

第一篇 力学

第1章 质点机械运动状态的描述

第2章 物体机械运动状态变化的原因

第3章 质点的动量、角动量及其守恒定律

第4章 机械能和机械能守恒定律

第5章 具有周期性运动行为的振动和波动的描述

第6章 刚体机械运动状态的描述

第7章 刚体机械运动状态变化原因的描述

第二章

物体机械运动状态变化的原因

(Newton's Laws of Motion)

本章目录

2.1 牛顿三大运动定律

2.2 牛顿定律应用举例

2.3 开普勒和行星运动三大定律

2.1 牛顿三大运动定律

● 第一定律(Newton's First law)

任何物体都保持静止或匀速直线运动的状态，
除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。

——惯性定律(Inertia law)

A body at rest remains at rest and a body in motion continues to move at a constant velocity along a straight line, unless acted upon by an external force.

—— Galileo

Every body perseveres in its state of rest or of uniform motion in a right line unless it is compelled to change that state by forces impressed on it.

—— Newton

The book, Principia

惯性：物体本身保持运动状态不变的性质。

力：改变物体运动状态的原因。

惯性系：牛顿第一定律成立的参考系。

第一定律的意义：

1. 定性给出了“力”与“惯性”的概念

2. 定义了“惯性系” (inertial frame)

以**飞机**为参考系：**飞机加速运动**

小朋友：运动状态： $-\vec{a}$

受力：推力？？？

以**地面**为参考系：

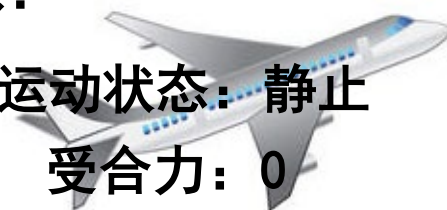
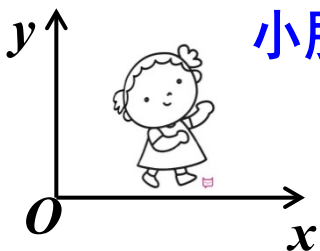
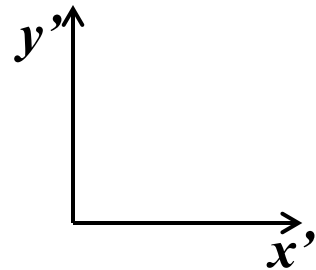
小朋友：运动状态：静止

受合力：0

以**地面**为参考系：

乘客：运动状态： \vec{a}

受力：椅背推力



地面参考系：

地球自转加速度 $a \approx 3.4 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ （赤道）

地心参考系：

地球绕太阳公转加速度 $a \approx 6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$

太阳参考系：

太阳绕银河系转加速度 $a \approx 1.8 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$

- **第二定律**(Newton's Second law)

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的方向上。

A force action on a body gives it an acceleration which is in the direction of the force and has a magnitude given by ma .

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

\vec{F} : 物体所受的合外力。

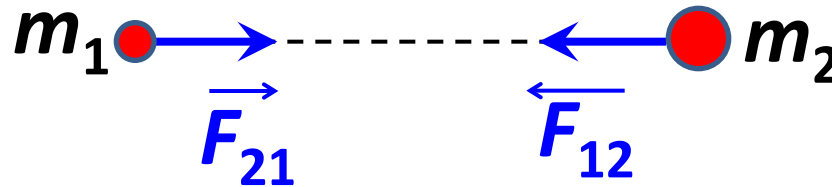
m : 质量(mass), 它是物体惯性大小的量度,
也称惯性质量(inertial mass)。

若 $m = \text{const.}$, 则有:

$$\boxed{\vec{F} = m\vec{a}} \quad \vec{a} : \text{物体的加速度。}$$

● 第三定律 (Newton's Third Law)

If one object exerts a force another, the other exerts the same force in opposite direction on the one.



$$\boxed{\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}}$$

作用力与反作用力

对牛顿定律的说明：

1. 牛顿定律只适用于惯性系；
2. 牛顿定律是对质点而言的，而一般物体可认为是质点的集合，故牛顿定律具有普遍意义。
3. 牛顿三定律是一个整体：

第一定律说明了任何物体都有惯性；

第二定律进一步说明了物体的惯性，物体的机械运动状态的改变及物体与其它物体相互作用三者的关系；

第三定律说明了力出现的性质，即力是物体之间的相互作用，力是成对出现的，而且性质相同。

§ 2.2 牛顿运动定律的应用

动力学问题：

- 已知力，求物体的运动状态
- 已知物体的运动状态，求力

适用范围：

1. 牛顿力学只适用于在惯性系内，解决低速运动问题；
何谓高速？——速度与光速可比，相对论
2. 牛顿力学只适用于宏观问题。
何谓微观？分子、原子、电子、原子核等，量子力学

解题步骤：

1. 选研究对象；
2. 看运动情况；
3. 查受力；
4. 选择坐标系；
5. 列运动方程；
6. 解方程；
7. 必要时进行讨论。

例1 质量是 m 的子弹以水平速度 v_0 射入沙土中，设子弹所受阻力与速度反向，大小与速度成正比，比例系数是 k ，忽略子弹的重力，求：

(1) 子弹射入沙土后，速度随时间变化的函数式；

(2) 子弹进入沙土的最大深度。

解：(1) 子弹受到的阻力 $f = -kv$

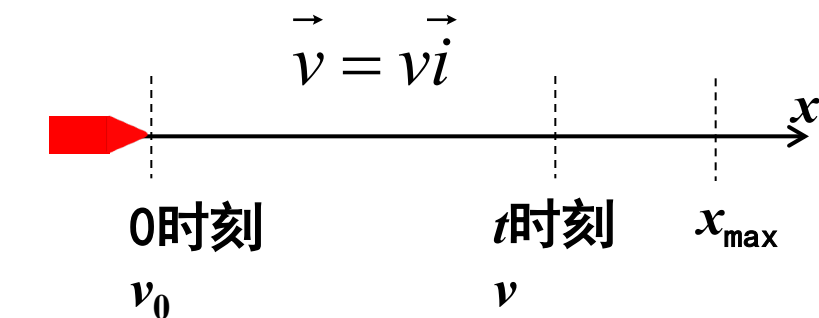
根据牛顿第二定律

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} = -kv$$

因此得到 $\frac{1}{v} dv = -\frac{k}{m} dt$

$$\int_{v_0}^v \frac{1}{v} dv = -\int_0^t \frac{k}{m} dt$$

(2) $\int_0^{x_{\max}} dx = \int_0^{+\infty} v_0 e^{-\frac{k}{m}t} dt$



$$v = v_0 e^{-\frac{k}{m}t} = \frac{dx}{dt}$$

$$dx = v_0 e^{-\frac{k}{m}t} dt$$

$$x_{\max} = \frac{mv_0}{k}$$