普通物理I PHYS1181.02

彭鹏

Office: 物质学院8号楼301室
Email: pengpeng@shanghaitech.edu.cn

研究方向: 超快光谱、X射线阿秒脉冲产生、阿秒瞬态吸收光谱、强场激光物理、飞秒激光成丝。
https://spst.shanghaitech.edu.cn/2021/0115/c2349a59066/page.htm

回顾

1. 质点、参考系、坐标系

2. 位置矢量与运动方程 $\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$

3. 位移与路程 $\Delta\vec{r} = \vec{r}(t+\Delta t) - \vec{r}(t)$

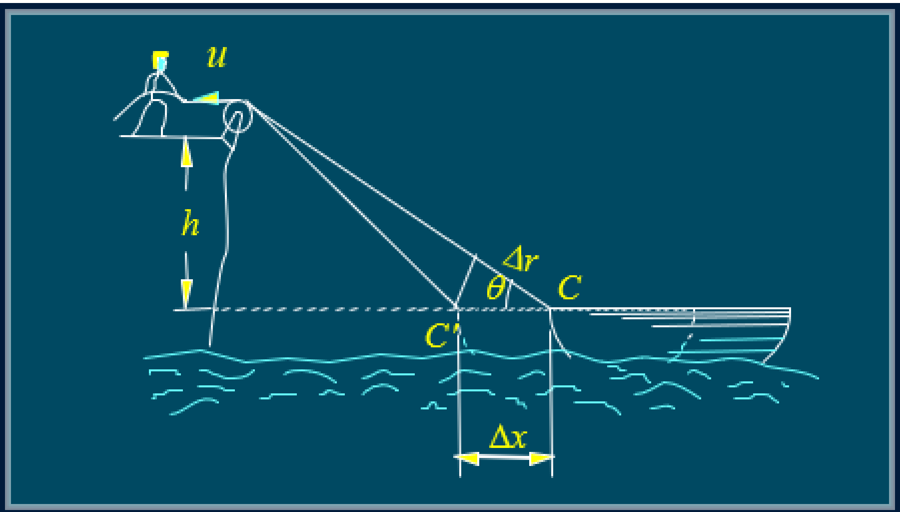
4. 速度、加速度 $\vec{v} = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}$ $\quad \vec{a} = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{\mathrm{v}}}{\Delta t} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{\mathrm{v}}}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}^2\vec{r}}{\mathrm{d}t^2}$

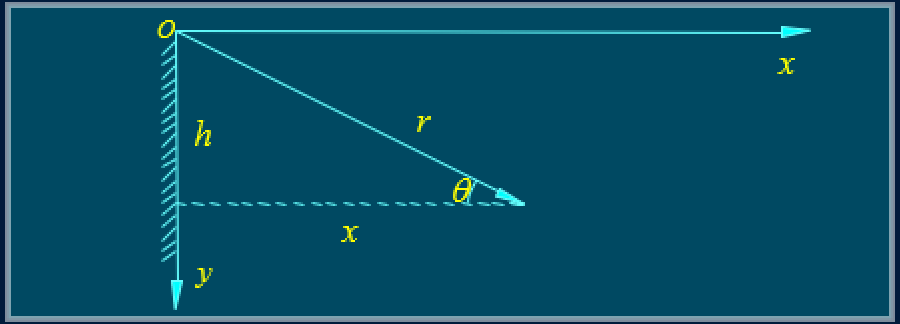
5. 匀加速直线运动 $v = v_0 + at,\quad x = v_0 t + \mathrm{a}t^2/2,\quad v^2 - v_0^2 = 2ax$

6. 平面极坐标系 $\vec{v} = \dot{r}\vec{e}_r + r\dot{\theta}\vec{e}_\theta = \vec{v}_r + \vec{v}_\theta \quad \vec{a} = \left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right)\vec{e}_r + \left(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}\right)\vec{e}_\theta$

例 在离水面高为h 的岸边，有人用绳子拉小船靠岸，人以不变的速率u 收绳。

求 当船在离岸距离为x时的速度和加速度。

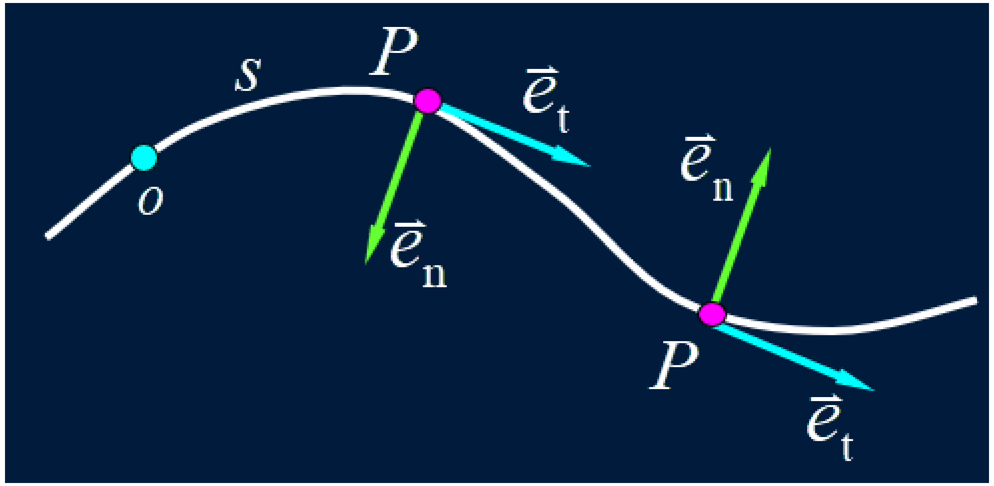




自然坐标

质点作曲线运动且轨迹已知时，用自然坐标描述。

在已知的运动轨迹上任选一点0为原点，从0点起沿轨迹的某一方向量得曲线长度s(取正值)，此方向为自然坐标正向。



自然坐标中质点的运动方程

$$s = s(t)$$

$\vec{e}_n$:法向单位矢量，指向轨迹曲线凹侧。

$\vec{e}_t$:切向单位矢量，指向自然坐标正向。

自然坐标中 $\vec{e}_n$ ，$\vec{e}_t$ 不是恒矢量，其方向随质点在轨迹上的位置而变化。

自然坐标中的速度：

$$\vec{v} = \frac{ds}{dt}\vec{e}_t = v\,\vec{e}_t$$

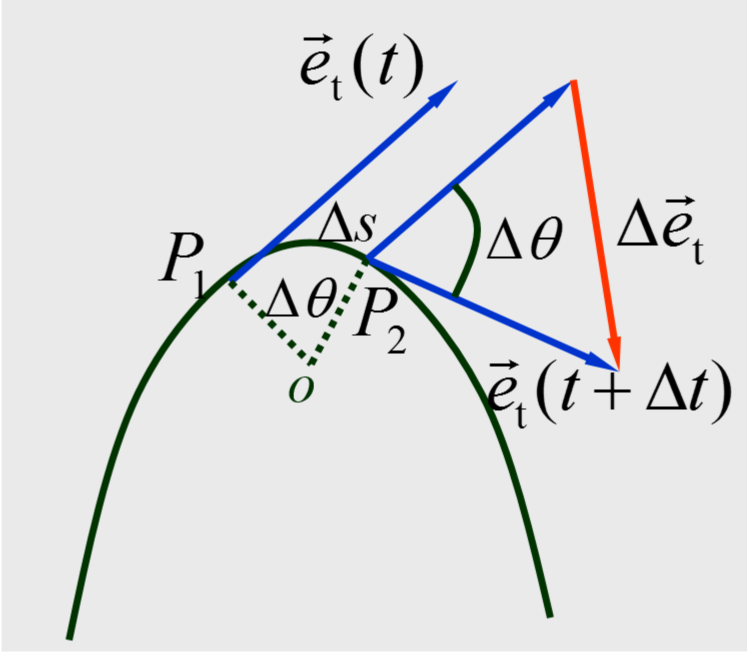
速度矢量方向，总是沿轨迹的切线方向

自然坐标中的加速度：

$$\vec{v} = v\vec{e}_t = \frac{ds}{dt}\vec{e}_t$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(v\vec{e}_t)}{dt} = \frac{dv}{dt}\vec{e}_t + v\frac{d\vec{e}_t}{dt}$$

$$\Delta\vec{e}_t = \vec{e}_t(t+\Delta t) - \vec{e}_t(t)$$



注意此处法线单位矢量为内法线方向

大小： $|\Delta\vec{e}_t| = |\vec{e}_t|\Delta\theta = \Delta\theta$

方向： $\Delta\theta \to 0: \Delta\vec{e}_t // \vec{e}_n$

$$\Rightarrow \Delta\vec{e}_t = \Delta\theta\vec{e}_n$$

$$\frac{d\vec{e}_t}{dt} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{e}_t}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\vec{e}_n = \frac{d\theta}{dt}\vec{e}_n$$

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{e}_t + v\frac{d\vec{e}_t}{dt} = \frac{dv}{dt}\vec{e}_t + v\frac{d\theta}{dt}\vec{e}_n$$

