# 第五篇

# 习题解答

物理学的研究对象小到微观的基本粒子，大到宏观的宇宙天体，时间尺度和空间尺度都有很大的跨度. 大学物理学是高等院校一门重要的基础理论课. 要学好物理学，一方面，必须深刻理解物理学相关的知识，另一方面还要具有科学的学习方法和一定的思维能力. 思维的过程包括分析、归纳、演绎、发散等方式，习题中既有现实的物理问题，又有从现实物理问题中抽象出来的物理模型，解题的过程是训练思维能力的最有效的方式之一. 因此，除了要透彻理解物理学的概念、规律和原理以外，还要在学习过程中做一定量的习题，这是学习物理学不能忽视的一个必备环节.

虽然绝大多数人对于解题的重要性有正确的认识，但仍有许多人在解题过程中会遇到各式各样的困难，甚至感到无所适从. 鉴于这种情况，我们在本篇为本书上册各章的习题提供一种参考解法. 建议读者着重于参考解题的思路而非照抄，更要在尝试无果之后才能翻阅参考答案. 为了帮助读者复习，我们在各章习题解答之前，先对各章的要点进行了归纳整理.

# 第 1 章　质点运动学

## 1.1　要点归纳

1. 位置矢量、运动方程和位移

位置矢量是描述质点位置最简洁的方式. 在空间选定一个参考点, 从参考点指向质点当前位置的矢量就是位置矢量, 简称径矢, 记作 $\boldsymbol{r}$. 径矢随时间的变化关系式 $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$ 叫做运动方程. 不同时刻径矢的增量叫做位移, 记作 $\Delta\boldsymbol{r}$.

(1) 直角坐标系中径矢和位移分别表示为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}, \quad \text{其大小为 } r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\Delta\boldsymbol{r} = \Delta x\boldsymbol{i} + \Delta x\boldsymbol{j} + \Delta z\boldsymbol{k}$$

(2) 极坐标系径矢和位移分别表示为

$$\boldsymbol{r} = r\boldsymbol{e}_r$$

$$\Delta\boldsymbol{r} = \Delta r\boldsymbol{e}_r + r\Delta\theta\boldsymbol{e}_\theta$$

2. 速度、加速度

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}, \quad \boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$$

在不同坐标系中, 速度和加速度的表达式如下:

(1) 直角坐标系

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

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

(2) 极坐标系

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_r + r\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_\theta$$

$$\boldsymbol{a} = \left[\frac{\mathrm{d}^2r}{\mathrm{d}t^2} - r\left(\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\right)^2\right]\boldsymbol{e}_r + \left(2\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + r\frac{\mathrm{d}\theta^2}{\mathrm{d}t^2}\right)\boldsymbol{e}_\theta$$

(3) 自然坐标系

$$\boldsymbol{v} = v\boldsymbol{e}_\mathrm{t}$$

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

3. 运动学的两类问题

由运动方程通过求时间的导数可以得到速度和加速度; 由速度或加速度结合初始条件可以通过积分的方法得到运动方程, 从运动方程的参数表达式中消去时间 $t$ 可得轨道方程.

定积分法

$$\boldsymbol{v}(t)=\boldsymbol{v}(t_0)+\int_{t_0}^{t}\boldsymbol{a}(\tau)\,\mathrm{d}\tau$$

$$\boldsymbol{r}(t)=\boldsymbol{r}(t_0)+\int_{t_0}^{t}\boldsymbol{v}(\tau)\,\mathrm{d}\tau$$

不定积分法

$$\boldsymbol{v}(t)=\int\boldsymbol{a}(\tau)\,\mathrm{d}\tau+\boldsymbol{v}_0$$

$$\boldsymbol{r}(t)=\int\boldsymbol{v}(\tau)\,\mathrm{d}\tau+\boldsymbol{r}_0$$

式中 $\boldsymbol{v}_0$ 和 $\boldsymbol{r}_0$ 为积分常量, 由初始条件定出.

## 1.2 习题解答

**1－1** 已知一质点沿 $x$ 轴作直线运动, $t$ 时刻的坐标为: $x=4.5t^2-2t^3$. 求:

(1) 第 2 s 内的平均速度;

(2) 第 2 s 末的即时速度;

(3) 第 2 s 内的平均速率.

