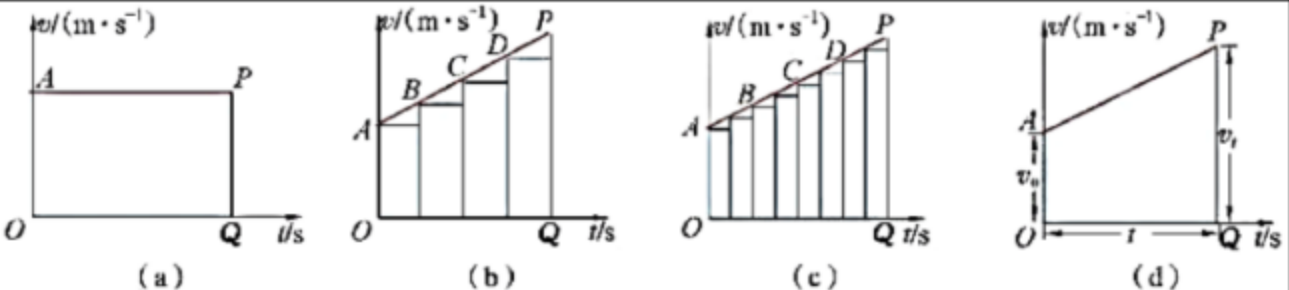
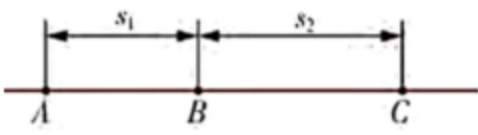
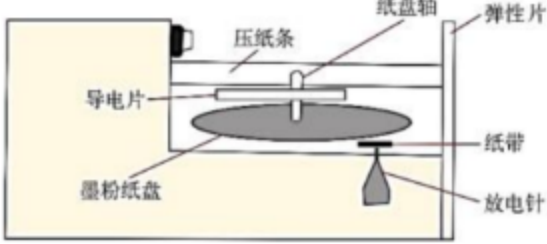
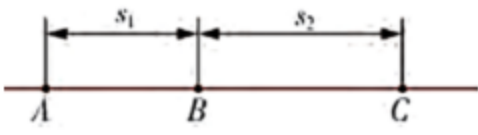
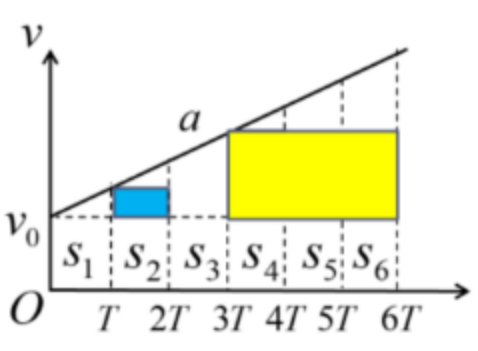
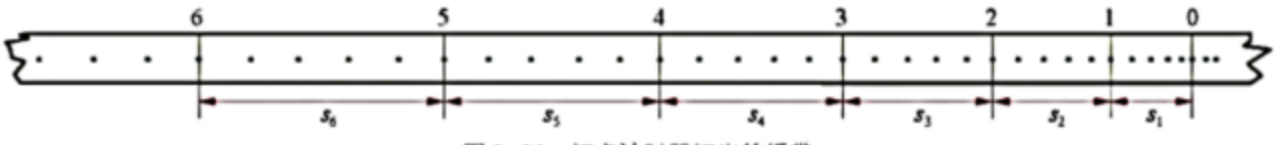
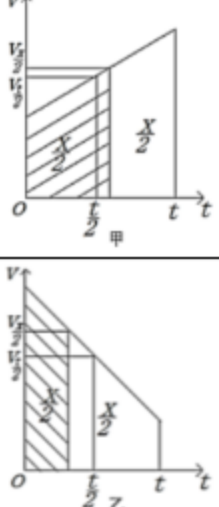
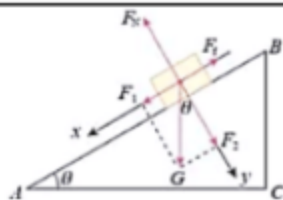
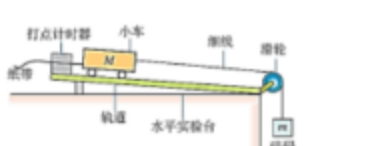
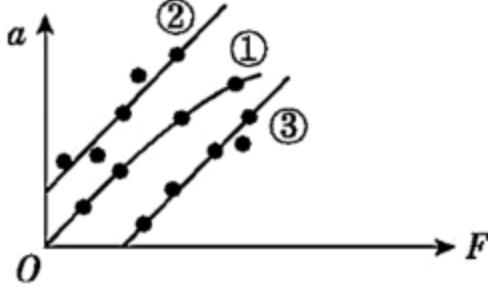
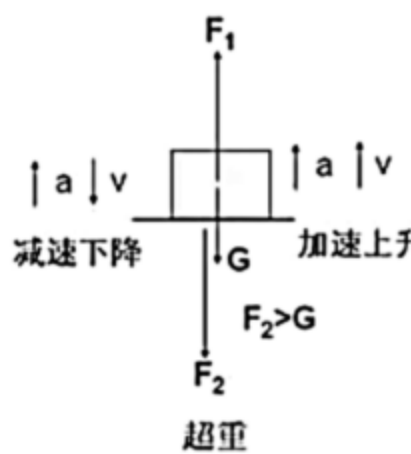
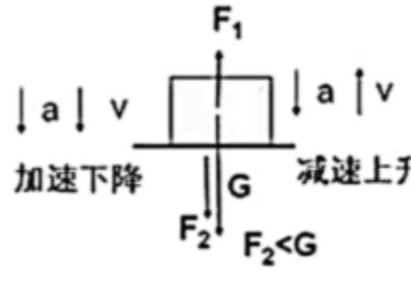


必修 第一册 (高一 上学期)

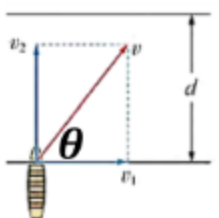
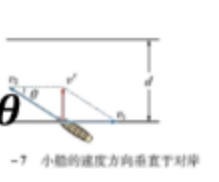
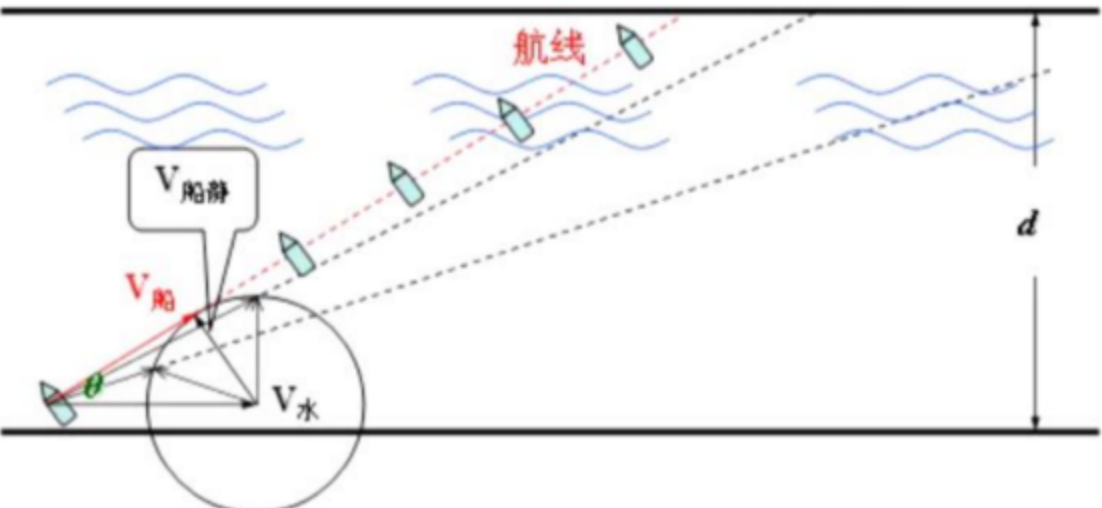
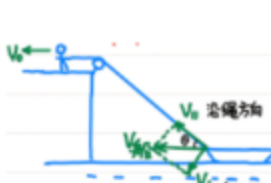
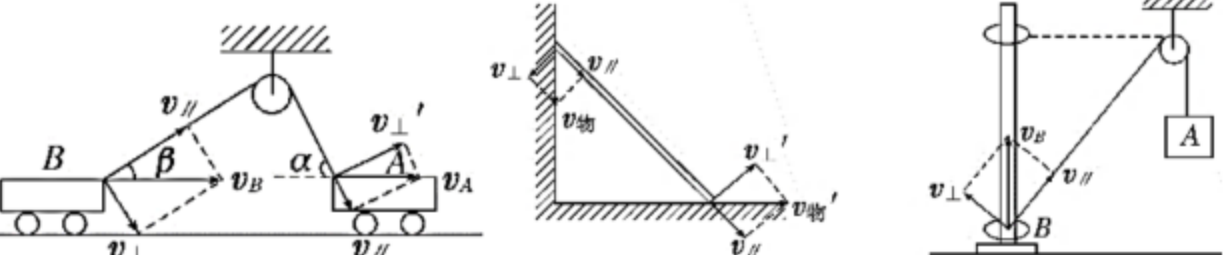
匀变速直线运动	速度	$v_t = v_0 + at$	$a = k_{v-t图} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t}$
	位移	$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$	 图 2-7 通过 $v-t$ 图像推导位移公式的示意图 $s = S_{APQO} = \frac{(v_0 + v_t) \cdot t}{2} = \frac{[v_0 + (v_0 + at)] \cdot t}{2} = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$
	速度-位移	$v_t^2 - v_0^2 = 2as$	$t = \frac{v_t - v_0}{a}$ $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = v_0 \cdot \left(\frac{v_t - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \cdot \left(\frac{v_t - v_0}{a} \right)^2$ $s = \frac{2v_0 v_t - 2v_0^2 + v_t^2 + v_0^2 - 2v_0 v_t}{2a}$ $v_t^2 - v_0^2 = 2as$
	平均速度	$\bar{v} = k_{s-t图} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{v_0 + v_t}{2}$	$s = S_{APQO} = \frac{(v_0 + v_t) \cdot t}{2} = \bar{v} \cdot t$
纸带	中间时刻的瞬时速度	$v_{\frac{t}{2}} = \bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_1 + s_2}{2T}$  -3-1 做匀变速直线运动的物体在两个连续相等时间里的位移	$\bar{v} = k_{s-t图} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{v_0 + v_t}{2} = \frac{v_0 + (v_0 + at)}{2} = v_0 + a \cdot \frac{t}{2} = v_{\frac{t}{2}}$  电火花打点计时器: 220V, 50Hz, 0.02s
	加速度	$\Delta s = aT^2 = s_2 - s_1$  -3-1 做匀变速直线运动的物体在两个连续相等时间里的位移	$s_1 = v_A T + \frac{1}{2} aT^2$ $s_2 = v_B T + \frac{1}{2} aT^2$ $v_B = v_A + aT$ $\Delta s = s_2 - s_1 = aT^2$
	平均	$s_m - s_n = (m - n) \bar{a} T^2$	 图 2-20 打点计时器打出的纸带 $\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5}{5}$ $\bar{a} = \frac{\frac{s_2 - s_1}{T^2} + \frac{s_3 - s_2}{T^2} + \frac{s_4 - s_3}{T^2} + \frac{s_5 - s_4}{T^2} + \frac{s_6 - s_5}{T^2}}{5}$ $\bar{a} = \frac{s_6 - s_1}{5T^2}$
	逐差法 等间隔相减后, 取其逐差平均值 (两大段法)	$\bar{a} = \frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{(3T)^2}$ 	 图 2-20 打点计时器打出的纸带 $\bar{a} = \frac{\bar{a}_1 + \bar{a}_2 + \bar{a}_3}{3} = \frac{\frac{s_4 - s_1}{3T^2} + \frac{s_5 - s_2}{3T^2} + \frac{s_6 - s_3}{3T^2}}{3}$ $\bar{a} = \frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{9T^2} = \frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{(3T)^2}$

比例	第1s末, 第2s末, 第3s末, ...的速度比	$v_1:v_2:v_3:\dots = 1:2:3:\dots$	$v_t = at$
	初速度 为0	在前1s内, 前2s内, 前3s内, ...的位移比	$s = \frac{1}{2}at^2$
	加速度 为a	在第1s内, 第2s内, 第3s内, ...的位移比	$s_1:s_2:s_3:\dots = 1:4:9:\dots$ $s_I:s_{II}:s_{III}:\dots = s_1:(s_2-s_1):(s_3-s_2):\dots = 1:(4-1):(9-4):\dots$
	前1个s, 前2个s, 前3个s, ... 的时间比	$t_1:t_2:t_3:\dots = \sqrt{1}:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\dots$ 	$s = \frac{1}{2}at_1^2; t_1 = \sqrt{\frac{2s}{a}}$ $2s = \frac{1}{2}at_2^2; t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 2s}{a}}$ $3s = \frac{1}{2}at_3^2; t_3 = \sqrt{\frac{3 \cdot 2s}{a}}$
	第1个s, 第2个s, 第3个s, ...的时间比	$t_I:t_{II}:t_{III}:\dots = \sqrt{1}:(\sqrt{2}-\sqrt{1}):(\sqrt{3}-\sqrt{2}): \dots$	$t_1:t_2:t_3:\dots = \sqrt{1}:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\dots$ $t_I:t_{II}:t_{III}:\dots = t_1:(t_2-t_1):(t_3-t_2):\dots = \sqrt{1}:(\sqrt{2}-\sqrt{1}):(\sqrt{3}-\sqrt{2}): \dots$
	中点的 瞬时速度	$v_{\frac{s}{2}} = \sqrt{\frac{v_t^2 + v_0^2}{2}}$ 	$v_t^2 - v_{\frac{s}{2}}^2 = 2as$ $v_{\frac{s}{2}}^2 - v_0^2 = 2as$ $v_t^2 - v_{\frac{s}{2}}^2 = v_{\frac{s}{2}}^2 - v_0^2$ $v_t^2 + v_0^2 = 2 \cdot v_{\frac{s}{2}}^2$ $v_{\frac{s}{2}} = \sqrt{\frac{v_t^2 + v_0^2}{2}}$
	前t的平均速度为 $\overline{v_1}$ 后t的平均速度为 $\overline{v_2}$	$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\overline{v_1}t + \overline{v_2}t}{2t} = \frac{\overline{v_1} + \overline{v_2}}{2}$	
	前s的平均速度为 $\overline{v_1}$ 后s的平均速度为 $\overline{v_2}$	$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2s}{\frac{s}{\overline{v_1}} + \frac{s}{\overline{v_2}}} = \frac{2\overline{v_1}\overline{v_2}}{\overline{v_1} + \overline{v_2}}$	
	追及问题共速	$v_{共} = v_{0甲} + a_{甲}t = v_{0乙} + a_{乙}t$	带正负号计算。一般共速时取得最值, 注意刹车是否刹停。
	重力	$G = mg$	
	胡克定律	$\Delta F = k\Delta x$	
	滑动摩擦力	$f = \mu N$	$0 < \mu < 1$,  , $0 < f_{静摩擦力} \leq f_{最大静摩擦力}$
斜面		$G_x = mg \sin \theta$	重力沿斜面向下的分力
		$f = \mu mg \cos \theta$	$N = mg \cos \theta$ 时。 $mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$ 时, $\mu = \tan \theta$

	牛顿第一定律 (惯性定律)	一切物体总 <i>保持</i> 匀速直线运动状态或静止状态,直到有外力迫使它改变这种状态为止。	惯性:物体具有保持原来匀速直线运动状态或静止状态的性质。 质量是惯性大小的量度。																																																																																																												
	牛顿第二定律	$F_{\text{合}} = ma$																																																																																																													
	单位制	国际单位制 国际单位制是国际计量大会采纳和推荐的单位制。国际单位制包括7个基本单位,如下表所示。 国际单位制中的基本单位 <table> <tr> <th>物理量名称</th><th>物理量符号</th><th>单位名称</th><th>单位符号</th></tr> <tr> <td>长度</td><td>l</td><td>米</td><td>m</td></tr> <tr> <td>质量</td><td>m</td><td>千克(公斤)</td><td>kg</td></tr> <tr> <td>时间</td><td>t</td><td>秒</td><td>s</td></tr> <tr> <td>电流</td><td>I</td><td>安[培]</td><td>A</td></tr> <tr> <td>热力学温度</td><td>T</td><td>开[尔文]</td><td>K</td></tr> <tr> <td>物质的量</td><td>$n, (v)$</td><td>摩[尔]</td><td>mol</td></tr> <tr> <td>发光强度</td><td>$I, (I_v)$</td><td>坎[德拉]</td><td>cd</td></tr> </table> 国际单位制词头 <table> <tr> <th>英文词头名称</th><th>中文词头名称</th><th>符号</th><th>指数</th></tr> <tr> <td>yotta</td><td>尧[科提]</td><td>Y</td><td>10^{24}</td></tr> <tr> <td>zetta</td><td>泽[普提]</td><td>Z</td><td>10^{21}</td></tr> <tr> <td>exa</td><td>艾[拉]</td><td>E</td><td>10^{18}</td></tr> <tr> <td>giga</td><td>吉[咖提]</td><td>G</td><td>10^{15}</td></tr> <tr> <td>mega</td><td>兆</td><td>M</td><td>10^{12}</td></tr> <tr> <td>kilo</td><td>千</td><td>k</td><td>10^3</td></tr> <tr> <td>hecto</td><td>百</td><td>h</td><td>10^2</td></tr> <tr> <td>deca</td><td>十</td><td>da</td><td>10^1</td></tr> <tr> <td>deci</td><td>分</td><td>d</td><td>10^{-1}</td></tr> <tr> <td>centi</td><td>厘</td><td>cm</td><td>10^{-2}</td></tr> <tr> <td>milli</td><td>毫</td><td>m</td><td>10^{-3}</td></tr> <tr> <td>micro</td><td>微</td><td>μ</td><td>10^{-6}</td></tr> <tr> <td>nano</td><td>纳[诺]</td><td>n</td><td>10^{-9}</td></tr> <tr> <td>pico</td><td>皮[可]</td><td>p</td><td>10^{-12}</td></tr> <tr> <td>femto</td><td>飞[母提]</td><td>f</td><td>10^{-15}</td></tr> <tr> <td>atto</td><td>阿[托]</td><td>a</td><td>10^{-18}</td></tr> <tr> <td>zepto</td><td>仄[普]</td><td>z</td><td>10^{-21}</td></tr> <tr> <td>yocto</td><td>约[可]</td><td>y</td><td>10^{-24}</td></tr> </table>		物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号	长度	l	米	m	质量	m	千克(公斤)	kg	时间	t	秒	s	电流	I	安[培]	A	热力学温度	T	开[尔文]	K	物质的量	$n, (v)$	摩[尔]	mol	发光强度	$I, (I_v)$	坎[德拉]	cd	英文词头名称	中文词头名称	符号	指数	yotta	尧[科提]	Y	10^{24}	zetta	泽[普提]	Z	10^{21}	exa	艾[拉]	E	10^{18}	giga	吉[咖提]	G	10^{15}	mega	兆	M	10^{12}	kilo	千	k	10^3	hecto	百	h	10^2	deca	十	da	10^1	deci	分	d	10^{-1}	centi	厘	cm	10^{-2}	milli	毫	m	10^{-3}	micro	微	μ	10^{-6}	nano	纳[诺]	n	10^{-9}	pico	皮[可]	p	10^{-12}	femto	飞[母提]	f	10^{-15}	atto	阿[托]	a	10^{-18}	zepto	仄[普]	z	10^{-21}	yocto	约[可]	y	10^{-24}
物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号																																																																																																												
长度	l	米	m																																																																																																												
质量	m	千克(公斤)	kg																																																																																																												
时间	t	秒	s																																																																																																												
电流	I	安[培]	A																																																																																																												
热力学温度	T	开[尔文]	K																																																																																																												
物质的量	$n, (v)$	摩[尔]	mol																																																																																																												
发光强度	$I, (I_v)$	坎[德拉]	cd																																																																																																												
英文词头名称	中文词头名称	符号	指数																																																																																																												
yotta	尧[科提]	Y	10^{24}																																																																																																												
zetta	泽[普提]	Z	10^{21}																																																																																																												
exa	艾[拉]	E	10^{18}																																																																																																												
giga	吉[咖提]	G	10^{15}																																																																																																												
mega	兆	M	10^{12}																																																																																																												
kilo	千	k	10^3																																																																																																												
hecto	百	h	10^2																																																																																																												
deca	十	da	10^1																																																																																																												
deci	分	d	10^{-1}																																																																																																												
centi	厘	cm	10^{-2}																																																																																																												
milli	毫	m	10^{-3}																																																																																																												
micro	微	μ	10^{-6}																																																																																																												
nano	纳[诺]	n	10^{-9}																																																																																																												
pico	皮[可]	p	10^{-12}																																																																																																												
femto	飞[母提]	f	10^{-15}																																																																																																												
atto	阿[托]	a	10^{-18}																																																																																																												
zepto	仄[普]	z	10^{-21}																																																																																																												
yocto	约[可]	y	10^{-24}																																																																																																												
牛顿第二定律 实验注意事项	①平衡摩擦力   ②重物的质量远小于小车的质量: $m_{\text{重物}} \ll M_{\text{小车}}$ 	$F_{\text{合}} = F - f = (M_{\text{小车}} + m_{\text{重物}})a$ $a = \frac{F - f}{(M_{\text{小车}} + m_{\text{重物}})} = \frac{1}{(M_{\text{小车}} + m_{\text{重物}})} \cdot F - \frac{f}{(M_{\text{小车}} + m_{\text{重物}})}$ 绳子拉直,各处形变量,拉力相等,定滑轮改变拉力的方向,小车和重物的速度和加速度都相等。平衡摩擦力,控制质量不变:整体法:不考虑内力。内力是相互作用力,都抵消了。 $F_{\text{合}} = m_{\text{重物}}g = m_{\text{总(整体)}}a = (M_{\text{小车}} + m_{\text{重物}})a = M_{\text{小车}}a$ 隔离法:加速度相同,质量不同,合外力不同。 $m_{\text{重物}}g - T = m_{\text{重物}}a$ $T = M_{\text{小车}}a$ $m_{\text{重物}}g = m_{\text{重物}}a + M_{\text{小车}}a = M_{\text{小车}}a$																																																																																																													
	牛顿第三定律	$F = -F'$	两个物体之间的作用力 <i>F</i> 和反作用力 <i>F'</i> 总是大小相等、方向相反,作用在同一条直线上。																																																																																																												
超重	加速度 <i>向上</i> $a \uparrow$ 合外力 <i>向上</i> $F_{\text{合}} \uparrow$ $N - G > 0$ 视重 $N_{\text{压}} > G$	 																																																																																																													
失重	加速度 <i>向下</i> $a \downarrow$ 合外力 <i>向下</i> $F_{\text{合}} \downarrow$ $G - N > 0$ 视重 $N_{\text{压}} < G$																																																																																																														

传送带 板块问题	刚好滑动就是	$\mu mg = ma_{m\text{摩擦力}}$	合外力（板块间的摩擦力）相同，质量不同，算出加速度也不同。 摩擦力提供的是对地加速度，算出的也是对地速度和对地位移。 最大静摩擦力提供对地加速度，避免无法求出板块间相对滑动距离。
	刚好没滑动 $f_{\text{最大静摩擦力}} = f_{\text{滑}}$	$\mu m_{\text{总}} g = Ma_{M\text{摩擦力}}$	
	共速	$v_{\text{共}} = v_{0m} + a_m t = v_{0M} + a_M t$	带正负号计算。假设法（分类讨论，一次假设正确）： 板、块如果都只受板块间的摩擦力，共速时，板、块相对静止，也没有相对运动的趋势，摩擦力消失，就能一直共速。 板、块合外力不为0，只有速度、加速度一直相等，才能一直共速 加速度相等才可以用整体法，因为整体法只有一个整体加速度。
	共速时的 相对位移（最值）	$s_{\text{相}} = s_m - s_M = \overline{v_m} t - \overline{v_M} t$ $= \frac{v_{0m} + v_{\text{共}}}{2} t - \frac{v_{0M} + v_{\text{共}}}{2} t$	对地位移之差 = 相对位移 （板、块位移方向不同时带正负号作差） 用平均速度公式算位移，没有二次项。

必修 第二册（高一 下学期）

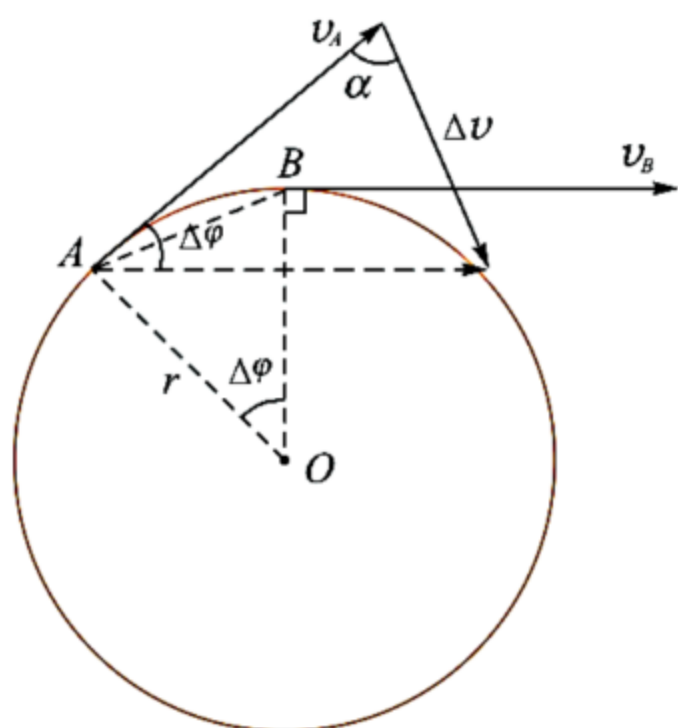
小船渡河	时间最短  -6 船头垂直于对岸	$t_{\min} = \frac{d}{v_{\text{船}}} = \frac{s}{v_{\text{合}}} = \frac{s_{\text{水}}}{v_{\text{水}}}$ $v_{\text{合}} = \sqrt{v_{\text{船}}^2 + v_{\text{水}}^2}$ $\sin \theta = \frac{d}{s} = \frac{v_{\text{船}}}{v_{\text{合}}}$	小在静水中的速度应全部用于渡河，因此船头方向应垂直于对岸
	航程最短 ($v_{\text{船}} > v_{\text{水}}$)  -7 小船的速度方向垂直于对岸	$v_{\text{合}} = \sqrt{v_{\text{船}}^2 - v_{\text{水}}^2}$ $t = \frac{d}{v_{\text{合}}}$ $\cos \theta = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}$	小船的合速度方向应垂直于对岸，即船头需向上游转过一定的角度
	航程最短 ($v_{\text{水}} > v_{\text{船}}$)	$v_{\text{合}} \perp v_{\text{船}}$ $\sin \theta = \frac{d}{s} = \frac{v_{\text{船}}}{v_{\text{水}}}$ $v_{\text{合}} = \sqrt{v_{\text{水}}^2 - v_{\text{船}}^2}$ $t = \frac{s}{v_{\text{合}}}$	
	拉船模型 	沿绳杆，垂直绳杆分解 $v_{\text{绳杆}} = v_{\text{沿绳杆}} = v_{\text{船}} \cos \theta$	

平抛 失重	位移	$y = \frac{1}{2}gt^2$ $x = v_0 t$ $s = \sqrt{x^2 + y^2}$ $\tan \alpha = \frac{y}{x}$	
	轨迹抛物线	$y = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{g}{2v_0^2}x^2$	
	速度	$v_x = v_0$ $v_y = gt$ $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ $\tan \beta = \frac{v_y}{v_x}$	
	速度的变化量不变	$\overrightarrow{\Delta v_y} = \overrightarrow{g}t$	
	推论：位移角的正切值是速度角的一半	$\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{1}{2} \frac{v_y}{v_x} = \frac{1}{2} \tan \beta$ v 的反向延长线交于水平位移 x 的中点	
		$\Delta h = h_{BC} - h_{AB} = gT^2$ $x = v_0 T$ $v_{yB} = \frac{h_{AB} + h_{BC}}{2T}$	
	斜抛（对称）	(1) 化曲为直： 水平：匀速 $v_x = v_0 \cos \theta$ 竖直：上抛 $v_y = v_0 \sin \theta$ (2) 最高点： $v_y = 0, v_x = v_0 \cos \theta$，上升时间：$t = \frac{0 - v_0 \sin \theta}{-g} = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$ (3) 射高和射程： 射高：$h = \frac{v_y^2 - v_0^2}{-2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$，射程：$x = v_x t = \frac{2v_0^2 \cos \theta \sin \theta}{g}$	最高点 $v_y = 0; v_x = v_0 \cos \theta$
匀 速 (率) 圆 周 运 动 水平	线速度	$v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$	摩擦、齿轮、皮带传动时相等。弧长 Δl 。
	角速度 rad/s	$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$	同轴传动时相等。弧度 $\Delta \theta$ 。弧度制：定义 $2\pi = 360^\circ$ 的映射。
	周期	$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v} = \frac{1}{f} = \frac{1}{n}$ $v = r\omega$	频率 f ：单位 Hz ，表示每秒的周期个数。所以和周期互为倒数。 转速 n ：单位 转/s 。时钟问题（时针，分针，秒针的比）。
	向心力 $\perp v$ (向心加速度)	$F_{\text{向}} = F_{\text{合}} = ma = m \frac{v^2}{r}$ $= mr\omega^2 = mv\omega = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$	$v = r\omega, \omega = \frac{2\pi}{T}$ $F_{\text{向}} = F_{\text{合}} = ma = m \frac{v^2}{r} = m \frac{(r\omega)^2}{r} = m r \omega^2 = mv\omega = mr \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$
		$F_{\text{合}} = mg \tan \theta = ml \sin \theta \omega^2$ $\omega^2 = \frac{g \sin \theta}{l \cos \theta}$ $\omega^2 \uparrow = \frac{g}{l \cos \downarrow \theta \uparrow} = \frac{g}{h \downarrow}$	圆锥摆：摆角 $\theta < \frac{\pi}{2}$ 因此，要增大摆角 $\theta \uparrow$，$\cos \theta \downarrow$，应该增大小球运动的角速度 $\omega \uparrow$。 匀速圆周运动：合外力充当向心力。

利用加速度定义求向心加速度

做匀速圆周运动的物体，其速度的大小（速率）不变，方向不断改变，所以加速度 a 没有与 v 同方向的分量，它只是反映了速度 v 方向的不断改变。

设某一时刻 t 质点运动到 A 点，速度为 v_A ，经过 Δt 时间后，运动到 B 点，速度为 v_B 。平移速度 v_B ，使起点 B 与速度 v_A 的起点 A 重合，则从 v_A 末端到 v_B 末端的连线为速度的变化量 Δv ，如图 2-2-11 所示。



▲ 图 2-2-11 匀速圆周运动中速度和加速度的关系

因为 v_A 和 v_B 大小相等， $v_A \perp OA$ ， $v_B \perp OB$ ，可知 v_A 、 v_B 及 Δv 构成的等腰三角形和 $\triangle OAB$ 是相似三角形。用 v 表示 v_A 和 v_B 的大小，用 Δl 表示弦 AB 的长度，根据相似三角形的性质可以得到： $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta l}{r}$ ，所以有 $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{r} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}$ 。

用 Δs 表示弧 AB 的长度。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时， $B \rightarrow A$ ，弦长 $\Delta l \rightarrow$ 弧长

Δs ，这时 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 就是加速度 a 的大小， $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ 就是线速度 v 的大小。于

$$\text{是得到 } a = \frac{v}{r} \cdot v = \frac{v^2}{r}。$$

a 的方向就是 Δv 的极限方向。在 v_A 、 v_B 和 Δv 构成的等腰三角形中， Δv 与 v_A 的夹角 $\alpha = \frac{\pi - \Delta\phi}{2}$ 。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时， $\Delta\phi \rightarrow 0$ ，这时 $\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2}$ ，即 $a \perp v_A$ 。这表明 A 点加速度的方向与 A 点速度的方向垂直，沿半径指向圆心，因此被称为向心加速度。

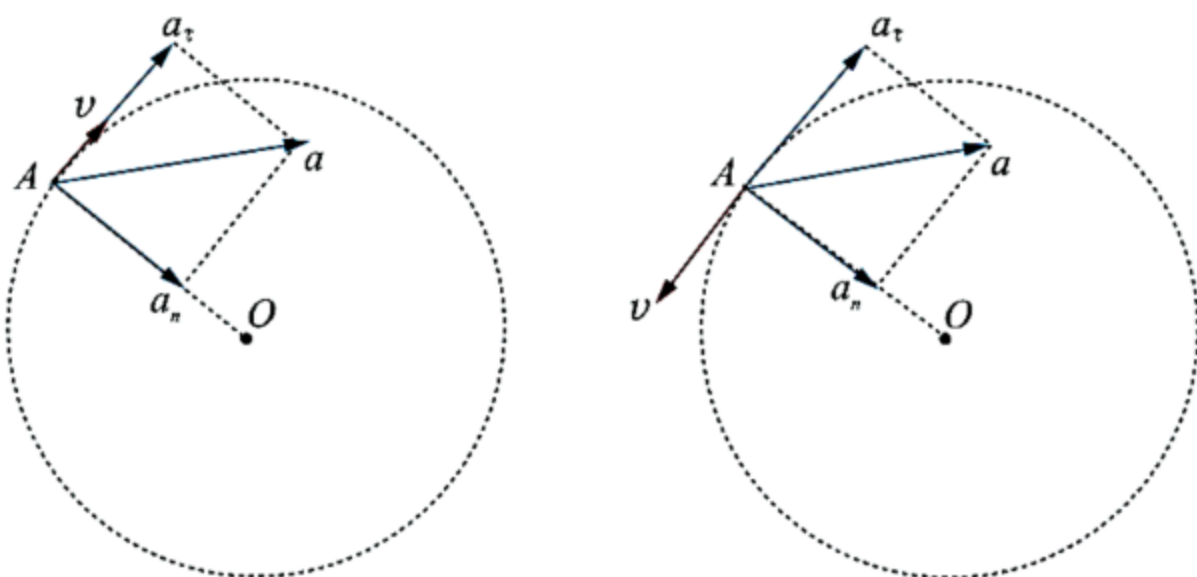
变速圆周运动的加速度

如果物体做变速圆周运动，那么加速度的方向还指向圆心吗？

答案是：当物体做变速圆周运动时，物体的加速度 a 不指向圆心，而与速度成某一个角度。我们把加速度沿速度方向和垂直于速度的方向（即半径方向）进行分解，其中沿速度方向的分量 a_t 称为切向加速度，它反映速度大小变化的快慢。若 a_t 与速度方向一致，则表示速度在增大，反之，则表示速度在减小。垂直于速度方向的分量 a_n 仍称为向心加速度（或称法向加速度），它只改变速度的方向而不改变速度的大小。

如图 2-2-12 (a) 所示，物体的加速度 a 沿切线方向的分量 a_t 与速度 v 同向，物体做加速圆周运动。

如图 2-2-12 (b) 所示，物体的加速度 a 沿切线方向的分量 a_t 与速度 v 反向，物体做减速圆周运动。



推导向心加速度公式

下面用运动学的方法求做匀速圆周运动物体的向心加速度的方向与大小。

向心加速度的方向

如图 6.3-4 甲所示，一物体沿着圆周运动，在 A 、 B 两点的速度分别为 v_A 、 v_B ，可以分四步确定物体运动的加速度方向。

第一步，根据曲线运动的速度方向沿着切线方向，画出物体经过 A 、 B 两点时的速度方向，分别用 v_A 、 v_B 表示，如图甲所示。

第二步，平移 v_A 至 B 点，如图乙所示。

第三步，根据矢量运算法则，做出物体由 A 点到 B 点的速度变化量 Δv ，其方向由 v_A 的箭头位置指向 v_B 的箭头位置，如图丙所示。由于物体做匀速圆周运动， v_A 、 v_B 的大小相等，所以， Δv 与 v_A 、 v_B 构成等腰三角形。

第四步，假设由 A 点到 B 点的时间极短，在匀速圆周运动的速度大小一定的情况下， A 点到 B 点的距离将非常小，作出此时的 Δv ，如图丁所示。

仔细观察图丁，可以发现，此时， Δv 与 v_A 、 v_B 都几乎垂直，因此 Δv 的方向几乎沿着圆周的半径，指向圆心。由于加速度 a 与 Δv 的方向是一致的，所以从运动学角度分析也可以发现：物体做匀速圆周运动时的加速度指向圆心。

向心加速度的大小

仔细观察图丁，还可以发现，当 Δt 足够小时， v_A 、 v_B 的夹角 θ 就足够小， θ 角所对的弦和弧的长度就近似相等。因此， $\theta = \frac{\Delta v}{v}$ ，在 Δt 时间内，速度方向变化的角度 $\theta = \omega \Delta t$ 。由此可以求得

$$\Delta v = v \omega \Delta t$$

将此式代入加速度定义式 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ，并把 $v = \omega r$ 代入，可以导出向心加速度大小的表达式为

