

# 高三物理复习口袋书

## 选修 3-2 知识点

### 第四章：电磁感应

#### 一. 磁通量

穿过某一面积的磁感线条数；  $\Phi = BS \cdot \sin\theta$ ；单位 Wb， $1\text{Wb}=1\text{T} \cdot \text{m}^2$ ；标量，但有正负。

#### 二. 电磁感应现象

当穿过闭合电路中的磁通量发生变化，闭合电路中有感应电流的现象。如果电路不闭合只会产生感应电动势。（这种利用磁场产生电流的现象叫电磁感应现象，是 1831 年法拉第发现的）。

#### 三. 产生感应电流的条件

- 1、闭合电路的磁通量发生变化。
- 2、闭合电路中的一部分导体在磁场中作切割磁感线运动。（其本质也是闭合回路中磁通量发生变化）。

#### 四. 感应电动势

- 1、概念：在电磁感应现象中产生的电动势；
- 2、产生条件：穿过回路的磁通量发生改变，与电路是否闭合无关。
- 3、方向判断：感应电动势的方向用楞次定律或右手定则判断。

#### 五. 法拉第电磁感应定律

- 1、内容：感应电动势的大小跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。

2、公式： $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ ，其中  $n$  为线圈匝数。

3、公式  $E = n \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$  中涉及到磁通量的变化量  $\Delta \phi$  的计算，对  $\Delta \phi$  的计算，一般遇到有两种情况：

(1). 回路与磁场垂直的面积  $S$  不变，磁感应强度发生变化，由  $\Delta \phi = \Delta BS$ ，此时  $E = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S$ ，此式中

的  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  叫磁感应强度的变化率，若  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  是恒定的，即磁场变化是均匀的，产生的感应电动势是恒定电动势。

(2). 磁感应强度  $B$  不变，回路与磁场垂直的面积发生变化，则  $\Delta \phi = B \cdot \Delta S$ ，线圈绕垂直于匀强磁场的轴匀速转动产生交变电动势就属这种情况。

(3). 磁通量、磁通量的变化量、磁通量的变化率的区别

三个量 比较项目	磁通量	磁通量的变化量	磁通量的变化率
物理意义	某时刻穿过某个面的磁感线的条数	某段时间内穿过某个面的磁通量变化	穿过某个面的磁通量变化的快慢
大小	$\Phi = B S \cos\theta$	$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ $\Delta \Phi = B \cdot \Delta S$ $\Delta \Phi = S \cdot \Delta B$	$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = B \frac{\Delta S}{\Delta t}$ 或 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t}$
注意	若有相反方向磁场，磁通量可能抵消	开始时和转过 $180^\circ$ 时平面都与磁场垂直，穿过平面的磁通量是一正一负， $\Delta \Phi = 2BS$ ，而不是零	既不表示磁通量的大小，也不表示变化的多少。实际上，它就是单匝线圈上产生的电动势，即 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

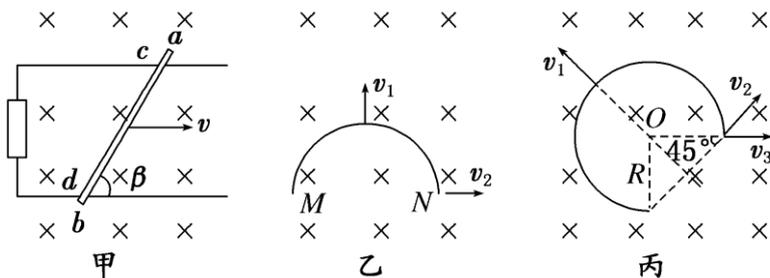
注意：① 该式  $E = n \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$  中普遍适用于求平均感应电动势。

②  $E$  只与穿过电路的磁通量的变化率  $\Delta\phi/\Delta t$  有关, 而与磁通的产生、磁通的大小及变化方式、电路是否闭合、电路的结构与材料等因素无关

### 六. 导体切割磁感线时的感应电动势

1、导体垂直切割磁感线时, 感应电动势可用  $E=BLv$  求出, 式中  $l$  为导体切割磁感线的有效长度。

(1) 有效性: 公式中的  $l$  为有效切割长度, 即导体与  $v$  垂直的方向上的投影长度。



甲图:  $l = cd \sin \beta$ ;

乙图: 沿  $v_1$  方向运动时,  $l = MN$ ; 沿  $v_2$  方向运动时,  $l = 0$ 。

丙图: 沿  $v_1$  方向运动时,  $l = \sqrt{2}R$ ; 沿  $v_2$  方向运动时,  $l = 0$ ; 沿  $v_3$  方向运动时,  $l = R$

(2) 相对性:  $E=Blv$  中的速度  $v$  是相对于磁场的速度, 若磁场也运动, 应注意速度间的相对关系。

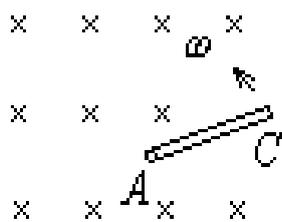
2、导体不垂直切割磁感线时, 即  $v$  与  $B$  有一夹角  $\theta$ , 感应电动势可用  $E=Blv \sin \theta$  求出。

3、公式  $E = Blv$  一般用于导体各部分切割磁感线的速度相同, 对有些导体各部分切割磁感线的速度不相同的情况, 如何求感应电动势?

例: 如图所示, 一长为  $l$  的导体杆  $AC$  绕  $A$  点在纸面内以角速度  $\omega$  匀速转动, 转动的区域的有垂直纸面向里的匀强磁场, 磁感应强度为  $B$ , 求  $AC$  产生的感应电动势,

解析:  $AC$  各部分切割磁感线的速度不相等,  $v_A = 0, v_C = \omega l$ , 且  $AC$  上各点的线速度大小与半径成正比,

所以  $AC$  切割的速度可用其平均切割速度  $v = \frac{v_A + v_C}{2} = \frac{v_C}{2} = \frac{\omega l}{2}$ , 故  $E = \frac{1}{2} B \omega l^2$ 。



4、 $E_m = n \cdot B \cdot S \cdot \omega$  —— 面积为  $S$  的纸圈, 共  $n$  匝, 在匀强磁场  $B$  中, 以角速度  $\omega$

匀速转动, 其转轴与磁场方向垂直, 则当线圈平面与磁场方向平行时, 线圈两端有最大有感应电动势  $\epsilon_m$ 。

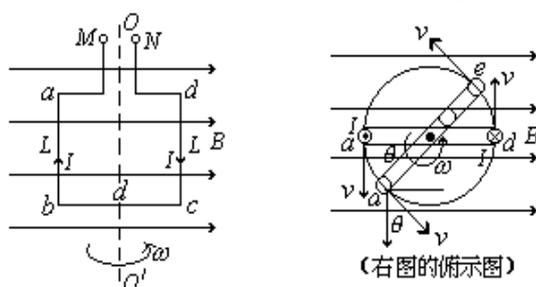
解析: 设线框长为  $L$ , 宽为  $d$ , 以  $\omega$  转到图示位置时,

$ab$  边垂直磁场方向向纸外运动切割磁感线, 速度为  $v = \omega \cdot \frac{d}{2}$

(圆运动半径为宽边  $d$  的一半) 产生感应电动势

$$E = BL \cdot v = BL \cdot \omega \cdot \frac{d}{2} = \frac{1}{2} BS \cdot \omega, \quad a \text{ 端电势高于 } b \text{ 端电势。}$$

同理  $cd$  边产生感应电动势  $E = \frac{1}{2} BS \omega$ 。  $c$  端电势高于  $d$  端电势。



(右图的俯视图)

则输出端  $M, N$  电动势为  $E_m = BS \omega$ 。如果线圈  $n$  匝, 则  $E_m = n \cdot B \cdot S \cdot \omega$ ,  $M$  端电势高,  $N$  端电势低。

**参照俯视图:** 这位置由于线圈边长是垂直切割磁感线, 所以有感应电动势最大值  $E_m$ , 如从图示位置转过一个角度  $\theta$ , 如果圆周运动线速度  $v$ , 在垂直磁场方向的分量应为  $v \cos \theta$ , 此时线圈产生感应电动势的瞬时值  $E = E_m \cdot \cos \theta$ 。即作最大值方向的投影  $E = E_m \cdot \cos \theta = n \cdot B \cdot S \omega \cdot \cos \theta$  ( $\theta$  是线圈平面与磁场方向的夹角)。当线圈平面垂直磁场方向时, 线速度方向与磁场方向平行, 不切割磁感线, 感应电动势为零。

### 七. 总结: 计算感应电动势公式:

$$E = BLv \left\{ \begin{array}{l} \text{如 } v \text{ 是瞬时速度, 则 } \epsilon \text{ 为瞬时感应电动势。} \\ \text{如 } v \text{ 是平均速度, 则 } \epsilon \text{ 为平均感应电动势。} \end{array} \right.$$

$$E = n \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \left\{ \begin{array}{l} \Delta t \text{ 是一段时, } \epsilon \text{ 为这段时间内的平均感应电动势。} \\ \Delta t \rightarrow 0, \text{ 为瞬时感应电动势。} \end{array} \right.$$

$$E = \frac{1}{2}BL^2\omega \quad (\text{导体绕某一固定点转动})$$

$$E = \begin{cases} E_m = n \cdot BS \cdot \omega & (\text{线圈平面与磁场平行时有感应电动势最大值}) \\ E = n \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \cos \theta & (\text{瞬时值公式, } \theta \text{ 是线圈平面与磁场方向夹角}) \end{cases}$$

**注意:** 1. 公式中字母的含义, 公式的适用条件及使用条件。

2. 感应电流与感应电量, 当回路中发生磁通变化时, 由于感应电场的作用使电荷发生定向移动而形成感应电流, 在  $\Delta t$  内迁移的电荷量为感应电量。

$$q = I\Delta t = \frac{E}{R}\Delta t = \frac{n\Delta\phi}{R\Delta t}\Delta t = \frac{n\Delta\phi}{R}, \quad \text{仅由回路电阻和磁通量的变化量决定, 与磁通量变化的时间无关。}$$

因此, 当用一磁棒先后两次从同一处用不同速度插至线圈中同一位置时, 线圈里聚积的感应电量相等, 但快插与慢插时产生的感应电动势、感应电流不同, 外力做功也不同。

## 八. 楞次定律:

### 1、用楞次定律判断感应电流的方向。

楞次定律的内容: 感应电流具有这样的方向, 感应电流的磁场总是要阻碍引起感应电流磁通量的变化。

即原磁通量变化  $\xrightarrow{\text{产生}}$  感应电流  $\xrightarrow{\text{建立}}$  感应电流磁场  $\xrightarrow{\text{阻碍}}$  原磁通量变化。

(这个不太好理解、不过很好用 口诀: 增缩减扩, 来拒去留, 增反减同)

### 2、楞次定律的理解: 感应电流的效果总是要反抗 (或阻碍) 引起感应电流的原因。

- (1) 阻碍原磁通的变化 (原始表述);
- (2) 阻碍相对运动, 可理解为“来拒去留”。
- (3) 使线圈面积有扩大或缩小的趋势;
- (4) 阻碍原电流的变化 (自感现象)。

### 3、应用楞次定律判断感应电流方向的具体步骤:

- (1) 查明原磁场的方向及磁通量的变化情况;
- (2) 根据楞次定律中的“阻碍”确定感应电流产生的磁场方向;
- (3) 由感应电流产生的磁场方向用安培表判断出感应电流的方向。

### 4、当闭合电路中的一部分导体做切割磁感线运动时, 用右手定则可判定感应电流的方向。

导体运动切割产生感应电流是磁通量发生变化引起感应电流的特例, 所以判定电流方向的右手定则也是楞次定律的特例。 (“力”用左手, “其它”用右手)

## 九. 互感 自感 涡流

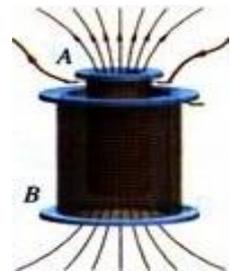
1、**互感:** 由于线圈 A 中电流的变化, 它产生的磁通量发生变化, 磁通量的变化在线圈 B 中激发了感应电动势。这种现象叫互感。

2、**自感:** 由于线圈 (导体) 本身电流的变化而产生的电磁感应现象叫自感现象。

① 在自感现象中产生感应电动势叫自感电动势。分析可知: 自感电动势总是阻碍线圈 (导体) 中原电流的变化。

自感电动势的大小跟电流变化率成正比。

$$E_{\text{自}} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$



$L$  是线圈的自感系数, 是线圈自身性质, 线圈越长, 匝数越多, 横截面积越大, 自感系数  $L$  越大。另外, 有铁心的线圈的自感系数比没有铁心时要大得多。单位是亨利 (H)。

② 自感现象分通电自感和断电自感两种, 其中断电自感中“小灯泡在熄灭之前是否要闪亮一下”的问题,

例: 如图 2 所示, 原来电路闭合处于稳定状态,  $L$  与  $L_A$  并联, 其电流分别为  $I_L$  和  $I_A$ , 方向都是从左到右。在断开  $S$  的瞬间, 灯  $A$  中原来的从左向右的电流  $I_A$  立即消失, 但是灯  $A$  与线圈  $L$  构成一闭合回路, 由于  $L$  的自感作用, 其中的电流  $I_L$  不会立即消失, 而是在回路中逐渐减弱维持短暂的时间, 在这个时间内灯  $A$  中有从右向左的电流通过, 此时通过灯  $A$  的电流是从  $I_L$  开始减弱的, 如果原来  $I_L > I_A$ , 则在灯  $A$  熄灭之前要闪亮一下; 如果原来  $I_L \leq I_A$ , 则灯  $A$  是逐渐熄灭不再闪亮一下。原来  $I_L$  和  $I_A$  哪一个大, 要由  $L$  的直流电阻  $R_L$  和  $A$  的电阻  $R_A$  的大小来决定, 如果  $R_L \geq R_A$ , 则  $I_L \leq I_A$ , 如果  $R_L < R_A$ ,  $I_L > I_A$ 。

