

顶尖系列

① ② ③ ④ ⑤
自 主 学 习 先 锋

高中步步高

顶尖物理

选修3-5

山东科技版

福建人民出版社

编写说明

“高中步步高”根据课程标准，配合各版本教材进行编写。丛书以课为训练单位，以单元为测试单位建构编写体系，符合教学规律，体现课改精神。丛书不仅关注学生夯实基础知识、基本技能，还关注学生学习的自主性、探究性、合作性；不仅关注培养学生学会学习、学会反思、学会自我激励，还关注培养学生学习过程中情感、态度和价值观的形成。

为了使本丛书在理念上与最新教改理念、精神相吻合，我们在本套丛书的编写过程中，坚持“三参与”原则，邀请有造诣的课程研究专家参与，深谙当前基础教育课程改革的教研员参与和具有丰富教学实践经验的一线特、高级教师参与，从而使本丛书在质量上得到充分保证。

“高中步步高”按章（或单元）进行编写，每一章（或单元）一般设：“学习目标”、“要点透析”、“方法指津”、“自我评估”、“探究应用”、“拓展视野”、“归纳整合”、“单元检测卷”等栏目。

“学习目标”是根据各章（或单元）应达到的目标提出具体要求。“要点透析”是以课程标准为基准，以相应版本的教材为落脚点，较详细地分析本章（或单元）内容的重点、难点。“方法指津”通过对精选的经典题目的解析和点拨，拓展学生的思路，提升发散思维能力，掌握科学的学习方法。“自我评估”在题目设计上，特别注重吸收全国各地出现的最新题型，同时注重知识的现代化，以激活学生已有的知识、经验和方法。题目既注重基础性，又强调自主性、参与性、实践性、合作性。“探究应用”特别注重吸收密切联系生产、生活实际的有趣题目，加强探究性习题的训练。“拓展视野”对本章（或单元）知识进行拓展，通过对一些典型的探究型、开放型的题目进行解析和点拨，使学生对章（或单元）内、学科内、学科间知识结构的关系得以把握和拓展。“归纳整合”以树形图、方框图或表格等形式对本章（或单元）知识进行梳理、归纳、整合，使学生对整章（或单元）知识间的逻辑关系有个清楚的认识。经过系统的训练后，通过“单元检测卷”与“模块检测卷”对所学内容进行评价与总结。由于不同学科及不同版本的教材各有特点，因此，上述栏目及其写法允许根据实际需要适当调整，灵活掌握。“检测卷”和“部分参考答案”一般做成活页的形式，以方便使用。

“高中步步高”实现了引导学生从预习到课外阅读全程自主学习的编写理念。我们在栏目设置上创设了科学的整合模式，将“知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观”三维目标层次地融入书中，激发学生的自主性，使学生的自主学习效果达到最优化，促进学生的全面发展。

本丛书在编写过程中引用了一些作者的作品，在此，对这些作者表示感谢，对一部分未署名的作品的作者表示歉意，并请与我们联系。由于编写时间仓促，书中难免存在不足之处，恳望读者不吝赐教，以便我们今后不断努力改进。



目录

C O N T E N T S

第1章 动量守恒研究

第1节 动量定理/1

第2节 动量守恒定律/7

第3节 科学探究——一维弹性碰撞/11

归纳整合/16

第2章 原子结构

第1节 电子的发现与汤姆孙模型/20

第2节 原子的核式结构模型/23

第3节 玻尔的原子模型/25

第4节 氢原子光谱与能级结构/28

归纳整合/30

第3章 原子核与放射性

第1节 原子核结构/34

第2节 原子核衰变及半衰期/37

第3节 放射性的应用与防护/40

归纳整合/44

第4章 核能

第1节 核力与核能/47

第2节 核裂变/50

第3节 核聚变/53

第4节 核能的利用与环境保护/57

归纳整合/60

第5章 波与粒子

第1节 光电效应/64

第2节 康普顿效应/68

第3节 实物粒子的波粒二象性/72

第4节 “基本粒子”与恒星演化/72

归纳整合/76

活页部分

顶尖物理(选修3-5)检测卷(一)/1

顶尖物理(选修3-5)检测卷(二)/5

顶尖物理(选修3-5)检测卷(三)/9

顶尖物理(选修3-5)检测卷(四)/13

顶尖物理(选修3-5)检测卷(五)/17

顶尖物理(选修3-5)检测卷(六)/21

顶尖物理(选修3-5)检测卷(七)/25

顶尖物理(选修3-5)检测卷(八)/29

部分参考答案

第1章 动量守恒研究

第1节 动量定理



学习目标

- ▶ 理解动量的概念，知道冲量的定义，知道动量、冲量都是矢量。
- ▶ 知道动量的变化也是矢量，会正确计算一维的动量变化。
- ▶ 理解动量定理的确切含义和表达式，知道动量定理也适用于变力。
- ▶ 能从牛顿运动定律和运动学公式推导动量定理表达式。
- ▶ 用动量定理解释有关现象和处理有关的问题。
- ▶ 渗透物理学研究方法的教育，培养学生的推理能力和理论联系实际的能力。



要点透析

1. 在描述物体运动的物理量中，有了动能为什么还要有动量？

动能对运动的描述是不够全面的，它主要通过能量的方式表明物体运动的一些特性，但它却少了运动的一个基本特征——运动方向性。动量从更具动力学特性的角度来描述物体的运动，这个物理量与动能一样，具有物体固有属性和运动的物理量，表达方式也相似，但它也能描述物体运动特征运动方向。两个概念的学习能使我们全面理解运动与力的关系，拓展思路和对一个问题多角度思考和多解决方式的思维训练。

