或双面胶即可。

从对心碰撞到非对心碰撞，从一维动量守恒变为平面内的二维动量守恒，问题复杂了。在解释台球相碰问题的同时，也加深了学生的思维活动，同时也为介绍微观粒子的散射现象打下了基础。教材强调了物理学中研究的碰撞不仅包括宏观物体间的相互作用，而且包括微观粒子间的相互作用，教师可以举一些微观粒子相互作用的动量守恒的例子让学生分析讨论。

“科学足迹”中介绍了中子的发现，可以结合弹性正碰和“问题与练习”中的第5题来说明。中子的发现过程体现了科学的猜想（卢瑟福预言中子的存在）和科学精神（合作与交流）的重要性。还应该让学生明白，认识和掌握了规律之后，能够对人类的认识活动和生产活动产生的巨大推动作用。

5 反冲运动 火箭

(1) 教材分析

本节介绍了动量守恒定律在生产和科技方面的应用,通过生产、生活中的现象介绍反冲运动,通过演示实验加深对反冲运动的理解,最后介绍了火箭的飞行原理——反冲(动量守恒定律),这一节一方面体现了动量守恒定律的应用,另一方面也体现了从物理走向社会的新课程理念。

(2) 反冲运动的教学

做好反冲实验是教学中的重要环节。在做火箭的模拟实验时要注意安全。还可以让学生举出其他的反冲运动的例子,或者演示其他的反冲现象。教师在教学中可多做一些小实验,或结合参观、看电影、录像等活动使教学内容尽可能生动活泼些。

在做好实验的基础上,让学生理解反冲运动遵循的规律:反冲运动是系统内力作用的结果,虽然有时系统所受外力的矢量和不为零,但由于系统内力远远大于外力,所以系统的总动量是守恒的。此外,如果系统所受的外力的矢量和不为零,但在某一方向上不受外力或在该方向上所受外力的矢量和为零,则在该方向上的动量(即总动量在该方向上的分量)是守恒的。这种某方向上的动量守恒应用很广泛。还应说明动量守恒定律是对同一个惯性参考系成立的。

(3) 火箭的教学

让学生认识到火箭是反冲运动的重要应用,它是靠喷出气流的反冲作用而获得巨大速度的。火箭向前飞行所能达到的最大速度,也就是燃料烧尽时火箭获得的最终速度,跟什么因素有关呢?根据动量守恒定律,理论上的计算表明,最终速度主要取决于两个条件,一个是喷气速度,一个是质量比,即火箭起飞时的质量与燃料烧尽时的质量之比。喷气速度越大,质量比越大,火箭的最终速度也越大(忽略重力的影响)。

在介绍了火箭的原理、结构之后,可以介绍一下我国在航空、航天事业中的进步,介绍一下“神舟”系列飞船以及我国的登月计划,激发学生的学习热情。

6 用动量概念表示牛顿第二定律

(1) 教材分析

首先用动量的概念表示牛顿第二定律,进而得出动量定理,然后介绍动量定理的应用,解释一些生产、生活中的现象。

动量定理是一个重要的规律,它表示力在一段时间内连续作用的积累效果与物体动量变化之间的关系。课本虽然是在恒力作用的情况下由牛顿第二定律推导出动量定理的,但是,动量定理不仅适用于恒力情形,也适用于变力情形。正因为如此,动量定理在实际中有广泛的应用。尤其是在解决作用时间短、作用力大而且随时间变化的打击、碰撞等问题时,动量定理要比牛顿定律方便得多。在“科学漫步”中介绍汽车碰撞实验,一方面加深对动量定理的理解,另一方面对学生进行产品质量与安全的教育。

(2) 动量定理的教学

在动量定理的推导过程中,首先要建立一个情景,再运用加速度的定义和牛顿第二定律进

行推导。要注意对力的冲量这个概念的介绍和理解,加强对动量定理矢量性的理解。要认识到动量定理和牛顿第二定律的实质是相同的,但二者也有一些区别。动量定理反映了合力在时间上的积累效果——改变物体的动量,牛顿第二定律反映了合力的瞬时作用效果——使物体产生加速度。

