
第二章 质点动力学

质点动力学讨论物体间的相互作用与物体运动状态变化之间的关系。动力学的基础是牛顿三定律，而牛顿定律的引入则建立在动量和动量守恒定律的基础上。

主要内容

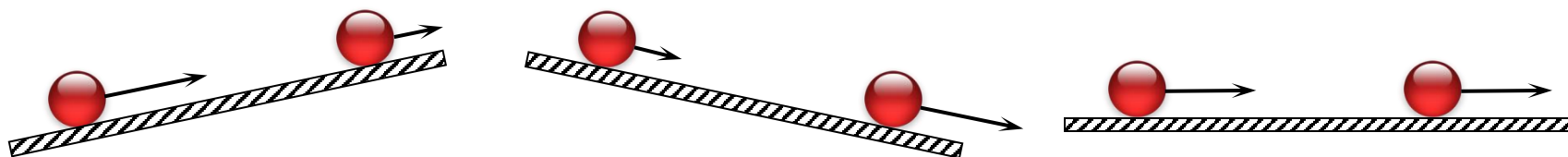
- (1) 动量、动量守恒定律;
- (2) 牛顿运动定律;
- (3) 力的时间积累效应: 冲量、动量定理;
- (4) 牛顿定律的应用。

亚里士多德的观点：力是产生和维持运动的原因。

伽利略的观点：力是改变运动状态的原因。

伽利略理想实验一：

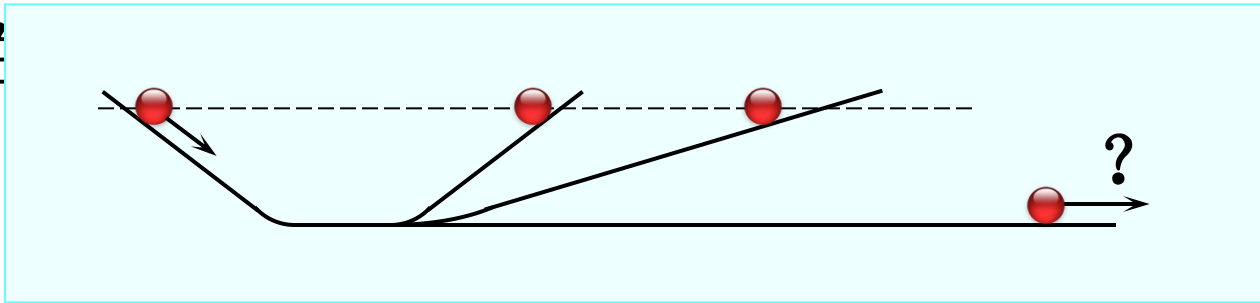
球沿斜面往上滚动时速度减小，沿斜面往下滚动时速度增大。若沿水平面滚动则速度不变，小球将永远保持匀速直线运动的状态。



实际速度变小的原因是摩擦力的存在。

伽利略理想实验二：

球沿一斜面滚下，沿另一斜面往上滚动到同一高度，若减小后一斜面坡度，则小球将滚得更远。若将后一斜面放平则小球将永远滚动下去并保持匀速直线运动的。



不受任何外界作用的小球是不存在的，伽利略的理想实验不可能由实验严格验证，它们是理想化抽象的思维产物。“伽利略的发现以及他所用的科学推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正开端。”

➤第一定律表明，任何物体都具有保持其原有运动状态不变的特性，这个特性就是惯性。惯性反映了改变物体运动状态的难易程度。

➤任何物体都具有惯性，牛顿第一定律又叫惯性定律。

自由质点

- 不受其他物体作用的质点称自由质点或孤立质点

牛顿第一定律：自由质点永远保持静止或匀速直线运动的状态，直到其它物体对它作用的力迫使它改变这种状态为止。

牛顿运动定律是经典力学的基础。虽然牛顿运动定律一般是对质点而言的，但这并不限制定律的广泛适用性，因为复杂的物体在原则上可看作质点的组合。

➤惯性定律是理想化抽象思维的产物，不能用实验严格验证；此定律仅适用于惯性系。

➤第一定律还说明，其他物体的作用是物体改变运动状态的原因。这种使物体运动状态改变的相互作用，就是力。早在我国春秋末期《墨经》中写着：“力，形之所以奋也”。这句话指出力使物体（形）由静而动（奋）的原因。