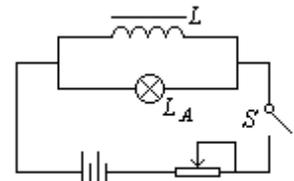


图 2

### 3、涡流及其应用

(1) 变压器在工作时, 除了在原、副线圈产生感应电动势外, 变化的磁通量也会在铁芯中产生感应电流。一般来说, 只要空间有变化的磁通量, 其中的导体就会产生感应电流, 我们把这种感应电流叫做涡流

(2) 应用：①新型炉灶——电磁炉。

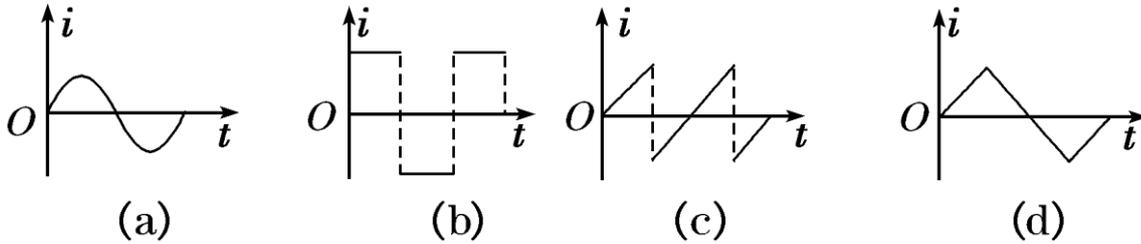
②金属探测器：飞机场、火车站安全检查、扫雷、探矿。

## 第五章：交变电流

### 一. 交变电流

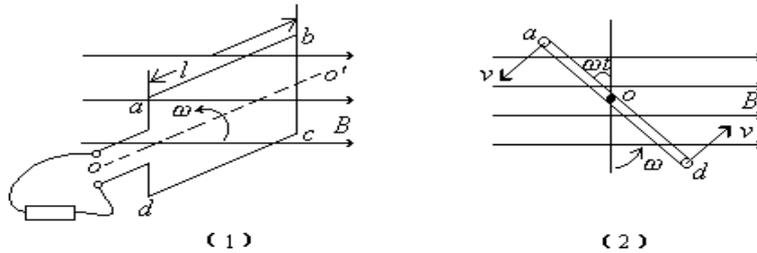
1. 定义：大小和方向都随时间做周期性变化的电流。

2. 图像：如图(a)、(b)、(c)、(d)所示都属于交变电流。其中按正弦规律变化的交变电流叫正弦交流电，如图(a)所示。



### 二. 正弦交流电的产生和图像

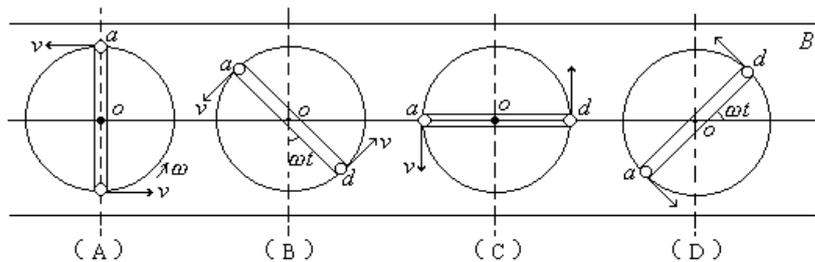
1. 产生：矩形线圈在匀强磁场中，绕垂直于匀强磁场的线圈的对称轴作匀速转动时，如图产生正弦（或余弦）交流电动势。当外电路闭合时形成正弦（或余弦）交流电流。



2. 变化规律：

(1) 中性面：与磁感线垂直的平面叫中性面。

线圈平面位于中性面位置时，如图(A)所示，穿过线圈的磁通量最大，但磁通量变化率为零。因此，感应电动势为零。



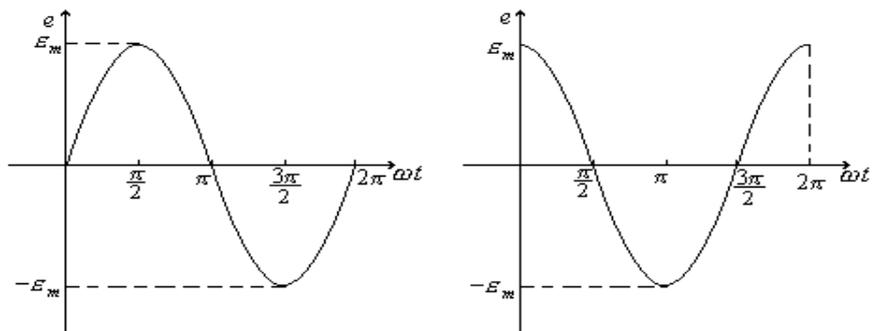
当线圈平面匀速转到垂直于中性面的位置时（即线圈平面与磁感线平行时）如图(C)所示，穿过线圈的磁通量虽然为零，但线圈平面内磁通量变化率最大。因此，感应电动势值最大。

$$E_m = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot v = N \cdot B \cdot \omega \cdot S \quad (\text{伏}) \quad (N \text{ 为匝数})$$

### 三. 正弦交流电的函数表达式

若  $n$  匝面积为  $S$  的线圈以角速度  $\omega$  绕垂直于磁场方向的轴匀速转动，从中性面开始计时，其函数形式为  $e = nBS\omega \sin \omega t$ ，用  $E_m = nBS\omega$  表示电动势最大值，则有  $e = E_m \sin \omega t$ 。其电流大小为

$$i = \frac{e}{R} = \frac{E_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t.$$



#### 四. 正弦式电流的变化规律(线圈在中性面位置开始计时)

物理量 \ 规律	函数	图像
磁通量	$\Phi = \Phi_m \cos \omega t = BS \cos \omega t$	
电动势	$e = E_m \cdot \sin \omega t = nBS\omega \sin \omega t$	
电压	$u = U_m \cdot \sin \omega t = \frac{RE_m}{R+r} \sin \omega t$	
电流	$i = I_m \cdot \sin \omega t = \frac{E_m}{R+r} \sin \omega t$	

#### 五. 两个特殊位置的特点

1. 线圈平面与中性面重合时,  $S \perp B$ ,  $\Phi$  最大,  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 0$ ,  $e = 0$ ,  $i = 0$ , 电流方向将发生改变。
2. 线圈平面与中性面垂直时,  $S // B$ ,  $\Phi = 0$ ,  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  最大,  $e$  最大,  $i$  最大, 电流方向不改变。

#### 六. 表征交流电的物理量:

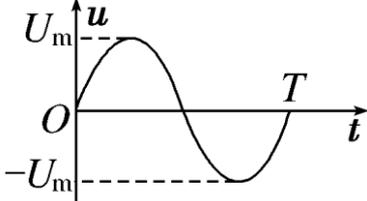
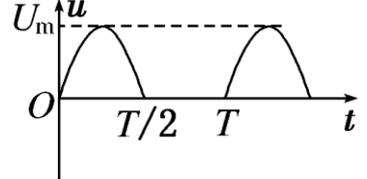
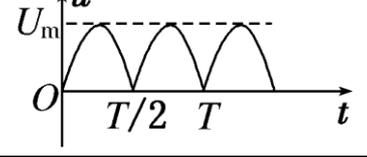
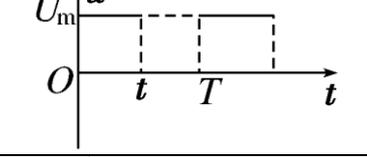
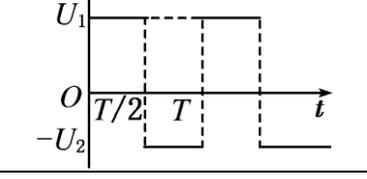
##### 1. 周期、频率和角速度

- (1) 周期 ( $T$ ): 交变电流完成一次周期性变化(线圈转一周)所需的时间, 单位是秒(s), 公式  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 。
- (2) 频率 ( $f$ ): 交变电流在 1 s 内完成周期性变化的次数, 单位是赫兹(Hz)。
- (3) 角速度  $\omega$ :  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$  单位: 弧度/秒
- (4) 周期和频率的关系:  $T = \frac{1}{f}$  或  $f = \frac{1}{T}$

## 2. 交变电流“四值”的理解与应用

物理量	物理含义	重要关系	应用情况及说明
瞬时值	交变电流某一时刻的值	$e = E_m \sin \omega t, u = U_m \sin \omega t, i = I_m \sin \omega t$	计算线圈某时刻的受力情况
最大值	最大的瞬时值	$E_m = nBS\omega, E_m = n\Phi_m\omega, I_m = \frac{E_m}{R+r}$	当考虑某些电学元件(电容器、晶体管等)的击穿电压时,指的是交变电压的最大值
有效值	根据电流的热效应(电流通过电阻产生的热)进行定义	对正弦、余弦交变电流 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	(1) 通常所说的交变电流的电压、电流强度、交流电表的读数、保险丝的熔断电流值、电器设备铭牌上所标的电压、电流值都是指交变电流的有效值 (2) 求解交变电流的电热问题时,必须用有效值来进行计算
平均值	交变电流图像中图线与 t 轴所围成的面积与时间的比值	$\bar{E} = BL \bar{v}, \bar{E} = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}, \bar{I} = \frac{\bar{E}}{R+r}$	计算有关电量时只能用平均值

## 3. 几种典型的交变电流的有效值

电流名称	电流图像	有效值
正弦式交变电流		$U = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m$
正弦半波电流		$U = \frac{1}{2} U_m$
正弦单向脉动电流		$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$
矩形脉动电流		$U = \sqrt{\frac{t}{T}} U_m$
非对称性交变电流		$U = \sqrt{\frac{1}{2} (U_1^2 + U_2^2)}$

## 七、电感和电容对交变电流的影响

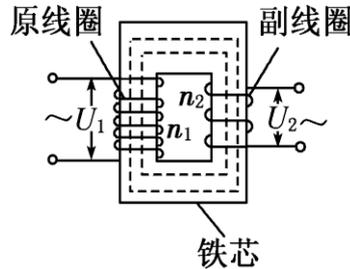
- 电感对交变电流有阻碍作用，阻碍作用大小用感抗表示。 $X_L = 2\pi fL$   
 低频扼流圈，线圈的自感系数  $L$  很大，作用是“通直流，阻交流”；  
 高频扼流圈，线圈的自感系数  $L$  很小，作用是“通低频，阻高频”。

- 电容对交变电流有阻碍作用，阻碍作用大小用容抗表示  
 耦合电容，容量较大，隔直流、通交流  
 高频旁路电容，容量很小，隔直流、阻低频、通高频

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

## 八、变压器、电能的输送

### 1. 变压器的构造



理想变压器由原线圈、副线圈和闭合铁芯组成。

### 2. 变压器的原理

电流磁效应、电磁感应(互感现象)。

### 3. 理想变压器的基本关系

(1) 电压关系:  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 。

(2) 功率关系:  $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$ 。

(3) 电流关系: ① 只有一个副线圈时:  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 。 ② 有多个副线圈时:  $U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots + U_n I_n$ 。

(4) 对于单个副线圈的变压器，原、副线圈中的频率  $f$ 、磁通量变化率  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  相同，并且满足  $\frac{U}{n} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 。

**注意:** 理想变压器各物理量的决定因素

1. 输入电压  $U_1$  决定输出电压  $U_2$ ，输出电流  $I_2$  决定输入电流  $I_1$ ，输入功率随输出功率的变化而变化直到达到变压器的最大功率（负载电阻减小，输入功率增大；负载电阻增大，输入功率减小）。

2. 因为  $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$ ，即  $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ ，所以变压器中高压线圈电流小，绕制的导线较细，低电压的线圈电流大，绕制的导线较粗。（上述各公式中的  $I$ 、 $U$ 、 $P$  均指有效值，不能用瞬时值）。

### 九、解决变压器问题的常用方法

- 电压思路: 变压器原、副线圈的电压之比为  $U_1/U_2 = n_1/n_2$ ；当变压器有多个副绕组  $U_1/n_1 = U_2/n_2 = U_3/n_3 = \dots$
- 功率思路: 理想变压器的输入、输出功率为  $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$ ，即  $P_1 = P_2$ ；当变压器有多个副绕组时  $P_1 = P_2 + P_3 + \dots$
- 电流思路: 由  $I = P/U$  知，对只有一个副绕组的变压器有  $I_1/I_2 = n_2/n_1$ ；当变压器有多个副绕组  $n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3 + \dots$
- (变压器动态问题) 制约思路。

(1) 电压制约: 当变压器原、副线圈的匝数比 ( $n_1/n_2$ ) 一定时，输出电压  $U_2$  由输入电压  $U_1$  决定，即  $U_2 = n_2 U_1 / n_1$ ，可简述为“原制约副”。

(2) 电流制约: 当变压器原、副线圈的匝数比 ( $n_1/n_2$ ) 一定，且输入电压  $U_1$  确定时，原线圈中的电流  $I_1$  由副线圈中的输出电流  $I_2$  决定，即  $I_1 = n_2 I_2 / n_1$ ，可简述为“副制约原”。

(3) 负载制约: ① 变压器副线圈中的功率  $P_2$  由用户负载决定， $P_2 = P_{\text{负}1} + P_{\text{负}2} + \dots$ ；

② 变压器副线圈中的电流  $I_2$  由用户负载及电压  $U_2$  确定， $I_2 = P_2 / U_2$ ；③ 总功率  $P_{\text{总}} = P_{\text{线}} + P_2$ 。