2. 如何正确计算动量的变化？一条直线上的动量变化的方向向哪里？

动量的变化计算是相互作用后的动量减去相互作用前的动量。但动量是矢量，动量的变化也是矢量，它的计算遵循矢量运算的规则，就是平行四边形定则；在一条直线上的特殊情况计算，在选定一个正方向后，动量的运算可以简化为代数运算。

一条直线上的动量变化的方向，是根据代数式运算结果的正负来决定，正值表示与选定的正方向一致，负值表示与选定的正方向相反。

3. 比较冲量与功的异同

功是力在空间上的积累效果，它的计算是 $F \cdot s$ ，这个累积效果是量度物体能量变化的多少，合外力的功量度物体动能变化的多少。

冲量是力在时间上的积累效果，它的计算式是 $F \cdot t$ ，这个累积效果引起物体动量的变化，包括大小和方向。合外力的冲量量度物体动量变化，包括大小和方向。

4. 学会推导动量定理的数学表达式

设一个质量为 m 的物体，初速度为 v_1 ，初动量 $p_1 = mv_1$ ，在合力 F 的作用下，经过一段时间 t ，速度变为 v_2 ，末动量 $p_2 = mv_2$ （图 1.1-1）。物体加速度

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

代入牛顿第二定律得

$$F = ma = m \frac{v_2 - v_1}{t}$$

上式形变得:

$$Ft = mv_2 - mv_1$$

这就是动量定理表达式。

5. 如何理解物体所受合外力的冲量等于物体动量的变化?

力的作用效果之一是改变物体的运动状态,这时候的力是指合外力,也就是合外力作用一段时间后物体的运动状态(速度)发生改变;这个作用效果的时间累积就是冲量,对应的变化正是动量的变化。



方法指津

例1 对一定质量的物体而言,下列关于动量和动能概念的说法中,正确的是哪些?()

- A. 物体的动能不变,则其动量也一定不变
- B. 物体的动量不变,则其动能也不变
- C. 物体的动能不变,则说明物体的运动状态没有改变
- D. 物体的动能不变,说明物体所受的合外力一定不变

解析 动能和动量都是和描述物体运动状态的速度有关的物理量。动量是物体质量和速度的乘积,它是矢量,因此在计算物体的动量及其改变量时,要特别注意它的方向。动能也表示物体运动的量,但它是标量,只有大小。对一个质量为 m 、速度为 v 的运动物体,若设其动量为 p 、动能为 E_k ,则有

$$p = mv \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{因此可得 } p = \sqrt{2mE_k} \quad E_k = \frac{p^2}{2m}$$

根据上述结论不难看出,当物体的动能一定时,动量的大小由物体的质量决定。质量大的动量也大;但是,由于动量是矢量,动能是标量,当物体的动能一定时,即便物体的质量不变,其动量的大小也不变,但方向可能发生变化。如做匀速圆周运动的物体,设动能和质量都不变,但由于其运动的方向始终在改变,动量的方向也是变化的。相反的情况,当物体的动量一定时,动能的大小也与物体的质量有关,质量大的物体动能反而小。因此,对一定质量的物体,动量不变时,其动能也一定不变。所以,选项 B 是正确的。

评注 动量和动能都是表述物体运动物理量,善于理解它们之间的联系和区分是本节的重点。这个例题将两个物理量作比较,对于相同与不同等关系做了叙述,同学要理解两个物理量的确切物理意义。这一例题,说明动量和动能这两个物理量性质不同,对运动描述的动能和作用也有不同。

例2 如图 1.1-2 所示,质量为 m 的小物体从高为 h 、倾角为 α 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 根据受力分析的所求的重力、弹力和合力大小依次是

$$mg、mg\cos\alpha \text{ 和 } mg\sin\alpha,$$

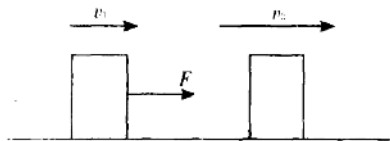


图 1.1-1

由牛顿第二定律和运动学公式可得:

$$\text{力的作用时间都是 } t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \cdot \frac{1}{\sin\alpha},$$

所以它们的冲量依次是: $\sqrt{\frac{2h}{g}} \cdot \frac{mg}{\sin\alpha}$ 、 $\sqrt{\frac{2h}{g}} \cdot \frac{mg\cos\alpha}{\sin\alpha}$ 和

$$\sqrt{\frac{2h}{g}}mg$$

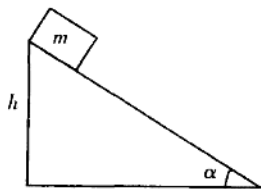
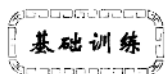


图 1.1-2

评注 本题注重对冲量的计算,从计算的结果同学们也可以根据各力的冲量与合外力冲量的矢量关系,检验物体所受各力的冲量与合外力的冲量之间的关系,是不是也满足平等四边形定则。还要注意做功与冲量不一样,特别该过程中弹力虽然不做功,但对物体有冲量。



