**第4章 力与运动 第二节 牛顿第二定律**

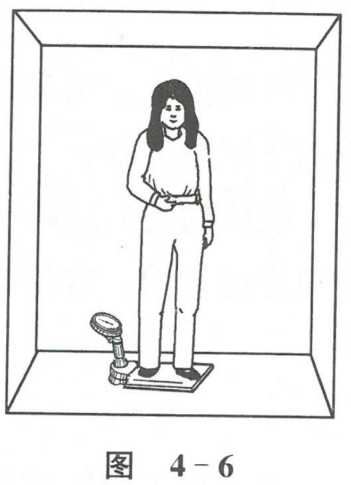
**31393935333132383b31393939333839393b603b7ed36f148bb2初中回顾**

初中在学习牛顿第一定律的时候，我们已经知道在不受外力作用或所受合外力为零时，物体会保持原有运动状态不变；若物体所受合外力不为零时，其运动状态一定会发生改变。

这一节内容就是在实验基础上总结出物体运动状态改变的难易程度与哪些因素有关，具体有怎样的关系。

31393936353332353b31393936383838313b759195ee如图4-6所示，一位女士进入升降机后站在升降机内的台秤上，然后升降机开始上升。她从台秤的示数上看到自己体重增加了20%，这是什么原因？你能分析一下升降机此时的运动情况吗？

学完这一节，我们就可以通过计算知道升降机此时的运动情况了。



**31393935333139373b31393936363233353b5b666821入门阶梯**

牛顿第二定律是动力学的核心规律，是本章的重点和中心内容，也是学习其他动力学规律的基础，在力学中占有很重要的地位。它定量研究外力、物体质量、加速度三者之间的关系，是进入高中阶段才接触到的物理知识。希望同学们能结合自己的生活经历去理解、体验牛顿第二定律，并学会利用牛顿第二定律去解决生活、生产中的动力学问题。

**一、加速度的决定因素**

我们知道，物体运动状态发生改变时，物体就有了加速度，那么加速度到底由什么因素决定呢？

上体育课时，一个同学先后两次推同一个铅球，第一次没准备好，用力很小，铅球在手中的速度变化很慢，投出去时速度很小，马上就落地了；第二次经过充分准备后，这位同学用较大的力推铅球，铅球在手中的速度变化较快，离开手时已经有了较大的速度，因而飞到了较远的地方才落地。如果这位同学推完铅球，开始拿起篮球投篮，所用的力和第二次推铅球的力一样大，则篮球会以更大的速度离开手飞出去。从这些现象中，大家应该已经猜想到加速度可能与作用力及质量有关。

力能改变物体运动状态，惯性是保持物体原有运动状态的性质，加速度描述运动状态改变，这三者有什么关系呢？这正是牛顿第二定律解答的问题。

**二、牛顿第二定律**

1.牛顿第二定律内容

英国科学家牛顿（1643—1727）在300多年前进行了大量的实验，得出两个结论：

（1）在物体质量相同的条件下，物体的加速度跟作用在物体上的外力成正比。即

或 （*a*正比于*F*）

（2）在相同外力作用的条件下，物体的加速度跟物体的质量成反比。即

或 （*a*反比于*m*）

牛顿把上述由大量的实验得出的两个结论综合起来，就得出加速度跟外力和物体质量两者之间的关系：

物体的加速度跟所受作用力成正比，跟物体的质量成反比，加速度方向跟所受作用力的方向相同。这就是牛顿第二定律。若用数学公式表示就是

或

上式也可以写成我们习惯的等式*F=kma*。

国际单位制所规定的力的单位“牛顿（N）”就是用这个公式定义的：使质量是1kg的物体产生1m/s²加速度的力是1N。所以，1N=1kg·m/s²。可见，如果加速度用m/s²做单位，质量用kg做单位，力用N做单位，则上述公式中的比例系数*k*=1，公式就可以简化成