动态分析问题的思路程序可表示为:

$$U_1 \xrightarrow{\text{决定}} \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow U_2 \xrightarrow{\text{决定}} I_2 = \frac{P_2}{U_2} \xrightarrow{\text{决定}} P_1 = P_2 (I_1 U_1 = I_2 U_2) \rightarrow I_1 \xrightarrow{\text{决定}} P_1 = I_1 U_1 \rightarrow P_1$$

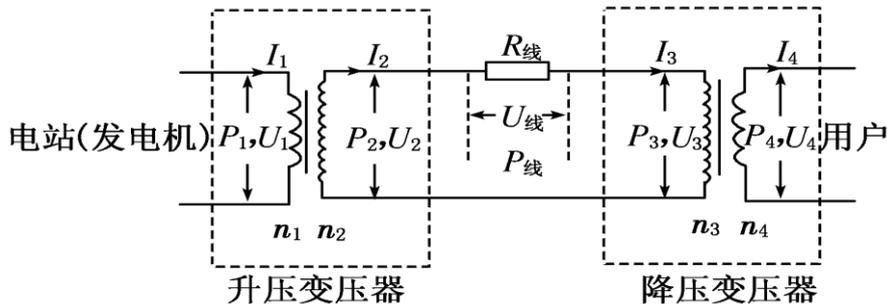
5: 原理思路: 变压器原线圈中磁通量发生变化，铁芯中磁通量的变化  $\Delta \Phi / \Delta t$  相等；

## 十、电能的输送

- 根据  $P_{\text{损}} = I^2 R_{\text{线}}$ ，降低输电电能损失有以下两种措施

- (1) 减小  $R_{\text{线}}$ : 由  $R = \rho \frac{l}{S}$  可知, 减小  $R_{\text{线}}$  可用  $\rho$  较小的导体材料(如铜)或增大导线的横截面积(有时不现实)。
- (2) 减小输电电流: 在输电功率一定的情况下, 根据  $P = UI$ , 要减小电流, 必须提高输电电压, 即高压输电。

## 2. 远距离高压输电示意图



## 3. 远距离高压输电的几个基本关系

- (1) 功率关系:  $P_1 = P_2, P_3 = P_4, P_2 = P_{\text{损}} + P_3$
- (2) 电压、电流关系:  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}, \frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4} = \frac{I_4}{I_3}, U_2 = \Delta U + U_3, I_2 = I_3 = I_{\text{线}}$ 。
- (3) 输电电流:  $I_{\text{线}} = \frac{P_2}{U_2} = \frac{P_3}{U_3} = \frac{U_2 - U_3}{R_{\text{线}}}$ 。
- (4) 输电线上损耗的功率  $P_{\text{损}} = I_{\text{线}} \Delta U = I_{\text{线}}^2 R_{\text{线}} = \left(\frac{P_2}{U_2}\right)^2 R_{\text{线}}$ 。

**注意:** 送电导线上损失的电功率, 不能用  $P_{\text{损}} = \frac{U_{\text{出}}^2}{R_{\text{线}}}$  求, 因为  $U_{\text{出}}$  不是全部降落在导线上。

# 第六章: 传感器

## 一、传感器的及其工作原理

有一些元件它能够感受诸如力、温度、光、声、化学成分等非电学量, 并能把它们按照一定的规律转换为电压、电流等电学量, 或转换为电路的通断。我们把这种元件叫做传感器。它的优点是: 把非电学量转换为电学量以后, 就可以很方便地进行测量、传输、处理和控制了。

**例如:** 光敏电阻在光照射下电阻变化的原因: 有些物质, 例如硫化镉, 是一种半导体材料, 无光照时, 载流子极少, 导电性能不好; 随着光照的增强, 载流子增多, 导电性变好。光照越强, 光敏电阻阻值越小。金属导体的电阻随温度的升高而增大。

热敏电阻的阻值随温度的升高而减小, 且阻值随温度变化非常明显。

金属热电阻与热敏电阻都能够把温度这个热学量转换为电阻这个电学量, 金属热电阻的化学稳定性好, 测温范围大, 但灵敏度较差。

## 二、传感器的应用

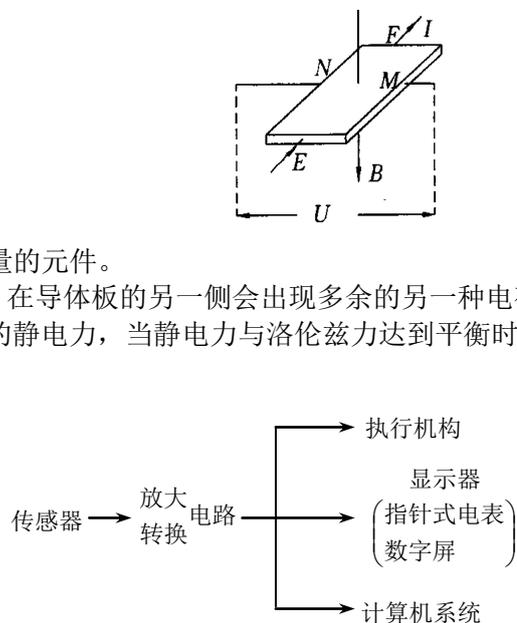
1. 光敏电阻
2. 热敏电阻和金属热电阻
3. 电容式位移传感器
4. 力传感器——将力信号转化为电流信号的元件。
5. 霍尔元件

霍尔元件是将电磁感应这个磁学量转化为电压这个电学量的元件。

外部磁场使运动的载流子受到洛伦兹力, 在导体板的一侧聚集, 在导体板的另一侧会出现多余的另一种电荷, 从而形成横向电场; 横向电场对电子施加与洛伦兹力方向相反的静电力, 当静电力与洛伦兹力达到平衡时, 导体板左右两侧会形成稳定的电压, 被称为霍尔电势差或霍尔

$$\text{电压 } U_H, U_H = k \frac{IB}{d}$$

### 1. 传感器应用的一般模式



## 2. 传感器应用:

力传感器的应用——电子秤

声传感器的应用——话筒

温度传感器的应用——电熨斗、电饭锅、测温仪

光传感器的应用——鼠标器、火灾报警器

传感器的应用实例: 1. 光控开关 2. 温度报警器

# 高中物理 3-3 知识点

## 第七章 分子动理论

### 1、物质是由大量分子组成的

(1) 单分子油膜法测量分子直径

(2)  $1\text{mol}$  任何物质含有的微粒数相同  $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$

(3) 对微观量的估算

① 分子的两种模型：球形和立方体（固体液体通常看成球形，空气分子占据的空间看成立方体）

I. 球体模型直径  $d = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}}$ .

II. 立方体模型边长  $d = \sqrt[3]{V_0}$ .

② 利用阿伏伽德罗常数联系宏观量与微观量

I. **微观量**：分子体积  $V_0$ 、分子直径  $d$ 、分子质量  $m_0$ .

II. **宏观量**：物体的体积  $V$ 、摩尔体积  $V_m$ 、物体的质量  $m$ 、摩尔质量  $M$ 、物体的密度  $\rho$ .

a. 分子质量：  $m_0 = \frac{M_{mol}}{N_A} = \frac{\rho V_{mol}}{N_A}$

b. 分子体积：  $v_0 = \frac{V_{mol}}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}$ （气体分子除外）

c. 分子数量：  $n = \frac{M}{M_{mol}} N_A = \frac{\rho v}{M_{mol}} N_A = \frac{M}{\rho V_{mol}} N_A = \frac{v}{V_{mol}} N_A$

**特别提醒**：1、固体和液体分子都可看成是紧密堆集在一起的。分子的体积  $V_0 = \frac{V_m}{N_A}$ ，仅适用于固体和液体，对气体不适用，仅估算了气体分子所占的空间。

2、对于气体分子， $d = \sqrt[3]{V_0}$  的值并非气体分子的大小，而是两个相邻的气体分子之间的平均距离。

### 2、分子永不停息的做无规则的热运动（布朗运动 扩散现象）

(1) 扩散现象：不同物质能够彼此进入对方的现象，说明了物质分子在不停地运动，同时还说明分子间有空隙，温度越高扩散越快。**可以发生在固体、液体、气体任何两种物质之间**

(2) 布朗运动：它是悬浮在液体（或气体）中的固体微粒的无规则运动，是在**显微镜下观察**到的。

① 布朗运动的三个主要特点：永不停息地无规则运动；颗粒越小，布朗运动越明显；温度越高，布朗运动越明显。

② 产生布朗运动的原因：它是由于液体分子无规则运动对**固体微小颗粒**各个方向撞击的不均匀性造成的。

③ 布朗运动**间接**地反映了液体分子的无规则运动，布朗运动、扩散现象都有力地说明物体内大量的分子都在永不停息地做无规则运动。

(3) 热运动：分子的无规则运动与温度有关，简称热运动，温度越高，运动越剧烈

### 3、分子间的相互作用力

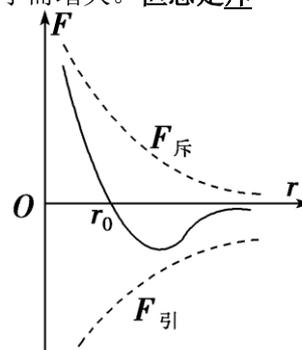
(1) 分子间同时存在引力和斥力，两种力的合力又叫做分子力。

(2) 分子之间的引力和斥力都随分子间距离增大而减小，随分子间距离的减小而增大。但总是斥力变化得较快。

(3) 图像：两条虚线分别表示斥力和引力；

实线曲线表示引力和斥力的合力(即分子力)随距离变化的情况。

$r_0$  位置叫做平衡位置， $r_0$  的数量级为  $10^{-10}$  m。



**理解+记忆：**

(1) 当  $r = r_0$  时， $F_{引} = F_{斥}$ ， $F = 0$ ；

(2) 当  $r < r_0$  时， $F_{引}$  和  $F_{斥}$  都随距离的减小而增大，但  $F_{引} < F_{斥}$ ， $F$  表现为斥力；

(3) 当  $r > r_0$  时， $F_{引}$  和  $F_{斥}$  都随距离的增大而减小，但  $F_{引} > F_{斥}$ ， $F$  表现为引力；

(4) 当  $r > 10r_0$  ( $10^{-9}$  m) 时， $F_{引}$  和  $F_{斥}$  都已经十分微弱，可以认为分子间没有相互作用力( $F=0$ )。

#### 4、温度

宏观上的温度表示物体的冷热程度，微观上的温度是物体大量分子热运动平均动能的标志。热力学温度与摄氏温度的关系： $T = t + 273.15K$

#### 5、内能

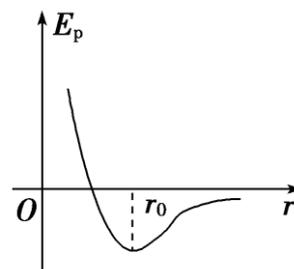
##### ①分子势能

分子间存在着相互作用力，因此分子间具有由它们的相对位置决定的势能，这就是分子势能。分子势能的大小与分子间距离有关，分子势能的大小变化可通过宏观量体积来反映。（ $r = r_0$  时分子势能最小）

当  $r > r_0$  时，分子力为引力，当  $r$  增大时，分子力做负功，分子势能增加

当  $r < r_0$  时，分子力为斥力，当  $r$  减少时，分子力做负功，分子势能增加

当  $r = r_0$  时，分子势能最小，但不为零，为负值，因为选两分子相距无穷远时分子势能为零



##### ②物体的内能

物体中所有分子热运动的动能和分子势能的总和，叫做物体的内能。一切物体都是由不停地做无规则热运动并且相互作用着的分子组成，因此任何物体都是有内能的。（理想气体的内能只取决于温度）

##### ③改变内能的方式

做功与热传递都使物体的内能改变

##### 特别提醒：

(1) 物体的体积越大，分子势能不一定就越大，如  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的水结成  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的冰后体积变大，但分子势能却减小了。

(2) 理想气体分子间相互作用力为零，故分子势能忽略不计，一定质量的理想气体内能只与温度有关。

(3) 内能都是对宏观物体而言的，不存在某个分子的内能的说法。由物体内部状态决定

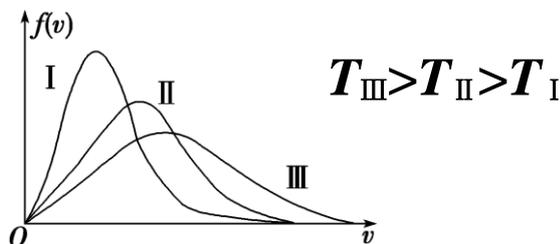
## 第八章 气体

### 6、分子热运动速率的统计分布规律

(1) 气体分子间距较大，分子力可以忽略，因此分子间除碰撞外不受其他力的作用，故气体能充满它能达到的整个空间。

(2) 分子做无规则的运动，速率有大有小，且时而变化，大量分子的速率按“中间多，两头少”的规律分布。

(3) 温度升高时，速率小的分子数减少，速率大的分子数增加，分子的平均速率将增大（并不是每个分子的速率都增大），但速率分布规律不变。



### 7、气体实验定律

① 玻意耳定律： $pV = C$ （ $C$  为常量）→ 等温变化

微观解释：一定质量的理想气体，温度保持不变时，分子的平均动能是一定的，在这种情况下，体积减少时，分子的密集程度增大，气体的压强就增大。

适用条件：压强不太大，温度不太低

图象表达： $p - \frac{1}{V}$

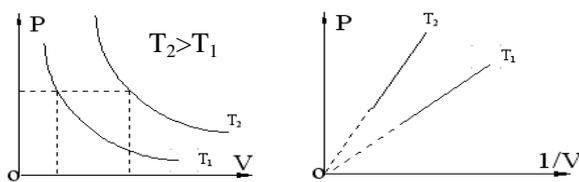


图 1

② 查理定律： $\frac{p}{T} = C$ （ $C$  为常量）→ 等容变化

微观解释：一定质量的气体，体积保持不变时，分子的密集程度保持不变，在这种情况下，温度升高时，分子的平均动能增大，气体的压强就增大。

适用条件：温度不太低，压强不太大

图象表达： $p - T$

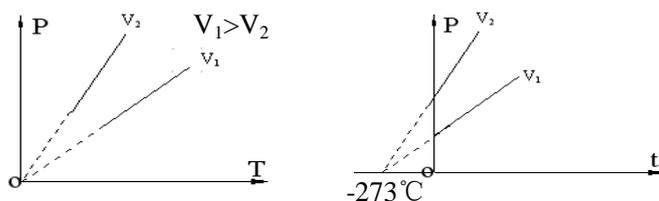


图 2

③ 盖吕萨克定律： $\frac{V}{T} = C$ （ $C$  为常量）→ 等压变化

微观解释：一定质量的气体，温度升高时，分子的平均动能增大，只有气体的体积同时增大，使分子的密集程度减少，才能保持压强不变

适用条件：压强不太大，温度不太低

图象表达： $V-T$

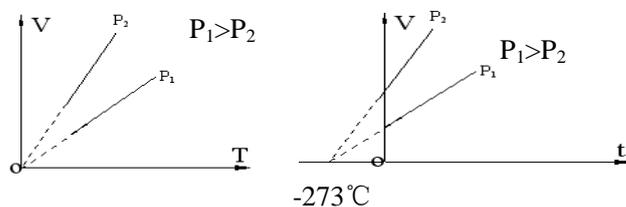


图 3

## 8、理想气体

宏观上：严格遵守三个实验定律的气体，**实际气体**在常温常压下（压强不太大、温度不太低）实验气体可以看成理想气体

微观上：**理想气体**的分子间除碰撞外无其他作用力，分子本身没有体积，即它所占据的空间认为都是可以被压缩的空间。故一定质量的理想气体的内能只与温度有关，与体积无关（即理想气体的内能只看所用分子动能，没有分子势能）