$$a_n = \omega^2 r$$

上式也可以写成

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

它与根据牛顿第二定律得到的结果是一致的。

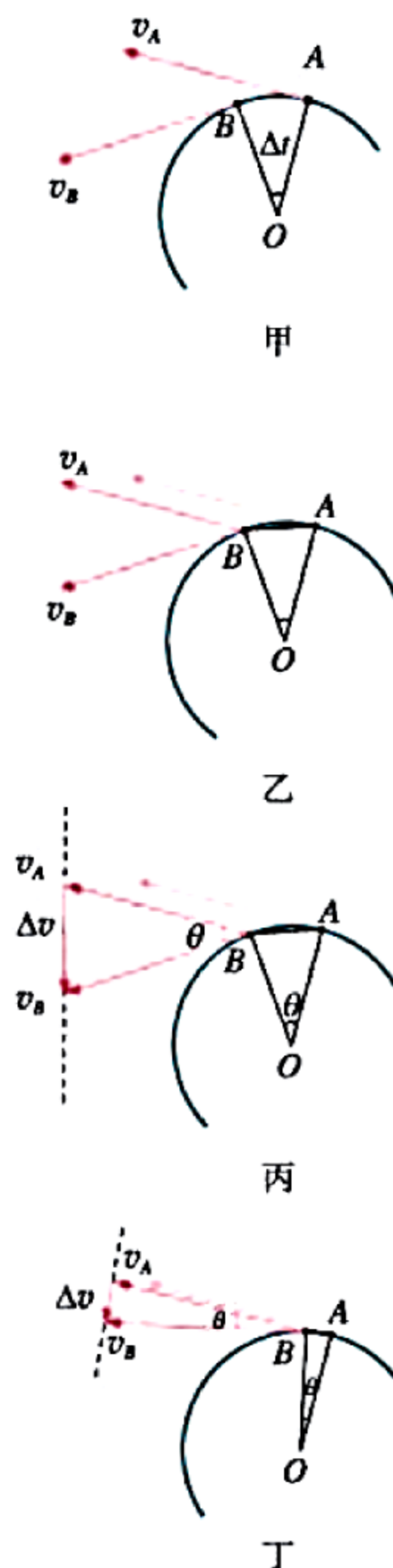
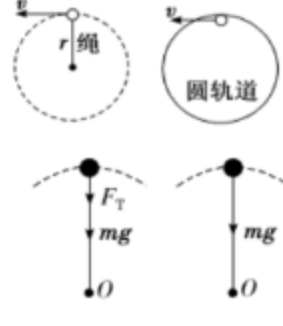
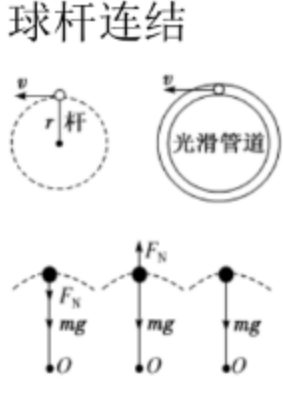
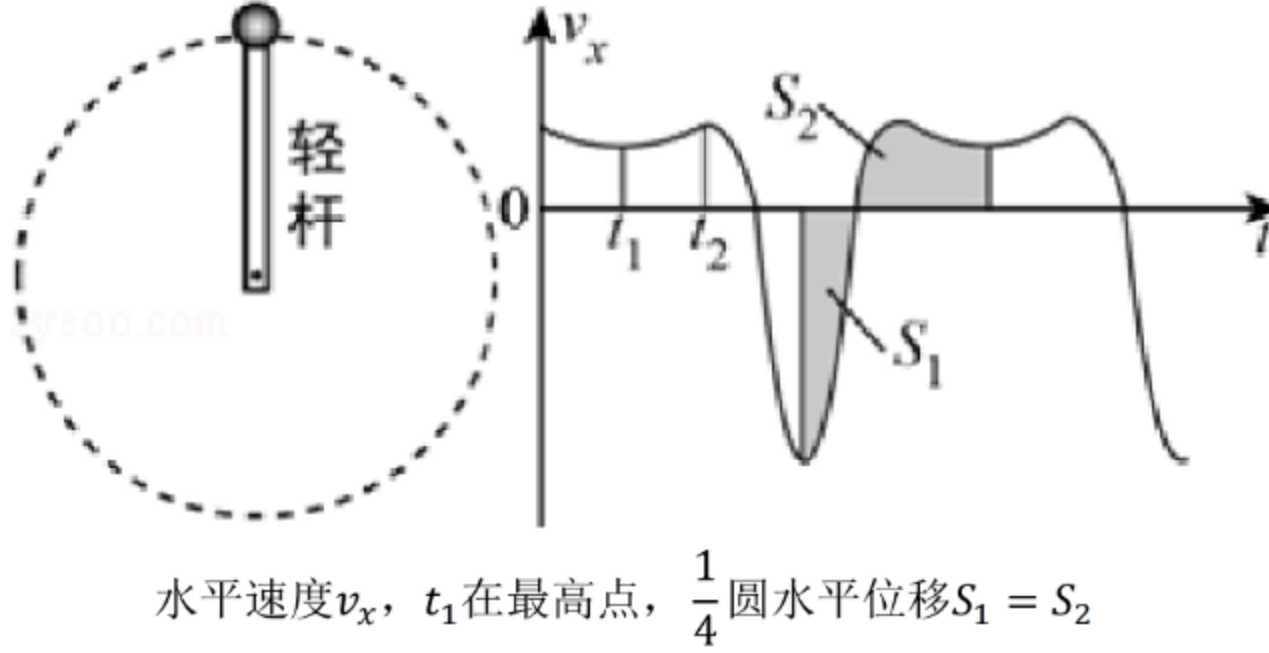
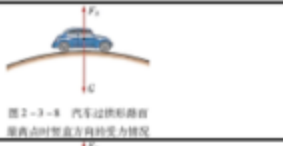
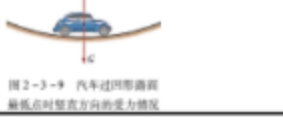
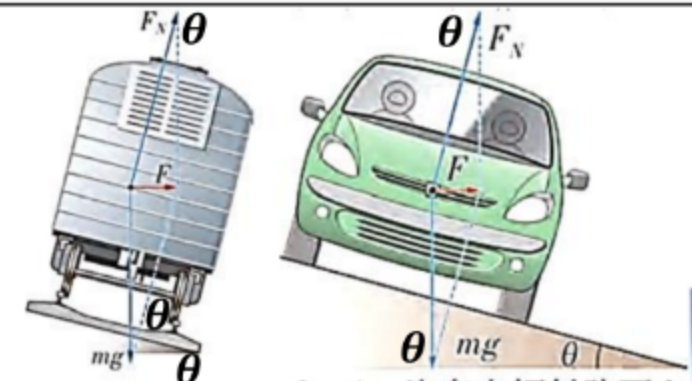
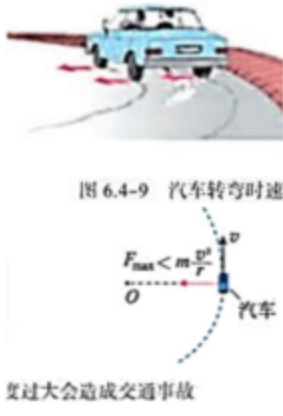
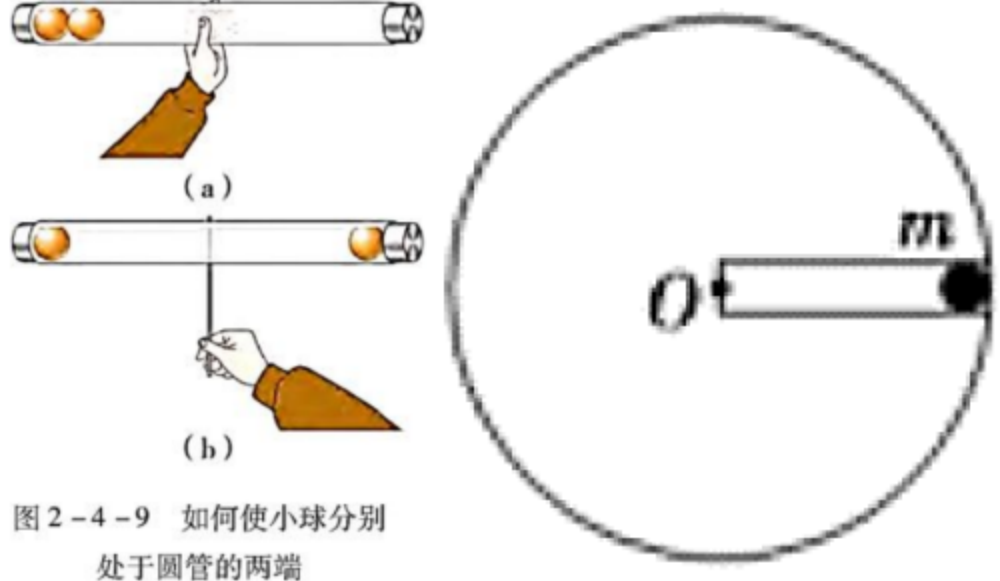
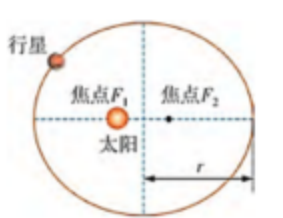
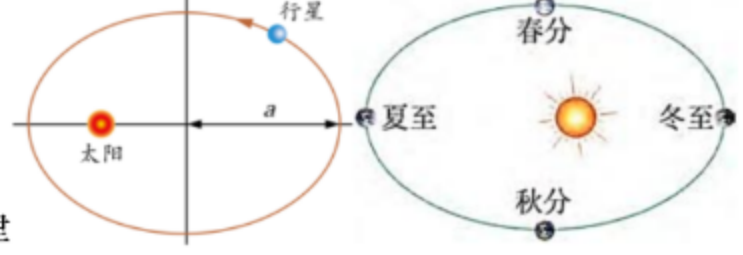
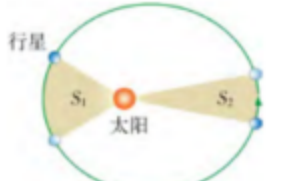
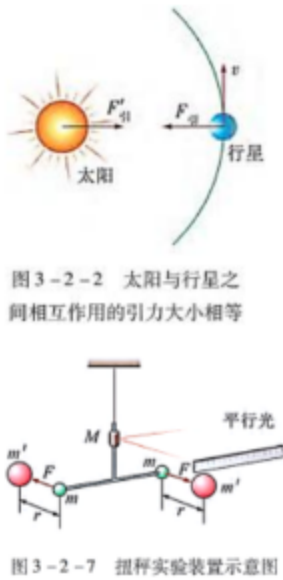
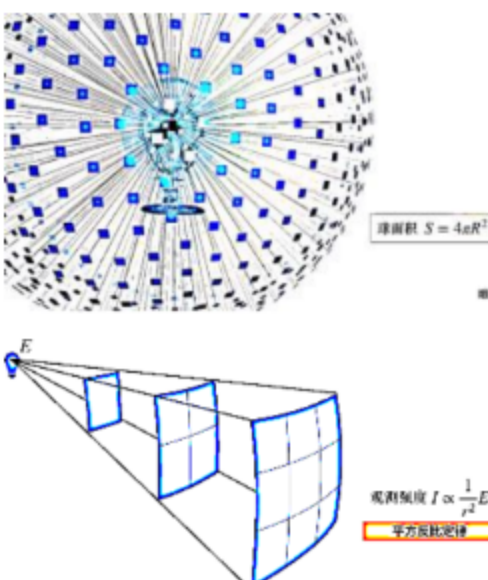
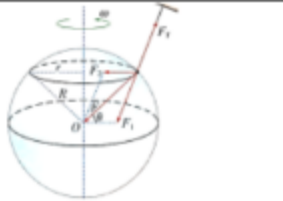
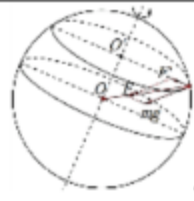
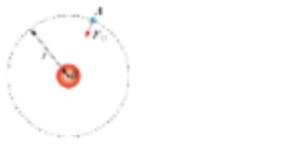
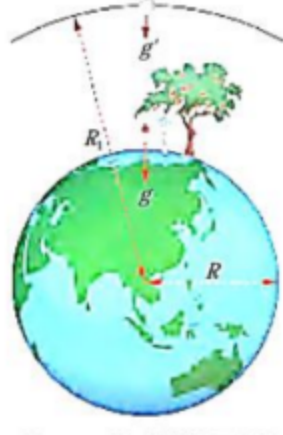
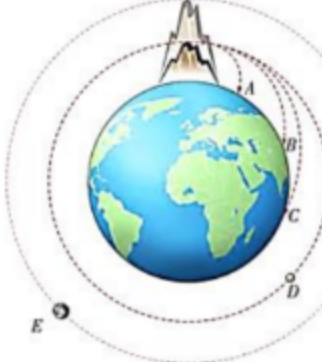
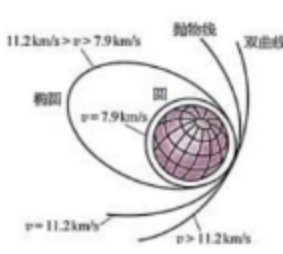
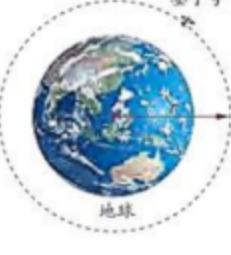
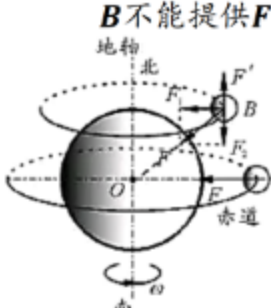
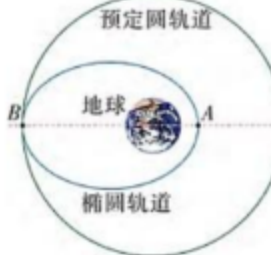
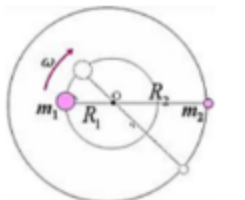
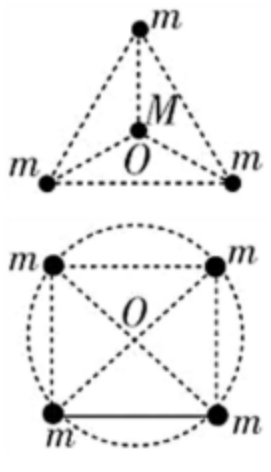
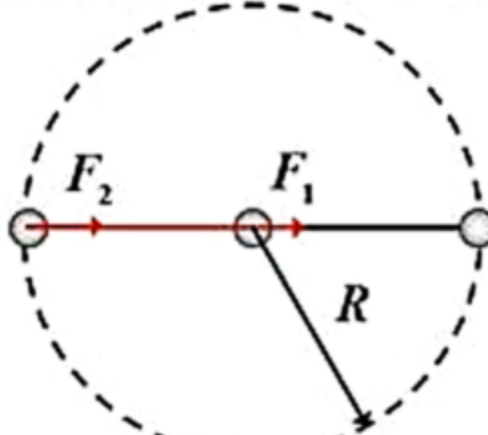
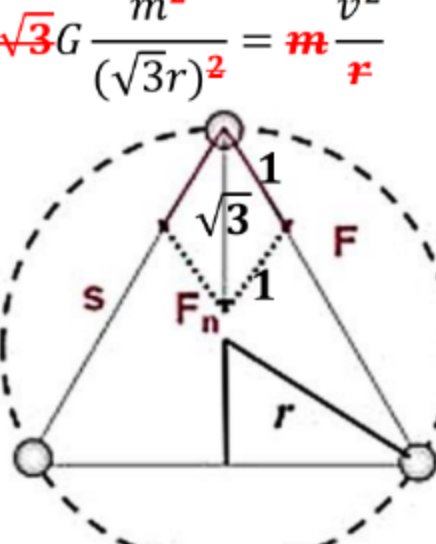
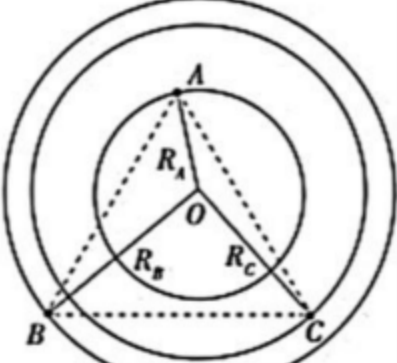
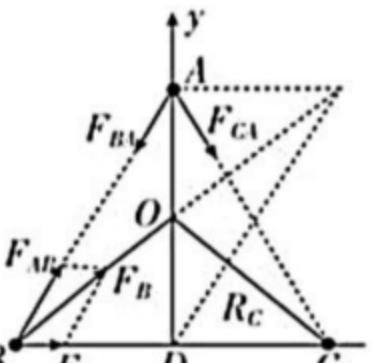


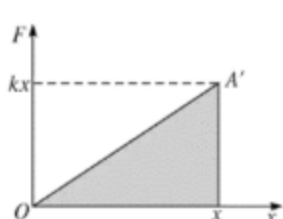
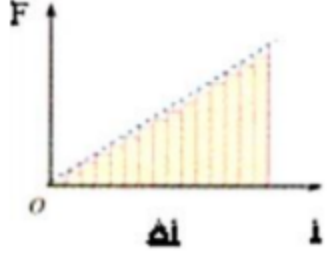
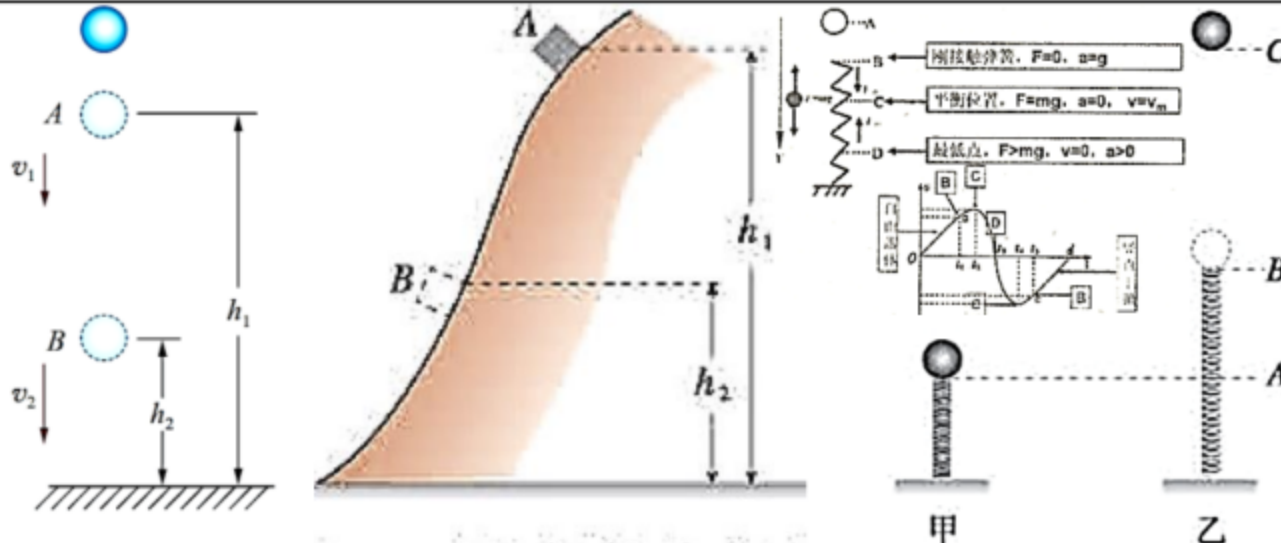
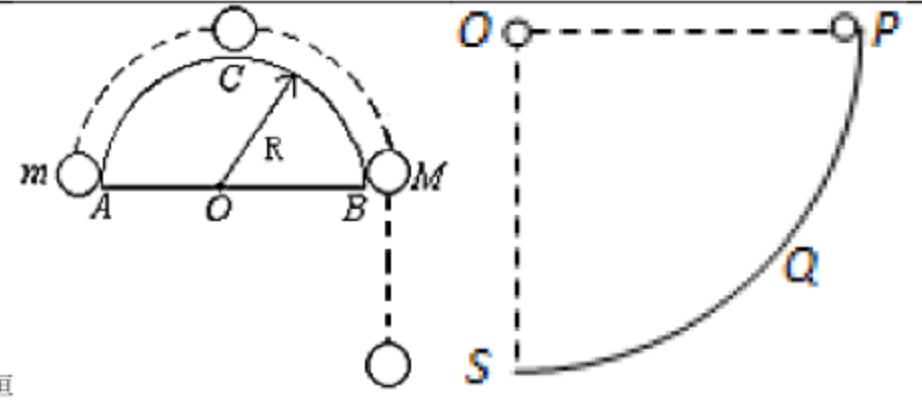
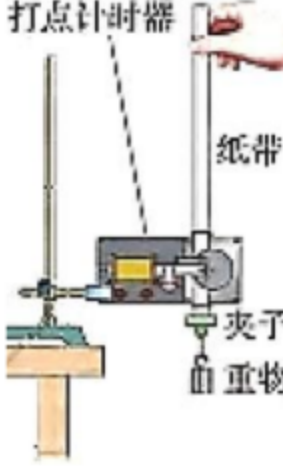
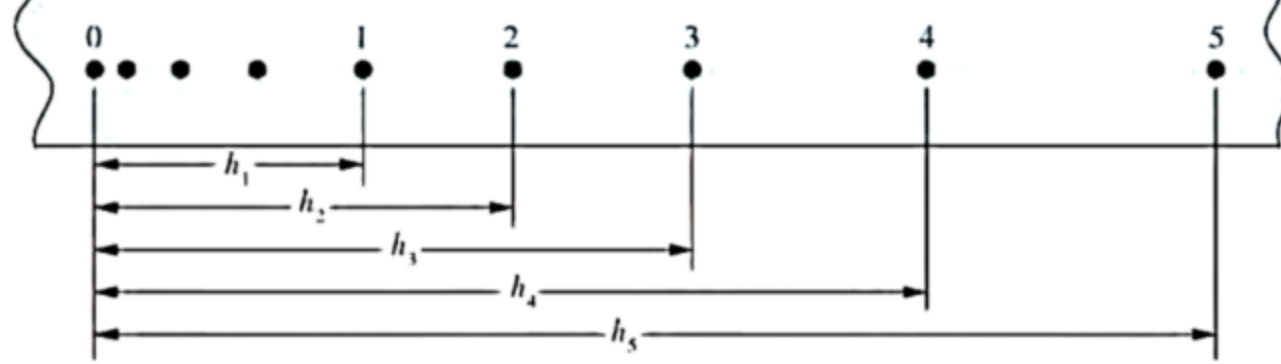
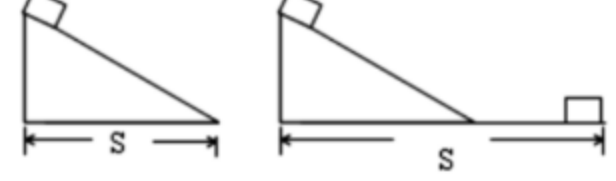
图 6.3-4 推导向心加速度公式

圆周运动		$mg + T = m \frac{v^2}{r}$ $m \frac{v^2}{r} \geq mg$ $v \geq \sqrt{gr}$	$T = 0$ $mg = m \frac{v_{\text{最小}}^2}{r}$ $v_{\text{最小}} = \sqrt{gr}$
	球杆连结 	$mg \pm N = m \frac{v^2}{r}$ $N = 0$ $v = \sqrt{gr}$ $v = 0$ $mg - N = m \frac{v^2}{r} = 0$ $N = mg$	 水平速度 v_x, t_1 在最高点, $\frac{1}{4}$ 圆水平位移 $S_1 = S_2$
		$mg - N = m \frac{v^2}{r}$	
		$N - mg = m \frac{v^2}{r}$	
水平	向心往里拉 	$F_{\text{合}} \neq F_{\text{向}}$ $F_{\text{合}} > F_{\text{向}}$ $mg \tan \theta > m \frac{v^2}{r}$ $\sqrt{gr \tan \theta} > v$	   图 2-3-5 火车车轮的轮缘受铁轨挤压 图 2-3-6 火车通过弯道时的受力情况 图 3-4 汽车在倾斜路面上转弯时的受力情况 图 3-20 飞机转弯时机身倾斜
水平	离心拉不住 	$F_{\text{合}} \neq F_{\text{向}}$ $F_{\text{合}} < F_{\text{向}}$ $f_{\text{最大静摩擦力}} = f_{\text{滑}} = \mu mg$ $\mu mg < m \frac{v^2}{r}$ $\sqrt{\mu gr} < v$	 图 2-4-9 如何使小球分别处于圆管的两端 竖直圆周运动
开普勒定律	开普勒第一定律 	所有行星围绕太阳运行的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上	 轨道定律
	开普勒第二定律 	对任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等时间内扫过相等的面积	面积定律
	开普勒第三定律 k只与中心天体的质量有关	$\frac{a^3}{T^2} = k = \frac{a'^3}{T'^2}$	周期定律：所有行星的轨道半长轴的三次方与它公转周期的二次方之比都相等。同一中心天体，k值相同。

	万有引力定律  图 3-2-2 太阳与行星之间相互作用的引力大小相等 图 3-2-7 扭秤实验装置示意图	$F = G \frac{Mm}{r^2}$ $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$  球面积 $S = 4\pi R^2$ 观测角度 $\theta \propto \frac{1}{r^2}$ 平方反比定律	$\frac{r^3}{T^2} = k$ $F_{\text{引}} = m \frac{v^2}{r} = m \frac{(\frac{2\pi r}{T})^2}{r} = mr \frac{4\pi^2}{T^2} = mr \frac{4\pi^2}{\frac{r^3}{k}} = 4\pi^2 k \frac{m}{r^2}$ $F_{\text{引}} \propto \frac{m}{r^2}$ $F_{\text{引}}' \propto \frac{M}{r^2}$ $F_{\text{引}} = F_{\text{引}}' \propto \frac{Mm}{r^2}$ $F = G \frac{Mm}{r^2}$
有支持力		$F_1 = F_T = G = mg$ $F_2 = mR \cos \theta \omega^2$	 地球半径 $R = 6.4 \times 10^3 \text{km}$, 地球质量 $M = 6 \times 10^{24} \text{kg}$
有支持力	赤道	$F = G \frac{Mm}{R^2} = mg_{\text{赤道}} + mR\omega^2$	$g_{\text{赤道}} = 9.780 \text{m/s}^2$
	两极	$F = G \frac{Mm}{R^2} = mg_{\text{两极}}$	$g_{\text{两极}} = 9.832 \text{m/s}^2$
称量地球质量	黄金代换 忽略地球自转的影响	$G \frac{Mm}{R^2} = mg$ $GM = gR^2$	这个公式把万有引力常数和自由落体加速度常数联系到一起了, 在卡文迪许测出引力常量 G 之前, 这个公式可以直接用来替换未知的 G, 价值堪比黄金
估算天体质量	开普勒第三定律 	$G \frac{Mm}{r^2} = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$ $k = \frac{GM}{4\pi^2} = \frac{r^3}{T^2}$	$V = \frac{4}{3}\pi R^3$ $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3} = \frac{3g}{4\pi GR}$
牛顿的	 图 4-9 月一地检验示意图	$F = G \frac{Mm}{r^2} = ma = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$ $F_{\text{地}} = G \frac{Mm}{R^2} = mg$ $r = 60 \cdot R$ $\frac{a}{g} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{1}{60^2} = \frac{1}{3600}$	 图 3-2-3 “平抛石头”思想实验 -2-4 月球偏离原初速度切线方向的下落距离 $\frac{y}{y_{\text{地}}} = \frac{1}{3600}$ $T = 27.3d$
环绕速度	第一宇宙速度 	$G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_1^2}{R} = mg$ $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} = 7.9 \text{km/s}$ $v_1 = \sqrt{gR} = 7.9 \text{km/s}$	牛顿设想: 把物体从高山上水平抛出, 速度一次比一次大, 落地点也就一次比一次远; 抛出速度足够大时, 物体就不会落回地面, 成为人造地球卫星。 第一宇宙速度: 最小的发射速度, 最大的环绕速度。 $g = 9.8 \text{m/s}^2$
脱离速度	第二宇宙速度 	$v_2 = \sqrt{2}v_1 = 11.2 \text{km/s}$  飞出太阳系 $v_3 = 16.7 \text{km/s}$ 环绕太阳 $v_2 = 11.2 \text{km/s}$ $7.9 \text{km/s} < v < 11.2 \text{km/s}$	$\Delta E_k = 0 - \frac{1}{2}mv_2^2 = \Delta E_{p_{\text{引力势能}}} = 0 - F_{\text{引}} \cdot R = -G \frac{Mm}{R^2} \cdot R$ $v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2}v_1 = 11.2 \text{km/s}$
逃逸	第三宇宙速度	$v_3 = 16.7 \text{km/s}$	挣脱太阳的引力, 飞出太阳系。$v_{\text{对太}}$ 推导同上, 代入太阳质量半径...

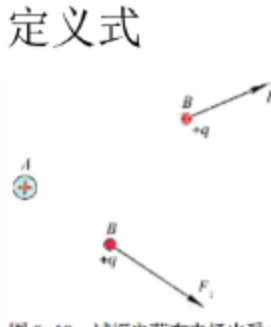
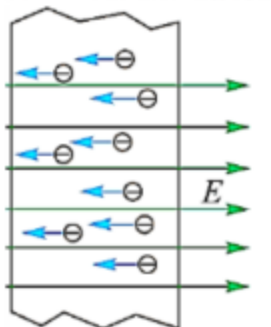
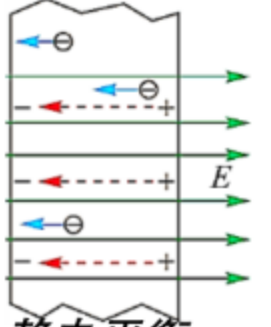
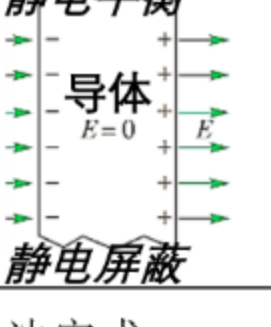
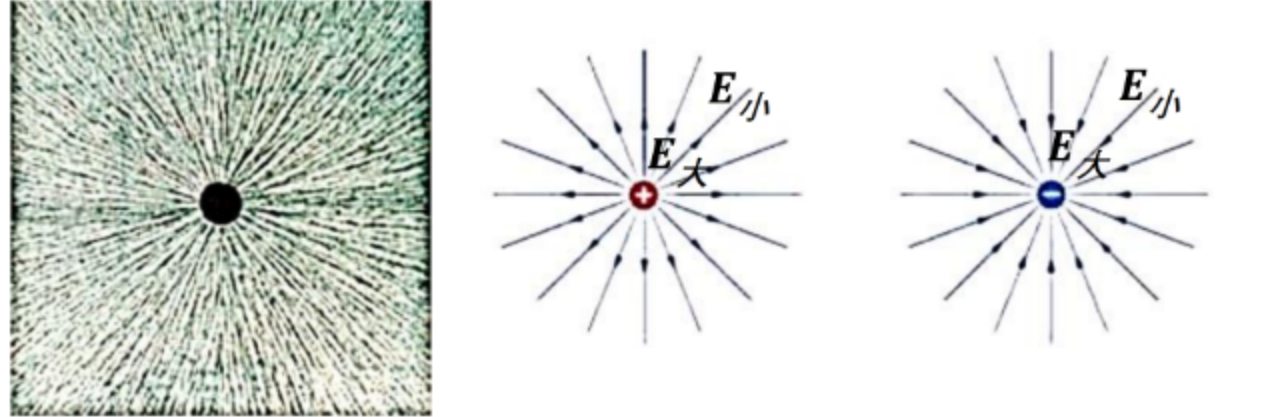
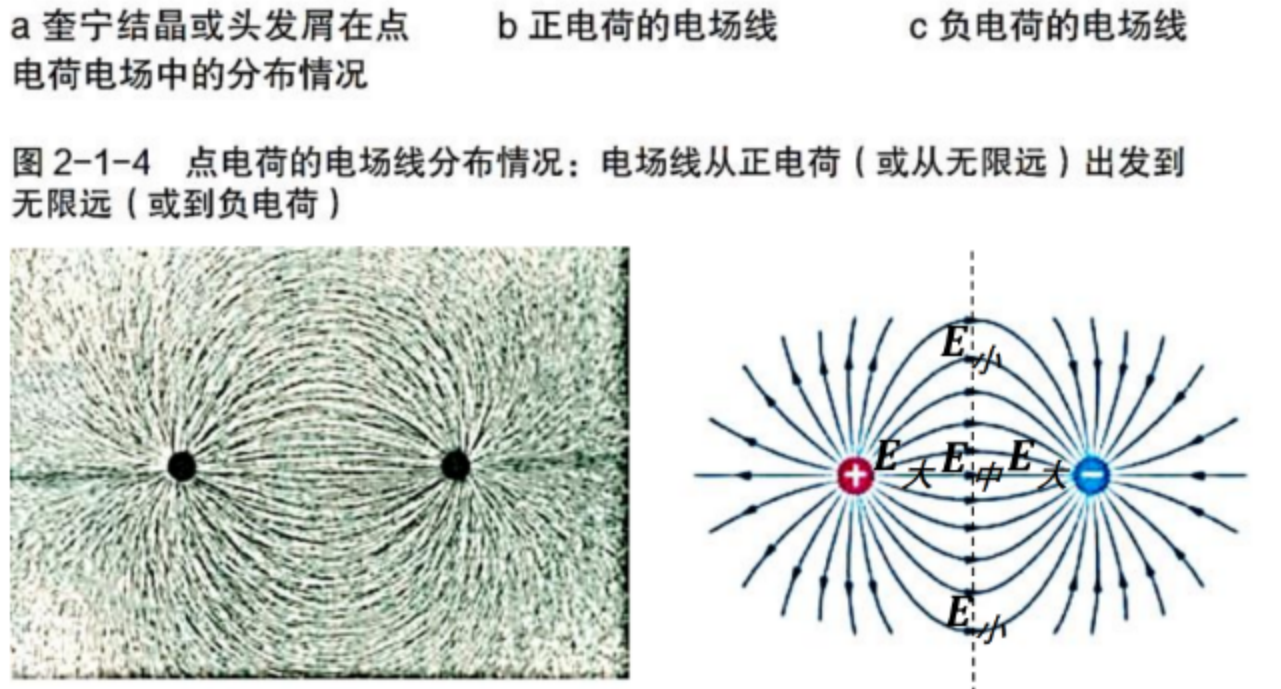
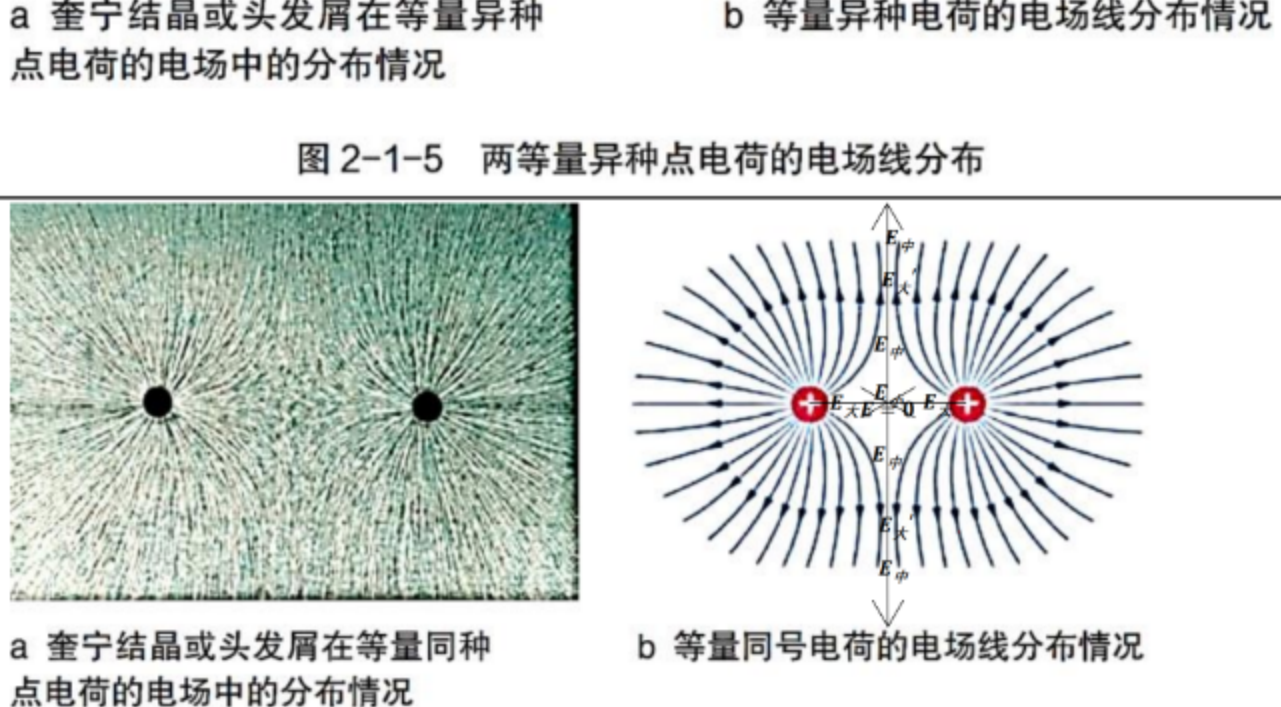
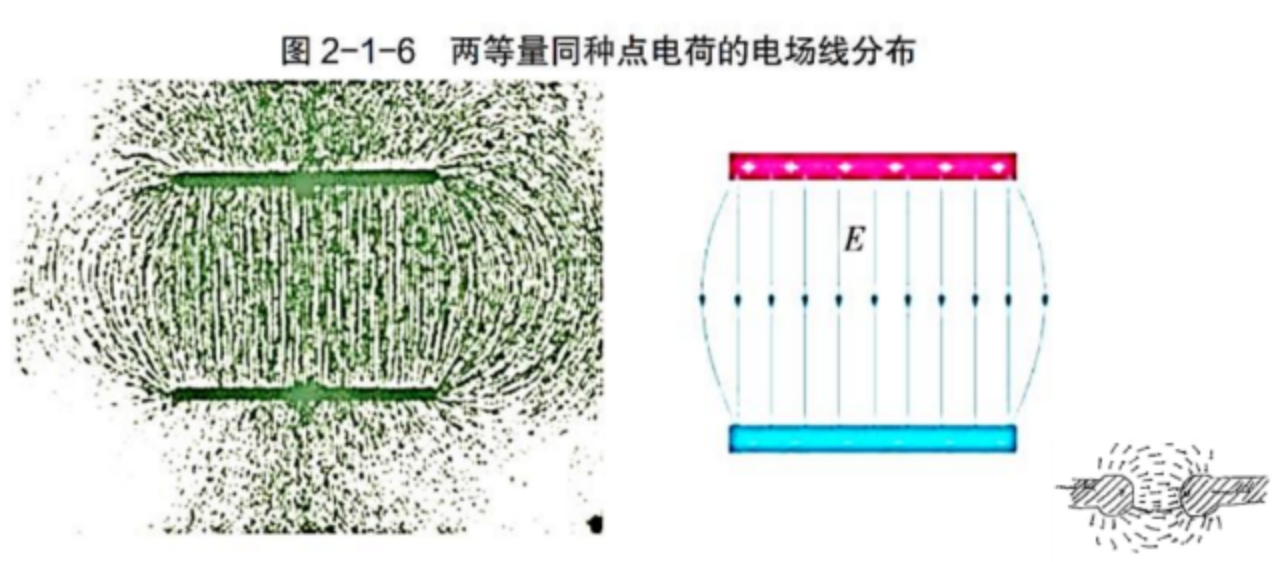
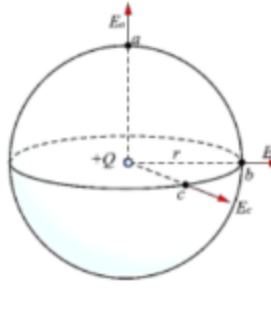
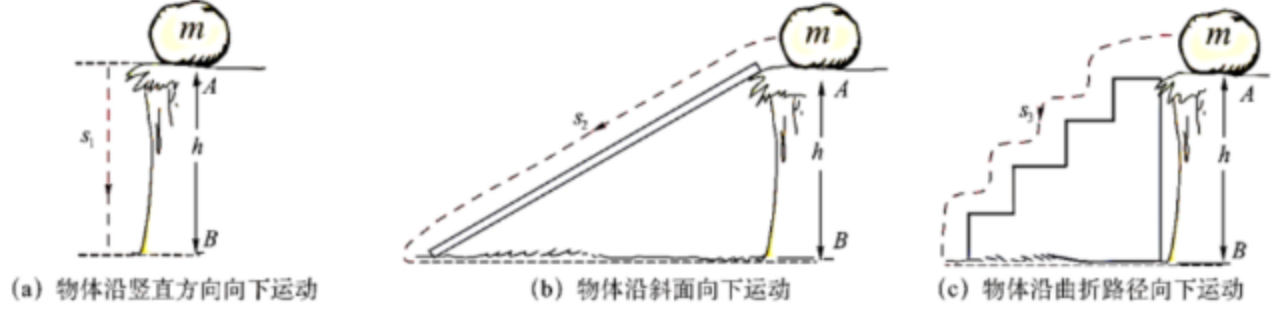
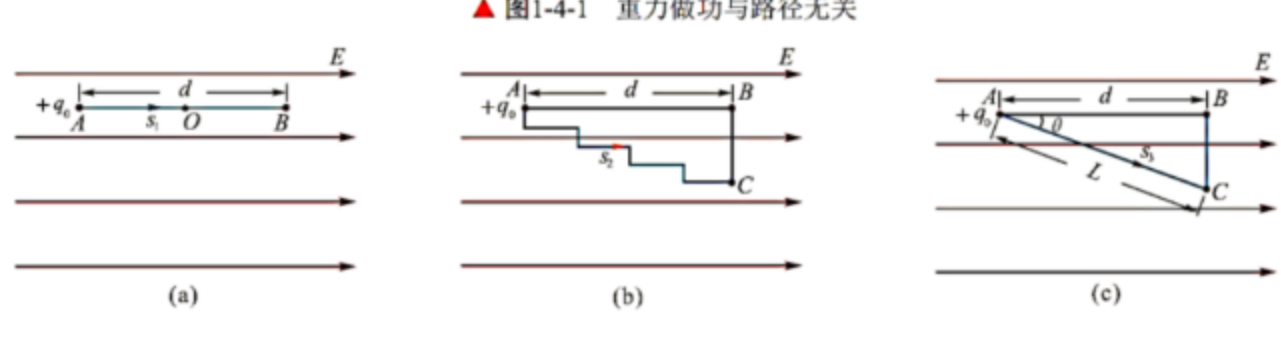
	卫星  图 4-18 “墨子号”绕地球做匀速圆周运动示意图	$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m r \frac{4\pi^2}{T^2}$ $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(R+h)}{v}$	高轨低速（线速度，角速度，加速度）长周期 $r = R + h$ $G \frac{Mm}{r^2} = ma = m r \omega^2 = m v \omega$
	同步卫星  只能在赤道平面上空	$G \frac{Mm}{r^2} = m r \frac{4\pi^2}{T^2}$ $r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} = 4.2 \times 10^4 \text{ km}$ $r = 6.6R$	同步卫星对着地面同一点，同轴转动，ω相同，$T = \frac{2\pi}{\omega} = 24h$相同 地球半径 $R = 0.64 \times 10^4 \text{ km}$ $h = r - R = 3.6 \times 10^4 \text{ km}$ $h = 5.6R$
	追及	$\theta_{快} - \theta_{慢} = 2\pi$	极点俯视图（通用）：每追上一次，多转一圈。
	变轨 	先减速 $v \downarrow$，轨道 r 不变： $G \frac{Mm}{r^2} \geq m \frac{v^2}{r}$ 向心，拉到低轨 $r \downarrow$，再加速 $v \uparrow$ 先加速 $v \uparrow$，轨道 r 不变： $G \frac{Mm}{r^2} \leq m \frac{v^2}{r}$ 离心，到高轨 $r \uparrow$，再减速 $v \downarrow$	 ·15 火箭推动卫星进入轨道的示意图  图 4-17 “阿波罗十一号”登月往返航线示意图
	双星	$G \frac{m_1 m_2}{(r_1 + r_2)^2} = m_1 r_1 \omega^2$ $G \frac{m_1 m_2}{(r_1 + r_2)^2} = m_2 r_2 \omega^2$	同轴转动，ω相同，$T = \frac{2\pi}{\omega}$相同 $v_1 = r_1 \omega$ $v_2 = r_2 \omega$
	多星 	$G \frac{m^2}{r^2} + G \frac{m^2}{(2r)^2} = m \frac{v^2}{r}$ 	$\sqrt{3} G \frac{m^2}{(\sqrt{3}r)^2} = m \frac{v^2}{r}$   
光速 C	视界半径：物体形成黑洞的最大半径 	逃逸速度 $v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 史瓦西半径 $R_s = \frac{2GM}{c^2}$ 黑洞半径 $R = \frac{2GM}{v^2}$	物体的实际半径小于其史瓦西半径的物体被称为黑洞。在不自转的黑洞上，史瓦西半径所形成的球面组成一个视界（仅对于不自转的黑洞，自转的黑洞的情况稍许不同）。光和粒子均无法逃离这个球面。银河中心的超大质量黑洞的史瓦西半径约为 780 万千米。史瓦西半径不是黑洞实体半径。黑洞的半径不能直接用肉眼看，肉眼看到的是史瓦西半径。史瓦西半径（Schwarzschild radius）的公式，其实是从物体逃逸速度的公式衍生而来。该值的含义是，如果特定质量的物质被压缩到该半径值之内，将没有任何已知类型的力可以阻止该物质在自身引力的条件下将自己压缩成一个黑洞。