*F=ma*

公式中*F、a*均为有方向的矢量，而且加速度*a*的方向与产生加速度的力*F*的方向总是相同的。

以上所讨论的是物体受到一个力作用时，产生加速度的情况。实验证明，物体同时受到几个力作用时，物体的加速度由这几个力的合力所决定，合力产生的加速度仍可用牛顿第二定律描述。这样，牛顿第二定律就可以推广为：

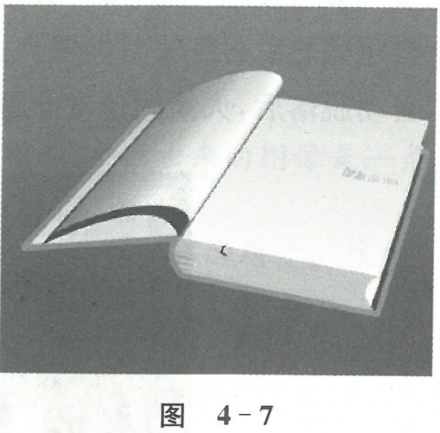
物体的加速度跟物体所受外力的合力成正比，跟物体的质量成反比；加速度的方向跟合外力的方向相同。写成公式就是

*F*合=*ma*

**31393936353332353b31393936383838313b759195ee如何理解"力是产生物体加速度的原因"？**

由牛顿第二定律可知，物体的加速度由它受到的合外力决定，同时又受到物体本身质量的制约。在物体质量不变的情况下，物体的加速度和所受合外力成正比。

为什么物体处于静止或匀速直线运动状态的条件是所受合外力为零呢？当物体所受合外力为零时，由*F*合=*ma*可知，加速度就为零，所以物体的运动状态就会保持不变，这就是物体的平衡条件。例如静止在桌面上的书，受到重力和支持力的作用，重力和支持力的合力为零，所以书的运动状态保持不变，始终静止，如图4-7所示。



同样，请同学们思考一下，物体做匀加速直线运动的条件是什么？当物体所受合外力大小、方向不变，且跟物体初速度方向在同一直线上时，物体加速度大小、方向也不变，且跟物体初速度方向在同一直线上，这是物体做匀加速直线运动的条件。例如，一个小孩释放皮球，皮球离开手后受到向下的重力的作用（忽略空气阻力），重力方向始终与皮球的速度方向相同，所以皮球在落地之前，做的就是匀加速直线运动。

这样我们就把新学的牛顿第二定律知识与前面学的物理知识联系起来了，既巩固了新知识，又加深了对原有知识的理解。

**例题1** （自由落体）一个质量为0.5kg的小球在空中自由落下，求小球下落时的加速度。

**解析** 本题中小球做自由落体，只受重力作用。

已知：*m*=0.5kg。

求：*a*=？

小球的重力*G=mg*=0.5kg×9.8N/kg=4.9N，

根据牛顿第二定律

*a*即为重力加速度*g*，方向竖直向下。

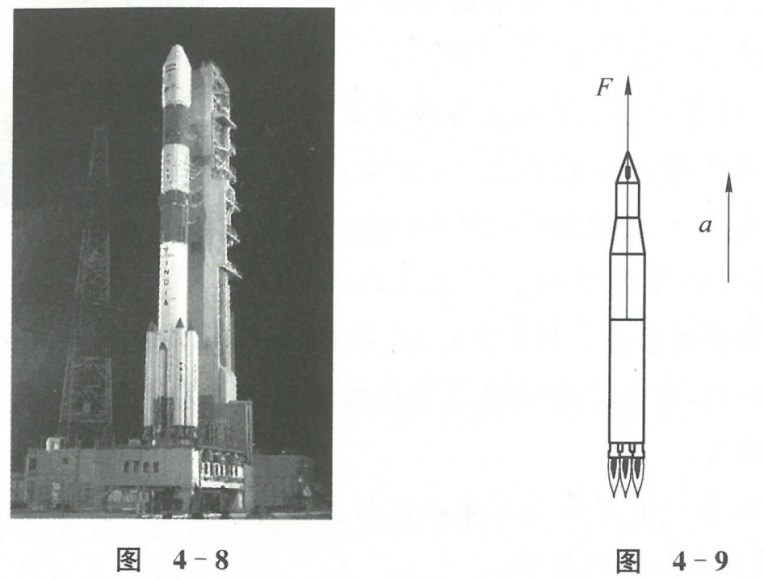
31393936353332353b31393936383838313b759195ee**重力加速度*g*和初中所学的常数9.8N/kg有什么关系呢？**

