

Newton's Laws

1 前言	1
2 牛顿第一定律	1
2.1 惯性参考系	1
3 牛顿第二定律	2
3.1 力	2
3.2 详解牛顿第二定律	3
4 牛顿第三定律	3

1 前言

什么是力？是什么推动火箭向上飞？为什么我们在冰面上行走容易打滑？这些日常中的问题，其实都可以用牛顿运动三定律来解释。1687 年，英国物理泰斗艾萨克·牛顿在巨著《自然哲学的数学原理》里，提出了牛顿运动三定律定律，为经典物理打下了坚实的基础。接下来，我们就来详细讲解牛顿运动三定律。

2 牛顿第一定律

1632 年，伽利略通过大量的理论研究以及实验指出：所有物体都将一直处于静止或者匀速直线运动状态，直到出现施加其上的力改变它的运动状态为止。1687 年，牛顿提出了“牛顿第一定律”，指出：假若施加于某物体的外力为零，则该物体的运动速度不变。

2.1 惯性参考系

牛顿第一定律是经典物理最早的奠基石之一，是现代物理学中不可或缺的基础内容。但是，第一定律并非适用于所有的情况，比如对于自身有加速度的参考系，它是不适用的。

举个例子，如下图，当你坐在一辆正在加速行驶的火车窗户旁边看着窗外（此时，火车

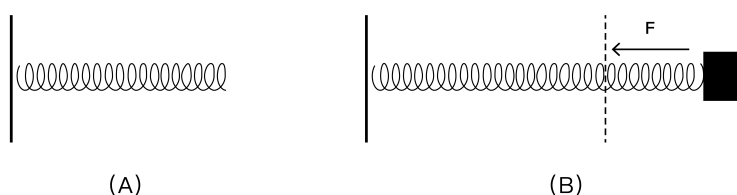


就是一个具有加速度的参考系)，站在铁路旁的铁路工人看到你时，对他而言，你是有加速度的，按照牛顿第一定律，你确实受到了火车的推力，所以你的运动状态在改变；而此时在你的眼里，站在路旁的铁路工人也是有加速度的，按照牛顿第一定律，他也应该受到了一个力在改变他的运动状态，但是，事实上这个力并不存在，此时，牛顿第一定律就失效了。那么，牛顿第一定律适用于什么情况呢？答案是“惯性参考系”，牛顿第一定律只适用于惯性参考系，惯性参考系是指没有任何加速度的参考系。但是事实上，地球上不可能存在这种没有任何加速度的“惯性参考系”，因为不管是地球自转、地球公转，还是银河系的转动，都会使地球上的一切都具有向心加速度，即便这些加速度非常的微弱以至于无法察觉，所以，目前我们无法通过实验来精准地验证牛顿第一定律。

3 牛顿第二定律

3.1 力

如下图，（忽略重力，空气阻力等力）只考虑弹簧的弹力，图（A）表示一端被固定，另一端自然伸展状态下的弹簧，图（B）表示一端被固定，另一端被拉伸以后的弹簧，为了便于测量，在被拉伸的那一端固定一个质量为 m_1 的小方块，然后释放弹簧，测量小方块的加速度 a_1 。现在，在保证拉伸量和原来的一样的情况下，在弹簧被拉伸的一端



放上质量为 m_2 的小方块来替换原来的小方块，以同样的方法测量小方块的加速度 a_2 。

经过反复的实验，得出的结果始终满足：

$$m_1 \cdot \vec{a}_1 = m_2 \cdot \vec{a}_2$$

我们把 $m \cdot \mathbf{a}$ 称为“力”，表示为 F ，即 $F = m \cdot \mathbf{a}$ ，这就是我们对“力”的定义。

3.2 详解牛顿第二定律

1687 年，牛顿提出了“牛顿第二定律”，他指出：对物体的强制作用力使其朝着力的方向加速，并且力具有 $m\mathbf{a}$ 给定的大小。接下来，我们将详细介绍牛顿第二定律。牛顿第二定律也许是整个物理学中最重要定律，用公式可以表示为：

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

F 的单位是 $kg \cdot m/s^2$ ，为了纪念牛顿，我们把这个单位又称为“牛顿”，表示为 N 。和牛顿第一定律一样，牛顿第二定律只适用于惯性参考系。

举个例子，不考虑空气阻力的情况下，成熟的苹果会以恒定的加速度 g 下降，这是因为苹果受到地球的吸引力而向下降落，我们把这个力称为重力，用 G 表示，假设苹果的质量为 m ，则苹果受到的重力可以表示为：

$$\vec{G} = m \cdot \vec{g}$$

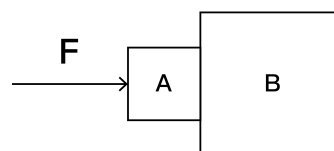
再举个例子，假设我现在用手掌拖住一个质量为 $1kg$ 的篮球，篮球处于静止状态。很显然，篮球受到一个来自地球的重力和一个来自手掌的支持力，篮球静止，其加速度为 0 ，故其受到的合力也为 0 。篮球受到的重力方向向下，大小为为：

$$G = mg = 9.8N$$

故其受到手掌的支持力方向与重力方向平行且相反，大小也为 $9.8N$ 。还有一点需要注意，就是只有在物体运动速度远小于光速时，牛顿第二定律才适用，当物体运动速度接近光速时，就只能用爱因斯坦的狭义相对论来分析相关问题了。