自我评估



基础训练

1. 从同样高度落下的玻璃杯,掉在水泥地上容易打碎,而掉在草地上不容易打碎,其原因是 ()。
 - A. 掉在水泥地上的玻璃杯动量大,而掉在草地上的玻璃杯动量小
 - B. 掉在水泥地上的玻璃杯动量改变大,掉在草地上的玻璃杯动量改变小
 - C. 掉在水泥地上的玻璃杯动量改变快,掉在草地上的玻璃杯动量改变慢
 - D. 掉在水泥地上的玻璃杯与地面接触时,相互作用时间短,而掉在草地上的玻璃杯与地面接触时间长
2. 在距地面高为 h , 同时以相等初速 v_0 分别平抛、竖直上抛、竖直下抛一质量相等的物体 m , 当它们从抛出到落地时,比较它们的动量的增量 Δp , 有 ()。
 - A. 平抛过程较大
 - B. 竖直上抛过程较大
 - C. 竖直下抛过程较大
 - D. 三者一样大
3. 质量为 m 的物体沿直线运动,只受到力 F 的作用。物体受到的冲量 I 、位移 s 、速度 v 和加速度 a 随时间变化的图象分别如图 1.1-3 所示,其中不可能的是 ()。

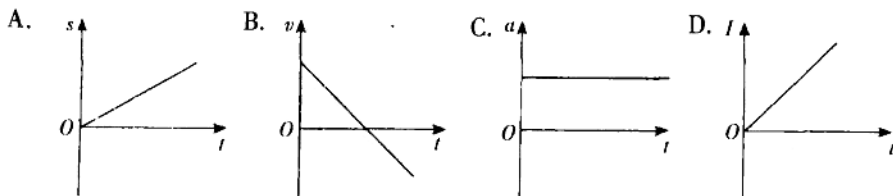


图 1.1-3

4. 质量为 50 kg 的特技演员从 5 m 高墙上自由下落,着地后不再弹起。在他双脚着地到下蹲到最低点过程中,假如他能承受的地面支持力最大为体重的 4 倍,则此过程中他受到的最大合力不应超过_____ N,为安全计,从他与地面接触开始到下蹲到最低点过程的时间最少不应少于_____ s。(取 $g=10 \text{ m/s}^2$)
5. 一只乒乓球斜向入射到台面后又被台面斜向弹出,列举三个在这一过程中改变乒乓

球动量的力有_____、_____、_____。

6. 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_____。

更进一步

7. 如图 1.1-4 所示, 两个质量相等的物体, 在同一高度沿倾角不同的两个光滑斜面由静止自由滑下到达斜面底端的过程中, 相同的物理量是 ()。

- A. 重力的冲量相同
B. 弹力的冲量相同
C. 合力的冲量相同
D. 刚到达底端的动量相同
E. 刚到达底端时的动量的水平分量相同
F. 以上所列过的几个量都不同

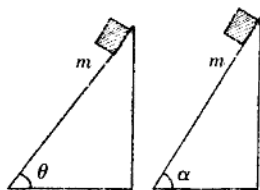


图 1.1-4

8. 把质量为 10 kg 的物体放在光滑的水平面上, 如图 1.1-5 所示, 在与水平方向成 53° 角的力 $F=10\text{ N}$ 作用下, 从静止开始运动, 在 2 s 内力 F 对物体的冲量为多少? 物体获得的动量是多少?

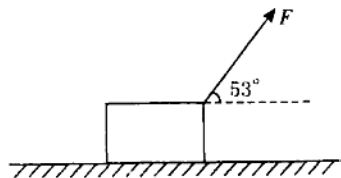


图 1.1-5

探究应用

某同学在初中做惯性实验中, 要把压在木块下的纸抽出来。第一次他将纸迅速抽出, 木块几乎不动; 第二次他将纸较慢地抽出, 木块反而被拉动了。利用高中所学的知识说明这是为什么?

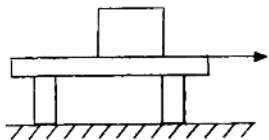


图 1.1-6

运动度量方法的历史纷争

1. 纷争的缘由

在17~18世纪,由于“力”的概念还不能完全确定,对力的各种效应以及与之相应的各个物理量的意义和使用范围也是不清楚的,因而引发了物理学史上著名的笛卡儿学派和莱布尼茨学派关于力的正确表示方法的一场旷日持久的争论。当时,人们常把力同现在所说的力矩、动量、功、动能等物理量相混淆,习惯于把外加的力称为“运动的力”,把“物体的惯性”称为“物质固有的力”、“阻抗的力”,甚至把“加速度”称为“加速力”,并出现过把“运动的力”与碰撞、向心力相提并论。这种概念上的混乱状况,普遍存在于伽利略、牛顿时期的力学著作中。

2. 笛卡儿学派的“动量”

所谓“运动的力”,就是指一个正在运动的物体所具有的使另一物体运动的能力,如推开物体或迫使它向前运动,或者运动物体克服障碍和阻力的能力。那么,这个力决定于哪些量呢?最初,伽利略就认识到“推动者或阻挡者的力(动量)并不是一个简单的概念,它是由两个共同决定运动量度的观念所决定。其一是重量(质量),其二是速度”。笛卡儿在研究碰撞的过程中,认为碰撞是最基本的运动,并从运动量守恒的基本思想出发,沿袭了伽利略的观点,提出应该把物体的质量和速度的乘积作为“力”或物体“运动多少”的量度。1687年,牛顿在他的《自然哲学的数学原理》中明确提出了动量的定义,并且通过他所总结的运动定律,提出在物体的相互作用中,动量这个物理量反映着物体运动变化的客观效果。这样,把动量作为运动的量度,一度得到了科学界的普遍承认。