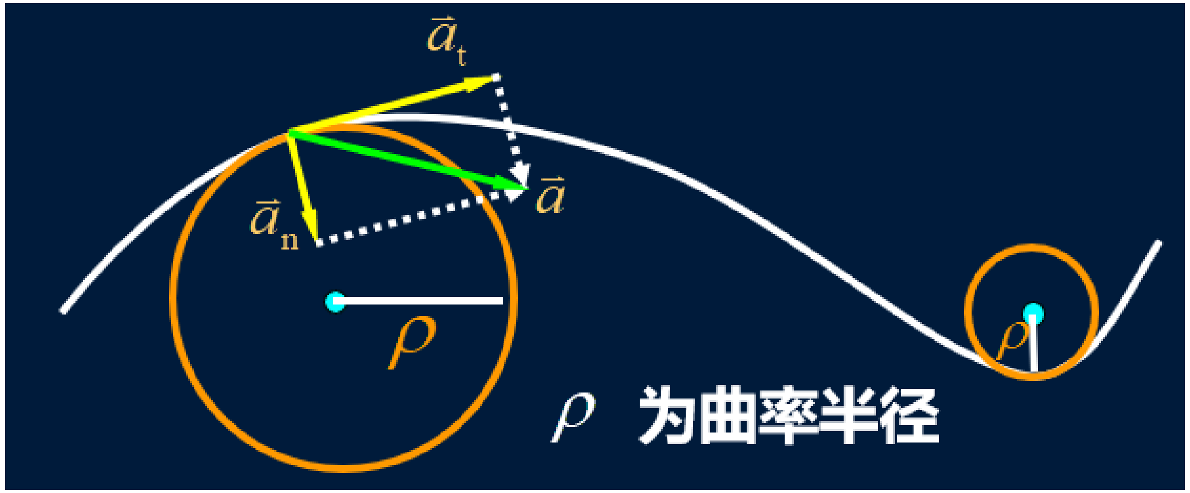
切向加速度：质点速度大小的变化

法向加速度：质点速度方向的变化

• 简单的情形：如果轨迹是一个圆，那么

$$\mathrm{v}\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\vec{e}_\mathrm{n} = v\frac{d(s/R)}{dt}\vec{e}_\mathrm{n} = \frac{v}{R}\frac{ds}{dt}\vec{e}_\mathrm{n} = \frac{v^2}{R}\vec{e}_\mathrm{n}$$

一般的情形：任意轨道，找到一个圆去和这一刻的轨道相切。



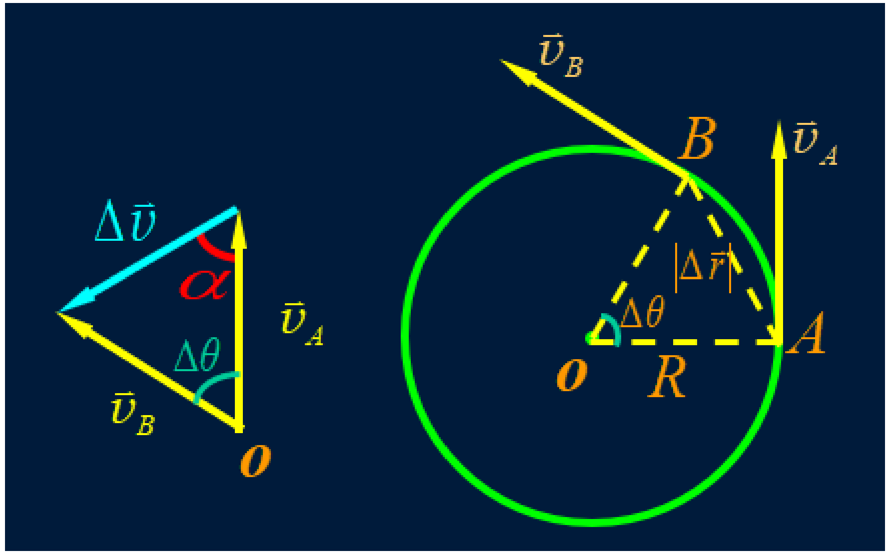
假设内切圆半径为ρ，那么法向加速度：

$$\mathrm{v}\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\vec{e}_\mathrm{n} = \frac{v^2}{\rho}\vec{e}_\mathrm{n}$$

$$\vec{a}=\vec{a}_{\mathrm{n}}+\vec{a}_{\mathrm{t}}=a_{\mathrm{n}}\vec{e}_{\mathrm{n}}+a_{\mathrm{t}}\vec{e}_{\mathrm{t}}=\frac{v^2}{\rho}\vec{e}_{\mathrm{n}}+\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\vec{e}_{\mathrm{t}}$$

1. 匀速率圆周运动中的加速度

质点作半径为 R 速率为 v 的匀速圆周运动



$$\vec{a}=a_{\mathrm{n}}\vec{e}_{\mathrm{n}}=\frac{\mathrm{v}^2}{R}\vec{e}_{\mathrm{n}}$$

质点在A点处的加速度方向垂直于A点的速度方向，沿半径指向圆心，称为法向加速度，以a_{n}表示。

只有法向加速度。

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t = a_n\vec{e}_n + a_t\vec{e}_t = \frac{v^2}{\rho}\vec{e}_n + \frac{dv}{dt}\vec{e}_t$$

2. 变速圆周运动中的加速度

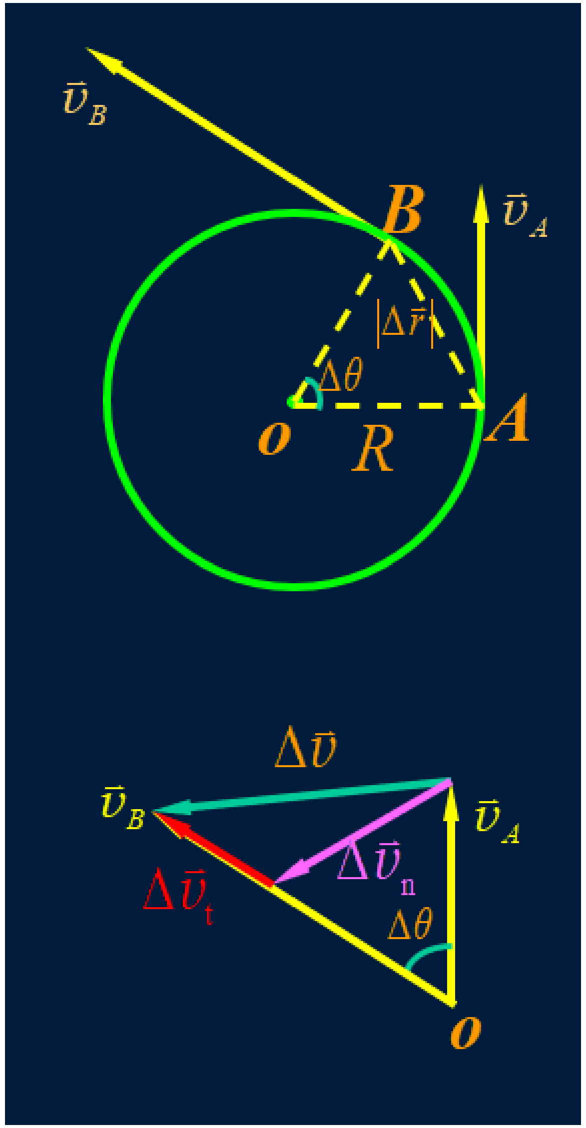
$$\Delta\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$$

$$\Delta\vec{v} = \Delta\vec{v}_n + \Delta\vec{v}_t$$

$\Delta\vec{v}_n$ **反映速度方向变化。**

$\Delta\vec{v}_t$ **反映速度大小变化。**

既有切向加速度，又有法向加速度。



自然坐标中，变速圆周运动的加速度

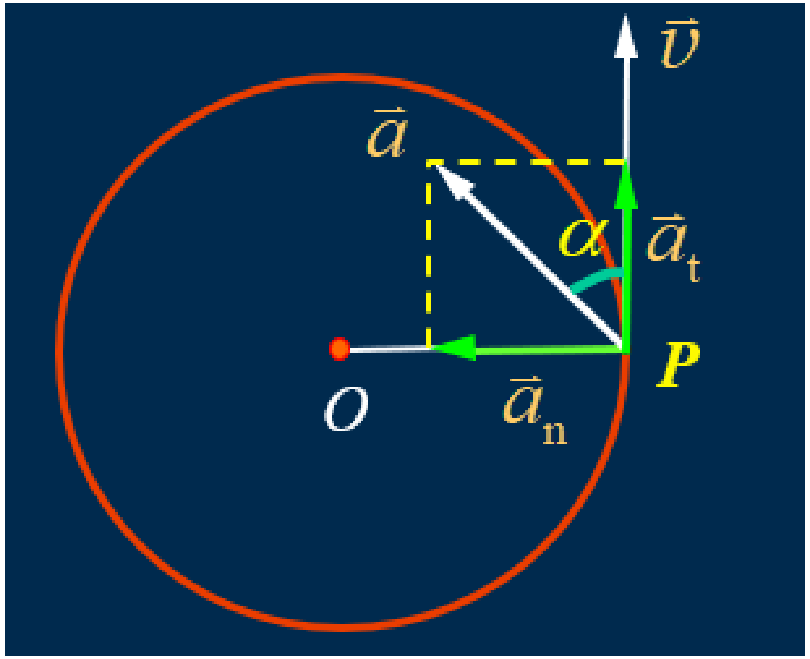
$$\vec{a} = \vec{a}_\mathrm{n} + \vec{a}_\mathrm{t} = a_\mathrm{n}\vec{e}_\mathrm{n} + a_\mathrm{t}\vec{e}_\mathrm{t}$$

