

## §2.1 牛顿运动三定律

### 一、牛顿第一定律

- (1)反映任何物体都具有**惯性**,牛顿第一定律又叫**惯性定律**。  
(2)当物体受到其他物体作用（力）时才会改变其运动状态,即其他物体的作用是物体改变运动状态的原因。  
(3)它是理想化抽象思维的产物，不能用实验严格验证。  
(4)此定律仅适用于惯性系。

**惯性系**：在一个参考系中观察，一个不受力作用或处于受力平衡状态的物体，将保持静止或匀速直线运动的状态，这个参考系叫惯性系。惯性系的概念就是一个实验现象的描述，因此惯性系只能通过实验来确定。

二、**牛顿第二定律**：物体受到外力作用时，它所获得的加速度的大小与外力的大小成正比，并与物体的质量成反比，加速度的方向与外力方向相同。牛顿第二定律适用于惯性系。

牛顿第二定律的**微分形式**：某时刻质点动量对时间的变化率等于该时刻作用在质点上所有力的合力。

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$$

其中  $\vec{P}$  为**动量**，为运动物理的质量和速度的乘积  $\vec{P} \equiv m\vec{v}$ 。当  $v \gg c$  时， $m$  是常量，则有

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

以上为牛顿第二定律的微分形式。

(1)质量的理解：物体不受外力时保持运动状态不变，受到外力后运动状态的改变量与质量有关。因此，质量反应了迫使物体的运动状态改变的难易程度，是物体惯性的量度，因此称为**惯性质量**。

(2)**瞬时性**的理解：定律中的力为瞬时力，加速度为瞬时加速度。两者同时存在，同时消失。

(3)矢量性的理解：矢量表达式，力与加速度都是矢量，二者方向相同，满足**叠加原理**。

**叠加原理**：几个力同时作用在一物体上，物体产生的加速度为每个力单独作用时产生加速度的叠加。

(4)牛顿第二定律只适用于质点或可看做质点的物体。

**直角坐标系**中的分量形式

$$\begin{aligned} F_x &= ma_x = m \frac{dv_x}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2} \\ F_y &= ma_y = m \frac{dv_y}{dt} = m \frac{d^2y}{dt^2} \\ F_z &= ma_z = m \frac{dv_z}{dt} = m \frac{d^2z}{dt^2} \end{aligned}$$