理想气体状态方程： $\frac{pV}{T} = C$ ，可包含气体的三个实验定律：

$$\text{由 } \frac{pV}{T} = C \text{ (恒量)} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{当 } T \text{ 一定时, } pV = CT = C_1 \text{ (玻意耳定律)} \\ \text{当 } V \text{ 一定时, } \frac{p}{T} = \frac{C}{V} = C_2 \text{ (查理定律)} \\ \text{当 } p \text{ 一定时, } \frac{V}{T} = \frac{C}{p} = C_3 \text{ (盖·吕萨克定律)} \end{array} \right.$$

(m 一定)

### 几个重要的推论

(1) 查理定律的推论： $\Delta p = \frac{p_1}{T_1} \Delta T$

(2) 盖—吕萨克定律的推论： $\Delta V = \frac{V_1}{T_1} \Delta T$

(3) 理想气体状态方程的推论： $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} + \dots$

### 应用状态方程或实验定律解题的一般步骤

- (1) 明确研究对象，即某一定质量的理想气体；
- (2) 确定气体在始末状态的参量  $p_1$ 、 $V_1$ 、 $T_1$  及  $p_2$ 、 $V_2$ 、 $T_2$ ；
- (3) 由状态方程或实验定律列式求解；
- (4) 讨论结果的合理性。

## 9、气体压强的微观解释

大量分子频繁的撞击器壁的结果

影响气体压强的因素：①气体的平均分子动能（宏观上即：温度）②分子的密集程度即单位体积内的分子数（宏观上即：体积）

## 第九章 固态、液态和物态变化

### 10、晶体和非晶体

①晶体内部的微粒排列有规则，具有空间上的周期性，因此不同方向上相等距离内微粒数不同，使得物理性质不同（各向异性），由于多晶体是由许多杂乱无章地排列着的小晶体（单晶体）集合而成，因此不显示各向异性，形状也不规则。

②晶体达到熔点后由固态向液态转化，分子间距离要加大。此时晶体要从外界吸收热量来破坏晶体的点阵结构，所以吸热只是为了克服分子间的引力做功，只增加了分子的势能。分子平均动能不变，温度不变。

### 11、液晶：介于固体和液体之间的特殊物态

物理性质①具有晶体的光学各向异性——在某个方向上看其分子排列比较整齐

②具有液体的流动性——从另一方向看，分子的排列是杂乱无章的。

### 12、液体的表面张力现象和毛细现象

（1）表面张力——表面层（与气体接触的液体薄层）分子比较稀疏， $r > r_0$ ，分子力表现为引力，在这个力作用下，液体表面有收缩到最小的趋势，这个力就是表面张力。表面张力方向跟液面相切，跟这部分液面的分界线垂直。

（2）浸润和不浸润现象：

	附着层的液体分子比液体内部	分子力表现	附着层趋势	毛细现象
浸润	密	排斥力	扩张	上升
不浸润	稀疏	吸引力	收缩	下降

（3）毛细现象：对于一定液体和一定材质的管壁，管的内径越细，毛细现象越明显。

①管的内径越细，液体越高 ②土壤锄松，破坏毛细管，保存地下水分；压紧土壤，毛细管变细，将水引上来

## 第十章 热力学定律

### 13、改变系统内能的两种方式：做功和热传递

①热传递有三种不同的方式：热传导、热对流和热辐射

②这两种方式改变系统的内能是等效的

③区别：做功是系统内能和其他形式能之间发生转化；热传递是不同物体（或物体的不同部分）之间内能的转移

### 14、热力学第一定律

①表达式  $\Delta u = W + Q$

②

符号	$W$	$Q$	$\Delta u$
+	外界对系统做功	系统从外界吸热	系统内能增加
-	系统对外界做功	系统向外界放热	系统内能减少

### 几种特殊情况

（1）若过程是绝热的，则  $Q=0$ ， $W = \Delta U$ ，外界对物体做的功等于物体内能的增加。

（2）若过程中不做功，即  $W=0$ ，则  $Q = \Delta U$ ，物体吸收的热量等于物体内能的增加。

（3）若过程的始末状态物体内能不变，即  $\Delta U=0$ ，则  $W+Q=0$  或  $W=-Q$ ，外界对物体做的功等于物体放出的热量。

### 15、热力学第二定律

（1）常见的两种表述

①克劳修斯表述(按热传递的方向性来表述)：热量不能自发地从 低温 物体传到 高温 物体。

②开尔文表述(按机械能与内能转化过程的方向性来表述): 不可能从单一热源吸收热量, 使之完全变成功, 而不产生其他影响.

a、“自发地”指明了热传递等热力学宏观现象的方向性, 不需要借助外界提供能量的帮助.

b、“不产生其他影响”的涵义是发生的热力学宏观过程只在本系统内完成,对周围环境不产生热力学方面的影响. 如吸热、放热、做功等.

(2) 热力学第二定律的实质

热力学第二定律的每一种表述, 都揭示了大量分子参与宏观过程的方向性,进而使人们认识到自然界中进行的涉及热现象的宏观过程都具有方向性.

(3) 热力学过程方向性实例

(1) 高温物体  $\xrightarrow{\text{热量 } Q \text{ 能自发传给}}$  低温物体  
 $\xleftarrow{\text{热量 } Q \text{ 不能自发传给}}$

(2) 功  $\xrightarrow{\text{能自发地完全转化为}}$  热  
 $\xleftarrow{\text{不能自发地且不能完全转化为}}$

(3) 气体体积  $V_1 \xrightarrow{\text{能自发膨胀到}}$  气体体积  $V_2$  (较大)  
 $\xleftarrow{\text{不能自发收缩到}}$

(4) 不同气体  $A$  和  $B \xrightarrow{\text{能自发混合成}}$  混合气体  $AB$   
 $\xleftarrow{\text{不能自发分离成}}$

**特别提醒:** 热量不可能自发地从低温物体传到高温物体, 但在有外界影响的条件下, 热量可以从低温物体传到高温物体, 如电冰箱; 在引起其他变化的条件下内能可以全部转化为机械能, 如气体的等温膨胀过程.

## 16、能量守恒定律

能量既不会凭空产生, 也不会凭空消失, 它只能从一种形式转化为另一种形式, 或者从一个物体转移到另一物体, 在转化和转移的过程中其总量不变

第一类永动机不可制成是因为其违背了热力学第一定律

第二类永动机: **违背宏观热现象方向性的机器被称为第二类永动机.** 这类永动机不违背**能量守恒定律**, 不可制成是因为其违背了热力学第二定律 (一切自然过程总是沿着分子热运动的无序性增大的方向进行)

熵是分子热运动无序程度的定量量度, 在绝热过程或孤立系统中, 熵是增加的。

**17、能量耗散:** 系统的内能流散到周围的环境中, 没有办法把这些内能收集起来加以利用。

# 物理选修3-4 知识点

## 第十一章 机械运动

### 一、简谐运动、简谐运动的表达式和图象

#### 1、机械振动：

物体（或物体的一部分）在某一中心位置两侧来回做往复运动，叫做机械振动。机械振动产生的条件是：①回复力不为零；②阻力很小。使振动物体回到平衡位置的力叫做回复力，回复力属于效果力，在具体问题中要注意分析什么力提供了回复力。

#### 2、简谐振动：

在机械振动中最简单的一种理想化的振动。对简谐振动可以从两个方面进行定义或理解：

①物体在跟位移大小成正比，并且总是指向平衡位置的回复力作用下的振动，叫做简谐振动。

②物体的振动参量，随时间按正弦或余弦规律变化的振动，叫做简谐振动，

#### 3、描述振动的物理量

研究振动除了要用到位移、速度、加速度、动能、势能等物理量以外，为适应振动特点还要引入一些新的物理量。

(1)位移  $x$ ：由平衡位置指向振动质点所在位置的有向线段叫做位移。位移是矢量，其最大值等于振幅。

(2)振幅  $A$ ：做机械振动的物体离开平衡位置的最大距离叫做振幅，振幅是标量，表示振动的强弱。振幅越大表示振动的机械能越大，做简谐振动物体的振幅大小不影响简谐振动的周期和频率。

(3)周期  $T$ ：振动物体完成一次全振动所经历的时间叫做周期。所谓全振动是指物体从某一位置开始计时，物体第一次以相同的速度方向回到初始位置，叫做完成了一次全振动。

(4)频率  $f$ ：振动物体单位时间内完成全振动的次数。

(5)角频率  $\omega$ ：角频率也叫角速度，即圆周运动物体单位时间转过的弧度数。引入这个参量来描述振动的原因是人们在研究质点做匀速圆周运动的射影的运动规律时，发现质点射影做的是简谐振动。因此处理复杂的简谐振动问题时，可以将其转化为匀速圆周运动的射影进行处理，这种方法高考大纲不要求掌握。

周期、频率、角频率的关系是： $T = \frac{1}{f}$ ， $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 。

(6)相位  $\varphi$ ：表示振动步调的物理量。

#### 4、研究简谐振动规律的几个思路：

(1)用动力学方法研究，受力特征：回复力  $F = -kx$ ；加速度，简谐振动是一种变加速运动。在平衡位置时速度最大，加速度为零；在最大位移处，速度为零，加速度最大。

(2)用运动学方法研究：简谐振动的速度、加速度、位移都随时间作正弦或余弦规律的变化，这种用正弦或余弦表示的公式法在高中阶段不要求学生掌握。

(3)用图象法研究：熟练掌握用位移时间图象来研究简谐振动有关特征是本章学习的重点之一。

(4)从能量角度进行研究：简谐振动过程，系统动能和势能相互转化，总机械能守恒，振动能量和振幅有关。

#### 5、简谐运动的表达式

$x = A \sin(\omega t + \varphi_0) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$  振幅  $A$ ，周期  $T$ ，相位  $\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0$ ，初相  $\varphi_0$

## 6. 简谐运动图象描述振动的物理量

### 1. 直接描述量:

①振幅  $A$ ; ②周期  $T$ ; ③任意时刻的位移  $x$ .

### 2. 间接描述量:

①频率  $f$ :  $f = \frac{1}{T}$  ②角速度  $\omega$ :  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

③  $x-t$  图线上一点的切线的斜率等于  $v$

### 3. 从振动图象中的 $x$ 分析有关物理量 ( $v, a, F$ )

简谐运动的特点是周期性。在回复力的作用下, 物体的运动在空间上有往复性, 即在平衡位置附近做往复的变加速(或变减速)运动; 在时间上有周期性, 即每经过一定时间, 运动就要重复一次。我们能否利用振动图象来判断质点  $x, F, v, a$  的变化, 它们变化的周期虽相等, 但变化步调不同, 只有真正理解振动图象的物理意义, 才能进一步判断质点的运动情况。小结: ①简谐运动的图象是正弦或余弦曲线, 与运动轨迹不同。②简谐运动图象反应了物体位移随时间变化的关系。③根据简谐运动图象可以知道物体的振幅、周期、任一时刻的位移。

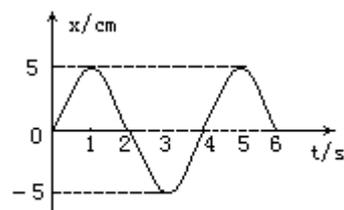
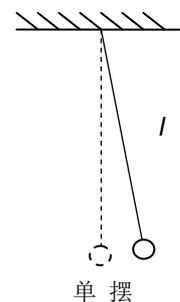


图 5

## 二、单摆的周期与摆长的关系 (实验、探究)

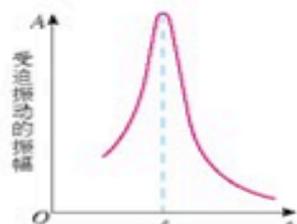
$$\text{单摆周期公式: } T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