**解** (1) 第 2 s 内的平均速度为

$$\overline{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta x}{\Delta t}\boldsymbol{i}=\frac{x(2)-x(1)}{2-1}\boldsymbol{i}=-0.5\boldsymbol{i}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

(2) 瞬时速度

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}=(9t-6t^2)\boldsymbol{i}$$

当 $t=2$ s 时, $\boldsymbol{v}=-6\boldsymbol{i}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

(3) 令 $v=9t-6t^2=0$, 解得 $t=1.5$ s, 此时速度的方向发生改变. 第 2 秒内的路程为

$$\Delta s=|x(1.5)-x(1)|+|x(2)-x(1.5)|=2.25\ \mathrm{m}$$

于是

$$\overline{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}=2.25\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

**1－2** 一质点沿一直线运动, 其加速度为 $a=-2x$, 式中 $x$ 以 m 为单位, $a$ 以 $\mathrm{m\cdot s^{-2}}$ 为单位. 试求质点的速率 $v$ 与坐标 $x$ 的关系式. 设当 $x=0$ 时, $v_0=4\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

**解** 速率 $v$ 对 $x$ 的导数可通过下列变换得到:

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}=\frac{a}{v}=\frac{-2x}{v}$$

整理得

$$v\,\mathrm{d}v=-2x\,\mathrm{d}x$$

上式两边积分, 有

$$\int_{v_0}^{v} v\,\mathrm{d}v = -2\int_0^x x\,\mathrm{d}x$$

因此, $v$ 与 $x$ 的关系式为

$$v^2 = v_0^2 - 2x^2 = 16 - 2x^2, \quad |x| \leqslant 2\sqrt{2}\ \mathrm{m}$$

**1–3** 质点从 $t = 0$ 时刻开始, 按 $x = t^3 - 3t^2 - 9t + 5$ 的规律沿 $x$ 轴运动. 在哪个时间间隔它沿着 $x$ 轴正向运动? 哪个时间间隔沿着 $x$ 轴负方向运动? 哪个时间间隔它加速? 哪个时间间隔减速? 分别画出 $x$, $v$, $a$ 以时间为自变量的函数图.

**解** 速度为

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = 3t^2 - 6t - 9$$

解不等式组

$$\begin{cases} t > 0 \\ 3t^2 - 6t - 9 < 0 \end{cases}$$

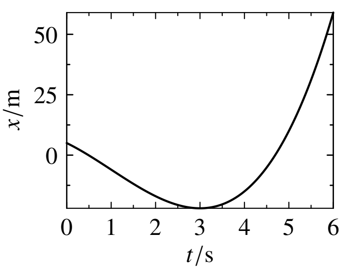
可得 $0 < t < 3$ s 时质点沿 $x$ 轴负方向运动. 同理可得当 $t > 3$ s 时质点沿 $x$ 轴正向运动.

加速度为

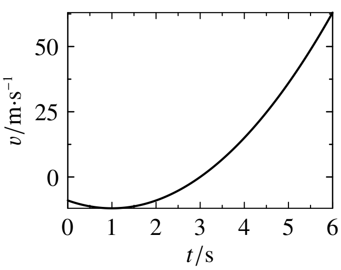
$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 6t - 6$$

由 $t > 0$ 及 $a < 0$ 可以解得, 当 $0 < t < 1$ s 时质点加速度为负值, 为减速运动. 同理, $t > 1$ s 时, 质点作加速运动.

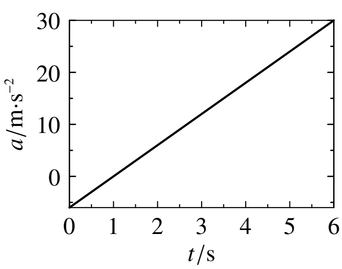
$x$, $v$, $a$ 随时间的变化曲线见解图 1–3 .




(a) $x \sim t$ 曲线




(b) $v \sim t$ 曲线




(c) $a \sim t$ 曲线

解图 1–3

**1–4** 一质点平面运动的加速度为 $a_x = -A\cos t$, $a_y = -B\sin t$, $A \neq 0$, $B \neq 0$, 初始条件($t = 0$ 时)为 $v_{0x} = 0$, $v_{0y} = B$, $x_0 = A$, $y_0 = 0$. 求质点的运动轨迹.

**解** 速度分量为

$$v_x = \int_0^t a_x\,\mathrm{d}t + v_{0x} = -\int_0^t A\cos t\,\mathrm{d}t = -A\sin t$$

$$v_y = \int_0^t a_y\,\mathrm{d}t + v_{0y} = -\int_0^t B\sin t\,\mathrm{d}t + B = B\cos t$$

坐标分量为

$$x = \int_0^t v_x \, dt + x_0 = -\int_0^t A \sin t \, dt + A = A \cos t$$

$$y = \int_0^t v_y \, dt + y_0 = \int_0^t B \cos t \, dt = B \sin t$$

运动方程的矢量表达式为

$$\boldsymbol{r} = x\,\boldsymbol{i} + y\,\boldsymbol{j} = A \cos t\,\boldsymbol{i} + B \sin t\,\boldsymbol{j}.$$

从运动方程的分量表达式中消去 $t$, 得

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1$$

因此, 质点的运动轨迹为椭圆.