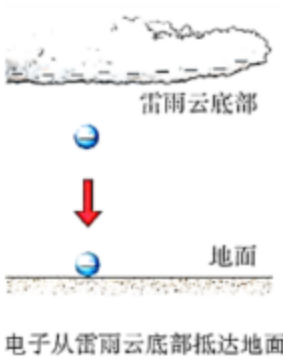
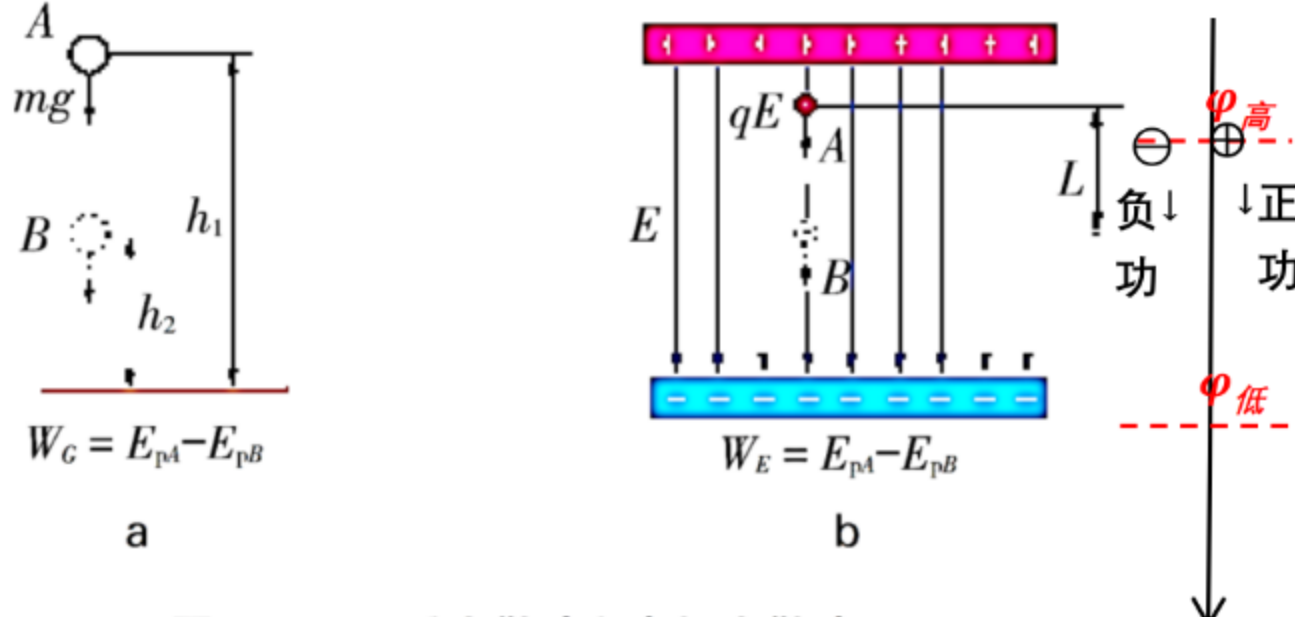
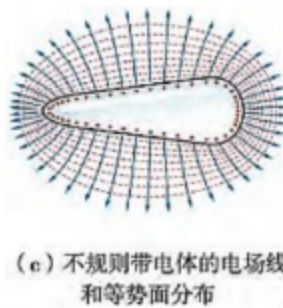
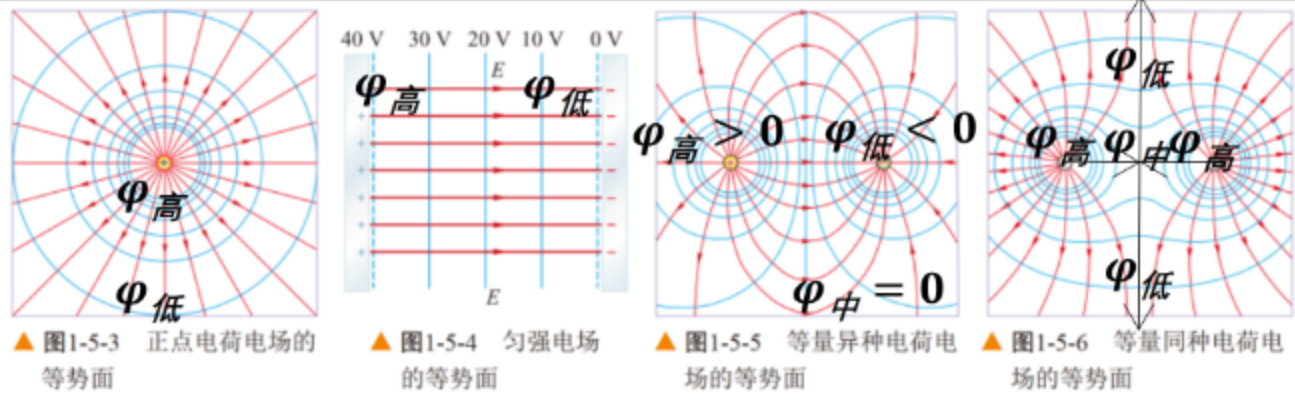
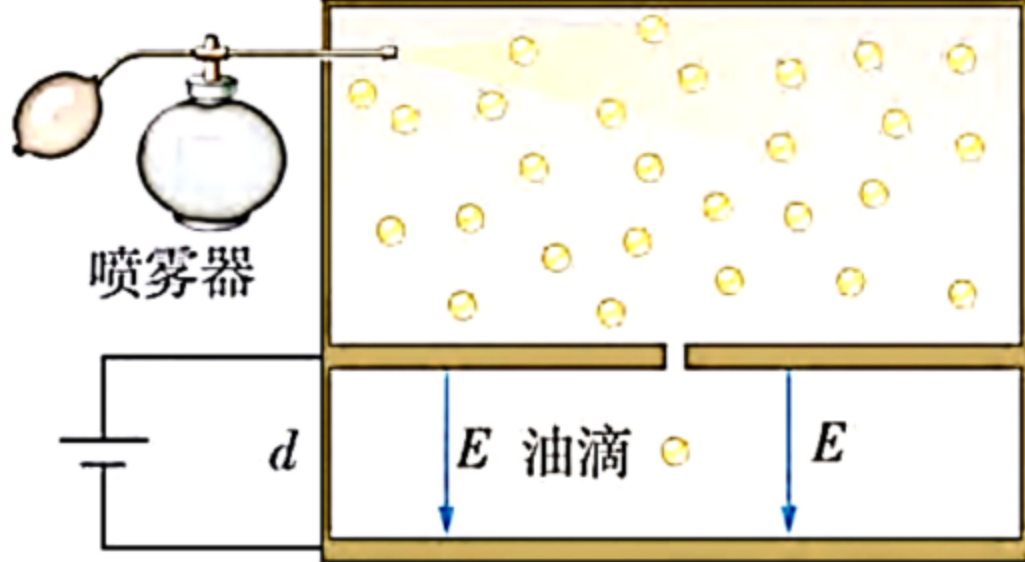
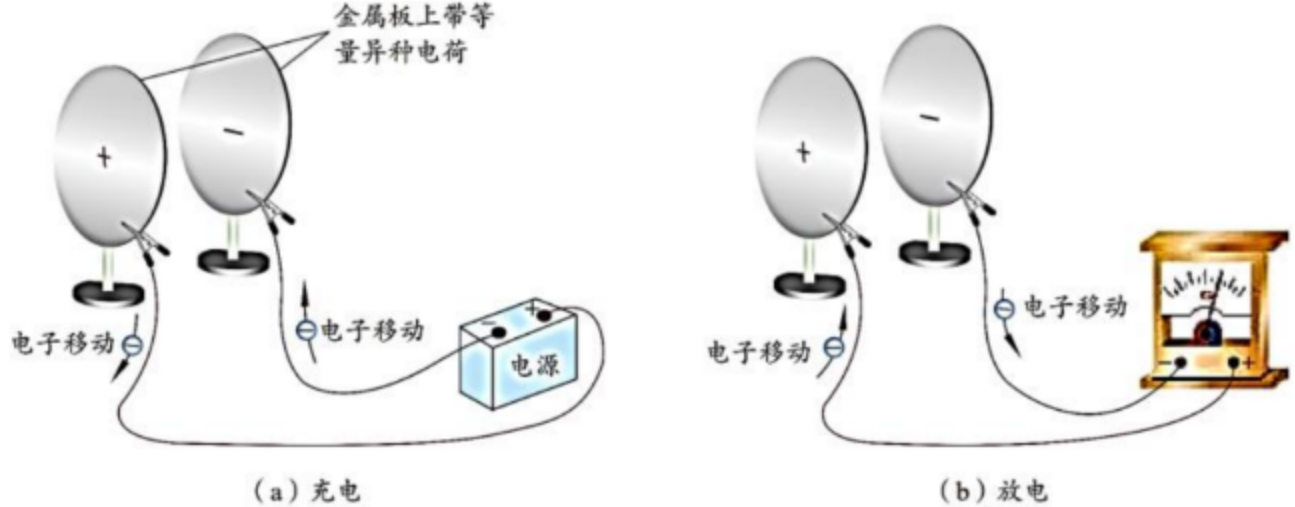
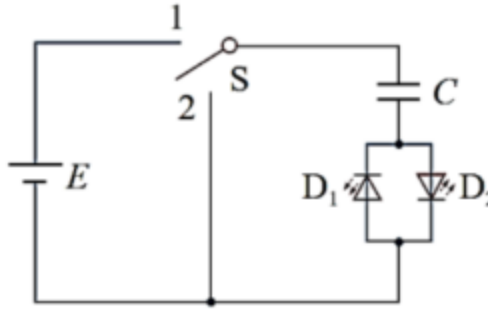
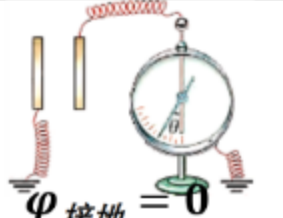
	功 ($F \perp s$ 不做功) 1-3 力的方向与物体位移的方向之间夹角的情况 功是能量变化的量度	$W = Fs \cos \alpha$ 带正负号计算 算出正数($W > 0$): 正功 算出负数($W < 0$): 负功	图 1-3 用图像描述功的大小
	功率 (做功快慢)	$P = \frac{W}{t} = \frac{Fs}{t} = \frac{F \cdot vt}{t} = Fv$	
启动 机车	恒定功率	$P = F \downarrow v \uparrow$ $F \downarrow -f = ma \downarrow$	做加速度减小的加速, 直到($a = 0$)匀速。
	恒定加速度	$P \uparrow = Fv \uparrow$ $P_{\text{额}} = fv_{\text{最大}}$	先匀加速, 再做加速度减小的加速, 直到匀速。
动能 图 4-3-2 物体在水平桌面上运动		$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$-f = m(-a)$ $0 - v^2 = 2(-a) \cdot s$ $s = \frac{v^2}{2a}$ $W = -f \cdot s = m(-a) \cdot \frac{v^2}{2a} = -\frac{1}{2}mv^2$
动能定理 图 4-3-3 物体在恒力 F 的作用下沿水平面运动	打点计时器 纸带 小车 橡皮筋 木板	$W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ $W_{\text{合}} = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}$ 合外力对物体所做的功等于物体动能的变化量(增加量) $W_{\text{合}} = F_{\text{合}}s \cos \alpha$ $W_{\text{合}} = W_1 + W_2 + \dots$	$F_{\text{合}} = F - f = ma$ $v_t^2 - v_0^2 = 2a \cdot s = 2 \cdot \frac{F_{\text{合}}}{m} \cdot s$ $s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a}$ $W_{\text{合}} = F_{\text{合}} \cdot s = (F - f) \cdot s = ma \cdot \frac{(v_t^2 - v_0^2)}{2a} = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 这里, 动能定理是在物体受恒力作用, 并且做直线运动的情况下得到的。当物体受变力作用, 或做曲线运动时, 我们可以采用把整个过程分成许多小段, 认为物体在每小段运动中受到的是恒力, 运动轨迹是直线, 把这些小段中力做的功相加, 这样也能得到动能定理。
重力势能 图 1-18 释放小球 有价值的是重力势能的差值		$E_p = mgh$ 对选定的参考平面而言, 上方物体的高度是正值, 重力势能也是正值; 下方物体的高度是负值, 重力势能也是负值。	图 8.2-5 重力势能与参考平面的选取有关 图 4-4-4 重力势能的相对性 图 1-19 零势能参考平面的选择
重力做功跟重力势能变化的关系		$W_G = mg\Delta h = mgh_1 - mgh_2$ $W_{AB} = -\Delta E_p = E_{pA} - E_{pB}$ 做功等于势能的减小量 正功($W > 0$), 势能减小↓ 负功($W < 0$), 势能增加↑	图 8.2-4 研究物体沿曲面运动时重力做的功

	弹性势能 	$E_p = \bar{F}x = \frac{1}{2}Fx = \frac{1}{2}kx^2$	 由相对位置决定的能量称为势能。
	机械能	$E = E_k + E_p$	重力势能、弹性势能与动能都是机械运动中的能量形式，统称为机械能。
	机械能守恒定律 的理论验证	$W_G = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$	 1-26 小球下落示意图 8.4-3 物体沿光滑曲面滑下 在只有重力或弹力做功的系统内，机械能守恒
		$W_G = mgh_1 - mgh_2$	
		$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_1 - mgh_2$	
		$\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1$	
		$E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1}$	
	转化	$Mgh - mgh = \frac{1}{2}(M + m)v^2$	 弹力做功的系统内，机械能守恒
	转移	$Mgh - \frac{1}{2}Mv^2 = mgh + \frac{1}{2}mv^2$	
	守恒	$0 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 + mgh - Mgh$	
	验证机械能守恒定律	$v_i = \frac{h_{i+1} + h_{i-1}}{2T}$	 先接通电源，再释放纸带。(v ₀ = 0) 无论是否考虑空气阻力，v ² - h图都过原点，k _{v²-h图} = 2a $\frac{1}{2}v^2 - h图, k_{\frac{1}{2}v^2-h图} = a$
		$\Delta E_p = mgh_i = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_i^2$	
		$v_i^2 = 2ah_i$	
		$mg - f = ma$	
		$(mg - f)h_i = \frac{1}{2}mv_i^2$	
		$mah_i = \frac{1}{2}mv_i^2$	
摩擦力做功	斜面	$W_f = \mu mgl \cos \theta = \mu mgs_{\text{水平位移}}$ $mgh = \mu mgs_{\text{水平位移}}$	 做功：只能算对地位移(惯性参考系a = 0，否则要用惯性力算a _相) 一对静摩擦力做功，系统不产生热量。(相对位移s _相 = 0)
	动能定理	$W_f = fs_{\text{对地}} = \frac{1}{2}mv_{\text{对地}}^2$	
	一对摩擦力做功	$Q_{\text{系统}} = \Delta W_f = f_{\text{滑}}s_{\text{相}}$	
	相对论时空观	尺缩钟慢	光速不变。时空弯曲。粤教版必修二第五章第二节。

必修 第三册 (高二 上学期)

	库仑定律 在真空中两个静止点电荷之间的相互作用	$F = k \frac{Qq}{r^2}$ $k = 9 \times 10^9 N \cdot m^2 / C^2$	电荷既不能被创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体转移到其他物体，或者从物体的一部分转移到另一部分。在任何转移的过程中，电荷的总量保持不变。这个规律叫作 <u>电荷守恒</u> 定律。
---	----------------------------	---	--

电场强度	定义式  图 9-19 试探电荷在电场中受力  静电平衡  静电屏蔽 	$E = \frac{F}{q}$ 试探电荷q 场强是矢量。物理学上规定，电场中某点的场强的方向与<u>正电荷</u>在该点<u>受到的电场力的方向</u><u>相同</u>。<u>负电荷</u>在某点受到的电场力的方向与该点场强的方向<u>相反</u>。 $F = qE$ 元电荷$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 比荷（荷质比）$\frac{q}{m}$	 a 奎宁结晶或头发屑在点电荷电场中的分布情况 b 正电荷的电场线 c 负电荷的电场线 图 2-1-4 点电荷的电场线分布情况：电场线从正电荷（或从无限远）出发到无限远（或到负电荷）  a 奎宁结晶或头发屑在等量异种点电荷电场中的分布情况 b 等量异种电荷的电场线分布情况 图 2-1-5 两等量异种点电荷的电场线分布  a 奎宁结晶或头发屑在等量同种点电荷电场中的分布情况 b 等量同号电荷的电场线分布情况 图 2-1-6 两等量同种点电荷的电场线分布  a 奎宁结晶或头发屑在匀强电场中的分布情况 b 匀强电场的电场线分布 图 2-1-7 匀强电场的电场线分布
电场力做功	决定式  静电场：静止场源电荷在其周围产生的电场。大小可看<u>距离</u>，放试探电荷<u>矢量</u>叠加。	$E = \frac{F}{q} = \frac{k \frac{Qq}{r^2}}{q} = k \frac{Q}{r^2}$ 场源电荷Q 电场线从<u>正电荷</u>或<u>无限远</u>出发，终止于<u>无限远</u>或<u>负电荷</u> 场强越<u>大</u>的地方，电场线越<u>密</u> 场强越<u>小</u>的地方，电场线越<u>疏</u> 任意两条电场线都<u>不相交</u>（<u>不相切</u>），这是因为电场中每一点处的场强只能有一个确定的方向	 (a) 物体沿竖直方向向下运动 (b) 物体沿斜面向下运动 (c) 物体沿曲折路径向下运动 ▲ 图 1-4-1 重力做功与路径无关  (a) (b) (c) ▲ 图 1-4-2 沿不同的路径移动电荷

	电场力做功跟电势能变化的关系 	$W_{AB} = -\Delta E_p = E_{pA} - E_{pB}$ 做功等于势能的减小量	
		正功($W > 0$), 势能减小↓ 负功($W < 0$), 势能增加↑ 和重力的区别: <u>正负</u> 电荷电场力的方向不同。	
电势	 (c) 不规则带电体的电场线和等势面分布 不相交, 不相切	$\varphi_A = \frac{E_{pA}}{q}$ <u>沿电场方向电势φ降低</u> 通常选距离场源电荷 <u>无穷远处为零电势点</u> 。 $E_{pA} = \pm q \cdot \pm \varphi_A$	 图1-5-3 正点电荷电场的等势面 图1-5-4 匀强电场的等势面 图1-5-5 等量异种电荷电场的等势面 图1-5-6 等量同种电荷电场的等势面 等势面 $\perp$ 经过的电场线。在同一等势面上移动电荷时电场力不做功
电压	电势差	$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$	$U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A, U_{AB} = -U_{BA}$
电子伏	电场力做功	$W_{AB} = qU_{AB}$	$W_{AB} = -\Delta E_p = E_{pA} - E_{pB} = q\varphi_A - q\varphi_B = q(\varphi_A - \varphi_B) = qU_{AB}$
匀强	电势差与电场强度的关系	$U = Ed$ 非匀强电场可以定性分析	$W_{AB} = Fs \cos \alpha = qE_{AB} \cdot d_{AB} = qU_{AB}$ 沿电场线的方向电势降低得最快。等势面越密的地方场强越大。
	密立根油滴实验	$mg = qE = q \frac{U}{d}$ $q = \frac{mgd}{U}$	
图 2-2-8 密立根油滴实验示意图			
电 容	定义式	$C = \frac{Q}{U}$	 (a) 充电 (b) 放电 图 2-23 平行板电容器的充电与放电示意图
	开关 S_1 闭合: U 不变。 开关 S 断开: Q 不变。	 $1F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$	
	决定式	$C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$	
	 $\varphi_{\text{接地}} = 0$	开关 S 断开: Q 不变。 $C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{Ed} = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$	静电计测 U 。大地是巨大的导体, 达到 <u>静电平衡</u> , 是 <u>等势体</u> 。 开关 S_1 闭合: U 不变。 $U = E \downarrow d \uparrow$ 。 $C = \frac{Q}{U} = \frac{Q \downarrow}{E \downarrow d \uparrow} = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d \uparrow}$

如图 10.5-1 甲, 某装置中, 多个横截面积相同的金属圆筒依次排列, 其中心轴线在同一直线上, 圆筒的长度依照一定的规律依次增加。序号为奇数的圆筒和交变电源的一个极相连, 序号为偶数的圆筒和该电源的另一个极相连。

交变电源两极间电势差的变化规律如图 10.5-1 乙所示。在 $t = 0$ 时, 奇数圆筒相对偶数圆筒的电势差为正值, 此时位于和偶数圆筒相连的金属圆板 (序号为 0) 中央的一个电子, 在圆板和圆筒 1 之间的电场中由静止开始加速, 沿中心轴线冲进圆筒 1。

为使电子运动到圆筒与圆筒之间各个间隙中都能恰好使静电力的方向跟运动方向相同而不断加速, 圆筒长度的设计必须遵照一定的规律。若已知电子的质量为 m 、电子电荷量为 e 、电压的绝对值为 u 、周期为 T , 电子通过圆筒间隙的时间可以忽略不计。则金属圆筒的长度和它的序号之间有什么定量关系? 第 n 个金属圆筒的长度应该是多少?

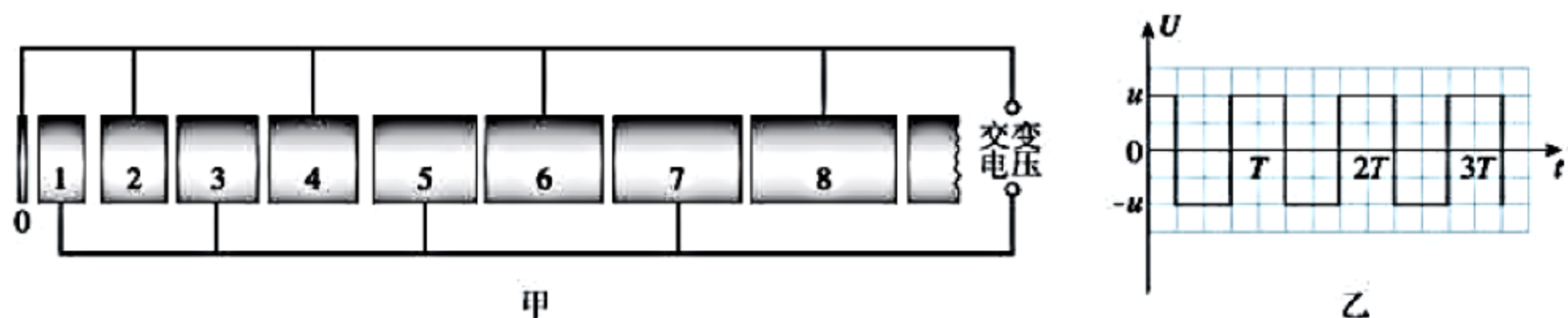


图 10.5-1

分析 如图 10.5-1, 由于金属导体内部的电场强度等于 0, 电子在各个金属圆筒内部都不受静电力的作用, 它在圆筒内的运动是匀速直线运动, 只是在相邻圆筒的间隙中才会被加速。

为使电子在所有相邻圆筒的间隙中都能受到向右的静电力, 电子所到达间隙处的电场强度都必须向左。在同一间隙中, 电场强度的方向是周期性变化的, 每半个周期, 电场强度的方向左右变化一次。如果电子匀速穿过每个圆筒运动的时间恰好等于交变电压的周期的一半, 它就能踏准节奏, 每到达一个间隙, 恰好是该间隙的电场强度变为向左的时刻。

由于电子通过每一个间隙所增加的动能都等于 eu , 由此可知电子在各个圆筒内的动能和速度, 而各个圆筒的长度应该等于电子在该圆筒中的速度大小与交变电压的半个周期的乘积。

解 设电子进入第 n 个圆筒后的速度为 v , 根据动能定理有

$$neu = \frac{1}{2} mv^2$$

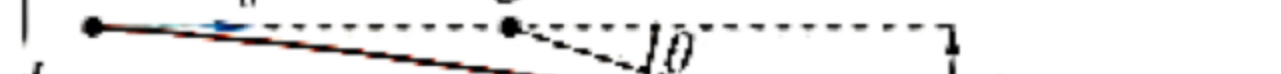
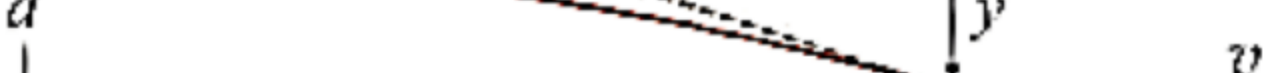
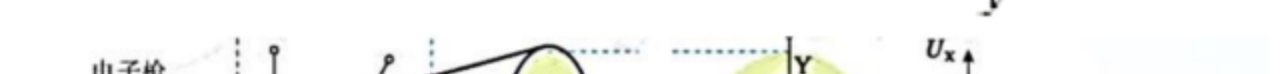
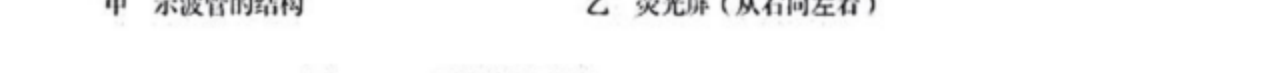
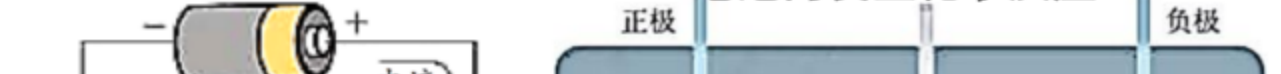
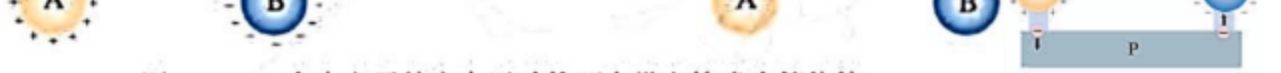
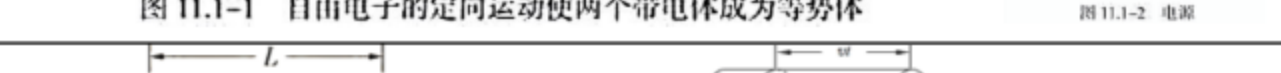
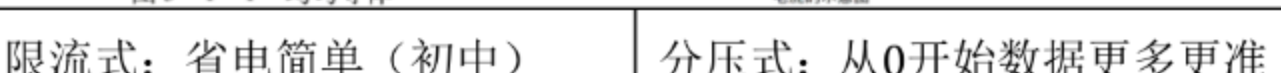
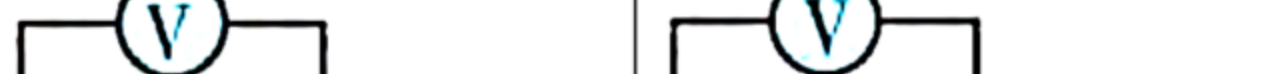
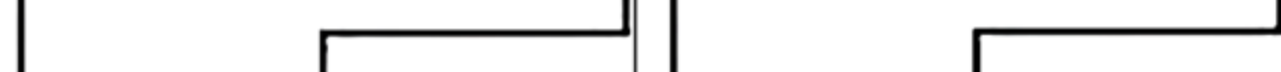
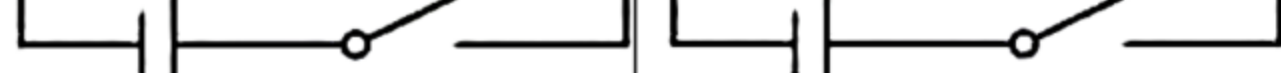
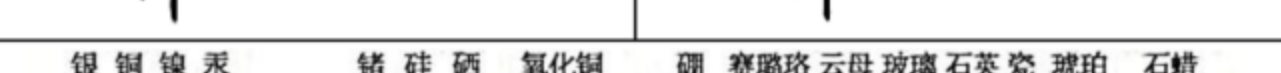
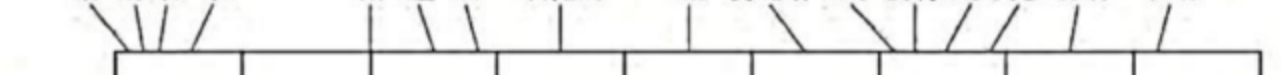
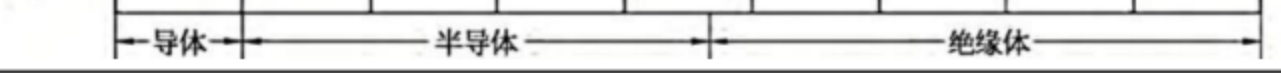
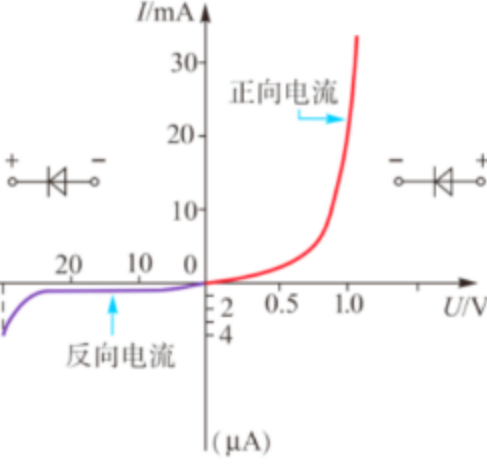
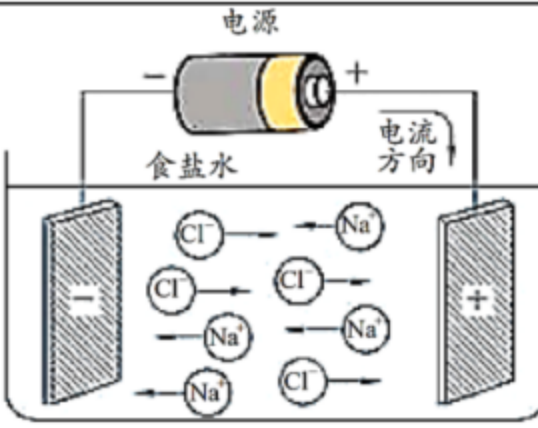
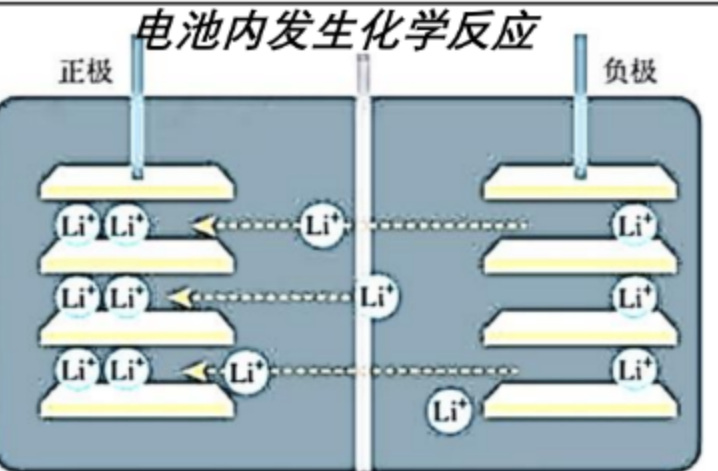
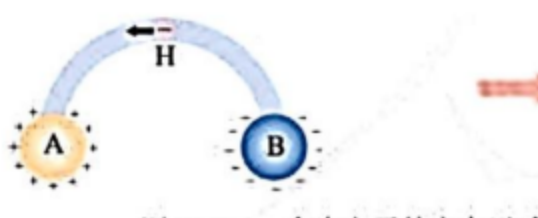
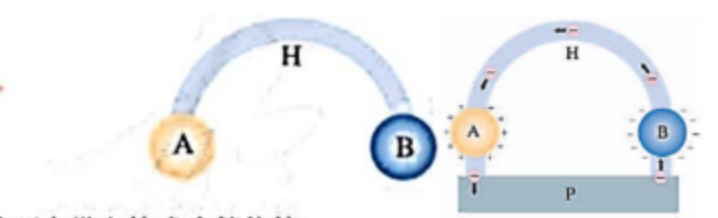
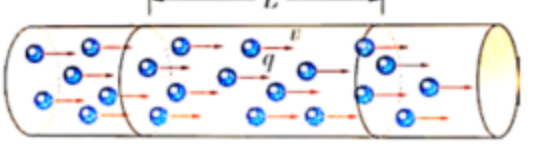
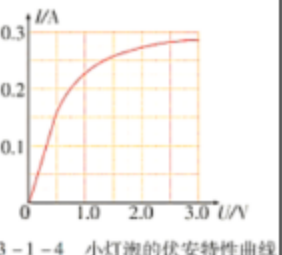
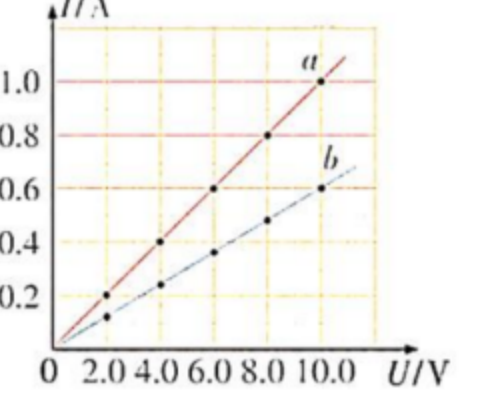
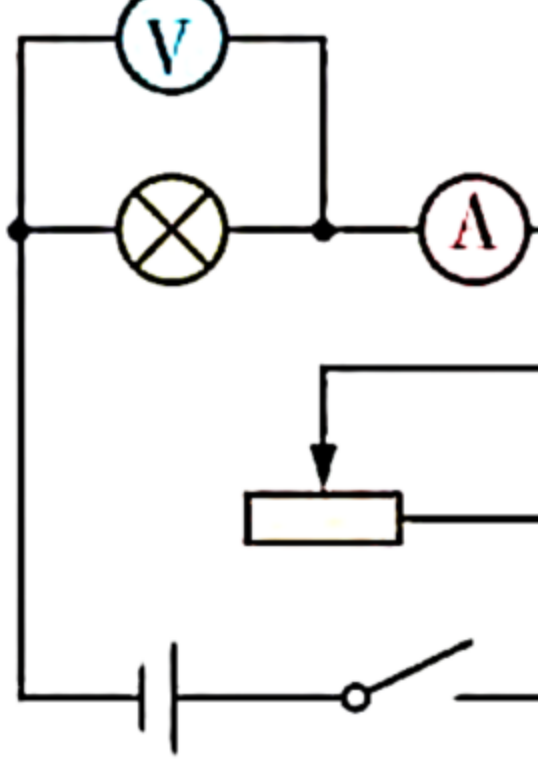
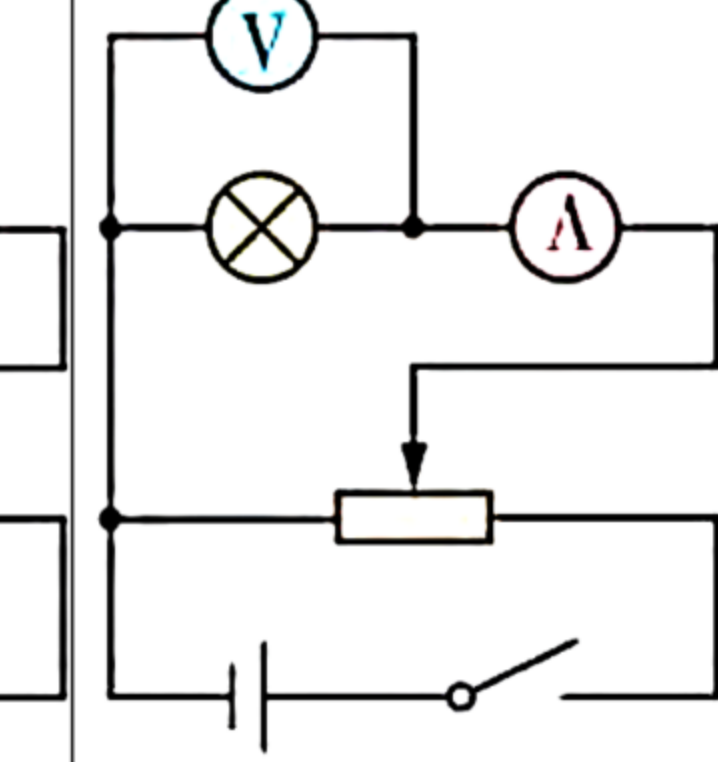
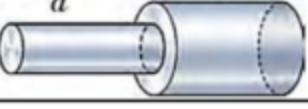
得

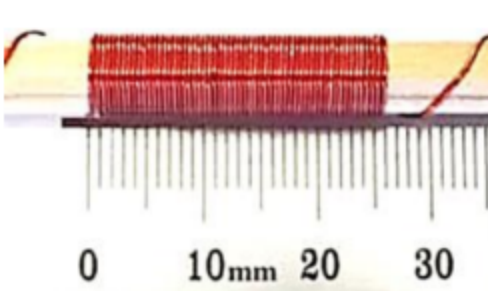
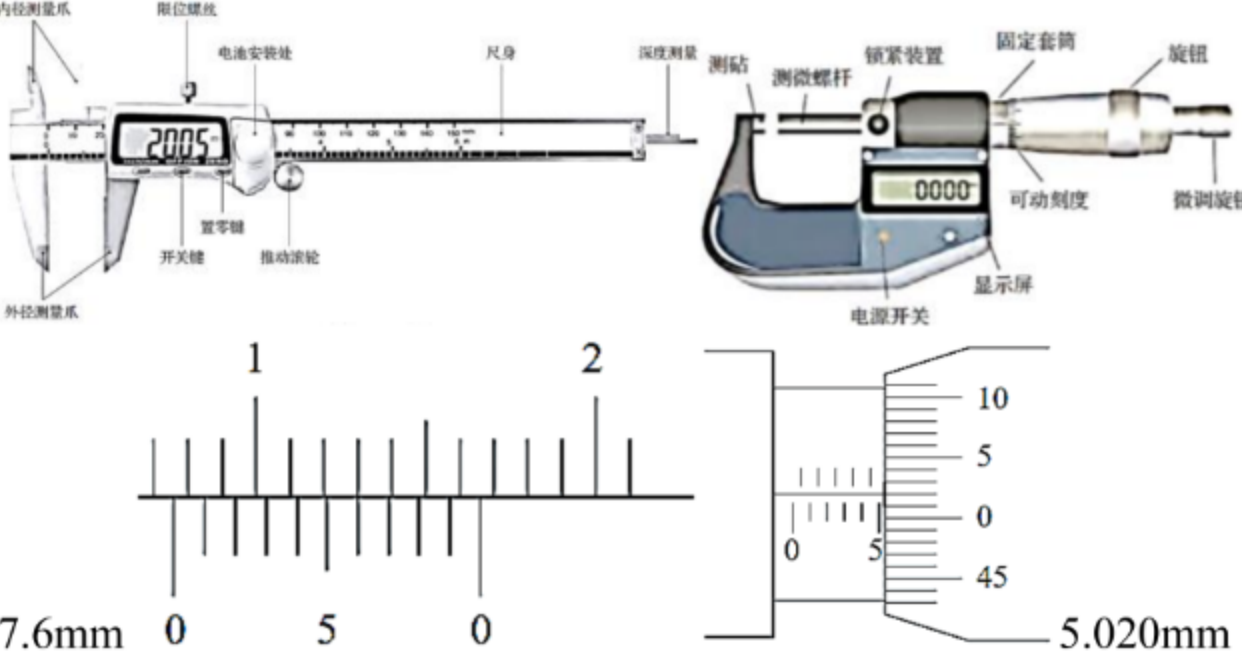
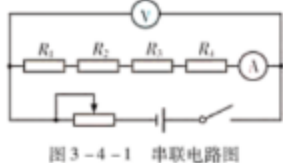
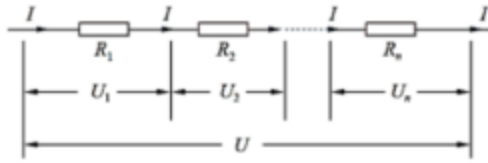
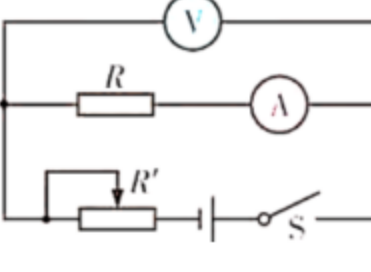
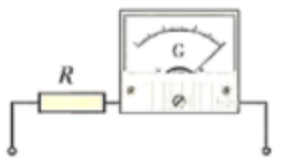
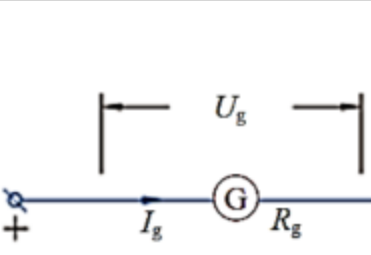
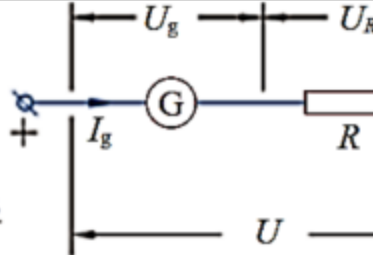
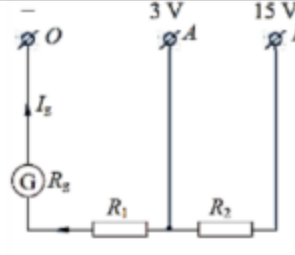
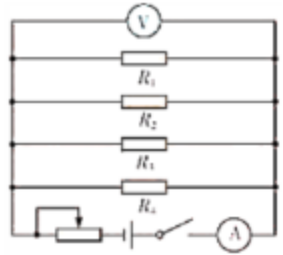
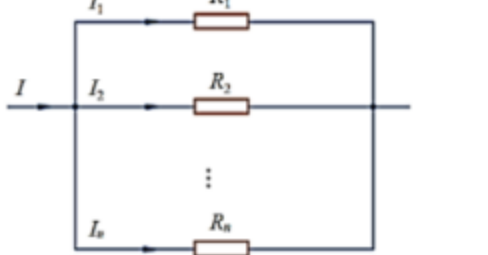
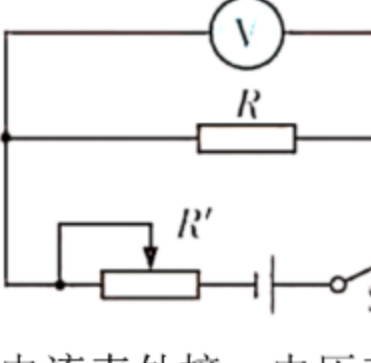
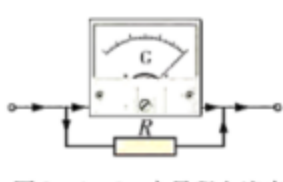
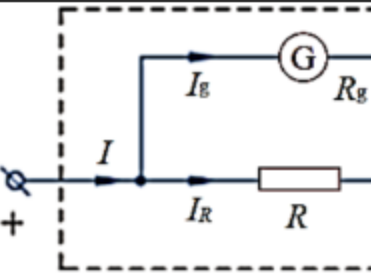
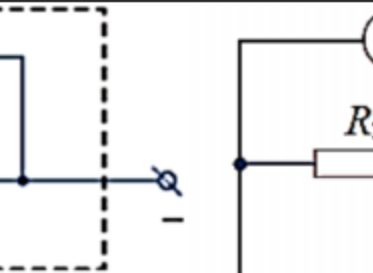
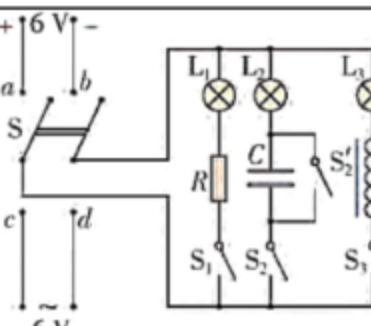
$$v = \sqrt{\frac{2neu}{m}}$$

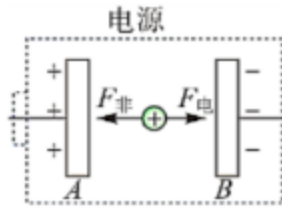
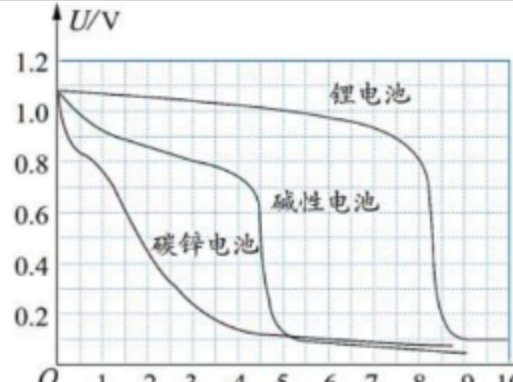
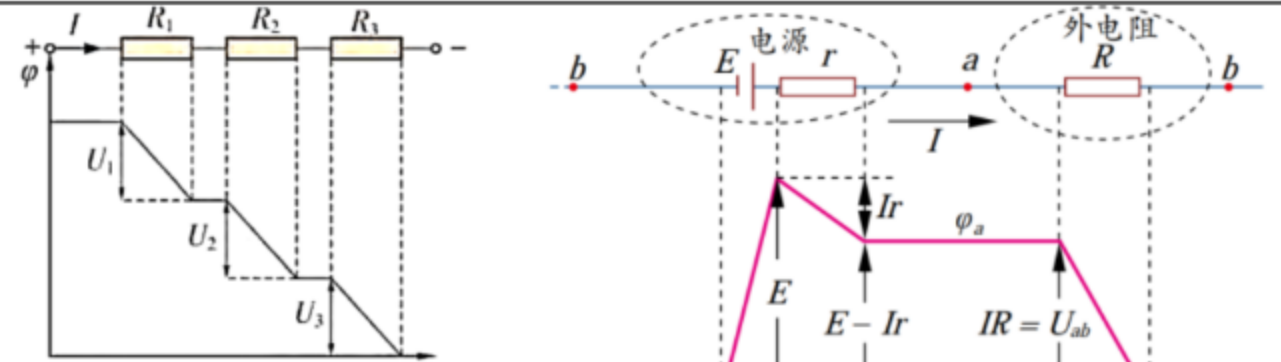
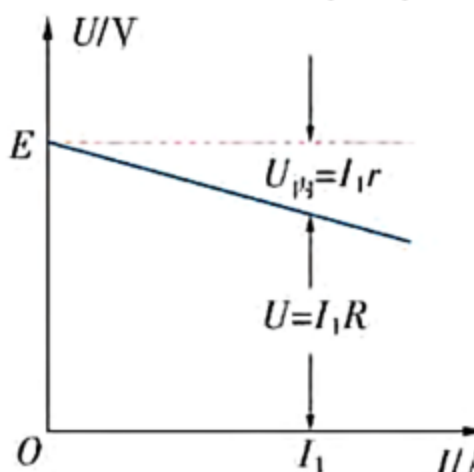
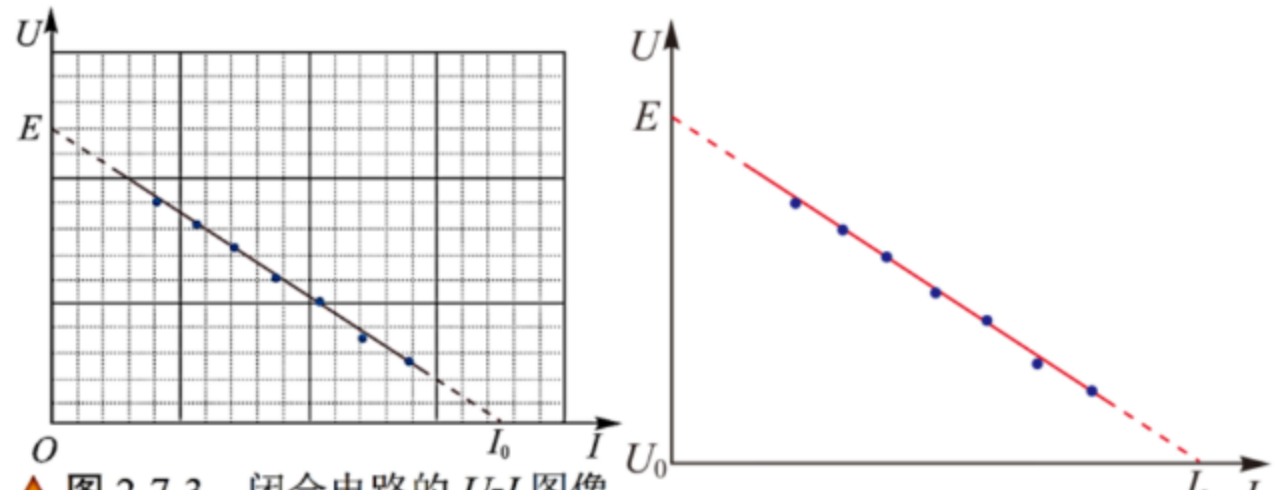
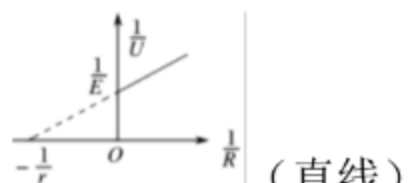
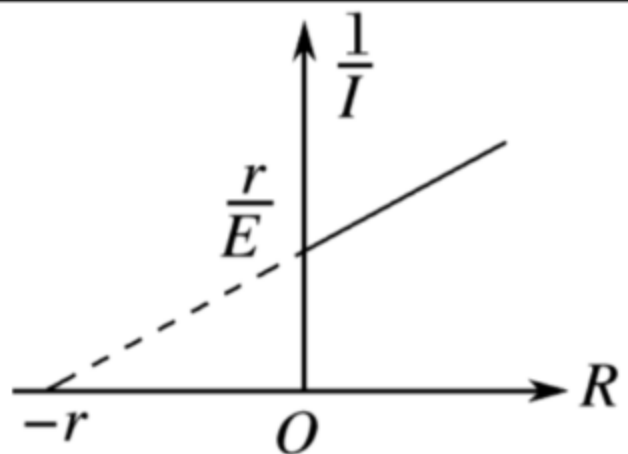
第 n 个圆筒的长度为

