



ה'רנ"א ואלו שנים



# 第二章 质点动力学

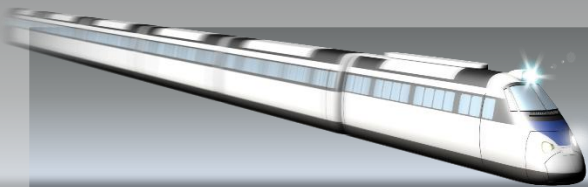
教学内容

§2-1 牛顿运动定律

§2-2 动量 动量守恒定律

§2-3 功 动能定理

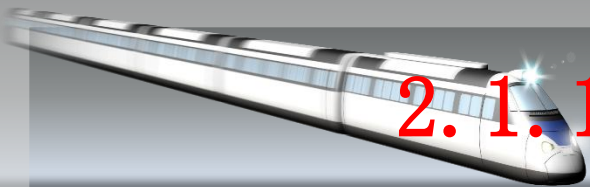
§2-4 势能 机械能守恒定律



## 2.1 牛顿运动定律



**牛 顿** Issac Newton  
(1643—1727) 杰出的英国物理学家，经典物理学的奠基人。他的不朽巨著《自然哲学的数学原理》总结了前人和自己关于力学以及微积分学方面的研究成果。他在光学、热学和天文学等学科都有重大发现。



## 2.1.1 牛顿运动定律的表述

### 一、牛顿第一定律（惯性定律）

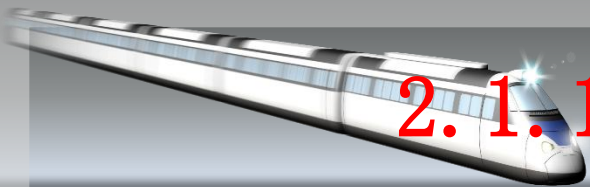


一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止，这个结论叫做**牛顿第一定律**。

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

- 定义了**惯性**：任何物体都有保持其运动状态不变的性质。
- 定义了**力**：力是物体运动状态发生变化的原因





## 2.1.1 牛顿运动定律的表述

### 二、牛顿第二定律

物体受到外力作用时，它产生加速度的大小与合外力的大小成正比，与其质量成反比，加速度的方向与外力的方向相同。

其数学形式： $\vec{F} = km\vec{a}$

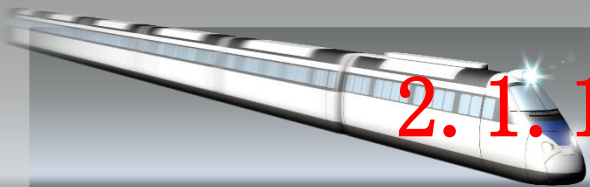
比例系数 $k$ 与单位制有关，在国际单位制中 $k=1$

#### ➤ 给出力和运动的定量关系

力不是维持物体运动状态的原因，而是使物体产生加速度的原因；表示的力与加速度之间是瞬时对应关系

#### ➤ 惯性质量

物体受一定外力作用时，质量越大（小），加速度越小（大），运动状态越难（容易）改变。因此，牛顿第二定律中的质量叫做惯性质量。



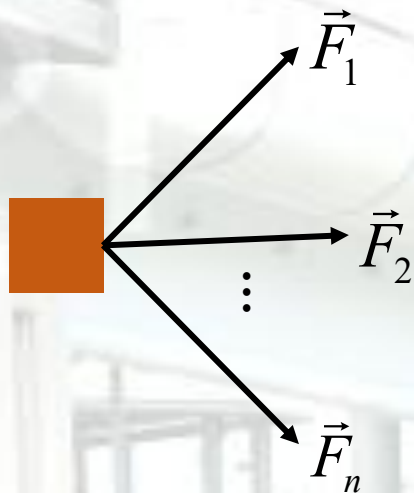
## 2.1.1 牛顿运动定律的表述

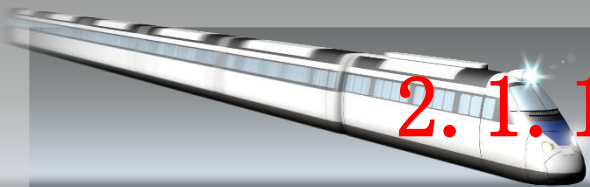
应用牛顿第二定律处理力学问题时，需要注意以下几点：

### 1 力的叠加原理

若一个物体同时受到几个力作用，则合力产生的加速度，等于这些力单独存在时所产生的加速度之矢量和。

$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a}_1 + m\vec{a}_2 + \cdots + m\vec{a}_n = m\vec{a}$$