**自然坐标系**中的分量形式

$$F_{\tau} = ma_{\tau} = m \frac{dv}{dt}$$

$$F_n = ma_n = m \frac{v^2}{\rho}$$

### 三、牛顿第三定律

两个物体之间的作用力和反作用力沿同一直线，大小相等，方向相反，分别作用在两个物体上。

成对性：物体之间的作用是相互的。

一致性：作用力与反作用力性质一致。

同时性：相互作用之间是相互依存,同生同灭。

## §2.2 力学中常见的几种力

### 一、常见力

1、重力：在地球表面的物体，受到地球的吸引而使物体受到的力。

注：由于地球自转，重力 $\neq$ 地球引力，而是引力沿竖直方向的一个分力，地球引力的另一个分力提供向心力。

2、弹性力：两个相互接触并产生形变的物体企图恢复原状而彼此互施作用力。

条 件：物体间接触，物体的形变。

方 向：始终与使物体发生形变的外力方向相反。

### 3、摩擦力

(1)静摩擦力：当两相互接触的物体彼此之间保持相对静止，且沿接触面有相对运动趋势时，在接触面之间会产生阻止上述运动趋势的力，称为静摩擦力。

大小：  $f_{\max} = \mu_0 N$ ，  $\mu_0$  为静摩擦系数

方向：与运动趋势方向相反。

(2)滑动摩擦力：两物体相互接触，并有相对滑动时，在两物体接触处出现的相互作用的摩擦力，称为滑动摩擦力。

大小：  $f = \mu N$ ，  $\mu$  为滑动摩擦系数

方向：与运动方向相反。

### 4、物体运动时的流体阻力

当物体穿过液体或气体运动时，会受到流体阻力。当物体速度不太大时，阻力

$\vec{F} = -k\vec{v}$  主要由流体的粘滞性产生，其中  $k$  为粘滞阻尼系数，与流体的性质有关。

当物体速度增大时，阻力会与速度呈现出非线性的关系。

## 二、基本力

1、万有引力：存在于一切物体间的相互吸引力。

牛顿万有引力定律：  $F = G_0 \frac{m_1 m_2}{r^2}$

其中  $m_1$  和  $m_2$  为两个质点的质量， $r$  为两个质点的距离， $G_0$  叫做万有引力常量。

(1) 依据万有引力定律定义的质量叫引力质量；依据牛顿第二定律定义的质量叫惯性质量。实验表明：对同一物体来说，两种质量总是相等，因此不必进行区分。

(2) 万有引力定律只适用于**两质点**间的相互作用。

(3) 重力是引力分量

## 2、电磁力

电磁力：存在于静止电荷之间的电性力以及存在于运动电荷之间的磁性力，总称为电磁力。

## 3、强力

强力：亚微观领域，存在于核子、介子和超子之间的，把原子核内的一些质子和中子紧紧束缚在一起的一种力。

## 4、弱力

弱力：亚微观领域内的另一种短程力，导致 $\beta$ 衰变放出电子和中微子的重要作用力。

四种基本力的比较

力类型 项目	万有引力	电磁力	强力	弱力
力 程	长程	长程	短程	短程
作用范围	$0-\infty$	$0-\infty$	$<10^{-15}\text{m}$	$<10^{-15}\text{m}$
相邻质子间 力的大小	$10^{-34}\text{N}$	$10^2\text{N}$	$10^4\text{N}$	$10^{-2}\text{N}$

## §2.3 牛顿运动定律的应用

1. 受力分析是关键：牛顿第一、第三定律为受力分析提供依据。

2. 第二定律是核心：力与加速度的瞬时关系  $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ 。

分量式：

直角坐标系：

$$\begin{aligned} F_x &= ma_x = m \frac{dv_x}{dt} \\ F_y &= ma_y = m \frac{dv_y}{dt} \end{aligned}$$

自然坐标系：

$$\begin{aligned} F_\tau &= ma_\tau = m \frac{dv}{dt} \\ F_n &= ma_n = m \frac{v^2}{R} \end{aligned}$$

### ★牛顿运动定律解题的基本思路

一般分为两类问题：瞬时问题的求解，过程问题的求解。

瞬时问题：是指在运动的某一时刻，通过受力分析结合牛顿定律，已知力求解加速度，或者已知加速度求解力的题目，如课件中例 1、2、3 等，求解过程**不需要使用微积分**。求解方法如下：

(1) 取坐标系；

(2) 确定研究对象，并对每一个研究对象单独进行受力分析；（隔离物体，画受力图）

(3) 列方程（对于直角坐标系，写出在 x 轴和 y 轴上的分量式；对于自然坐标系，则写出在法向和切向上的分量式）；

(4) 利用其它的约束条件（如牛顿第三定律，和其他题设条件）列补充方程；

(5) 先用符号求解，后带入数据计算结果。

**过程问题：**是指给出运动的初始条件，通过受力分析结合牛顿定律，求解运动过程以及另一时刻的状态量的题目，如课件中例 4、6、7 等，求解过程**需要使用微积分**。求解方法如下：

(1) **取坐标系**（对一般问题取直角坐标系，对圆周问题取自然或角坐标系），并写出**初始时刻**  $t = 0$  和题目**所求时刻**  $t$  时物体的位置、速度和加速度，将作为积分的上下限；

(2) 取任意时刻  $t$  对运动物体进行**受力分析**，并且写出在分量上的方程（注意判断分量与正轴方向是否一致，以确定正负号）；

(3) 观察题目的问题，判断是否需要**变量代换**（上面给出的牛二分量式可以看出，直角坐标系和自然坐标系中给出的都是  $dv/dt$ ，也就是说如果题目问的是  $t$  时刻的速度，则不需要变量代换，若问的是某一位置  $x$  时的速度，则需要进行变量代换  $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx}$ ，对于其他坐标系的其他物理量同理（如对角坐标系则  $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \omega \frac{dv}{d\theta} = \frac{v}{R} \frac{dv}{d\theta}$ ）。

(4) 根据题目所给出的**上下限**，对前面得到的等式进行积分，得出所求结果。

## §2.4 牛顿运动定律的适用范围

### 一、惯性参照系

惯性系：相对于地球静止或作匀速直线运动的物体。

非惯性系：相对地面惯性系做加速运动的物体。包括平动加速系和转动参考系。

牛顿第二定律仅仅适用于惯性系，对非惯性系是不成立的。

**惯性力：**假设非惯性系  $K'$  相对于惯性系  $K$  的加速度为  $\vec{a}$ ，则有惯性力  $\vec{F}_{\text{惯}} = -m\vec{a}$ ，

考虑了惯性力后在  $K'$  系中的公式形式上也满足牛二  $\vec{F} + \vec{F}_{\text{惯}} = m\vec{a}_{K'}$ （其中  $\vec{a}_{K'}$  为物

体在  $K'$  系中的加速度）。另外也可通过利用公式  $\vec{a}_K = \vec{a}_{K'} + \vec{a}$ ，将非惯性系中的加速度变到惯性系下列牛二方程。

### 二、力学相对性原理

(1) 凡相对于惯性系作匀速直线运动的一切参考系都是惯性系。

(2) 对于不同惯性系，牛顿力学的规律都具有相同的形式，与惯性系的运动无关。

三、 牛顿运动定律的适用范围：只能用于研究低速的宏观物体。