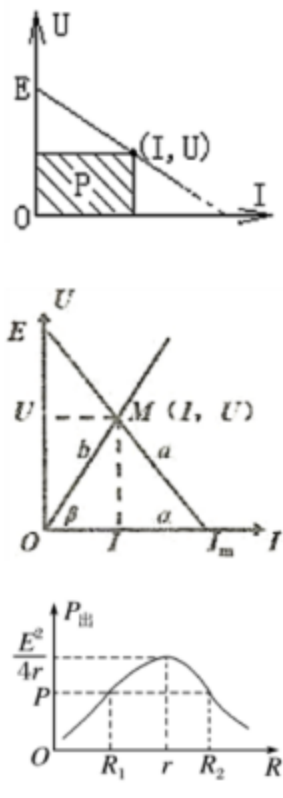
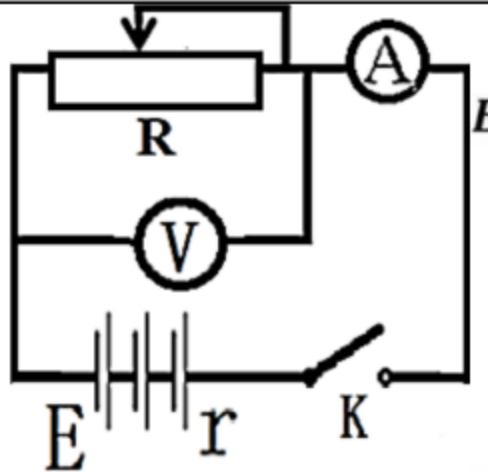
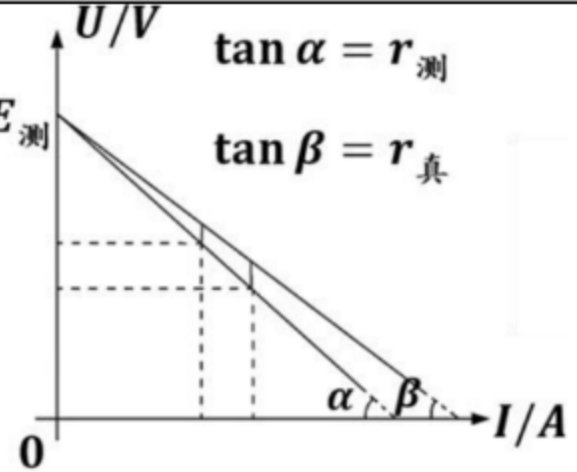
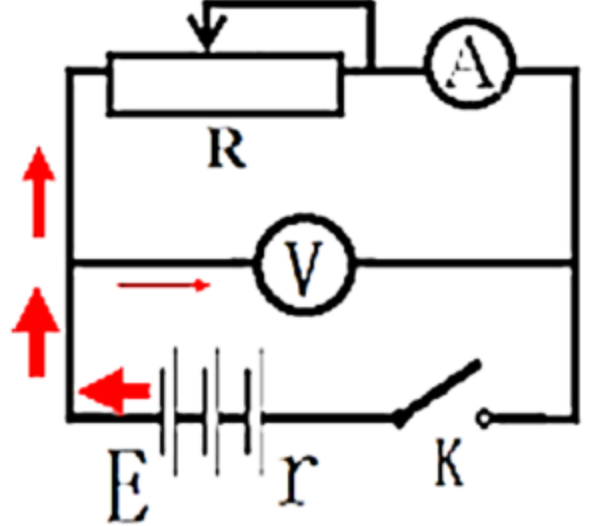
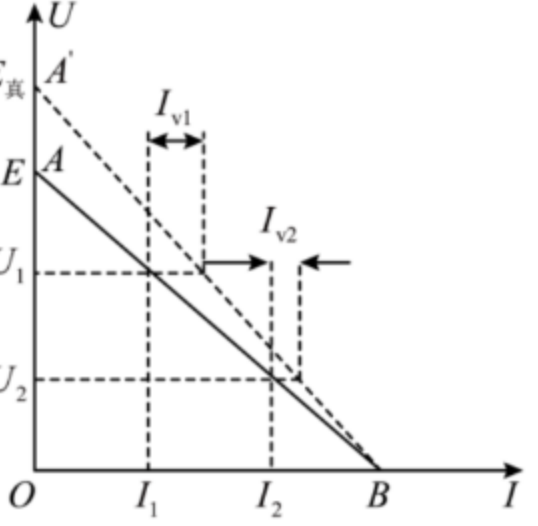
$$l = vt = \frac{vT}{2} = \frac{T}{2m} \sqrt{2neum}$$

圆筒长度跟圆筒序号的平方根 $\sqrt{n}$ 成正比, 第 n 个圆筒的长度是 $\frac{T}{2m} \sqrt{2neum}$ 。

	带电粒子在电场中的加速	$qU = \frac{1}{2}mv^2$	动能定理
     	带电粒子在电场中的偏转（类平抛）	基本粒子 $\frac{q}{m} \approx 10^8$ 忽略重力 $F = qE = q \cdot \frac{U}{d} = ma$ $x = L = v_0 t$ $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1 \cdot qU \cdot L^2}{2 \cdot md \cdot v_0^2}$ $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{at}{v_0} = \frac{qUL}{dmv_0^2}$	                                      
 图 3-1-6 伏打用金属又使蜜蜂触电 物理学规定正电荷定向移动的方向为电流的方向	电流	$I = \frac{Q}{t}$ $1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$ 	 图 3-3 酸、碱、盐溶液中电流形成的示意图  图 11.1-4 锂离子电池原理  图 11.1-1 自由电子的定向运动使两个带电体成为等势体  图 11.1-2 电源
 图 3-1-1 均匀导体  图 3-4 分析电子定向移动与电流的示意图	电流的微观表达式	$I = \frac{Q}{t} = \frac{nqSL}{t} = nqSv$	
 3-1-4 小灯泡的伏安特性曲线	欧姆定律	$I = \frac{U}{R}$  3-1-3 金属导体的 I-U 图像	限流式：省电简单（初中）  分压式：从0开始数据更多更准 
  图 3-9 计算电阻率的示意图	电阻定律	$R = \rho \frac{l}{S}$ 	

	读数	$l = n + km$  图 3-37 测量 n 匝金属丝排列的长度 26.0mm	 1 2 7.6mm 0 5 0 5.020mm
串 联	电流相等	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots = \frac{U_n}{R_n} = I$
	分压	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$  图 3-4-1 串联电路图	 $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$  电流表内接：电流表内阻分压。
	电阻	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = IR = I_1R_1 + I_2R_2 + \dots + I_nR_n$
	电压表改装	$U = U_g + U_R = I_gR_g + I_gR$ $U = I_g(R_g + R)$  图 3-4-5 大量程电压表  图 3-4-4 小量程电压表	 图 3-23 电流计原理示意图  图 3-24 电压表的分压原理示意图  图 3-30 实验室用电压表原理示意图
并 联	电压相等	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$	$I_1R_1 = I_2R_2 = \dots = I_nR_n = U$
	分流	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$  图 3-4-2 并联电路图	 $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$  电流表外接：电压表内阻分流。
	电阻	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n}, R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
	电流表改装	$U_g = U_R$ $I_gR_g = (I - I_g)R$  图 3-4-6 大量程电流表	 图 3-29 单量程电流表原理示意图  0.6 A 3 A —
选器材	电流表	<u>一般</u> 电流 <u>很小</u> 选0~0.6A	电流表 A (量程 3 A、0.6 A)
尽量准	电压表	可以 <u>略小于</u> 电源电压	电压表 V (量程 3 V、15 V)
分压式	滑动变阻器	<u>一般</u> 数十欧， <u>可调节范围</u> 大	滑动变阻器 R_1 (阻值范围 0 ~ 20 Ω ，额定电流 2 A) 滑动变阻器 R_2 (阻值范围 0 ~ 1 k Ω ，额定电流 0.5 A)
常见 元器件	电感 (磁场)	通直流，阻交流；通低频，阻高频	 6 V
	电容 (电场)	通交流，隔直流；通高频，阻低频	
	二极管	单向导电，反向阻断	

电源电动势	$E = \frac{W}{q}$ 	 <table><tr><th>电池种类</th><th>每节电池售价/元</th></tr><tr><td>碳锌电池</td><td>1.5</td></tr><tr><td>碱性电池</td><td>3.8</td></tr><tr><td>锂电池</td><td>25.0</td></tr></table>	电池种类	每节电池售价/元	碳锌电池	1.5	碱性电池	3.8	锂电池	25.0
电池种类	每节电池售价/元									
碳锌电池	1.5									
碱性电池	3.8									
锂电池	25.0									
闭合电路的 欧姆定律	$E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$ $E = IR + Ir$ $I = \frac{E}{R + r}$	 图 4-2-5 外电路上的电势降落								
路端电压与 负载的关系	$U = E - Ir$ $r = \left k_{U-I \text{图}} \right = \left \frac{\Delta U}{\Delta I} \right $  $r = \frac{E}{I_{\text{短}}}$ $r = \frac{E - U_0}{I_0}$	由于干电池的内阻较小，当电流 I 变化时，电压 U 的变化可能较小。为了得到更加精确的结果，作图时，电压轴的起点坐标一般不从 0 开始，应根据实验数据选择合适的起点坐标。 旧的干电池的内阻相当于新的干电池要大得多，容易测量。实验中可以选择旧的干电池进行实验。  ▲ 图 2-7-3 闭合电路的 U-I 图像								
 测量水果电 池的电动势 和内阻	$U = E - Ir = E - \frac{U}{R}r$ $E = U + \frac{U}{R}r$ $\frac{E}{UE} = \frac{U + \frac{U}{R}r}{UE}$ $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R}$	把铜片和锌片相隔约 1cm 插入一个梨中。铜片和锌片相距越近、插得越深，电池的内阻就越小。铜片是电池的正极，锌片是负极。水果电池的内阻较大，容易测量。但试验时，内阻会发生明显改变。测量应尽量迅速，在内阻发生较大变化前结束测量。  (直线)								
伏阻法										
安阻法	$U = IR = E - Ir$ $E = IR + Ir$ $\frac{E}{IE} = \frac{IR + Ir}{IE}$ $\frac{1}{I} = \frac{1}{E} \cdot R + \frac{r}{E}$	 (直线)								

	最大输出功率	$P_{\text{输出}} = S = U_{\text{外}} I = (E - Ir)I$ $P_{\text{输出}} = -rI^2 + EI$ $I_{\text{对称轴}} = \frac{E}{2r}$ $P_{\text{最大输出}} = \frac{E^2}{4r}$ $U_{\text{外}} = \frac{P_{\text{输出}}}{I_{\text{对称轴}}} = \frac{\frac{E^2}{4r}}{\frac{E}{2r}} = \frac{E}{2}$ $R = \frac{U_{\text{外}}}{I_{\text{对称轴}}} = \frac{\frac{E}{2}}{\frac{E}{2r}} = r$	纯电阻电路 $P_{\text{输出}} = I^2 R = \left(\frac{E}{R+r}\right)^2 R = \frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R} + 4r}$ 当 $R = r$, $P_{\text{最大输出}} = \frac{E^2}{4r}$
			
	电源的效率	$P_{\text{总}} = EI$ $\eta = \frac{P_{\text{输出}}}{P_{\text{总}}} = \frac{U_{\text{外}} I}{EI}$ $\eta = \frac{I^2 R}{I^2 (R+r)} = \frac{1}{1 + \frac{r}{R}}$ 当 $R = r$, $\eta = 50\%$	
误差分析： 测电源电动势和内阻	电流表内阻 分压	$U_1 = E - I_1(r + R_A)$ $U_2 = E - I_2(r + R_A)$ $r_{\text{测}} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = r_{\text{真}} + R_A$ $E_{\text{测}} = \frac{I_2 U_1 - I_1 U_2}{I_2 - I_1} = E_{\text{真}}$	 
	电压表内阻 分流	$U_1 = E - (I_1 + \frac{U_1}{R_V})r$ $U_2 = E - (I_2 + \frac{U_2}{R_V})r$ $r_{\text{测}} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}$ $r_{\text{真}} = \frac{U_1 - U_2}{(I_2 - I_1) - \frac{U_1 - U_2}{R_V}}$ $r_{\text{测}} < r_{\text{真}}$ $E_{\text{测}} = \frac{I_2 U_1 - I_1 U_2}{I_2 - I_1}$ $E_{\text{真}} = \frac{I_2 U_1 - I_1 U_2}{(I_2 - I_1) - \frac{U_1 - U_2}{R_V}}$ $E_{\text{测}} < E_{\text{真}}$	 

欧姆表	短接调零	$\frac{E}{I_g} = R_{内} = r + R_g + R_1$
	欧姆表原理	$\frac{E}{I} = R_{总} = R_{内} + R_x$
	中值电阻	$R_{总} = R_{内} + R_x$ (中值电阻)
		$R_{总} = \frac{E}{I} = \frac{E}{\frac{1}{2}I_g} = 2 \cdot \frac{E}{I_g} = 2R_{内}$
		R_x (中值电阻) $= R_{内}$
旧电池	$E \downarrow \Rightarrow I_g \downarrow \cdot R_{内} \uparrow$	
	$E \downarrow$ 变小	$I = \frac{E}{R_{总}} = \frac{E}{R_{内} + R_x}$
	$r \uparrow$ 变大	
	重新短接调零	$I = \frac{I_g \cdot R_{内} \downarrow}{R_{内} \downarrow + R_x}$
	$R_{内} \downarrow$ 变小	$I = \frac{I_g \cdot R_{内} \downarrow}{R_{内} \downarrow + R_x}$
	$I \downarrow$ 变小	
	$R_x \uparrow$ 变大	
	测量值偏大 (比真实值)	$I \downarrow = \frac{I_g}{1 + \frac{R_x}{R_{内} \downarrow} \uparrow}$

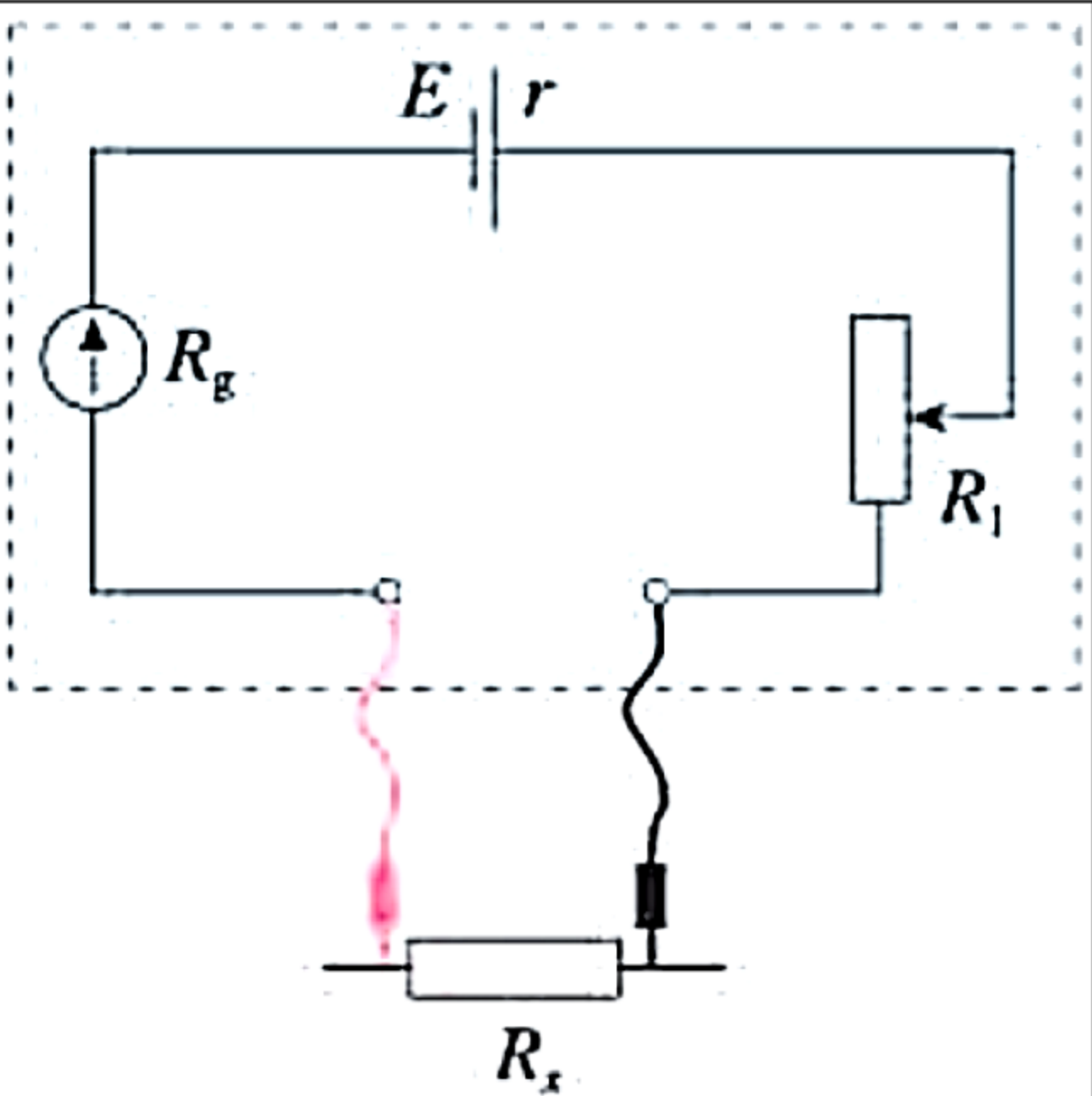


图 12.2-6 欧姆表电路

多用电表	1-4-3 指针式多用电表电路简图
------	--------------------------

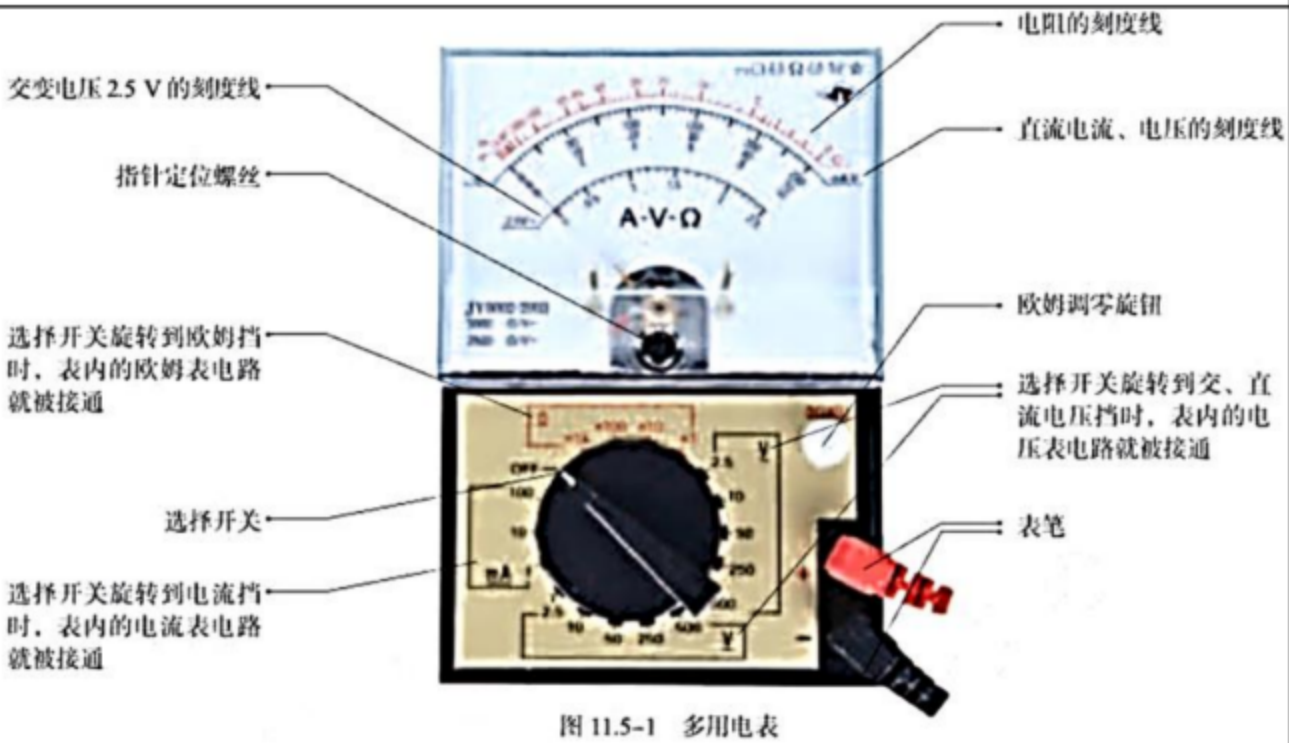
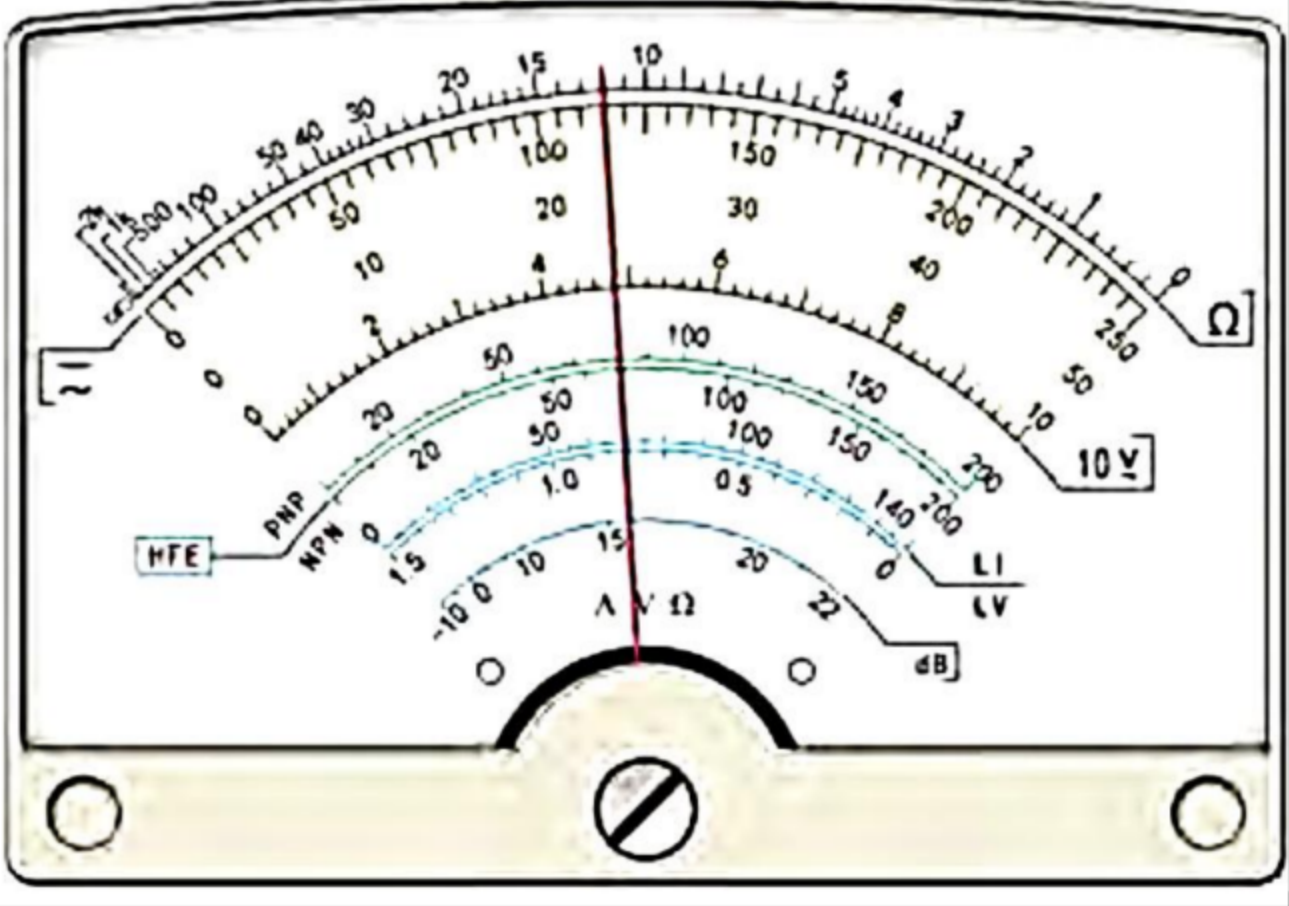
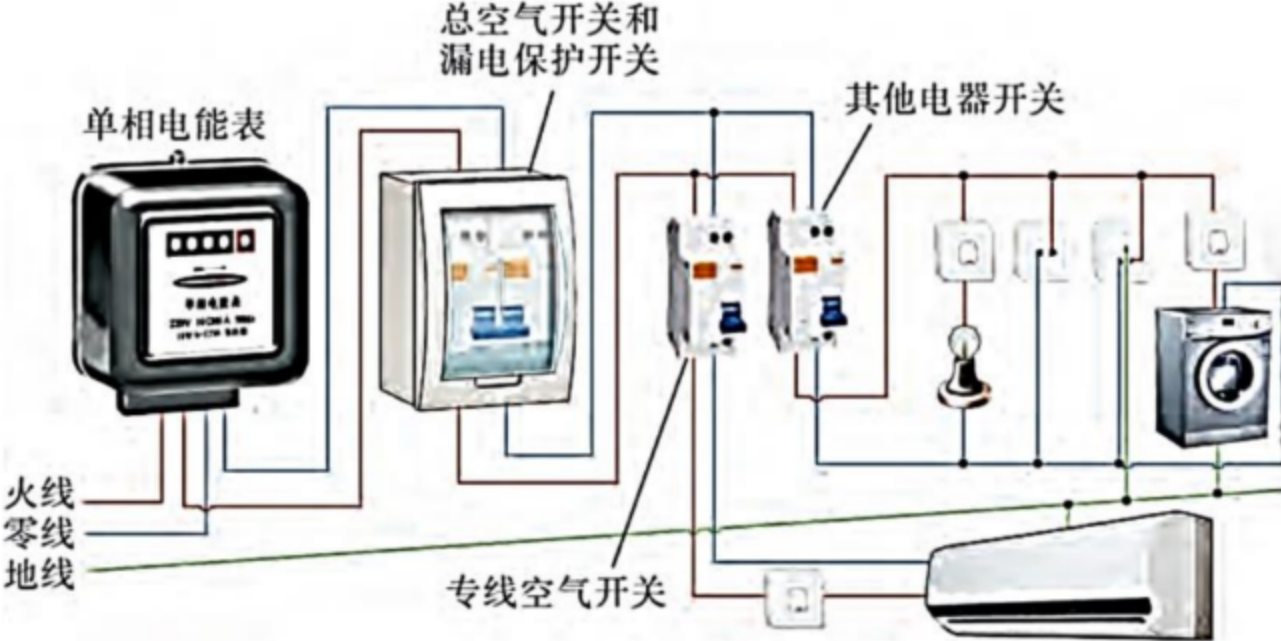
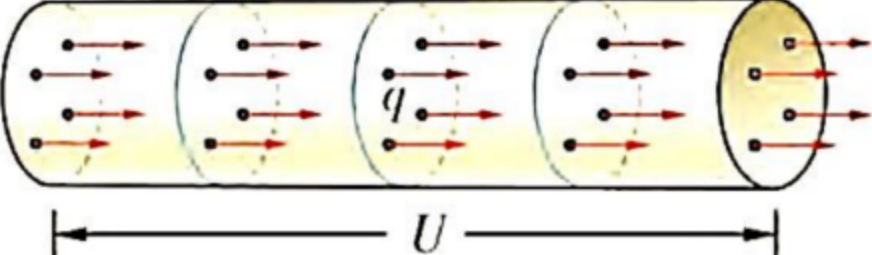
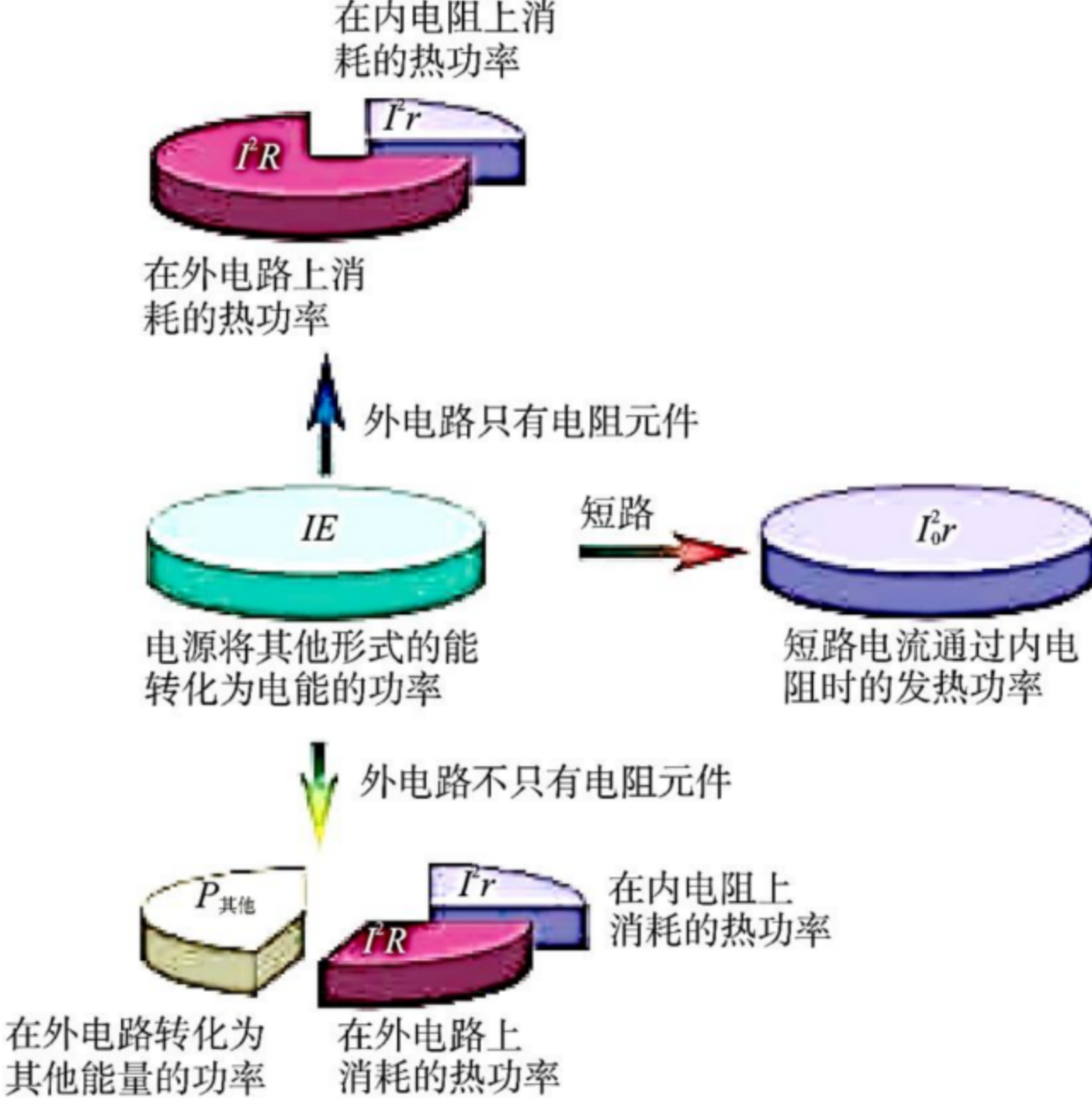


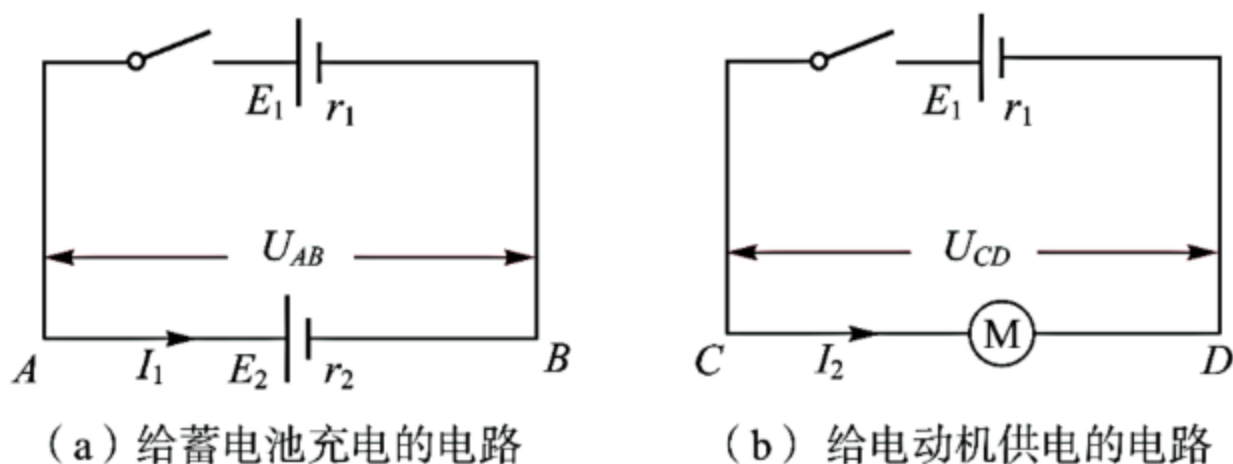
图 11.5-1 多用电表



	家庭电路		 图 4-5-2 家庭电路示意图
	电功	$W = qU$ $q = It$ $W = UIt$	
	电功率	$P = \frac{W}{t} = UI$	
	焦耳定律	$Q = W = UI t$ $U = IR$ $Q = I^2 R t$	$\text{热功率} P = \frac{Q}{t} = I^2 R$
能源	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其他形式，或者从一个物体转移到别的物体；在转化和转移过程中其总量不变。这就是能量守恒定律。	$EI = U_{\text{外}} I + U_{\text{内}} I$ $EI t = U_{\text{外}} I t + I^2 r t$	 ▲ 图 2-8-3 不同情况下电路中的能量转化

含有反电动势的电路

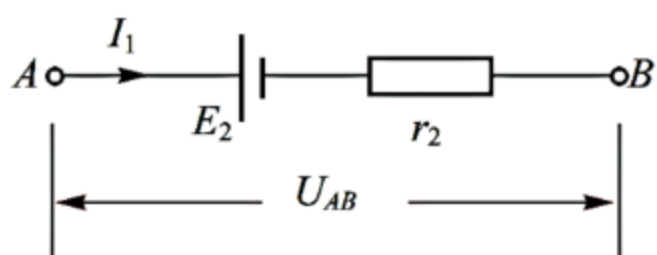
图 2-8-7 (a) 和 (b) 分别是给蓄电池充电的电路及带动直流电动机的电路，它们的共同特点是电源输出的电能只有一部分转化为内能，而其余部分则分别转化为化学能和机械能。图中的 A 、 B 间及 C 、 D 间的电路，其两端电压与通过的电流的比值，都不等于这段电路的电阻，即 $\frac{U_{AB}}{I_1} \neq R_{AB}$ ， $\frac{U_{CD}}{I_2} \neq R_{CD}$ 。



▲ 图 2-8-7 电能不全部转化为内能的电路

上面的 AB 和 CD 两段电路，为什么从形式上不符合欧姆定律 $\frac{U}{I} = R$ 呢？这是因为这两段电路除了电阻以外，还含有“反电动势”。

首先看 (a) 图的 AB 段电路，被充电的蓄电池具有电动势 E_2 ，正电荷在它内部受到的电场力方向是从 $A \rightarrow B$ ，非静电力则是从 $B \rightarrow A$ ，它与正电荷定向运动的方向相反，因此该电动势 E_2 称为反电动势。同时，该蓄电池还具有内阻 r_2 ，图 2-8-8 是 AB 段电路的等效电路图，在图中 E_2 和 r_2 分开来画，其中 E_2 是一个只有电动势而没有内阻的“理想电源”， r_2 是一只电阻，它的阻值等于该电池内阻。从这个图上可以看出，内电阻 r_2 两端的电压不是 U_{AB} ，而是 $U_{r2} = U_{AB} - E_2$ ，根据欧姆定律，有 $r_2 = \frac{U_{r2}}{I_1} = \frac{U_{AB} - E_2}{I_1}$ 。



▲ 图 2-8-8 AB 段的等效电路

图 2-8-7 (b) 所示的电动机电路中，当电动机转动起来后，也要产生反电动势，因此 CD 段的等效电路图也是图 2-8-8。我们把 AB 和 CD 这两段电路都称为“含有反电动势的电路”，对于一段含有反电动势的电路，欧姆定律应该改写为 $I = \frac{U - E_{\text{反}}}{R}$ ，它也称为含有反电动势的电路的欧姆定律。

磁感应强度

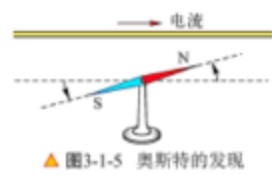


图 3-1-5 奥斯特实验



图 2 电流使磁针发生偏转



图 5-2-2 磁感线的空间分布

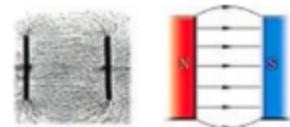


图 5-5 两根平行的载有同向电流的导线之间的磁感线示意图

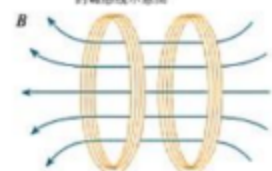


图 13.2-3 两个平行放置的通电导线之间的匀强磁场



图 13.1-2 磁体对通电导线产生作用力

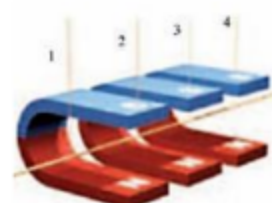


图 13.2-1 在匀强磁场中探究通电导线受力的回零

$$F = BIL$$

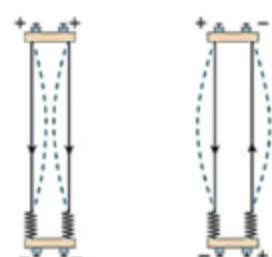


图 13.1-3 两条通电导线之间发生相互作用

同吸反斥

$$B = \frac{F}{IL}$$

物理学规定，在磁场中的任一点，小磁针N极受力的方向，亦即小磁针静止时N极所指的方向，就是该点磁感应强度的方向，简称磁场的方向。

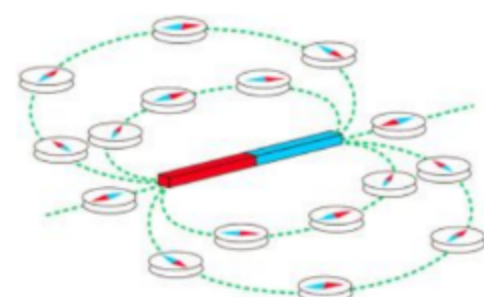


图 3-1-2 条形磁铁周围“小磁针”的指向

分子电流假说

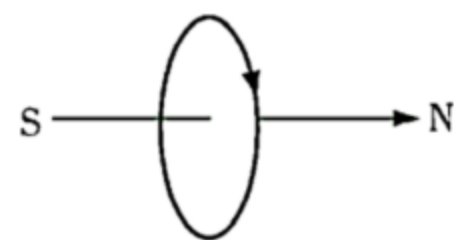
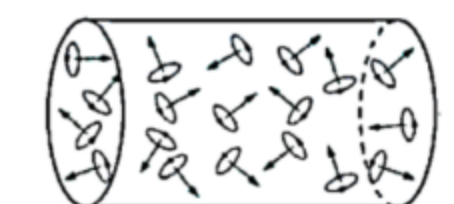
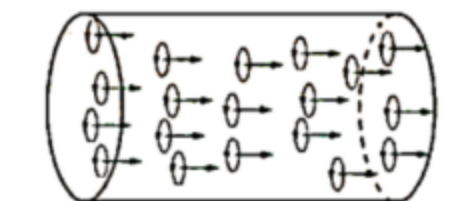


图 6-1-15 分子电流



6-1-16 未被磁化的铁棒



6-1-17 被磁化后的铁棒

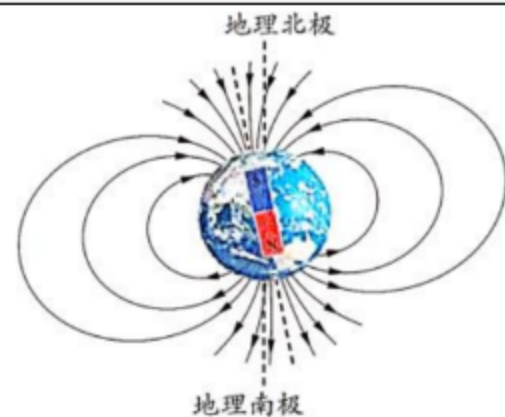
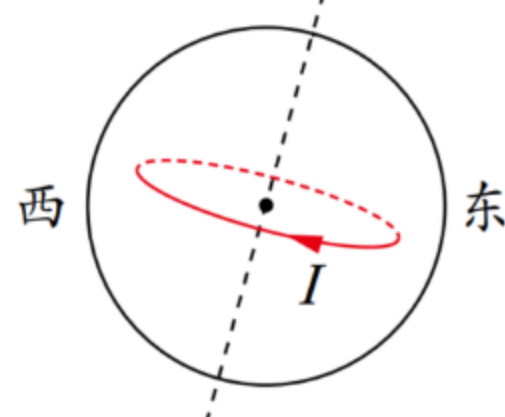
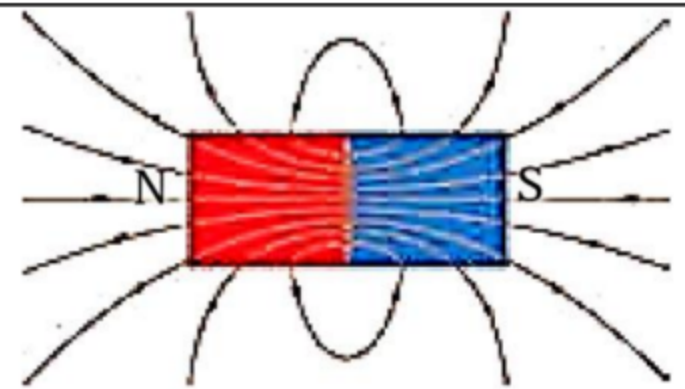


图 5-18 地球磁场示意图



(a)



(b)

