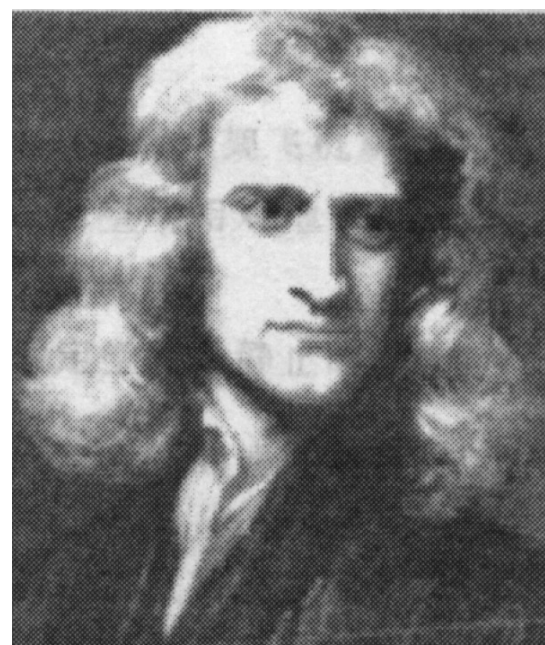


## 第二章 运动与力



- ✓ 第一章：质点**运动学**
- ✓ 第二章：质点**动力学**。基本定律：**牛顿三大定律**
- ✓ **牛顿力学/经典力学**：以牛顿三定律为基础的力学体系
- ✓ 牛顿在1687年出版《**自然哲学的数学原理**》中，提出牛顿三大定律。

## 第二章 运动与力

§2-1 牛顿运动定律

§2-2 常见的几种力

§2-4 应用牛顿定律解题

§2-5 非惯性系与惯性力

## § 2-1 牛顿运动定律

### 一、牛顿第一定律（定性）

任何物体都要**保持其静止状态或匀速直线运动状态**，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。

数学形式： $\vec{v} = \text{恒矢量}$  ( $\vec{F} = 0$ )

包含两个重要概念：**惯性(inertia)**和**力(force)**。

(1) **惯性**：是物体的固有特性，指物体本身要保持运动状态不变（静止或匀速直线运动）的性质，或说物体抵抗运动变化的性质。

牛顿第一定律也称为**惯性定律**。

——**维持原运动状态的属性**

## ( 2 ) 确定了**力**的概念

由于物体具有惯性，要改变物体运动状态就需要其他的物体**施加作用**，我们把这种**物体之间的相互作用称为力**。（起源）

### **力的效果：**

( 1 ) 可以使物体整体的运动状态发生改变，即**获得加速度**；

( 2 ) 可以使物体各组成部分之间发生相对运动，**即产生形变**。

$$\sum \vec{F}_i = 0 \quad (\text{静力学基本方程})$$

## 2. 注意

( 1 ) 此定律只成立于惯性系。

牛顿第一定律并非适用于一切参考系，牛顿第一定律能成立的参考系称为惯性系，不能成立的参考系称为非惯性系。

牛顿第一定律可作为判断一个参考系是惯性系还是非惯性系的理论依据。

( 2 ) 牛顿运动定律所涉及的物体都是质点，涉及的物体惯性也是指质点的惯性，即物体平动时的惯性，而不涉及物体的转动。

## 常见的惯性系：

- ✓ **地球系**：以地球为中心建立起的参考系，对某些相对地球运动的物体，它是一个较好的惯性系；
- ✓ **太阳系**：在以太阳中心为坐标原点、以指向任一恒星的直线为坐标轴建立的坐标系中，牛顿运动定律精确成立，是一个比较精确的惯性系。
- ✓ **FK5系**：以银河系1536颗恒星的平均静止位形成参考系，以其质心为坐标原点建立起来的参考系。主要应用于研究银河系内星球的运动。

**相对已知惯性系匀速运动的参考系也是惯性系。**

## 二、牛顿第二定律（定量：力与运动的定量关系）

- **运动的变化与所加的动力成正比**，并且发生在这力所沿的直线方向上。
- 牛顿第二定律给出了**力和运动的定量关系**。

✓ **动量（ $\vec{p}$ ）**：物体质量和速度的乘积。矢量。单位： $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

“变化”——对时间的变化率

**牛二**：物体的动量对时间的变化率与所加的外力成正比，并且发生在这外力的方向上。

数学表达式：
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (2.2)$$

$$\vec{p} = m\vec{v}$$
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

即，牛二常见数学表达式： $\boxed{\vec{F} = m\vec{a}}$  ( 2.3 )