若一物体做自由落体运动，物体只受重力作用，由牛顿第二定律得：*G=mg*。可见初中学的*g*=9.8N/kg，实际上就是重力加速度的大小，两者单位也相同。在高中*g*不仅有大小，还有方向，方向竖直向下。仅受重力作用的物体运动加速度就是*g*，所以*g*称为重力加速度。

**31393936353332353b31393936383838313b759195ee如何理解“质量是物体惯性大小的量度”？**

上一节我们初步了解了质量是惯性大小的量度，我们也可以根据牛顿第二定律进行分析，由可知，合外力相同时，质量大的物体加速度就小，也就是运动状态不易改变，惯性较大；反之，质量小的物体加速度就大，也就是运动状态容易改变，惯性较小。惯性和外力分别是改变物体运动状态的内因和外因。

**例题2** （牛顿第二定律） 火箭（图4-8）有单级和多级之分，多级火箭就是把火箭一级一级地接在一起，第一级燃料用完之后把箭体抛弃，减轻负担，然后第二级开始工作，燃料用完之后再把第二级抛弃……请同学们解释一下为什么火箭每一级燃料用完、箭体自动脱落后，火箭的速度会越来越大？

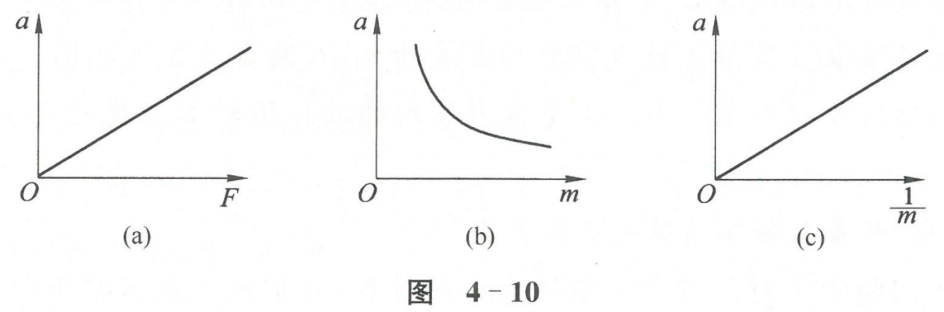


**解析** 火箭发射时，受到重力和底部燃料燃烧后产生的推力的作用，由于推力远大于其本身的重力，在这里我们认为火箭的重力可以忽略不计，受力情况如图4-9所示。

火箭的每一级燃料燃尽后会自动脱落，火箭的质量就会减小。由牛顿第二定律，合外力不变时，物体的加速度跟物体的质量成反比，所以火箭的加速度会越来越大，即火箭的速度会增大得越来越快。

