**学期**

**活动**

**设计并完成一个测量反冲物体所受冲力的实验。**

在反冲现象中，物体通过以一定速度发射部分的物质而实现反向的加速运动。在此过程中，物体会受到冲力的作用。如何测量这个力？以初中曾经制作过的靠向后喷射水流飞行的“水火箭”为例，设计一个方案，测量“水火箭”持续喷出水流时，水流对火箭作用力随时间的变化。估算“水火箭”的最大速度（选做）。

活动要求：

（1）制定实验方案和测量方法，说明使用的主要器材和配件。

（2）通过实验得到作用力随时间变化的数据。

（3）根据阅读材料提供的信息和实验数据，估算水火箭的最大速度。（选做）

（4）完成实验报告，互相交流、评价。

（5）实验过程中注意安全。

阅读材料：

火箭由火箭本体（火箭箭体、载荷等）和所携带的燃料构成。火箭发射时，燃料在燃烧室中燃烧，产生高温高压气体并通过喷口喷出，同时对火箭施加一个推力。由动量定理可以推得，火箭受到的推力大小 *F*推 = *u* ，式中 为单位时间喷出气体的质量，*u* 是气体的喷射速度，其大小对于确定型号的火箭发动机而言是确定的。

如果火箭仅在推力作用下运动，发射前火箭与燃料总质量为 *m*0，火箭本体质量为 *m*，当燃料耗尽时，火箭的最终速度可通过理论计算得到，其大小为 *vt* = *u* ln 。

动量定理

*F*合Δ*t* = *mv* − *mv*0

动量和冲量

动量守恒定律

当 *F*合 = 0 时，*p*0 = *p*

碰撞

验证

推理

建模

反冲

弹性碰撞

非弹性碰撞

验证

推理

小

结

* 基本概念和基本规律

**动量**：物体质量与速度的乘积，用符号 *p* 表示。动量是矢量。

**冲量**：作用力 *F* 与其作用时间 Δ*t* 的乘积，用符号 *I* 表示。冲量是矢量。

**动量定理**：物体动量的变化量等于其所受合力的冲量。

**动量守恒定律**：如果系统不受外力或所受外力的矢量和为零，系统的总动量保持不变。

**弹性碰撞**：碰撞前后系统动量保持不变的同时，动能也保持不变的碰撞。

**非弹性碰撞**：碰撞前后系统动量保持不变的同时，动能有损失的碰撞。

**反冲**：系统在内力作用下向某一方向发射部分物质，从而使系统的剩余部分向相反方向运动的现象。

* 基本方法

通过寻找守恒量的实验分析，认识应用实验数据处理、分析和提取证据的方法。

经历由牛顿运动定律推导得出动量定理的过程，感受演绎推理的方法。

通过探究动量守恒定律，运用演绎推理和实验验证结合的方法。

* 知识结构图

**复习 巩固**

**与**

1. 如图 1–26 所示，小球用不可伸长的轻绳悬挂在 *O* 点，将小球拉紧从 *A* 点由静止释放，小球向下摆动至最低点 *B*。在此过程中，根据动能定理，小球重力做的功等于动能的变化量，即 *W* = Δ*E*k。由此，有同学认为，小球重力的冲量 *I* 与小球动量的变化量 Δ*p* 之间也满足类似关系，即 *I* = Δ*p*。试对此说法作出评析。

*A*

*O*

*B*

图 1–26

1. 从平台上以相同的速率抛出小球，第一次竖直向上抛出，第二次水平抛出。忽略空气阻力的影响，比较小球两次落地瞬间的动量，以及两次运动过程中小球所受合力的冲量。
2. 在光滑的绝缘水平面上，有两个相距一定距离的带电小球 *A*、*B*。它们的质量分别为 *m*1、*m*2，带有等量电荷。

