

1.2 质点动力学:牛顿运动定律

自然和自然规律隐藏在黑暗之中，
上帝说“让牛顿降生吧”，一切就
有了光明。

——英国诗人蒲柏



Isaac Newton (1642–1727)

分光计；力学体系的构建；反射望远镜；万有引力

1.2.1 牛顿运动定律内容

牛顿第一定律（惯性定律，理论成立条件：惯性参考系）

任何质点都将保持静止或匀速直线运动状态，直到其它物体对它作用的力迫使它改变这种状态。

亚里士多德：直觉告诉我，1. 运动需要力来维持。

2. 落体速度与重量成正比。

伽利略：思想实验告诉我，你扯淡。

牛顿第三定律（作用和反作用，物体相互作用规律）

作用在两个不同物体上的作用力与反作用力大小相等方向相反，且在同一直线上，永远成对出现且属于同一性质的力。

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

1.2.1 牛顿运动定律内容

牛顿第二定律：（物体的运动规律）

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(\mathbf{m}\vec{v}) \quad \begin{array}{l} \text{惯性的度量是质量} \\ \text{若质量不变} \end{array} \quad \vec{F} = \mathbf{m} \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

惯性质量：量度物体惯性的物理量。在相同的力作用下与获得的加速度数值成反比。

引力质量：物体产生引力场的本领。 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

惯性和引力是完全不同的两种物理属性，但属于物体的同一本质。

1.2.2 力学中常见的力

1、万有引力与重力

万有引力：两质点有通过连心线方向上的相互吸引力。

重力：地球表面附近的物体所受的重力。

不考虑地球自转时，与表面受到的万有引力相同。

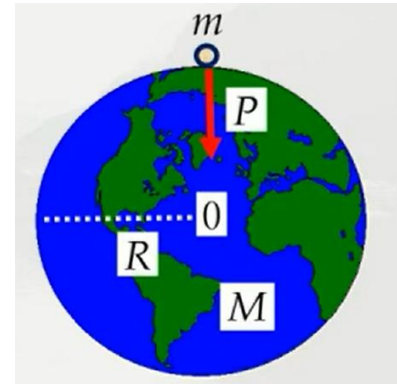
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

m_1 是物体1引力质量

m_2 是物体2引力质量

$$P = mg$$

m是物体质量

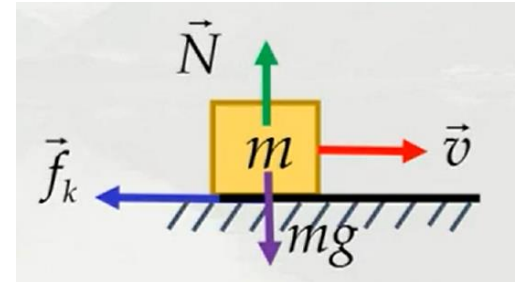


1.2.2 力学中常见的力

2、弹性力 Elastic force

物体由于形变后要恢复原状，而产生的力。压力、支承力、张力、弹性回复力等。与接触形状无关。

$$F = -kx$$



3、摩擦力 Frictional force

相互接触的物体在沿接触面相对运动时，或有相对运动趋势时，在接触面之间产生一对阻止相对运动的力。（静摩擦力、滑动摩擦力、滚动摩擦力等）

$$F_{fs\max}$$

最大静摩擦力

$$F_{fk} = \mu_k F_N$$

滑动摩擦力

四种基本自然力（了解）

力的种类	相互作用的物体	力的强度	力程
万有引力	一切质点	10^{-34}N	无限远
弱力	大多数粒子	10^{-2}N	小于 10^{-17}m
电磁力	电荷	10^2N	无限远
强力	核子、介子等	10^4N	10^{-15}m

力的强度：两个质子中心的距离等于直径时的相互作用

强力：原子核内将质子和中子“粘在”一起。

弱力：放射性衰变的原因：
中子 \rightarrow 质子+电子+中微子

1.2.3 牛顿运动定律的应用

应用牛顿定律求解质点动力学问题的一般步骤

- 1、选取研究对象(学会用隔离法)
- 2、分析受力情况画出受力图(找出全部力)
- 3、选取合适的坐标系
- 4、列牛顿方程求解
- 5、讨论

例 摩托快艇以速率 v_0 行驶，它受到的阻力与速度平方成正比， $F = -k v^2$ ，设快艇质量为 m ，求关闭发动机后，

- (1) 速度对时间的变化规律，
- (2) 路程对时间的变化规律，
- (3) 证明速度与路程之间有如下关系：

$$v = v_0 e^{-k'x} \quad (k' = k / m)$$

解

(1) 由牛II定律 $F = -kv^2 = m \frac{dv}{dt}$

当 $t = 0$ 时 $v = v_0$ $-\int_0^t \frac{k}{m} dt = \int_{v_0}^v \frac{dv}{v^2}$

两边积分 $\frac{1}{v} = \frac{1}{v_0} + \frac{k}{m} t$

$$v = \frac{1}{\frac{1}{v_0} + \frac{k}{m} t} = \frac{mv_0}{m + kv_0 t} = \frac{v_0}{1 + v_0 k' t}$$

(2) 由速度定义 $v = \frac{dx}{dt}$ $dx = v dt$

当 $t = 0$ 时 $x = 0$ $\int_0^x dx = \int_0^t v dt$

两边积分 $x = \int_0^t \frac{v_0 dt}{1 + k' v_0 t} = \frac{1}{k'} \ln(1 + v_0 k' t) \Big|_0^t$
 $= \frac{1}{k'} \ln(1 + v_0 k' t)$

(3) 由牛II定律的解法:

$$F = -kV^2 = m \frac{dv}{dt} = m \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = mV \frac{dV}{dx}$$

即
$$\frac{-k}{m} dx = \frac{dV}{V}$$

积分
$$\int_0^x -\frac{k}{m} dx = \int_{V_0}^V \frac{dV}{V}$$

得
$$-\frac{k}{m} x = \ln \frac{V}{V_0}$$

$$\frac{V}{V_0} = e^{-\frac{k}{m} x} = e^{-k' x}$$

1.2.3 牛顿运动定律作业

1.24