# 第一章 动量

## 第一节 相互作用中的守恒量 动量

1. 碰撞前，两个物体沿同一直线运动，碰撞后它们仍在\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_运动，这样的碰撞称为一维碰撞。
2. 物体的动量是其\_\_\_\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_\_\_\_\_的乘积。动量是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“矢量”或“标量”），方向与\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_的方向相同，动量的单位是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（用国际单位制的基本单位表示）。
3. 判断下列关于动量的说法是否正确，说明理由。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 说法 | 判断 | 理 由 |
| 分别以相同大小的速度竖直向上和水平向右抛出两个质量相等的小球，在抛出的瞬间，两球的动量相同 |  |  |
| 动量与物体的质量有关。动量越大，物体的惯性也越大 |  |  |
| 动量和动能都与物体的质量和速度有关。若物体的动能不变，其动量一定不变 |  |  |
| 质量一定的物体，动量变化量与其速度变化量成正比 |  |  |

1. 两节火车车厢沿着同一直线轨道同方向运动，进行碰撞安全试验。车厢 *X* 的质量为 20 t，车厢 *Y* 的质量为 30 t。两节车厢碰撞前、后的速度随时间的变化如图 1 – 1 所示。车厢 *X*、*Y* 碰撞前、后的动量分别为 *p*1 和 *p*2，动量的变化为 Δ*p*；车厢 *X*、*Y* 碰撞前、后的动能分别为 *E*k1 和 *E*k2，动能的变化为 Δ*E*k。根据图中的信息完成下表。

*Y*

*X*

*v*/(m·s−1)

*X*

*Y*

5

4

3

2

1

*O*

1.0

2.0

3.0

4.0

*t*/s

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 车厢 | *p*1 / （kg·m·s−1） | *p*2 / （kg·m·s−1） | Δ*p* / （kg·m·s−1） |
| *X* |  |  |  |
| *Y* |  |  |  |
| 车厢 | *E*k1 / J | *E*k2 / J | Δ*E*k / J |
| *X* |  |  |  |
| *Y* |  |  |  |

由表中数据可知，两车碰撞前、后总\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“动能”或“动量”）不变。

1. 如图 1 – 2 所示，质量为 540 g 的弹性球在光滑水平面上以 5 m/s 的速度撞墙后，以大小不变的速度反向弹回。求弹性球碰撞前、后的动量和动量的变化量。

*v*

1. 如图 1 – 3 所示，一架动物救援飞机以 36 m/s 的速度向正东方向飞行。飞机在 60 m 的高空投放重 175 N 的压缩干草包。求干草包着地时的动量。（不计空气阻力，*g* 取 10 m/s2）

60 m

1. 浅色的台球 A 与深色的台球 B 质量相等。图 1 – 4 为 A 球向右运动撞击原本静止的 B 球的频闪照片。



（1）根据图中的信息分析 A、B 两球碰撞前、碰撞后的运动情况。

（2）分析比较两球动量变化量的大小，说明两球的总动量是否变化。

1. 质量 *m* = 0.5 kg 的物体原本静止于动摩擦因数 *μ* = 0.4 的粗糙水平面上。*t* = 0 时刻起受到水平拉力 *F* 的作用，*F* 随时间 *t* 的变化如图 1 – 5 所示。（最大静摩擦力的大小近似等于滑动摩擦力的大小，*g* 取 10 m/s2）

3

*F*/N

2

1

*O*

2

4

6

8

10

*t*/s

（1）在 3 s 末和 5 s 末，该物体的动量大小为多少？

（2）第 1 s 内、第 3 s 内、第 5 s 内该物体的动量分别变化了多少？

### 参考解答

1．原直线上

2．质量，速度，矢量，速度，kg·m/s

3．见下表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 说法 | 判断 | 理 由 |
| 分别以相同大小的速度竖直向上和水平向右抛出两个质量相等的小球，在抛出的瞬间，两球的动量相同 | 错 | 动量是矢量，既有大小也有方向 |
| 动量与物体的质量有关。动量越大，物体的惯性也越大 | 错 | 质量是惯性的量度。动量与质量和速度均有关系，动量大不代表质量大 |
| 动量和动能都与物体的质量和速度有关。若物体的动能不变，其动量一定不变 | 错 | 动能是标量，动量和速度都是矢量，速度的方向的变化不会影响动能，但会影响动量 |
| 质量一定的物体，动量变化量与其速度变化量成正比 | 对 | 根据动量定义，由于质量不变，Δ*p* = *m*Δ*v* |