**1 – 5** 一质点在平面上运动, 其位矢为 $\boldsymbol{r} = a \cos \omega t\,\boldsymbol{i} + b \sin \omega t\,\boldsymbol{j}$, 其中 $a, b, \omega$ 为常量. 求:

(1) 该质点的速度和加速度;

(2) 该质点的轨迹.

**解** (1) 质点的速度和加速度分别为

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = -a\omega \sin \omega t\,\boldsymbol{i} + b\omega \cos \omega t\,\boldsymbol{j}$$

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = -a\omega^2 \cos \omega t\,\boldsymbol{i} - b\omega^2 \sin \omega t\,\boldsymbol{j} = -\omega^2 \boldsymbol{r}$$

(2) 由题意,

$$x = a \cos \omega t, \quad y = b \sin \omega t$$

从中消去 $t$, 可得质点的轨迹为位于该平面上的半长轴为 $a$, 半短轴为 $b$ 的椭圆, 椭圆方程为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

**1 – 6** 一质点从静止开始沿着圆周作匀角加速运动, 角加速度 $\alpha = 1\ \mathrm{rad \cdot s^{-2}}$. 求质点运动一周后回到起点时速度与加速度之间的夹角.

**解** 设圆周半径为 $R$. 质点任意时刻 $t$ 的角速率为 $\omega = \alpha t$, 转过的角度为 $\theta = \alpha t^2/2$. 在极坐标系中, 质点的速度和加速度分别为

$$\boldsymbol{v} = \omega R \boldsymbol{e}_\theta = \alpha t R \boldsymbol{e}_\theta$$

$$\boldsymbol{a} = -\omega^2 R \boldsymbol{e}_r + \alpha R \boldsymbol{e}_\theta = -\alpha^2 t^2 R \boldsymbol{e}_r + \alpha R \boldsymbol{e}_\theta$$

速度和加速度的大小分别为

$$v = \alpha t R$$

$$a = R\alpha\sqrt{1 + \alpha^2 t^4}$$

任意时刻质点速度与加速度的夹角 $\phi$ 的余弦为

$$\cos \phi = \frac{\boldsymbol{v} \cdot \boldsymbol{a}}{va} = \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha^2 t^4}}$$

当质点运动一周回到起点时, $\theta = \alpha t^2/2 = 2\pi$, 所用时间 $t = \sqrt{4\pi}$, 代入上式得

$$\phi = \arccos \frac{1}{\sqrt{1 + 16\pi^2}} = 85.45°$$

**1 − 7** 一质点沿半径为 0.10 m 的圆周运动, 其角位置 $\theta$(以弧度表示) 可用 $\theta = 2 + 4t^3$ 表示, 式中 $t$ 以秒计. 问:

(1) 在 $t = 2$ s 时, 它的法向加速度和切向加速度是多少?

(2) 当切向加速度的大小恰是总加速度大小的一半时, $\theta$ 的值是多少?

(3) 在哪一时刻, 切向加速度和法向加速度恰有相等的值?

**解** (1) 质点切向加速度和法向加速度分别为

$$a_\mathrm{t} = R\frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2} = 24Rt = 4.8\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

$$a_\mathrm{n} = \frac{v^2}{R} = \left(\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\right)^2 R = (12t^2)^2R = 144Rt^4 = 230.4\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

(2) 由题意, $a = \sqrt{a_\mathrm{t}^2 + a_\mathrm{n}^2} = 2a_\mathrm{t}$, 因此, $a_\mathrm{n} = \sqrt{3}a_\mathrm{t}$, 即

$$144Rt^4 = 24\sqrt{3}Rt$$

由此可得 $t = 12^{-1/6} \approx 0.66$ s. 相应的,

$$\theta = 2 + \frac{2\sqrt{3}}{3} \approx 3.15\ \mathrm{rad}$$

(3) 由 $a_\mathrm{n} = a_\mathrm{t}$, 即 $144Rt^4 = 24Rt$, 解得 $t = 6^{-1/3} \approx 0.55$ s.

**1 − 8** 多个质点从某一点以同样大小的速度, 沿着同一铅直面内不同的方向, 同时抛出.

(1) 试证明在任意时刻这些质点散落在同一圆周上;

(2) 试证明各质点彼此的相对速度的方向始终不变.

