

大学物理（力学（前半））——笔记

Adopac

2022 年 4 月 27 日

目录

1	质点运动学	3
1.1	参考系	3
1.2	位移速度加速度	3
1.3	曲线运动的描述	3
1.4	相对运动	3
2	质点动力学	4
2.1	牛顿运动定律	4
2.2	非惯性系惯性力	4
2.3	动量动量守恒定理	4
2.4	功动能势能机械能守恒定律	5
3	刚体力学基础	6
3.1	刚体刚体定轴转动的描述	6
3.2	力矩刚体定轴转动的转动定律	6
3.3	刚体定轴转动的动能定理	7
3.4	刚体定轴转动的角动量定理和角动量守恒定律	7
4	狭义相对论	9
4.1	伽利略变化	9
4.2	狭义相对论产生的实验基础和历史条件	9
4.3	狭义相对论基本原理洛伦兹变换	9
4.4	狭义相对论时空观	10
4.5	狭义相对论动力学	10

1 质点运动学

1.1 参考系

无

1.2 位移速度加速度

$$\text{速度 } v = \frac{dx}{dt}$$

$$\text{加速度 } \alpha = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$v = v_0 + \alpha t$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2\alpha(x - x_0)$$

1.3 曲线运动的描述

一般曲线运动 曲率定义为 $k = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta s} = \frac{d\theta}{ds}$

过曲线上某点作一圆, 若该圆的曲率与曲线在该点曲率相等, 称它为**曲率圆**。其半径 ρ 满足 $\rho = \frac{1}{k}$

$$\text{曲线运动的加速度 } |\alpha| = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$

圆周运动 角速度 $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$

$$\text{角加速度 } \alpha = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\delta \omega}{\delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

匀角加速度圆周运动公式:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

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

1.4 相对运动

无

2 质点动力学

2.1 牛顿运动定律

牛顿第一定律指出：一孤立质点将永远保持其原来静止或匀速直线运动状态。

牛顿第二定律： $F = km\alpha$ （一般来说 $k=1$ ）

任何两个物体之间都存在引力作用，万有引力的数学形式为：

$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} r_0$$

其中 $G = (6.51 \pm 0.12) \times 10^{-11} N \cdot m^2 / kg^2$ ，称为引力常量。

牛顿第三定律：力是相互的。

2.2 非惯性系惯性力

凡相对于惯性系有加速度的参考系叫做**非惯性系**。

惯性力（inertial force）是指当物体加速、减速或改变方向时，惯性会使物体有保持原有运动（物理学）状态的倾向；若是以该物体为参照物，看起来就仿佛有一股方向相反的力作用在该物体上，因此称之为惯性力。惯性力实际上并不存在，实际存在的只有原本将该物体加速的力。

例如，当公车刹车时，车上的人因为惯性而向前倾，在车上的人看来仿佛有一股力量将他们向前推，即为惯性力。然而只有作用在公车的刹车以及轮胎上的摩擦力使公车减速，实际上并不存在将乘客往前推的力，这只是惯性在不同参照系下的表现。

2.3 动量动量守恒定理

$p = mv$ 称为**动量**，力对时间的积分 $\int_{t_0}^t F dt$ 称为**力的冲量**。用 I 记之。

质点的动量定理 $I = p - p_0$

质点系的动量定理

$$\int_{t^1}^{t^2} \left(\sum_{i=1}^n F_i \right) dt = \sum_{i=1}^n m_i v_{i2} - \sum_{i=1}^n m_i v_{i1}$$

质点系总动量的增量等于作用于该系统上合外力的冲量。

质点系的动量守恒定律 一个孤立的力学系统或合外力为零的系统，系统内各质点间动量可以交换，但系统的总动量保持不变。即

$$\sum_{i=1}^n m_i v_{i2} = \sum_{i=1}^n m_i v_{i1}$$

2.4 功动能势能机械能守恒定律

力在位移方向上的投影与该物体位移大小的乘积称为**功** $W = F \cdot \Delta r$ 功是标量。

单位时间内的功称为**功率**。

$$\text{平均功率 } \bar{P} = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，则某一时刻的瞬时功率为

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt} = F \cdot v$$

保守力是一类力，力的功值只与物体的始末位置有关，与具体路径无关。

动能定理 外力对质点所做的功等于质点动能的增量，即

$$\int_{r_1}^{r_2} F \cdot dr = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

质点系的动能定理 设一质点系有 n 个质点，现考察第 i 个质点。 i 所受和外力为 $F_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n f_{ji}$

则推出质点系的动能定理为

$$\sum_{i=1}^n \int_1^2 F_i \cdot dx + \sum_{i=1}^n \int \sum_{j=1, j \neq i}^n f_{ji} \cdot dr_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2}m_i v_{i2}^2 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2}m_i v_{i1}^2$$

3 刚体力学基础

3.1 刚体刚体定轴转动的描述

角位移 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$

角速度 $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$ 角速度矢量方向是沿轴线的, 且和刚体的旋转运动组成右手螺旋系统。

角加速度 $\alpha = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\delta\omega}{\delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