（1）静止释放两小球，分析两球组成的系统动量是否守恒。

（2）若在空间加一沿水平方向的匀强电场，静止释放后两球组成的系统动量是否守恒？

1. 物体以初速度 *v*0 竖直向上抛出，落回抛出点时的速度为 *vt*，运动过程中物体所受的阻力与其速度成正比。画出物体从抛出到落回抛出点过程中的 *v*-*t* 图像。在此过程中阻力的冲量为多少？物体从抛出到落回抛出点的时间为多少？
2. 蹦极运动员离开跳台时的速度为零。将运动员离开跳台到弹性绳刚好被拉直的过程视为第一阶段，将弹性绳刚好被拉直到运动员下降至最低点的过程视为第二阶段。分析比较第一阶段中运动员所受重力的冲量和第二阶段中运动员所受弹性绳拉力的冲量的大小。（忽略空气阻力）
3. 水平面上有质量相等的 *a*、*b* 两个物体，均处于静止状态。水平推力 *F*1、*F*2 分别作用在 *a*、*b* 上，作用一段时间后撤去推力。撤去推力后，两物体继续运动一段距离，先后停下。两物体由静止起运动到停止的 *v*–*t* 图像如图 1–27 所示，图中 *AB* 段与 *CD* 段平行。分析比较 *F*1 与 *F*2 的大小，以及 *F*1 的冲量与 *F*2 的冲量的大小。

*t*

*a*

*b*

*O*

*A*

*C*

*B*

*D*

*v*

图 1–27

1. 质量为 *m*1 的火箭搭载质量为 *m*2 的卫星，以速率 *v*0 进入太空中的预定位置后两者分离。星箭分离前，卫星位于火箭箭体前端。星箭分离后，箭体以速率 *v*2 沿原方向运动，估算星箭分离后卫星的速率 *v*1。

*x*/m

*t*/s

*a*

*b*

*c*

*O*

1

2

3

4

10

8

6

4

2

图 1–28

1. 如图 1–28 所示为沿同一直线运动的 *A*、*B* 两小球碰撞前后的 *x*–*t* 图像。其中直线 *a*、*b* 分别为小球 *A*、*B* 碰撞前的 *x*–*t* 图线，直线 *c* 为碰撞后两球的 *x*–*t* 图线。根据图中的信息描述 *A*、*B* 两小球碰撞前后的运动情况。若 *A* 球质量为 1 kg，则 *B* 球质量为多少？
2. 如图 1–29（a）所示，气垫导轨上两个静止的滑块 *A*、*B* 之间放有一根被压缩的轻质弹簧，两个滑块用绳子连接。将绳子烧断后，两个滑块向相反方向运动，运动过程中的频闪照片如图 1–29（b）所示。已知频闪的频率为 10 Hz，滑块 *A*、*B* 的质量分别为 200 g、300 g。根据照片记录的信息，问：

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

cm

*A*

*A*

*A*

*A*

*B*

*B*

*B*

*B*

*A*

*B*

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

cm

(a)

(b)

图 1–29

（1）绳子烧断且 *A*、*B* 离开弹簧后，*A*、*B* 分别做什么样的运动？运动速度分别为多大？

（2）绳子烧断后 *A*、*B* 的动能如何变化？总动能是否不变？

（3）绳子烧断后 *A*、*B* 的动量如何变化？总动量是否守恒？

1. 如图 1–30 所示，在光滑水平面的左侧固定一竖直挡板，*A* 球静止在水平面上，*B* 球向左运动并与 *A* 球发生碰撞，碰撞前后 *A*、*B* 均沿同一直线运动。*B* 球碰撞前、后的速率之比为 3∶1，*A* 球垂直撞向挡板，相撞后以原速率返回，两球刚好不发生第二次碰撞。分析两球的质量关系。

*A*

*B*

图 1–30

1. 一艘宇宙飞船垂直于飞行方向的横截面积为 *S*，以恒定的速率 *v*0 航行，进入一个具有宇宙尘埃的区域。设该区域内单位体积有 *n* 颗尘埃，每颗尘埃的质量为 *m*，尘埃碰到飞船前是静止的，碰到飞船后黏附其上。在忽略其他阻力的情况下，飞船为保持匀速航行，发动机需提供大小为 *nmv*02*S* 的牵引力，试写出推导这一表达式的过程。
2. 质量为 *m*0 的人乘坐质量为 *m* 的气球，静止于离地 *h* 高处。如果从气球上放下一个质量不计的软梯，让人沿软梯匀速降到地面，则软梯至少需多长。

## 学期活动

这是一个小组合作活动，要求设计方案，测量反冲物体所受）中力随时间的变化情况。活动时，可选用“水火箭”为对象。方案应该包括测量的原理、选用的器材和测量方法、所测数据及处理结果的呈现方式，以及主要步骤。