动量是矢量,它的方向就是速度的方向,冲量也是矢量,但它的方向不能笼统地说是力的方向。只有在作用时间内,力的方向不变时,冲量的方向才是力的方向。因为一般情况下,冲量矢量是在作用时间内,力矢量对这段时间的积分,而不是简单的力和力的作用时间的乘积。如果在作用时间内,力的方向不断变化,冲量的方向可能跟任何时刻力的方向都不相同。注意动量定理中的冲量是指合力的冲量, F 是指合力。

教材中给出的动量定理的表达式是矢量式,在用来处理一维问题时,需选定一个正方向,以简化成代数运算。在教材的例题中,以初速度的方向为正方向,平均作用力 F 的方向和末动量的方向都以初速度的方向为标准。在分析例题时要明确研究对象(垒球)和研究的物理过程中的初、末态,加深对动量定理矢量性的理解。

动量定理在工农业生产和日常生活中有广泛应用。用动量定理来解释生产、生活中的现象,应紧扣在某一物理过程中物体的动量改变量、作用时间以及作用力,可以做一些演示实验来加深理解。还可以对汽车安全带、安全气囊和交通规则进行介绍,加强学生的安全意识,提高他们的科学素质。这也很好体现了理论与实际相结合,从物理走向社会的理念。还可以列举分析一些应用实例,开阔学生眼界,活跃思维,培养他们运用所学知识来分析和解决实际问题的能力。

通过“科学足迹”,理解动量和动能、动量定理和动能定理的区别。在学生做过一定数量练习后,引导学生将所学知识加以整理、比较。在学完动量守恒定律的应用以后,可引导学生将所学的牛顿运动定律、动量定理、动量守恒定律和动能定理加以比较,教师可启发学生从定律或定理的内容、研究对象、适用条件、分析问题的基本步骤和方法等方面去讨论。

三、问题与练习解答

1 问题与练习

1. 解:在碰撞中2球的质量与速度的乘积的增加量为 $0.1 \times 9 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,1球的质量与速度的乘积的减小量为 $0.3 \times (8-5) \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。

可见,在这次碰撞中2球增加的质量与速度的乘积与1球所减小的质量与速度的乘积相等。

2. 解:从打点计时器打出的纸带可以看出,A车在碰撞前是做匀速直线运动,其速度大小为

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{3T} = \frac{5.4 \times 10^{-2}}{3 \times 0.02} \text{ m/s} = 0.9 \text{ m/s}$$

A车和B车碰后连在一起做匀速直线运动的速度为

$$v' = \frac{\Delta x'}{\Delta t} = \frac{\Delta x'}{5T} = \frac{4.48 \times 10^{-2}}{5 \times 0.02} \text{ m/s} = 0.448 \text{ m/s}$$

碰撞前两车的总动量

$$m_A v = 0.6 \times 0.9 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.54 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

碰撞后两车的总动量

$$(m_A + m_B) v' = (0.6 + 0.6) \times 0.448 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \approx 0.54 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

说明：教材中给出的小车质量有误。两个小车的质量应相同，即小车 B 的质量也为 0.6 kg。这个疏漏会在下次修订时订正。

2 问题与练习

1. 解：

(1) 初动量为 $p_0 = mv_0 = 2 \times 3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。

末动量为 $p = mv = 2 \times 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。

因此，动量增大为原来的 2 倍。

初动能为 $E_{k0} = \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 3^2 \text{ J} = 9 \text{ J}$ 。

末动能为 $E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 6^2 \text{ J} = 36 \text{ J}$ 。

因此，动能增大为原来的 4 倍。

(2) 动量变化了，动能没有变化。

取向东为正方向，则物体的末速度为 $v' = -3 \text{ m/s}$ ，动量变化量为

$$\Delta p = m v' - m v = [2 \times (-3) - 2 \times 3] \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