## 2.1.1 牛顿运动定律的表述

### 2 矢量性

空间直角坐标系

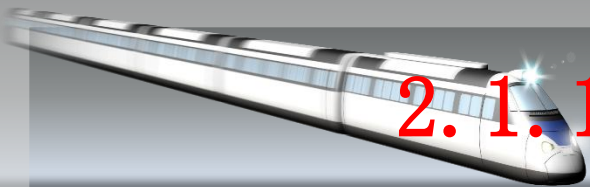
$$\begin{cases} F_x = ma_x = m \frac{dv_x}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2} \\ F_y = ma_y = m \frac{dv_y}{dt} = m \frac{d^2y}{dt^2} \\ F_z = ma_z = m \frac{dv_z}{dt} = m \frac{d^2z}{dt^2} \end{cases}$$

在平面自然坐标系

$$\begin{cases} F_t = ma_t = m \frac{dv}{dt} \\ F_n = ma_n = m \frac{v^2}{\rho} \end{cases}$$

### 3 瞬时性

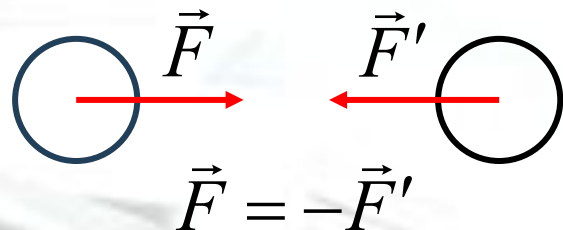
力 $\vec{F}$ 和它产生的加速度 $\vec{a}$ 是一种瞬时关系，两者同时出现，同时消失，一一对应



## 2.1.1 牛顿运动定律的表述

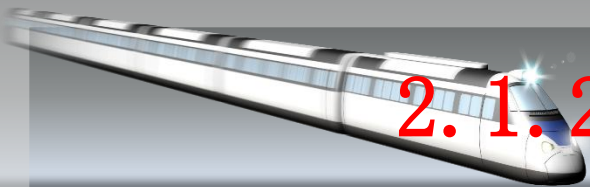
### 三、牛顿第三定律

两个物体之间作用力 $\vec{F}$ 与反作用力 $\vec{F}'$ ，沿同一直线，大小相等，方向相反，分别作用在两个物体上



- 物体间的作用是相互的，作用力和反作用力无主次、先后之分，两者**同时存在、同时消失、同时变化**，任何一方都不能孤立地存在，都以对方作为自己存在的条件
- 作用力与反作用力分别作用在两个不同的物体上，而且它们引起的效果一般不同，它们**不是平衡力**，不能相互抵消
- 作用力和反作用力必须是**同一性质**的力



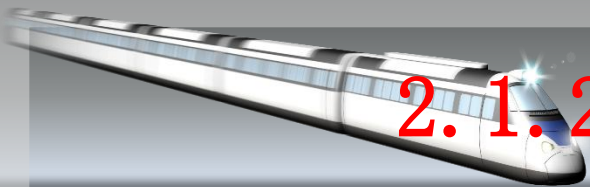


## 2.1.2 牛顿运动定律的应用

1. 牛顿定律只适用于**惯性系**；
2. 牛顿定律的研究对象一般是单个物体，若研究对象复杂，需要先分离，再单独研究
3. 具体应用时，要写成坐标分量式。

利用牛顿定律解决问题的步骤：

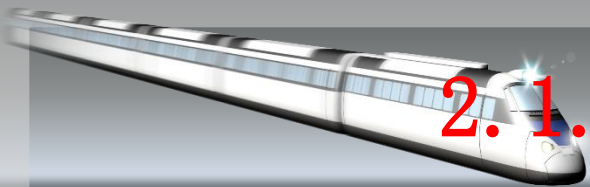
1. 隔离物体
2. 受力分析
3. 建立坐标系
4. 列动力学方程
5. 求解方程，统一单位（SI）