**解** (1) 设初始速率为 $v_0$, 以任意抛射角 $\theta$ 抛出的质点, 在 $t$ 时刻的坐标为

$$\begin{cases} x = (v_0\cos\theta)\,t \\ y = (v_0\sin\theta)t - \dfrac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

从中消去变量 $\theta$, 可得

$$x^2 + \left(y + \frac{1}{2}gt^2\right)^2 = v_0^2t^2$$

可以看出, 在 $t$ 时刻, 上式表示以 $\left(0, -\dfrac{1}{2}gt^2\right)$ 为圆心, 以 $v_0t$ 为半径的圆.

(2) 质点初始时刻的速度为

$$\boldsymbol{v}_0 = v_0\cos\theta\,\boldsymbol{i} + v_0\sin\theta\,\boldsymbol{j}$$

任意时刻 $t$, 质点的速度为

$$\boldsymbol{v} = (v_0\cos\theta)\,t\,\boldsymbol{i} + \left[(v_0\sin\theta)\,t - gt\right]\,\boldsymbol{j}$$

研究任意两个质点, 其抛射角分别为 $\theta_1$, $\theta_2$, 初始时刻的相对速度为

$$\boldsymbol{v}_{01} - \boldsymbol{v}_{02} = v_0\,(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)\,\boldsymbol{i} + v_0\,(\sin\theta_1 - \sin\theta_2)\,\boldsymbol{j}$$

$t$ 时刻的相对速度为

$$\boldsymbol{v}_1 - \boldsymbol{v}_2 = v_0(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)\,t\,\boldsymbol{i} + v_0(\sin\theta_1 - \sin\theta_2)\,t\,\boldsymbol{j}$$

所以任意时刻这两个质点的相对速度与水平面的夹角为

$$\phi = \arctan\frac{\sin\theta_1 - \sin\theta_2}{\cos\theta_1 - \cos\theta_2}$$

且与初始时刻的相等.

**1－9** 某物体在 $t = 0$ 时刻以初速度 $\boldsymbol{v}_0$ 和仰角 $\alpha$ 斜抛出去. 求斜抛体在任一时刻的法向加速度 $a_{\mathrm{n}}$、切向加速度 $a_{\mathrm{t}}$ 和轨道曲率半径 $\rho$.

**解** 设坐标 $x$, $y$ 沿水平和竖直两个方向, 如解图 1－9 所示. 总加速度 (重力加速度) $g$ 是已知的; 所以 $a_{\mathrm{n}}$, $a_{\mathrm{t}}$ 只是重力加速度 $g$ 沿轨道法向和切向的分量, 由解图 1－9 可得:

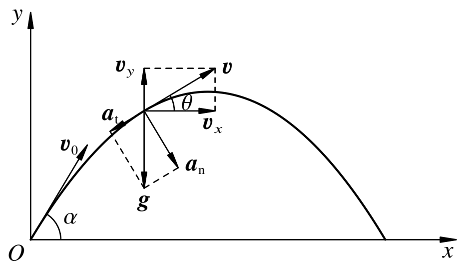
$$v_x = v_0\cos\alpha,\ v_y = v_0\sin\alpha - gt$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2t^2 - 2gv_0t\sin\alpha}$$

$$a_{\mathrm{n}} = g\cos\theta = g\frac{v_x}{v} = \frac{gv_0\cos\alpha}{\sqrt{v_0^2 + g^2t^2 - 2gv_0t\sin\alpha}}$$

$$a_{\mathrm{t}} = -g\sin\theta = -g\frac{v_y}{v} = \frac{-g(v_0\sin\alpha - gt)}{\sqrt{v_0^2 + g^2t^2 - 2gv_0t\sin\alpha}}$$

$$\rho = \frac{v^2}{a_{\mathrm{n}}} = \frac{\left(v_0^2 + g^2t^2 - 2gv_0t\sin\alpha\right)^{3/2}}{gv_0\cos\alpha}$$




解图 1－9

**1－10** 质点由静止开始沿半径为 $R$ 的圆周运动, 角加速度 $\alpha$ 为常量. 求:

(1) 该质点在圆上运动一周又回到出发点时, 经历的时间?

(2) 此时它的加速度的大小是多少?