**质点加速度大小与所受合力大小成正比，与质点自身质量成反比；  
加速度方向与合力方向相同。**

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_i = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

**分量式：**  $F_x = m a_x$  ,  $F_y = m a_y$  ,  $F_z = m a_z$



**注意：** 微分表达式  $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$  该式具有一般性和普遍性

常用表达式  $\vec{F} = m\vec{a}$  只在体系质量不变的情况下成立！

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \begin{array}{l} \text{前提：} \\ \text{==} \\ m \text{ 不变} \end{array} m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

\*\*\*非经典力学：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

$m_0$ 是物体的静止质量， $v$ 是运动速率， $c$ 是真空中光速。

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{v} \frac{dm}{dt} + m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v} \frac{dm}{dt} + m\vec{a}$$

✓ **质量**：量度物体惯性的大小。

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

质量与在大小相等的外力作用下获得的加速度的大小成反比。

$$m \propto 1 / a$$

质量作为惯性的量度而引入, 称为**惯性质量**。

质量是标量, 单位是kg (千克)。

微观物体质量是用碳同位素 $^{12}_6\text{C}$  原子量的十二分之一为单位来量度的, 称为**原子质量单位**, 用u表示

$$1 \text{ u} = 1.6605402 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

### 三、牛顿第三定律

物体  $A$  以力  $\vec{F}_{AB}$  作用于物体  $B$  时，物体  $B$  也必定同时以力  $\vec{F}_{BA}$  作用于物体  $A$ ， $\vec{F}_{AB}$  与  $\vec{F}_{BA}$  大小相等，方向相反，并处于同一条直线上，

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

牛顿第三定律指出物体间作用是相互的，其中的一个力称为**作用力**，把另一个力称为**反作用力**。

**力的单位N (牛顿) :  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$**

## 注意：

- (1) 受力物体也是施力物体，而施力物体也必定是受力物体；
- (2) 作用力和反作用力总是成对地产生，并且同时存在、同时消失；
- (3) 作用力和反作用力是具有相同性质的力；同类性
- (4) 只适用于惯性系。

## 牛顿三定律之间的关系：

1. 都是对**质点**而言，是质点运动的基本定律。
2. 可以导出**刚体**、**流体**等运动定律，从而建立起整个古典力学体系。
3. 三条运动定律之间有着紧密联系。
  - ✓ **第一**和**第二**定律分别**定性**地和**定量**地说明了物体机械运动状态的变化与物体受力之间的关系。
  - ✓ **第三**定律说明引起物体机械运动状态变化的物体间的作用力具有**相互作用**的性质，并指出相互作用力之间的**定量**关系。
  - ✓ **第二**定律侧重说明**一个特定物体**，**第三**定律侧重说明**物体之间**相互联系和相互制约的关系。

## §2-2 常见的几种力

自然界只存在4种基本力，即**万有引力**、**电磁力**、**强力**和**弱力**。其他的力都是这4种力的不同表现。

- ✓ **电磁力**：除万有引力外，几乎是所有宏观力的缔造者。长程力（e.g. **弹性力**，**摩擦力**，静电力）
- ✓ **万有引力相互作用**：强度仅是电磁力的 $1/10^{37}$
- ✓ **强力**：在原子核内部表现出来，存在于质子、中子、介子之间的作用力。强度是电磁力的百倍。力程为 $10^{-15}$  m
- ✓ **弱力**：存在于基本粒子之间，强度是强力的一百万亿分之一。力程为小于 $10^{-17}$  m

力学中常见的力：**万有引力**、**弹性力**、**摩擦力**、**流体曳力**、**表面张力**。

## 一、万有引力(Gravitational force)

宇宙中的一切物体都在相互吸引着。万有引力是自然界的基本力之一。

有万有引力的空间内存在一种物质，称为**引力场**，物体间(万有)引力相互作用**通过引力场传递**。粒子物理学认为引力相互作用通过**引力子**传递。

**万有引力定律**：任两质点间都存在互相作用的引力，**方向**沿着两质点连线；**大小**与两质点质量的乘积成正比，与两质点间距离 $r_{12}$ 的平方成反比，即

$$F_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$$

$G=6.67259 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ ，称为**引力常量**。

**矢量形式**  $\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \left( \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}} \right)$ （质点 $m_1$ 对 $m_2$ 的万有引力）

$\vec{r}_{12}$ 表示从质点 $m_1$ 到质点 $m_2$ 所引的有向线段，负号表示  $\vec{F}_{12}$ 的方向与  $\vec{r}_{12}$ 的方向相反。