4．见下表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 车厢 | *p*1 / （kg·m·s−1） | *p*2 / （kg·m·s−1） | Δ*p* / （kg·m·s−1） |
| *X* | 1×103 | 4×104 | − 6×104 |
| *Y* | 3×104 | 9×104 | 6×104 |
| 车厢 | *E*k1 / J | *E*k2 / J | Δ*E*k / J |
| *X* | 2.5×103 | 4×104 | − 2.1×103 |
| *Y* | 1.5×104 | 1.35×103 | 1.2×103 |

动量

5．设弹性球撞墙前的运动方向为正方向，则其撞墙前的速度 *v*1 = 5 m/s，撞墙后的速度 *v*2 = − 5 m/s。由 *m* = 540 g = 0.54 kg，则碰撞前弹性球的动量 *p*1 = *mv*1 = 0.54×5 kg·m/s = 2.7 kg·m/s，碰撞后弹性球的动量 *p*2 = *mv*2 = 0.54×（− 5）kg·m/s = − 2.7 kg·m/s，碰撞前、后弹性球动量变化量 Δ*p* = *p*2 – *p*1 = −（−2.7 − 2.7）kg·m/s = −5.4 kg·m/s

6．干草包离开飞机后做平抛运动，水平方向速度 *vx* = 36 m/s，竖直方向速度 *vy* = = = 20m/s，则干草包着地前的瞬时速度为 *v* = ≈ 49.96 m/s。由干草包的质量 *m* = = kg = 17.5 kg，则其看地时的动量大小 *p* = *mv* = 17.5×49.96 kg·m/s = 874.3 kg·m/s；设着地时 *vx* 与 *v* 的夹角为 *θ*，则 tan*θ* = = = ，即动量方向为偏东斜向下，与水平方向夹角约为 43.9°

7．（1）碰撞前：A 球做匀速直线运动，B 球静止；碰撞后：A 球静止，B 球做匀速直线运动

（2）由球间距知，两球做匀速运动的速度大小相等。因两球质量也相等，说明两球动量变化量的大小相等，但方向相反。两球的动量之和不变

8．（1）先分段分析物体在三个 2 s 内的运动情况：由最大静摩擦力 *F*fsmax 的大小近似等于滑动摩擦力的大小，得 *F*fsmax = *μmg* = 0.4*mg* = 0.4×0.5×10 N = 2 N，由图 1 – 5 知，前 2 s，*F* = 1 N，*F* < *F*fsmax，则物体保持静止状态。从第 3 s 起，*F* = 3 N，物体做匀加速运动，加速度 *a* 的大小为 2 m/s2，到 3 s 末物体运动时间 *t*1 = 1 s，则 *v*3 = *at*1 = 2×1 m/s = 2 m/s，*p*3 = *mv*3 = 0.5×2 kg·m/s = 1 kg·m/s。第 5 s 起，物体做匀速直线运动，物体在 5 s 时的速度 *v*5 就是其在 4 s 末的速度 *v*4，物体的加速时间 *t*2 = 2 s，即 *v*5 = *v*4 = *at*2 = 2×2 m/s = 4 m/s，*p*5 = *mv*5 = 0.5×4 kg·m/s = 2 kg·m/s

（2）第 1 s 内物体保持静止状态，动量变化量为零；第 3 s 内物体的动量变化量 Δ*p*3 = *p*3 – *p*2 = 1 kg·m/s；第 5 s 内物体做匀速直线运动，动量变化量为零