3. 莱布尼茨的“动能”

1686年,莱布尼茨在他的论文中,对笛卡儿学派的这个量度方法提出了批评。他认为:“力必须由它所产生的效果来衡量,例如用它能将一个重物举起的高度来衡量……而不是用它传给另一物体的速度来衡量。”他由此得出,应该用量值 mv^2 而不是用 mv 来量度物体“运动的力”。

莱布尼茨论证的要点是:当质量为 m 的物体从高 h 处降落下来时,他就获得了“运动的力”,如果使它的运动方向反过来,它就能重新上升到高 h 处;这个同样的力将能把质量 $\frac{m}{n}$ 的物体送到高 nh 处。这两个物体降落下来时,获得的“运动的力”必然相等。但是,根据伽利略的落体定律,如果第一个物体下落到地面时的速度为 v ,则第二个物体的速度为 $\sqrt{nv}$,即两物体落下时获得的运动量不相等。而按照莱布尼茨的量度,上述两物体落下时则有相等的运动量。莱布尼茨由此得出结论:笛卡儿提出的运动的量度是同落体定律相矛盾的,所以 mv 不适宜充作运动的量度, mv^2 才是运动的真正量度。

后来根据科里奥利的建议以 $\frac{1}{2}mv^2$ 代替 mv^2 ,这就是后来所说的运动物体的动能。莱布尼茨也看到了笛卡儿提出的运动的量度在某些情况下是适用的,因此在1696年莱布尼茨指出,“力”有两种,一种是“死力”,它存在于相对静止的物体间,如吊绳的拉力、桌面的支撑力等。“死力”可用物体的质量和该物体由静止状态转入运动状态时所获得的速度的乘积

来量度,所以,动量是“死力”的量度;另一种是“活力”, $\frac{1}{2}mv^2$ 就是物体的“活力”,正是由于自身具有这种“活力”,物体才能运动而永不静止。在自然界中真正守恒的东西正是总的“活力”。

莱布尼茨也看到,在有些情况下,如非完全弹性碰撞中“活力”会减少,但他认为,实际上“活力”并没有损失,而只是被物体内部的微小粒子吸收了,微粒的活力增加了。这个思想是深刻的,可惜他没有进一步的说明。莱布尼茨的发现是有重大意义的。第一,他提出的两种运动量度的矛盾,打破了把 mv 看作是运动的唯一量度的传统观念,促进了关于运动的量度问题的研究;第二,他所推崇的新的物理量 $\frac{1}{2}mv^2$,其实已超出了对机械运动进行研究的范围。

4. 达朗贝尔的“判决”

两种量度的争论,持续了半个世纪之久,不少著名的数学家、物理学家都参加到了争论中去。

1743年,法国力学家达朗贝尔在他的著作《动力学论》的序言里,指出了两种量度的等价性,宣布对争论作出“最后的判决”。他指出,“运动物体的力”只能用物体克服障碍的能力来表示。他把“障碍”分为三类,第一类是“不能克服的障碍”,它“完全消灭一切运动”,所以无论物体的动量或活力如何变化,都不能在这种障碍上表现出来,“它们不能以任何尺度来给力下定义”;第二种是“其阻抗足以使运动停止(而且是在一瞬间做到这一点)的障碍”,即平衡的情况。这时物体克服障碍的能力和物体的动量成正比,所以动量可用来作为“运动物体的力”的量度;第三种障碍是逐渐使运动停止的减速运动情况,“作用是由直到运动完全消失时为止所通过的那段距离表现出来的,而这种作用与速度平方成正比”,因而,活力可作为“运动物体的力”的量度。由此达朗贝尔作出结论:“如果力的量度在平衡状态中和在减速运动中有所不同,这又有什么不方便呢?”这个“判决”,指出了两种量度都有效。达朗贝尔实际上已经发现,正是由于“力”还没有形成一种清晰的概念,所以才产生了这场争论。但他在《动力学论》里轻率地将这一场争论说成是“毫无意义的咬文嚼字的争吵”,因此,他并没有真正地解决问题。表面看来,达朗贝尔的观点是一种模棱两可的态度,但仔细分析,还是具有一定的理论价值的。在这里,达朗贝尔模糊地谈到了动量定理——动量的变化和力的作用时间有关;动能定理——活力的变化与物体运动的距离有关。

5. 恩格斯的科学“量度”

19世纪中叶以后,自然科学家们仍然没有从运动量度的这场争论的混乱中完全摆脱出来。恩格斯根据自然科学的最新成就,尤其是能量守恒与转化定律的发现,提示了两种量度的本质区别。

恩格斯指出,在不发生机械运动“消失”而产生其他形式的运动的情况下(如简单机械在平衡条件下的运动传递,完全弹性碰撞的运动传递等),运动的传递和变化都可以用动量 mv 去量度,就是说,“ mv 表现为简单移动的,从而是持续的机械运动的量度”;但当发生了机械运动“消失”而其他形式的运动产生,即机械能和其他形式的能(包括势能、内能、电磁能、化学能)相互转化的过程中、运动的传递和变化都应以 $\frac{1}{2}mv^2$ 去量度。在这里, $\frac{1}{2}mv^2$ 表现为已经消失了的机械运动的量度。这样,恩格斯便得出结论:机械运动确实有两