图 5-4 条形磁铁的磁感线示意图

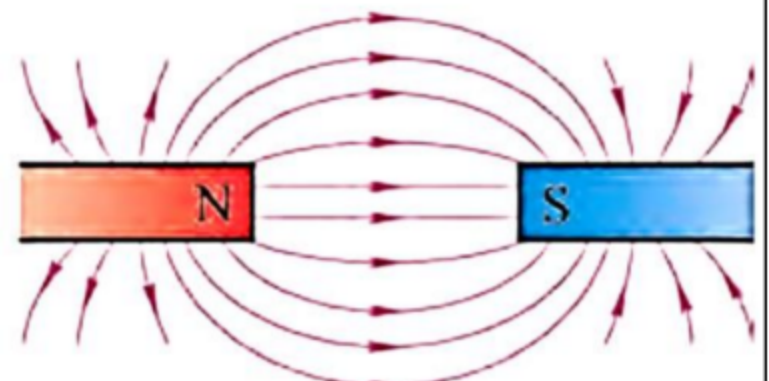


图 11-13 两个平行异名磁极间的磁场

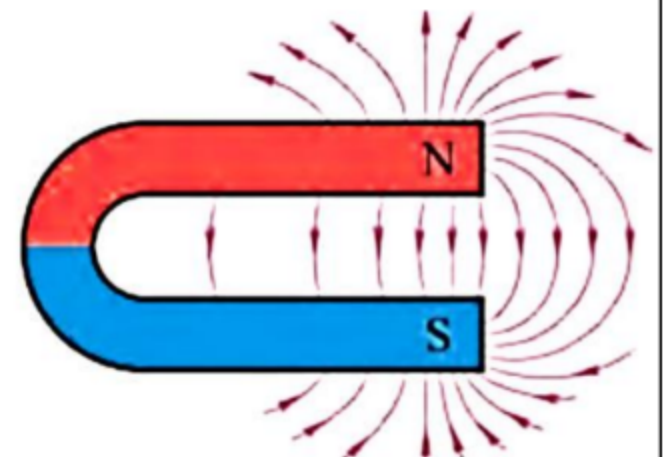
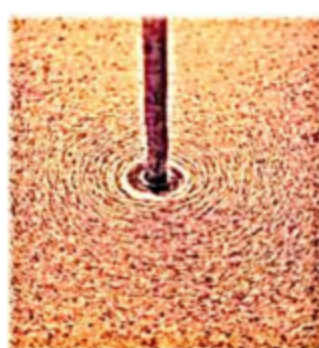
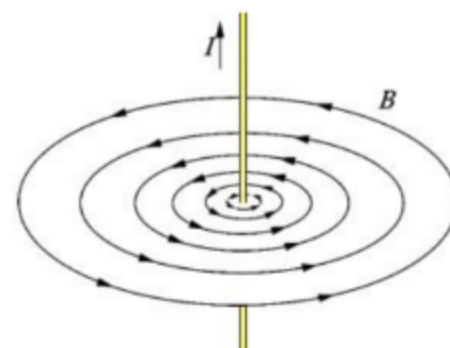


图 11-14 蹄形磁体两磁极间的磁场



(a)



(b)

图 5-7 通电直导线周围的磁场分布示意图

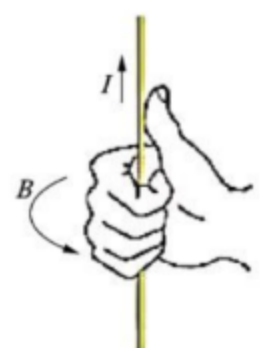
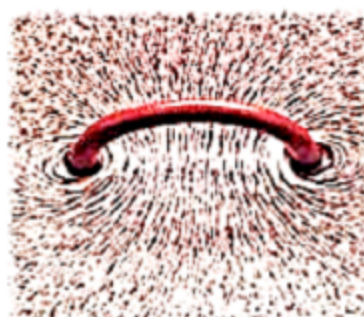
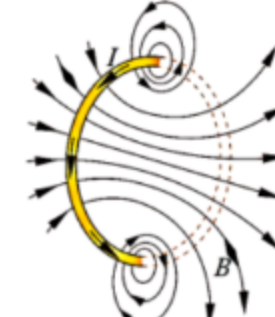


图 5-8 用安培定则判断通电直导线磁场方向的示意图



(a)



(b)

图 5-9 环形电流周围的磁场分布示意图

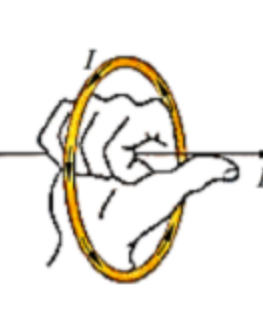
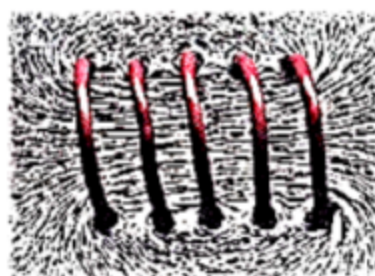
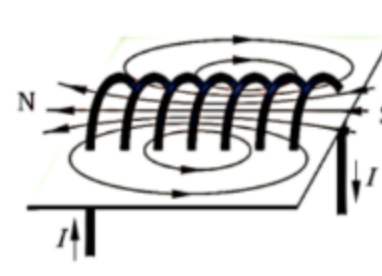


图 5-10 用安培定则判断环形电流磁场方向的示意图



(a)



(b)

图 5-11 通电螺线管的磁场分布示意图

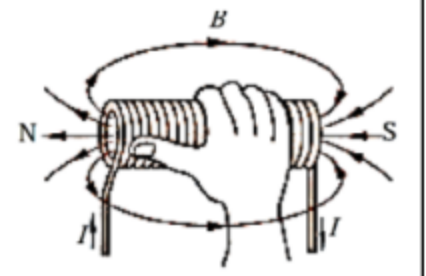


图 5-12 用安培定则判断通电螺线管中电流磁场方向的示意图

磁通量

在垂直于纸面方向取相同的面积，穿过相同面积磁感线条数多的就密，磁感应强度就大。

在工程领域，技术人员常把磁感应强度称为磁通密度。

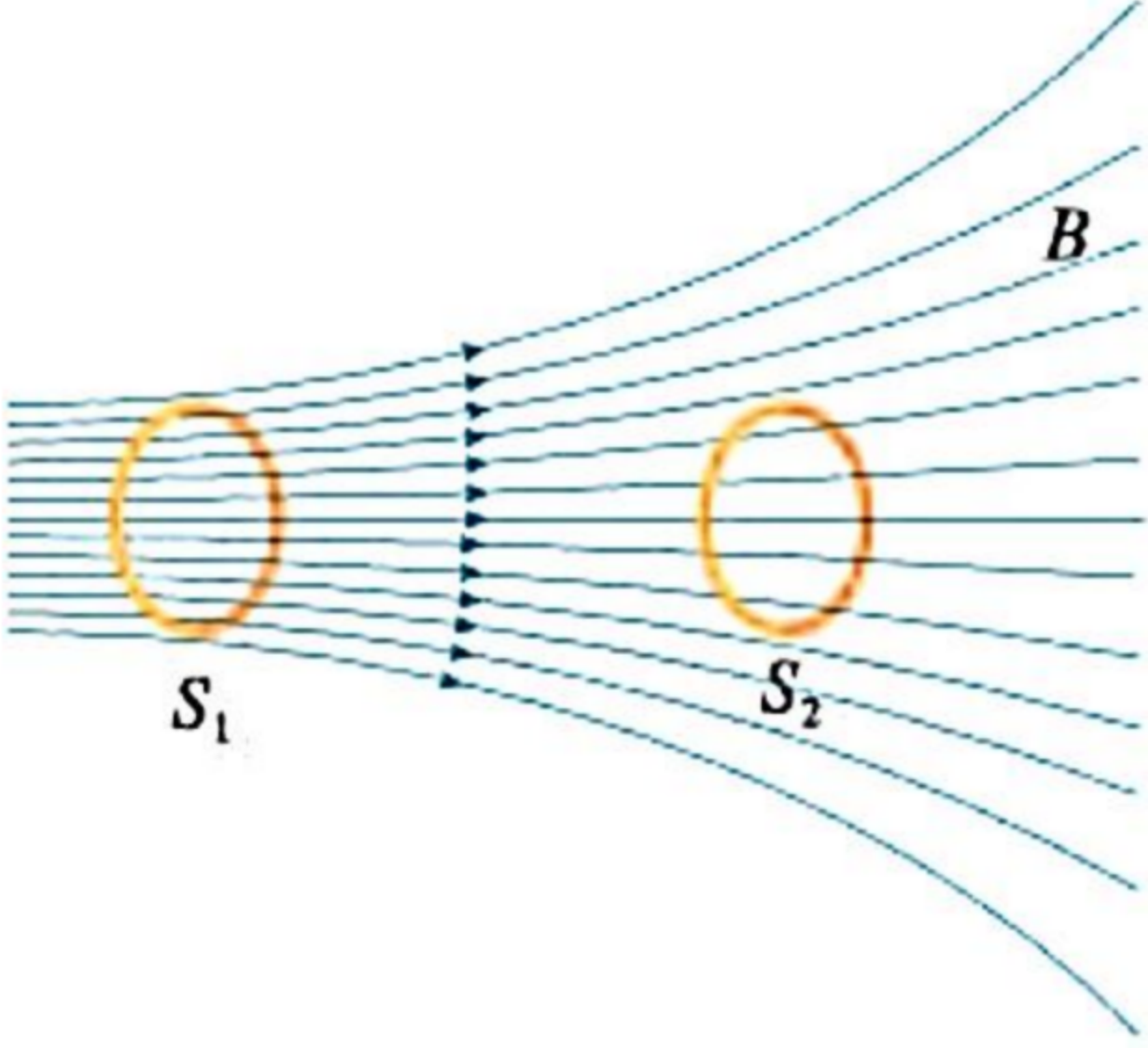
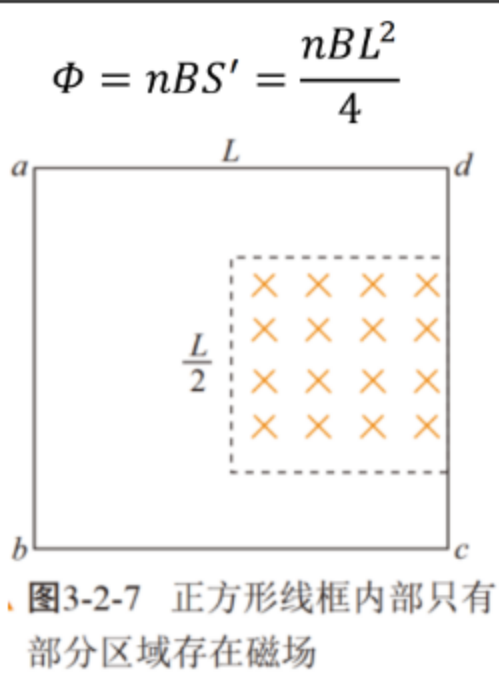
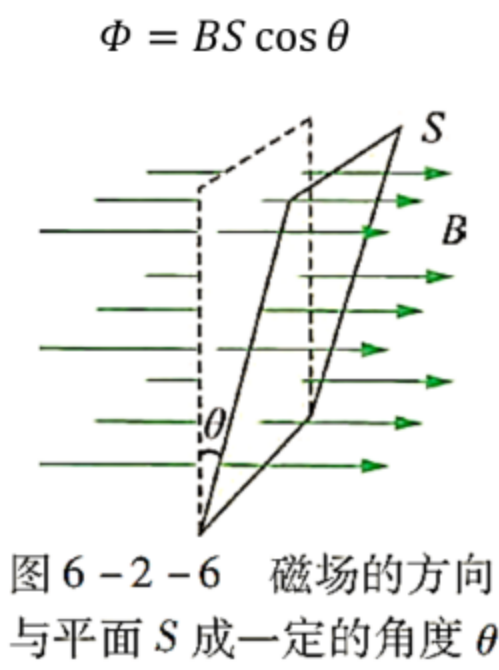


图 13.2-4 两个线圈的面积相同，但穿过它们的磁通量不同

电磁场

电磁波

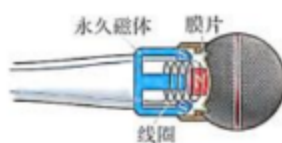


图 6-4-2 微波炉



图 6-4-3 彗星尾

物质具有质量、能量，物质间可以相互作用，并遵守相应的守恒定律。



波长

$$\lambda = cT = c \frac{1}{f}$$

$$c = \lambda f$$

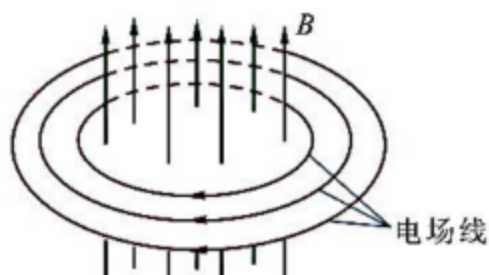
光是一种电磁波

真空中的光速(常数)

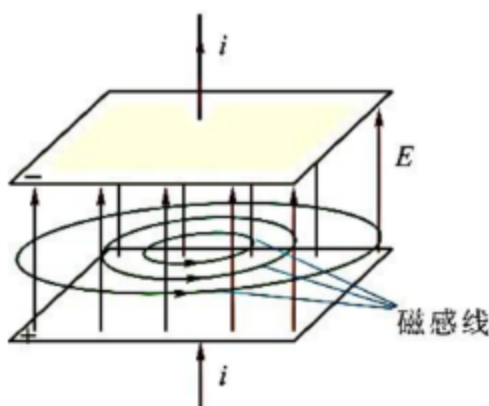
$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$



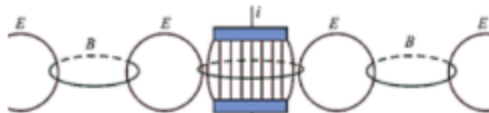
▲ 图 3-4-1 麦克斯韦 (Maxwell, 1831—1879)



▲ 图 3-4-2 变化的磁场能够产生电场 (B 增大时的情形)



▲ 图 3-4-3 变化的电场能够产生磁场 (E 增大时的情形)



▲ 图 3-4-4 电磁波的产生

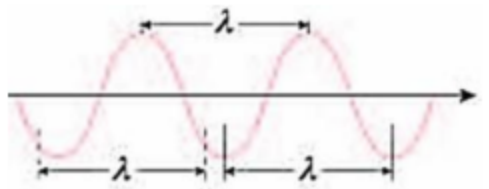


图 13.4-3 波长

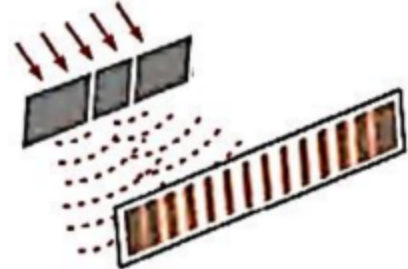


图 6-5-3 光的干涉

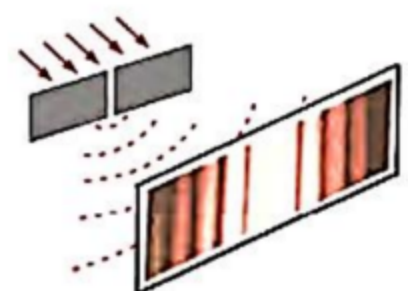


图 6-5-4 光的衍射

闭合电路的一部分导体在磁场中做**切割磁感线**运动时，导体中会产生感应电流。

只要穿过闭合回路的**磁通量**发生**变化**，闭合回路中就有感应电流产生。

可能是闭合回路或闭合回路一部分的**磁感应强度**发生**变化**，可能是闭合回路在磁场中的**面积**发生**变化**，也可能是**闭合回路与磁场的夹角**发生**变化**。

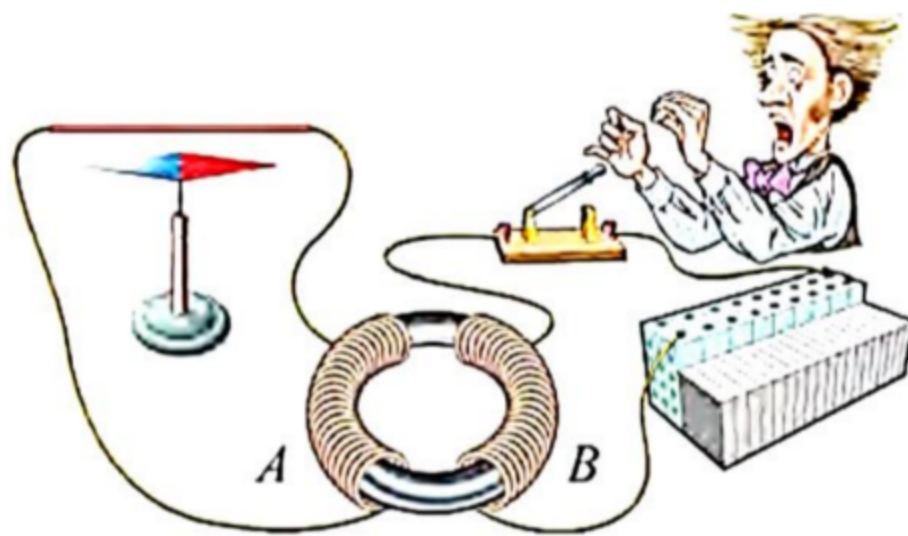
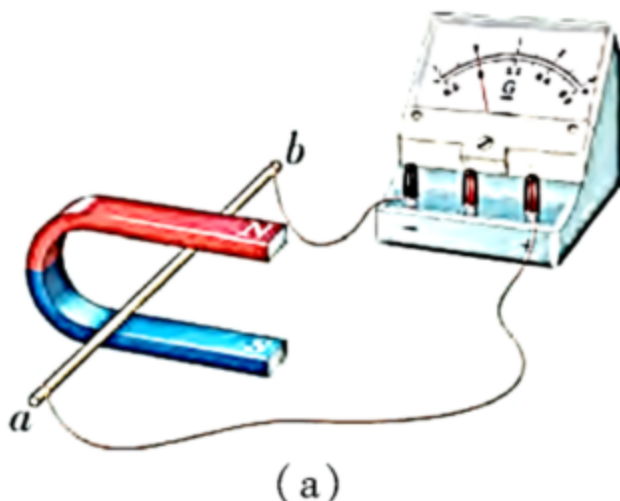


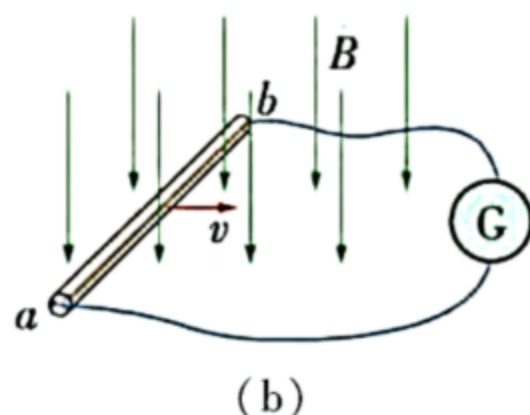
图 6-3-1 法拉第电磁感应实验



▲ 图 3-3-7 法拉第发电机

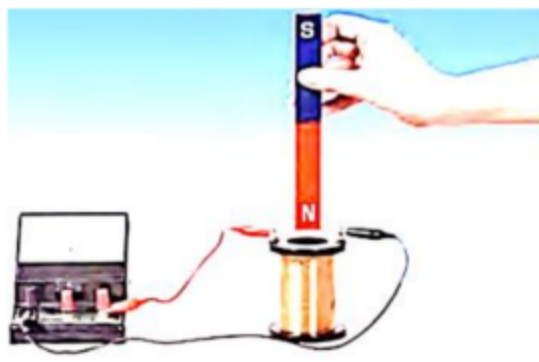


(a)



(b)

图 6-3-2 利用蹄形磁铁的探究实验



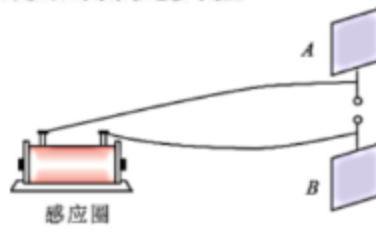
-3-3 利用条形磁铁的探究实验



-3-4 利用通电螺线管的探究实验



图 3-4-1 赫兹的实验



▲ 图 3-4-5 赫兹的实验

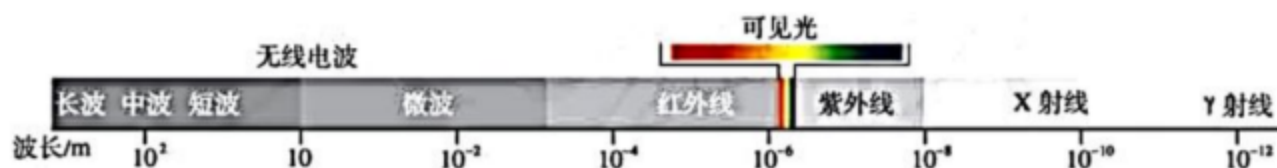
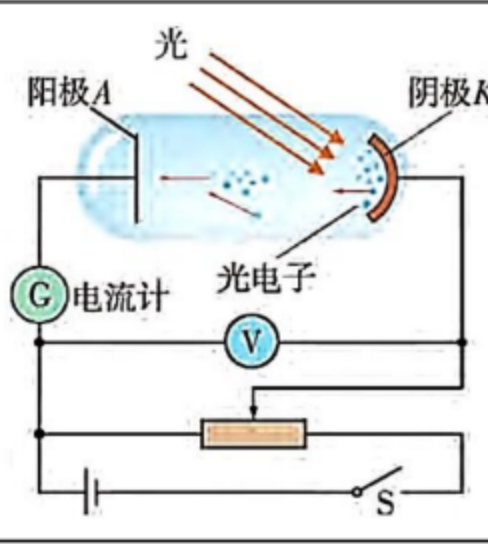
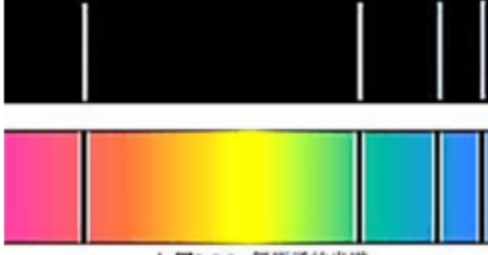
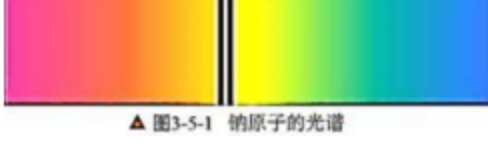
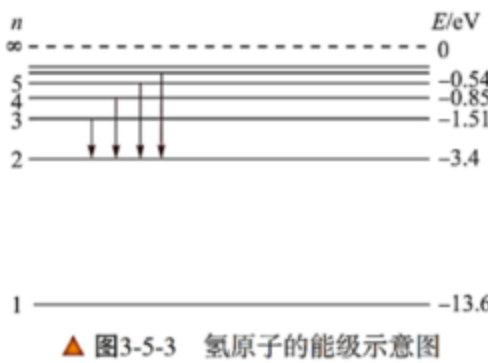
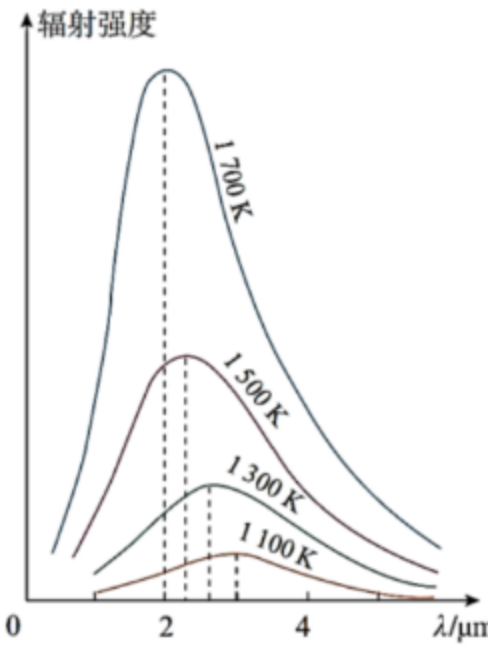
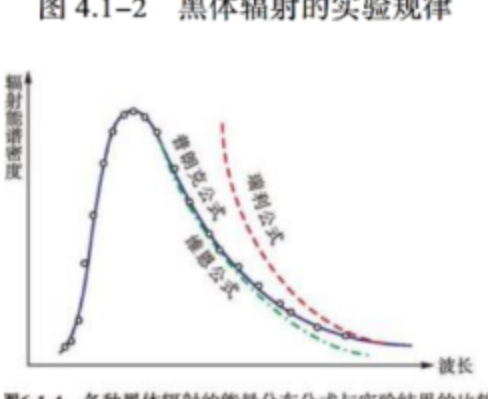
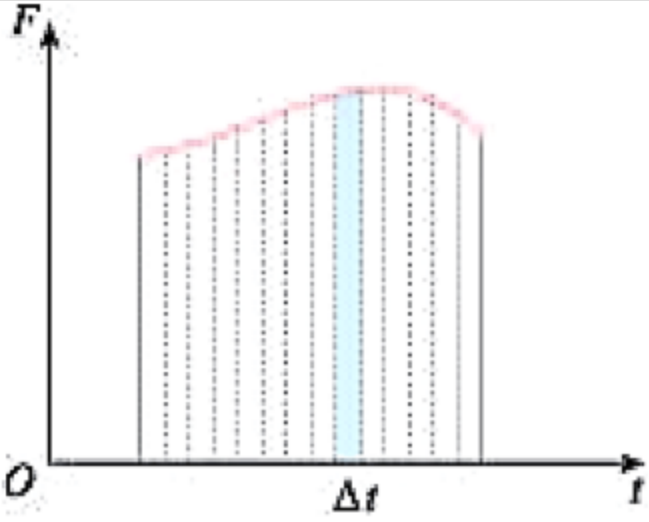
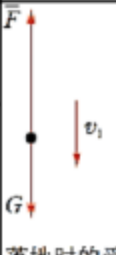
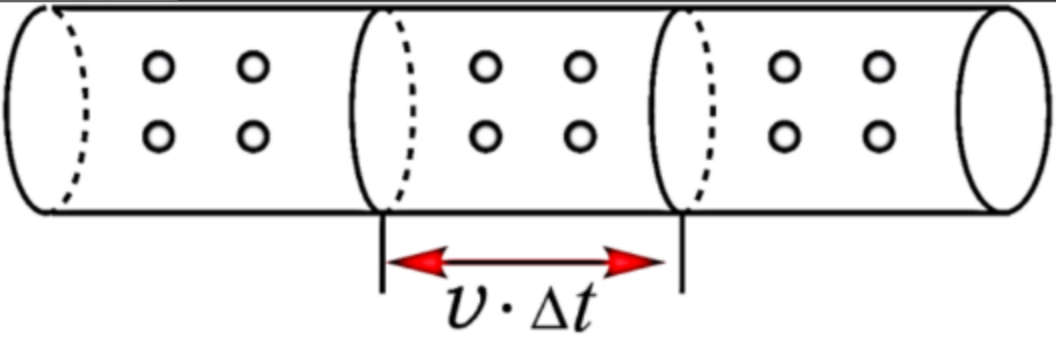
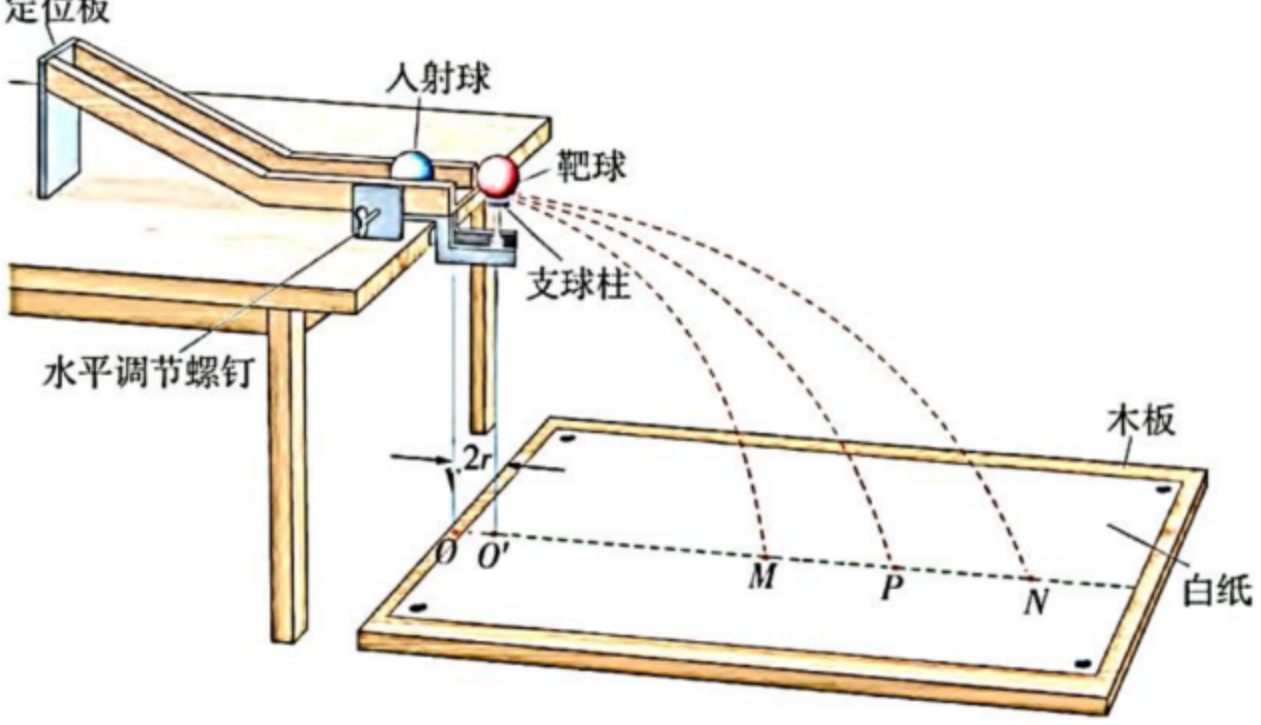
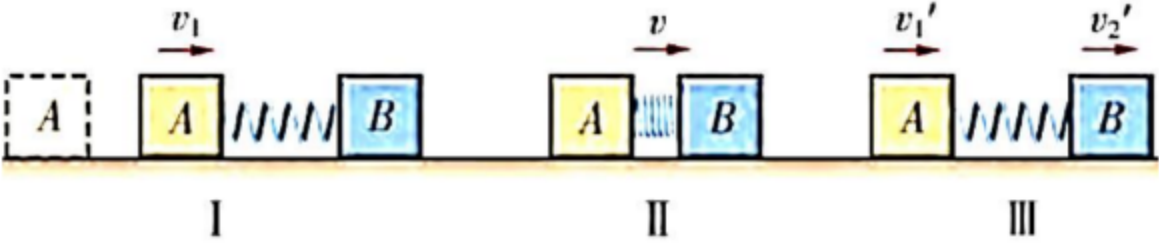
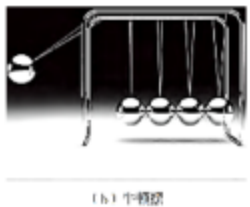
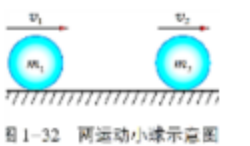


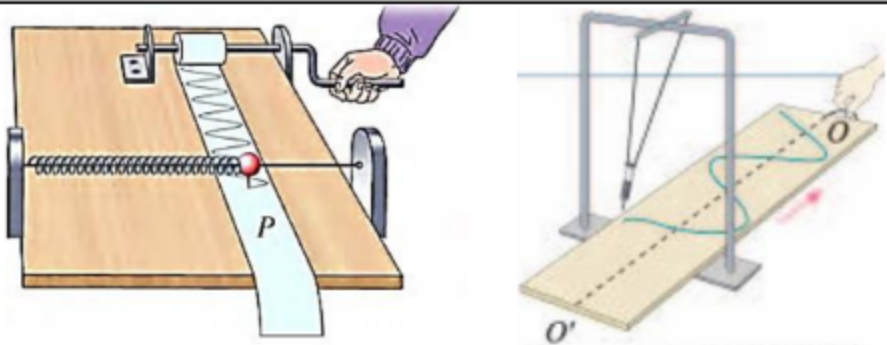
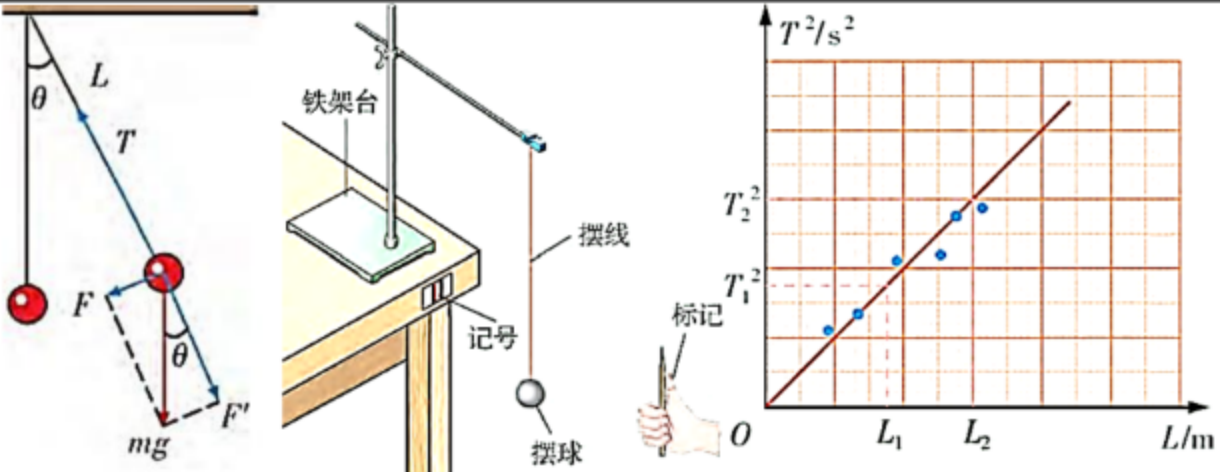
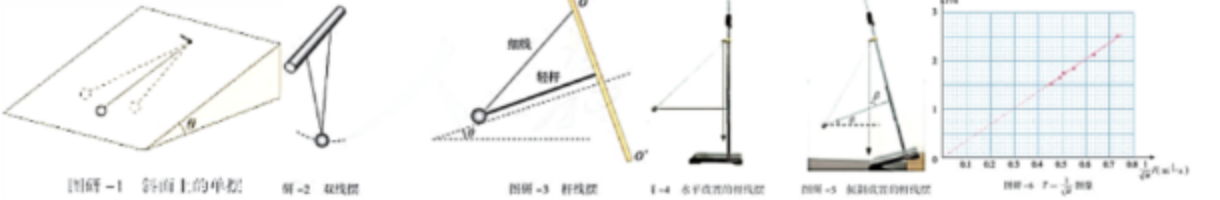
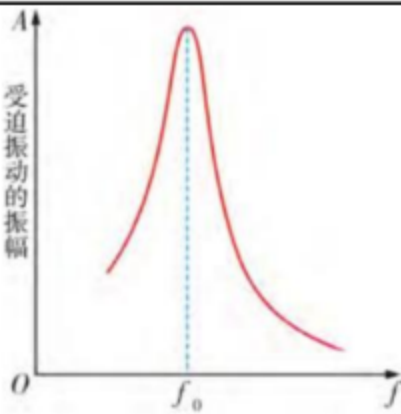
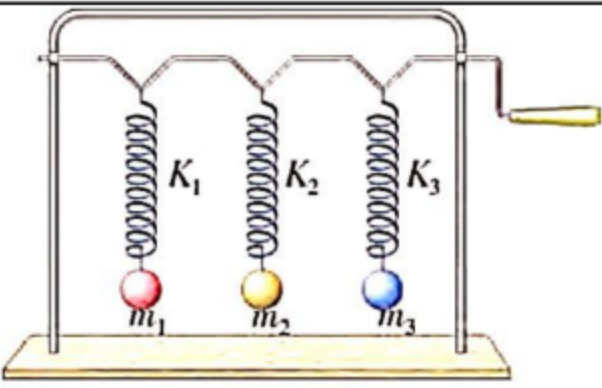
图 13.4-4 电磁波谱及其应用

	质能方程	$E = mc^2$	
能量子 光子	$\varepsilon = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ 普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} J \cdot s$		我们周围的一切物体都在辐射电磁波，这种辐射与物体的温度有关，所以叫作热辐射。
	$E = n\varepsilon (n = 1, 2, 3 \dots)$		物体表面还会吸收和反射外界射来的电磁波。常温下我们看到的不发光的物体的颜色就是反射光所致。
			如果某种物体能够完全吸收入射的各种波长的电磁波而不发生反射，这种物体就叫作黑体。
波长 $\lambda = cT = c\frac{1}{f}$			黑体虽然不反射电磁波，但是却可以向外辐射电磁波。因为黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与它的温度有关，所以，在研究热辐射的规律时，人们特别注意黑体辐射的研究。
			物体中存在着不停运动的带电微粒，带电微粒的振动会产生变化的电磁场，从而产生电磁辐射。于是，人们很自然地要依据热学和电磁学的知识寻求黑体辐射的理论解释。但是，用经典的电磁理论解释黑体辐射的实验规律时遇到了严重的困难。
			德国物理学家普朗克(M Planck, 1858—1947)研究黑体辐射时,为了从理论上解释黑体辐射（紫外灾变能量叠加到无限大）的实验数据,于 1900 年提出能量的发射和吸收不是连续的,而是一份一份地进行.每一份的能量等于 $h\nu$,称为能量子.这里的 ν 是电磁波的频率, h 是一个常量,叫作普朗克常量，实验测得
			当光照射在金属上时,有时会有电子从金属表面逸出,这种现象被称为光电效应。逸出的电子被称为光电子。
			为了解释光电效应,在普朗克能量子假说的启发下,爱因斯坦于 1905 年指出,当光和物质相互作用时,光的能量不是连续的,而是一份一份光量子.这些光量子后来被称为光子
			波是连续的，粒子是分离的。
			实际上,光子假说并没有否定光是电磁波,光子的能量 $\varepsilon = h\nu$,其中的频率 ν 是描述波的典型物理量.我们把光的这种既具有波动性,又具有粒子性的性质称为光的波粒二象性。
			电子轨道半径是量子化的,电子只能在某些特定的轨道上运动;电子在不同的轨道上具有不同的能量,这些量子化的能量值称为能级(energy level);只有当电子在不同轨道之间跃迁时,才辐射光子。

选择性必修 第一册

	冲量	$I = Ft$	 图 1.2-2 变力的冲量
	动量	$p = mv$	$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$
	动量定理	$F_{\text{合}}t = \Delta mv = mv_t - mv_0$ $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta E_k}{\Delta x}$	 落地时的受力分析 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ $F = ma = m \frac{v_t - v_0}{t}$
	流体冲力 (或压强)	$\Delta M = \rho V = \rho Svt$ $F_{\text{合}} = \frac{\Delta M \Delta v}{t} = \frac{\rho S v \cancel{t} \Delta v}{\cancel{t}}$ $p = \frac{F}{S} = \frac{\rho \cancel{S} v \Delta v}{\cancel{S}}$	
	动量守恒定律	$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$  1-3-1 光滑平面上两个物体发生碰撞 $F_{\text{合}}t = mv_t - mv_0 = 0$ $mv_t = mv_0$	$F_{12} = -F_{21}$ $F_{21}t = m_1 v_1' - m_1 v_1$ $F_{12}t = m_2 v_2' - m_2 v_2$ $m_1 v_1' - m_1 v_1 = -(m_2 v_2' - m_2 v_2)$ $(m_1 v_1' + m_2 v_2') - (m_1 v_1 + m_2 v_2) = 0$ 系统(整体)所受合外力为零(或内力远大于外力, 外力可以忽略)
	验证动量守恒定律	$m_1 v = m_1 v_1 + m_2 v_2$ $m_1 \cancel{v}t = m_1 \cancel{v_1}t + m_2 \cancel{v_2}t$ $m_1 \cancel{OP} = m_1 \cancel{OM} + m_2 \cancel{ON}$	 图 1-3-2 验证动量守恒定律的装置图
	分合	$(M + m)v = Mv_1 + mv_2$	
	反冲	$mv = (M - m)v'$	

碰撞	弹性碰撞	$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$	$m_1(v_1 - v_1') = m_2 v_2'$ $m_1(v_1^2 - v_1'^2) = m_2 v_2'^2$ $v_1 + v_1' = v_2'$ 
	机械能守恒	$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$	
	一动碰一静	$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1$	
		$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$	
	碰撞时间极短	$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 > 0$	
	一瞬间	$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 > 0$	
	正碰		
	光滑		
	$m_1 > m_2$		
	同向/撞飞		
碰撞	$m_1 > m_2$	$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 > 0$	图 1-5-2 物体 A, B 碰撞全过程示意图 $v_1' = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2'}{m_1}$ $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{m_1 v_1 - m_2 v_2'}{m_1} \right)^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$ $m_1 v_1^2 = \frac{m_1^2 v_1^2 + m_2^2 v_2'^2 - 2 m_1 v_1 m_2 v_2'}{m_1^2} + m_2 v_2'^2$ $m_1^2 v_1^2 = m_1^2 v_1^2 + m_2^2 v_2'^2 - 2 m_1 v_1 m_2 v_2' + m_1 m_2 v_2'^2$ $(m_1 + m_2) v_2' = 2 m_1 v_1$ $v_2' = \frac{2 m_1}{m_1 + m_2} v_1$ $m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 \frac{2 m_1}{m_1 + m_2} v_1$ $v_1' = \frac{(m_1 + m_2) v_1 - 2 m_2 v_1}{m_1 + m_2}$ $v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1$ $v_2' = \frac{m_1 v_1 - m_1 v_1'}{m_2}$ $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 \left(\frac{m_1 v_1 - m_1 v_1'}{m_2} \right)^2$ $m_1 v_1^2 = m_1 v_1'^2 + m_2 \frac{m_1^2 v_1^2 + m_1^2 v_1'^2 - 2 m_1 v_1 m_1 v_1'}{m_2^2}$ $m_2 v_1^2 = m_2 v_1'^2 + m_1 v_1^2 + m_1 v_1'^2 - 2 v_1 m_1 v_1'$
	非弹性碰撞	机械能部分转化为内能	
	机械能不守恒		
	完全非弹性碰撞	系统动能损失最大	
	机械能不守恒	(碰后连在一起)	
	$m_1 < m_2$	$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 < 0$	
	反弹/撞飞	$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 > 0$	
	$m_1 \ll m_2$	$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 = -v_1$	
	原速反弹/不动	$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 = 0$	
	$m_1 = m_2$	$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 = 0$	
碰撞	交换速度	$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 = v_1$	$m_1(v_1 - v_1') = m_2(v_2' - v_2)$ $m_1(v_1^2 - v_1'^2) = m_2(v_2'^2 - v_2^2)$ $v_1 + v_1' = v_2' + v_2$ 碰后速度: 根据 m_1、m_2、v_1、v_2 具体分析
	非弹性碰撞	机械能部分转化为内能	
	机械能不守恒		
	完全非弹性碰撞	系统动能损失最大	
	机械能不守恒	(碰后连在一起)	
	$m_1 < m_2$	$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 < 0$	
	反弹/撞飞	$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 > 0$	
	$m_1 \ll m_2$	$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 = -v_1$	
	原速反弹/不动	$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 = 0$	
	$m_1 = m_2$	$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 = 0$	
碰撞	交换速度	$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 = v_1$	$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$ $v_1' = \frac{(m_1 - m_2) v_1 + 2 m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ $v_2' = \frac{(m_2 - m_1) v_2 + 2 m_1 v_1}{m_1 + m_2}$
	两个运动的小球发生弹性碰撞		
	撞后的速度		
			
	碰撞三原则		
	人船模型	$m_1 v_1 = m_2 v_2$	
	动量守恒	$m_1 v_1 \cdot t = m_2 v_2 \cdot t$	
	对地位移之和	$m_1 x_1 = m_2 x_2$	
	= 相对位移	$x_1 + x_2 = l$	

弹簧振子	回复力	$F = -kx$	 简谐振动 图 2-1-1 光滑水平杆上振子的振动 图 2.4-2 观察墨汁图样
	周期	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	
单位圆	简谐运动	$x = A \cos(\omega t + \varphi)$	周期性往复振动 $T = \frac{2\pi}{\omega}$
单摆	回复力	$F = -mg \sin \theta$	 单摆的回复力 F 图 2-4-1 用单摆测量重力加速度 图 2-4-2 用图像法处理数据
		$\approx -\frac{mg}{l}x = -kx$	
	周期	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{mg}{l}}}$	
	用单摆测重力加速度	$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$	 图 2-5-1 斜面上的单摆 图 2-5-2 研究共振装置
		$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$	
周期/s	固有频率	$f_{\text{固有}} = \frac{1}{T}$	$T = 0.5s, f = 2Hz; T = 2s, f = 0.5Hz$
	受迫振动	$f_{\text{受迫振动}} = f_{\text{驱动力}} \neq f_{\text{固有}}$	 等幅振动, 阻尼振动 图 2.6-1 阻尼振动图像
	共振	$f_{\text{驱动力}} = f_{\text{固有}}$	 图 2-5-3 共振曲线
		在同一地点, 摆长相同表明单摆固有频率相同; 摆长相差越大, 单摆固有频率相差越大。	 图 2-5-1 小球做受迫振动