大小 $a = \sqrt{{a_\mathrm{t}}^2 + {a_\mathrm{n}}^2}$

$$= \sqrt{\left(\frac{\mathrm{dv}}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{v}^2}{R}\right)^2}$$

方向 $\alpha = \arctan\dfrac{a_\mathrm{n}}{a_\mathrm{t}}$

α 为加速度与速度之间的夹角



◆自然坐标中运动学的两类问题：

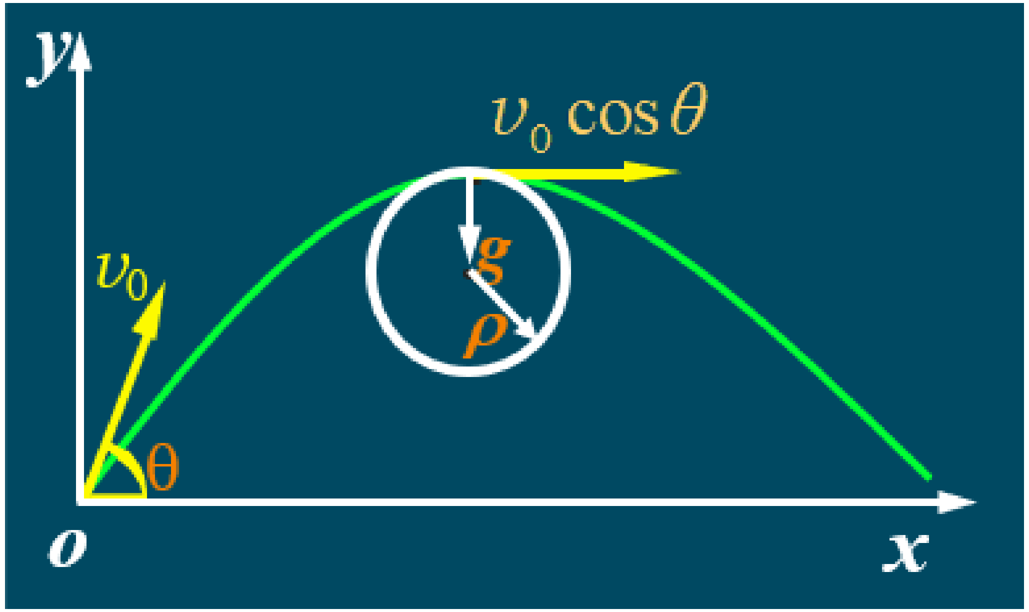
第一类问题：已知质点运动方程 $s=s(t)$，求质点在任意时刻的速度和加速度。

第二类问题：已知质点运动的速率v或切向加速度a_t，求曲线运动的运动方程$s=s(t)$。

例如图所示，炮弹的出口速率为$\boldsymbol{v}_0$，发射角为$\boldsymbol{\theta}$，不计阻力。

求 (1) 任一时刻t的切向加速度a_t及法向加速度a_n；

(2) 轨迹最高点的曲率半径ρ。



例 汽车在半径为200 m的水平圆弧形弯道上行驶，发现路障后司机刹车。若将开始刹车的时刻作为记时起点，则刹车阶段汽车的运动方程为$s = 20t - 0.2t^3$。

求 汽车在t=1s时的加速度。

例 一质点作半径为R的圆周运动，其速度随时间变化的规律为 $v = v_0 - bt$ ，式中v_0、b均为正的常量。t=0时，质点位于自然坐标的原点。

求 (1) 自然坐标中质点的运动方程；

(2) 当加速度的大小为b时，质点沿圆周运动了几圈？

相对运动

主要内容：

1. 基本参考系与运动参考系
2. 伽利略坐标变换
3. 伽利略速度变换

参考系：为描述物体的运动而选取的一组相对静止的物体。

- 运动的相对性决定描述物体运动必须选取参考系
- 在运动学中，参考系可任选，但以描述方便为原则
- 不同参考系中，对物体运动的描述不同（如轨迹、速度等）—运动描述的相对性

✓太阳参考系

✓地心参考系

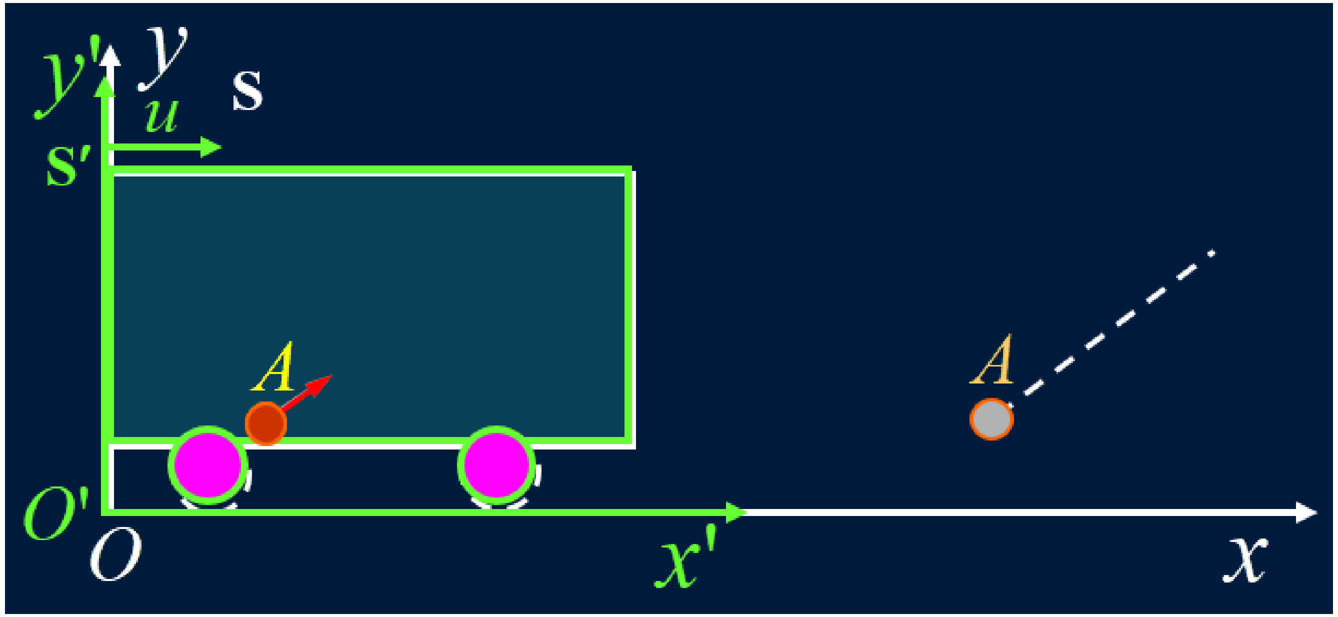
✓地面参考系或实验室参考系

✓质心参考系

舟已行矣，而剑不行：地面参考系

上海科技大学 ShanghaiTech University

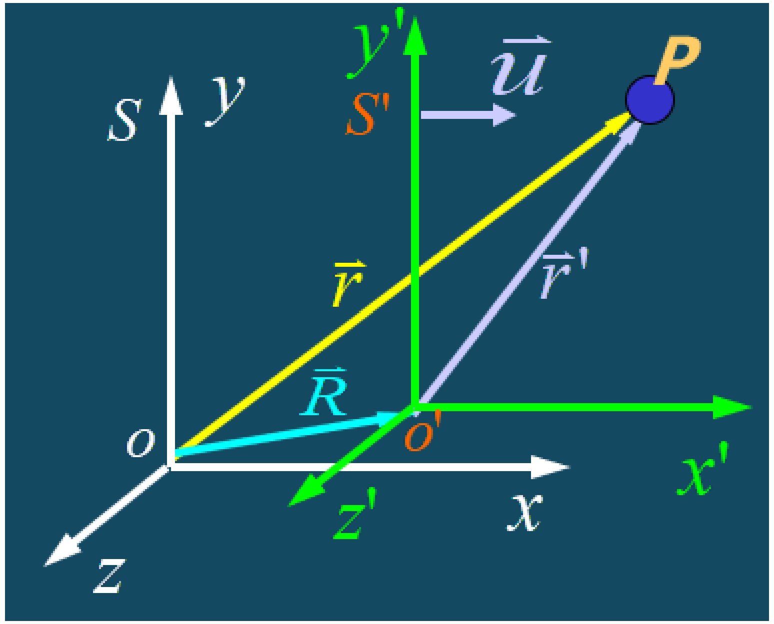
两个作相对运动的参考系，选其中一个作为基本参考系，用S系表示；把另一参考系称为运动参考系，用S′系表示。