种量度,每一种量度适用于某个界限十分明确的范围之内的一系列现象。一句话,动量(mv)是以机械运动来量度的机械运动。动能($\frac{1}{2}mv^2$)是以机械运动转化为定量的其他形式的运动的能力来量度的机械运动。

第2节 动量守恒定律

学习目标

- ▶理解动量守恒定律的确切含义和表达式,知道定律的适用条件和适用范围。
- ▶会用动量定理和牛顿第三定律推导出动量守恒定律。
- ▶能运用动量守恒定律解释有关的现象。会处理碰撞、爆炸之类两个物体相互作用的问题(只限一维的情况)。
- ▶知道动量守恒定律的普遍意义,并通过动量守恒定律体会自然界的和谐与统一。
- ▶培养实事求是的科学态度和严谨的推理方法。
- ▶使学生知道自然科学规律发现的重大现实意义以及对社会发展的巨大推动作用。

要点透析

1. 能量有守恒的,动量也有守恒的,动量在什么情况下会守恒?

守恒就是总量不变,为此必须有研究系统,也就是必须存在相互作用的两个(或多个)物体,我们将相互作用的两个(或多个)物体称为研究系统。

理论猜想:根据动量定理,一个物体在受到合外力的作用下,经过一段时间物体的动量会发生变化;如果我们将一个系统当成一个整体(相当于一个物体),如果这个系统受到外力的作用一段时间,它的动量也会发生变化的。因此,要使系统的总动量不变,则这个系统不受外力作用或所受的合外力必须为零。

等效条件还有外力的总冲量的矢量和为零(实验可以证明推理是否正确)。

2. 阅读教材中的推导过程,总结用牛顿第三定律推导动量守恒定律的关键点

- (1) 系统最好选择两个同一直线上运动的物体,在推导过程不用考虑矢量的复杂问题;
- (2) 相互作用的力是相对于外力很大(时间很短)的内力;如果是用结合运动学推导的,相互作用力是与运动方向在一条直线上的恒力;
- (3) 物体运动最好是在光滑的水平面上的,这样才不用考虑重力和摩擦力的作用。

3. 火箭为什么能飞?

火箭点燃后,产生的高速气流从火箭尾部喷出,根据动量守恒定律可知,火箭从高速气流的反冲运动得到动力。火箭是一种典型的运用反冲运动的装置。

方法指津

例1 试在下述简化情况下由牛顿定律导出动量守恒定律的表达式:系统是两质点,相互作用力是恒力,不受其他力,沿直线运动要求说明推导过程中每步的根据,以及式中各

符号和最后结果中各项的意义。

解析 令 m_1 和 m_2 分别表示两质点的质量, F_1 和 F_2 分别表示它们所受的作用力, a_1 和 a_2 分别表示它们的加速度, t_1 和 t_2 分别表示 F_1 和 F_2 作用的时间。 p_1 和 p_2 分别表示它们相互作用过程中的初速度, v'_1 和 v'_2 分别表示末速度, 根据牛顿第二定律, 有

$$F_1 = m_1 a_1, F_2 = m_2 a_2 \quad ①$$

由加速度的定义可知

$$a_1 = (v'_1 - v_1) / t_1, a_2 = (v'_2 - v_2) / t_2 \quad ②$$

代入上式, 可得

$$F_1 t_1 = m_1 (v'_1 - v_1), F_2 t_2 = m_2 (v'_2 - v_2) \quad ③$$

根据牛顿第三定律, 可知

$$F_1 = -F_2, t_1 = t_2 \quad ④$$

由③, ④可得

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad ⑤$$

其中 $m_1 v_1$ 和 $m_2 v_2$ 为两质点的初动量, $m_1 v'_1$ 和 $m_2 v'_2$ 为两质点的末动量, 这就是动量守恒定律的表达式。

评注 这是1999年的全国统一高考试题的第一个计算题, 以上解答是当年高考的标准答案, 本题12分, ①、②、③各1分, ④式2分, ⑤式3分。正确、清楚说明每步的根据给2分, 正确说出式中各符号和结果中各项意义的再给2分。

命题者的意图是给多数的考生送分, 但由于多数考生只注重动量守恒定律的应用, 却没有理解动量守恒定律的来源, 有的是只知道列式计算不注重物理学科中的文字表述的应用, 对于本题只知道几个公式列出来, 但文字叙述表达不出来引起失分, 所以整体得分率不高。

例2 质量为 m 的人站在质量为 M , 长为 L 的静止小船的右端, 小船的左端靠在岸边。忽略水的阻力, 当他向左走到船的左端时, 船左端离岸多远?

