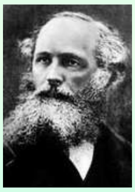
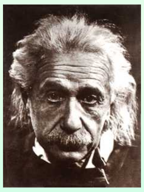
基础物理学


牛　顿


麦克斯韦


爱因斯坦

学习物理学的目的：

（1）培养辩证唯物主义的世界观

（2）学会掌握科学的方法

（3）培养科学思维能力、发展智力

（4）培养探索与创新精神

学习方法和要求：

（1）注重物理思想和物理方法的思考和研究

（2）主动培养自学能力，课前预习、课后复习。

（3）学会记笔记（记思路、要点和有特色的内容）。

（4）及时高质量地完成作业。

第一篇　力学

力学是一门古老的科学，起源于公元前4世纪。但力学成为一门科学理论是从17世纪开始的，由伽利略论述惯性运动到牛顿提出三个运动定律。

弱引力场中大块物体的低速运动

经典力学（牛顿力学）

高速领域 → 相对论力学

微观领域 → 量子力学

质点力学	运动学1、动力学2、机械能守恒3、振动6、波动7
刚体力学	刚体的运动4
流体力学	流体力学5

第一章　质点运动学

运动学研究物质在空间位置的变化与时间的关系。它只研究物质的机械运动状态，而不涉及引起运动和改变运动的原因。

主要内容：

(1) 位矢、位移、速度、加速度（矢量性、微积分）；

(2) 直线运动、曲线运动；

(3) 相对运动、伽利略相对性原理。

§ 1-1 质点运动的描述：

1. 参照系、坐标系、质点

运动的绝对性：运动是物质存在的形式，是物质的固有属性。

运动描述的相对性：以不同物体为参照物观察同一物体运动时，所得结果不同。

参照系：描述一个物体的运动前，被选择作为参考标准的一个（或一组）物体。

坐标系：参照系的数学抽象。

质点：只有质量而没有形状、大小、结构的点。

注：时刻和时间（间隔）的区别。

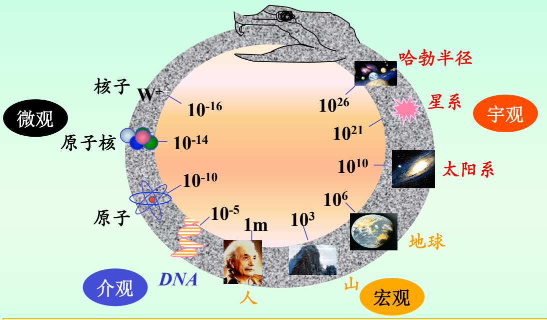
空间和时间

空间反映了物质运动的广延性，

时间反映了物质运动的持续性。

牛顿的绝对时空观：空间和时间的存在独立于物质，与物质的运动无关。

爱因斯坦的相对论时空观：时间与空间的测量依赖于物质的运动。



空间尺度 （相差 10^{42}） 10^{26} m（150亿光年）（哈勃半径）—— 10^{-16} m（核子）

时间尺度 （相差10^{44}） 10^{18} s（150亿年）（宇宙年龄）—— 10^{-25} s（Z^0粒子寿命）

位移：

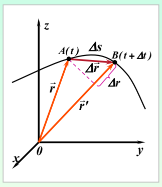
t 时刻： $\vec r = x\vec i + y\vec j + z\vec k$

$t+\Delta t$ 时刻： $\vec r' = x'\vec i + y'\vec j + z'\vec k$

则质点在 Δt 时间内的位移为：

$\Delta\vec r = \vec r' - \vec r = (x'-x)\vec i + (y'-y)\vec j + (z'-z)\vec k$

$$\boxed{\Delta\vec r = \Delta x\,\vec i + \Delta y\,\vec j + \Delta z\,\vec k}$$



注： ① 路程与位移的区别；

② $|\Delta\vec r| \neq \Delta r$， $|d\vec r| \neq dr$； 但$\Delta r \to 0$时，$|d\vec r| = ds$