物体相对于S 系的运动 —— 绝对运动；
物体相对于S′系的运动 —— 相对运动；
S′系相对于S 系的运动 —— 牵连运动。

质点P在两个相互作平动运动的坐标系中位矢之间的关系

$$\vec{r}=\vec{r}'+\vec{R}$$



质点P在相互作平动运动的坐标系中速度之间的关系

$$\vec{v}=\vec{u}+\vec{v}'$$

绝对速度　牵连速度　相对速度

伽利略速度变换公式(经典力学速度变换公式)
该公式在物体运动速度很高，接近于光速时不成立。

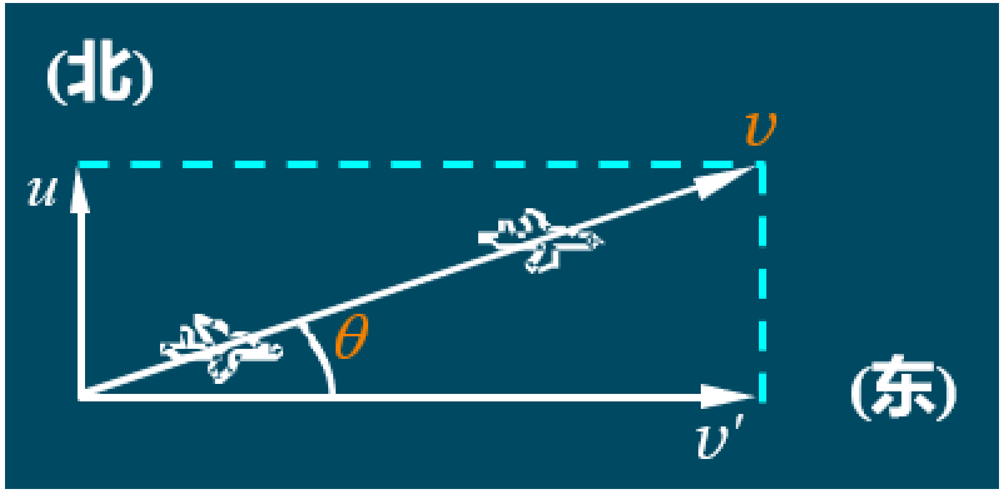
对速度变换作时间的一阶求导，可得加速度变换关系

$\vec{u}=$定矢量 $\Rightarrow$ $\vec{a}_0=0$ $\Rightarrow$ $\vec{a}'=\vec{a}$

例 飞机上的罗盘指出飞机航向正东（即飞机相对气流方向为正东），航速表的读数为215 km/h，此时风向正北，风速为65 km/h。

求 (1) 飞机相对地面的速度；

(2) 若飞行员想朝相对地面方向正东飞行，他应取什么航向?



小结

1. 描述质点运动的物理量

(1) 位矢：从坐标原点引向质点所在位置的有向线段。

在直角坐标系中 $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

(2) 运动方程

在直角坐标系中 $\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$

(3)位移：由质点的初始位置指向末位置的矢量。

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}(t+\Delta t) - \vec{r}(t)$$

在直角坐标系中 $\Delta\vec{r} = \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k}$

(4)路程：物体运动时沿轨迹实际通过的路径长度称为路程，用s 表示.

一般情况下 $|\Delta\vec{r}| \neq \Delta s$ 但 $|\mathrm{d}\vec{r}| = \mathrm{d}s$

(5)速度：质点位置对时间的一阶导数称为速度，$\vec{\mathrm{v}} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}$

在直角坐标系中 $\vec{\mathrm{v}} = \mathrm{v}_x\vec{i} + \mathrm{v}_y\vec{j} + \mathrm{v}_z\vec{k}$

$$= \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\vec{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\vec{j} + \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\vec{k}$$

(6) 加速度: 质点运动速度对时间的一阶导数或位移对时间的二阶导数

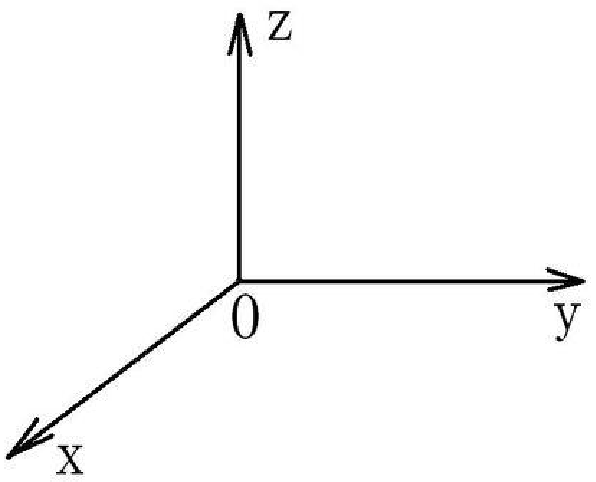
$$\vec{a} = \frac{\mathrm{d}\vec{\mathrm{v}}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\vec{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

在直角坐标系中 $\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}$

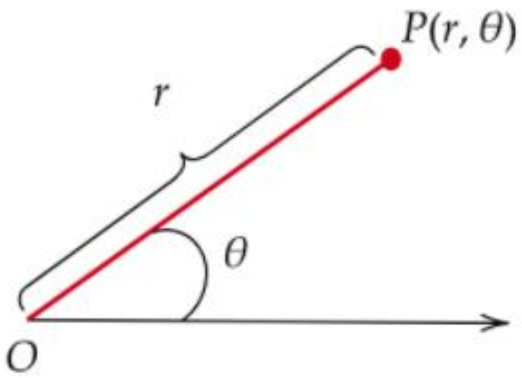
$$= \frac{\mathrm{dv}_x}{\mathrm{d}t}\vec{i} + \frac{\mathrm{dv}_y}{\mathrm{d}t}\vec{j} + \frac{\mathrm{dv}_z}{\mathrm{d}t}\vec{k}$$

(7) 相对运动和伽利略变换

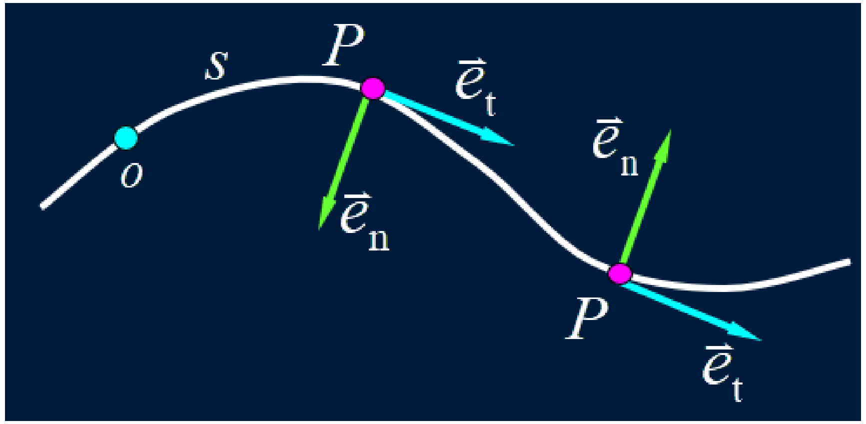
伽利略速度变换式: $\vec{\mathrm{v}} = \vec{\mathrm{v}}' + \vec{u}$



直角坐标系



极坐标系



自然坐标系

$$\vec{v} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\vec{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\vec{j} + \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\vec{k}$$

$$\vec{a} = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\vec{i} + \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\vec{j} + \frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\vec{k}$$

$$\vec{v} = \dot{r}\vec{e}_r + r\dot{\theta}\vec{e}_\theta = \vec{v}_r + \vec{v}_\theta$$

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\vec{e}_r + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\vec{e}_\theta$$

$$\vec{v} = v\vec{e}_t = \frac{ds}{dt}\vec{e}_t$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(v\vec{e}_t)}{dt} = \frac{dv}{dt}\vec{e}_t + \frac{v^2}{\rho}\vec{e}_\mathrm{n}$$

常见的运动形式

上海科技大学
ShanghaiTech University

(1)匀加速直线运动:

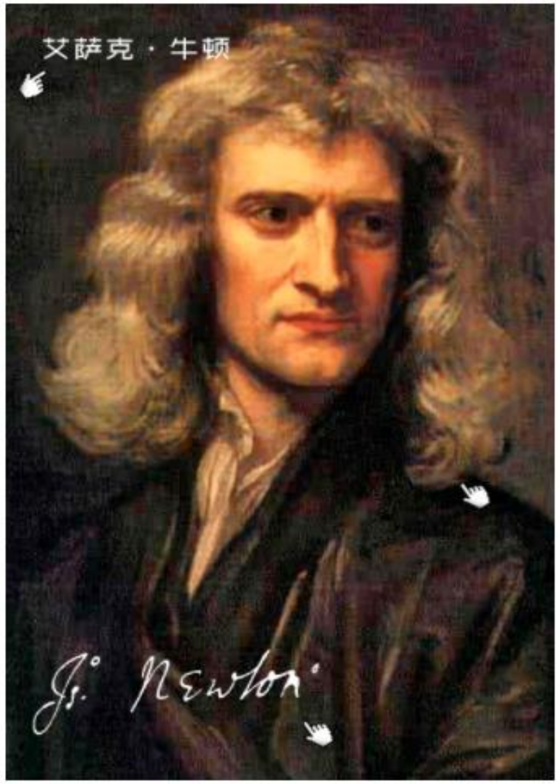
$$v = v_0 + at$$
$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$
$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

(2)抛体运动:

$$a_x = 0, \quad a_y = -g$$
$$v_x = v_0 \cos\theta, \quad v_y = v_0 \sin\theta - g\,t$$
$$x = v_0 \cos\theta \cdot t, \quad y = v_0 \sin\theta \cdot t - \frac{1}{2} g\,t^2$$