解析 先画出示意图1.1-7。人、船系统动量守恒, 总动量始终为零, 所以人、船动量大小始终相等。从图中可以看出, 人、船的位移大小之和等于 L 。设人、船位移大小分别为 l_1 、 l_2 , 则: $mv_1 = Mv_2$, 两边同乘时间 t , $ml_1 = Ml_2$, 而 $l_1 + l_2 = L$,

$$\therefore l_2 = \frac{m}{m+M} L$$

评注 此结论与人在船上行走的速度大小无关。不论是匀速行走还是变速行走, 甚至往返行走, 只要人最终到达船的左端, 那么结论都是相同的。

做这类题目, 首先要画好示意图, 要特别注意两个物体相对于地面的移动方向和两个物体位移大小之间的关系。

以上所列举的人、船模型的前提是系统初动量为零。如果发生相互作用前系统就具有一定的动量, 那就不能再用 $m_1 v_1 = m_2 v_2$ 这种形式列方程, 而要利用 $(m_1 + m_2) v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$ 列式。

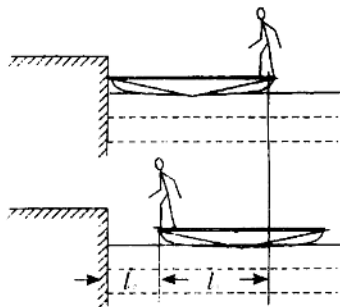


图 1.1-7

自我评估

基础训练

1. 把一支枪水平固定在小车上, 小车放在光滑的水平地面上, 当枪发射出了子弹时, 关于枪、子弹、车的下列说法正确的是 ()。
A. 枪和子弹组成的系统动量守恒
B. 枪和车组成的系统动量守恒
C. 若不计子弹与枪筒之间的摩擦, 枪、车、子弹组成的系统动量近似守恒
D. 枪、车、子弹组成的系统动量守恒

2. 子弹水平射入一块放置在光滑水平面上的木块, 则 ()。

- A. 子弹对木块的冲量必大于木块对子弹的冲量
- B. 子弹受到的冲量和木块受到的冲量大小相等、方向相反
- C. 当子弹和木块以相同速度运动时, 子弹和木块的动量一定相等
- D. 子弹和木块的动量增量任何时刻都大小相等、方向相反

3. 如图 1.1-8 所示, 在光滑的水平面上, 有一质量为 $M=3\text{ kg}$ 的薄板和质量 $m=1\text{ kg}$ 的物块, 都以 $v=4\text{ m/s}$ 的初速度朝相反方向运动, 它们之间有摩擦, 当薄板的速度为 2.4 m/s 时, 物块的运动情况是 ()。

- A. 做加速运动
- B. 做减速运动
- C. 做匀速运动
- D. 以上运动都有可能

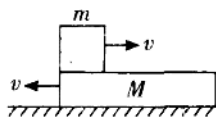


图 1.1-8

4. 在光滑的水平地面上, 质量为 4 kg 的物体以 3 m/s 的速度向右运动, 另一个质量为 8 kg 的物体以 3 m/s 的速度向左运动, 两物体碰后粘在一起运动, 碰后它们共同速度大小为 _____, 方向为 _____。

5. 质量为 M 的金属块和质量为 m 的木块用细线系在一起, 以速度 v 在水中匀速下沉, 某一时刻细线断了, 则木块停止下沉的时刻, 铁块下沉的速率为 _____。(设水深足够深, 水的阻力不计)

6. 如图 1.1-9 所示, A 、 B 均置于水平面上, 其与水平面间的动摩擦因数之比为 $1:2$, 分别向左、右运动。若 A 、 B 组成的系统动量守恒, 则 $m_A:m_B$ 为多少? 若它们同时停下, 其初速度之比 $v_1:v_2$ 为多少?

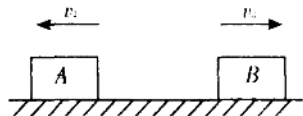


图 1.1-9

更进一步

7. 如图 1.1-10 所示, 质量为 M 的平板小车静止在光滑的水平地面上, 小车左端放一质量为 m 的木块, 车的右端固定一个轻质弹簧, 现给木块一个水平向右的瞬时冲量 I , 使木块 m 沿车上表面向右滑行, 在木块与弹簧相碰后又沿原路返回, 并且恰好能到达小车的左端而相对小车静止, 关于木块 m 、平板小车 M 的运动状态, 动量和能量转化情况的下列说法中正确的是 ()。
- A. 木块 m 的运动速度最小时, 系统的弹性势能最大
 B. 木块 m 所受的弹力和摩擦力始终对 m 做负功
 C. 平板小车 M 的运动速度先增大后减小, 最后与木块 m 的运动速度相同; 木块 m 的运动速度先减小后增大, 最后与平板小车 M 的运动速度相同
 D. 由于弹簧的弹力对木块 m 和平板小车 M 组成的系统是内力, 故系统的动量和机械能均守恒
8. 质量为 M 的气球上有一质量为 m 的猴子, 气球和猴子静止在离地高为 h 的空中。从气球上放下一架不计质量的软梯, 为使猴子沿软梯安全滑至地面, 则软梯至少应为多长?

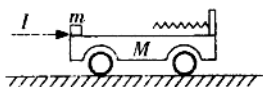


图 1.1-10



图 1.1-11

探究应用

有趣的现象是我们说的动力实质上是我们所说的阻力。

一切物体运动的动力来源都是根据相互作用的关系，人在地面上行走依靠的是脚向地面向后作用产生的反作用力；车辆的行驶是车轮向前转动时，对于地面是向后滑动产生的反作用力向前；直升机利用将空气向下输送产生的向上升力支撑重力的；多数轮船的动力是在将水往后送时的反作用力来做为动力的。这些现象表明，这些动力同时也是产生阻力的主要原因。

大气层外几乎是真空，现行的飞行器因没有相互作用的物体，所以必须自带相互作用的“源”就是燃料，这就决定了火箭在真空中的动力，是通过燃料燃烧向后喷出高速气体，由于反冲运动从而获得的反作用力作为动力。

