

# 医用物理学

## 笔记

F1

2023 年 10 月 16 日

# 目录

<b>第一章 刚体力学与人体力学的简介</b>	<b>1</b>
1.1 刚体的转动 . . . . .	1
1.1.1 刚体的平动和转动 . . . . .	1
1.1.2 描述刚体定轴转动的物理量 . . . . .	1
1.2 刚体定轴转动定律 . . . . .	2
1.2.1 刚体定轴转动定律 . . . . .	2
<b>第二章 流体力学与血液流变学简介</b>	<b>3</b>
2.1 流体运动的描述 . . . . .	3
2.1.1 描述流体运动的方法 . . . . .	3
2.1.2 速度场与定常流动 . . . . .	3
2.1.3 流线与流管 . . . . .	4
2.2 理想流体与连续性方程 . . . . .	4
2.2.1 理想流体 . . . . .	4
2.2.2 连续性方程 . . . . .	4
2.3 伯努利方程 . . . . .	4
2.3.1 理想流体的伯努利方程 . . . . .	4
2.3.2 伯努利方程的应用 . . . . .	5
2.4 黏滞流体的运动 . . . . .	5

目 录	II
2.4.1 黏滞流体的伯努利方程 . . . . .	5
2.5 物体在流体中的运动 . . . . .	6
2.5.1 物体在理想流体中的运动 . . . . .	6
2.5.2 物体在黏滞流体中的运动与斯托克斯定律 . . . . .	6
<b>第三章 震动与波、声波、超声波</b>	<b>8</b>
3.1 简谐运动 . . . . .	8
3.1.1 弹簧振子 . . . . .	8
3.1.2 描述简谐运动的物理量 . . . . .	8
3.1.3 简谐运动的速度和加速度 . . . . .	9
3.1.4 简谐运动的旋转矢量表示法 . . . . .	9
3.1.5 简谐运动的能量 . . . . .	9
3.2 简谐运动的合成 . . . . .	10
3.2.1 两个同方向同频率的简谐运动合成 . . . . .	10
3.2.2 两个同方向不同频率的简谐运动合成 . . . . .	10
3.2.3 相互垂直的简谐运动的合成 . . . . .	10
3.3 阻尼振动、受迫振动和共振 . . . . .	10
3.3.1 阻尼振动 . . . . .	10
3.3.2 受迫振动和共振 . . . . .	11
3.4 机械波 . . . . .	11
3.4.1 机械波产生的条件 . . . . .	11
3.4.2 波动的描述 . . . . .	12
3.5 平面简谐波 . . . . .	12
3.5.1 平面简谐波的波函数 . . . . .	13
3.5.2 波函数的物理意义 . . . . .	13
3.5.3 波的能量 . . . . .	13
3.6 波的干涉与衍射 . . . . .	14
3.6.1 惠更斯原理、播的衍射 . . . . .	14

目 录	III
3.6.2 播的干涉 . . . . .	14
3.6.3 多普勒效应 . . . . .	14

# 第一章 刚体力学与人体力学的简介

## 1.1 刚体的转动

### 1.1.1 刚体的平动和转动

刚体：一种理想模型，刚体内任意两点的距离不变。

### 1.1.2 描述刚体定轴转动的物理量

转动平面：定轴转动刚体上各质点的运动面。

刚体定轴转动的特点

- 转动平面垂直于转轴
- 转动平面上各点均做圆周运动，角量相同，线量不同
- 定轴转动刚体上各质点的运动面相同，但线量不同

## 1.2 刚体定轴转动定律

### 力矩

表征力对物体转动的作用，称为力矩。

$$M = Fd = Fr \sin \theta$$

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

### 1.2.1 刚体定轴转动定律

## 第二章 流体力学与血液流变学简介

流体：没有固定形状，具有流动特征的物质.

### 2.1 流体运动的描述

#### 2.1.1 描述流体运动的方法

- 拉格朗日法：跟踪流体中的一点，描述其运动
- 欧拉法

#### 2.1.2 速度场与定常流动

- 速度场：流体中每一点的速度， $v = (x, y, z, t)$
- 定常流动：速度场不随时间变化， $v = (x, y, z)$

### 2.1.3 流线与流管

- 流线：流体运动方向的切线
- 流管：流线的集合（流线不会相交）

## 2.2 理想流体与连续性方程

### 2.2.1 理想流体

理想流体：无黏滞性，不可压缩。

### 2.2.2 连续性方程

理想流体作定常流动时，流管形状不变，且流管内流体不可压缩，故在任意时间间隔  $\Delta t$  内流经  $S_1$  与  $S_2$  的流体体积相等，即

$$S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{Constant}$$

## 2.3 伯努利方程

### 2.3.1 理想流体的伯努利方程

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + p = \text{Constant}$$



### 2.3.2 伯努利方程的应用

#### 水平管中压强与流速的关系

对于水平管，伯努利方程简化为

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p = Constant$$

因此，压强与流速成反比。文丘里流量计：对于水中 1 和 2 两截面处，有

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 &= \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2 \\ v_1 S_1 &= v_2 S_2\end{aligned}$$