31393936353332353b31393936383838313b759195ee**如何读懂*a-F*、图像？**

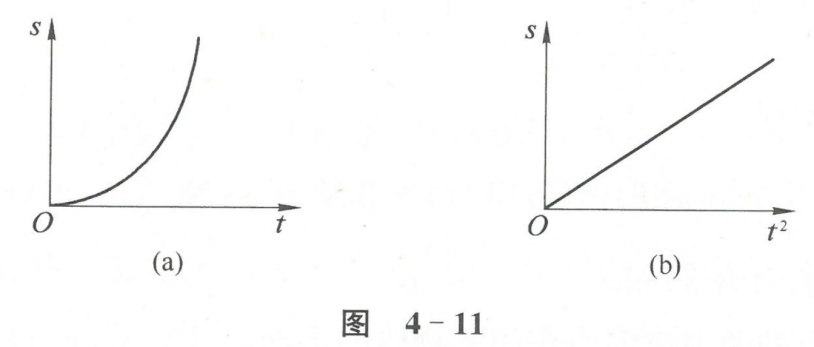
由牛顿第二定律可知，，在物体质量相同的条件下，物体的加速度跟作用在物体上的合外力成正比[正比例函数*y=kx*（*k*为常数）]。我们以合外力*F*为横坐标，以加速度*a*为纵坐标，可得到图像为一条过原点的倾斜的直线（第一象限），如图4-10（a）所示。



又由牛顿第二定律可知，，在相同外力作用的条件下，物体的加速度跟物体的质量成反比[反比例函数（*k*为常数）]。我们以质量*m*为横坐标，以加速度*a*为纵坐标，可以得到图像是双曲线的一支（第一象限），如图4-10（b）所示。但是因为图像是曲线，很多情况下我们并不能由这样一个图像去判断两个物理量之间的确切函数关系，所以这里引进一个“化曲为直”的思想。那么怎么让曲线变成直线呢？不变的情况下，，我们可以把横坐标改成质量的倒数，若画出来的图像是一条过原点的直线，就说明*a*和成正比，也就是*a*和*m*成反比，如图4-10（c）所示。这种“化曲为直”的思想方法在高中阶段将经常用到。

**例题3** （*s-t*图像） 请同学们画出初速为零的匀加速直线运动的*s-t*图像。然后试着利用化曲为直的思想，看看以什么物理量为横坐标，可以使位移图像成为一条过原点的直线。

**解析** 初速为零的匀加速直线运动的*s-t*图像如图4-11（a）所示。根据初速为零的匀加速直线运动位移公式可知，*s*和时间的平方成正比，我们可以以时间的平方为横轴，画出*s*-图像，可以得到一条过原点的倾斜的直线，如图4-11（b）所示。



**31393936353332353b31393936383838313b759195ee如何理解加速度的定义式和决定式？**

在第二章里我们知道了加速度的定义：加速度在数值上等于单位时间内（每秒内）速度的变化，即，这个公式我们称之为定义式，使用了比值定义法。所谓比值定义法，就是用两个基本的物理量的"比"来定义一个新的物理量的方法。一般地，比值法定义的基本特点是被定义的物理量往往是**反映物质的最本质的属性，它不随定义所用的物理量的大小取舍而改变**，比如物体速度变化量*△v*大，加速度不一定大；加速时间长，加速度也不一定小。

而今天我们又学习了有关加速度的另一个公式：，这个公式我们称之为决定式。决定式中等式左右两边的物理量之间存在决定和被决定的关系，即物体的加速度跟所受作用力成正比，跟物体的质量成反比。在高中阶段，我们将经常碰到类似加速度这样又有定义式又有决定式的物理量，同学们碰到此类物理量的公式时，一定要分清楚是定义式还是决定式，这对理解物理概念非常重要。

2.牛顿第二定律的应用

（1）一个力作用下物体的运动

物体在外力作用下会改变运动状态，即产生加速度，这种研究物体所受的力和物体运动状态变化之间关系的学科，称之为动力学。牛顿三大定律是动力学的基础。物体在一个力作用下运动，产生的加速度方向和力的方向一致。