你还能列举一些动力装置的真实动力么？

第3节 科学探究——一维弹性碰撞

学习目标

- ▶ 了解不同类型的碰撞，知道完全弹性碰撞和完全非弹性碰撞的主要特征。
- ▶ 掌握弹性碰撞的规律，即在弹性碰撞中动量守恒，动能也守恒。
- ▶ 能根据弹性碰撞的规律解释判断有关的现象和解决有关的问题。
- ▶ 通过体验动量守恒定律在弹性碰撞中的应用，培养学生理论联系实际以及利用理论分析解决实际问题的能力。
- ▶ 通过探究一维弹性碰撞冲量，使学生体验科学探究的过程，掌握科学探究的方法。

要点透析

1. 在碰撞的研究中为什么只选择动能参与研究？

碰撞中的动量守恒是已经知道的，但在碰撞中能量得与失决定了碰撞中的类型，如果在研究中将所有的能量都参与研究将让研究变得复杂化。在上一节中我们研究过动能与动量的区别和联系，在研究中发现动能与动量都是与质量和速度这两个物理量相关，如果只研究碰撞过程中的动能变化，不必增加物理量的情况下又增加研究的规律使用，这将让这项规律变得更好理解。

2. 碰撞按动能的损失与否分成哪三种类型？

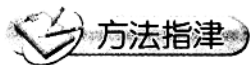
在理想情况下，物体碰撞后，没有动能损失，这种碰撞称为（完全）弹性碰撞。

在实际情况中，物体碰撞过程中有动能损失，即动能不守恒，这类碰撞称为非弹性碰撞。

物体碰撞过程中动能损失最大的这类碰撞称为完全非弹性碰撞。

3. 在弹性碰撞的实验研究中是如何比较动能的?

动能的直接测量相当麻烦,教材中应用的是间接测量的方法,在小球弹起过程机械能守恒,增加的势能等于减小的动能,并且对于同一个物体,势能的变化与高度成正比,所以只要比较碰撞后小球升起的高度就可以比较碰撞前后的动能。



方法指津

例1 如图1.1-12所示,已知质量为 m_1 、速度为 v_1 的弹性球,与质量为 m_2 、速度为 v_2 的弹性小球发生弹性碰撞,取向为矢量的正方向。求:碰撞后两个小球的速度,设它们分别为 v'_1 、 v'_2 。

解析 由系统动量守恒得:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad ①$$

由系统的动能守恒得:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v'^2_1 + \frac{1}{2} m_2 v'^2_2 \quad ②$$

$$\text{由式①整理得: } m_1(v_1 - v'_1) = m_2(v'_2 - v_2) \quad ③$$

$$\text{由式②整理得: } m_1(v_1^2 - v'^2_1) = m_2(v'^2_2 - v_2^2) \quad ④$$

$$\text{由④} \div \text{③整理得: } v_1 - v_2 = v'_2 - v'_1 \quad ⑤$$

联立①⑤两式得:

$$v'_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2} + \frac{2m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v'_2 = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2} + \frac{(m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2}$$

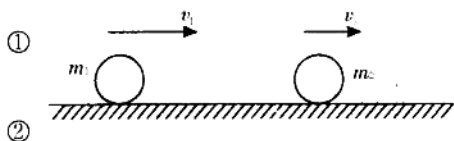


图 1.1-12

评注 对于弹性碰撞的研究较深入的一步是对弹性碰撞的数学求解,这个求解是在课本的例题的基础上增加一个物体2的初速度不为零,其中的数学解法完全一样。

这个数学关键是在式⑤的表达上,本题中表达的物理意义是:碰撞后的相对速度与碰撞前的相对速度大小相等方向相反。能记得这个结论,就能将本题中的二元二次方程变成二元一次方程,从而容易得到最终结论。它可以用于判断碰撞前后动能是否守恒。

经过实践可以发现这个结论中有许多容易记忆的内容,特别方程有很强的对称性,在将所有的1和所有的2互相对换后结论一样。这些特点如果是同学自己发现的不易将这个结果忘记。

例2 用轻弹簧相连的质量均为2 kg的A、B两物块都以 $v=6$ m/s的速度在光滑的水平地面上运动,弹簧处于原长,质量4 kg的物块C静止在前方,如图1.1-13所示。B与C碰撞后二者粘在一起运动。在以后的运动中,问:

(1) 当弹簧的弹性势能最大时,物体A的速度多大?

(2) 弹性势能的最大值是多大?

(3) A的速度有可能向左吗?为什么?

解析 (1) 当A、B、C三者的速度相等时弹簧的弹性势能最大。

由于A、B、C三者组成的系统动量守恒, $(m_A + m_B)v = (m_A + m_B + m_C)v'_A$

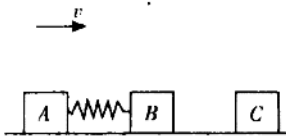


图 1.1-13

解得 $v_A' = \frac{(2+2) \times 6}{2+2+4} = 3 \text{ (m/s)}$ 。

(2) B、C 碰撞时 B、C 组成的系统动量守恒，设碰后瞬间 B、C 两者速度为 v' ，则

$$m_B v = (m_B + m_C) v', \quad v' = \frac{2 \times 6}{2+4} = 2 \text{ (m/s)}。$$

设物体 A 速度为 v_A' 时弹簧的弹性势能最大为 E_p ，

$$\begin{aligned} \text{根据能量守恒 } E_p &= \frac{1}{2} (m_B + m_C) v'^2 + \frac{1}{2} m_A v^2 - \frac{1}{2} (m_A + m_B + m_C) v_A'^2 \\ &= \frac{1}{2} \times (2+4) \times 2^2 + \frac{1}{2} \times 2 \times 6^2 - \frac{1}{2} \times (2+2+4) \times 3^2 = 12 \text{ (J)}。 \end{aligned}$$

