

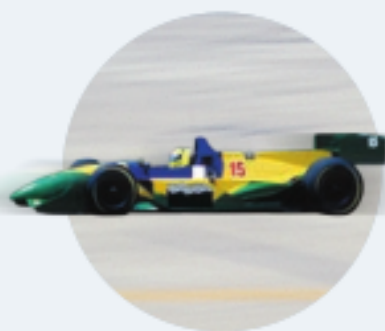
3

牛顿第二定律

问题



赛车质量小、动力大，容易在短时间内获得较大的速度，也就是说，赛车的加速度大。物体的加速度 a 与它所受的作用力 F 以及自身的质量 m 之间存在什么样的定量关系呢？通过上节的探究实验，你找到了吗？

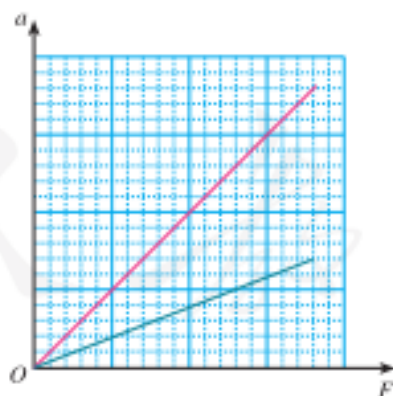


牛顿第二定律的表达式

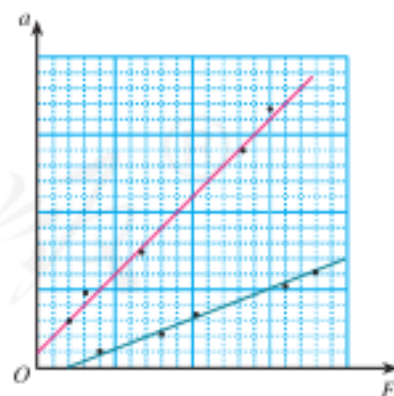
上节课的实验结果表明，小车的加速度 a 与它所受的作用力 F 成正比，与它的质量 m 成反比。那么，对于任何物体都是这样的吗？

► 科学研究人员做实验时，都要对偏差作出定量的分析，以确认这些偏差与实验规律的关系。这样，下结论时的把握就大多了。

如果我们多做几次类似的实验，每次实验的点都可以拟合成直线，而这些直线与坐标轴的交点又都十分接近原点（图4.3-1），那么，实际规律很可能就是这样的。



甲 猜想中的 a - F 图像



乙 根据实际数据作出的 a - F 图像

图 4.3-1

到此为止，我们的结论仍然带有猜想和推断的性质。只有根据这些结论推导出的很多新结果都与事实一致时，这样的结论才能成为“定律”。

由此看来，科学前辈们在根据有限的实验事实宣布某个定律时，既需要谨慎，也需要勇气。

大量的实验和观察到的事实都可以得出与上节课实验同样的结论，由此可以总结出一般性的规律：**物体加速度的大小跟它受到的作用力成正比，跟它的质量成反比，加速度的方向跟作用力的方向相同**。这就是**牛顿第二定律**（Newton's second law）。

牛顿第二定律可表述为

$$a \propto \frac{F}{m}$$

也可以写成等式

$$F = kma$$

其中 k 是比例系数。

牛顿第二定律不仅阐述了力、质量和加速度三者数量间的关系，还明确了加速度的方向与力的方向一致。

► 实际物体所受的力往往不止一个，式中 F 指的是物体所受的合力。

思考与讨论

取质量的单位是千克（kg），加速度的单位是米每二次方秒（ m/s^2 ），根据上述牛顿第二定律中加速度与力、质量的关系，我们应该怎样确定力的单位？

力的单位

$F = kma$ 中 k 的数值取决于 F 、 m 、 a 的单位的选取。

当 $k = 1$ 时，质量为1 kg的物体在某力的作用下获得 1 m/s^2 的加速度，则这个力

$$F = ma = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

如果我们把这个力叫作“一个单位”的力的话，力 F 的单位就是千克米每二次方秒。后人为了纪念牛顿，把它称作“牛顿”，用符号N表示。

在质量的单位取千克（kg），加速度的单位取米每二次方秒（ m/s^2 ），力的单位取牛顿（N）时，牛顿第二定律可以表述为

$$F = ma$$

► 我们在初中已经学过，在国际单位制中，力的单位是牛顿（N）。但是当时并不知道“牛顿”这个单位是怎样定义的。学过牛顿第二定律之后，这个问题就清楚了。

有了牛顿第二定律，我们就能够更进一步理解：描述物体惯性的物理量是质量的含义，即在确定的作用力下，决定物体运动状态变化难易程度的因素是物体的质量。

【例题1】

在平直路面上，质量为1 100 kg的汽车在进行研发的测试，当速度达到100 km/h时取消动力，经过70 s停了下来。汽车受到的阻力是多少？重新起步加速时牵引力为2 000 N，产生的加速度是多少？假定试车过程中汽车受到的阻力不变。

分析 如图4.3-2，取消动力后，汽车在平直路面上只受阻力的作用。由于阻力不变，根据牛顿第二定律，汽车在平直路面上运动的加速度将保持不变。由加速度可以求出汽车受到的阻力。



图4.3-2

如图4.3-3，重新起步后，汽车在平直路面上受到牵引力和阻力。由于二者大小都不变，所以汽车的加速度恒定不变。根据牛顿第二定律可以求出汽车运动的加速度。



图4.3-3

解 以汽车为研究对象。设汽车运动方向为x轴正方向，建立一维坐标系。取消动力后，汽车做匀减速直线运动。初速度 $v_0 = 100 \text{ km/h} = 27.8 \text{ m/s}$ ，末速度为0，滑行时间 $t = 70 \text{ s}$ 。