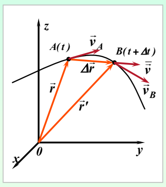
3、速度：（质点位置变化的快慢及方向）

平均速度： $\bar{\vec v} = \dfrac{\Delta\vec r}{\Delta t}$ 指向 $\Delta\vec r$ 方向

瞬时速度： $\boxed{\vec v = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec r}{\Delta t} = \dfrac{d\vec r}{dt} \quad (m/s)}$

$\vec v$指向$\Delta\vec r$的极限方向，即轨道切线方向。

速度的大小(速率) $\boxed{v = |\vec v| = \dfrac{|d\vec r|}{dt} = \dfrac{ds}{dt}}$



注： $v = \dfrac{|d\vec r|}{dt} \neq \dfrac{dr}{dt}$

速度在直角坐标系中的表示：

$$\boxed{\vec v = \frac{d\vec r}{dt} = \frac{dx}{dt}\vec i + \frac{dy}{dt}\vec j + \frac{dz}{dt}\vec k = v_x\vec i + v_y\vec j + v_z\vec k}$$

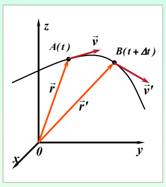
$$\boxed{v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}}$$

4、加速度：（质点速度变化的快慢及方向）

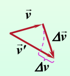
平均加速度： $\bar{\vec a} = \dfrac{\Delta\vec v}{\Delta t}$ 指向 $\Delta\vec v$ 方向

瞬时加速度： $\boxed{\vec a = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec v}{\Delta t} = \dfrac{d\vec v}{dt} = \dfrac{d^2\vec r}{dt^2} \quad (m/s^2)}$

$\vec a$ 指向$\Delta\vec v$的极限方向，一般不在轨道的切线方向。



注： $\dfrac{|d\vec v|}{dt} \neq \dfrac{dv}{dt}$



加速度在直角坐标系中的表示：

$$\boxed{\vec a = \frac{d\vec v}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\vec i + \frac{dv_y}{dt}\vec j + \frac{dv_z}{dt}\vec k = a_x\vec i + a_y\vec j + a_z\vec k}$$

$$\boxed{a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}$$

5、运动学中的两类问题

(1) 微分问题： $\vec r = \vec r(t) \Rightarrow \vec v = \vec v(t) \Rightarrow \vec a = \vec a(t)$

$\boxed{\vec v = \dfrac{d\vec r}{dt}}$ $\boxed{\vec a = \dfrac{d\vec v}{dt} = \dfrac{d^2\vec r}{dt^2}}$

(2) 积分问题：

已知：$\vec v = \vec v(t)$ 和初始条件 $\vec r_0 = \vec r(t_0)$，求 $\vec r = \vec r(t)$

$$\boxed{\vec r = \vec r_0 + \int_{t_0}^{t}\vec v(t)\cdot dt}$$

已知：$\vec a = \vec a(t)$ 和初始条件 $\vec v_0 = \vec v(t_0)$，求 $\vec v = \vec v(t)$

$$\boxed{\vec v = \vec v_0 + \int_{t_0}^{t}\vec a(t)\cdot dt}$$

---

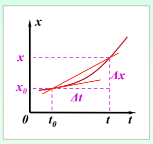
§ 1-2 直 线 运 动：

直线运动中的位移、速度和加速度：

运动方程： $x = x(t)$

速度： $\bar v = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ $\quad v = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{dx}{dt}$

加速度： $\bar a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ $\quad a = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{dv}{dt}$

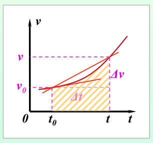


$\because\ dx = v\cdot dt \Rightarrow \therefore \int_{x_0}^{x} dx = \int_{t_0}^{t} v\cdot dt$

$\boxed{x - x_0 = \int_{t_0}^{t} v\cdot dt}$ v-t 曲线下的面积

$\because\ dv = a\cdot dt \Rightarrow \therefore \int_{v_0}^{v} dv = \int_{t_0}^{t} a\cdot dt$