## 第二节 物体动量变化的原因 动量定理

1. 动量的变化用 Δ*p* = *p* – *p*0 表示，它是矢量，Δ*p* 的方向与\_\_\_\_\_\_\_\_\_的方向相同。
2. 冲量 *I* 是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“过程”或“状态”）量，反映了物体受到的力在一段\_\_\_\_\_\_\_\_\_内对物体作用的累积效应。
3. 动量定理的表达式 *I* = *F*·Δ*t* = \_\_\_\_\_\_\_\_\_，其中 *F* 为物体受到的\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
4. 红串果开花时，花粉颗粒会在 0.3 ms 内加速到 7.5 m/s。花粉颗粒的质量为 1.0×10−7 g，其动量在此过程中变化了多少？它所受的冲量大小为多少？
5. 某个力随时间的变化关系如图 1 – 6 所示。在 0 ~ 4 s 内，该力的冲量的大小是多少？

3

*F*/N

2

1

*O*

2

4

*t*/s

−2

1. 网棒球又称袋棍球，于 20 世纪中后期传入我国，如图 1 – 7 所示。虽然网棒球的比赛用球质量仅有 145 g，但比赛时运动员必须穿戴头盔等全套护具才能上场。某次比赛中，球以 47 m/s 的速度飞向运动员。

（1）若球击中头盔，球与头盔间的相互作用力随时间变化的示意图如图 1 – 8 所示。根据图示信息分析运动员穿戴护具的必要性。

（2）运动员挥杆控球，使球沿相反方向飞出。若球杆对球的冲量大小为 15 N·s，则球被击出后的速度多大？

1.5×104

*F*/N

1.0×104

5.0×103

*O*

0.5

1.0

1.5

2.0

2.5

3.0

*t*/ms

1. 一辆质量为 2 200 kg 的汽车初速度为 72 km/h。若汽车司机轻踩刹车，汽车需经过 21 s 停下。若司机急踩刹车，经 3.8 s 汽车即可停下。若司机驾驶不慎，意外撞击护栏，停车仅需 0.22 s。

（1）试用国际单位制的基本单位表示冲量的单位。

（2）在汽车制动过程中，设汽车的初动量方向为正方向，则动量的变化量与冲量是正还是负？

（3）通过定量计算比较上述三种制动情境中，车内的乘客受到的冲量大小是否相等？受到的平均作用力大小是否相等？有人认为，可以通过用手支撑来阻止制动时身体前倾。结合上述计算，判断你的双臂是否足以支撑身体。

（4）车辆都配备了安全气囊以提升其安全性能。从动量定理的角度出发，解释安全气囊是如何起到保护作用的。

1. 氮气分子的质量为 4.7×10−26 kg，室温下的平均速度约为 550 m/s。若某氮气分子以平均速度垂直撞击容器壁后以相同速率弹回，该分子受到容器壁对其的冲量为多少？如果每秒有 1.5×1023 个氮气分子撞击容器壁，容器壁受到的平均作用力有多大？
2. 下述表达式对应了一个用动量定理计算冲力大小的算式。根据该算式创设情境，编写一道练习题。

*F* =

1. 甲、乙两人穿着溜冰鞋面朝同一方向静止在固定的标记点 O 两侧。甲推了乙一下。图 1 – 9（a）、（b）分别表示两人相互作用前、后的位置。



（1）根据甲、乙相对于标记点位置的变化，判断甲推乙后两人分别如何运动，并比较甲、乙速度的大小。

（2）推理说明相互作用后两人动量大小是否一致。

（3）根据图片信息，比较甲、乙两人的质量大小。

1. 弹射器将质量不同的金属球从高为 *H* 的桌边水平击出，球离开桌面后做平抛运动。多次实验中，弹射器对各金属球的冲量 *I* 相等。测量球的质量 *m*，球落地位置到桌边的水平距离 *R*。

（1）根据上述信息，写出弹射器对球的冲量的表达式。

（2）已知桌面高 *H* 为 1.5 m，*m* 与 *R* 的数值如表所示。利用表中的数据作图得到一条直线，即可得到 *I* 的大小，试问应如何建立坐标系？

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 实验序号 | *m*/kg | *R*/m |
| 1 | 0.05 | 497 |
| 2 | 0.1 | 247 |
| 3 | 0.15 | 175 |
| 4 | 0.2 | 129 |
| 5 | 0.25 | 98 |