质元的线速度 $v_i = \omega r_i$ 切向加速度为 $a_{i\tau} = ar_i$ 法向加速度为 $a_{in} = \omega^2 r_i$

3.2 力矩刚体定轴转动的转动定律

力矩是矢量, 定义为 $M = r \times F$ 力对固定点的力矩为零有两种情况: 一是力 F 等于零; 二是力 F 的作用线与矢径 r 共线。此时 $\sin\varphi = 0$

刚体定轴转动的转动定律 绕定轴转动的刚体的角加速度与作用于刚体上的合外力矩成正比, 与刚体的转动惯量成反比。即

$$M = J\alpha$$

$$M = \sum_i \mathbf{F}_i r_i \sin\varphi_i$$

$$J = \sum_i \Delta m_i r_i^2$$

转动惯量 如果是单个质点绕某根轴转动, 则其转动惯量为

$$J = mr^2$$

如果是分立质点组成的质点系统绕同一轴转动, 其转动惯量为

$$J = \sum_i m_i r_i^2$$

如果是质量连续分布的刚体绕同一轴转动, 其转动惯量为

$$J = \int_m r^2 dm$$

物体	描述	转动惯量
圆环	转轴通过中心与环面垂直	$J = mr^2$
圆环	转轴沿直径	$J = \frac{mr^2}{2}$
薄圆盘	转轴通过中心与盘面垂直	$J = \frac{mr^2}{2}$
圆筒	转轴沿几何轴	$J = \frac{m}{2}(r_1^2 + r_2^2)$
圆柱体	转轴沿几何轴	$J = \frac{mr^2}{2}$
圆柱体	转轴通过中心与几何轴垂直	$J = \frac{mr^2}{4} + \frac{ml^2}{12}$
细棒	转轴通过中心与棒垂直	$J = \frac{ml^2}{12}$
细棒	转轴沿直径	$J = \frac{ml^2}{3}$
球体	转轴沿直径	$J = \frac{2mr^2}{5}$
球壳	转轴沿直径	$J = \frac{2mr^2}{3}$

3.3 刚体定轴转动的动能定理

刚体定轴转动时的转动动能等于 $\frac{1}{2}J\omega^2$

刚体定轴转动时的动能定理：合外力矩对定轴转动刚体所做的功等于刚体转动动能的增量

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} M d\theta = \frac{1}{2}J\omega_2^2 - \frac{1}{2}J\omega_1^2$$

3.4 刚体定轴转动的角动量定理和角动量守恒定律

角动量 $\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v}$ 大小为 $L = rmv \sin \varphi$

质点角动量定理的微分形式

$$\int_{t_0}^t M dt = L - L_0$$

其中 $\int_{t_0}^t M dt$ 称为冲量矩。

质点角动量守恒定律：若 $M=0$ ，则 $L = r \times mv$ 为常矢量。

刚体对轴的角动量 质元 P 对其圆周运动的圆心的角动量大小为 $L_i = \Delta m_p r_p^2 \omega$

刚体对轴的角动量大小为 $L = J\omega$

刚体定轴转动的角动量定理 定轴转动的刚体所受合外力矩等于此时刚体角动量对时间的变化率。

$$\int_{t_0}^t M dt = J\omega - J\omega_0$$

若外力对某轴的力矩之和为零，则该刚体对同一轴的角动量守恒。

4 狭义相对论

4.1 伽利略变化

$$\begin{cases} x' = x - ut \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

4.2 狭义相对论产生的实验基础和历史条件

无

4.3 狭义相对论基本原理洛伦兹变换

狭义相对论的两条基本原理：(1) 相对性原理：所有物理定律在一切惯性系中都具有相同的形式，或者说，所有惯性系都是平权的，在它们之中所有的物理规律都一样。(2) 光速不变原理：所有惯性系中测量到的真空中光速沿各个方向都等于 c ，与光源的运动状态无关。

洛伦兹变换 从 $S \rightarrow S'$ 的洛伦兹坐标变换（正变换）方程为：

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases}$$

从 $S' \rightarrow S$ 的洛伦兹坐标变换（逆变换）方程为：

$$\begin{cases} x = \gamma(x' + ut) \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \gamma(t' + \frac{u}{c^2}x) \end{cases}$$

式中

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{u}{c})^2}}$$

从 $S \rightarrow S'$ 的洛伦兹速度变换式为：

$$\begin{cases} v'_x = \frac{v_x - u}{1 - \frac{uv_x}{c^2}} \\ v'_y = \frac{v_y}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \\ v'_z = \frac{v_z}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \end{cases}$$

特殊情况下， v 平行于 x 轴，则有

$$v'_x = \frac{v - u}{1 - \frac{uv}{c^2}}$$

4.4 狭义相对论时空观

洛伦兹收缩因子 $\sqrt{1 - \beta^2}$

时间延缓因子 $\tau = \gamma\tau_0$

4.5 狭义相对论动力学

动量： $p = \gamma m_0 u$

质能关系： $E = mc^2$

总能量和动能的关系： $E^2 = (pc)^2 + (m_0 c^2)^2$