## 2.1.2 牛顿运动定律的应用

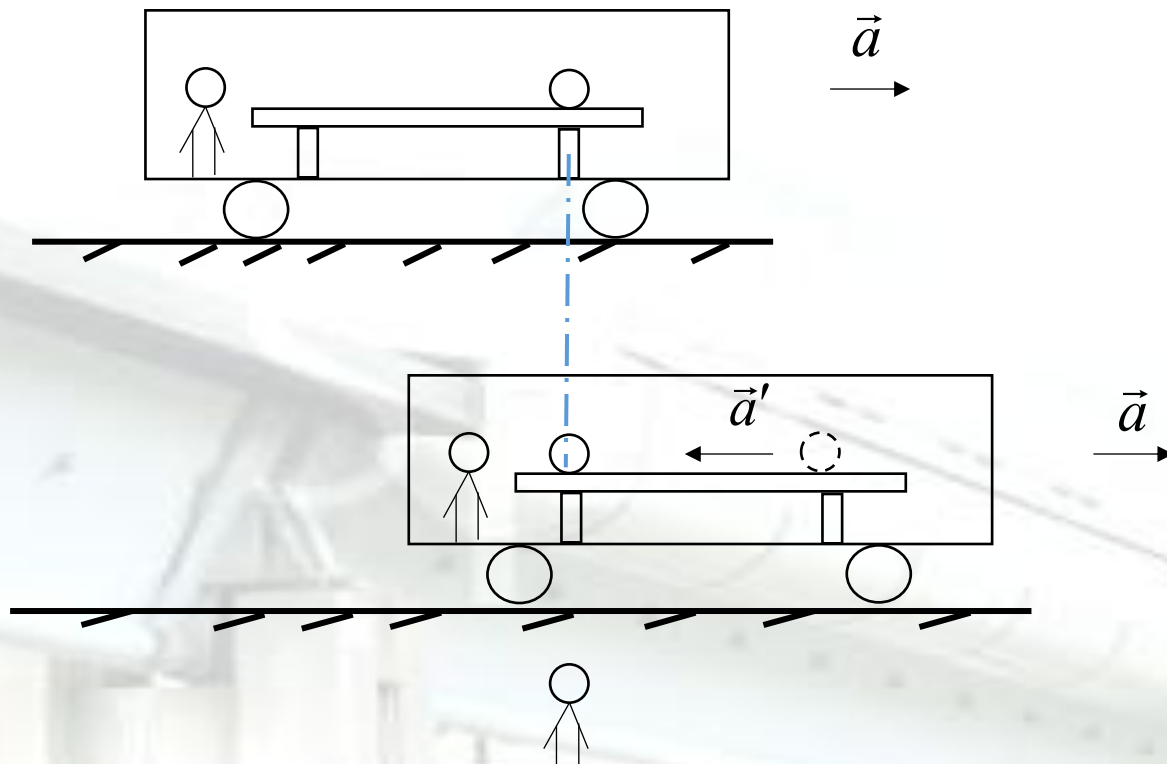
**例2-1** 一细绳跨过一轴承光滑的定滑轮，绳的两端分别悬有质量为 $m_1$ 和 $m_2$ 的物体（ $m_1 > m_2$ ）。设滑轮和绳的质量可忽略不计，绳不能伸长，试求物体的加速度以及悬挂滑轮的绳中张力。



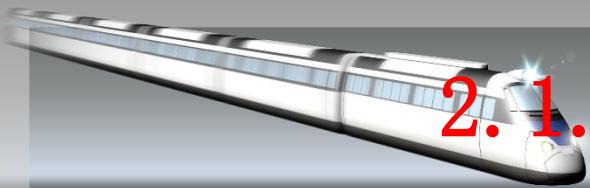


## 2.1.3 惯性系与非惯性系

研究质点的运动，需要选取参考系。参考系选取不同，质点的运动状态不同。质点的参考系可以任意选取吗？



以地面为参考系，小球在水平方向不受力而保持静止，与牛顿运动定律相符；以小车为参考系，小球水平方向未受力，却有加速度，与牛顿定律不符。



## 2.1.3 惯性系与非惯性系

应用牛顿定律时，对参考系的选取必须有限制。适用牛顿定律的参考系为惯性系，不适用的为非惯性系。

**惯性参照系：**物体在某参考系中，所受合外力为零而保持静止或匀速直线运动状态，这个参考系称为惯性系。相对惯性系静止或匀速直线运动的参照系也是惯性系。

**如何确定惯性系**——只有通过力学实验。没有真正意义上的惯性系，只有近似的惯性系

\*1 地球是一个近似程度很好的惯性系

$$a_{\text{公}} = 5.9 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2, \quad a_{\text{自}} = 3.4 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