（3）若要估算弹射器对金属球平均作用力的大小，需对上述装置做何改进？

### 参考解答

1．速度变化

2．过程，时间

3．Δ*p* = *mv* −*mv*0，合力

4．以花粉颗粒为对象，假设其做直线运动，则 Δ*p* = *p*2 – *p*1 = *mv*2 −*mv*1 = 1×10−10×（7.5 − 0）kg·m/s = 7.5×10−10 kg·m/s，*I* = Δ*p* = 7.5×10−10 N·s

5．在 *F* – *t* 图像中，力与时间轴所围成的面积表示该力的冲量，即 *I* = ×2×2 N·s = 2 N·s

6．（1）由图 1 – 8 可知，头盔与球的作用时间仅为 3 ms，但是作用力的最大值达到 1.5×104 N，相当于 1 500 kg 的重物所受的重力，因此如果球直接与头部接触，会造成伤害

（2）以球为研究对象，以杆对球的作用力的方向为正方向，则球飞向杆的方向为负方向，由动量定理可知，*I* = Δ*p* = *p*2 – *p*1 = *mv*2 −*mv*1，则 *v*2 = = ≈ 56.4 m/s

7．（1）1 N·s = 1 kg·m·s−2 = 1 kg·m/s，与动量的单位相同

（2）根据动量定理，动量的变化量和冲量方向一致，均为负。因为冲量是矢量，冲量的方向与合力方向一致，则刹车过程中合力方向与运动方向相反，即与初动量方向相反

（3）由动量定理可知，在三种制动情境中，初速度均为 72 km/h（20 m/s），末速度均为 0，由 *I* = Δ*p* = *mv*2 −*mv*1 可知，冲量大小相等。但由于作用时间不同，则平均作用力不相等。由于车上的乘客与车同步运动，速度相同。以乘客为对象，设其质量为 60 kg，由 *I* = *Ft*，得 *F* = = ，即为乘客在减速阶段受到的水平方向平均作用力大小，则轻踩刹车时，乘客在减速阶段受到的水平方向平均作用力约为 57.1 N；急刹车时，平均作用力约为 315.8 N；撞击护栏时，平均作用力约为 5 454.5 N，相当于人体重的 9 倍左右，此时若用手支撑肯定会造成伤害

（4）由动量定理可知，物体的动量变化量等于它在这个过程中所受合力的冲量。有无安全气囊，乘客的动量变化量不变。但安全气囊可使相互作用的时间加长，则乘客受力变小，起到保护作用

8．以该氮气分子为研究对象，以其弹回的方向为正方向，由动量定理可知，*I* = *Ft* = *mv*ʹ −*mv*，代入数据得，*I* = *mv*ʹ −*mv* = 4.7×10−26×[550 −（−550）N·s = 5.17×10−23 N·s，则 1 s 内 1.5×1023 个氮分子的平均作用力 *F*ʹ = 1.5×1023×5.17×10−23 N ≈ 7.8 N

9．示例：一个质量为 1.3 kg 的小木块原本静止，被撞击后以 0.2 m/s 的速度运动，作用时间为 0.55 s，求撞击过程中平均作用力的大小。

10．（1）甲向左运动，乙向右运动。根据两人在两张照片中相对 O 点距离的变化，可知两人在相同时间内的运动距离不同。两人的速度大小不同，*v*甲 < *v*乙

（2）两人都穿着溜冰鞋，在互推的过程中，推力远大于阻力，推力可近似视为合力。推力对两人的作用时间相等，推力对两人的冲量大小相等，则两人的动量变化量大小相等，两人的动量大小相等

（3）由（1）、（2）可知，相互作用后两人的动量大小相等，甲的速度大小比乙小，则甲的质量大于乙的质量

11．（1）以金属球为研究对象，弹射器对金属球作用的末速度即为金属球离开桌面做平抛运动的初速度。根据平抛运动的规律，得 *vx* = ，则弹射器对球的冲量 *I* = Δ*p* = *mvx* – 0 =