上述公式是高考要考查的重点内容之一。对周期公式的理解和应用注意以下几个问题: ①简谐振动物体的周期和频率是由振动系统本身的条件决定的。②单摆周期公式中的  $l$  是指摆动圆弧的圆心到摆球重心的距离, 一般也叫等效摆长。单摆周期公式中的  $g$ , 由单摆所在的空间位置决定, 还由单摆系统的运动状态决定。所以  $g$  也叫等效重力加速度。由可知, 地球表面不同位置、不同高度, 不同星球表面  $g$  值都不相同, 因此应求出单摆所在地的等效  $g$  值代入公式, 即  $g$  不一定等于  $9.8\text{m/s}^2$ 。单摆系统运动状态不同  $g$  值也不相同。例如单摆在向上加速发射的航天飞机内, 设加速度为  $a$ , 此时摆球处于超重状态, 沿圆弧切线的回复力变大, 摆球质量不变, 则重力加速度等效值  $g' = g + a$ 。再比如在轨道上运行的航天飞机内的单摆、摆球完全失重, 回复力为零, 则重力加速度等效值  $g' = 0$ , 周期无穷大, 即单摆不摆了。 $g$  还由单摆所处的物理环境决定。如带小电球做成的单摆在竖直方向的匀强电场中, 回复力应是重力和竖直的电场合力在圆弧切向方向的分力, 所以也有  $-g$  的问题。一般情况下  $g$  值等于摆球静止在平衡位置时, 摆线张力与摆球质量的比值。



## 三、受迫振动和共振

物体在周期性外力作用下的振动叫受迫振动。受迫振动的规律是: 物体做受迫振动的频率等于策动力的频率, 而跟物体固有频率无关。当策动力的频率跟物体固有频率相等时, 受迫振动的振幅最大, 这种现象叫共振。共振是受迫振动的一种特殊情况。



共振曲线, 当驱动力的频率等于系统的固有频率时, 振动的振幅最大

## 第十二章 机械波

### 一、机械波 横波和纵波 横波的图象

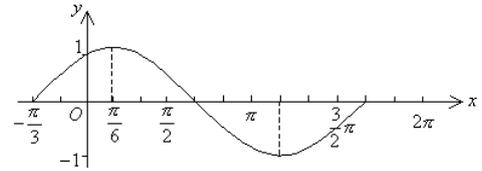
1、机械波: 机械振动在介质中的传播过程叫机械波, 机械波产生的条件有两个: 一是要有做机械振动的物体作为波源, 二是要有能够传播机械振动的介质。

2、横波和纵波: 质点的振动方向与波的传播方向垂直的叫横波。质点的振动方向与波

的传播方向在同一直线上的叫纵波。气体、液体、固体都能传播纵波，但气体和液体不能传播横波，声波在空气中是纵波，声波的频率从 20 到 2 万赫兹。

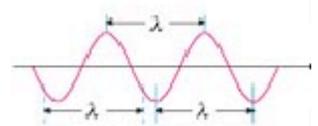
3、机械波的特点：(1)每一质点都以它的平衡位置为中心做简谐振动；后一质点的振动总是落后于带动它的前一质点的振动。(2)波只是传播运动形式（振动）和振动能量，介质并不随波迁移。

4、横波的图象：用横坐标  $x$  表示在波的传播方向上各质点的平衡位置，纵坐标  $y$  表示某一时刻各质点偏离平衡位置的位移。简谐波的图象是正弦曲线，也叫正弦波。简谐波的波形曲线与质点的振动图象都是正弦曲线，但他们的意义是不同的。波形曲线表示介质中的“各个质点”在“某一时刻”的位移，振动图象则表示介质中“某个质点”在“各个时刻”的位移。



### 二、描述机械波的物理量——波长、波速和频率（周期）的关系

(1)波长  $\lambda$ ：两个相邻的、在振动过程中对平衡位置的位移总是相等的质点间的距离叫波长。振动在一个周期内在介质中传播的距离等于波长。



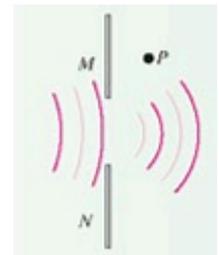
(2)频率  $f$ ：波的频率由波源决定，在任何介质中频率保持不变。

(3)波速  $v$ ：单位时间内振动向外传播的距离。波速的大小由介质决定。

波速与波长和频率的关系： $v = \frac{\lambda}{T}$ ,  $v = \lambda f$ .

### 三、波的干涉和衍射

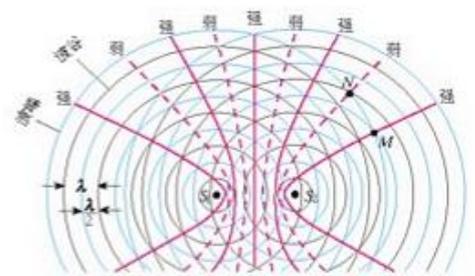
衍射：波绕过障碍物或小孔继续传播的现象。产生显著衍射的条件是障碍物或孔的尺寸比波长小或与波长相差不多。



波的衍射

干涉：频率相同的两列波叠加，使某些区域的振动加强，使某些区域振动减弱，并且振动加强和振动减弱区域相互间隔的现象。产生稳定干涉现象的条件是：两列波的频率相同，相差恒定。

稳定的干涉现象中，振动加强区和减弱区的空间位置是不变的，加强区的振幅等于两列波振幅之和，减弱区振幅等于两列波振幅之差。判断加强与减弱区域的方法一般有两种：一是画峰谷波形图，峰峰或谷谷相遇增强，峰谷相遇减弱。二是相干波源振动相同时，某点到二波源程波差是波长整数倍时振动增强，是半波长奇数倍时振动减弱。干涉和衍射是波所特有的现象。



波的干涉

### 四、多普勒效应

1.多普勒效应：由于波源和观察者之间有相对运动，使观察者感到频率变化的现象叫做多普勒效应。是奥地利物理学家多普勒在 1842 年发现的。

2.多普勒效应的成因：声源完成一次全振动，向外发出一个波长的波，频率表示单位时间内完成的全振动的次数，因此波源的频率等于单位时间内波源发出的完全波的个数，而观察者听到的声音的音调，是由观察者接受到的频率，即单位时间接收到的完全波的个数决定的。

3.多普勒效应是波动过程共有的特征，不仅机械波，电磁波和光波也会发生多普勒效应。

4.多普勒效应的应用：①现代医学上使用的胎心检测器、血流测定仪等有许多都是根据这种原理制成。②根据汽笛声判断火车的运动方向和快慢，以炮弹飞行的尖叫声判断炮弹的飞行方向等。③红移现象：在 20 世纪初，科学家们发现许多星系的谱线有“红移现象”，所谓“红移现象”，就是整个光谱结构向光谱红色的一端偏移，这种现象可以用多普勒效应加以解释：由于星系远离我们运动，接收到的星光的频率变小，谱线就向频率变小（即波长

变大) 的红端移动。科学家从红移的大小还可以算出这种远离运动的速度。这种现象, 是证明宇宙在膨胀的一个有力证据。

### 第十三章 光

#### 一、光的折射定律 折射率

光的折射定律, 也叫斯涅耳定律: 入射角的正弦跟折射角的正弦成正比。如果用  $n_{12}$  来表示这个比例常数, 就有  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n_{12}$

折射率: 光从一种介质射入另一种介质时, 虽然入射角的正弦跟折射角的正弦之比为一常数  $n$ , 但是对不同的介质来说, 这个常数  $n$  是不同的。这个常数  $n$  跟介质有关系, 是一个反映介质的光学性质的物理量, 我们把它叫做介质的折射率。

定义式:  $n_{12} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$  ( $\theta_1$  是光线在真空中与法线之间的夹角,  $\theta_2$  是光线在介质中与

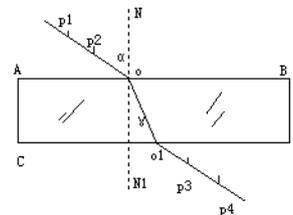
法线之间的夹角。)

光从真空射入某种介质时的折射率, 叫做该种介质的绝对折射率, 也简称为某种介质的折射率。

#### 二、测定玻璃的折射率 (实验、探究)

实验原理: 如图所示, 入射光线  $AO$  由空气射入玻璃砖, 经  $O_1$  后由  $O_2B$  方向射出。作出法线  $MN$ , 则折射率  $n = \sin \alpha / \sin \gamma$

注意事项: 手拿玻璃砖时, 不准触摸光洁的光学面, 只能接触毛面或棱, 严禁把玻璃砖当尺画玻璃砖的界面; 实验过程中, 玻璃砖与白纸的相对位置不能改变; 大头针应垂直地插在白纸上, 且玻璃砖每一侧的两个大头针距离应大一些, 以减小确定光路方向造成的误差; 入射角应适当大一些, 以减少测量角度的误差。

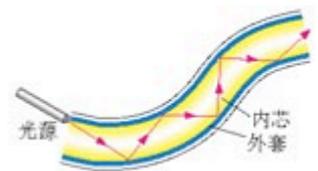


#### 三、光的全反射 光导纤维

全反射现象: 当光从光密介质进入光疏介质时, 折射角大于入射角。当入射角增大到某一角度时, 折射角等于  $90^\circ$ , 此时, 折射光完全消失入射光全部反回原来的介质中, 这种现象叫做全反射。

临界角: ①定义: 光从光密介质射向光疏介质时, 折射角等于  $90^\circ$  时的入射角, 叫做临界角。②临界角的计算:  $\sin C = \frac{1}{n}$ 。

光导纤维: 当光线射到光导纤维的端面上时, 光线就折射进入光导纤维内, 经内芯与外套的界面发生多次全反射后, 从光导纤维的另一端面射出, 而不从外套散逸, 故光能损耗极小。



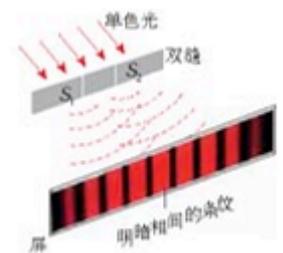
#### 四、光的干涉、衍射和偏振

##### 光的干涉

(1) 产生稳定干涉的条件: 只有两列光波的频率相同, 位相差恒定, 振动方向一致的相干光源, 才能产生光的干涉。由两个普通独立光源发出的光, 不可能具有相同的频率, 更不可能存在固定的相差, 因此, 不能产生干涉现象。

(2) 条纹宽度 (或条纹间距) 相邻两条亮 (暗) 条纹的间距  $\Delta x$  为:

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$$



上式说明,两缝间距离越小、缝到屏的距离越大,光波的波长越大,条纹的宽度就越大。当实验装置一定,红光的条纹间距最大,紫光的条纹间距最小。这表明不同色光的波长不同,红光最长,紫光最短。

几个问题:

①在双缝干涉实验中,如果用红色滤光片遮住一个狭缝 $S_1$ ,再用绿滤光片遮住另一个狭缝 $S_2$ ,当用白光入射时,屏上是否会产生双缝干涉图样?

这时在屏上将会出现红光单缝衍射光矢量和绿光单缝衍射光矢量振动的叠加。由于红光和绿光的频率不同,因此它们在屏上叠加时不能产生干涉,此时屏上将出现混合色二单缝衍射图样。

②在双缝干涉实验中,如果遮闭其中一条缝,则在屏上出现的条纹有何变化?原来亮的地方会不会变暗?

如果遮住双缝其中的一条缝,在屏上将由双缝干涉条纹演变为单缝衍射条纹,与干涉条纹相比,这时单缝衍射条纹亮度要减弱,而且明纹的宽度要增大,但由于干涉是受衍射调制的,所以原来亮的地方不会变暗。

③双缝干涉的亮条纹或暗条纹是两列光波在光屏处叠加后加强或抵消而产生的,这是否违反了能量守恒定律?

暗条纹处的光能量几乎是零,表明两列光波叠加,彼此相互抵消,这是按照光的传播规律,暗条纹处是没有光能量传到该处的原因,不是光能量损耗了或转变成了其它形式的能量。同样,亮条纹处的光能量比较强,光能量增加,也不是光的干涉可以产生能量,而是按照波的传播规律到达该处的光能量比较集中。双缝干涉实验不违反能量守恒定律。

### (3) 薄膜干涉及其应用

#### (1) 原理

##### ①干涉法检查精密部件的表面

取一个透明的标准样板,放在待检查的部件表面并在一端垫一薄片,使样板的平面与被检查的平面间形成一个楔形空气膜,用单色光从上面照射,入射光从空气层的上下表面反射出两列光形成相干光,从反射光中就会看到干涉条纹,如图 2-3 甲所示。

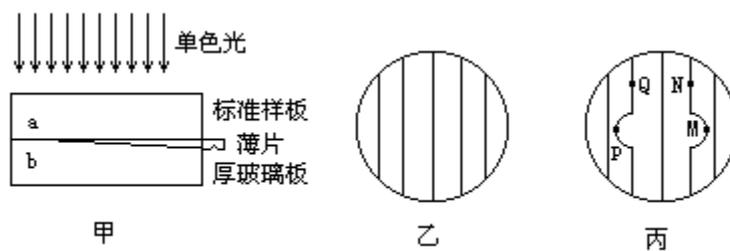
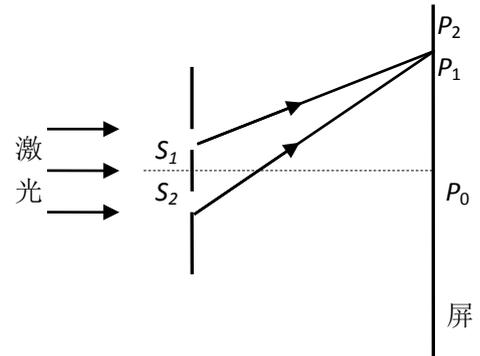


图 2-3

如果被检表面是平的,那么空气层厚度相同的各点就位于一条直线上,产生的干涉条纹就是平行的(如图 2-3 乙);如果观察到的干涉条纹如图 2-3 丙所示, A、B 处的凹凸情况可以这样分析:由丙图知, P、Q 两点位于同一条亮纹上,故甲图中与 P、Q 对应的位置空气层厚度相同。由于 Q 位于 P 的右方(即远离楔尖),如果被检表面是平的, Q 处厚度应该比 P 处大,所以,只有当 A 处凹陷时才能使 P 与 Q 处深度相同。同理可以判断与 M 对应的 B 处为凸起。