任何物体具有保持其运动状态不变的性质 — 惯性；

力是改变物体运动状态的原因，而不是维持运动的原因。



惯性系

➤ 惯性系：在一个参考系观察，一个不受力作用或处于平衡状态的物体，将保持静止或匀速直线运动的状态，这个参考系叫惯性系。

➤ 凡是对一个惯性系做匀速直线运动的一切物体都是惯性系。

➤ 对一般力学现象来说，地面参照系是一个足够精确的惯性系。

比较物体的质量。

➤用同样的外力作用在两个质量分别是 m_1 和 m_2 的物体上，以 a_1 和 a_2 分别表示它们由此产生的加速度的数值，则

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

➤即在相同的外力的作用下，物体的质量和加速度成反比，质量大的物体产生的加速度小。这意味着质量大的物体抵抗运动变化的性质强，也就是它的惯性大。因此可以说，质量是物体惯性大小的量度。我们把叫做惯性质量

经典力学

$$m = \text{常量}$$

相对论力学

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

m_0 为静止质量， v 和 c 分别表示质点速度和真空中的光速.

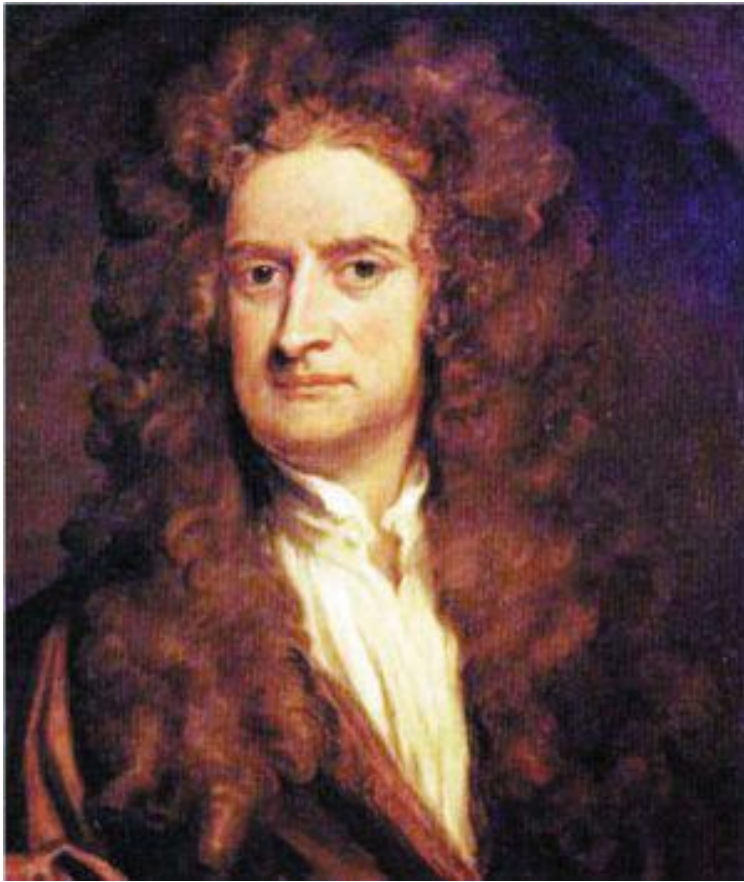


牛顿第二定律

- 物体的质量 m 与其运动速度的乘积叫做物体的动量。

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

► 动量是一个矢量，其方向与速度方向相同。



艾萨克·牛顿（1643年1月4日—1727年3月31日）[爵士](#)，[英国皇家学会](#)会长，英国著名的[物理学家](#)，百科全书式的“全才”，著有《[自然哲学的数学原理](#)》、《[光学](#)》。

- 与速度可表示物体运动状态一样，动量也是表示物体运动状态的量。
- 当外力作用于物体时，其动量发生改变；
- 牛顿第二定律阐明了作用于物体的外力与物体动量变化的关系：

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

- 对运动速度与光速相比为很小的物体来说，它的质量是一个与其运动速度无关的常量。
- 因此

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

瞬时性的理解：定律中的力和加速度都是瞬时的，同时存在，同时消失。

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个物体上，物体产生的加速度等于每个力单独作用时产生的加速度的叠加。

力 \vec{F}_1 、 \vec{F}_2 、 \cdots 、 \vec{F}_i 同时作用在物体上， \vec{F} 、 \vec{a} 分别表示合力、合加速度， \vec{a}_1 、 \vec{a}_2 、 \cdots 、 \vec{a}_i 分别表示各个力产生的加速度。