负号表示动量改变量的方向与正方向相反，即向西。

(3) 取向东为正方向，则 B 物体的速度为 $v_B = -4 \text{ m/s}$ ，两物体动量之和为

$$p = m_A v_A + m_B v_B = [2 \times 3 + 3 \times (-4)] \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

动能之和为

$$E_k = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = \left[\frac{1}{2} \times 2 \times 3^2 + \frac{1}{2} \times 3 \times 4^2 \right] \text{ J} = 33 \text{ J}$$

小结：动量是矢量，单位是千克米每秒；动能是标量，单位是焦耳。运算法则不同，动量遵循矢量的平行四边形定则，动能遵循代数加减法则。

2. 解：因为在光滑冰面上的摩擦力可以忽略，因此可以认为甲、乙两同学组成的系统所受外力的矢量和为零，满足动量守恒定律的条件。所以，甲推乙后，他们的总动量仍为零。甲、乙两人各自的动量大小相等、方向相反，矢量和为零。

设甲、乙的速率分别为 $v_{\text{甲}}$ 和 $v_{\text{乙}}$ ，取甲的运动方向为正方向，根据动量守恒定律，

$$0 = m_{\text{甲}} v_{\text{甲}} + m_{\text{乙}} (-v_{\text{乙}})$$

$$\frac{v_{\text{甲}}}{v_{\text{乙}}} = \frac{m_{\text{乙}}}{m_{\text{甲}}} = \frac{45}{50} = 0.9$$

3. 解：由于在 A、B 的运动过程中，除了两者之间的相互作用力，其他的力可以忽略，即 A、B 组成的系统所受外力的矢量和为零，满足动量守恒定律的条件。取初速度方向为正方向，根据动量守恒定律，

$$\begin{aligned} m_A v_A + m_B v_B &= m_A v'_A + m_B v'_B \\ v'_A &= \frac{m_A v_A + m_B v_B - m_B v'_B}{m_A} \\ &= \frac{5 \times 9 + 2 \times 6 - 2 \times 10}{5} \text{ m/s} \\ &= 7.4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

A 的速度大小为 7.4 m/s, 方向与初速度方向相同。

4. 解: 因为木块在光滑水平桌面上, 所受的摩擦力为零, 且子弹与木块的相互作用属于系统的内力, 因此整个系统所受外力的矢量和为零, 满足动量守恒定律的条件。

取子弹的初速度方向为正方向。

若子弹留在木块中, 已知子弹的质量 $m_1 = 1.0 \times 10^{-2}$ kg, 初速度 $v_1 = 300$ m/s, 木块的质量 $m_2 = 2.4 \times 10^{-2}$ kg, 初速度 $v_2 = 0$, 由动量守恒定律,

$$\begin{aligned} m_1 v_1 &= (m_1 + m_2) v \\ v &= \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} \\ &= \frac{1.0 \times 10^{-2} \times 300}{1.0 \times 10^{-2} + 2.4 \times 10^{-2}} \text{ m/s} \\ &= 88.2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

若子弹穿过木块后, 末速度 $v'_1 = 100$ m/s, 由动量守恒定律,

$$\begin{aligned} m_1 v_1 &= m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \\ v'_2 &= \frac{m_1 v_1 - m_1 v'_1}{m_2} \\ &= \frac{1.0 \times 10^{-2} \times (300 - 100)}{2.4 \times 10^{-2}} \text{ m/s} \\ &= 83.3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3 问题与练习

1. 答: 他们各自的动量变化大小相等, 方向相反, 总动量仍为零。服从动量守恒定律。

2. 解:

(1) 运动员做匀加速直线运动的加速度为 $a = \frac{v}{t} = \frac{6}{2} \text{ m/s}^2 = 3 \text{ m/s}^2$ 。由牛顿第二定律, 运动员受到的水平作用力为 $F = ma = 60 \times 3 \text{ N} = 180 \text{ N}$ 。