**解** (1) 由 $\alpha = \dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$, 得

$$\omega = \omega_0 + \int_0^t \alpha\,\mathrm{d}t = \omega_0 + \alpha t$$

$$\theta = \theta_0 + \int_0^t \omega\,\mathrm{d}t = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

将 $\theta_0 = 0, \omega_0 = 0, \theta = 2\pi$ 代入上式, 得

$$t = \sqrt{\frac{4\pi}{\alpha}}, \quad \omega = \omega_0 + \alpha t = \sqrt{4\pi\alpha}$$

(2) $a_n = R\omega^2 = 4\pi R\alpha, a_t = R\alpha$. 故加速度的大小为

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} = R\alpha\sqrt{1 + 16\pi^2}$$

**1－11** 雨天一辆客车以 15 m · s$^{-1}$ 的速率向东行驶, 雨滴以 10 m · s$^{-1}$ 的速率落下, 其方向与竖直方向成 15°, 已知风向为正西, 求车厢内的人观察到雨滴的速度的大小和方向.

**解** 如解图 1－11 所示, 以地面为参考系 S, 并建立坐标系, $x$ 轴指向东, $y$ 轴向上. 牵连速度为车厢相对于地面的速度

$$\boldsymbol{u} = 15\boldsymbol{i} \ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

题中给出的雨滴的速度是相对于 S 系的速度

$$\boldsymbol{v}_a = (10 \sin 15^\circ \boldsymbol{i} - 10 \cos 15^\circ \boldsymbol{j}) \ \mathrm{m \cdot s^{-1}} \approx (1.74\boldsymbol{i} - 9.85\boldsymbol{j}) \ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

车厢中的人观察到雨滴的速度是相对速度

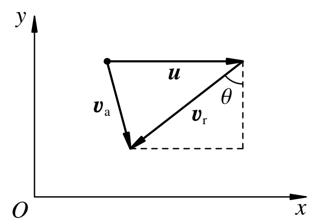
$$\boldsymbol{v}_r = \boldsymbol{v}_a - \boldsymbol{u} = -(13.25\boldsymbol{i} + 9.85\boldsymbol{j}) \ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

由上式知, $\boldsymbol{v}_r$ 的大小为

$$v_r = \sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2} = 16.5 \ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

其方向由与 $-y$ 轴之间的夹角确定,

$$\theta = \arctan \frac{v_{rx}}{v_{ry}} = 53.4^\circ$$



解图 1－11

# 第 2 章　动量　角动量

## 2.1　要点归纳

1. 动量和冲量

定义质点的动量为 $\boldsymbol{p}=m\boldsymbol{v}$, 质点系的动量为 $\boldsymbol{p}=\sum m_i\boldsymbol{v}_i$; 冲量 $\boldsymbol{J}=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\,\mathrm{d}t$.

2. 动量定理

质点动量定理

$$\boldsymbol{J}=m\boldsymbol{v}_2-m\boldsymbol{v}_1$$

质点系动量定理

$$\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{J}_i=\sum_{i=1}^{n}m_i\boldsymbol{v}_{i2}-\sum_{i=1}^{n}m_i\boldsymbol{v}_{i1}$$

3. 动量守恒定律　合外力为零时, 质点系总动量守恒

$$\sum_{i=1}^{n}m_i\boldsymbol{v}_i=\text{常矢量}$$

4. 质心运动定理

$$\boldsymbol{F}=m\frac{\mathrm{d}r_\mathrm{c}^2}{\mathrm{d}t^2},\quad \boldsymbol{r}_\mathrm{c}=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{n}m_i\boldsymbol{r}_i,\quad m=\sum_i m_i$$

5. 角动量

质点角动量 $\boldsymbol{L}=\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{p}=\boldsymbol{r}\times m\boldsymbol{v}$, 质点系角动量 $\boldsymbol{L}=\sum_i\boldsymbol{r}_i\times\boldsymbol{p}_i=\sum_i\boldsymbol{r}_i\times m_i\boldsymbol{v}_i$, 刚体定轴转动的角动量 $\boldsymbol{L}_z=I_z\boldsymbol{\omega}$.

6. 刚体定轴转动的运动学描述

$$\theta=\theta(t),\quad \omega=\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t},\quad \alpha=\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$$

7. 刚体对定轴 $z$ 的转动惯量

$$I_z=\sum_i^n m_ir_i^2\quad(\text{分立质点刚体}),\quad I_z=\int r^2\,\mathrm{d}m\quad(\text{质量连续分布刚体})$$

8. 角动量定理 $\boldsymbol{M}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{L}}{\mathrm{d}t}$, 刚体定轴转动定律 $\boldsymbol{M}_z=\dfrac{\mathrm{d}L_z}{\mathrm{d}t}=I_z\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$.

9. 角动量守恒定律

对同一参考点, 合外力矩为零时, 质点系(含刚体)总角动量守恒, $\boldsymbol{L}=$ 常矢量. 特别是含刚体定轴转动的角动量守恒定律

$$\sum_i L_{iz}+\sum_j I_{jz}\omega_j=\text{常量}$$