从匀速圆周运动得出简谐运动的数学描述

一辆玩具电动小车在一平面上做匀速圆周运动。在同一平面上放置一台幻灯机，灯光水平照射在这辆小车上，小车运动时在墙壁上的影子正好和弹簧振子做简谐运动的情景相似：圆周运动的圆心的投影就是简谐运动的平衡位置，做匀速圆周运动的小车每一时刻在墙壁上的投影与简谐运动的振子位置始终对应（如图 2-2-3 所示）。

设小车沿半径为 A 的圆周做匀速圆周运动，其角速度为 ω ，则向心力

$$F = m\omega^2 A$$

如图 2-2-4 所示， F 在 x 轴上的投影

$$F_x = -m\omega^2 A \cos\theta$$

上式的负号表示 F_x 与 x 轴的正方向相反，由几何关系可知

$$x = A \cos\theta$$

于是有

$$F_x = -m\omega^2 x$$

由于 m 、 ω 都有确定的数值， $m\omega^2$ 可以用一个常数 k 表示，即 $k = m\omega^2$ ，上式可以写成 $F_x = -kx$ 。弹簧振子做简谐运动时，受到的回复力 $F_x = -kx$ 。由此可知，做匀速圆周运动的物体在某一直径方向的投影正好与弹簧振子做简谐运动的情景完全相同，并且 $\omega^2 = \frac{k}{m}$ 。

简谐运动的振动周期与物体做匀速圆周运动的周期相等，所以

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

如图 2-2-5 所示，简谐运动的位移函数关系为

$$x = A \cos\theta$$

把 $\theta = \omega t + \varphi$ 代入，得

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

式中 A 表示振幅， ω 表示角频率， $\omega = 2\pi f$ ， φ 表示初相。

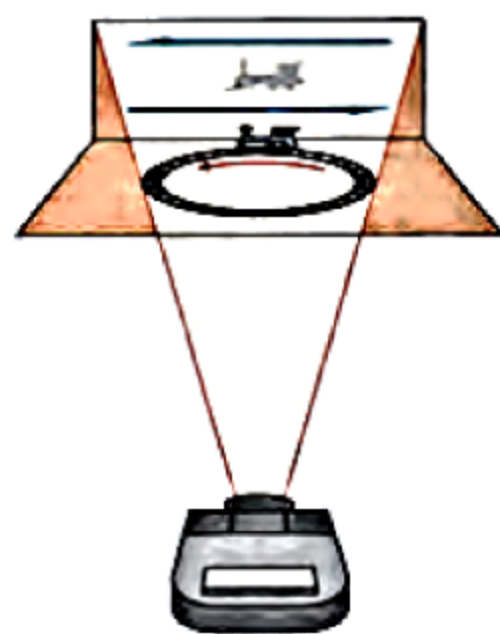


图 2-2-3 匀速圆周运动的投影照片

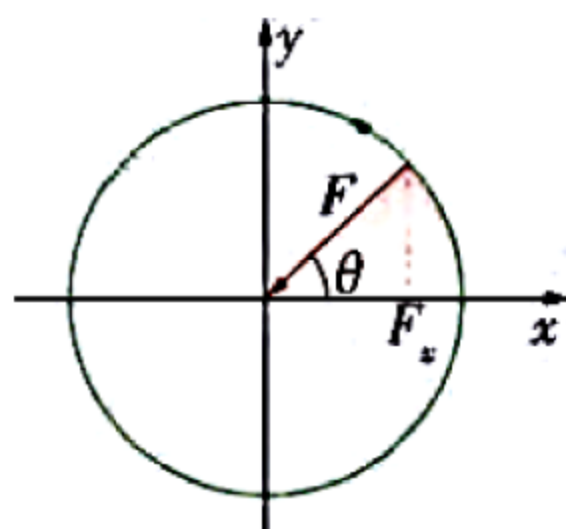


图 2-2-4 向心力在 x 轴上的投影

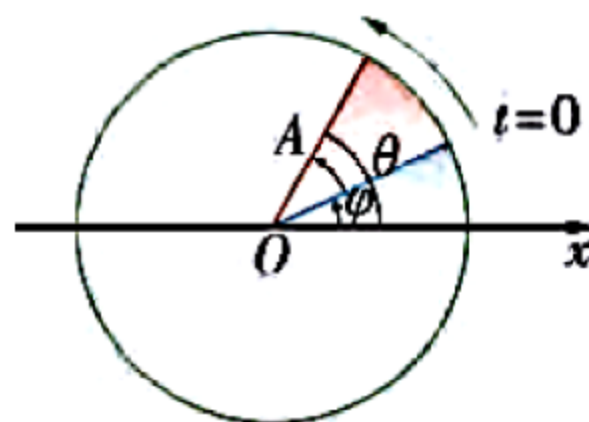
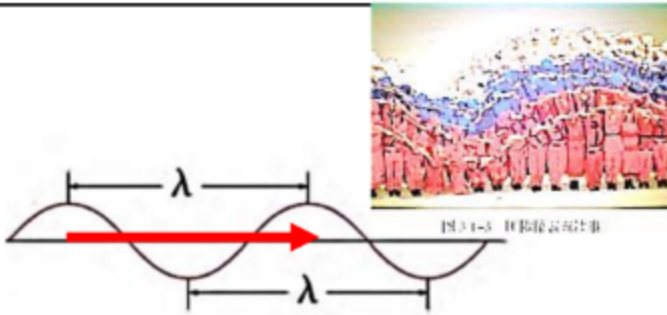
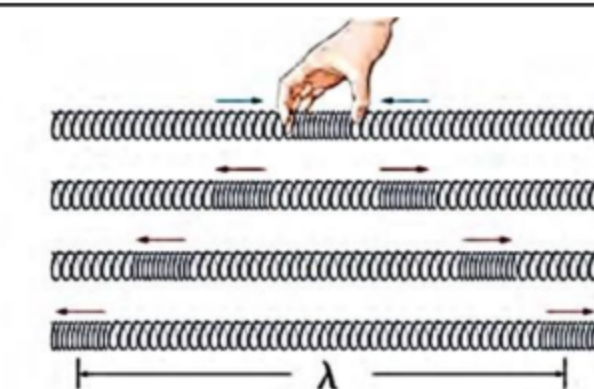
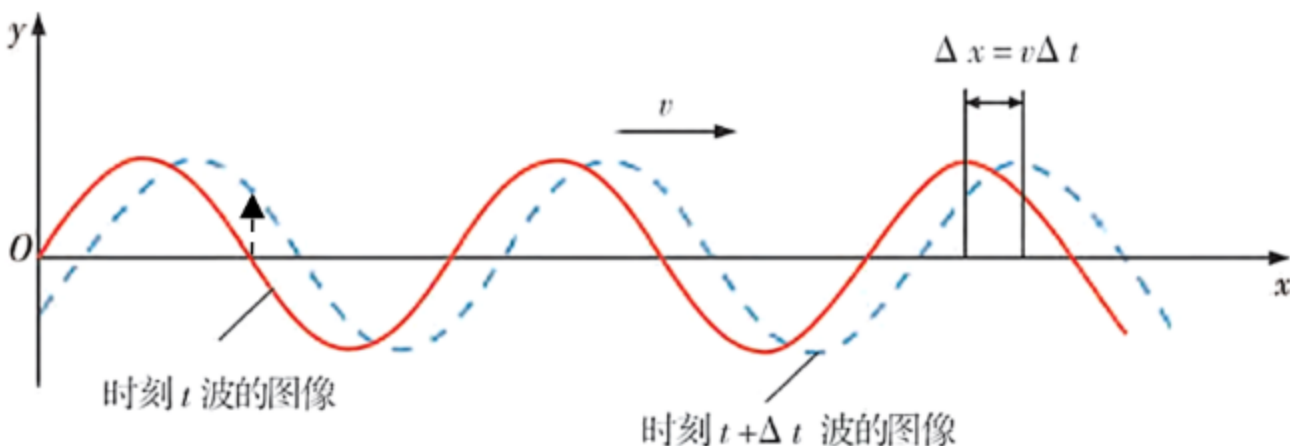
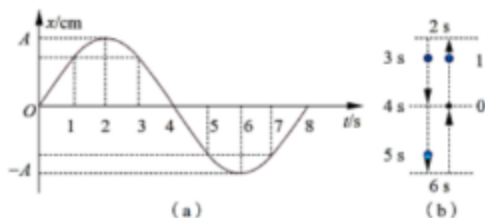
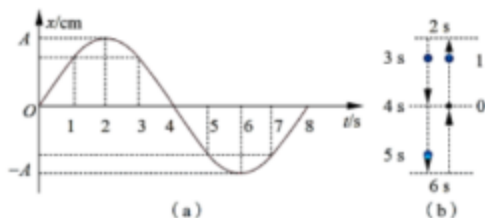
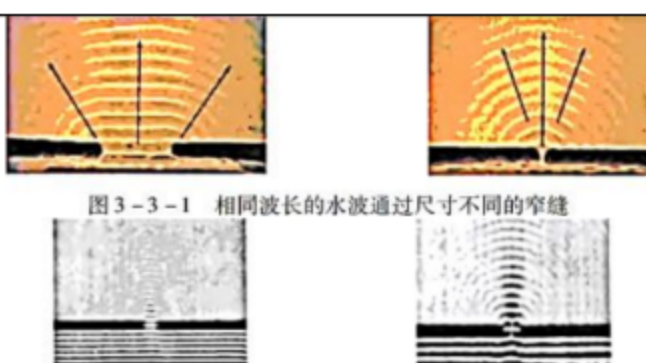
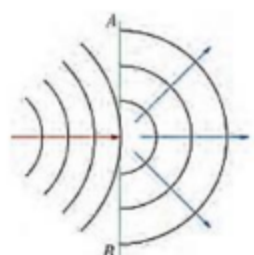
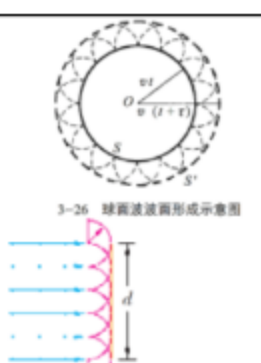
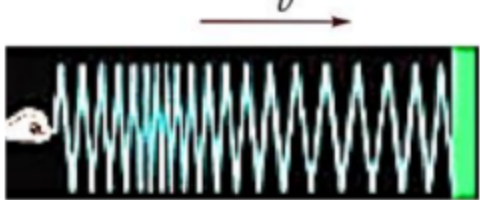
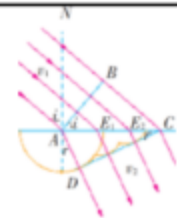
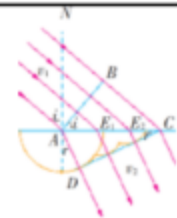
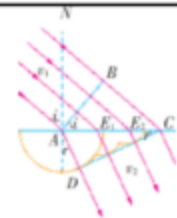
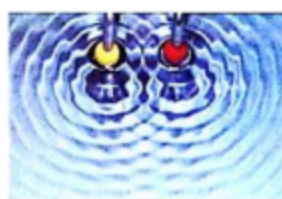
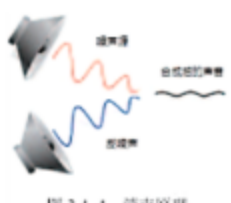
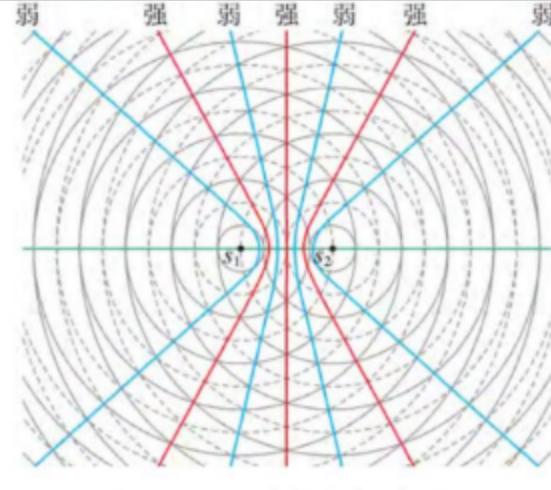
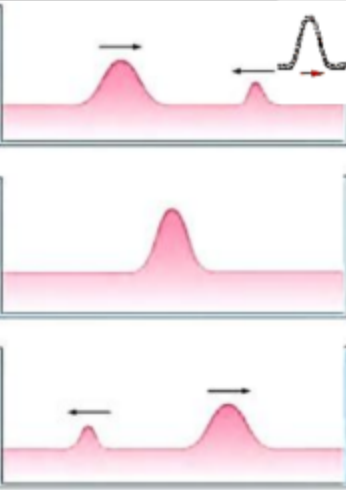
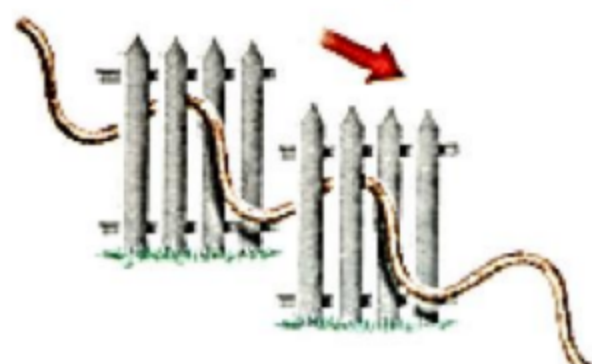
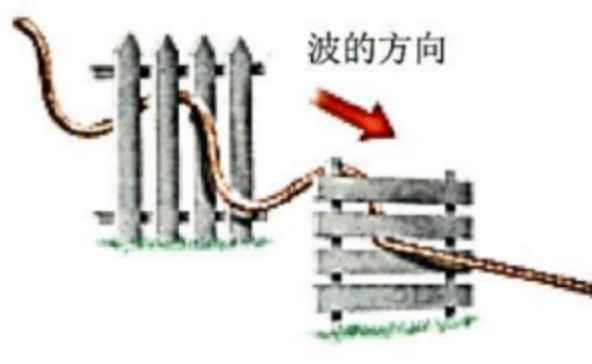
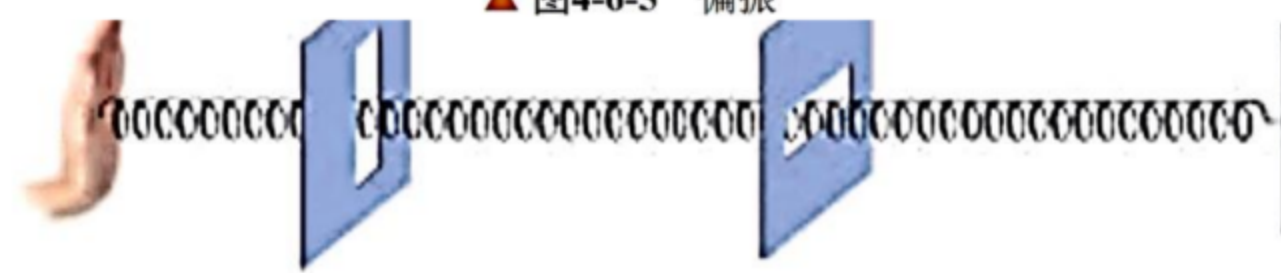
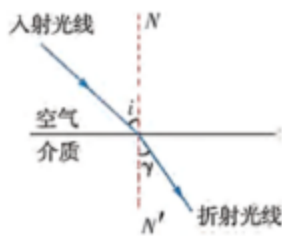
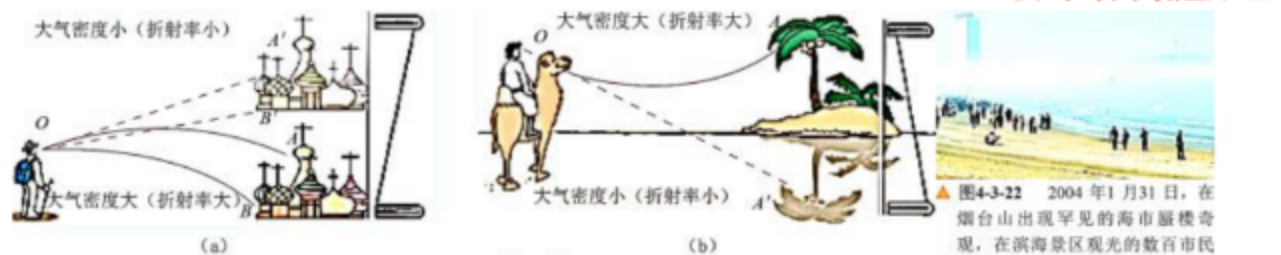
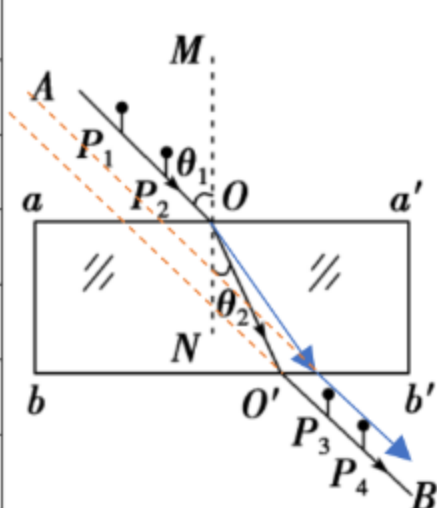
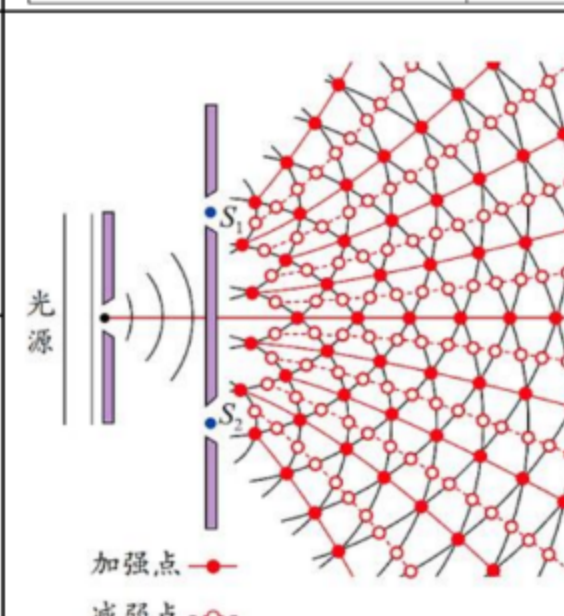
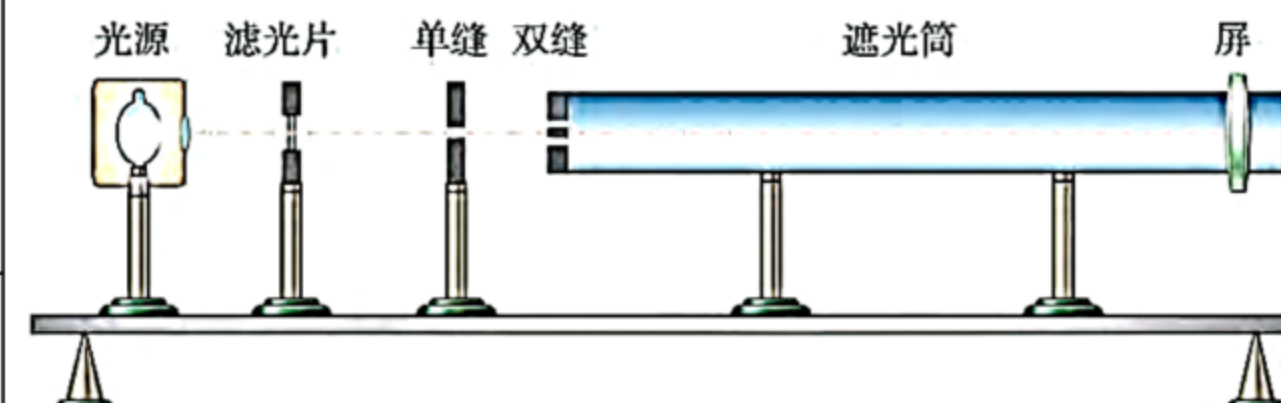
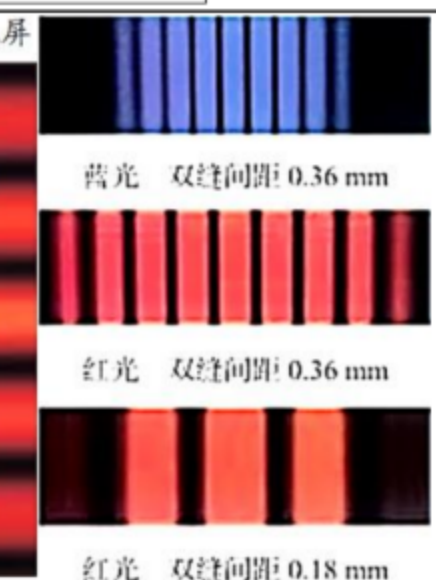
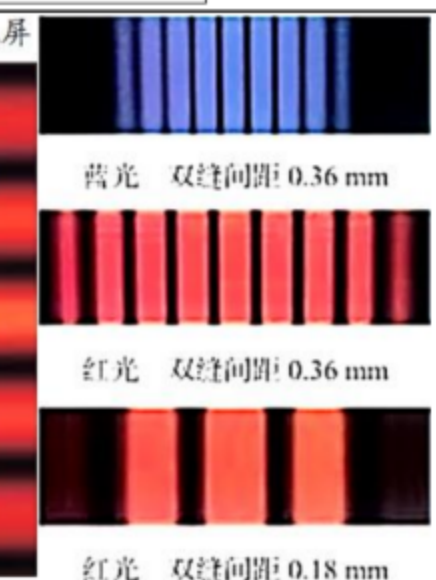
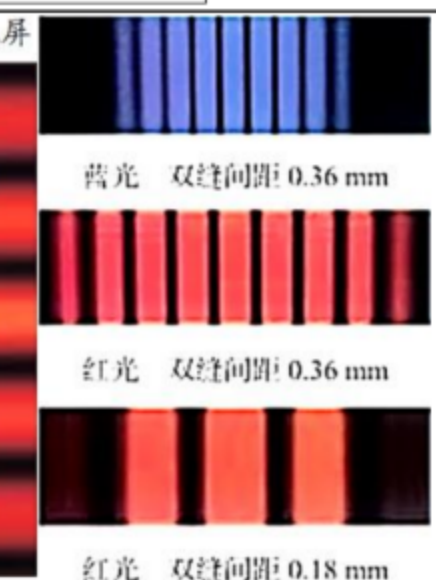
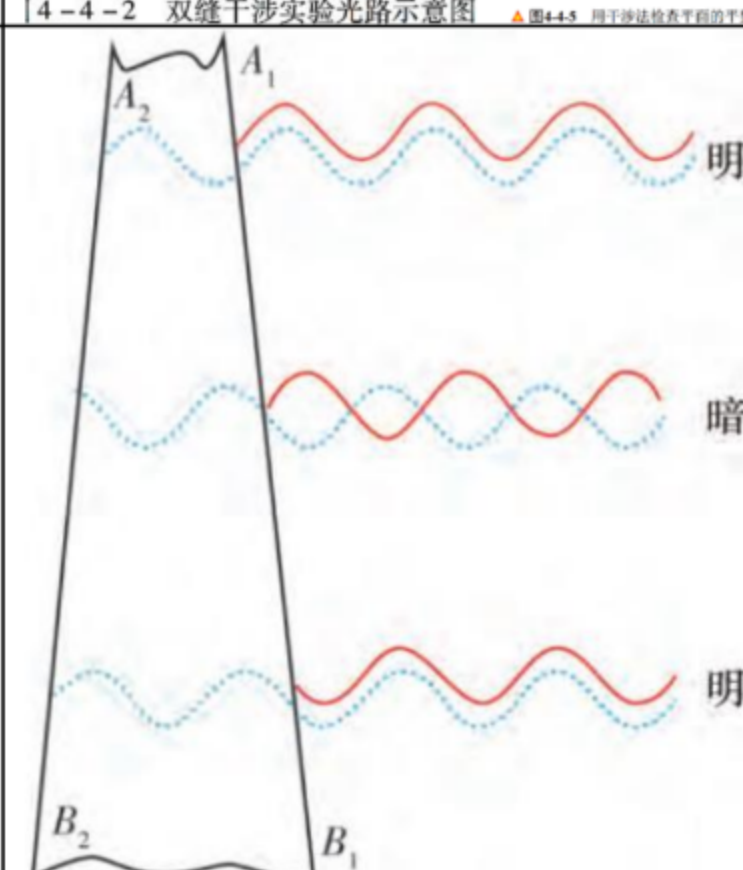


图 2-2-5 简谐运动的位移

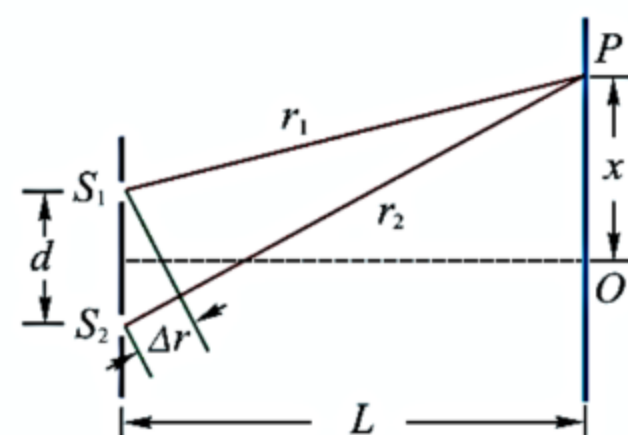
机械波	横波	介质质点的 振动方向 与波的 传播方向 垂直																		
	纵波	介质质点的 振动方向 与波的 传播方向 在同一直线上																		
	波速	机械波的 频率f 由 波源 决定																		
	0℃时几种介质中的声速 <table><tr><th>介质</th><th>声速/(m·s⁻¹)</th></tr><tr><td>空气</td><td>332</td></tr><tr><td>水</td><td>1 450</td></tr><tr><td>铜</td><td>3 800</td></tr><tr><td>铁</td><td>4 900</td></tr><tr><td>玻璃</td><td>5 000~6 000</td></tr><tr><td>松木</td><td>约 3 320</td></tr><tr><td>软木</td><td>430~530</td></tr><tr><td>橡胶</td><td>30~50</td></tr></table>	介质	声速/(m·s ⁻¹)	空气	332	水	1 450	铜	3 800	铁	4 900	玻璃	5 000~6 000	松木	约 3 320	软木	430~530	橡胶	30~50	波速v由介质决定 波源和介质共同决定了机械波的波长 $\lambda = v \cdot T = v \cdot \frac{1}{f}$
介质	声速/(m·s ⁻¹)																			
空气	332																			
水	1 450																			
铜	3 800																			
铁	4 900																			
玻璃	5 000~6 000																			
松木	约 3 320																			
软木	430~530																			
橡胶	30~50																			
传播 方向	$\Delta x = v\Delta t$																			
推导 倒推	$\Delta x = x + n\lambda, n = 0,1,2, \dots$																			
上坡下，下坡上	$\Delta t = t + nT, n = 0,1,2, \dots$																			
同侧法																				
平移法跟前一点		图 2-16 x-t 图像与弹簧振子振动过程的对应	图 3-2-3 时刻t和时刻t+Δt波的图像																	
衍射	惠更斯原理：介质中波动传到的各点都可以看作是发射子波的波源，在其后的任一时刻，这些子波的 包络 就形成新的波面。																			
																				
				图 3-3-3 障碍物的小孔成为新波源	图 3-3-1 相同波长的水波通过尺寸不同的窄缝	图 3-3-2 不同波长的水波通过宽度相同的窄缝	图 3-5-10 平面波的衍射													
				图 3-24 声呐探测鱼群示意图	图 3-4-6 波的反射	图 3-4-7 弹簧纵波的反射	图 3-20 水波在不同深度的水中传播													
				图 3-4-9 波的折射	图 3-23 波反射示意图	图 3-25 波折射示意图														
反射	波的 频率 、 波速 和 波长 都不变																			
	频率不变，波速和波长发生变化																			
				折射	图 3-4-9 波的折射	图 3-25 波折射示意图														
				相对折射率	$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$															
3-3-4 机械波在两根弹簧上的传播 图 3-25 波折射示意图																				

干涉	频率相同 相位差恒定 振动方向相同  图 3-3-8 水波的干涉图样  图 3.4-4 干涉原理	 图 3-3-10 波的干涉示意图  图 3-7 两列波相遇前、相遇时和相遇后的传播情况 波的叠加原理																				
偏振		波的方向  (a) 竖条栅栏允许上下振动的波通过  (b) 沿竖直方向振动的波不能通过横条栅栏 ▲ 图4-6-5 偏振  图 4.6-2 纵波可以穿过不同方向的狭缝																				
多普勒效应	远离波源: $s \uparrow, T \uparrow, f \downarrow$ 靠近波源: $s \downarrow, T \downarrow, f \uparrow$ $f' = \left(\frac{v + v_{\text{观察者接近波源}}}{v - v_{\text{波源接近观察者}}} \right) f$	 甲  乙  丙 图 3.5-2 多普勒效应的模拟实验 ► 在这个模拟实验中,人不表示介质中的质点,只代表传播中的波峰或波谷,于是“过人频率”就代表波的频率。 ► 观察者顺着队伍的方向行走时,假设他的速度小于队伍行进的速度。																				
光	绝对折射率  图 4-1-3 光的折射	折射定律(斯涅耳定律) $n = \frac{\sin i_{\text{真空(空气)}}}{\sin \gamma} = \frac{c}{v}$ $n_{\text{真空}} = 1$ <table><tr><td>介质</td><td>折射率</td><td>介质</td><td>折射率</td></tr><tr><td>空气</td><td>1.0003</td><td>钻石</td><td>2.419</td></tr><tr><td>冰</td><td>1.309</td><td>玻璃</td><td>1.5 ~ 1.9</td></tr><tr><td>乙醇</td><td>1.36</td><td>翡翠</td><td>1.57</td></tr><tr><td>水</td><td>1.333</td><td>红/蓝宝石</td><td>1.77</td></tr></table> 费马时间最短原理  ▲ 图4-2-1 测定玻璃的折射率  ▲ 图4-3-23 海市蜃楼 图 4.2-2 利用全反射测折射率 图 4-3-22 2004 年 1 月 31 日,在烟台山出现罕见的海市蜃楼奇观,在滨海景区观光的数百市民目睹了这一壮观场面	介质	折射率	介质	折射率	空气	1.0003	钻石	2.419	冰	1.309	玻璃	1.5 ~ 1.9	乙醇	1.36	翡翠	1.57	水	1.333	红/蓝宝石	1.77
介质	折射率	介质	折射率																			
空气	1.0003	钻石	2.419																			
冰	1.309	玻璃	1.5 ~ 1.9																			
乙醇	1.36	翡翠	1.57																			
水	1.333	红/蓝宝石	1.77																			
全反射(光纤)	$\sin i_c = \frac{1}{n}$ $n = \frac{\sin 90^\circ}{\sin i_c} = \frac{1}{\sin i_c}$	折射角等于 90° 时的入射角称为临界角,记作 i_c 发生全反射的两个必要条件: ① 光线从光密介质射入光疏介质 ② 入射角等于或大于临界角																				

	各种色光比较	$n \propto f \propto r \propto \text{侧移量}$ $\propto$ 越容易发生全反射 (折射率 n 越大)	<table><tr><td>颜色</td><td>红橙黄绿青蓝紫</td></tr><tr><td>频率 ν (f)</td><td>低 $\rightarrow$ 高 ($f \ll$)</td></tr><tr><td>同一介质中的折射率 n</td><td>小 $\rightarrow$ 大 ($n \ll$)</td></tr><tr><td>通过棱镜的偏折角 r</td><td>小 $\rightarrow$ 大 ($r \ll$)</td></tr><tr><td>同一介质中速度 v</td><td>大 $\rightarrow$ 小</td></tr><tr><td>波长 λ (反比 f)</td><td>大 $\rightarrow$ 小</td></tr><tr><td>临界角 C (反比 n)</td><td>大 $\rightarrow$ 小</td></tr></table>	颜色	红橙黄绿青蓝紫	频率 ν (f)	低 $\rightarrow$ 高 ($f \ll$)	同一介质中的折射率 n	小 $\rightarrow$ 大 ($n \ll$)	通过棱镜的偏折角 r	小 $\rightarrow$ 大 ($r \ll$)	同一介质中速度 v	大 $\rightarrow$ 小	波长 λ (反比 f)	大 $\rightarrow$ 小	临界角 C (反比 n)	大 $\rightarrow$ 小	
颜色	红橙黄绿青蓝紫																	
频率 ν (f)	低 $\rightarrow$ 高 ($f \ll$)																	
同一介质中的折射率 n	小 $\rightarrow$ 大 ($n \ll$)																	
通过棱镜的偏折角 r	小 $\rightarrow$ 大 ($r \ll$)																	
同一介质中速度 v	大 $\rightarrow$ 小																	
波长 λ (反比 f)	大 $\rightarrow$ 小																	
临界角 C (反比 n)	大 $\rightarrow$ 小																	
光的干涉	真空或空气中	明条纹: 路程差是波长的整数倍 $\Delta r = k\lambda, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$	 图 5-3 双缝干涉实验示意图	 图 4-5-1 双缝干涉仪														
	两列相干光波 (双缝) 到达明 (暗) 干涉条纹的位置 (屏上某点) 的路程差	暗条纹: 路程差是半波长的奇数倍 $\Delta r = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$			 图 4.4-4 不同色光、不同双缝的双缝干涉条纹													
	频率相同	光程差: 折射率为 n 的介质中两列相干光 (双缝) 到达明 (暗) 干涉条纹的处 (屏上某点) 的路径与绝对折射率乘积的差值																
相位差恒定	振动方向相同	明条纹: 光程差是波长的整数倍 $\Delta(nr) = k\lambda, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$																
双缝	暗条纹: 光程差是半波长的奇数倍 $\Delta(nr) = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$																	
	相邻明条纹 (或暗条纹) (同侧) 间的距离 (两条条纹的宽度)	$\Delta x = \frac{L}{d} \lambda = \frac{a_n \text{ 条明(暗) 条纹}}{n - 1}$ $\Delta r = k\lambda = r_2 - r_1 = d \sin \theta$ $\approx d \tan \theta = d \frac{x}{l}$ $\Delta x = \frac{x}{k} = \frac{l}{d} \lambda$	 图 4.4-2 双缝干涉实验光路示意图	 图 4.3-4 导出相邻亮条纹距离的表达式														
	薄膜干涉	由于重力的作用，从膜的上部到膜的下部呈现楔形。光照射在膜上时，一部分从膜表面 A_1B_1 上被反射，另一部分折射进膜内，经膜的内表面 A_2B_2 反射后的光，再在膜的外表面 A_1B_1 折射出去。	 图 4-4-4 肥皂泡的薄膜干涉示意图															

双缝干涉明、暗条纹间距公式的推导

如图4-5-6所示，设双缝 S_1 和 S_2 的距离为 d ，到屏的距离为 L ，且 $L \gg d$ ， O 到 S_1 、 S_2 的距离相等。从 S_1 、 S_2 射出的光波到达 O 点的路程相等，所以两列波到 O 点时路程差为零，总是互相加强，在 O 点就出现亮条纹。现在我们来研究与 O 点距离为 x 的 P 点的情况。 P 到 S_1 、 S_2 的距离分别为 r_1 、 r_2 ，从 S_1 、 S_2 发出的光波到达 P 点的路程差是 $\Delta r = r_2 - r_1$ ，由图可知



▲ 图4-5-6

$$r_1^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2, \quad r_2^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

两式相减，可得

$$r_2^2 - r_1^2 = (r_2 - r_1)(r_2 + r_1) = 2dx$$

由于 $L \gg d$ ，且 $L \gg x$ ，因此 $r_2 + r_1 \approx 2L$ ，所以 $\Delta r = \frac{d}{L}x$ 。

如果路程差 Δr 等于波长 λ 的整数倍，两列波到达 P 点时同相，因而互相加强，在 P 点就出现亮条纹；如果路程差 Δr 等于半波长 $\frac{\lambda}{2}$ 的奇数倍，两列波到达 P 点时反相，因而互相削弱，

在 P 点就出现暗条纹，即当 $\Delta r = \pm k\lambda$ ，或在屏上满足 $x = \pm k \frac{L}{d} \lambda$ ， $k = 1, 2 \dots$ 的地方出现亮条纹。当 $k = 1, 2 \dots$ 时，分别为中央亮纹两边的第1条，第2条……亮条纹。

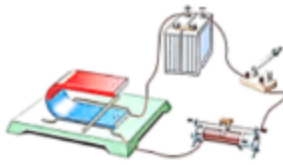
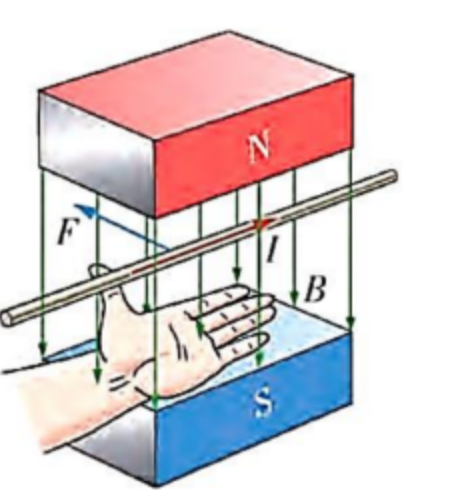
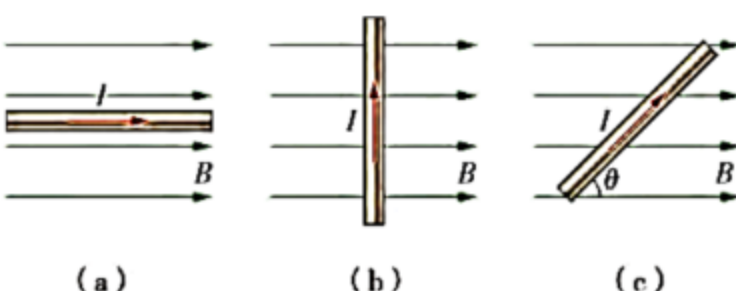
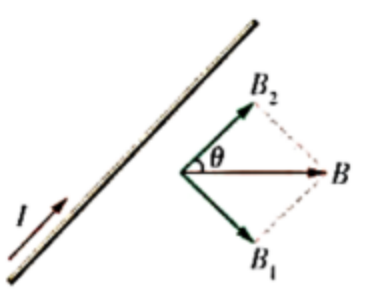
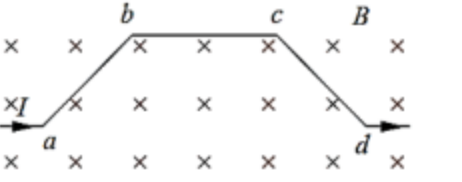
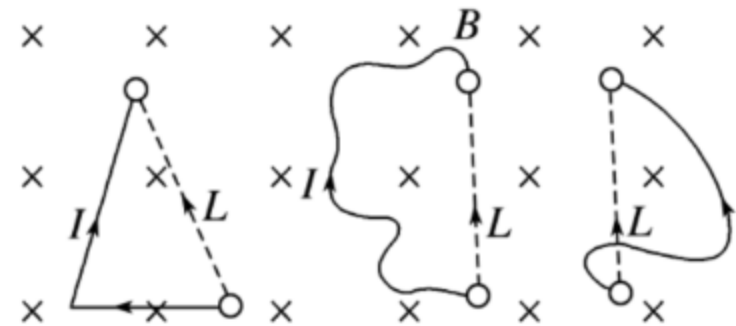
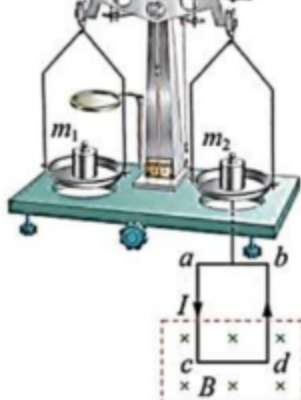
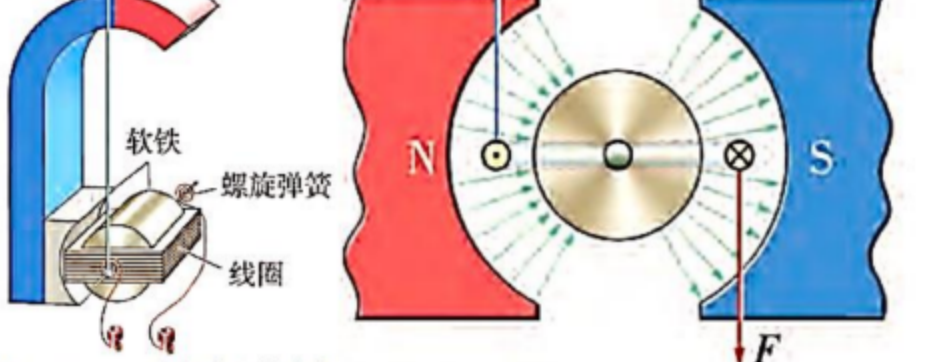
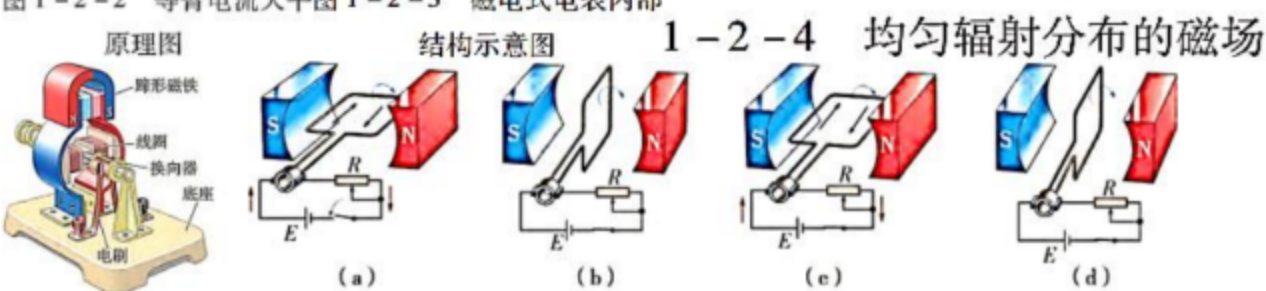
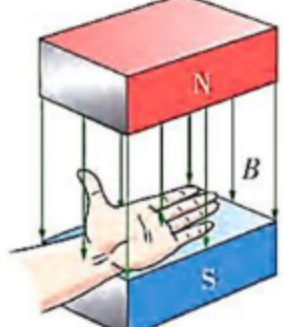
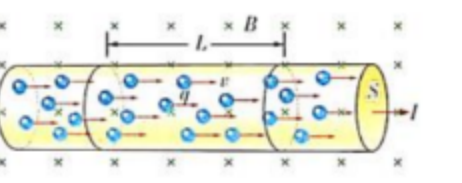
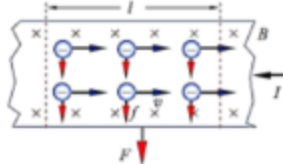
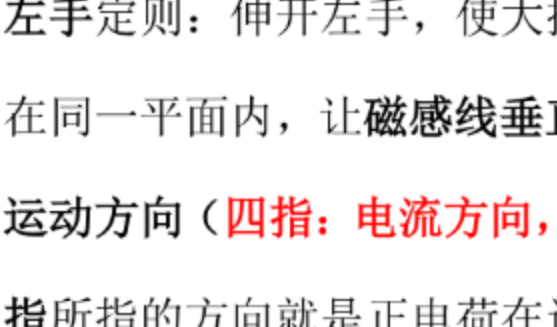
当 $\Delta r = \pm (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$ ，或在屏上满足 $x = \pm (2k - 1) \frac{L\lambda}{2d}$ ， $k = 1, 2 \dots$ 的地方出现暗条纹。