对于有兴趣的同学来说，可以根据所制订的方案开展实验，于学期结束前在班内进行展示交流。

## 复习与巩固解读

1．参考解答：小球在摆动过程中，除了重力，还受到绳子拉力的作用，重力的冲量不等于合力的冲量。动量的变化量等于合力的冲量。故重力的冲量不等于小球动量的变化量。

命题意图：从动能的变化和动量的变化两个角度分析常见的运动，厘清引起变化的原因。

主要素养与水平：物理观念（Ⅲ）。

2．参考解答：小球运动过程中，忽略空气阻力的影响，仅受重力作用。根据动能定理知，小球的两次运动过程中，重力做功相等，动能的变化量相等。因初动能相等，故小球两次落地时动能相等。小球两次落地瞬间，虽然速度大小相等，但是速度方向不同，故动量方向不同，即落地时动量不同。小球从同一位置以相同速率竖直上抛和水平抛出，竖直上抛后经过更长的时间 *t* 才会落地，故所受合力的冲量 *mgt* 更大。

命题意图：分析比较两种相似的抛体运动，理解动量的矢量性，体会求恒力冲量的方法。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

3．参考解答：（1）A、B 两球在光滑水平面上由静止释放，在水平方向上两球仅受相互间库仑力的作用，不受其他外力，则 A、B 两球组成的系统动量守恒 （2）若在空间加一沿水平方向的匀强电场，A、B 均受到大小相等的水平电场力作用。若 A、B 带等量同种电荷，它们所受电场力方向相同，两球组成的系统所受水平外力不为零，两带电小球组成的系统动量不守恒。若 A、B 带等量异种电荷，它们所受电场力方向相反，两球组成的系统所受水平外力为零，两带电小球组成的系统动量守恒。

命题意图：分情况讨论，从多个视角分析物理问题。

主要素养与水平：质疑（Ⅱ）。

4．参考解答：取向上为正方向。物体所受的阻力用 *F*阻 = *kv* 表示。根据牛顿第二定律，上升阶段物体的加速度 *a*1 = = *g* + ，物体做加速度减小的减速运动。下降段物体的加速度 *a*2 = = *g* − ，物体做加速度减小的加速运动。物体从抛出点上升到落回抛出点的 *v* – *t* 图像如图 4 所示，图线与时间轴所围的两部分的面积大小相等，说明物体从抛出到返回抛出点过程的位移为 0。

*v*

*t*

*O*

*v*0

*v*t

由于 *F*阻 的方向始终与速度 *v* 的方向相反，且 *F*阻 = *kv*，因此阻力随时间变化的 *F*阻 – *t* 图像与 *v* – *t* 图像相似，与时间轴所围的两部分面积大小也相等，可以互相抵消。说明物体从抛出到返回抛出点的过程中 *F*阻 的冲量 *I*阻 为 0。根据动量定理，物体从抛出到返回抛出点的过程中，合力的冲量 *I* =*I*G + *I*阻，*I*阻 = 0，*I* = *I*G = − *mgt* = − *mv*t – *mv*0，可得时间 *t* = = 。

命题意图：综合应用牛顿运动定律和动量定理，从图像中发现规律，并应用类比推理建立物理量的特征，得到结论。

主要素养与水平：科学推理（Ⅳ）；解释（Ⅲ）。

5．参考解答：在运动员下落的整个过程中，若忽略空气阻力，只有重力和弹性绳拉力有冲量。第一阶段的初速度和第二阶段的末速度都为零，动量变化量为零，根据动量定理，总冲量为零。因此，重力对运动员的总冲量大小等于弹性绳拉力的冲量大小。第一阶段和第二阶段都有重力作用，弹性绳拉力仅在第二阶段作用，所以第一阶段重力的冲量应小于第二阶段弹性绳拉力冲量的大小。

命题意图：从局部与整体两个视角展开分析，描述推理的过程，不需要用物理量符号来表示关系式，也不需要通过关系式来判断。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）。

6．参考解答：图 1 – 27 中 AB 与 CD 平行，说明撤去推力后两物体的加速度相同，而撤去推力后物体的合力等于摩擦力 *F*f，根据牛顿第二定律可知，两物体受到的摩擦力 *F*f 大小相等。在加速过程中，a 物体的加速度大于 b 物体的加速度，由牛顿第二定律 *F* – *F*f = *ma* 可知，a 物体所受的推力 *F*1 大于 b 物体所受的推力 *F*2；由图 1 – 27 可知，a 的运动时间小于 b 的运动时间，根据 *I*f = *F*fΔ*t* 可知，摩擦力对 a 物体的冲量小于摩擦力对 b 物体的冲量。根据动量定理，推力的冲量大小等于摩擦力的冲量大小，所以 *F*1 的冲量小于 *F*2 的冲量。