（2）桌面高为 1.5 m，代入 *I* = 可得 *I* ≈ 1.81*mR*。以 *R* 为纵轴，为横轴建立坐标系，此时利用表中的数据作图，所得图像为一条直线，斜率为 0.551

（3）根据图像可得弹射器对金属球的冲量大小，若要估算弹射器对金属球的平均作用力，还需要测量弹射器对金属球的作用时间。可用高速摄影机拍摄弹射器与金属球作用过程的视频，分析视频得到两者的相互作用时间

## 第三节 动量守恒定律

1. 相互作用的物体组成一个力学系统，系统内物体间的相互作用力称为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，系统外的物体对系统内物体的作用力称为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 动量守恒定律的内容是：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
3. 两滑块在水平面上沿一直线运动发生碰撞。如果碰撞时间\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，碰撞过程中系统内力的冲量\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_外力的冲量，则系统所受外力可以忽略。
4. 分析为何做自由落体运动的小球动量不守恒。如果将小球和地球作为一个系统，则小球下落过程中，系统的动量是否守恒？为什么？
5. 航天员出舱活动时常常通过穿戴喷气背囊来前行和控制方向。如果航天员与气囊的总质量是 *m*，则在喷气背囊快速喷射出质量为 *m*0、速度为 *v* 的气体后（*m* ≫ *m*0），原本静止的航天员运动方向与气体喷射的方向是相同还是相反？计算航天员的速度大小。
6. 质量为 1.5 kg 的小车 A 与质量为 4.5 kg 的小车 B 用细绳相连，并使两车之间的弹簧处于压缩状态。开始时两车静止，烧断细绳后两车在弹簧弹力的作用下弹开，小车 A 获得了 27 cm/s 向左的速度，求小车 B 的速度。
7. 某微观粒子质量为 *m*，处于静止状态并分裂为 A、B 两种粒子，在此过程中总质量不变。分裂后 A 粒子的速度为 1.5×107 m/s，B 粒子的速度为 − 2.6×105 m/s。由上述信息判断 A 粒子的质量占总质量的百分比是多少。
8. 下述表达式与一个动量守恒定律的算式对应。根据算式创设情境，自己编写一道练习题，并给出评价要点。

2 000 kg×5.0 m/s + 1 000 kg×（− 4.0 m/s） = 3 000 kg×*v*

1. 质量为 2 t 的乘用车 A 车刚刚出发就被质量为 1 t 的乘用车 B 车追尾。两车保险杠缠在一起向前滑行直至停下。处理事故的民警测得两车相撞后一起滑行的痕迹长 6.0 m。民警还从 A 车的行车记录仪中得知撞击前 A 车的速度仅为 5 m/s。B 车司机除了承担追尾责任外，是否还应该被指超过 50 km/h 的限速标准？

甲同学认为根据从撞击发生前瞬间两辆车完全停下的过程中，A 车和 B 车的总动量守恒，可求得 B 车追尾前的车速。

乙同学认为 A、B 两车始终受到摩擦力的作用。两车组成的系统动量不守恒。根据现有条件，无法求得 B 车追尾前的速度。

《机动车运行安全技术条件》（中华人民共和国国标 GB 7258- 2017）7.10.2.1中有如下表格可供参考。你同意谁的观点？你的依据和结论分别是什么？如果不同意，你会如何分析？