**例题4** （质量、力）一个铁块在20N的力作用下产生的加速度是2m/s²，这个铁块的质量为多大？要使该铁产生5m/s2的加速度，需要对它施加多大的力？

**解析** 首先根据牛顿第二定律计算出铁块的质量，然后根据计算出的质量和给定的加速度，求出施加的力的大小。

①已知：*F*=20N，*a*=2m/s²。

求：m=？

根据牛顿第二定律*F=ma*得

这个铁块的质量为10kg。

②已知：*m*=10kg，*a*=5m/s²。

求：*F*=？

根据牛顿第二定律

*F=ma*=10×5N=50N

所以需要对它施加的力为50N。

（2）同一直线上的两力或多力作用下物体的运动

若是已知物体的运动情况，先根据运动学公式求出加速度，然后根据牛顿第二定律求出物体所受合外力，再根据同一直线上力的分解原则，算出某一个力；若是已知物体的受力情况，则先根据同一直线上力的合成的原则，求出合力，然后根据牛顿第二定律算出物体加速度，再根据运动学公式，求出相应的物理量。

**例题5**（同一直线上二力作用）现在我们讨论本章开头提出的自俄罗斯运动员基里尔·希姆科与帕维尔·索罗卡努力拉动一架重达150t的伊柳辛-76运输机的问题。假设这两个运动员的拉力在同一直线上，且拉力的方向与飞机跑道平行。设他们俩身体总质量为250kg，飞机轮胎与地面的阻力为飞机重力的0.01倍，设飞机被拉动后做匀加速直线运动，经5min前进3m，求：

1. 飞机所受合力为多少？
2. 运动员平均每人拉力为多少？

**解析** 本题中两个运动员的总质量 250kg是多余条件。对于飞机来说，受到竖直方向的重力和支持力作用，二力平衡；受到水平方向上的两个运动员的拉力和地面的摩擦力作用，做匀加速直线运动。所以我们首先根据运动情况计算飞机的加速度，然后根据牛顿第二定律，求出飞机所受合力和每个运动员的拉力。

1. 已知：*m*机=150t，*t*=300s，*s*=3m。

求：*F*合=？

根据初速度为零的匀加速直线运动公式，

飞机所受合力

*F*合=*m*机*a*=150×103××10-4N=10N

1. 已知：*m*机=150t，*F*阻=0.01*m*机*g*，*F*合=10N。

求：*F*拉=？

*F*阻=0.01*m*机*g*=0.01×150×103×10N=15000N

*F*合=*F*拉-*F*阻

*F*拉=*F*合+*F*阻=（10＋15000）N=15010N

平均每人拉力

（3）不在同一直线上的二力作用下物体的运动

解题思路和前面第（2）点相似，只是需要利用平行四边形法则进行力的合成或分解。

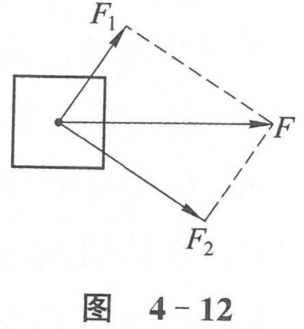
**例题6** （不在同一直线上二力作用） 静止在光滑水平面上的物体，质量为1kg，受到两个互成90°的水平力的作用，其中一个力大小为3N，另一个力大小为4N，求此物体的加速度为多少。

**解析** 物体在竖直方向上所受重力和支持力平衡，可以不再考虑。水平方向上受到*F*1=3N、*F*2=4N两个力的作用，所以先根据平行四边形定则算出水平力的合力，再根据牛顿第二定律求出加速度。

已知：*m*=1kg，*F*1=3N，*F*2=4N，两力夹角*α*=90°。

求：*a*=？

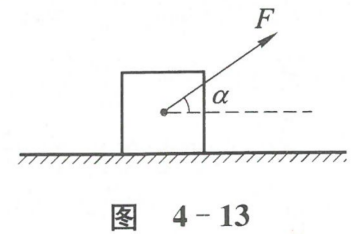
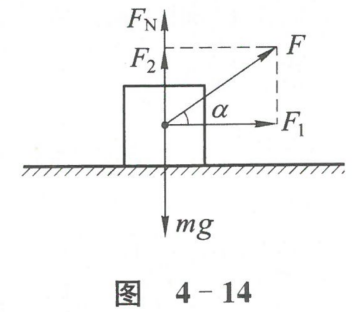
根据平行四边形定则画出物体在水平面内合力*F*，如图4-12所示。