质点动力学 Dynamics

- 动力学是研究物体与物体之间的相互作用以及由于这种相互作用而引起的物体运动状态的变化规律
- 牛顿三个基本运动定律是整个动力学的基础



牛顿第一定律：

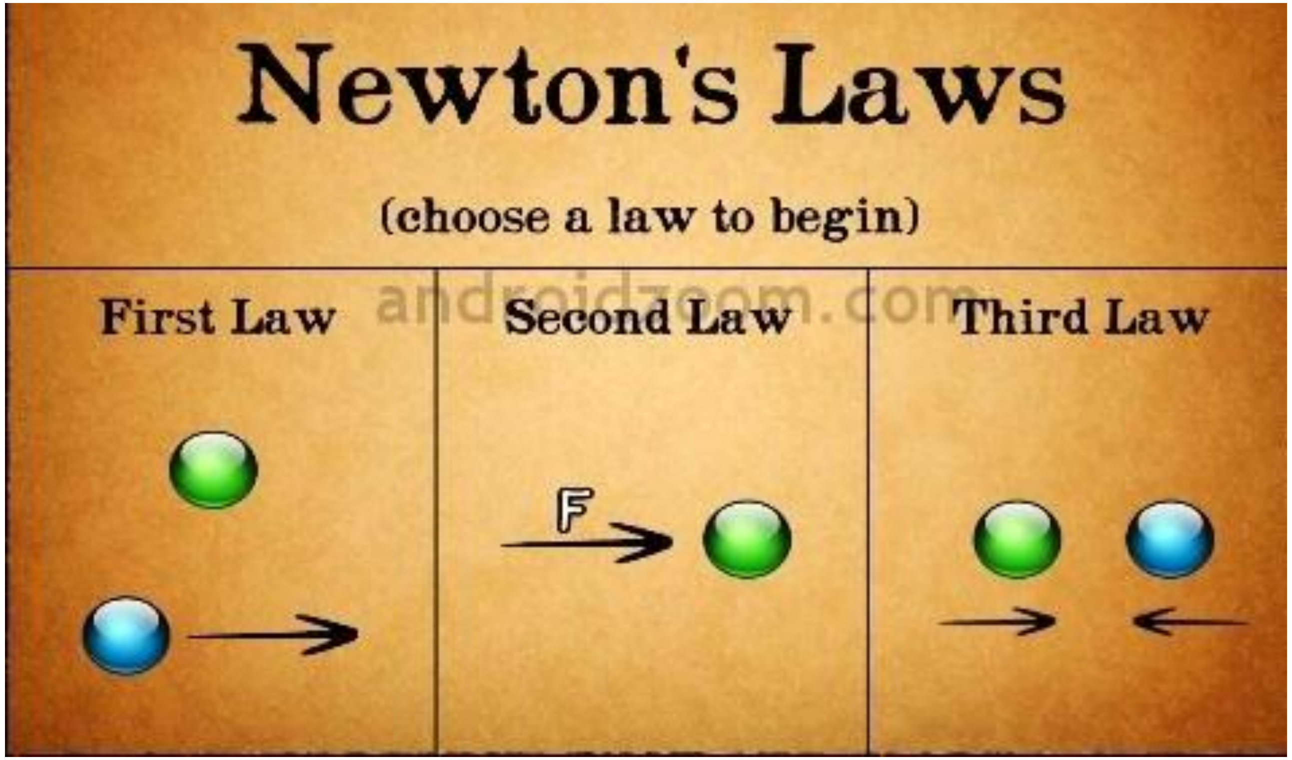
任何物体都保持静止或作匀速直线运动状态，直到其它物体的作用迫使它改变这种状态为止。

牛顿第二定律：

运动的改变和所加的力成正比;并且发生在这力所沿的直线的方向上。

牛顿第三定律：

每一个作用总有一个相等的反作用与它对抗；或者说，两个物体之间的相互作用永远相等，且指向对方。



力与运动关系的探索

亚里士多德：力是物体运动的原因

伽利略：力是改变物体运动的原因

中华人民共和国中央人民政府
www.gov.cn

国务院 总理 新闻 政策 互动 服务 数据

首页 > 国务院公报 > 2016年第24号

【字体：大 中 小】 打印

科技部　中宣部关于印发
《中国公民科学素质基准》的通知

附件

《中国公民科学素质基准》

《中国公民科学素质基准》(以下简称《基准》)是指中国公民应具备的基本科学技术知识和能力的标准。公民具备基本科学素质一般指了解必要的科学技术知识，掌握基本的科学方法，树立科学思想，崇尚科学精神，并具有一定的应用它们处理实际问题、参与公共事务的能力。制定《基准》是健全监测

(47)了解生活中常见的力，如重力、弹力、摩擦力、电磁力等；知道大气压的变化及其对生活的影响。

(48)知道力是自然界万物运动的原因；能描述牛顿力学定律，能用它解释生活中常见的运动现象。

错误！！！

(49)知道太阳光由七种不同的单色光组成，认识太阳光是地球生命活动所需能量的最主要来源；知道无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X 射线都是电磁波。

第一定律

**任何物体都保持静止或作匀速直线运动状态，
直到其它物体的作用迫使它改变这种状态为止。**

- 牛顿运动定律中的物体指的是质点或作平动的物体。
- 牛顿第一定律提出了两个重要概念。
  - 惯性 —— 物体的固有属性（惯性定律）
  - 力 —— 使物体改变运动状态的原因

力，刑之所以奋也。　　墨翟《墨经》

刑 —— 物体

奋 —— 由静而动 或 由慢而快

力 —— 物体的“奋”因

质点处于静止或匀速直线运动状态时：

$$\sum \vec{F}_i = 0$$ —— 静力学基本方程

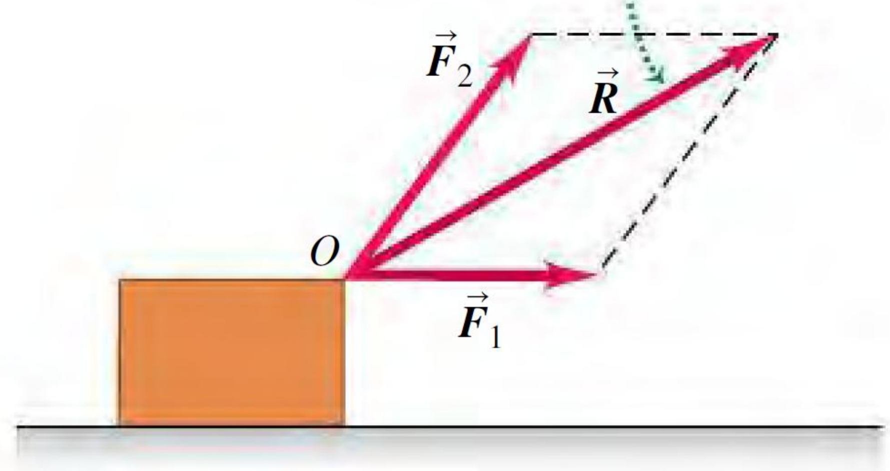
第二定律

运动的改变和所加的力成正比;并且发生在这力所沿的直线的方向上。

实验表明：力满足矢量的平行四边形叠加定则。
质点所受的合力为所有作用在质点上的力的矢量和： $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$

在合力作用下，质点的加速度： $\vec{a}$

Two forces $\vec{F}_1$ and $\vec{F}_2$ acting on a body at point O have the same effect as a single force $\vec{R}$ equal to their vector sum.



(1) 加速度方向与合力方向相同

(2) $\vec{a} \propto \frac{\sum_i \vec{F}_i}{m}$

- 瞬时性 —— 第二定律是一个瞬时关系式
- 矢量性 ——（矢量叠加定理）
- 对应性 —— $\vec{F}_i \Rightarrow \vec{a}_i$
- 质量是物体惯性大小的量度 —— 惯性质量

第二定律同时定义（a）力的量度（b）物体（惯性）质量

力的量度和物体质量通过第二定律协调定义。

在国际单位制中：

$\vec{F}$： N；
m： kg；
a： m/s^2

长度，质量，时间->操作定义
力->根据牛顿第二定律 衍生定义

$$\Rightarrow \vec{a} = \frac{\sum_i \vec{F}_i}{m}$$

牛顿第二定律的等效形式：动量定理

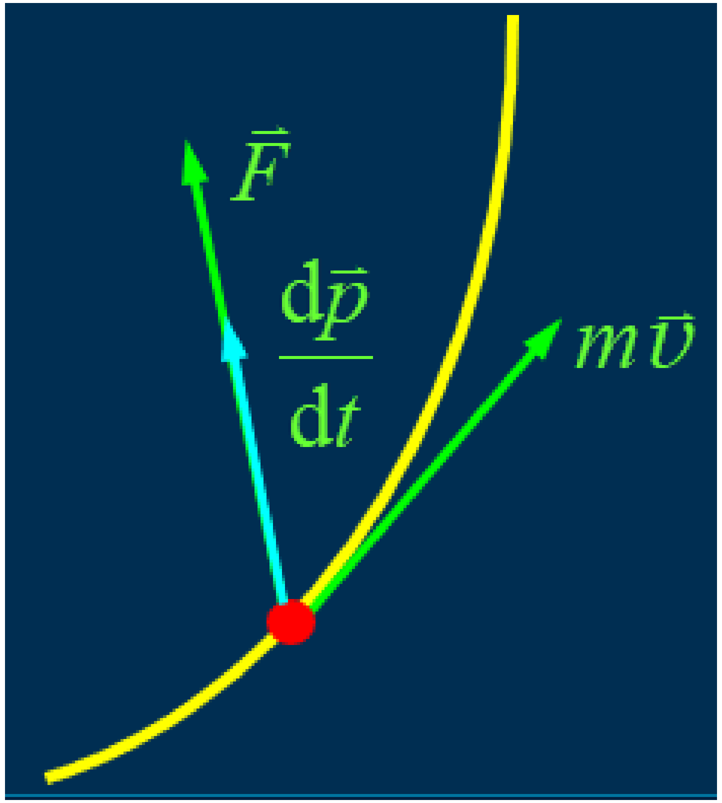
物体受合力作用时，它的动量将发生变化。某时刻物体动量对时间的变化率等于该时刻作用在质点上的合力。即：

$$\vec{F}=\frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t}$$

- m为常量时，牛顿第二定律可表示为

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

当v远小于c，m为常量



牛顿第二定律的等效形式：动量定理

上海科技大学 ShanghaiTech University

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

- 引入动量(momentum) $\vec{p} = m\vec{v}$,
- 因此有$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$，牛顿第二运动定律的另一表述是物体所受外力等于其动量对时间的变化率。