制动距离和制动稳定性要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 机动车类型 | 制动初速度 / km·h−1 | 空载检验制动距离要求 / m | 满载检验制动距离要求 / m | 试验通道宽度 / m |
| 三轮汽车 | 20 | ≤ 5.0 | 2.5 |
| 乘用车 | 50 | ≤ 19.0 | ≤ 20.0 | 2.5 |
| 总质量小于等于 3 500 kg 的低速货车 | 30 | ≤ 8.0 | ≤ 9.0 | 2.5 |
| 其他总质量小于等于 3 500 kg 的汽车 | 50 | ≤ 21.0 | ≤ 22.0 | 2.5 |
| 铰接客车、铰接式无轨电车、汽车列车（乘用车列车除外） | 30 | ≤ 9.5 | ≤ 10.5 | 3.0 |
| 其他汽车、乘用车列车 | 30 | ≤ 9.0 | ≤ 10.0 | 3.0 |
| 两轮普通摩托车 | 30 | ≤ 7.0 | — |
| 边三轮摩托车 | 30 | ≤ 8.0 | 2.5 |
| 正三轮摩托车 | 30 | ≤ 7.5 | 2.3 |
| 轻便摩托车 | 20 | ≤ 4.0 | — |
| 轮式拖拉机运输机组 | 20 | ≤ 6.0 | ≤ 6.5 | 3.0 |
| 手扶变型运输机 | 20 | ≤ 6.5 | 2.3 |
| 对车宽大于 2.55 m 的汽车和汽车列车，其试验通道宽度（单位：m）为“车宽（m） + 0.5”。 |

### 参考解答

1．内力，外力

2．如果系统不受外力或所受外力的矢量和为零，则系统的动量保持不变，称为动量守恒定律

3．极短，远大于

4．以小球为对象，因为小球受到重力作用，重力为外力，小球的动量不守恒；以小球和地球组成的系统为对象，地球和小球间的相互作用为内力，系统的动量守恒

5．航天员的运动方向与喷射气体的方向相反。由于穿戴喷气背囊的航天员和气体组成的系统所受外力为零，满足动量守恒定律。初始状态航天员与气体的速度均为零，若气体喷射方向向前，则航天员运动方向向后。设航天员的速度为 *v*ʹ，由动量守恒定律公式 *p* = *p*ʹ，由于初始状态为静止，则 0 = （*m* – *m*0）*v*1ʹ + *m*0*v*，即航天员的速度为 *v*1ʹ = − *v* ≈ − *v*

6．以两辆小车组成的系统为对象，以小车 A 的速度方向为正方向，设弹簧弹开前、后小车 A 的速度分别为 *v*A、*v*Bʹ，小车 B 的速度分别为 *v*B、*v*Bʹ。由于弹簧对两车的作用力为内力，满足动量守恒，即 *m*A*v*A + *m*B*v*B = *m*A*v*Aʹ + *m*B*v*Bʹ，代入数据，得 0 = 1.5 kg×27 cm/s + 4.5 kg×*v*Bʹ，则 *v*Bʹ = − 9 cm/s，即小车 B 的速度大小为 9 cm/s，方向与 A 车相反

7．在粒子分裂过程中，系统的动量守恒，设分裂前、后 A 粒子的速度分别为 *v*A、*v*Aʹ，B 粒子的速度分别为 *v*B、*v*Bʹ，则 *m*A*v*A + *m*B*v*B = *m*A*v*Aʹ + *m*B*v*Bʹ，得 0 = *m*A*v*Aʹ + (*m* − *m*A)*v*Bʹ，即 *m*A = 1.7%

8．示例：车辆进行模拟撞击实验，两辆实验汽车由遥控装置控制沿着同一直线相向行驶，以甲车行驶方向为正方向。甲车质量为 2 000 kg，速度为 5 m/s，乙车质量为 1 000 kg，行驶速度为 − 4 m/s，试问撞击后两车一起运动的速度是多少？

评价要点：两车的 *m* 与 *v* 是否正确对应，*v* 的方向是否正确表达等。

9．两位同学的分析均不全面。以两车组成的系统为对象，两车碰撞瞬间碰撞方向上系统的内力比外力（包括摩擦力）大很多，可认为系统动量守恒。但碰撞后，两车一起滑行，系统受摩擦力作用，动量不守恒。根据《机动车运行安全技术条件》（中华人民共和国国标GB 7258 - 2017），乘用车制动初速度为 50 km/h，制动距离应小于 20 m，得两车滑行的加速度 *a* 约为 4.8 m/s2。根据 *v* = 计算两车滑行的初速度，即两车碰撞的末速度约为 7.6 m/s。由动量守恒定律可得，追尾前 B 车的速度约为 46 km/h，故 B 车没有超速