4 牛顿第三定律

1687 年，牛顿提出“牛顿第三定律”，他指出“一个物体对另一个物体施加力，对方施加相同大小的力量，方向相反”，总结一下就是作用力与反作用力等大反向。比如，你坐在凳子上，你对凳子施加了一个压力，凳子也对你施加了一个等大反向的支持力。接下来看一个简单的例子，如右图，（不考虑重力，空气阻力以及摩擦力等力）A 的质量为 $5kg$ ，B 的质量为 $15kg$ ， $F = 15N$ ，在推力 F 的作用下，小方块 A 和小

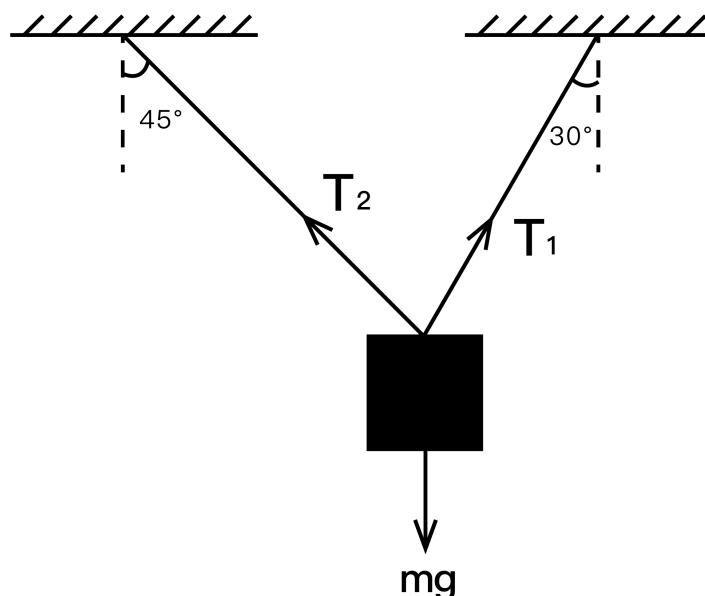


方块 B 附着在一起，朝着 \mathbf{F} 的方向做匀加速运动，由牛顿第二定律可知，

$$F = ma = (m_A + m_B)a$$

由此可以推出，A 和 B 的系统加速度为 $1m/s^2$ 。单独对 B 进行受力分析，B 只受到了一个来自 A 的推力 \mathbf{F}_{AB} ，由牛顿第二定律可知 $F_{AB} = 15N$ ，方向与 \mathbf{F} 相同。再单独对 A 进行受力分析，A 受到两个力，推力 \mathbf{F} 和来自 B 的反作用力 \mathbf{F}_{BA} ，由牛顿第二定律可知 $F + F_{BA} = m_A a$ ，可以求出 $F_{BA} = -15N$ 。由以上分析可以知道， \mathbf{F}_{AB} 和 \mathbf{F}_{BA} 等大且反向，即作用力与反作用力等大反向，证明牛顿第三定律理论上成立。日常生活中，有很多地方都用到了牛顿第三定律。比如火箭助推器，火箭燃料燃烧导致燃烧室气体体积膨胀，气体从燃烧室开口喷出，为火箭提供一个反作用力，反作用力就会推动火箭升空。

结合前面所学到的内容，我们再讲解一个详细的例子，来加深对牛顿三定律的理解。如下图，一个质量为 m 的小方块挂在了两根弦上（弦的质量忽略不计），其中一根弦与竖直方向成 60° 角，另一根弦与竖直方向成 45° 角，两根弦都被固定在天花板上，整个系统处于静止状态，分别求两根弦对小方块的拉力 \mathbf{T}_1 和 \mathbf{T}_2 。



首先，我们来对小方块进行受力分析，小方块一共受到三个力：重力 mg ，两个拉力 \mathbf{T}_1 和 \mathbf{T}_2 。由于整个系统处于静止状态，加速度为 0，由牛顿第二定律可知，系统受到的合力为 0。在水平方向上：

$$T_1 \cos 60^\circ = T_2 \cos 45^\circ \quad (1)$$

在竖直方向上：

$$T_1 \sin 60^\circ + T_2 \sin 45^\circ = mg \quad (2)$$

联立 (1), (2) 可知:

$$T_1 = \frac{2mg}{1 + \sqrt{3}} \quad T_2 = \frac{2mg}{\sqrt{2} + \sqrt{6}}$$