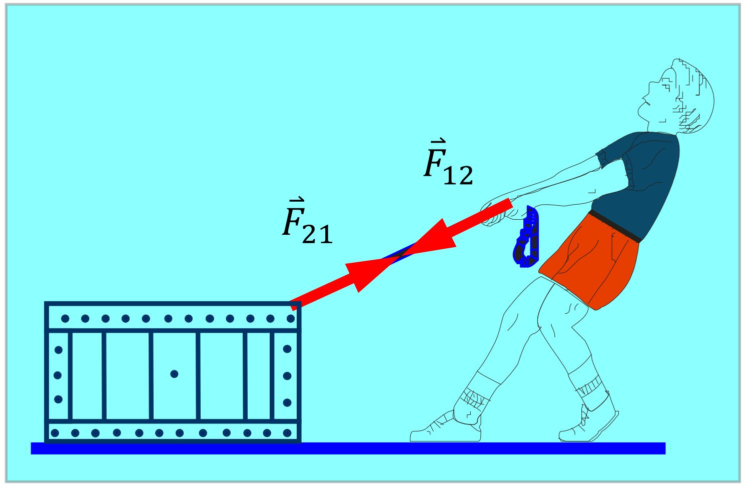
为什么要多此一举?

- 在引入相对论之后，物体的质量m将不再是一个恒定的值，而是随速度变化。$m = m_0/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$，其中，$m_0$是物体静止时的质量。$F = m\frac{dv}{dt}$不再成立。然而$F = dp/dt$依然成立。

第三定律

每一个作用总有一个相等的反作用与它对抗；或者说，两个物体之间的相互作用永远相等，且指向对方。两个物体间的相互作用力总是等值反向且沿着同一直线，即

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



- 注意

第三定律揭示了力的特性

- 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。

牛顿运动定律的适用范围

- 牛顿运动定律中的物体是指质点；
- 牛顿运动定律适用于惯性系；
- 牛顿运动定律适用于低速领域的宏观物体。

惯性系：牛顿定律适用的参考系。

一个参考系是否是惯性系，要依赖观测和实验的结果来判断。

相对于惯性系作匀速直线运动的参考系都是惯性系，作变速运动的参考系为非惯性系。

几种实用的惯性系

- 太阳参考系是一个实验精度相当高的惯性系。
- 地心参考系也是一个实验精度很高的惯性系。
- 地面参考系是一个近似程度很高的惯性系。

我们接触到的非惯性参考系：加速减速的车厢，过弯道的火车，启动停止的电梯等

牛顿三大定律更深刻的意义

上海科技大学
ShanghaiTech University

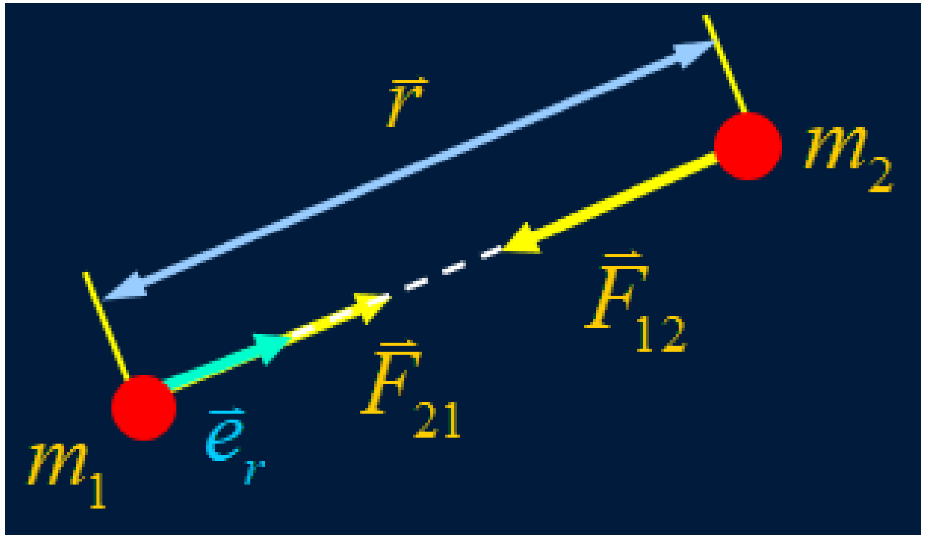
动量守恒定律：对于没有外力作用的系统，其动量守恒。（如果动量不守恒，则根据动量的改变速度来计算外力）。

动量守恒来源于空间平移不变性。因此牛顿三大定律也是空间平移不变性的直接结果。

因此牛顿三大定律的不适用的时候，空间平移不变性都被打破了。（比如非惯性系的情形）

力学中常见的几种力

万有引力：任意两个质点之间的相互吸引力



万有引力的大小 $$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

万有引力常量

$$G = 6.67\times 10^{-11}\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{kg}^{-2}$$

万有引力定律的矢量式

$$\vec{F}_{12} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\vec{e}_r$$

说明

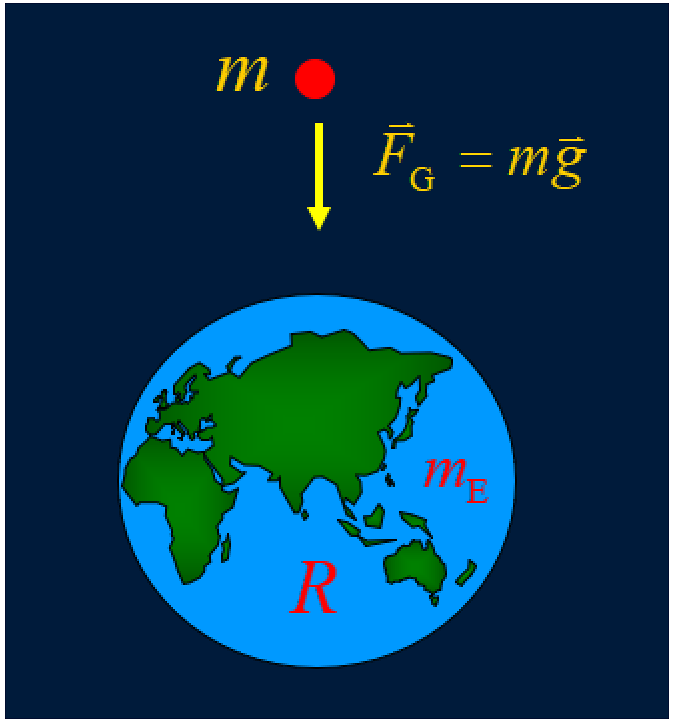
- 万有引力定律式适用于两个质点；
- 对于两个质量均匀的球体之间的引力，可以直接用万有引力定律式计算。