\*2 太阳是一个精度很高的惯性系

$$\text{太阳对银河系核心的加速度为 } a_{\text{日银}} = 10^{-10} \text{ m/s}^2$$

牛顿定律只适用于低速宏观物体，高速宏观物体需要狭义

相对论

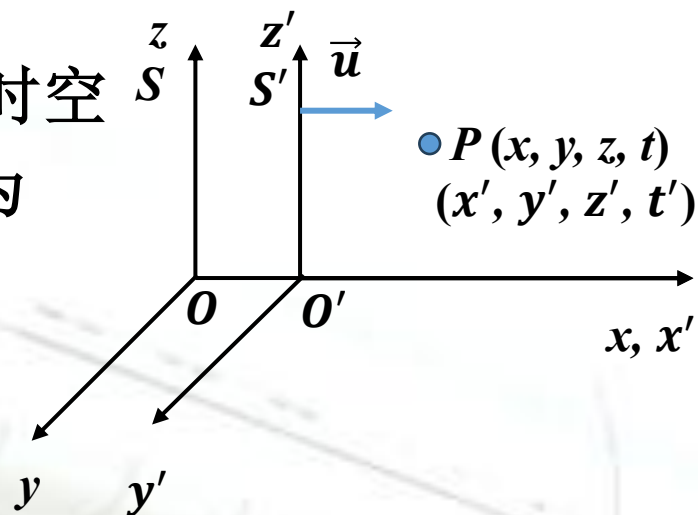
## 2.1.4 伽利略变化和相对性原理

### 一、伽利略变换和相对性原理

伽利略变换：在经典力学中，质点在两个不同惯性系中的时空坐标变换

点 $P$ 在 $S$ 系中的时空坐标与在 $S'$ 系中的时空坐标之间的关系（伽利略坐标变换）为

$$\begin{cases} x = x' + ut' \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} x' = x - ut' \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$







## 2.1.4 伽利略变化和相对性原理

设物体在 $S$ 系中的速度与加速度分别为 $\vec{v}$ 和 $\vec{a}$ ，在 $S'$ 系中的速度与加速度分别为 $\vec{v}'$ 和 $\vec{a}'$ ，则

$$\begin{cases} v_x = v'_x + u \\ v_y = v'_y \\ v_z = v'_z \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} v'_x = v_x - u \\ v'_y = v_y \\ v'_z = v_z \end{cases}, \quad \begin{cases} a_x = a'_x \\ a_y = a'_y \\ a_z = a'_z \end{cases}$$

矢量形式为

$$\begin{aligned} \vec{v} &= \vec{v}' + \vec{u} \\ \vec{a} &= \vec{a}' \end{aligned}$$

此为伽利略速度与加速度变换



## 2.1.4 伽利略变化和相对性原理

在伽利略变换下，同一物体在不同惯性系中的速度可以不同，但加速度一定相同。在经典力学下，物体质量在不同的惯性系中相同，因此

在S系中

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

则对S'系中，必有

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

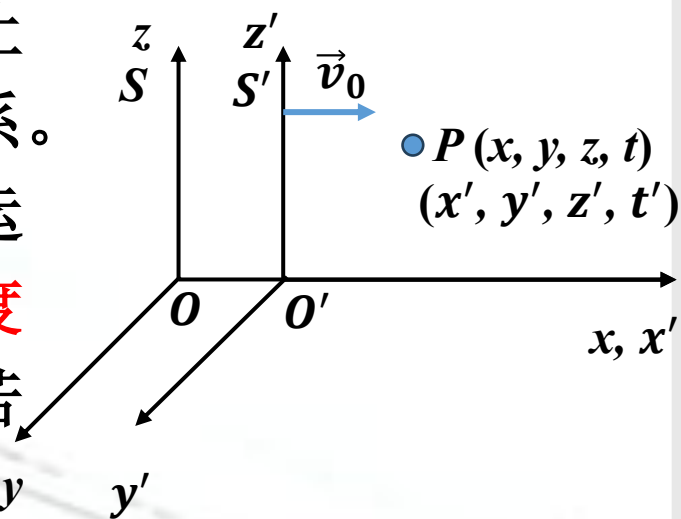
即，经过伽利略变换，牛顿第二定律形式不变

**相对性原理**：在经典力学中，力学规律对所有的惯性系都是等价的，或者力学运动规律的数学表达式在所有惯性系中的形式都是一样的。

## 2.1.4 伽利略变化和相对性原理

### 二、伽利略速度和加速度变换

在 $S$ 和 $S'$ 两个参考系中，一般将静止的 $S$ 系称为**基本参考系**， $S'$ 为相对参考系。 $S'$ 系相对于 $S$ 系以速度 $\vec{v}_0$ （牵连速度）运动，质点 $P$ 相对于 $S$ 系的速度为**绝对速度** $\vec{v}$ ，相对于 $S'$ 系的速度为相对速度 $\vec{v}'$ 。若 $S'$ 系为非惯性系，即具有加速度 $\vec{a}_0$ ，则



$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0$$
$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_0$$



## 2.1.4 伽利略变化和相对性原理

### 三、经典力学时空观

#### (1) 同时是绝对的

若在 $S$ 系中的观察者测量两事件于 $t$ 时刻同时发生，那么这两个事件在 $S'$ 系中也是同时发生

#### (2) 事件间隔是绝对的

若在 $S$ 系中两事件发生时间的间隔为 $\Delta t$ ，在 $S'$ 系中测得的该两事件发生的时间间隔为 $\Delta t'$ ，则 $\Delta t = \Delta t'$

#### (3) 两地之间的距离是绝对的

同一时刻在 $S$ 和 $S'$ 系中测得的两点之间的距离分别为 $\Delta r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$ 和 $\Delta r' = \sqrt{(\Delta x')^2 + (\Delta y')^2 + (\Delta z')^2}$ 。根据伽利略变换可知 $\Delta r = \Delta r'$