##### ②增透膜

是在透镜、棱镜等光学元件表面涂的一层氟化镁薄膜。当薄膜的两个表面上反射光的路



程差等于半个波长时，反射回来的光抵消。从而增强了透射光的强度。显然增透膜的厚度应该等于光在该介质中波长的  $1/4$ 。

由能量守恒可知，入射光总强度=反射光总强度+透射光总强度。光的强度由光的振幅决定。

当满足增透膜厚度  $d = \frac{\lambda_{介}}{4}$  时，两束反射光恰好实现波峰与波谷相叠加，实现干涉相消，

使其合振幅接近于零，即反射光的总强度接近于零，从总效果上看，相当于光几乎不发生反射而透过薄膜，因而大大减少了光的反射损失，增强了透射光的强度。

增透膜只对人眼或感光胶片上最敏感的绿光起增透作用。当白光照到(垂直)增透膜上，绿光产生相消干涉，反射光中绿光的强度几乎是零。这时其他波长的光(如红光和紫光)并没有被完全抵消。因此，增透膜呈绿光的互补色——淡紫色。

光的衍射

(1)现象:

①单缝衍射 a) 单色光入射单缝时，出现明暗相同不等距条纹，中间亮条纹较宽，较亮两边亮 条纹较窄、较暗；b) 白光入射单缝时，出现彩色条纹。

② 圆孔衍射：光入射微小的圆孔时，出现明暗相间不等距的圆形条纹

③ 泊松亮斑 光入射圆屏时，在圆屏后的影区内有一亮斑

(2)光发生衍射的条件:障碍物或孔的尺寸与光波波长相差不多，甚至此光波波长还小时，出现明显的衍射现象

光的偏振

自然光：从普通光源直接发生的天然光是无数偏振光的无规则集合，所以直接观察时不能发现光强偏于一定方向.这种沿着各个方向振动的光波的强度都相同的光叫自然光；太阳、电灯等普通光源发出的光，包含着在垂直于传播方向的平面内沿一切方向振动的光，而且沿着各个方向振动的光波强度都相同，这种光都是自然光.

自然光通过第一个偏振片  $P_1$  (叫起偏器)后，相当于被一个“狭缝”卡了一下，只有振动方向跟“狭缝”方向平行的光波才能通过.自然光通过偏振片  $P_1$  后虽然变成了偏振光，但由于自然光中沿各个方向振动的光波强度都相同，所以不论晶片转到什么方向，都会有相同强度的光透射过来.再通过第二个偏振片  $P_2$  (叫检偏器)去观察就不同了；不论旋转哪个偏振片，两偏振片透振方向平行时，透射光最强，两偏振片的透振方向垂直时，透射光最弱.

光的偏振现象在技术中有很多应用.例如拍摄水下的景物或展览橱窗中的陈列品的照片时，由于水面或玻璃会反射出很强的反射光，使得水面下的景物和橱窗中的陈列品看不清楚，摄出的照片也不清楚.如果在照相机镜头上加一个偏振片，使偏振片的透振方向与反射光的偏振方向垂直，就可以把这些反射光滤掉，而摄得清晰的照片；此外，还有立体电影、消除车灯眩光等等.

五、激光的特性及应用

激光，是“受激辐射光放大”的简称，它是用人工的方法产生的一种特殊的光.激光是20世纪的一项重要发明，由于它有着普通光无法比拟的一些特性，已经在广泛的领域得到应用.产生激光的装置称为激光器，它主要由三部分组成，即工作物质、抽运系统和光学谐振腔.

激光的特性:

①平行度非常好.激光束的光线平行度极好，从地面上发射的一束极细的激光束，到达月球表面时，也只发散成直径1m多的光斑，因此激光在地面上传播时，可以看成是不发散的.

②高度的相干性.激光器发射的激光，都集中在一个极窄的频率范围内，由于光的颜色

是由频率决定的，因此激光器是最理想的单色光源。由于激光束的高度平行性及极强的单色性，因此激光是最好的相干光，用激光器作光源观察光的干涉和衍射现象，都能取得较好的效果。

③亮度高。所谓亮度，是指垂直于光线平面内单位面积上的发光功率，自然光源亮度最高的是太阳，而目前的高功率激光器，亮度可达太阳的1万倍。

## 第十四章 电磁波

### 一、麦克斯韦电磁场理论

#### 1、电磁场理论的核心之一：变化的磁场产生电场

在变化的磁场中所产生的电场的电场线是闭合的(涡旋电场)

◎理解：① 均匀变化的磁场产生稳定电场

② 非均匀变化的磁场产生变化电场

#### 2、电磁场理论的核心之二：变化的电场产生磁场

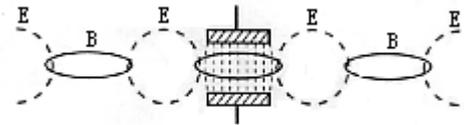
麦克斯韦假设：变化的电场就像导线中的电流一样，会在空间产生磁场，即变化的电场产生磁场

◎理解：①均匀变化的电场产生稳定磁场；②非均匀变化的电场产生变化磁场

### 二、电磁波

1、电磁场：如果在空间某区域中有周期性变化的电场，那么这个变化的电场就在它周围空间产生周期性变化的磁场；这个变化的磁场又在它周围空间产生新的周期性变化的电场，变化的电场和变化的磁场是相互联系着的，形成不可分割的统一体，这就是电磁场

这个过程可以用下图表达。



2、电磁波：电磁场由发生区域向远处的传播就是电磁波。

3、电磁波的特点：(1) 电磁波是横波，电场强度  $E$  和磁感应强度  $B$  按正弦规律变化，二者相互垂直，均与波的传播方向垂。(2) 电磁波可以在真空中传播，速度和光速相同。(3) 电磁波具有波的特性

### 三、赫兹的电火花

赫兹观察到了电磁波的反射、折射、干涉、偏振和衍射等现象，他还测量出电磁波和光有相同的速度。这样赫兹证实了麦克斯韦关于光的电磁理论，赫兹在人类历史上首先捕捉到了电磁波。

### 电磁波（谱）及其应用

(1)麦克斯韦计算出电磁波传播速度与光速相同，说明光具有电磁本质，提出光就是一种电磁波。

#### (2)电磁波谱

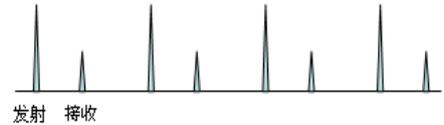
电磁波谱	无线电波	红外线	可见光	紫外线	X射线	$\gamma$ 射线
产生机理	在振荡电路中，自由电子作周期性运动产生	原子的外层电子受到激发产生的			原子的内层电子受到激发后产生的	原子核受到激发后产生的

#### (3)电磁波的应用：

1、电视：电视信号是电视台先把影像信号转变为可以发射的电信号，发射出去后被接收的电信号通过还原，被还原为光的图象重现荧光屏。电子束把一幅图象按照各点的明暗情况，逐点变为强弱不同的信号电流，通过天线把带有图象信号的电磁波发射出去。

2、雷达工作原理：利用发射与接收之间的时间差，计算出物体的距离。

3、手机：在待机状态下，手机不断的发射电磁波，与周围环境交换信息。手机在建立连接的过程中发射的电磁波特别强。



电磁波与机械波的比较：

共同点：都能产生干涉和衍射现象；它们波动的频率都取决于波源的频率；在不同介质中传播，频率都不变。

不同点：机械波的传播一定需要介质，其波速与介质的性质有关，与波的频率无关。而电磁波本身就是一种物质，它可以在真空中传播，也可以在介质中传播。电磁波在真空中传播的速度均为  $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，在介质中传播时，波速和波长不仅与介质性质有关，还与频率有关。

不同电磁波产生的机理：无线电波是振荡电路中自由电子作周期性的运动产生的；红外线、可见光、紫外线是原子外层电子受激发产生的；伦琴射线是原子内层电子受激发产生的； $\gamma$  射线是原子核受激发产生的。

频率(波长)不同的电磁波表现出作用不同：红外线主要作用是热作用，可以利用红外线来加热物体和进行红外线遥感；紫外线主要作用是化学作用，可用来杀菌和消毒；伦琴射线有较强的穿透本领，利用其穿透本领与物质的密度有关，进行对人体的透视和检查部件的缺陷； $\gamma$  射线的穿透本领更大，在工业和医学等领域有广泛的应用，如探伤，测厚或用  $\gamma$  刀进行手术。

## 第十五章 相对论简介

一、狭义相对论的基本假设 狭义相对论时空观与经典时空观的区别

爱因斯坦狭义相对性原理的两个基本假设：

(1)狭义相对性原理：在不同的惯性参考系中，一切物理定律都是相同的。

(2)光速不变原理：在不同的惯性参考系中，真空中的光速都是相同的。即光速与光源、观测者间的相对运动没有关系。

相对论的时空观：

经典物理学的时空观（牛顿物理学的绝对时空观）：时间和空间是脱离物质而存在的，是绝对的，空间与时间之间没有任何联系。

相对论的时空观（爱因斯坦相对论的相对时空观）：空间和时间都与物质的运动状态有关。

相对论的时空观更具有普遍性，但是经典物理学作为相对论的特例，在宏观低速运动时仍将发挥作用。

二、同时的相对性、长度的相对性、质能关系

时间和空间的相对性(时长尺短)

1. 同时的相对性：指两个事件，在一个惯性系中观察是同时的，但在另外一个惯性系中观察却不再是同时的。

2. 长度的相对性：指相对于观察者运动的物体，在其运动方向的长度，总是小于物体静止时的长度。而在垂直于运动方向上，其长度保持不变。

长度收缩公式：
$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

3. 时间间隔的相对性：指某两个事件在不同的惯性系中观察，它们发生的时间间隔是

不同的。

$$\text{公式表示: } \Delta t = \frac{\Delta \tau}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

式中： $\Delta \tau$  表示与物体相对静止的观察者测得的时间间隔， $\Delta t$  表示与物体相对运动的观察者测得的时间间隔， $v$  表示观察者与物体之间的相对速度。

意义：动钟变慢（或称时间膨胀）。

实验验证： $\mu$  子的存在。

#### 4. 质能方程

$$\text{公式: } E = mc^2 \quad (\text{或 } \Delta E = \Delta m \cdot c^2)$$

式中： $m$  是物体的质量、 $E$  是物体具有的能量

意义：①质量为  $m$  的物体，对应（不能说“具有”）的能量为  $mc^2$ 。

②当质量减少（增加） $\Delta m$  时，就要释放出（吸收） $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$  的能量。

爱因斯坦质能方程从理论上预言了核能释放及原子能利用和原子弹研制的可能性。

## 高中物理选修 3-5 知识点

### 第十六章 动量守恒定律

#### 一、动量 动量守恒定律

1、动量：可以从两个侧面对动量进行定义或解释：①物体的质量跟其速度的乘积，叫做物体的动量。②动量是物体机械运动的一种量度。

动量的表达式  $P = mv$ 。单位是  $kg \cdot m/s$ 。动量是矢量，其方向就是瞬时速度的方向。因为速度是相对的，所以动量也是相对的。

2、动量守恒定律：当系统不受外力作用或所受合外力为零，则系统的总动量守恒。动量守恒定律根据实际情况有多种表达式，一般常用等号左右分别表示系统作用前后的总动量。

运用动量守恒定律要注意以下几个问题：

①动量守恒定律一般是针对物体系的，对单个物体谈动量守恒没有意义。

②对于某些特定的问题，例如碰撞、爆炸等，系统在一个非常短的时间内，系统内部各物体相互作用力，远比它们所受到外界作用力大，就可以把这些物体看作一个所受合外力为零的系统处理，在这一短暂时间内遵循动量守恒定律。

③计算动量时要涉及速度，这时一个物体系内各物体的速度必须是相对于同一惯性参照系的，一般取地面为参照物。

④动量是矢量，因此“系统总动量”是指系统中所有物体动量的矢量和，而不是代数和。

⑤动量守恒定律也可以应用于分动量守恒的情况。有时虽然系统所受合外力不等于零，但只要在某一方面的合外力分量为零，那么在这个方向上系统总动量的分量是守恒的。

⑥动量守恒定律有广泛的应用范围。只要系统不受外力或所受的合外力为零，那么系统内部各物体的相互作用，不论是万有引力、弹力、摩擦力，还是电力、磁力，动量守恒定律都适用。系统内部各物体相互作用时，不论具有相同或相反的运动方向；在相互作用时不论是否直接接触；在相互作用后不论是粘在一起，

还是分裂成碎块，动量守恒定律也都适用。

### 3、动量与动能、动量守恒定律与机械能守恒定律的比较。

动量与动能的比较：

①动量是矢量，动能是标量。

②动量是用来描述机械运动互相转移的物理量而动能往往用来描述机械运动与其他运动(比如热、光、电等)相互转化的物理量。比如完全非弹性碰撞过程研究机械运动转移——速度的变化可以用动量守恒，若要研究碰撞过程改变成内能的机械能则要用动能为损失去计算了。所以动量和动能是从不同侧面反映和描述机械运动的物理量。

动量守恒定律与机械能守恒定律比较：前者是矢量式，有广泛的适用范围，而后者是标量式其适用范围则要窄得多。这些区别在使用中一定要注意。

4、碰撞：两个物体相互作用时间极短，作用力又很大，其他作用相对很小，运动状态发生显著化的现象叫做碰撞。

以物体间碰撞形式区分，可以分为“对心碰撞”（正碰），而物体碰前速度沿它们质心的连线；“非对心碰撞”——中学阶段不研究。

以物体碰撞前后两物体总动能是否变化区分，可以分为：“弹性碰撞”。碰撞前后物体系统总动能守恒；“非弹性碰撞”，完全非弹性碰撞是非弹性碰撞的特例，这种碰撞，物体在相碰后粘合在一起，动能损失最大。