重力：地球对其表面附近物体的万有引力

设地球的质量为m_E，地球的半径为R，物体的质量为m

$$F_G = G\frac{mm_E}{R^2}$$

$$g = \frac{Gm_E}{R^2}$$



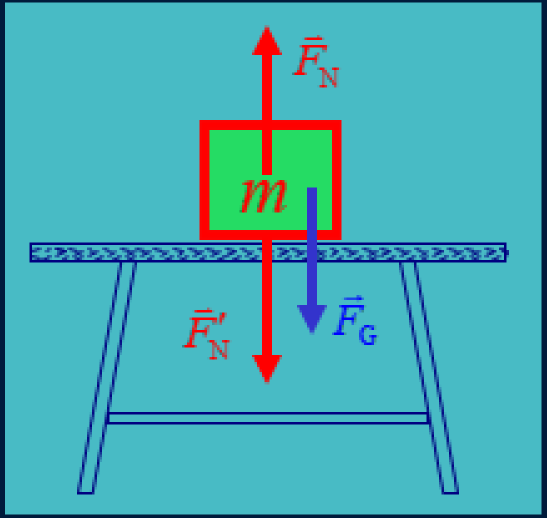
质量为m的物体所受重力为

$$\vec{F}_G = m\vec{g}$$

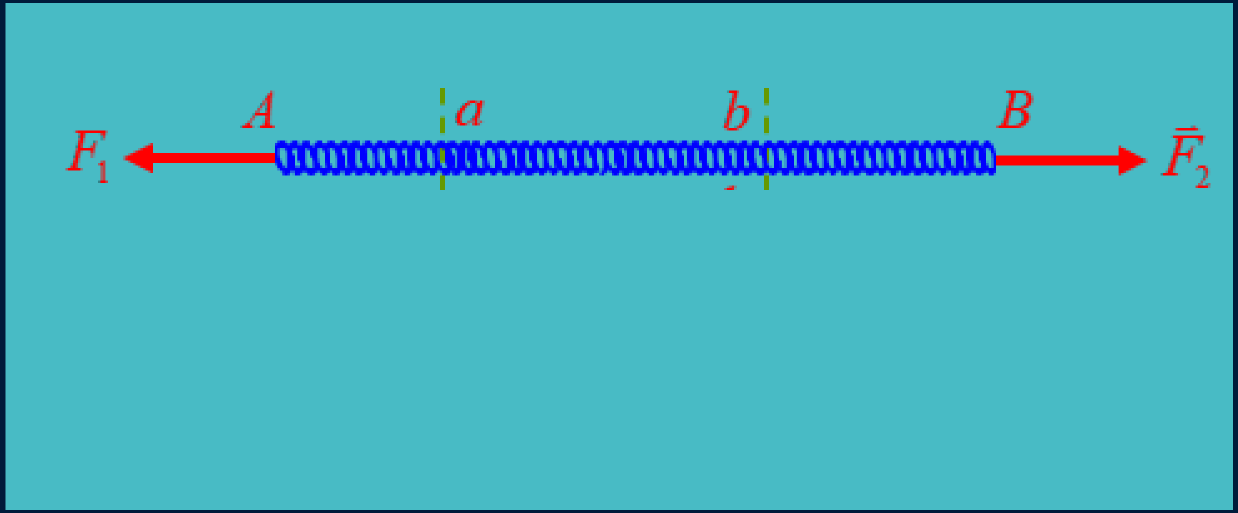
重力加速度 $g \approx 9.8\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$