当 $k = 1, 2 \dots$ 时，分别为中央亮纹两边的第1条，第2条……暗条纹。

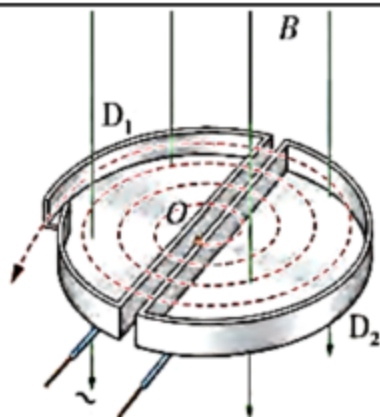
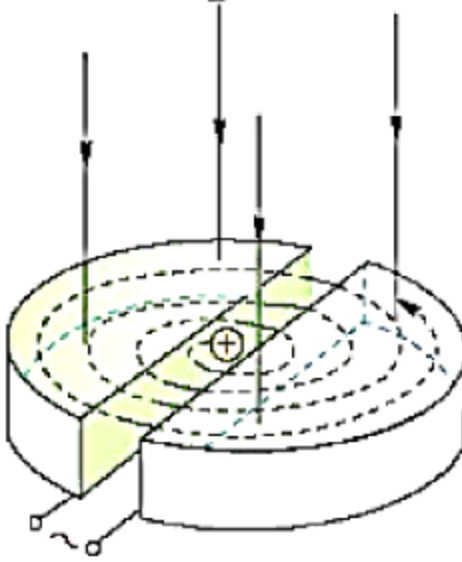
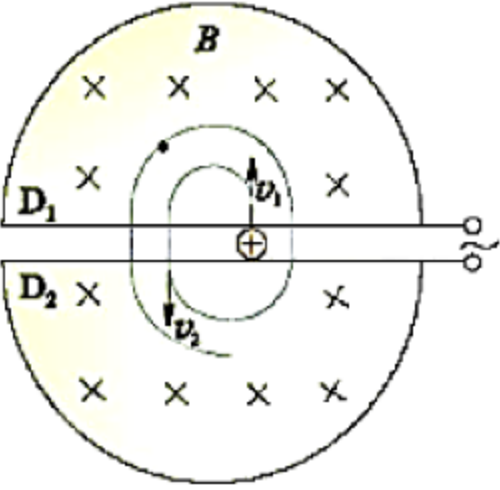
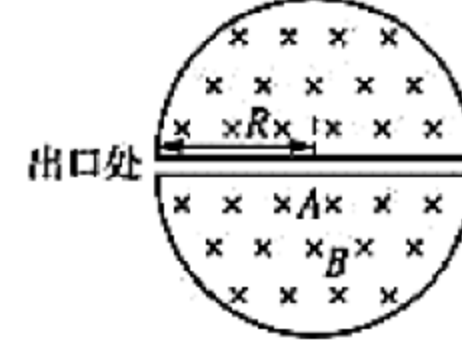
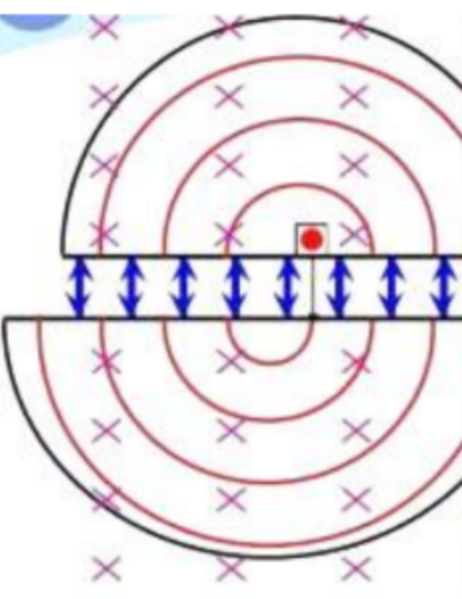
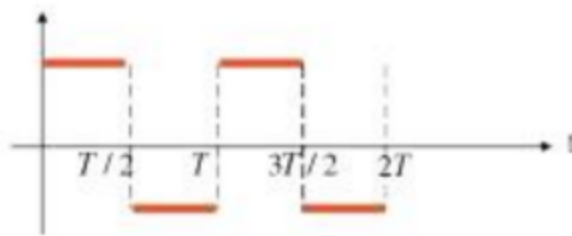
相邻两条亮条纹（或暗条纹）间的距离 Δx 是相等的， $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$ ，这就是前面给出的用来求波长的公式。从此式看出，在 d 和 L 不变的情况下，干涉条纹间的距离 Δx 只跟波长 λ 有关系。用不同的色光做实验，可以看到 Δx 不同，红光的最宽，紫光的最窄。这表明不同色光的波长不同，红光的波长最长，紫光的波长最短。用白光做光源时，由于各色光的波长不同， Δx 的宽度也不同，因此在中央白色亮纹两边出现彩色条纹。

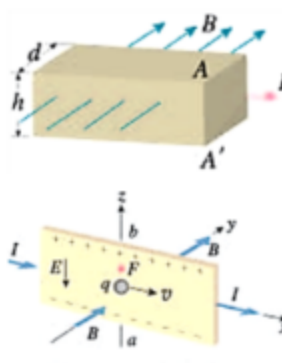
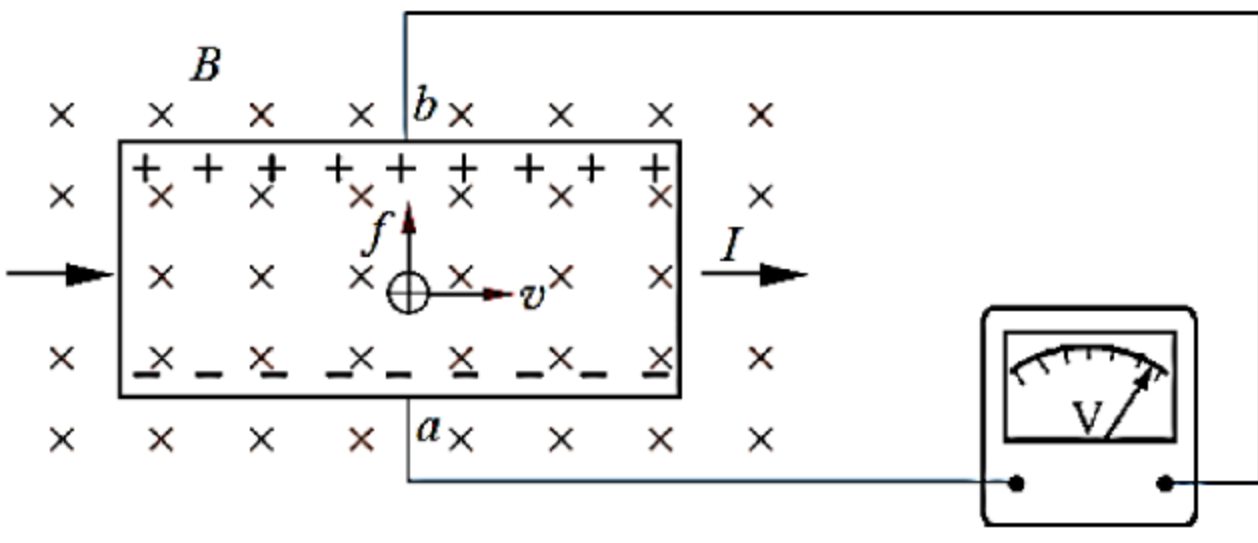
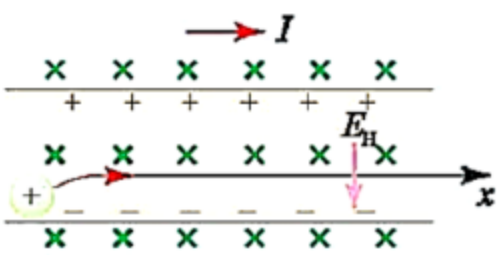
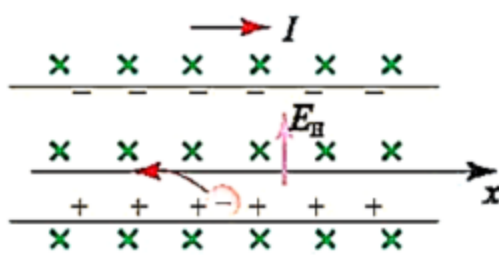
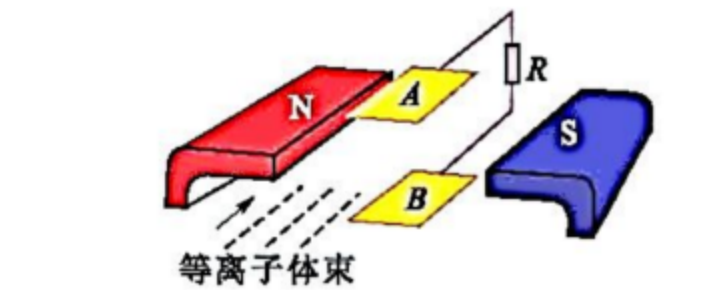
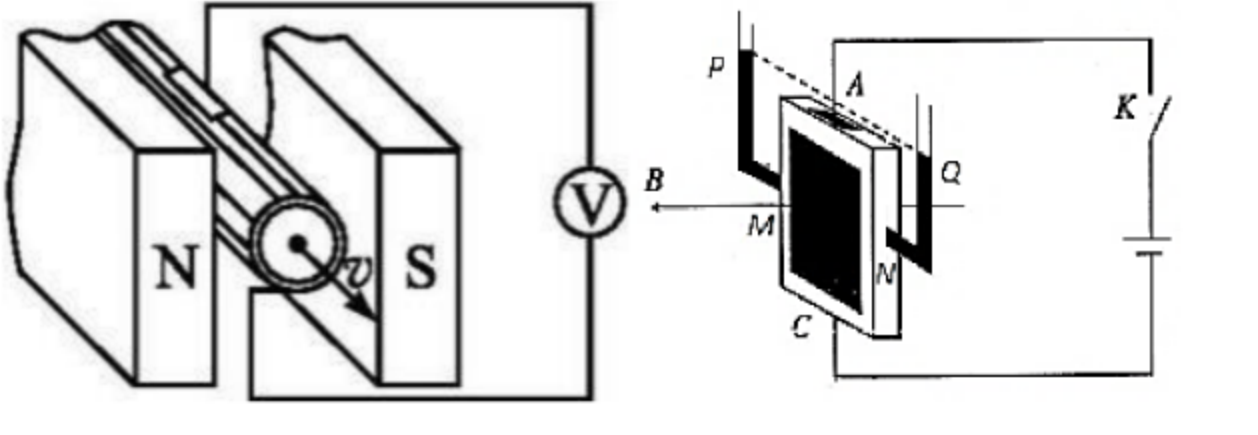
单缝	光的衍射 当障碍物的尺寸与光的波长相当，甚至小于光的波长时，衍射现象将十分明显。	图 4.5-3 白光的单缝衍射条纹 图 4.5-6 泊松亮斑	图 4.5-1 单缝衍射示意图 图 4.5-2 单缝衍射产生的图样 图 4-6-2 光的圆孔衍射
	光的偏振 光是横波 图 4-38 观看立体电影示意图 每一个原子和分子都是一个独立的光源	图 4.6-1 狭缝的方向影响横波的传播	图 4.6-3 自然光通过偏振片的实验结果 图4-6-8 沿z方向传播的光波

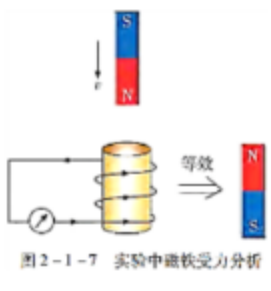
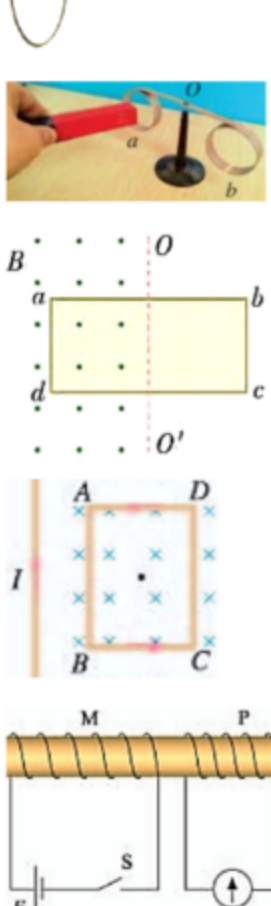
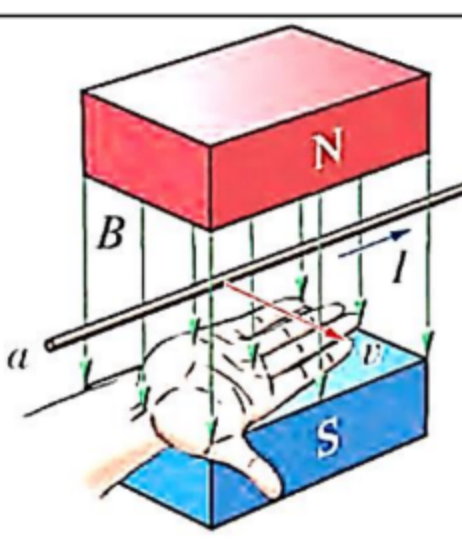
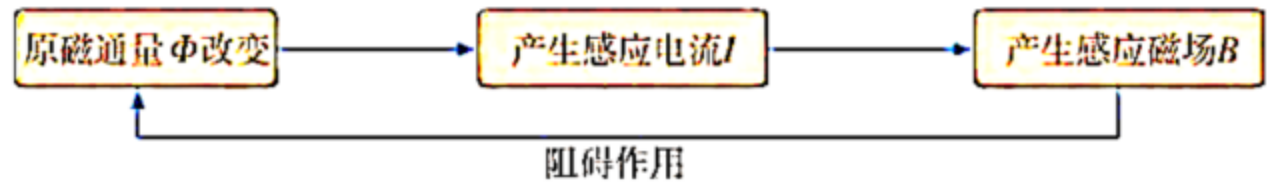
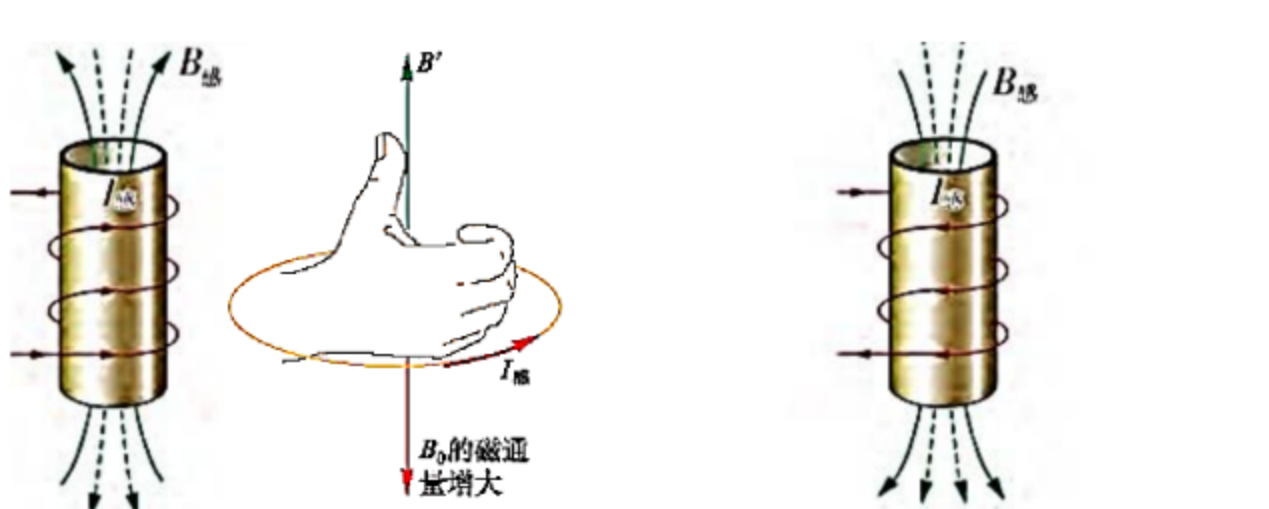
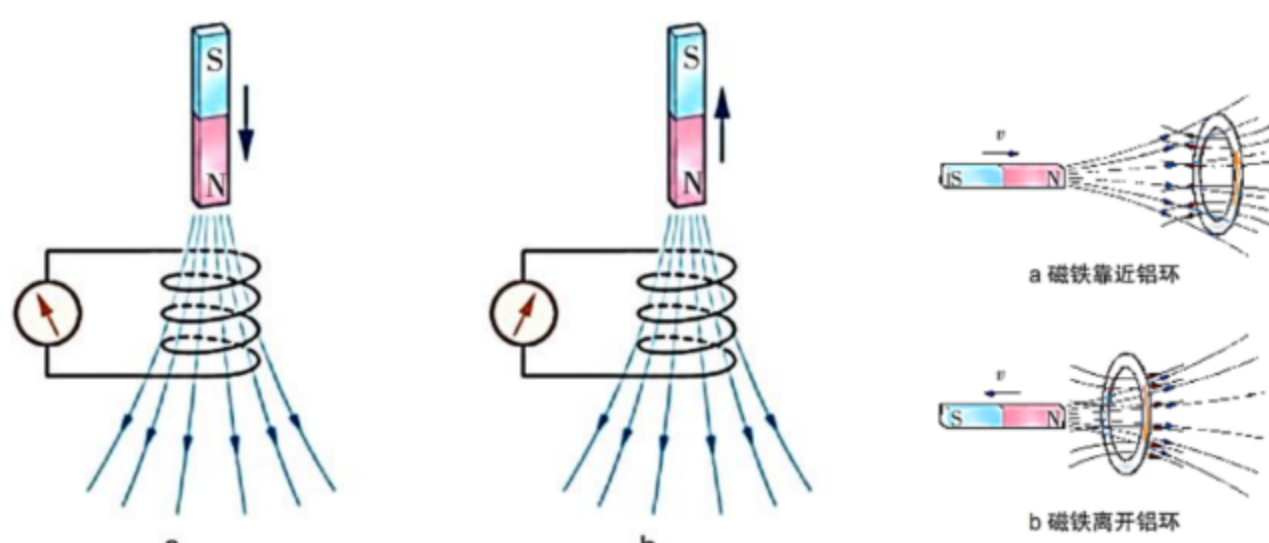
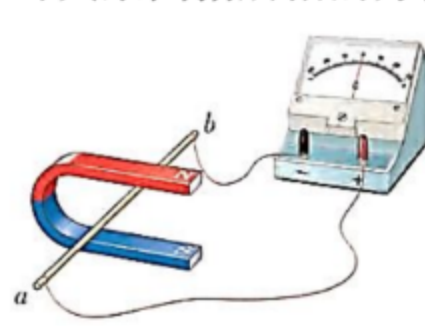
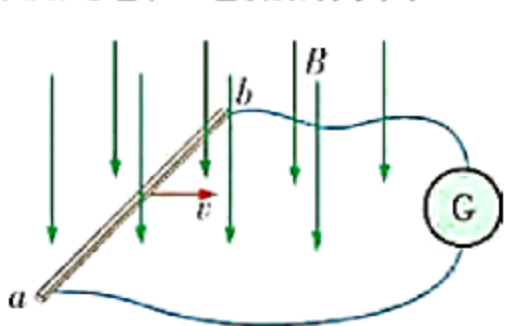
选择性必修 第二册

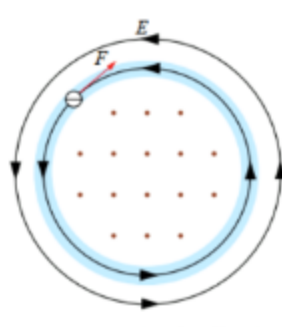
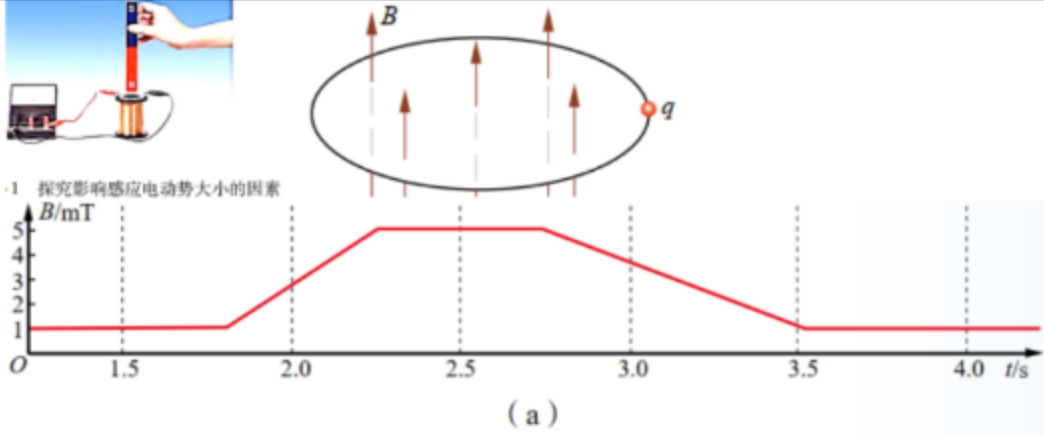
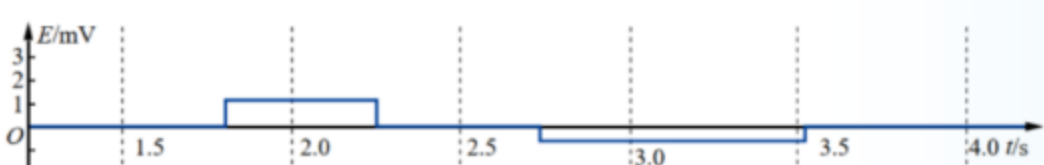
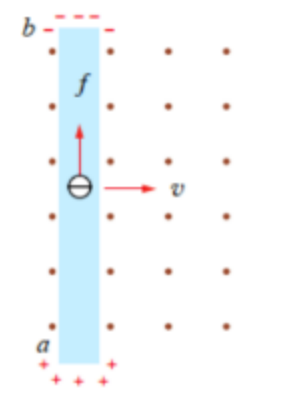
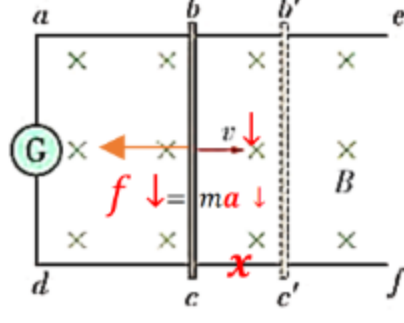
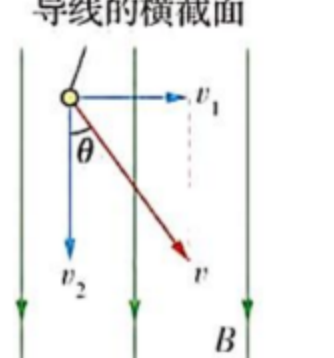
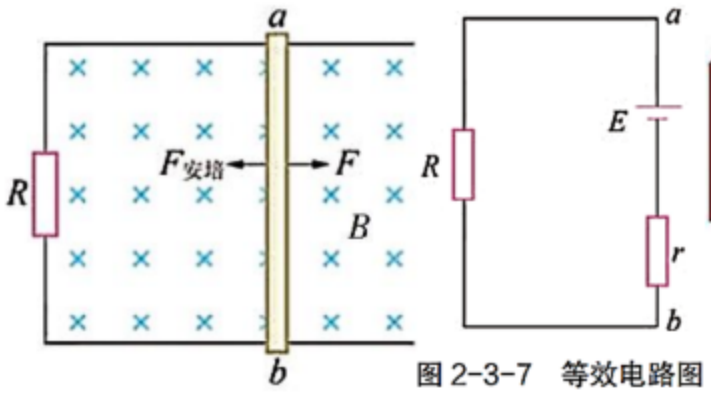
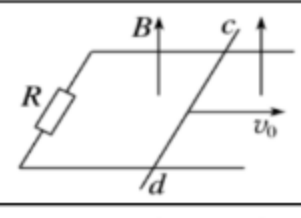
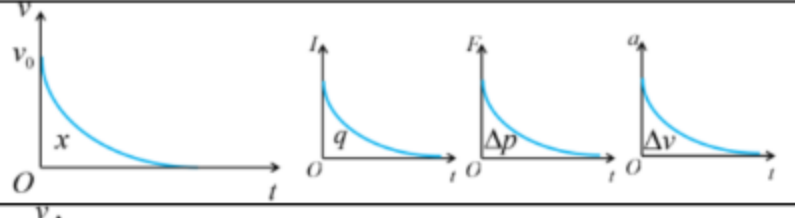
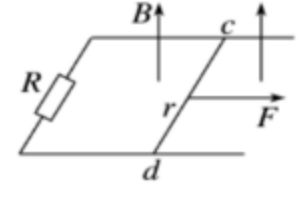
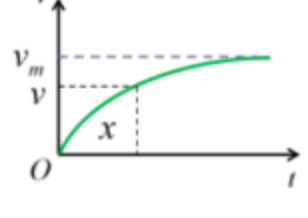
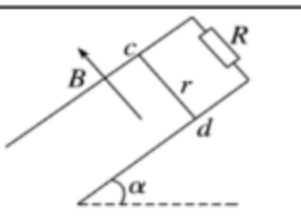
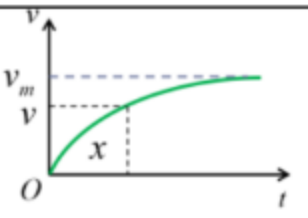
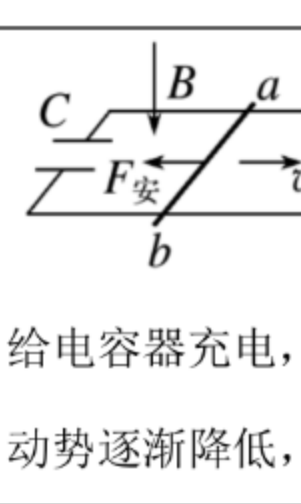
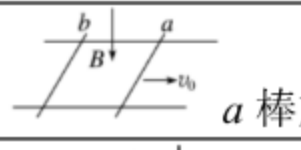
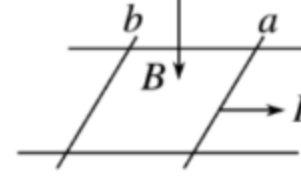
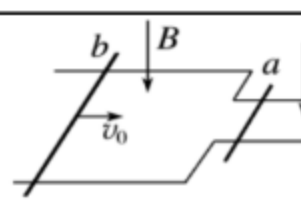
安培力	$F = BIL \sin \theta$ θ 为 B 与 IL 的夹角	左手定则：伸开左手，使大拇指与四指垂直，且都与手掌在同一个平面内。让磁感线垂直穿入手心，并使四指指向电流的方向，这时大拇指所指方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向。
 图 1-1-1 探究安培力实验装置示意图  图 1-1-2 左手定则	图 1-1-2 左手定则	 图 1-1-4 通电直导线与磁场方向成不同角度情况图  图 1-1-5 磁感应强度的分解
同吸反斥	L 有效长度：两端点连线  图 1-5 导线位于匀强磁场示意图	 图 1-5 导线位于匀强磁场示意图
电流天平	$m_1 g = m_2 g - nBIL$	 图 1-2-2 等臂电流天平图
磁电式电表	只使电流方向相反，左盘加上质量为 m 的砝码 $(m_1 + m)g = m_2 g + nBIL$	 图 1-2-3 磁电式电表内部
直流电动机	$B = \frac{mg}{2nIL}$	 图 1-2-4 均匀辐射分布的磁场 图 1-2-6 直流电动机内部结构示意图 图 1-2-7 直流电动机工作原理
洛伦兹力	$f = Bqv \sin \theta$ θ 为 B 与 v 的夹角	 图 1-3-3 洛伦兹力方向判定方法示意图  图 1-3-4 推导洛伦兹力大小的物理模型 $I = \frac{Q}{t} = \frac{Nq}{t}$ $L = vt$ $f = \frac{F}{N} = \frac{BIL}{N} = \frac{B \frac{Nq}{t} vt}{N}$ 洛伦兹力不做功
 图 1-12 安培力的微观解释示意图	洛伦兹力不做功	 左手定则：伸开左手，使大拇指与其余四指垂直，并且都与手掌在同一平面内，让磁感线垂直穿入手心，并使四指指向正电荷的运动方向（四指：电流方向，与负电荷的运动方向相反），这时拇指所指的方向就是正电荷在该磁场中所受洛伦兹力的方向。 运动的负电荷在磁场中所受洛伦兹力的方向，与沿相同方向运动的正电荷所受力的方向相反。

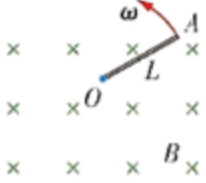
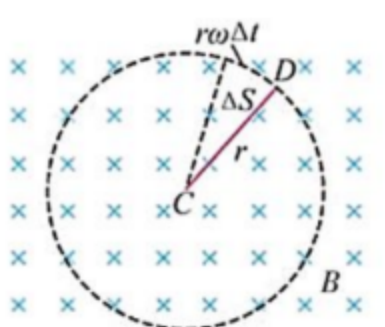
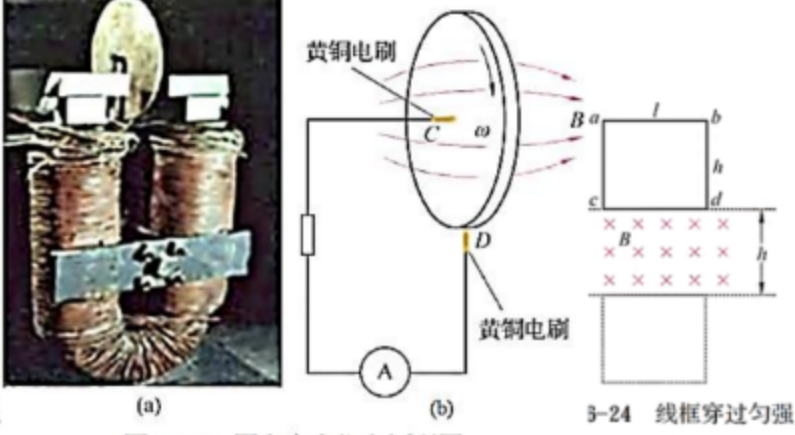
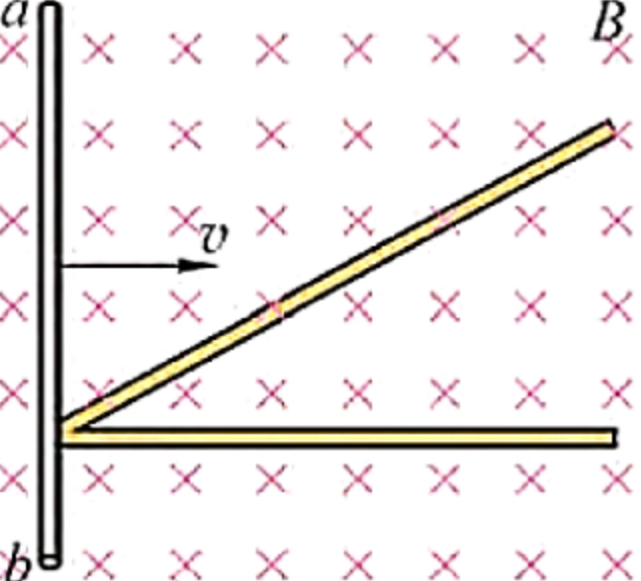
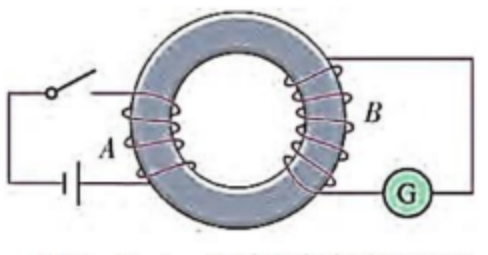
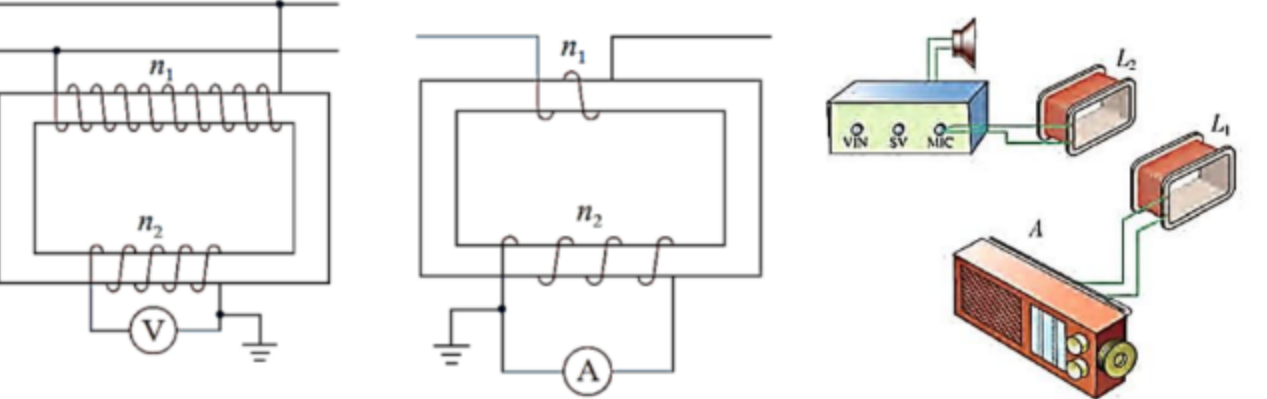
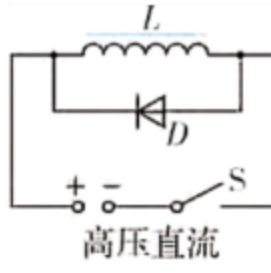
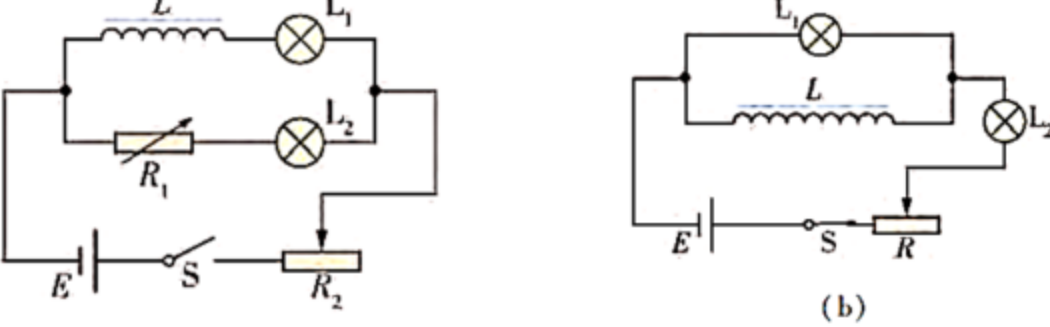
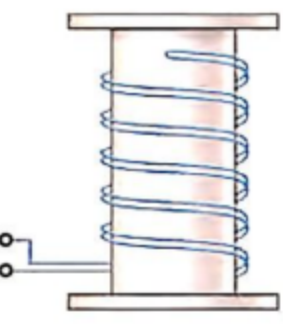
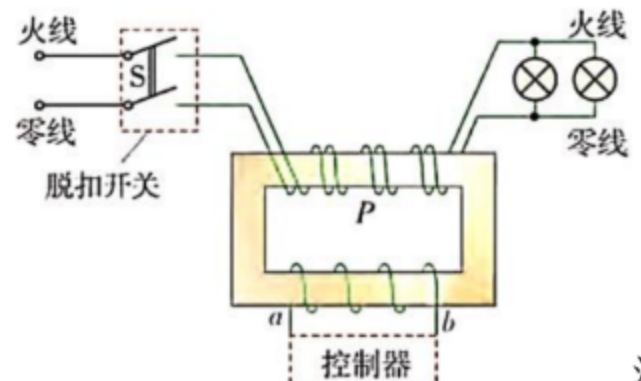
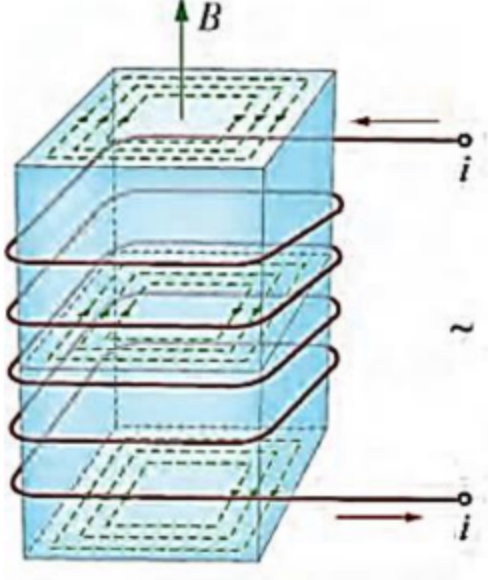
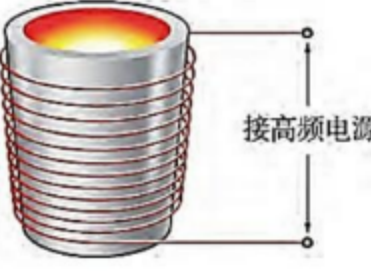
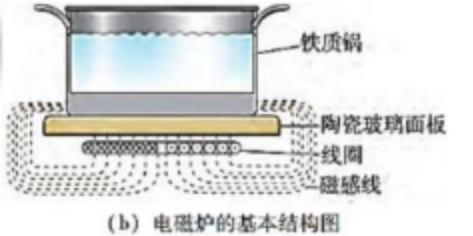
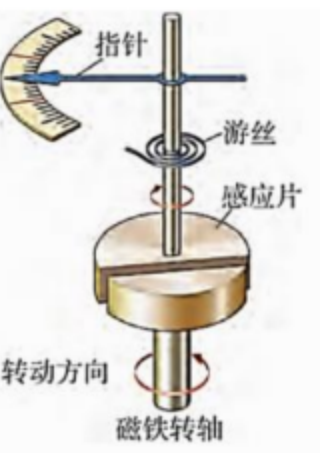
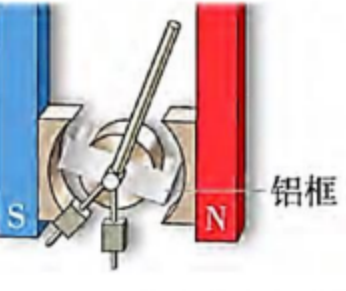
电子在磁场中 做圆周运动 最优解 ①②③	$Bqv = m \frac{v^2}{R}$ $R = \frac{mv}{Bq}$ $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi \frac{mv}{Bq}}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}$ 周期T与速度v无关 $Bqv = mR \frac{4\pi^2}{T^2}$ $t = \frac{\theta_{\text{圆心角}}}{2\pi} T$ 半径$R \perp$ 速度v θ 速度v转过的角度 $= \theta$ 圆心角 直线单边界: 射入角 = 射出角 圆形边界: 径向射入, 径向射出	
加速 速度选择器 质谱仪 显像管 图 1-24 显像管及其原理示意图	$qU = \frac{1}{2}mv^2$ $B_1 qv = qE$ $v = \frac{E}{B_1}$ $B_2 qv = m \frac{v^2}{r}$ $\frac{q}{m} = \frac{E}{B_1 B_2 r}$	1-4-9 一种质谱仪 -4-7 加速电场 -4-8 速度选择器 的理论设计方案

回旋加速器	最大动能	$f_{E最大} \geq f_{B最大}$	在不断被加速的过程中，氢核在匀强磁场中做圆周运动的半径也在不断增大，其 最后一次做圆周运动的半径 就等于 回旋加速器的半径 ，此时氢核 动能达到最大		
				(a) 世界上第一台回旋加速器	(b) 原理图
				图 1-4-5 回旋加速器	
			$Bqv = m \frac{v^2}{R}$		
			$v_{最大} = \frac{BqR}{m}$	(a)	(b)
			$E_{k最大} = \frac{B^2 q^2 R^2}{2m}$	▲ 图1-4-4 回旋加速器原理	
			$加速总次数 = \frac{E_{k最大}}{qU}$		
	频率		磁感应强度的大小 可通过 电源频率 等于氢核做 圆周运动的频率 确定。	出口处	接交流电源
	电压一上一下为一个周期		$T = \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{1}{f}$		
	第 n 次 和 第 $n+1$ 次加速的半径比		$r_n = \frac{mv_n}{Bq}$ $nqU = \frac{1}{2}mv_n^2$ $\frac{r_n}{r_{n+1}} = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{n+1}}$		工作条件：交变电流的周期等于粒子在磁场中做圆周运动的周期
	从静止开始加速到出口处 n 圈，所需的时间		$2nqU = \frac{1}{2}mv^2$ $Bqv = m \frac{v^2}{R}$ $T = \frac{2\pi m}{Bq}$ $t = nT = \frac{\pi BR^2}{2U}$		
	最大动能		$v_{最大} = 2\pi f_{E最大} R$		
$f_{E最大} \leq f_{B最大}$		$E_{k最大} = 2\pi^2 m f_{E最大}^2 R^2$			

霍尔效应	基本粒子$\frac{q}{m} \approx 10^8$ 忽略重力 将一导电薄板（导体或半导体）放在垂直于板面的匀强磁场中，当导电薄板中有电流通过时，运动电荷会在洛伦兹力作用下向导电薄板的某一边偏移，由此便在导电薄板两边分别聚集正、负电荷，从而导电薄板两边间产生电压。 直到 $Bqv = qE = q\frac{U}{d}$ 霍尔电压 $U = Bdv$  图 5.2-11 霍尔效应	利用霍尔效应制成的传感器被广泛应用于自动控制等领域。  图 1-23 霍尔效应示意图 (a) 如果定向运动的是正电荷，导体内将会形成一个方向向下的电场 (b) 如果定向运动的是负电荷，导体内将会形成一个方向向上的电场    ▲ 图1-4-7 磁流体发电机试验台  ▲ 图1-4-8 磁流体发电机原理示意图  图 1-4-9 磁聚焦原理示意图
磁聚焦	$v_{//} = v \cdot \cos \theta \approx v$ $v_{\perp} = v \cdot \sin \theta \approx v\theta$ 经一个周期后 又会聚于A'点	

感 应 电 流 的 方 向	楞次定律  图 2-1-7 实验中磁体受力分析  图 6-8 用分子电流假说解释感应电流产生的磁场力 安培力 f 阻碍 相对运动	闭合回路中感应电流具有这样的方向，即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。  图 2-1-10 右手定则	电磁感应的本质：磁通量发生变化  图 2-1-6 电磁感应现象中各物理量之间的逻辑关系  ▲图 2-1-6 感应电流方向的判断 3 原磁通量 Φ 增加的情况 图 2-1-4 原磁通量 Φ 减小的情况  图 2-2-2 研究铝环中磁通量变化的示意图 磁铁插入线圈和从线圈中拔出时，穿过闭合线圈的磁通量发生变化示意图 伸开右手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内。让磁感线垂直穿入手心，拇指指向导体运动的方向，这时其余四指所指的方向就是感应电流的方向。  图 2-1-8 探究电磁感应电流产生条件  2-1-9 金属棒向右切割磁感线
--	--	---	--