命题意图：从图像上获取信息，从总体和局部分析、比较，解释结论。

主要素养与水平：解释（Ⅲ）。

7．参考解答：以火箭和卫星为系统，在太空中系统不受外力，总动量守恒。以分离前的运动方向为正方向，则 （*m*1 + *m*2）*v*0 = *m*1*v*2 + *m*2*v*1，得 *v*1 = 。

命题意图：判断动量守恒的条件，用动量守恒定律解决问题，用给定的符号来表述和交流。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）。

8．参考解答：*x* – *t* 图像的斜率表示速度，则碰撞前 A 球的速度 *v*1 = = m/s = − 3 m/s，B 球的速度为 *v*2 = = m/s = 2 m/s，碰撞后两球一起运动，速度 *v* = = m/s = − 1 m/s。根据动量守恒定律，有 *m*A*v*1 + *m*B*v*2 =（*m*A + *m*B）*v*，解得 *m*B = = kg ≈ 0.67 kg。

命题意图：读图，构建运动情境，用动量守恒定律解决问题时要关注动量的矢量性。

主要素养与水平：模型建构（Ⅲ）；解释（Ⅲ）。

9．参考解答：（1）由图可知，每个滑块在相等时间内通过的位移相等，所以离开弹簧后两滑块分别做匀速直线运动。A、B 滑块的速度大小分别力：*v*A = = 0.09 m/s，*v*B = = 0.06 m/s。

（2）释放弹簧前，两滑块均处于静止状态，总动能为 0。释放弹簧后，两滑块均由静止变为运动，两滑块的动能均变大。由于动能是标量，虽然两滑块运动方向相反，但总动能不为 0。因此释放弹簧后，两滑块总动能增加，由弹簧的弹性势能转化而来。

（3）释放弹簧前，两滑块均处于静止状态，总动量为 0。释放弹簧后，两滑块均由静止变为向相反方向运动，两滑块动量大小变大。以水平向右为正方向，两滑块动量的矢量和 *m*A*v*A + *m*B*v*B = ［0.2×0.09 + 0.3×（− 0.06）］kg·m/s = 0 kg·m/s，因此总动量守恒。

命题意图：从频闪照片中获取物体的运动情况，做出合理的推理。

主要素养与水平：解释（Ⅱ）；科学论证（Ⅲ）。

10．参考解答：取向左为正。由于 B 球碰撞前、后的速率之比为 3∶1，设碰撞前，B 球的速度为 *v*0，则碰撞后，B 球的速率是 *v*0。因 A 球与挡板碰撞后以原速率返回，两球刚好不发生第二次碰撞。所以碰撞挡板后 A 球的速度与两球相撞后 B 球的速度方向相同、大小相等，都是 − *v*0。B 撞 A，A、B 组成的系统在水平方向上不受其他外力，由动量守恒定律，得 *m*B*v*0 = *m*A *v*0 – *m*B *v*0，得 = 。综合分析可知，A 球的质量必须大于 B 球的质量的 4 倍。

命题意图：科学推理可以从已知推测未知的结论，也可从已有的结论推断可能形成的条件。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

11．参考解答：设宇宙飞船进入尘埃的时间为 *t*，在 *t* 时间内黏附在飞船上的尘埃质量 *M* = *v*0*tSnm*，对黏附的尘埃，飞船使其加速，由动量定理得，飞船对尘埃的冲量 *Ft* = *Mv*0，得尘埃对飞船的作用力大小为 *F* = = *nmv*02*S*，飞船为了维持匀速航行，其发动机也需提供同样大小的牵引力。

命题意图：对比较陌生的情境，通过建立物理模型，转换对象，把复杂问题分解为简单问题。

主要素养与水平：模型建构（Ⅲ）；科学论证（Ⅳ）。

12．参考解答：以人和气球的系统为研究对象，系统所受竖直方向的合力为零，动量守恒。以竖直向下为正方向，设人沿软梯滑至地面，软梯长度至少为 *L*。人沿软梯至地面的过程中，气球上升的高度为 *L* − *h*，气球上升的速度大小 *v*2 = ，人相对于地面下降的高度为 *h*，人沿软梯匀速向下的速度大小 *v*1 = 。根据动量守恒定律，0 = *mv*2 + *m*0*v*1，得 0 = *m*（− ）+ *m*0 ，解得 *L* = *h*。

命题意图：能建立运动模型，用正确的符号来表达物理量；在动态变化的物理过程中，找到适用的规律。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）。