# 16．牛顿是通过实验得出牛顿第二定律的吗？

高中阶段在讲牛顿第二定律之前，要先做一个探究加速度与力的关系及加速度与物体质量关系的实验，随后在此基础上归纳出牛顿第二定律。但实际上，牛顿第二定律并不是通过实验得出的规律，而是牛顿在前人工作的基础上经过认真思考而给出的一个约定：定义改变物体运动状态的作用为力，而物体运动状态的变化率用加速度作为量度，那力与加速度之间是怎样的关系呢？最简单的关系就是正比例关系，即 *F* ∝ *a*，这就是牛顿第二定律。

物理教学中，获得物理规律的方法与物理学史的事实并不一定相同，最明显的例子莫过于对牛顿第二定律的教学了。

## 一、高中物理教学的安排

早在初中物理课程的学习中，学生已经学习了力的概念和牛顿第一定律。关于力，学生知道了力是物体间的相互作用、力是改变物体运动状态和使物体发生形变的原因、测量力使用的是根据弹簧形变量与弹力成正比而制成的弹簧测力计。关于牛顿第一定律，学生知道了物体有惯性，在没有受到外力作用时物体会保持静止或匀速直线运动的状态。在初中阶段，学生还学习了质量，知道了“质量是物体所含物质的多少”“使用天平测量质量的方法”“质量是物体惯性大小的量度”。

进入高中阶段，学生先以运动学角度学习了位置、位移、速度及加速度等概念，知道了加速度是描述物体运动状态变化快慢和方向的物理量。在定量讨论力与运动状态改变关系的规律——牛顿第二定律之前，为了培养学生的实验探究能力，教师会先安排做一个实验——探究加速度与外力及物体质量间的关系，让学生通过实验得出加速度 *a* 与外力 *F* 成正比、与物体的质量 *m* 成反比的结论，而后通过推理得出 *a* ∝ ，最后得出牛顿第二定律的表达式 *F* = *ma*。然而，牛顿本人却不是通过实验得出牛顿第二定律的。

## 二、牛顿第二定律表述上的变迁

牛顿的三个运动定律，最早出现在牛顿 1685 年出版的《自然哲学之数学原理》（以下简称《原理》）一书中，下面是《原理》中的表述（摘自北京大学出版社 2006 年出版的《科学素养文库·科学元典丛书 自然哲学之数学原理》）：

定律 Ⅰ

每个物体都保持其静止、或匀速直线运动的状态，除非有外力作用于它迫使它改变那个状态。

定律 Ⅱ

运动的变化正比于外力，变化的方向沿外力作用的直线方向。

定律 Ⅲ

每一种作用都有一个相等的反作用；或者，两个物体间的相互作用总是相等的，而且指向相反。

不难看出，其中第一定律与第三定律的表述与今天物理教科书上的表述没有大的变化，只有牛顿第二定律的表述与今天的表述变化较大。

首先，现在的中学物理教科书中，牛顿第二定律是两句话：物体的加速度与它所受的外力成正比，与它的质量成反比。而当初《原理》上的第二定律只涉及其中的一个方面，它说的是“运动的变化正比于外力，变化的方向沿外力作用的直线方向。”

后来人们研究发现，牛顿的理解并非有错，只是语言上不够准确，不准确之处在于“运动的变化正比于外力”。什么是运动的变化？牛顿所定义的“运动的量”是速度与质量的乘积，即现在说的动量 ***p*** = *m****v***。“运动的变化”就是动量的变化量，即 Δ***p***（Δ***p*** = ***p***2 – ***p***1），而与外力 ***F*** 成正比的应该是运动状态的变化率，即 = $\lim\_{∆t\to 0}\frac{∆p}{∆t}$。给牛顿的表述中增加一个“率”字，就成了“运动的变化率正比于外力”，用公式表示就是 ***F*** ∝ 。

再后来，1750 年瑞士科学家欧勒又做了改变，他认为动量 ***p*** = *m****v***，而在经典力学中，质量 *m* 是不变的量，因此 = *m* = *m****a***，从而他把牛顿第二定律改写成 ***F*** ∝ *m****a***，这就是目前物理教科书中常见的表述形式，用文字表述即为：物体的加速度跟所受的外力成正比，跟物体的质量成反比。

## 三、牛顿不是通过实验得出牛顿第二定律的

回到当初牛顿的表述，运动的变化率正比于外力，变化的方向沿外力作用的直线方向，即 ***F*** ∝ ，改写成 ***F*** ∝ *m****a***。在牛顿之前，还没有“力”的概念，是牛顿定义了“外力是一种对物体的推动作用，使其改变静止的或匀速直线运动的状态”。那么，力与运动状态的变化率之间是怎样的关系呢？牛顿并没有做实验，而且也没有办法做实验，因为那时的“力”还没有量度方法，牛顿头脑里始终坚信自然界是和谐简单的，而两个物理量最简单的关系就是成正比，于是他把力与运动状态变化率间的关系定为“成正比”，这就是牛顿第二定律。

牛顿第二定律建立后，力的量度方法也随之确定：设想以不同外力 *F*1 和 *F*2 作用于同一物体上，它们分别产生的加速度为 *a*1 和 *a*2，必有

=

如果选定 *F*1 为单位力，则其他力的量度便可确定。力的单位“牛顿”就是这样规定的：作用在质量为 1 kg 的物体上，产生 1 m/s2 加速度的力为一个单位的力。把它命名为“牛顿”，是后来人为了纪念牛顿这位伟人而特意规定的。

同样，设想相同的外力分别作用在质量分别为 *m*1 和 *m*2 的两个物体上，其加速度分别是 *a*1 和 *a*2，则有

=

即在相同外力作用下，物体的加速度和质量成反比，质量较大的物体产生的加速度小，这说明它运动状态较难改变，也就是它的惯性较大。因此我们说，**质量是物体惯性大小的量度**。这样定义出来的质量就叫作惯性质量。（初中阶段所说的质量是物体所含物质的多少，质量可以用天平称量，这实际上指的是引力质量，它与惯性质量概念不同，但实验中没有发现它们的不同。）