◆弹性力：因形变而产生的恢复力

- 支承面的支承力

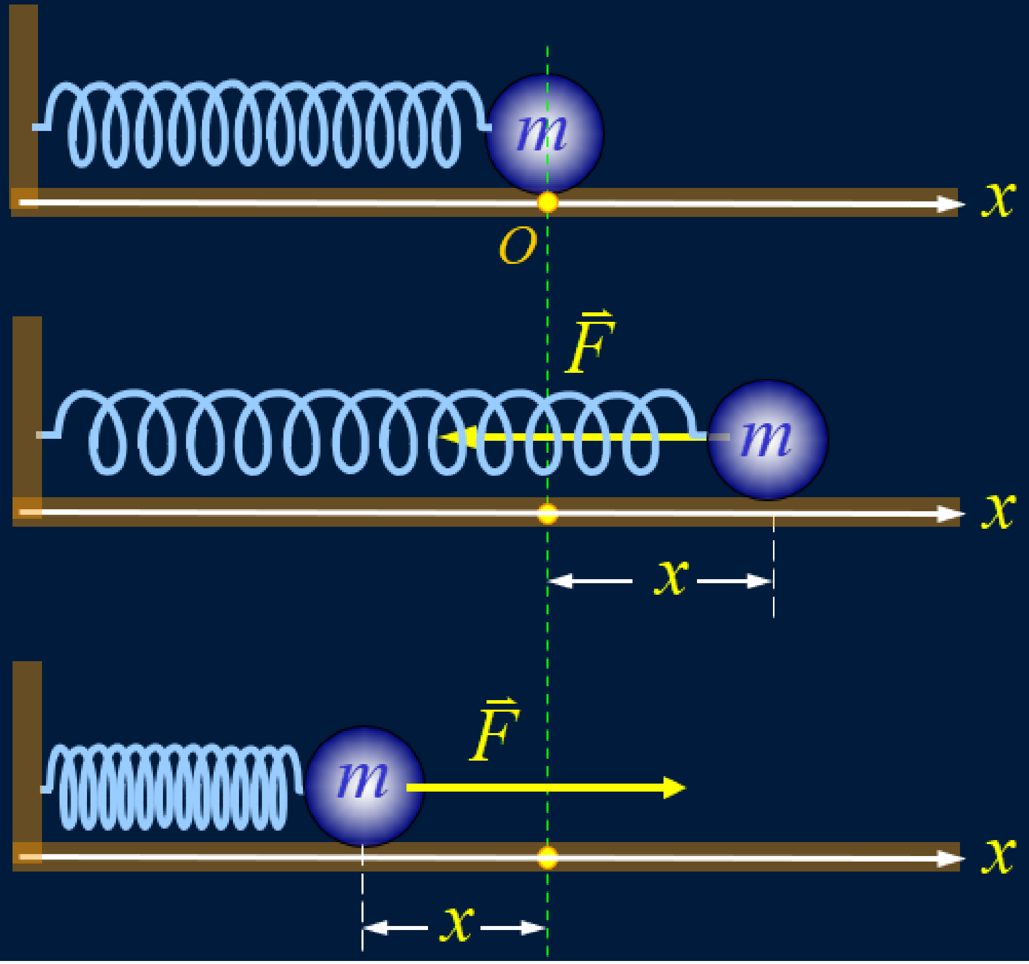


- 绳索内的张力



● 弹簧的弹性力

胡克定律 $\boxed{F=-kx}$ $\vec{F}=-kx\vec{i}$



$\vec{F}=0$

$F=-kx$

$F=-kx$

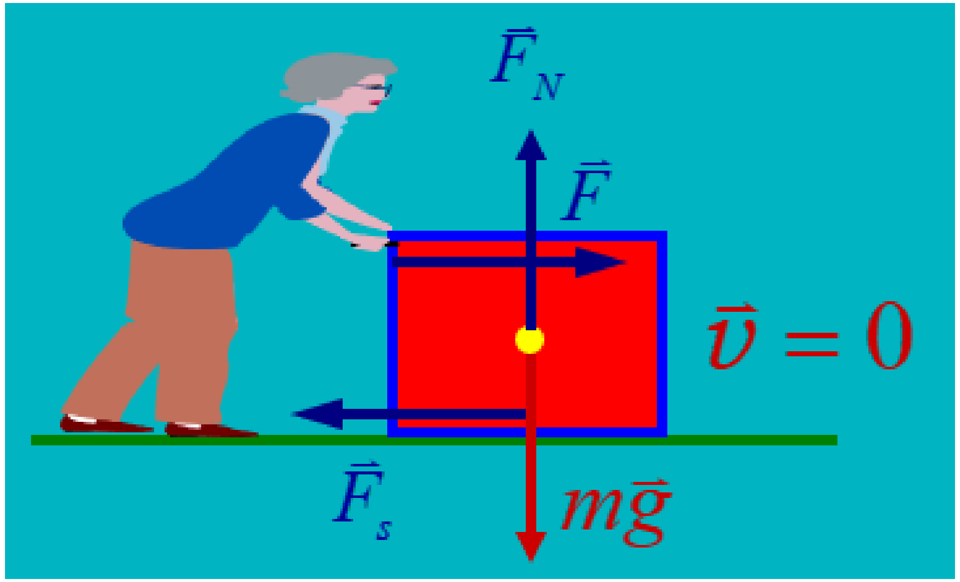
摩擦力：阻碍彼此接触的物体相对运动或相对运动趋势的力

静摩擦力：彼此接触的物体有相对运动趋势时，接触面间出现的摩擦力 $\vec{F}_S = -\vec{F}$

(1) 静摩擦力的大小随外力的变化而变化；

(2) 静摩擦力的方向与接触面相对滑动趋势的指向相反；

(3) 最大静摩擦力



$F_{\mathrm{Smax}} = \mu_S F_{\mathrm{N}}$

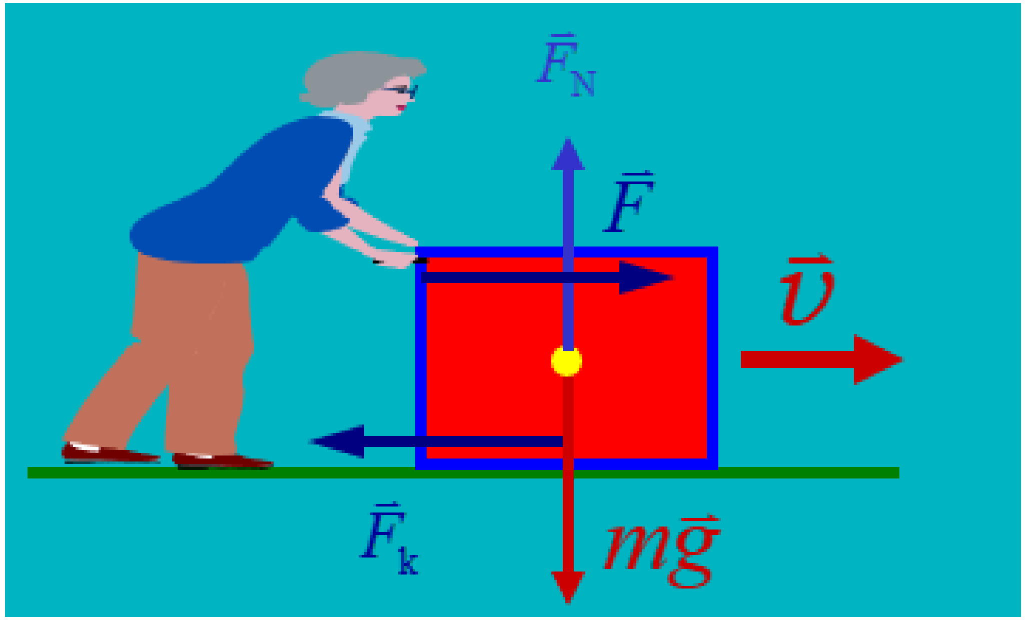
μ_S :静摩擦系数

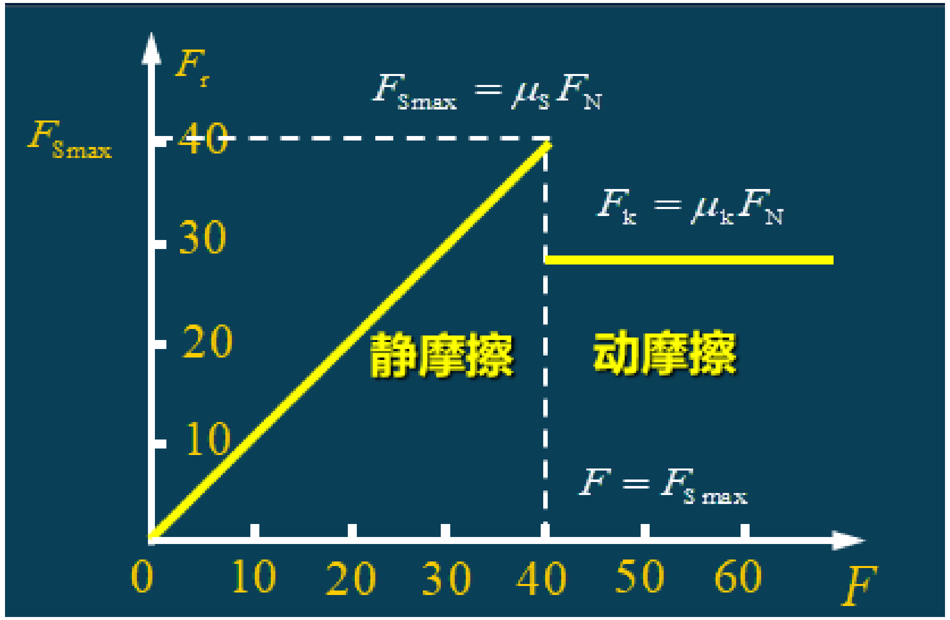
● 滑动摩擦力：相互接触的物体有相对滑动时，接触处出现的摩擦力

$$F_{\mathrm{k}} = \mu_{\mathrm{k}} F_{\mathrm{N}}$$

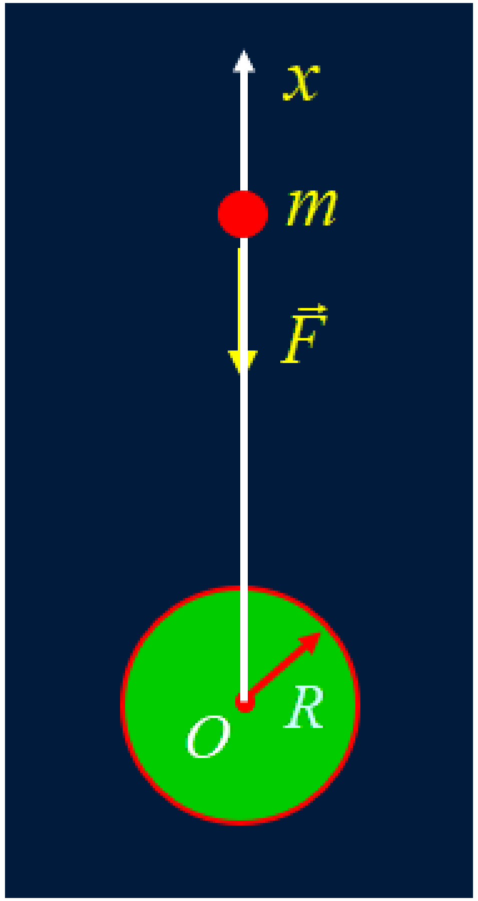
μ_{k}为滑动摩擦系数，滑动摩擦力的方向总与相对运动的方向相反。

$$\mu_{\mathrm{k}} < \mu_{\mathrm{S}}$$





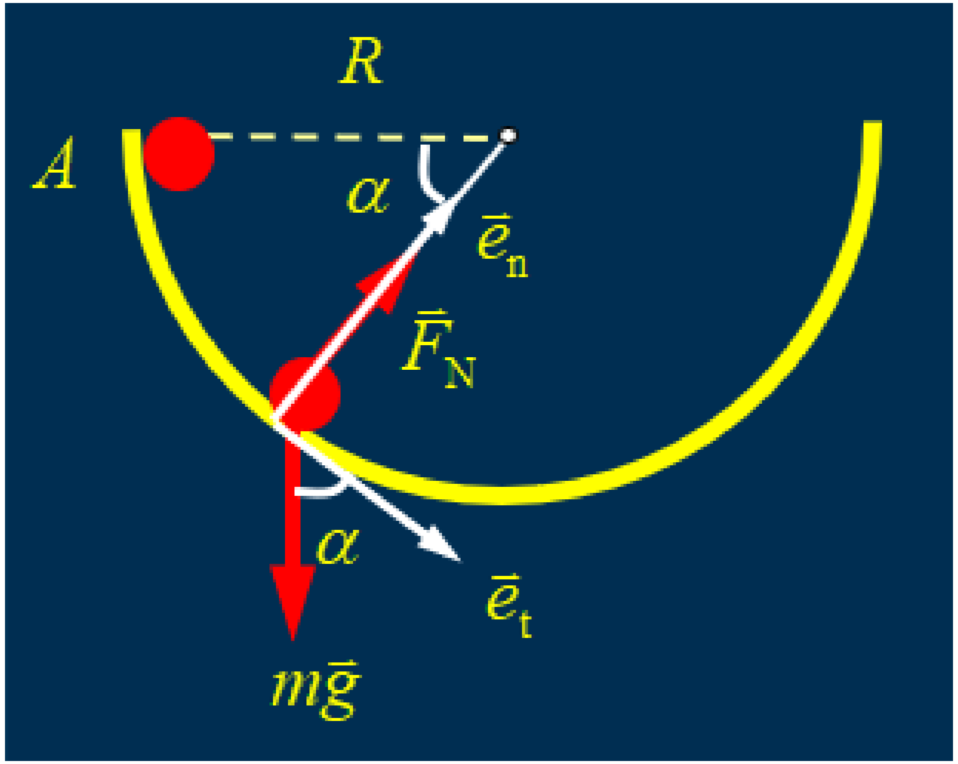
例　试问竖直上抛的物体最小应具有多大的初速度 v_0 才不再回到地球上来？不计空气阻力及其它作用力。



例　如图所示，质量为m的小球与劲度系数为k的轻弹簧构成弹簧振子系统。开始时，弹簧处于原长，小球静止，现以恒力F向右拉小球，设小球与水平面间的摩擦系数为μ。

例　质量为m的小球最初位于半径为R的光滑圆弧面的顶端A点，然后小球沿光滑圆弧面从静止开始下滑。

求　小球在任一位置时的速度和对圆弧面的作用力。

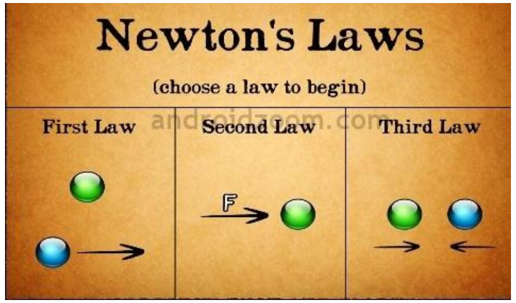


小结

1. 牛顿三定律

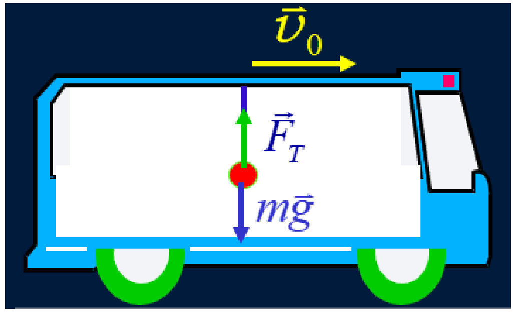
牛顿第一定律：

任何物体都保持静止或作匀速直线运动状态，直到其它物体的作用迫使它改变这种状态为止。



牛顿第二定律：

运动的改变和所加的力成正比;并且发生在这力所沿的直线的方向上。



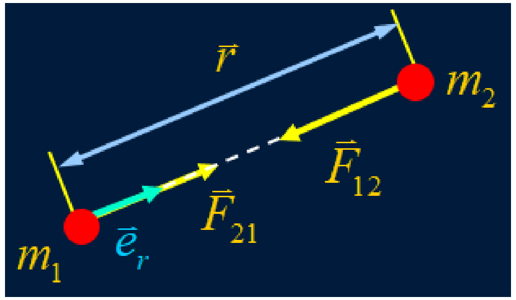
牛顿第三定律：

每一个作用总有一个相等的反作用与它对抗；或者说，两个物体之间的相互作用永远相等，且指向对方。

2. 惯性系

牛顿定律适用的参考系。

相对于惯性系作匀速直线运动的参考系都是惯性系，作变速运动的参考系为非惯性系。



3. 万有引力、弹性力、摩擦力