$\boxed{v - v_0 = \int_{t_0}^{t} a\cdot dt}$



1、匀速直线运动：

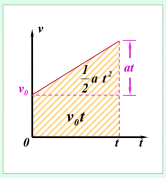
$v=$常量，$a=0$，设$t=0$时，$x=x_0$

运动方程：$x=x_0+vt$

2、匀变速直线运动：

$a=$常量

设$t=0$时，质点速度为v_0，坐标为x_0



则：$\begin{cases} v=v_0+at \\ x=x_0+\int_0^t (v_0+at)dt=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2 \end{cases}$

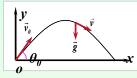
又：$a=\frac{dv}{dt}=\frac{dv}{dx}\cdot\frac{dx}{dt}=v\frac{dv}{dx}$　　$\therefore \int_{x_0}^{x} a\cdot dx=\int_{v_0}^{v} v\cdot dv$

即：$v^2=v_0^2+2a(x-x_0)$

§ 1-3　曲线运动：

1、抛体运动：

以抛射点为坐标原点。设$t=0$时，物体速度为$\vec{v}_0$



任意时刻质点的加速度为：$\vec{a}=-g\,\vec{j}$

速度：$\vec{v}=\vec{v}_0+\int_0^t \vec{a}\,dt=(v_0\cos\theta_0\,\vec{i}+v_0\sin\theta_0\,\vec{j})-gt\,\vec{j}$

$=v_0\cos\theta_0\,\vec{i}+(v_0\sin\theta_0-gt)\,\vec{j}$

即：$v_x=v_0\cos\theta_0$　　$v_y=v_0\sin\theta_0-gt$

位矢：$\vec{r}=\vec{r}_0+\int_0^t \vec{v}\,dt=v_0t\cos\theta_0\,\vec{i}+(v_0t\sin\theta_0-\frac{1}{2}gt^2)\,\vec{j}$

即：$x=v_0\cos\theta_0\cdot t$　　$y=v_0\sin\theta_0\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$

水平方向的匀速运动　　竖直方向的匀变速运动

运动叠加原理（运动的独立性原理）：

曲线运动可看作若干个独立的分运动的叠加。

从运动方程中消去时间t，得到抛体运动的轨道方程：

$y=\tan\theta_0\cdot x-\frac{g}{2v_0^2\cos^2\theta_0}\cdot x^2$　　为一抛物线方程

上式中令$y=0$，得抛体运动的射程为：

$R=\frac{v_0^2\sin 2\theta_0}{g}$　　当$\theta_0=45^o$时射程最大

以$x=R/2$代入轨道方程中，得抛体运动中的最大高度为：

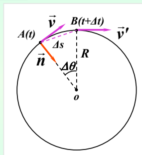
$H=\frac{v_0^2\sin^2\theta_0}{2g}$

圆周运动：

圆周运动的"自然坐标"表示：

2、匀速圆周运动：（速度大小不变、方向变化）

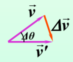
Δt 时间内速度增量：$\Delta\vec{v}=\vec{v}'-\vec{v}$



$\because \frac{|\Delta\vec{v}|}{v}=\frac{AB}{R}$　　$\therefore \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t}=\frac{v}{R}\cdot\frac{AB}{\Delta t}$

$\Delta\vec{v}$ 当$\Delta t\to 0$ 时的极限方向指向圆心

$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{v}{R}\lim_{\Delta t\to 0}\frac{AB}{\Delta t}\cdot\vec{n}=\frac{v}{R}\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}\cdot\vec{n}=\frac{v^2}{R}\vec{n}$

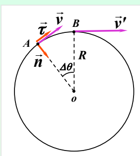


$\vec{a}=\frac{v^2}{R}\vec{n}$　　称为法向加速度或向心加速度

$\vec{n}$ 称为单位法线矢量

3、变速圆周运动：（速度大小、方向均变化）

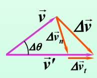
Δt 时间内速度增量：$\Delta\vec{v}=\vec{v}'-\vec{v}=\Delta\vec{v}_n+\Delta\vec{v}_t$