（4）不在同一直线上的三个力作用下物体的运动

研究物体受不在同一直线上的三力或更多力作用，我们一般使用正交分解来求两个垂直方向上各自的合力，然后由牛顿第二定律根据实际情况求解。

**例题7**（不在同一直线上三力作用）质量为*m*=5kg的物体置于光滑水平地面上，受到与水平面成*α*=37°角斜向上的拉力*F*=10N作用，如图4-13所示，由静止起沿水平面运动，求它的加速度。

**解析** 首先对物体进行受力分析，发现已知力*F*与其他的力既不在同一直线上，也不在垂直方向上，所以需要正交分解。

已知：*m*=5kg，*α*=37°，*F*=10N。

求：*a*=？

先对物体进行受力分析，然后对*F*进行正交分解，如图4-14所示。

竖直方向：物体无加速度*F*N＋*F*2=*mg*，

水平方向：

由牛顿第二定律

**点拨** 本题*F*正交分解后，竖直方向上重力*mg*、支持力*F*N和*F*的竖直分力*F*2三力平衡，而水平方向上只有*F*的水平分力*F*1，因此合外力就是*F*1，物体产生的加速度*a* 的方向与*F*1的方向一致，即为水平方向。

343435383135323b333634333730303b8d8b52bf **尝试挑战**

1. （比例系数）在牛顿第二定律公式*F=kma* 中，比例系数*k*的数值（ ）

A.在任何情况下都等于1

B.是由质量*m*、加速度*a*和力*F*三者的大小所决定的

C. 是由质量*m*、加速度*a*和力*F*三者的单位所决定的

D.在国际单位制中一定等于1

2.（牛顿第二定律） 关于牛顿第二定律，正确的说法是（ ）

A.物体的质量跟外力成正比，跟加速度成反比

B.加速度的方向一定与合外力的方向一致

C.物体的加速度跟物体所受的合外力成正比，跟物体的质量成反比

D.由于加速度跟合外力成正比，整块砖的重力加速度一定是半块砖重力加速度的2倍

3.（牛顿第二定律） 用同一个力作用在质量为*m*1的物体上能产生0.6m/s²的加速度，而作用在质量为*m*2的物体上能产生2.4m/s²的加速度，则有*m*1：*m*2= 。分别用*F*1和*F*2作用在同一个物体上，物体产生的加速度分别是1.5m/s²和7.5m/s²，则有*F*1：*F*2= 。

4.（牛顿第二定律）下面是关于牛顿第二定律的理解，其中正确的是（ ）

A. 由 可得，可见物体的质量*m*跟外力*F*合成正比，跟加速度*a*成反比

B.对同一物体来说，运动速度越大，物体所受的合外力就越大

C.对不同的物体来说，加速度较大的物体所受到的合外力也一定较大

D.物体速度改变量的方向，一定跟合外力的方向相同

5.（力、加速度和速度）物体受到的合外力方向与物体运动方向一致，并且合外力逐渐减小时，物体的加速度*a*和速度*v*将（ ）

A. *v、a*均减小 B.*a*减小、*v*增大

C. *v、a*均增大 D. *a*增大、*v*减小

6.（加速度） 本节开头思考中，一位女士进入升降机后站在升降机内的台秤上，然后升降机开始上升。她从台秤的示数上看到自己体重增加了20%，请计算升降机的加速度大小。（提示：台秤示数与秤对人的支持力相关，即*F*N=1.2*mg*）

7.（加速度和力）静止在水平面上的物体质量为4kg，与水平而间的动摩擦因数为0.2，在水平恒力*F*的作用下，加速度为15m/s²，求水平恒力*F*。

参考答案

1.CD 2.BC 3.4:1；1:5 4.D 5.B 6.2m/s² 7.68N