各类碰撞都遵守动量守恒定律和能量守恒定律，不过在非弹性碰撞中，有一部分动能转变成了其他形式能量，因此动能不守恒了。

## 二、验证动量守恒定律（实验、探究）

【实验目的】研究在弹性碰撞的过程中，相互作用的物体系统动量守恒。

【实验原理】利用图 2-1 的装置验证碰撞中的动量

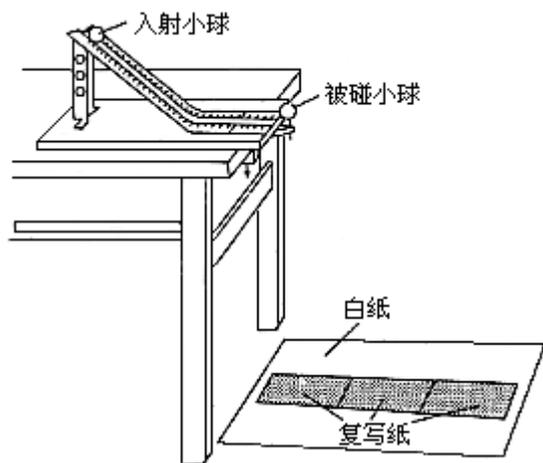


图 2-1

守恒，让一个质量较大的球从斜槽上滚下来，跟放在斜槽末端上的另一个质量较小的球发生碰撞，两球均做平抛运动。由于下落高度相同，从而导致飞行时间相等，我们用它们平抛射程的大小代替其速度。小球的质量可以测出，速度也可间接地知道，如满足动量守恒式  $m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ ；则可验证动量守恒定律。

进一步分析可以知道，如果一个质量为  $m_1$ ，速度为  $v_1$  的球与另一个质量为  $m_2$ ，速度为  $v_2$  的球相碰撞，碰撞后两球的速度分别为  $v_1'$  和  $v_2'$ ；则由动量守恒定律有：

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

**【实验器材】** 两个小球（大小相等，质量不等）；斜槽；重锤线；白纸；复写纸；天平；刻度尺；圆规。

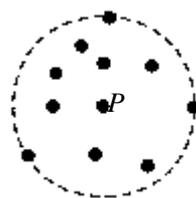


图 2-2

**【实验步骤】**

1. 用天平分别称出两个小球的质量  $m_1$  和  $m_2$ ；
2. 按图 2-1 安装好斜槽，注意使其末端切线水平，并在 地面适当的位置放上白纸和复写纸，并在白纸上记下重锤线所指的位置  $O$  点。
3. 首先在不放被碰小球的前提下，让入射小球从斜槽上同一位置从静止滚下，重复数次，便可在复写纸上打出多个点，用圆规作出尽可能小的圆，将这些点包括在圆内，则圆心就是不发生碰撞时入射小球的平均位置  $P$  点如图 2-2。
4. 将被碰小球放在斜槽末端上，使入射小球与被碰小球能发生正碰；
5. 让入射小球由某一定高度从静止开始滚下，重复数次，使两球相碰，按照步骤 (3) 的办法求出入球落地点的平均位置  $M$  和被碰小球落地点的平均位置  $N$ ；
6. 过  $ON$  在纸上做一条直线，测出  $OM$ 、 $OP$ 、 $ON$  的长度；
7. 将数据代入下列公式，验证公式两边数值是否相等（在实验误差允许的范围内）：

$$m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$$

**【注意事项】**

1. “水平”和“正碰”是操作中应尽量予以满足的前提条件。
2. 测定两球速度的方法，是以它们做平抛运动的水平位移代表相应的速度。
3. 斜槽末端必须水平，检验方法是将小球放在平轨道上任何位置，看其能否都保

持静止状态.

4. 入射球的质量应大于被碰球的质量.

5. 入射球每次都必须从斜槽上同一位置由静止开始滚下. 方法是在斜槽上的适当高度处固定一档板, 小球靠着档板后放手释放小球.

6. 实验过程中, 实验桌、斜槽、记录的白纸的位置要始终保持不变.

7.  $m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$  式中相同的量取相同的单位即可.

### 【误差分析】

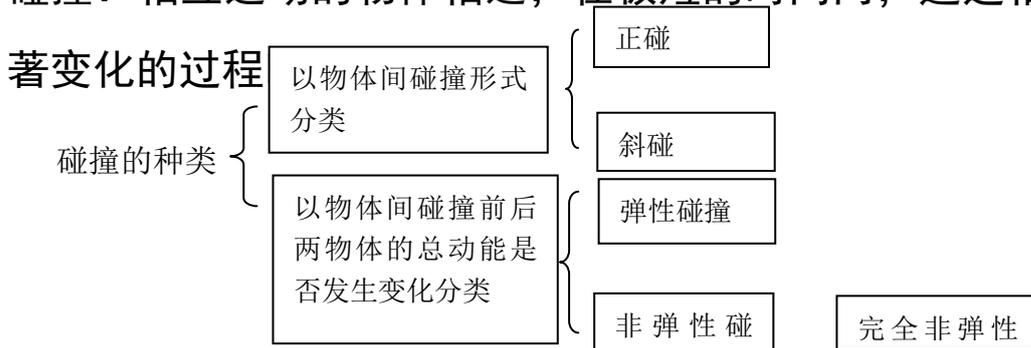
误差来源于实验操作中, 两个小球没有达到水平正碰, 一是斜槽不够水平, 二是两球球心不在同一水平面上, 给实验带来误差. 每次静止释放入射小球的释放点越高, 两球相碰时作用力就越大, 动量守恒的误差就越小. 应进行多次碰撞, 落点取平均位置来确定, 以减小偶然误差.

下列一些原因可能使实验产生误差:

1. 若两球不能正碰, 则误差较大;
2. 斜槽末端若不水平, 则得不到准确的平抛运动而造成误差;
3.  $O$ 、 $P$ 、 $M$ 、 $N$ 各点定位不准确带来了误差;
4. 测量和作图有偏差;
5. 仪器和实验操作的重复性不好, 使得每次做实验时不是统一标准.

## 三、弹性碰撞和非弹性碰撞

碰撞: 相互运动的物体相遇, 在极短的时间内, 通过相互作用, 运动状态发生显著变化的过程



(1)完全弹性碰撞：在弹性力的作用下，系统内只发生机械能的转移，无机械能的损失，称完全弹性碰撞。

(2)非弹性碰撞：非弹性碰撞：在非弹性力的作用下，部分机械能转化为物体的内能，机械能有了损失，称非弹性碰撞。

(3)完全非弹性碰撞：在完全非弹性力的作用下，机械能损失最大（转化为内能等），称完全非弹性碰撞。碰撞物体粘合在一起，具有相同的速度。

## 第十七章 波粒二象性

### 一、量子论

1. 创立标志：1900 年普朗克在德国的《物理年刊》上发表《论正常光谱能量分布定律》的论文，标志着量子论的诞生。

2. 量子论的主要内容：

①普朗克认为物质的辐射能量并不是无限可分的，其最小的、不可分的能量单元即“能量子”或称“量子”，也就是说组成能量的单元是量子。

②物质的辐射能量不是连续的，而是以量子的整数倍跳跃式变化的。

3. 量子论的发展

①1905 年，爱因斯坦将量子概念推广到光的传播中，提出了光量子论。

②1913 年，英国物理学家玻尔把量子概念推广到原子内部的能量状态，提出了一种量子化的原子结构模型，丰富了量子论。

③到 1925 年左右，量子力学最终建立。

## 二、黑体和黑体辐射

### 1. 热辐射现象

任何物体在任何温度下都要发射各种波长的电磁波，并且其辐射能量的大小及辐射能量按波长的分布都与温度有关。

这种由于物质中的分子、原子受到热激发而发射电磁波的现象称为热辐射。

①. 物体在任何温度下都会辐射能量。

②. 物体既会辐射能量，也会吸收能量。物体在某个频率范围内发射电磁波能力越大，则它吸收该频率范围内电磁波能力也越大。

辐射和吸收的能量恰相等时称为热平衡。此时温度恒定不变。

实验表明：物体辐射能多少决定于物体的温度

( $T$ )、辐射的波长、时间的长短和发射的面积。

### 2. 黑体

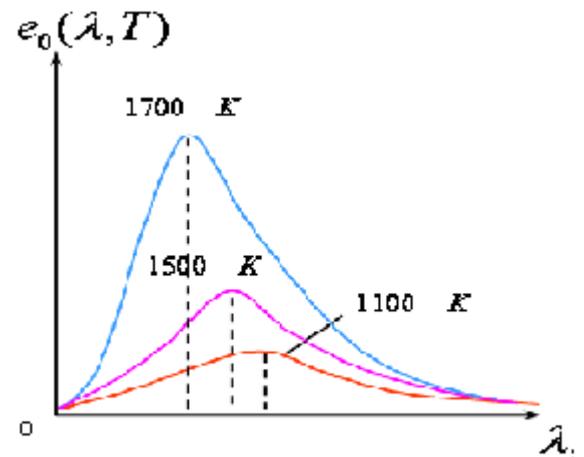
物体具有向四周辐射能量的本领，又有吸收外界辐射来的能量的本领。

黑体是指在任何温度下，全部吸收任何波长的辐射的物体。

### 3. 实验规律：

1) 随着温度的升高，黑体的辐射强度都有增加；

2) 随着温度的升高，辐射强度的极大值向波长较短方向移动。

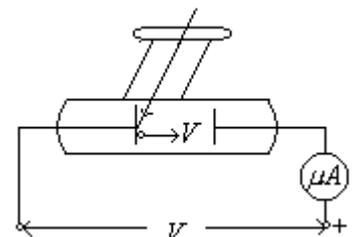


## 三、光电效应

### 1. 光电效应

(1) 光电效应在光（包括不可见光）的照射下，从物体发射出电子的现象称为光电效应。

(2) 光电效应的实验规律：装置：如右图。



①任何一种金属都有一个极限频率，入射光的频率必须大于这个极限频率才能发生光电效应，低于极限频率的光不能发生光电效应。

②光电子的最大初动能与入射光的强度无关，光随入射光频率的增大而增大。

③大于极限频率的光照射金属时，光电流强度（反映单位时间发射出的光电子数的多少），与入射光强度成正比。

④金属受到光照，光电子的发射一般不超过  $10^{-9}$  秒。

## 2、波动说在光电效应上遇到的困难

波动说认为：光的能量即光的强度是由光波的振幅决定的与光的频率无关。所以波动说对解释上述实验规律中的①②④条都遇到困难

## 3、光子说

(1)量子论：1900年德国物理学家普朗克提出：电磁波的发射和吸收是不连续的，而是一份一份的，每一份电磁波的能量  $\varepsilon = h\nu$ 。

(2)光子论：1905年爱因斯坦提出：空间传播的光也是不连续的，而是一份一份的，每一份称为一个光子，光子具有的能量与光的频率成正比。即： $\varepsilon = h\nu$ 。

其中  $\nu$  是电磁波的频率， $h$  为普朗克恒量： $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

## 4、光子论对光电效应的解释

金属中的自由电子，获得光子后其动能增大，当动能大于脱出功时，电子即可脱离金属表面，入射光的频率越大，光子能量越大，电子获得的能量才能越大，飞出时最大初动能也越大。

5. 光电效应方程： $E_k = h\nu - W_0$

$E_k$  是光电子的最大初动能，当  $E_k = 0$  时， $\nu_c$  为极限频率， $\nu_c = \frac{W_0}{h}$ 。

## 四、光的波粒二象性 物质波 I

光既表现出波动性，又表现出粒子性

大量光子表现出的波动性强，少量光子表现出的粒子性强；频率高的光子表现出

的粒子性强，频率低的光子表现出的波动性强。

实物粒子也具有波动性，这种波称为**德布罗意波**，也叫**物质波**。满足下列关系：

$$\nu = \frac{\varepsilon}{h}, \quad \lambda = \frac{h}{P}$$

从光子的概念上看，光波是一种**概率波**。

## 第十八章 原子结构

### 一、原子核式结构模型 I

#### 1、电子的发现和汤姆生的原子模型：

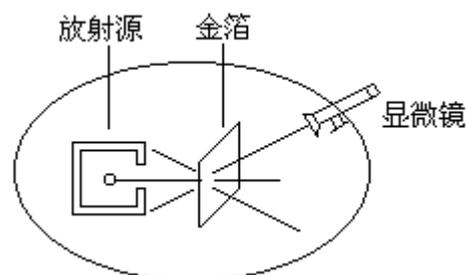
##### (1)电子的发现：

1897年英国物理学家汤姆生，对阴极射线进行了一系列研究，从而发现了电子。

电子的发现表明：原子存在精细结构，从而打破了原子不可再分的观念。

##### (2)汤姆生的原子模型：

1903年汤姆生设想原子是一个带电小球，它的正电荷均匀分布在整个球体内，而带负电的电子镶嵌在正电荷中。



#### 2、粒子散射实验和原子核结构模型

(1)粒子散射实验：1909年，卢瑟福及助手盖革和马斯顿完成的。

①装置：如右图。

②现象：

- 绝大多数粒子穿过金箔后，仍沿原来方向运动，不发生偏转。
- 有少数粒子发生较大角度的偏转
- 有极少数粒子的偏转角超过了 $90^\circ$ ，有的几乎达到 $180^\circ$ ，即被反向弹回。

##### (2)原子的核式结构模型：

由于粒子的质量是电子质量的七千多倍，所以电子不会使粒子运动方向发生明显的改变，只有原子中的正电荷才有可能对粒子的运动产生明显的影响。如果正电荷在原子中的分布，像汤姆生模型那样均匀分布，穿过金箔的粒子所受正电荷的作用力在各方向平衡，粒子运动将不发生明显改变。散射实验现象证明，原子