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \sum \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_i \\ &= m\vec{a}_1 + m\vec{a}_2 + \cdots + m\vec{a}_i \\ &= m\vec{a}\end{aligned}$$

直角坐标系的分量形式

$$F_x = m \frac{dv_x}{dt} = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$F_y = m \frac{dv_y}{dt} = m \frac{d^2 y}{dt^2}$$

$$F_z = m \frac{dv_z}{dt} = m \frac{d^2 z}{dt^2}$$

牛顿第三定律

两个物体之间的作用力 \vec{F} 和反作用力 \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。

$$\vec{F} = -\vec{F}'$$

两点说明：

- ((1)) 作用力、反作用力，分别作用于二物体，各产生其效果；
- (2) 作用力和反作用力是性质相同的力。

例题

例. 一质点质量为 m , 在力 $F = mg(12t + 4)$ 的作用下沿一直线运动。已知在时刻 $t = 0$ 时, $v = v_0$, $x = x_0$ 。求质点在任意时刻的速度和位置表达式。

解: 根据牛顿第二定律有

$$mg(12t + 4) = ma$$

因为 $a = \frac{dv}{dt}$, 所以

$$dv = (12t + 4)gdt$$

对上式积分, 并应用 $t = 0$ 时,

$v = v_0$, 可得

$$v = v_0 + 6gt^2 + 4gt$$

由于 $v = \frac{dx}{dt}$, 因此

$$dx = (v_0 + 6gt^2 + 4gt)dt$$

对上式积分, 并应用 $t = 0$ 时,

$x = x_0$, 可得

$$x = x_0 + v_0t + 2gt^2 + 2gt^3$$

一木块静止在一斜面上，斜面与水平面夹角为 θ ，动摩擦因数为0.50，静摩擦因数是0.75。

- 逐渐增大 θ 角，求木块开始滑动时的最小角度
- 按此角度，求木块一旦运动后的加速度
- 木块沿斜面滑动6.1m，要多少时间？

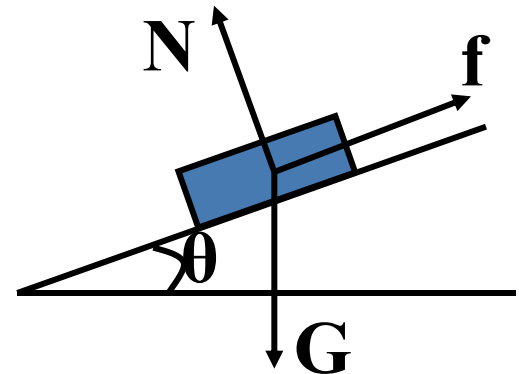
解 $mg \sin \theta = f_{\text{静max}} = mg \cos \theta \cdot 0.75$

$$\tan \theta = 0.75 \Rightarrow \theta = 36.8^\circ$$

$$mg \sin \theta - mg \cos \theta \cdot 0.5 = ma$$

$$\therefore a = 1.95 \text{ m/s}^2$$

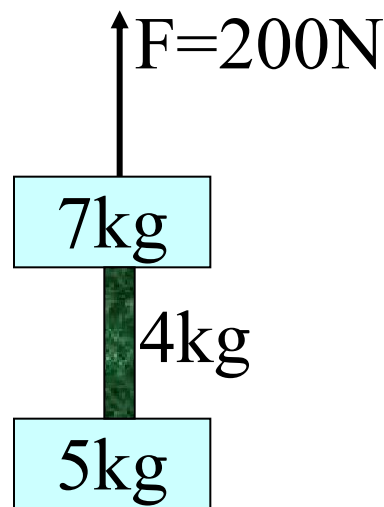
$$x = \frac{1}{2} at^2 \quad x = 6.1 \quad \therefore t = 2.5 \text{ s}$$



例题

如图，两木块用一质量为4kg的均质绳连接，施F=200N的向上的力，问

- 系统加速度是多少？
- 绳子上端的张力是多少？
- 绳子中点的张力是多少？



$$(1) a = \frac{F}{m} = \frac{200 - (7 + 5 + 4) \times 10}{7 + 5 + 4} = 2.5 \text{ m / s}^2$$

$$(2) T - (4 + 5)g = (4 + 5)a \quad \therefore T = 112.5 \text{ N}$$

$$(3) T - (2 + 5)g = (2 + 5)a \quad \therefore T = 87.5 \text{ N}$$