联立上式得截面 1 处的流速为

$$v_1 = S_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$$

又因为  $p_1 - p_2 = \rho gh$ ，故管中流量为

$$Q = v_1 S_1 = S_1 S_2 \sqrt{\frac{2\rho gh}{S_1^2 - S_2^2}}$$

## 2.4 黏滞流体的运动

### 2.4.1 黏滞流体的伯努利方程

流体克服黏滞力做功，机械能不断损失并转化为热能，故伯努利方程变为

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = Constant - \frac{1}{2}\rho v_{\text{损}}^2$$

若流体在水平均匀管道中作定常流动

$$\therefore h_1 = h_2, v_1 = v_2$$

$$\therefore p_1 = p_2 + \Delta E, p_1 > p_2$$

若流体在开放的等粗管道中作定常流动

$$\because p_1 = p_2 = p_0, v_1 = v_2$$

$$\therefore \rho gh_1 - \rho gh_2 = \Delta E$$

## 2.5 物体在流体中的运动

### 2.5.1 物体在理想流体中的运动

设  $h_1 = h_2$ ，由伯努利方程得

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2$$

升力：物体获得相对流速方向垂直（横向）且向流速增大一侧的动力。

### 2.5.2 物体在黏滞流体中的运动与斯托克斯定律

图示小球所受力

$$G = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g, f = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_2 g$$

固体在黏滞流体中作匀速运动还会受到黏滞阻力，若物体运动速度很小，则

$$f = 6\pi r \eta v$$

沉降速度（终极速度）：

$$v_s = \frac{2(\rho_1 - \rho_2)}{9\eta} gr^2 \quad (2.1)$$

用此公式可求得

- 液体黏滞系数
- 球体半径

## 本章小结

- 连续性方程：流量  $Q = Sv$ ，连续性方程  $Sv = Constant$
- 理想流体的伯努利方程：  $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = Constant$   
适用条件：理想流体，定常流动，同一流管  
伯努利方程应用说明：
  - 正确地选取截面，包含所求量
  - 方程正确简化：对于等粗管道， $p_1 + \rho gh_1 = p_2 + \rho gh_2$ ；对于水平管道， $p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$
  - 找出隐条件：大管小孔，大处  $v$  不计；与空气接触， $p = p_0$
- 牛顿黏滞定律：  $F = -\eta S \frac{dv}{dx}$ ，其中  $\eta$  为黏滞系数，单位为  $Pa \cdot s$   
说明：
  1. 黏度取决于流体性质
  2. 液体的黏度大于气体
  3. 与温度的关系：对液体  $t \uparrow \eta \downarrow$ ，对气体  $t \uparrow \eta \uparrow$
- 层流与湍流：  
雷诺数：  $Re = \frac{\rho vr}{\eta}$ ， $Re > 1500$  作湍流， $Re < 1000$  作层流， $1000 < Re < 1500$  不稳定，会互相转变
- 泊肃叶定律：  $Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta l}$ ，其中  $\Delta p$  为压差， $l$  为管长
- 黏滞流体的伯努利方程：  $p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + \Delta E$
- 斯托克斯定律：  $f = 6\pi\eta vr$   
可推导出沉降速度：  $v_s = \frac{2(\rho_1 - \rho_2)}{9\eta} gr^2$

## 第三章 震动与波、声波、超声波

研究对象：物体的周期性运动及其运动规律。

振动：周期性运动；波动：振动的传播。

### 3.1 简谐运动

#### 3.1.1 弹簧振子

机械振动的原因：物体所受回复力和物体所具有的惯性。回复力：始终指向平衡位置

#### 3.1.2 描述简谐运动的物理量

- 振幅： $A$ ：振动的幅度
- 角频率： $\omega = 2\pi f$ ： $2\pi$  秒内往复振动的次数
- 相位： $\varphi = \omega t + \varphi_0$ ：
- 初相： $\varphi_0$ ： $t = 0$  时刻的相位

- 周期:  $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}$ : 振动一次所用时间
- 频率:  $\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ : 单位时间内振动的次数