中正电荷不是均匀分布在原子中的。

1911年，卢瑟福通过对粒子散射实验的分析计算提出原子核式结构模型：在原子中心存在一个很小的核，称为原子核，原子核集中了原子所有正电荷和几乎全部的质量，带负电荷的电子在核外空间绕核旋转。

原子核半径约为  $10^{-15}\text{m}$ ，原子轨道半径约为  $10^{-10}\text{m}$ 。

### (3)光谱

①观察光谱的仪器，分光镜

②光谱的分类，产生和特征

		产 生	特 征
发 射 光 谱	连 续 光 谱	由炽热的固体、液体和高压气体发光产生的	由连续分布的，一切波长的光组成
	明 线 光 谱	由稀薄气体发光产生的	由不连续的一些亮线组成
吸 收 光 谱		高温物体发出的白光，通过物质后某些波长的光被吸收而产生的	在连续光谱的背景上，由一些不连续的暗线组成的光谱

③ 光谱分析：

一种元素，在高温下发出一些特点波长的光，在低温下，也吸收这些波长的光，所以把明线光谱中的亮线和吸收光谱中的暗线都称为该种元素的特征谱线，用来进行光谱分析。

## 二、氢原子光谱

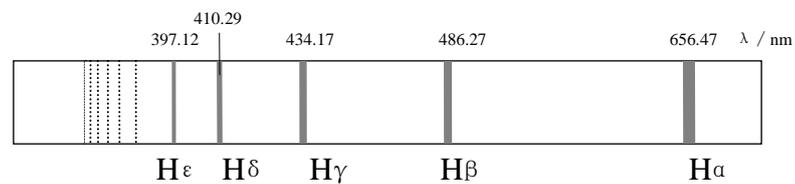
氢原子是最简单的原子，其光谱也最简单。

1885年，巴耳末对当时已知的，在可见光区的14条谱线作了分析，发现这些谱线的波长可以用一个公式表示： $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$   $n=3, 4, 5, \dots$

式中R叫做里德伯常量，这个公式成为巴尔末公式。

除了巴耳末系，后来发现的氢光谱在红外和紫外光区的其它谱线也都满足与巴耳末公式类似的关系式。

氢原子光谱是线状谱，具有分立特征，用经典的电磁理论无法解释。



### 三、原子的能级

#### 玻尔的原子模型

##### (1)原子核式结构模型与经典电磁理论的矛盾（两方面）

a 电子绕核作圆周运动是加速运动，按照经典理论，加速运动的电荷，要不断地向周围发射电磁波，电子的能量就要不断减少，最后电子要落到原子核上，这与原子通常是稳定的事实相矛盾。

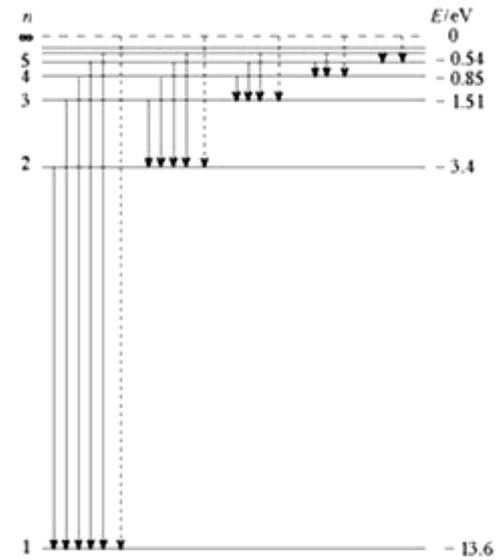
b 电子绕核旋转时辐射电磁波的频率应等于电子绕核旋转的频率，随着旋转轨道的连续变小，电子辐射的电磁波的频率也应是连续变化，因此按照这种推理原子光谱应是连续光谱，这种原子光谱是线状光谱事实相矛盾。

##### (2)玻尔理论

上述两个矛盾说明，经典电磁理论已不适用原子系统，玻尔从光谱学成就得到启发，利用普朗克的能量量了化的概念，提了三个假设：

①定态假设：原子只能处于一系列不连续的能量状态中，在这些状态中原子是稳定的，电子虽然做加速运动，但并不向外在辐射能量，这些状态叫定态。

②跃迁假设：原子从一个定态（设能量为  $E_m$ ）跃迁到另一定态（设能量为  $E_n$ ）时，它辐射或吸收一定频率的光子，光子的能量由这两个定态的能量差决定，即  $h\nu = E_m - E_n$



③轨道量子化假设，原子的不同能量状态，跟电子不同的运行轨道相对应。原子的能量不连续因而电子可能轨道的分布也是不连续的。

(3)玻尔的氢子模型：

①氢原子的能级公式和轨道半径公式：玻尔在三条假设基础上，利用经典电磁理论和牛顿力学，计算出氢原子核外电子的各条可能轨道的半径，以及电子在各条轨道上运行时原子的能量，（包括电子的动能和原子的热能。）

②氢原子的能级图：氢原子的各个定态的能量值，叫氢原子的能级。按能量的大小用图开像的表示出来即能级图。

其中  $n=1$  的定态称为基态。 $n=2$  以上的定态，称为激发态。

## 第十九章 原子核

### 一、原子核的组成

#### 原子核

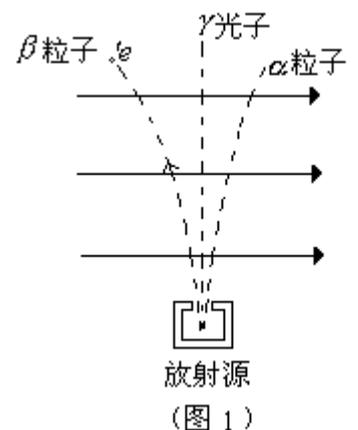
##### 1、天然放射现象

(1)天然放射现象的发现：1896年法国物理学，贝克勒耳发现铀或铀矿石能放射出某种人眼看不见的射线。这种射线可穿透黑纸而使照相底片感光。

放射性：物质能发射出上述射线的性质称放射性

放射性元素：具有放射性的元素称放射性元素

天然放射现象：某种元素自发地放射射线的现象，叫天然放射现象。这表明原子核存在精细结构，是可以再分的。



(2)放射线的成份和性质：用电场和磁场来研究放射性元素射出的射线，在电场中轨迹，如：图 1

射线种类	射线组成	性质	
		电离作用	贯穿能力
$\alpha$ 射线	氦核组成的粒子流	很强	很弱
$\beta$ 射线	高速电子流	较强	较强
$\gamma$ 射线	高频光子	很弱	很强

## 2、原子核的组成

原子核的组成：原子核是由质子和中子组成，质子和中子统称为核子

在原子核中有：质子数等于电荷数、核子数等于质量数、中子数等于质量数减电荷数

## 二、原子核的衰变 半衰期

(1)衰变：原子核由于放出某种粒子而转变成新核的变化称为衰变在原子核的衰变过程中，电荷数和质量数守恒

衰变类型	衰变方程	衰变规律
$\alpha$ 衰变	${}^M_Z X \rightarrow {}^{M-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He$	新核 $\left\{ \begin{array}{l} \text{电荷数减少} 2 \\ \text{质量数减少} 4 \end{array} \right.$
$\beta$ 衰变	${}^M_Z X \rightarrow {}^M_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e$	新核 $\left\{ \begin{array}{l} \text{电荷数增加} \\ \text{质量数不变} \end{array} \right.$

在  $\beta$  衰变中新核质子数多一个，而质量数不变是由于反映中有一个中子变为一个质子和一个电子，即： ${}_0^1 n \rightarrow {}_1^1 H + {}_{-1}^0 e$ .

$\gamma$  辐射伴随着  $\alpha$  衰变和  $\beta$  衰变产生，这时放射性物质发出的射线中就会同时具有

$\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 三种射线。

(2)半衰期：放射性元素的原子核的半数发生衰变所需要的时间，称该元素的半衰期。

放射性元素衰变的快慢是由核内部自身因素决定的，跟原子所处的化学状态和外部条件没有关系。

### 三、放射性的应用与防护 放射性同位素

放射性同位素：有些同位素具有放射性，叫做放射性同位素

同位素：具有相同的质子和不同中子数的原子互称同位素，放射性同位素：具有放射性的同位素叫放射性同位素。

正电子的发现：用粒子轰击铝时，发生核反应。

1934年，约里奥—居里夫妇发现经过 $\alpha$ 粒子轰击的铝片中含有放射性磷 ${}_{15}^{30}P$ ，

即： ${}_{2}^{4}He+{}_{13}^{27}Al\rightarrow{}_{15}^{30}P+{}_{0}^{1}n$

反应生成物 $P$ 是磷的一种同位素，自然界没有天然的 ${}_{15}^{30}P$ ，它是通过核反应生成的人工放射性同位素。

与天然的放射性物质相比，人造放射性同位素：

- 1、放射强度容易控制
- 2、可以制成各种需要的形状
- 3、半衰期更短
- 4、放射性废料容易处理

### 四、放射性同位素的应用：

#### ①利用它的射线

A、由于 $\gamma$ 射线贯穿本领强，可以用来 $\gamma$ 射线检查金属内部有没有砂眼或裂纹，所用的设备叫 $\gamma$ 射线探伤仪。

B、利用射线的穿透本领与物质厚度密度的关系，来检查各种产品的厚度和密封容器中液体的高度等，从而实现自动控制

C、利用射线使空气电离而把空气变成导电气体，以消除化纤、纺织品上的静电

D、利用射线照射植物，引起植物变异而培育良种，也可以利用它杀菌、治病等

②作为示踪原子：用于工业、农业及生物研究等。

棉花在结桃、开花的时候需要较多的磷肥，把磷肥喷在棉花叶子上，磷肥也能被吸收。但是，什么时候的吸收率最高、磷在作物体内能存留多长时间、磷在作物体内的分布情况等，用通常的方法很难研究。如果用磷的放射性同位素制成肥料喷在棉花叶面上，然后每隔一定时间用探测器测量棉株各部位的放射性强度，上面的问题就很容易解决。

### 放射性的防护：

(1)在核电站的核反应堆外层用厚厚的水泥来防止放射线的外泄

(2)用过的核废料要放在很厚很厚的重金属箱内，并埋在深海里

(3)在生活中要有防范意识，尽可能远离放射源

## 五、核反应方程

1. 熟记一些实验事实的核反应方程式。

(1)卢瑟福用  $\alpha$  粒子轰击氮核打出质子： ${}_{7}^{14}\text{N}+{}_{2}^{4}\text{He}\rightarrow{}_{8}^{17}\text{O}+{}_{1}^{1}\text{H}$

(2)贝克勒耳和居里夫人发现天然放射现象：

$\alpha$  衰变： ${}_{92}^{238}\text{U}\rightarrow{}_{90}^{234}\text{Th}+{}_{2}^{4}\text{He}$

$\beta$  衰变： ${}_{90}^{234}\text{Th}\rightarrow{}_{91}^{234}\text{Pa}+{}_{-1}^{0}\text{e}$

(3)查德威克用  $\alpha$  粒子轰击铍核打出中子： ${}_{4}^{9}\text{Be}+{}_{2}^{4}\text{He}\rightarrow{}_{6}^{12}\text{C}+{}_{0}^{1}\text{n}$

(4)居里夫人发现正电子： ${}_{13}^{27}\text{Al}+{}_{2}^{4}\text{He}\rightarrow{}_{15}^{30}\text{P}+{}_{0}^{1}\text{n}$   
 ${}_{15}^{30}\text{P}\rightarrow{}_{14}^{30}\text{Si}+{}_{+1}^{0}\text{e}$

(5)轻核聚变： ${}_{0}^{1}\text{n}+{}_{1}^{1}\text{H}\rightarrow{}_{1}^{2}\text{H}+\gamma$

(6)重核裂变： ${}_{92}^{235}\text{U}+{}_{0}^{1}\text{n}\rightarrow{}_{54}^{136}\text{Xe}+10{}_{0}^{1}\text{n}+{}_{38}^{90}\text{Sr}$   
 ${}_{92}^{235}\text{U}+{}_{0}^{1}\text{n}\rightarrow{}_{56}^{144}\text{Ba}+{}_{36}^{89}\text{Kr}+3{}_{0}^{1}\text{n}$

2. 熟记一些粒子的符号

$\alpha$  粒子 ( ${}_{2}^{4}\text{He}$ )、质子 ( ${}_{1}^{1}\text{H}$ )、中子 ( ${}_{0}^{1}\text{n}$ )、电子 ( ${}_{-1}^{0}\text{e}$ )、氘核 ( ${}_{1}^{2}\text{H}$ )、氚核 ( ${}_{1}^{3}\text{H}$ )

3. 注意在核反应方程式中，质量数和电荷数是守恒的。

处理有关核反应方程式的相关题目时，只要做到了以上几点，即可顺利解决问题。

## 六、重核裂变 核聚变 |

释放核能的途径——裂变和聚变

(1) 裂变反应：

① 裂变：重核在一定条件下转变成两个中等质量的核的反应，叫做原子核的裂变反应。

例如： ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$

② 链式反应：在裂变反应用产生的中子，再被其他铀核俘获使反应继续下去。

链式反应的条件：临界体积，极高的温度。

③  ${}_{92}^{235}\text{U}$  裂变时平均每个核子放能约 200MeV 能量

1kg  ${}_{92}^{235}\text{U}$  全部裂变放出的能量相当于 2800 吨煤完全燃烧放出能量！

(2) 聚变反应：

① 聚变反应：轻的原子核聚合成较重的原子核的反应，称为聚变反应。

例如： ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n} + 17.6\text{MeV}$

② 一个氘核与一个氚核结合成一个氦核时(同时放出一个中子)，释放出 17.6MeV 的能量，平均每个核子放出的能量 3MeV 以上。比裂变反应中平均每个核子放出的能量大 3~4 倍。

③ 聚变反应的条件；几百万摄氏度的高温。