根据匀变速直线运动速度与时间的关系式，加速度为

$$a_1 = \frac{0 - v_0}{t} = -\frac{v_0}{t}$$

汽车受到的阻力为

$$F_{\text{阻}} = ma_1 = -\frac{mv_0}{t} = -\frac{1\,100 \text{ kg} \times 27.8 \text{ m/s}}{70 \text{ s}} = -437 \text{ N}$$

汽车受到的阻力是437 N，方向与运动方向相反。

重新起步后，汽车所受的合力为

$$F_{\text{合}} = 2\,000 \text{ N} - 437 \text{ N} = 1\,563 \text{ N}$$

由牛顿第二定律可以得到汽车的加速度

$$a_2 = \frac{F_{\text{合}}}{m} = \frac{1\,563 \text{ N}}{1\,100 \text{ kg}} = 1.42 \text{ m/s}^2$$

重新起步产生的加速度是 1.42 m/s^2 ，方向与运动方向相同。

【例题2】

某同学在列车车厢的顶部用细线悬挂一个小球，在列车以某一加速度渐渐启动的过程中，细线就会偏过一定角度并相对车厢保持静止，通过测定偏角的大小就能确定列车的加速度（图4.3-4）。在某次测定中，悬线与竖直方向的夹角为 θ ，求列车的加速度。

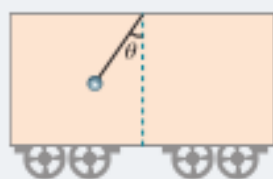


图4.3-4

分析 列车在加速行驶的过程中，小球始终与列车保持相对静止状态，所以，小球的加速度与列车的加速度相同。

对小球进行受力分析，根据力的合成法则求解合力。再根据牛顿第二定律，求出小球的加速度，从而获得列车的加速度。

解 方法1 选择小球为研究对象。设小球的质量为 m ，小球在竖直平面内受到重力 G 、绳的拉力 F_T （图4.3-5）。在这两个力的作用下，小球产生水平方向的加速度 a 。这表明， F_T 与 G 的合力方向水平向右，且

$$F = G \tan \theta = mg \tan \theta$$

根据牛顿第二定律，小球具有的加速度为

$$a = \frac{F}{m} = g \tan \theta$$

方法2 小球在水平方向上做匀加速直线运动，在竖直方向上处于平衡状态。建立图4.3-6所示的直角坐标系。将小球所受的拉力 F_T 分解为水平方向的 F_x 和竖直方向的 F_y 。

在竖直方向有

$$\begin{aligned} F_y - mg &= 0, F_y = F_T \cos \theta \\ F_T \cos \theta &= mg \end{aligned} \quad (1)$$

在水平方向有

$$\begin{aligned} F_x &= F_T \sin \theta \\ F_T \sin \theta &= ma \end{aligned} \quad (2)$$

(1)(2)式联立，可以求得小球的加速度为

$$a = g \tan \theta$$

列车的加速度与小球相同，大小为 $g \tan \theta$ ，方向水平向右。



图4.3-5



图4.3-6

用动力学方法测质量

大家知道，质量可以用天平来测量。但是在太空，物体完全失重，用天平无法测量质量，那么应该如何测量呢？

由牛顿第二定律 $F=ma$ 可知，如果给物体施加一个已知的力，并测得物体在这个力作用下的加速度，就可以求出物体的质量。这就是动力学测量质量的方法。

北京时间2013年6月20日上午10时，我国航天员在天宫一号目标飞行器进行了太空授课，演示了包括质量的测量在内的一系列实验。

质量的测量是通过舱壁上打开的一个支架形状的质量测量仪完成的。测量时，航天员把自己固定在支架的一端，另外一名航天员将支架拉开到指定的位置。松手后，支架拉着航天员从静止返回到舱壁（图4.3-7）。支架能够产生一个恒定的拉力 F ；用光栅测速装置能够测量出支架复位的速度 v 和时间 t ，从而计算出加速度 a 。这样，就能够计算出航天员的质量 m 。

你能设计出一种在太空中测量质量的方法吗？



图 4.3-7 太空中质量的测量

练习与应用

1. 从牛顿第二定律知道，无论怎样小的力都可以使物体产生加速度。可是，我们用力提一个很重的箱子，却提不动它。这跟牛顿第二定律有没有矛盾？应该怎样解释这个现象？

2. 甲、乙两辆小车放在水平桌面上，在相同拉力的作用下，甲车产生的加速度为 1.5 m/s^2 ，乙车产生的加速度为 4.5 m/s^2 ，甲车的质量是乙车的几倍？（不考虑阻力）

3. 一个物体受到的合力是 4 N 时，产生的加速度为 2 m/s^2 。若该物体的加速度为 6 m/s^2 ，它受到的合力是多大？

4. 光滑水平桌面上有一个质量是 2 kg 的物体，它在水平方向上受到互成 90° 的两个力的作用，这两个力的大小都是 14 N 。这个物体加速度的大小是多少？沿什么方向？

5. 平直路面上质量是 30 kg 的手推车，在受到 60 N 的水平推力时做加速度为 1.5 m/s^2 的匀加速直线运动。如果撤去推力，车的加速度大小是多少？方向如何？

6. 如图4.3-8，一辆装满石块的货车在平直道路上以加速度 a 向前加速运动。货箱中石块B的质量为 m ，求石块B周围与它接触的物体对石块B作用力的合力。



图 4.3-8