(2) 由牛顿第三定律, 运动员对船的水平作用力的大小也为 180 N, 方向与运动员受到的水平作用力的方向相反。

(3) 船获得的加速度大小为 $a' = \frac{F'}{m} = \frac{180}{120} \text{ m/s}^2 = 1.5 \text{ m/s}^2$ 。

2 s 末船获得的速度大小为 $v = a't = 1.5 \times 2 \text{ m/s} = 3 \text{ m/s}$, 方向与人运动的方向相反。

(4) 不考虑水的阻力, 运动员和船组成的系统所受外力的矢量和为零, 总动量守恒。取人运动的方向为正方向, 根据动量守恒定律,

$$\begin{aligned} 0 &= m_1 v_1 + m_2 v_2 \\ v_2 &= -\frac{m_1 v_1}{m_2} \\ &= -\frac{60 \times 6}{120} \text{ m/s} \\ &= -3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

负号表示船的速度方向与人的速度方向相反。

(5) 由于应用动量守恒定律解决问题时, 只涉及过程始末两个状态, 与过程中的细节无关, 因此即使运动员与船的相互作用力是变力, 船的速度仍为第 (4) 小题计算的值。

(6) 根据动量守恒定律,

$$\begin{aligned} 0 &= m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \\ v'_2 &= -\frac{m_1 v'_1}{m_2} \\ &= -\frac{60 \times 3}{120} \text{ m/s} \\ &= -1.5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

负号表示此时船的速度方向与人的速度方向相反。

3. 答：研究对象是人（包括铁锤）和平板车组成的系统。用锤打车，是人、车系统的内力作用。在光滑水平面上，系统所受外力的矢量和为零，所以系统的总动量守恒。人和车的初动量为零。如果在锤的连续敲击下，平板车能持续向右行驶，则系统的总动量将不为零，这违反了动量守恒定律，因此是不可能的。

根据动量守恒定律，把锤头打下去时，锤头向右运动，车就向左运动；举起锤头时，锤头向左运动，车就向右运动。用锤头连续敲击时，车只是左右运动，一旦锤头不动，车就停下来。

4. 解：A 以速度 v 向静止的 B 飞去时，A 的速度会减小，B 的速度会增大，二者之间的距离缩小。当它们的距离最近时，二者速度相同，设这个速度为 v' ，由动量守恒定律，

$$\begin{aligned} m_A v &= (m_A + m_B) v' \\ m_A v &= (m_A + 4m_A) v' \\ v' &= 0.2 v \end{aligned}$$

5. 解：取机车和 15 节车厢为系统，所有的碰撞过程中系统所受外力的矢量和为零，故动量守恒。根据动量守恒定律，得

$$\begin{aligned} m v_0 &= (m + 15m) v' \\ v' &= \frac{v_0}{16} = \frac{0.8}{16} \text{ m/s} = 0.05 \text{ m/s} \end{aligned}$$

6. 解：取甲物体碰撞前的速度方向为正方向。碰撞前， $v_{\text{甲}} = 6 \text{ m/s}$ ， $v_{\text{乙}} = -2 \text{ m/s}$ ；碰撞后， $v'_{\text{甲}} = -4 \text{ m/s}$ ， $v'_{\text{乙}} = 4 \text{ m/s}$ 。由动量守恒定律得

$$\begin{aligned} m_{\text{甲}} v_{\text{甲}} + m_{\text{乙}} v_{\text{乙}} &= m_{\text{甲}} v'_{\text{甲}} + m_{\text{乙}} v'_{\text{乙}} \\ \frac{m_{\text{甲}}}{m_{\text{乙}}} &= \frac{v'_{\text{乙}} - v_{\text{乙}}}{v_{\text{甲}} - v'_{\text{甲}}} = \frac{4 - (-2)}{6 - (-4)} = \frac{3}{5} \end{aligned}$$