(3) A 不可能向左运动，系统动量守恒， $m_A v + m_B v = m_A v_A + (m_B + m_C) v_B$ 。

设 A 向左， $v_A < 0$ ， $v_B > 4 \text{ m/s}$ ，

则作用后 A、B、C 动能之和，

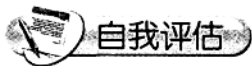
$$E' = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} (m_B + m_C) v_B^2 > \frac{1}{2} (m_B + m_C) v_B^2 = 48 \text{ (J)}。$$

实际上系统的机械能 $E = E_p + \frac{1}{2} (m_A + m_B + m_C) \cdot v_A'^2 = 12 + 36 = 48 \text{ (J)}$ 。

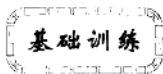
根据能量守恒定律， $E' > E$ 是不可能的，所以物体 A 不可能向左运动。

评注 应用例 1 中的结论来判断第 (3) 小题中的结论更简单，从第 (2) 小题的解中得到，在 B、C 碰撞后的速度是 2 m/s ，则 A 的速度不变，与 B、C 间的相对速度是 4 m/s ，如果 A 要反向，则 A 在速度为零时，系统的动能应该还有损失，就要求 A 相对 B、C 的速度要小于 4 m/s 。设 A 的速度为零，由动量守恒，此时 B、C 的共同速度是 4 m/s ，与前面的相对速度相等，如果 A 的速度向左，则相对速度就超过 4 m/s ，这是不可能的。

同学们，这样的判断是否更简单些？如果是，可以试试。



自我评估



基础训练

- 在光滑水平面上，两球沿球心连线以相等速率相向而行，并发生碰撞，下列现象可能的是 ()。
 - 若两球质量相同，碰后以某一相等速率互相分开
 - 若两球质量相同，碰后以某一相等速率同向而行
 - 若两球质量不同，碰后以某一相等速率互相分开
 - 若两球质量不同，碰后以某一相等速率同向而行
- 质量为 M 的小车在光滑水平地面上以速度 v_0 匀速向右运动。当车中的沙子从底部的漏斗中不断向下流出车外时，车子速度将 ()。
 - 小于 v_0
 - 不变保持 v_0
 - 大于 v_0
 - 无法确定
- 试分析下列情况中，哪些系统的动量不守恒？()
 - 在不计水的阻力时，一小船船头上的人，水平跃入水中，由人和船组成的系统
 - 在光滑水平面上运动的小车，一人迎着小车水平跳上车面，由人和小车组成的系统

- C. 在同一粗糙水平面上放有质量不同的 A、B 两木块, 其间有轻质弹簧, 两手分别挤压 A、B 木块, 突然放开右手, 由 A、B 和弹簧组成的系统
- D. 子弹打入放在光滑水平面上的木块, 子弹和木块组成的系统
4. 一个质量为 1.0 kg 的小球静止在光滑的水平面上, 另一个质量为 0.5 kg 的小球以 2.0 m/s 的速度与静止的小球正碰, 碰后以 0.2 m/s 的速度被反弹, 如果前后速度都在直线上, 碰后两个小球的总动量是_____, 原来静止的小球获得的速度大小为_____。
5. 一质量为 M 的木块静止在光滑的水平面上, 一颗质量为 m 的子弹水平射入木块并留在木块内, 从子弹接触木块到子弹相对于木块静止的这段时间内, 子弹和木块相对地面的位移分别是 s_1 和 s_2 , $s_1 : s_2 =$ _____; 子弹从射入木块到相对静止的过程中产生的热量 Q , 与此过程中子弹损失的机械能 ΔE 之比 $Q : \Delta E =$ _____。
6. 质量为 M 的木块在水平面上处于静止状态, 有一质量为 m 的子弹以水平速度 v_0 击中木块并与其一起运动, 若木块与水平面之间的动摩擦因数为 μ , 则木块在水平面上滑行的距离大小为多少?

某同学解题时列出了动量守恒方程: $mv_0 = (M+m)v$,

还列出了能量守恒方程: $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(M+m)v^2 + \mu(M+m)gs$,

并据此得出结论。这个结论正确吗?

如结论正确, 请求出经过并交代所列出的两个方程成立的条件; 如果结论错误, 请说明所列出的两个方程成立的条件并纠正错误。

更进一步

7. 如图 1.1-14 所示, 两带电金属球在绝缘的光滑水平桌面上沿同一直线相向运动, A 球带电为 $-q$, B 球带电为 $+2q$, 下列说法中正确的是 ()。
- A. 相碰前两球的运动过程中, 两球的总动量守恒
- B. 相碰前两球的总动量随两球的距离逐渐减小而增大
- C. 相碰分离后的两球的总动量不等于相碰前两球的总动量, 因为两球相碰前作用力为引力, 而相碰后的作用力为斥力
- D. 相碰分离后任一瞬时两球的总动量等于碰前两球的总动量, 因为两球组成的系统合外力为零

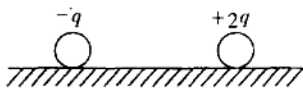


图 1.1-14