

Newton 定律

动力学定律，或运动定律的发现在科学史上是一个激动人心的时刻。在 Newton 时代以前，象行星之类事物的运动是一个谜，但在 Newton 以后，一切都了如指掌了。人们不仅可以确定像单摆、简谐振子这样简单的运动，而且还可以知道行星是如何运动的，甚至连由于行星之间的扰动而引起的与开普勒定律的微小偏离，也可以计算出来。在这一章我们就将首先回顾一下这一点是如何一步一步做到的，在此过程中我将特别强调两件事：力以及动力学方程的含义；随后我将讨论作为 Newton 定律推论的一般性结论或定理，主要是质心运动定理、角动量定理、动能定理以及位力定理，当然也少不了要讨论一下在后面我们还会反复加以研究的一些守恒定理，如动量、角动量以及能量的守恒定理，这些定理讲的是力学体系在运动过程中的一些不变的量。

Galileo 发现的惯性原理对于运动的理解推进了一大步；这条原理是：如果一个物体处在自由状态而不受干扰，则若此物体原来在运动，它就继续作匀速直线运动；若原来静止，则它仍然静止。当然，这种情况在自然界中永远不会出现，因为如果我们让一个木块在桌面上自由滑动，它就会停下来，但这正是由于它并不是不受干扰的——它与桌面间存在着摩擦。要找出这条正确的规律需要一定的想象力，而这种想象力正是 Galileo 提供的。

当然，下一步所需要的是用来求出物体受到某种影响时，它的速度如何变化的规则。这是 Newton 的贡献。Newton 写下了三条定律：第一定律只是刚才叙述过的 Galileo 惯性原理的重新表达。第二定律提供了一个具体的方法来确定在称为力的种种影响下速度如何发生变化。第三定律在某种程度上描述了力，我们将另行讨论。这里我们将只讨论第二定律，它断言，力以下述方式引起物体运动的变化：某个称为动量的量的时间变化率正比于力。物体的动量是它的质量和速度两部分的乘积。于是 Newton 第二定律可以在数学上写成这种方式

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}, \quad \text{with } \vec{p} \equiv m\vec{v} \quad \text{and} \quad \vec{v} \equiv \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1)$$

最重要的是要了解这个关系所包含的内容不仅有动量或速度在数值上的变化，而且还有在方向上的变化。在这门课里，我们将假定质量为常数，也就是不考虑

相对论效应，此时，方程(1)也可写为

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \quad \text{or} \quad \vec{F} = m\ddot{\vec{r}} \quad (2)$$

加速度 \vec{a} 是速度的变化率，而 Newton 第二定律不仅表明一个给定的力的效应与质量成反比，还表明速度变化的方向与力的方向相同。

这些定律对于我们是如此熟悉，以至于有时会忽略了它们作为物理定律的真正含义。譬如第一定律，在没有力这样一个出现在 Newton 的所有三个定律中的概念之前，是毫无意义的。事实上，它至多是告诉我们什么是零力。Eddington 曾经开玩笑地说：这个定律说讲得不过是“every particle continues in its state of rest or uniform motion in a straight line except insofar as it doesn't.”这对于 Newton 来说是不公平的，他从这个叙述中确实先告诉人们一些东西。不过这样的批评至少告诉我们一件事：注意力！事实上，我们可以把这个定律的表述略加修改：如果一个物体远离其它所有的物体，那么它就将保持静止或匀速直线运动的状态。这样的表述有两个优点：它既告诉我们物体不受力的一个理想条件（远离其它所有物体），同时又定义了一个特殊的参考系，所谓惯性系，也就是物体在不受力作用时它将在其中保持静止或匀速直线运动的那个参考系。在大多数应用中地球是一个近似程度相当好的惯性系。

第二定律中涉及到四个概念：质量、空间、时间以及力。尽管对空间和时间很难（无法）下一个确切的定义，但我们知道可以通过某些周期性的事件对它们的长短做出确切的测量；而质量，又称为惯性质量，有些作者将其定义为“惯性之量度”，实则它并非定义，至多只是“惯性质量”这个术语重新表述而已。不过对于质量我们也是可以通过一定的方法来测量其大小的，譬如，你可以将物体加速到给定速度，然后射向一个固定在弹簧上的盘子，盘子会被推进，推进的数量就是物体质量的一个量度。这样的质量测量仪无论在地球、月球还是火星上，都同样工作的很好。这样，方程(1)就可以作为力的定义。当然，定义是无法通过实验来加以验证的。而实际情况却是，我们从来都是它作为定律来加以应用并与实验比对的，这就意味着这里缺失或者说忽略了某些重要的东西，某些可以使得我们将 $\vec{F} = m\vec{a}$ 理解为物理定律而不仅仅是一个定义的东西。这个缺失的东西当然应该就是关于力本身的定义或描述。