$\begin{cases} \Delta\vec{v}_n：速度方向变化对\ \Delta\vec{v}的贡献 \\ \Delta\vec{v}_t：速度大小变化对\ \Delta\vec{v}的贡献 \end{cases}$

$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}_n}{\Delta t}+\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}_t}{\Delta t}=\frac{v^2}{R}\vec{n}+\frac{dv}{dt}\vec{\tau}$

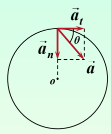
$\vec{a}_n=\frac{v^2}{R}\vec{n}$　　法向加速度（由速度方向变化引起）



$\vec{a}_t=\frac{dv}{dt}\vec{\tau}$　　切向加速度（由速度大小变化引起）

变速圆周运动的加速度在"自然坐标系"中表示为：

$\vec{a}=\vec{a}_n+\vec{a}_t=\frac{v^2}{R}\vec{n}+\frac{dv}{dt}\vec{\tau}$

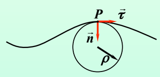


$a=|\vec{a}|=\sqrt{a_n^2+a_t^2}$　　$\tan\theta=\frac{a_n}{a_t}$

➢ 任意曲线运动中的加速度：

由数学知：曲线上每一点都对应一个与之相切的曲率圆，其半径ρ称为曲率半径。

当以P点的曲率圆代替P点附近元弧段时（以圆代曲），则质点在P点时的加速度可表示为：



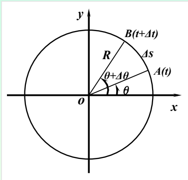
$\vec{a}=\vec{a}_n+\vec{a}_\tau=\frac{v^2}{\rho}\vec{n}+\frac{dv}{dt}\vec{\tau}$

4、圆周运动的角量表示：

角位置：　θ　　（单位：rad）

角位移：　$\Delta\theta = \theta(t+\Delta t) - \theta(t)$

规定：$\Delta\theta$逆时针为正、顺时针为负。



角速度：

平均：$\bar{\omega} = \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$

瞬时：$\omega = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t} = \dfrac{d\theta}{dt}$　（单位：rad/s）

角加速度：

平均：$\bar{\beta} = \dfrac{\Delta\omega}{\Delta t}$

瞬时：$\beta = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta\omega}{\Delta t} = \dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{d^2\theta}{dt^2}$　（单位：rad/s^2）

用角量表示的圆周运动方程：

匀速圆周运动（$\beta = 0$）：

$\theta = \theta_0 + \omega t$

匀变速圆周运动（β =常量）：

$\omega = \omega_0 + \beta t$

$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \dfrac{1}{2}\beta t^2$

$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\beta(\theta - \theta_0)$

线量与角量的关系：

$v = \dfrac{ds}{dt} = R\dfrac{d\theta}{dt} = R\omega$

$a_t = \dfrac{dv}{dt} = R\dfrac{d\omega}{dt} = R\beta$

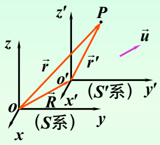
$a_n = \dfrac{v^2}{R} = R\omega^2$

§1-4　相对运动：

不同参照系中观察同一质点的运动所得结果是不同的。

设S、S'为相互运动的两个参照系。

则：$\begin{cases} \vec{r} = \vec{r}' + \vec{R} \\ \vec{v} = \vec{v}' + \vec{u} \\ \vec{a} = \vec{a}' + \vec{A} \end{cases}$　　$\vec{A}$为两参照系间加速度



当 $\vec{A} = 0$，即 $\vec{u}$ =恒矢量。

令 $t = 0$ 时，o、o'重合。则 $\vec{R} = \vec{u}t$

伽利略变换：$\begin{cases} \vec{r} = \vec{r}' + \vec{u}t \\ \vec{v} = \vec{v}' + \vec{u} \\ \vec{a} = \vec{a}' \end{cases}$

$\because\ \vec{a} = \vec{a}'$，$\therefore \vec{F} = m\vec{a} = m\vec{a}' = \vec{F}'$

即牛顿定律的形式对伽利略变换保持不变。