### 3.1.3 简谐运动的速度和加速度

简谐运动表达式

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

简谐运动的速度

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi)$$

简谐运动的加速度

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi)$$

而  $v_m = \omega A$ ,  $a_m$  称为速度幅故简谐运动的加速度可表示为

$$a = -\omega^2 x$$

对于弹簧系统, 由牛顿第二定律

$$F = ma = -m\omega^2 x$$

又胡克定律

$$F = -kx$$

### 3.1.4 简谐运动的旋转矢量表示法

### 3.1.5 简谐运动的能量

- 振子势能:  $E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$

- 振子动能:  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 =$

## 3.2 简谐运动的合成

### 3.2.1 两个同方向同频率的简谐运动合成

一个质点参与两个在同一直线上频率相同的简谐运动，其合运动仍为简谐运动，其振幅为两个简谐运动振幅的矢量和。

### 3.2.2 两个同方向不同频率的简谐运动合成

### 3.2.3 相互垂直的简谐运动的合成

同频率相互垂直的简谐运动的合成

振动轨迹是椭圆。

## 3.3 阻尼振动、受迫振动和共振

### 3.3.1 阻尼振动

定义：振动系统受到的阻力与速度成正比，且方向相反。

- 欠阻尼:  $\beta < \omega_0, x = Ae^{-\beta t} \cos(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}t + \varphi)$
- 过阻尼:  $\beta > \omega_0, x = Ae^{-\beta t} \cosh(\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}t + \varphi)$

- 临界阻尼:  $\beta = \omega_0, x = Ae^{-\beta t}(\varphi_1 + \varphi_2 t)$

### 3.3.2 受迫振动和共振

受迫振动: 系统在周期性的外力作用下的振动。

共振: 外力频率等于系统固有频率时, 振幅达到最大的现象。

## 3.4 机械波

波动的种类:

- 机械波: 机械振动在弹性介质中的传播过程
- 电磁波: 交变电磁场在空间中的传播过程
- 物质波: 微观粒子的运动, 具有波粒二象性

波的共同特征: 具有一定的传播速度, 且伴有能量的传播, 能产生反射、折射、干涉、衍射等现象。

### 3.4.1 机械波产生的条件

- 波源: 被传播的机械振动
- 弹性介质: 任意质点离开平衡位置会受到弹性力作用. 在波源发生振动后, 因弹性力作用, 带动邻近的质点也以同样的频率振动. 如此将振动传播出去. 故机械振动只能在弹性介质中传播

横波与纵波:

- 横波：介质质点振动方向与波的传播方向垂直
- 纵波：介质质点振动方向与波的传播方向平行

### 3.4.2 波动的描述

- 波线：从波源沿各传播方向作垂线，所有垂线的轨迹
- 波前：波源振动后，波传播到的最前面的一层波面
- 波面：所有振动相位相同的点连成的面

描波动的物理量：

- 波长  $\lambda$ ：波在介质中传播一个周期所经过的距离
- 波速  $u$ ：波在介质中传播的速度
- 频率  $\nu$ ：波源振动的频率
- 周期  $T$ ：波源振动一个周期所用的时间

## 3.5 平面简谐波

在平面波传播的过程中，若介质中各点的振动均做同频率同振幅的简谐运动，则称此波为平面简谐波。



### 3.5.1 平面简谐波的波函数

波函数（波动表达式）：描述波的传播过程中各点的振动状态的函数。若波源（ $x = 0$ ）的振动表达式为

$$y_0 = A \cos(\omega t + \varphi)$$

P 点的振动表达式为

$$y = A \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

波动表达式的一般形式

$$y = A \cos\left(\omega\left(t \mp \frac{x - x_0}{u}\right) + \varphi\right)$$

### 3.5.2 波函数的物理意义

$$y(x, t) = A \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) + \varphi\right)$$

### 3.5.3 波的能量

波动表达式：

$$y = A \cos \omega\left(t - \frac{x}{u}\right)$$

波的强度：

$$w = \frac{dE}{dV} = \frac{dE}{dSdt} = \frac{1}{2}\rho u^2 A^2 \omega^2 \sin^2 \omega\left(t - \frac{x}{u}\right)$$

## 3.6 波的干涉与衍射

### 3.6.1 惠更斯原理、播的衍射

惠更斯原理：波的每一点都可以看作是次波源，次波源发出的球面波的包络面就是下一时刻的波面。播的衍射：波传播到障碍物后，障碍物后方的波面上各点都可看作是新的波源，从而产生新的波。

### 3.6.2 播的干涉

相干条件：

- 频率相同
- 振动方向相同
- 有恒定相位差

相干播的干涉加强和减弱的条件：

### 3.6.3 多普勒效应