7. 解：设子弹射入沙袋前的速度为 v_0 ，射入后子弹和沙袋的共同速度为 v_1 ，沙袋质量①为 m_1 。在子弹打沙袋的过程中，根据动量守恒定律，

$$m v_0 = (m_1 + m) v_1$$

子弹和沙袋沿圆弧向上摆至最高点的过程，由机械能守恒定律，

$$\frac{1}{2} (m_1 + m) v_1^2 = (m_1 + m) g l (1 - \cos \theta)$$

联立上面两式，解得

$$v_0 = \frac{m_1 + m}{m} \sqrt{2 g l (1 - \cos \theta)}$$

① 教科书中沙袋质量用字母 M 表示，这里改为 m_1 。

4 问题与练习

1. 解: 以质量为 600 g 的滑块的初速度 v_1 的方向为正方向, 由动量守恒定律,

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v'$$

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{600 \times 15 + 400 \times (-10)}{600 + 400} \text{ cm/s} = 5 \text{ cm/s}$$

碰后滑块的速度大小为 5 cm/s, 方向与质量为 600 g 的滑块的初速度方向相同。

2. 解: 若 A 和 B 是弹性碰撞, 则由动量守恒和机械能守恒可以解得 B 获得的最大速度为

$$v_{\max} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v = \frac{2m}{m + 3m} v = 0.5v$$

若 A 和 B 是完全非弹性碰撞, 则碰后二者连在一起运动, B 获得最小的速度, 由动量守恒定律,

$$m_1 v = (m_1 + m_2) v_{\min}$$

$$v_{\min} = \frac{m v}{m + 3m} = 0.25v$$

B 获得的速度 v_B 应满足 $v_{\min} \leq v_B \leq v_{\max}$, 即 $0.25v \leq v_B \leq 0.5v$ 。

可见, B 球的速度可以是 $0.4v$, 不可能是 $0.2v$ 和 $0.6v$ 。

3. 解: 由于碰撞是弹性的, 根据动量守恒和机械能守恒可以解得碰后二者的速度分别为

$$\text{氦核: } v'_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v = \frac{4m - m}{4m + m} v = \frac{3}{5} \times 10^3 \text{ m/s} = 6 \times 10^2 \text{ m/s},$$

$$\text{质子: } v'_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v = \frac{2 \times 4m}{4m + m} v = \frac{8}{5} \times 10^3 \text{ m/s} = 1.6 \times 10^3 \text{ m/s}.$$

4. 解: 中子和原子核的碰撞可以看成是弹性碰撞, 设中子的质量为 m_1 , 碰前速度为 v , 方向为正方向, 原子核的质量为 m_2 , 碰前可以认为是静止的, 则碰后中子的速度为 $v' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v$ 。

由于中子的质量一般小于原子核的质量, 因此 $|v'| = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v = \left(1 - \frac{2m_1}{m_1 + m_2}\right) v$ 。可见, m_2 越小, $|v'|$ 越小。故应选用质量较小的原子核来降低中子的速率。

5. 解: 设未知粒子的质量为 m , 碰前其速度为 v , 它与氢和氮原子核的碰撞都是弹性的, 所以碰后氢原子核的速度为

$$v_H = \frac{2m}{m + m_H} v$$

氮原子核的速度为

$$v_N = \frac{2m}{m + m_N} v = \frac{2m}{m + 14m_H} v$$

两式联立, 解得未知粒子的质量为 $m = 1.16 m_H$ 。

5 问题与练习

1. 解: 喷气后, 宇航员做匀速直线运动的速度为

$$v_1 = \frac{\Delta x}{t} = \frac{45}{10 \times 60} \text{ m/s} = 0.075 \text{ m/s}$$

设喷气前总质量为 m_1 , 喷气过程喷出的气体质量为 m_2 , 取喷气后宇航员的速度方向为正方向, 由动量守恒定律,

$$0 = (m_1 - m_2) v_1 + m_2 (-v_2)$$