感生	法拉第 电磁感应定律  图 2-12 产生感生电动势示意图	$E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = nk_{\Phi(BS)-t} \text{图}$ $q = \bar{I}t = \frac{E}{R}t = \frac{n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}}{R}t = n \frac{\Delta \Phi}{R}$ $F_{\text{合}}t = \Delta mv$ $B\bar{I}Lt = B \frac{E}{R}Lt = B \frac{n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}}{R}Lt$	 (a) 
动生	切割磁感线  产生动生电动势示意图 相当于电源 两点间电势差相当于一电压表测	$E = BLv \sin \theta_B \text{ 与 } \vec{v} \text{ 的夹角}$ $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = n \frac{B \Delta S}{\Delta t} = n \frac{BLv \Delta t}{\Delta t}$ $W = fs = fvt = BIL \cdot vt = EIt$ $q = \bar{I}t = \frac{E}{R}t = \frac{BL\bar{v}}{R}t = \frac{BLx}{R}$ $F_{\text{合}}t = \Delta mv$ $f \downarrow = BIL = B \frac{BLv}{R}L = \frac{B^2 L^2 v}{R}$ $B\bar{I}Lt = \frac{B^2 L^2 \bar{v}}{R}t = \frac{B^2 L^2 x}{R}$	 图 2-2-2 导线做切割 磁感线运动 (楞次定律体现了能量守恒) 2-2-3 速度分解  导线的横截面  图 2-3-7 等效电路图
单杆 光滑	加速度减小的减速，直到静止 $f \downarrow = BIL = B \frac{BLv}{R}L = \frac{B^2 L^2 v}{R} = ma \downarrow$ 加速度减小→0 的加速 直到 $F = F_{\text{安}} = \frac{B^2 L^2 v_{\text{最大}}}{R+r}$ 匀速 加速度减小→0 的加速 直到 $G_x = F_{\text{安}} = \frac{B^2 L^2 v_{\text{最大}}}{R+r}$ 匀速 减速直到 $U = E = BLv$ 匀速 $q = CU$ $I = \frac{q}{t} = \frac{CU}{t} = \frac{C \cdot BLv}{t}$ $BILt = B \frac{C \cdot BLv}{t}Lt = mv_0 - mv$	       棒切割磁感线，产生感应电动势 $E=BLv$ ，给电容器充电，其电压逐渐升高，棒受到安培力做减速运动，电动势逐渐降低，直到二者电压相等匀速	
双杆 光滑	$m_1 v_0 = (m_1 + m_2) v_{\text{共}}$ 加速直到共速共加速相对静止 $F = (m_1 + m_2) a_{\text{共}} \text{ 匀加速}$ b 棒减速，a 棒加速，由于导轨不等间距，动量不守恒，当二者产生的电动势相等时，电流为 0，最终都匀速运动，但是二者的速度不相等，只有分别对 a、b 用动量定理 $BIL \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ 求最终速度	 a 棒加速度减小→0 的减速，b 棒加速度减小→0 的加速  a 棒加速度减小的加速，b 棒加速度增大的加速  a 棒加速度减小→0 的加速，b 棒加速度减小→0 的减速	

旋转做 切割磁感线  2-3-2 铜棒在 磁场中匀速转动	$E = Bl\bar{v} = Bl \cdot \frac{1}{2}l\omega = \frac{1}{2}Bl^2\omega$ $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = n \frac{B\Delta S}{\Delta t} = n \frac{B \cdot \frac{\theta}{2\pi} \pi l^2}{\frac{\theta}{\omega}}$	 图 2-4-3 法拉第圆盘发电机原理 左视图  图 6-21 圆盘发电机和原理图 3-24 线框穿过匀强 磁场
感应电动势	$E = BLv = B \cdot x \tan \alpha \cdot v$	
互感	 图 2-4-1 互感现象实验原理图	 -16 电压互感器原理示意图 -17 电流互感器原理示意图 图 2-4-2 无线通信演示实验示意图
自感  图 2-5-2 日光灯起辉过程中灯管两端的电压波形（左端是灯管两端刚接通电路时的波形，右端是正常发光时的波形。请注意两波形衔接处的脉冲波）  高压直流	$E = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ $1H = 10^3mH = 10^6\mu H$ $L = \frac{E}{\Delta I} \cdot \Delta t$ $E \propto \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\Delta\Phi = BS$ $B \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$	 2-4-3 通电自感实验电路图 断电自感实验电路图  2-4-8 双线绕法  漏电保护器
涡流  图 2-5-7 金属探测器  图 2-5-8 手持式金属探测器	 图 2-5-1 涡流现象的产生 电流频率越大，涡流越大 $Q = I^2RT$	 图 2-5-2 高频感应炉示意图  (a) 电磁炉实物图  (b) 电磁炉的基本结构图  图 2-5-5 磁性式转速表  -5-6 磁电式电表中的铝框  高频电源

日 光 灯

日光灯是自感现象的典型应用之一。

日光灯主要由灯管、镇流器和启辉器组成，如图 2-4-10 所示。灯管的两端各有一条灯丝，管中充有稀薄的氩和微量水银蒸气，管壁上涂有荧光粉。两条灯丝之间的气体在导电时会发出紫外线，荧光粉受到紫外线的照射就会发出可见光。

启辉器的内部结构如图 2-4-11 所示。当闭合开关时，电源把电压加到启辉器两极，启辉器内的氖气放电发出闪亮的辉光。辉光产生热量使启辉器的 U 形动触片受热膨胀而接触静触片，两极接触后电路接通，此时两极间的电势差很小，氖气不再产生辉光，管内温度降低，U 形动触片冷却收缩，两极断开，启辉器熄灭。

镇流器的内部结构如图 2-4-12 所示，其关键部分是一个绕在闭合铁芯上的线圈。当启辉器通电后很快又断电，根据断电自感的原理，此时镇流器中的线圈产生很大的自感电动势，与电源电压合在一起，形成瞬间高压加在灯管两端，使灯管内的气体电离发出紫外线，激发管壁上的荧光粉发出可见光。日光灯发光后，由于交变电流不断通过镇流器的线圈，线圈中持续产生自感电动势阻碍线圈中电流的变化。灯管发光后的镇流器，此时又起到降压限流的作用，满足了灯管正常发光所需的低电压。

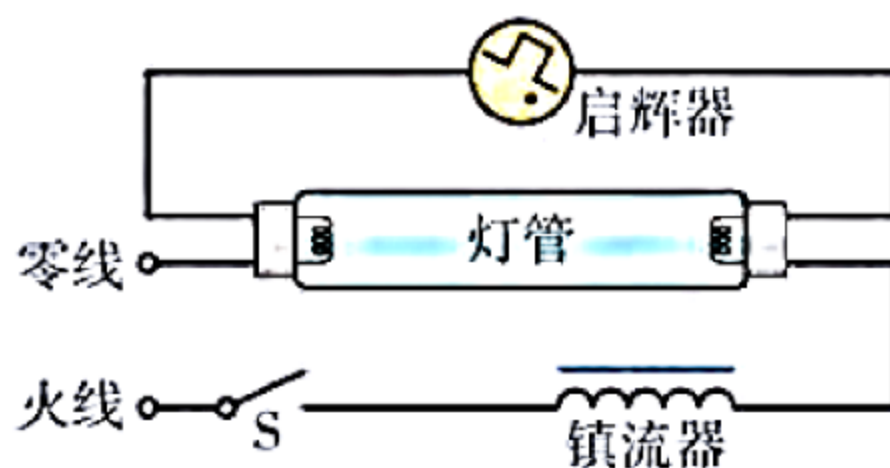


图 2-4-10 日光灯的电路图

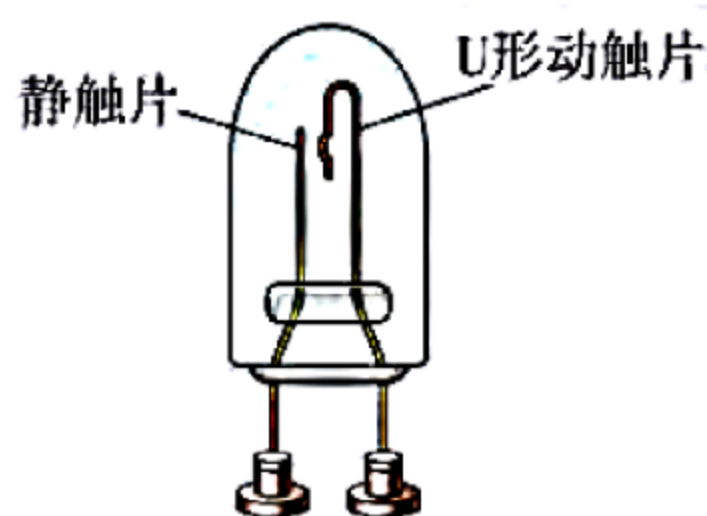


图 2-4-11 启辉器内部结构

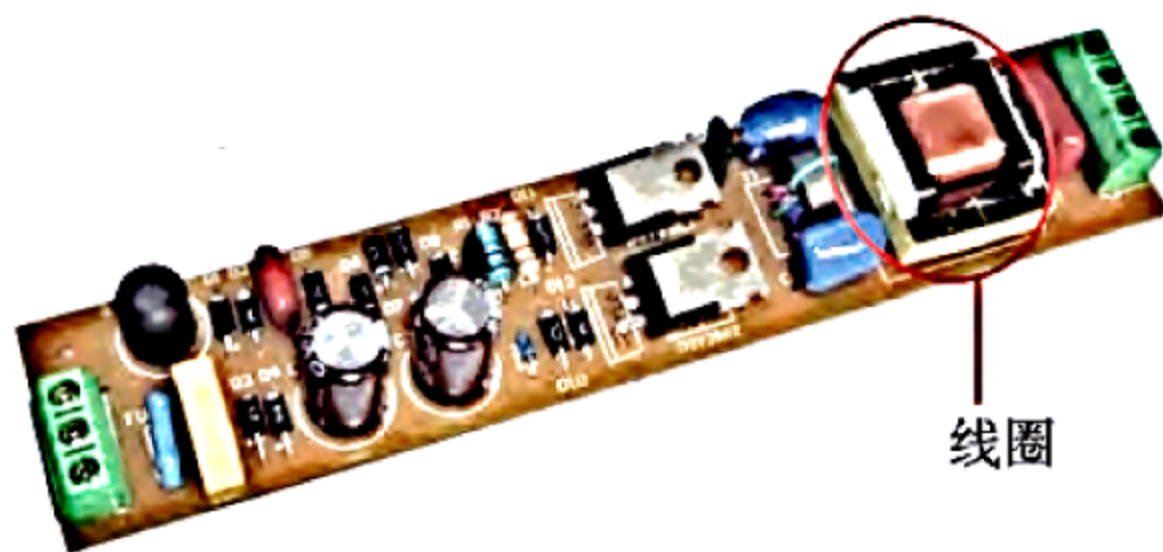
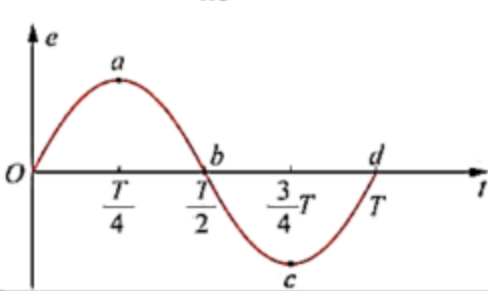
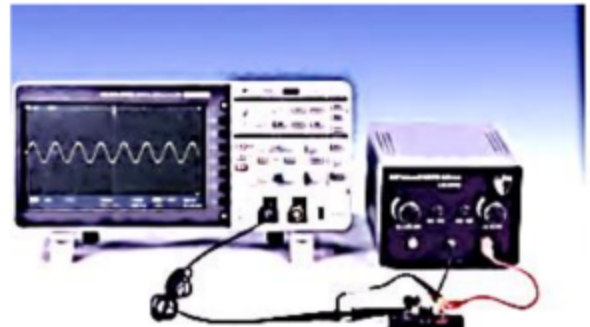
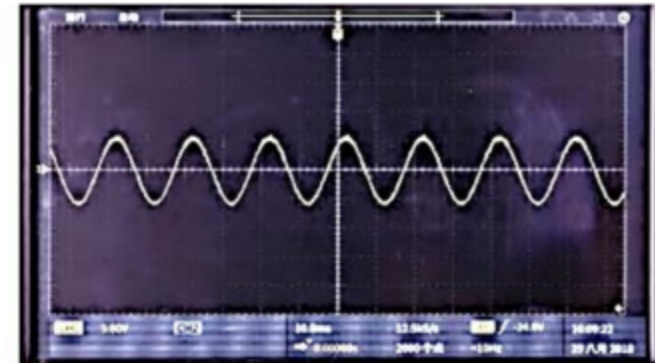
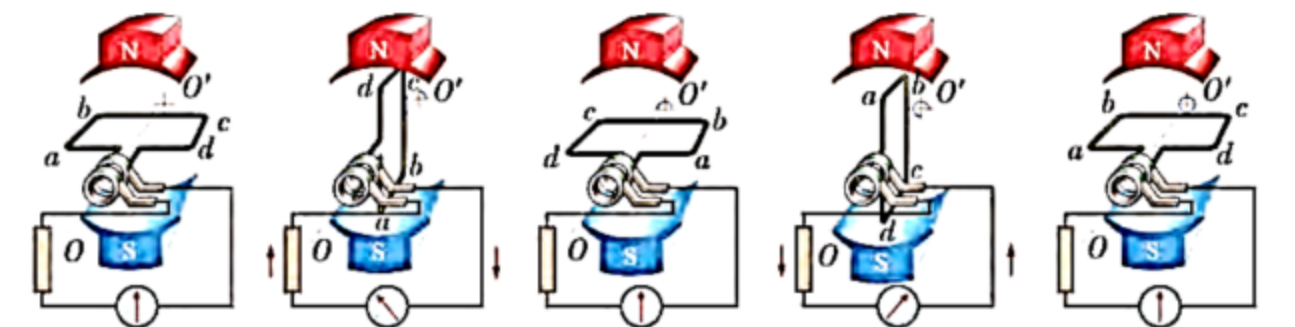
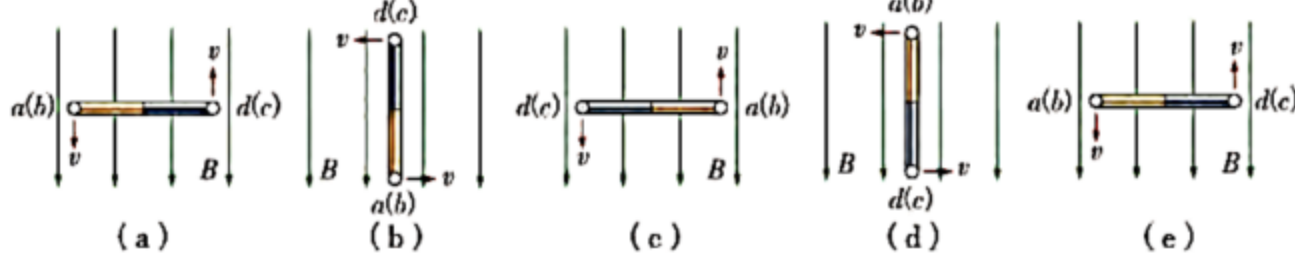
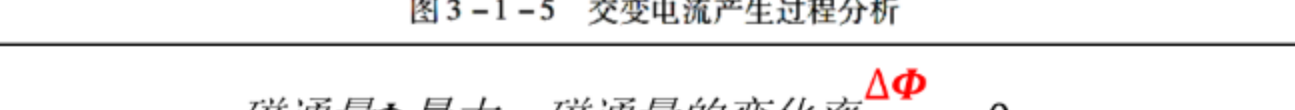
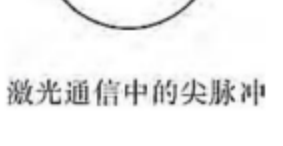
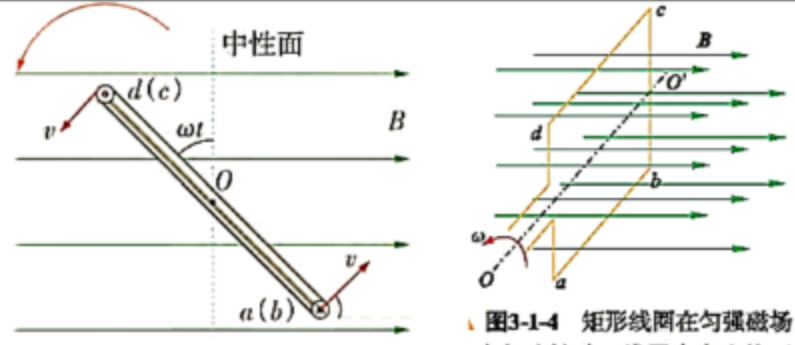
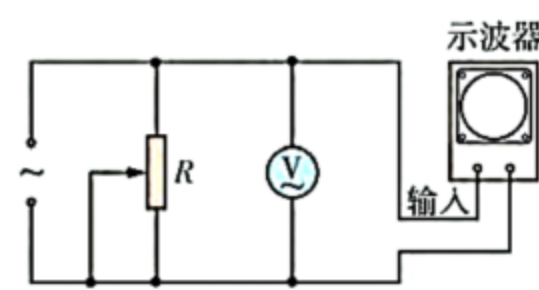
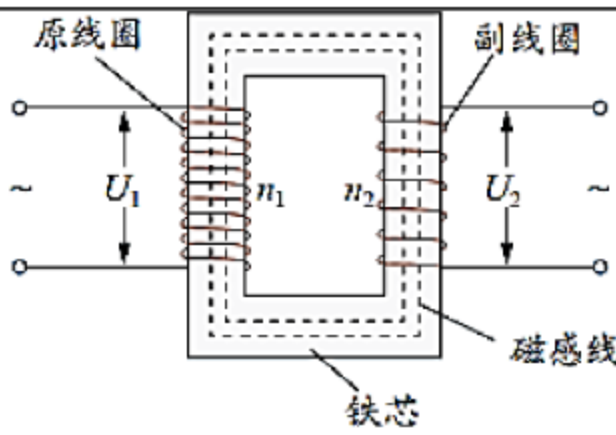
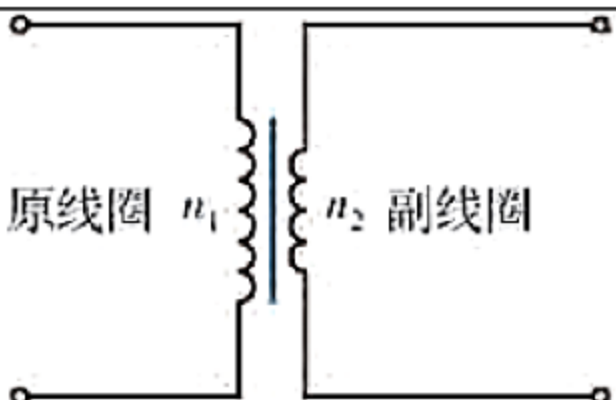
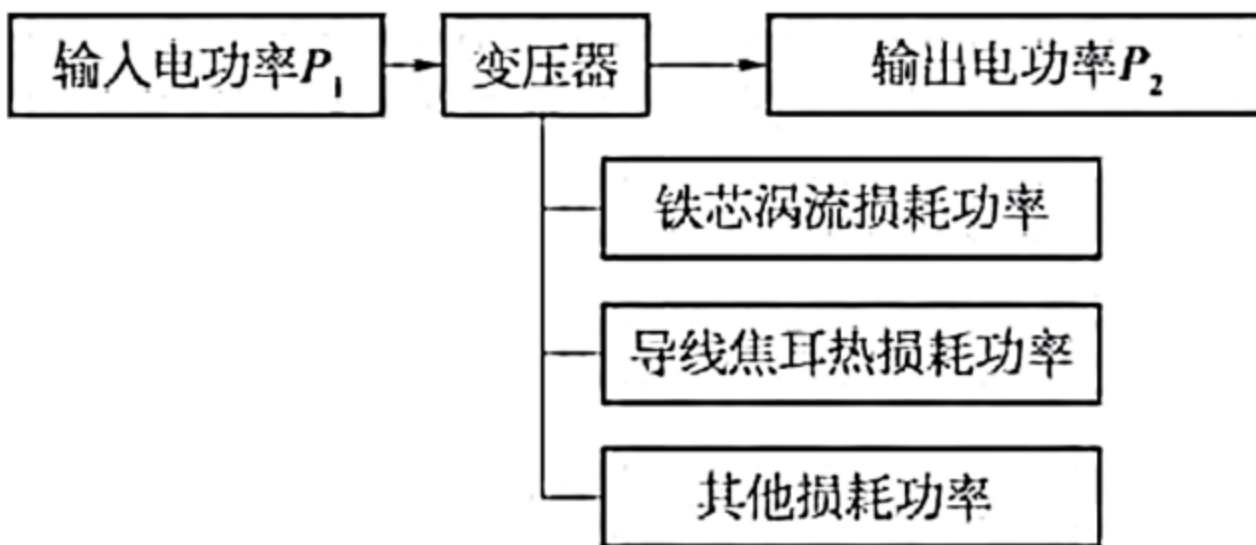
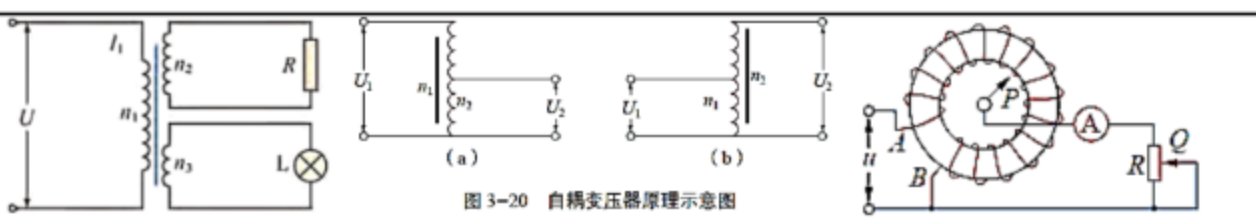
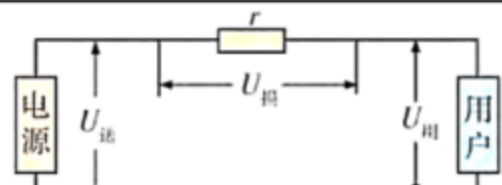
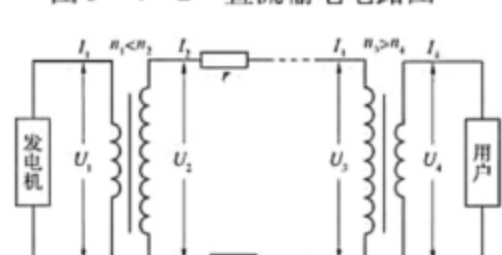
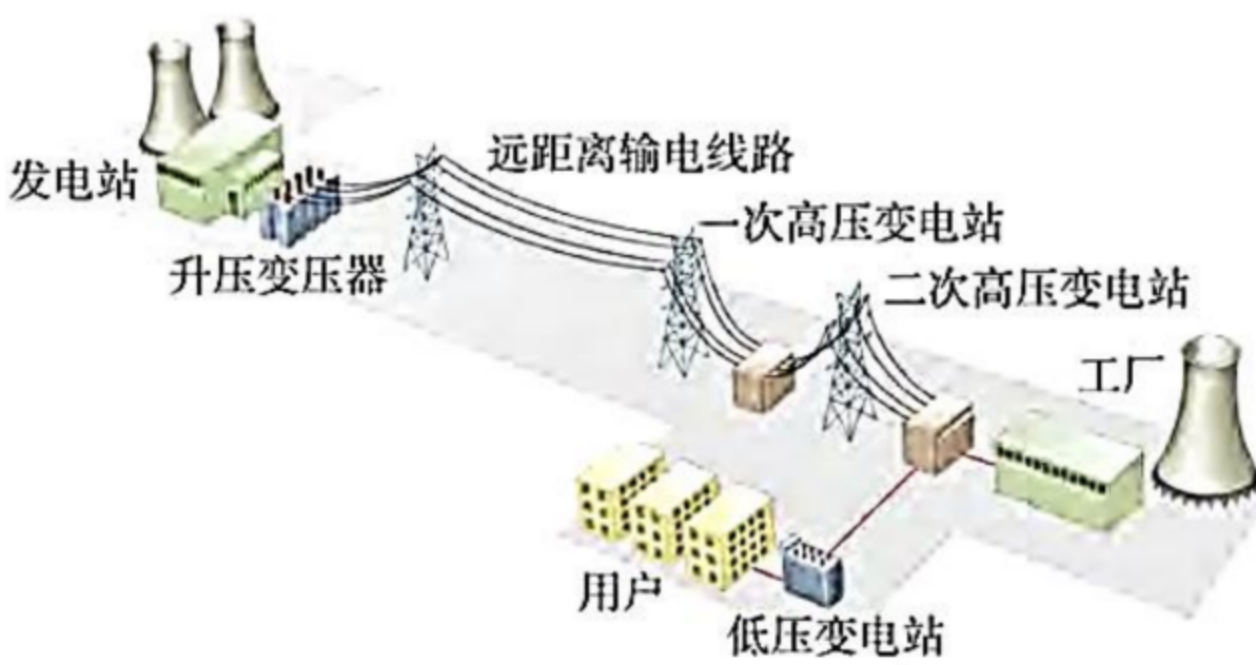
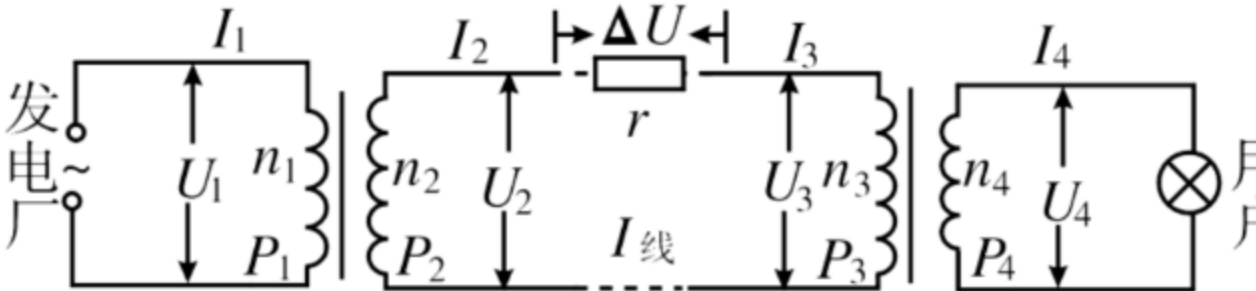


图 2-4-12 镇流器内部结构

随着技术的进步，传统的日光灯逐渐被新型的节能灯代替。虽然它们的发光原理相近，但节能灯多采用新型的电子镇流器，不再需要启辉器，并且具有耗材少、照明能效高、保护视力等明显优势，符合低碳生活的发展趋势。

正弦(余弦)式交变电流	瞬时值	绕固定轴匀速转动 (非匀速转动)	$e = E_m \sin \omega t$ 	$周期 T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f} = \frac{1}{n}, \text{ 每个周期电流方向改变两次}$  
				-1-1 用示波器观察交变电流的图像 
				图 3-1-2 交变电流的波形图 
				
				图 3-1-5 交变电流产生过程分析
	中性面		与磁场垂直的平面	$\text{磁通量 } \Phi \text{ 最大, 磁通量的变化率 } \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 0$
	最大值		$E_m = 2nBlv = 2nBl \cdot \frac{1}{2} L\omega = nBS\omega$	
	瞬时值		$\theta = \omega t$	图 3-1-4 矩形线圈在匀强磁场中匀速转动, 线圈中产生按正弦规律变化的感应电动势
			$e = 2nBl \cdot v \sin \theta = nBS\omega \cdot \sin \omega t$	3-1-6 交流发电机线圈截面示意图
	有效值(交流电压表示数)		$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707E_m$	
	电流的热效应定义		$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m$	
			$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707U_m$	(a) 实验装置
			$i_{\text{正弦}} = I_m \sin \omega t$	(b) 实验原理图
			$i_{\text{余弦}} = I_m \cos \omega t$	图 3-2-1 探究交变电流有效值与峰值之间的关系
			$P_{\text{瞬时}} = i_{\text{正弦}}^2 R + i_{\text{余弦}}^2 R$	让交变电流和恒定电流分别通过相同阻值的电阻, 如果在交变电流的一个周期内它们产生的热量相等, 那么这一恒定电流的数值称为交变电流的有效值 (effective value)
			$= I_m^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) R$	
			$P_{\text{瞬时}} = I_m^2 R$	
			$Q_{\text{总}} = I_m^2 R \cdot T = 2I^2 RT$	
			$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	
	平均值		$\bar{E} = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	

变 压 器	电压	二者的磁通量 Φ 及其变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 相同,				
	在铁芯没有漏磁的情况下,穿过变压器原线圈每匝的磁通量,也同样穿过副线圈。	原、副线圈的电阻都可以忽略时:			图 3-15 变压器的工作原理示意图	图 3-3-5 变压器的符号
		$\frac{U_1}{U_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{n_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}{n_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}} = \frac{n_1}{n_2}$				
理想变压器忽略损耗的能量	功率	$P_{\text{输出}} = P_{\text{输入}}$	输入功率 决定 输出功率, 输出功率 确定 输入功率 (用多少给多少)			
	频率相等					
			图 7-30 实际变压器的功率转换关系			
	电流	$U_1 I_1 = U_2 I_2$				
	匝数多, 电流小, 导线细	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$			图 3-20 自耦变压器原理示意图	
远 距 离 输 电	远距离输电	$P_{\text{输入}} = UI$				
	高压	$P_{\text{损耗}} = I^2 r = \left(\frac{P_{\text{输入}}}{U}\right)^2 r$			图 3-4-5 现代直流输电示意图	
	直流 (没有电感作用损耗)	$r = \rho \frac{l}{S}$				
						
		图 3-4-2 直流输电电路图				
						
		图 7-32 远距离输电原理				
						
			图 3-4-3 远距离输电的基本过程示意图			

电磁振荡

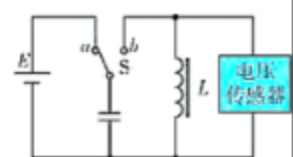


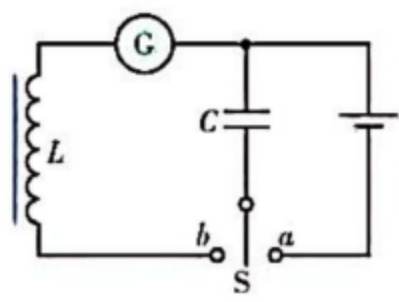
图 4-1-9 电磁振荡实验电路图



图 4-1-5 示波器显示的图像



$$T = 2\pi\sqrt{LC} = \frac{1}{f}$$



-4 用 LC 振荡电路观察电流的实验

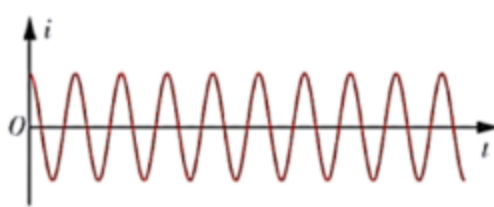


图 4-1-11 无阻尼振荡

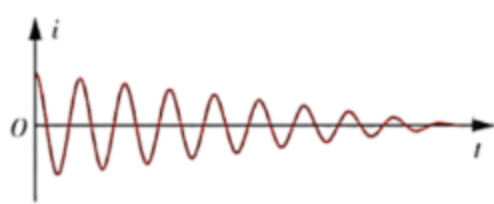


图 4-1-12 阻尼振荡

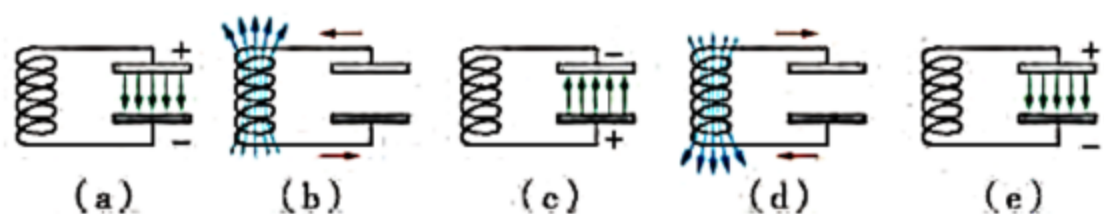


图 4-1-6 电磁振荡过程

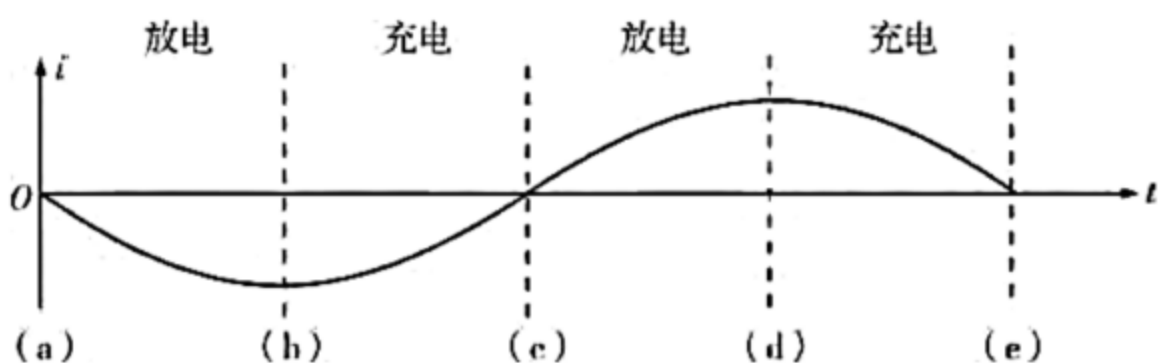


图 4-1-7 电流的周期性变化 (如图 4-1-6 中顺时针方向电流为正)

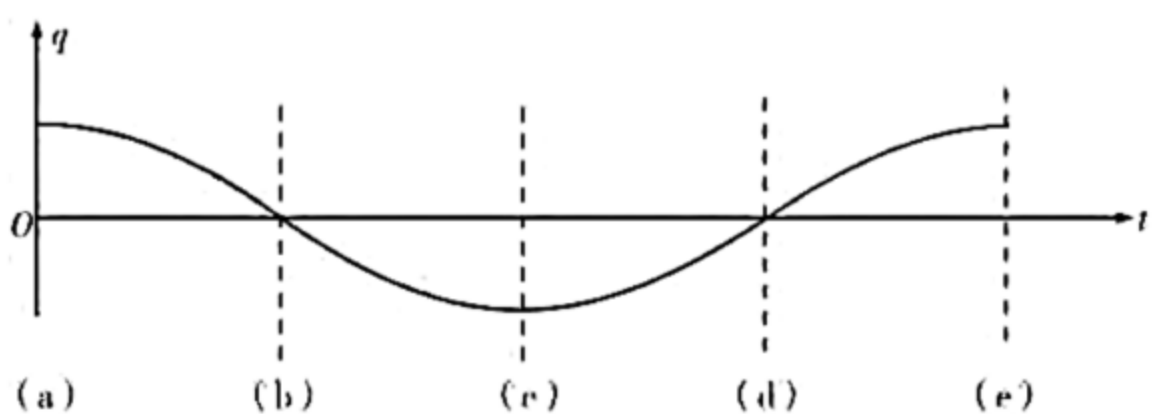


图 4-1-8 电容器极板上带电量的周期性变化 (q 为图 4-1-6 中电容器上极板的带电量)

电磁波的发射

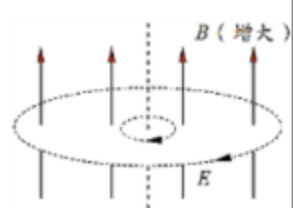


图 4-1 变化的磁场产生涡旋电场示意图

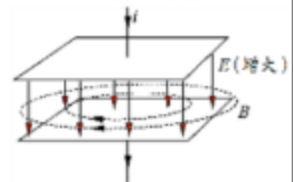


图 4-2 变化的电场产生涡旋磁场示意图

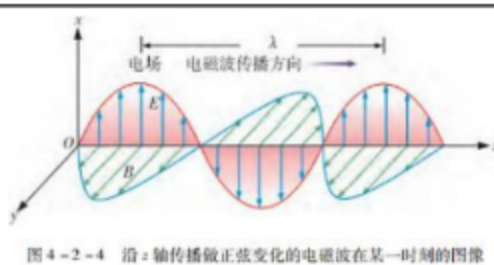
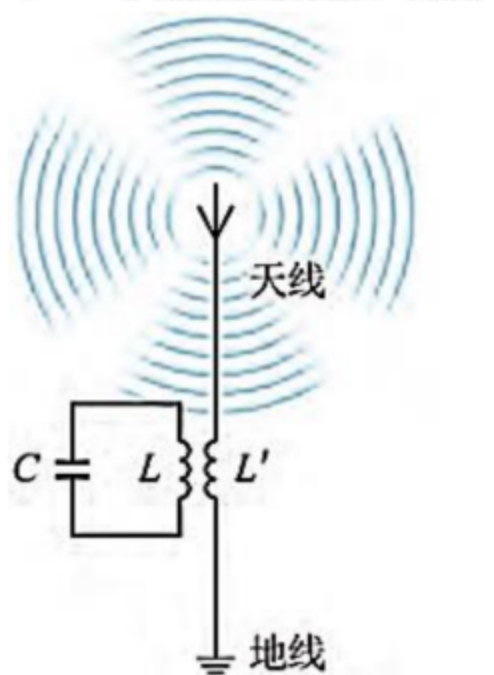


图 4-2-4 沿 z 轴传播的正弦变化的电磁波在某一时刻的图像



4-3-2 无线电波的发射

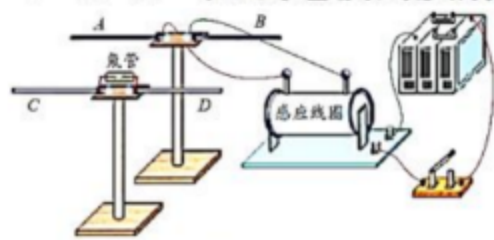


图 4-3 电磁波发射装置示意图

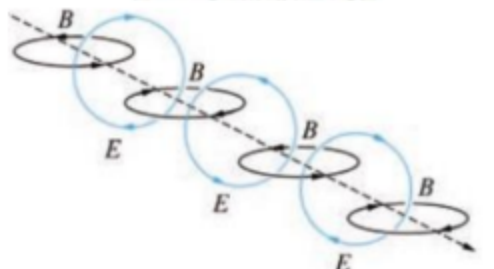


图 4-2-12 电磁波的传播

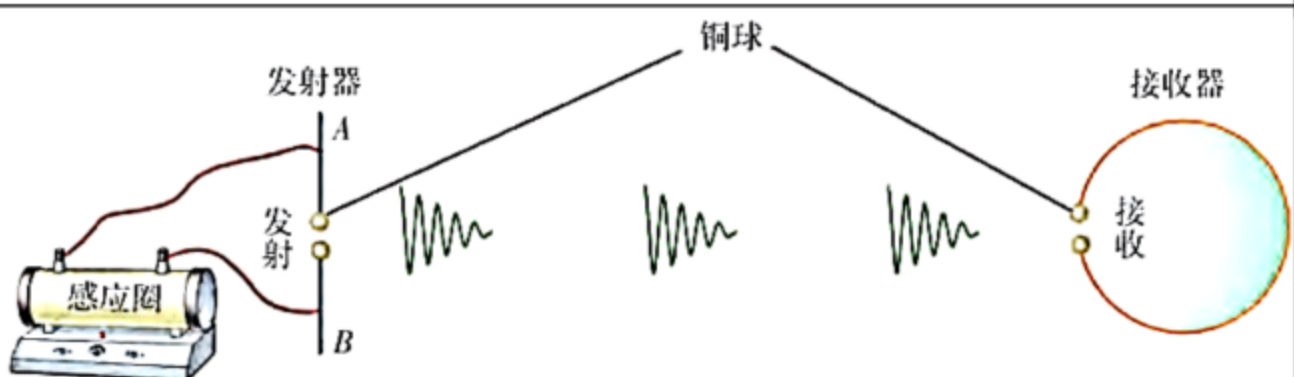


图 4-2-6 赫兹证实电磁波存在的实验方案示意图

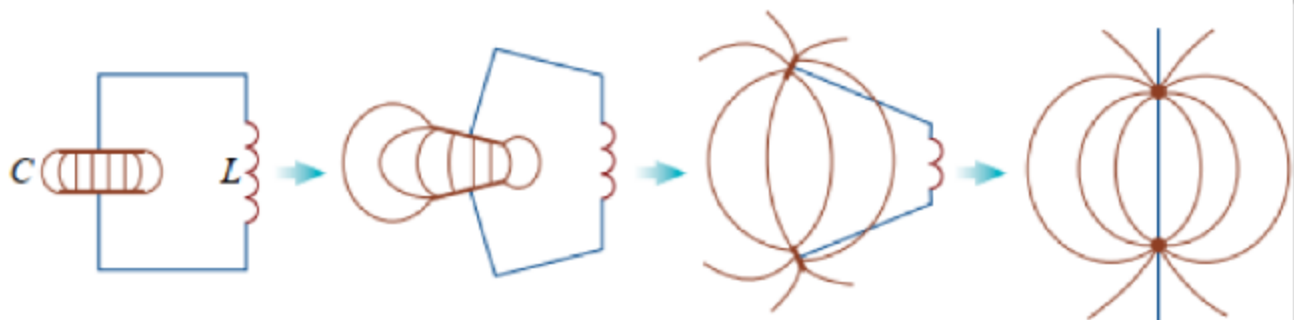


图 4-9 LC 振荡电路由闭合回路演变为开放电路示意图

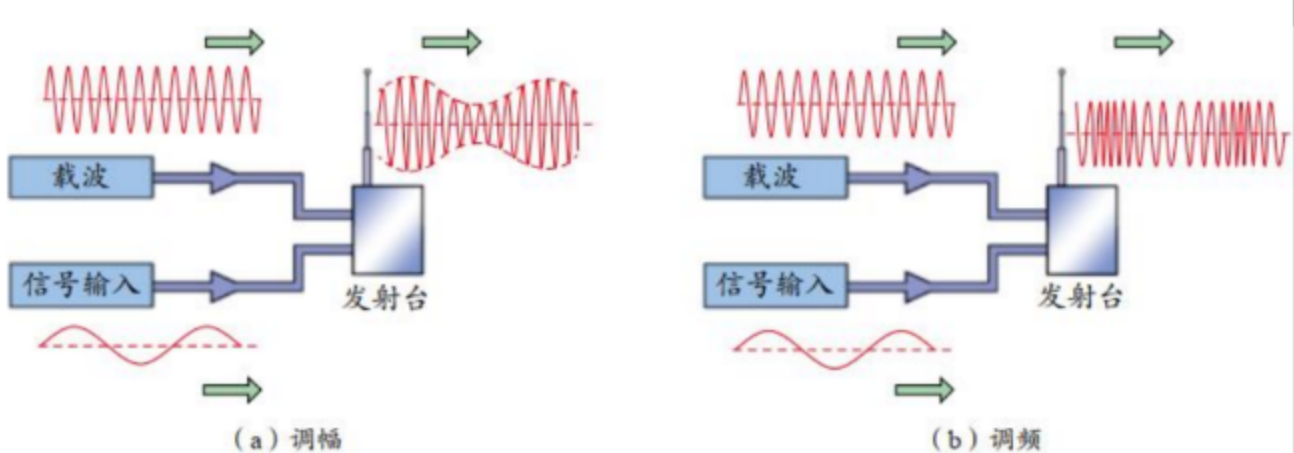
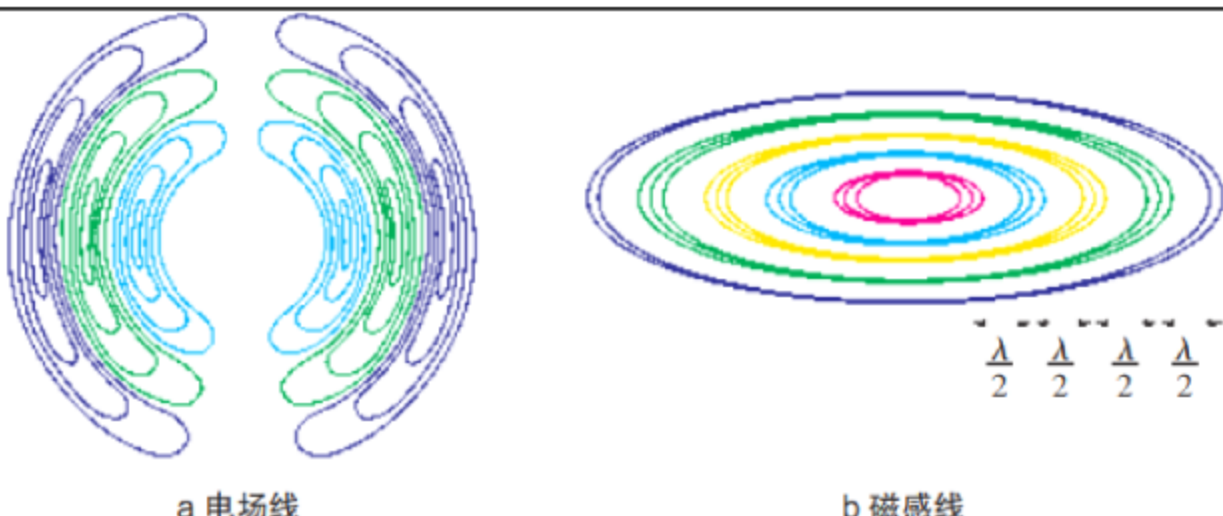
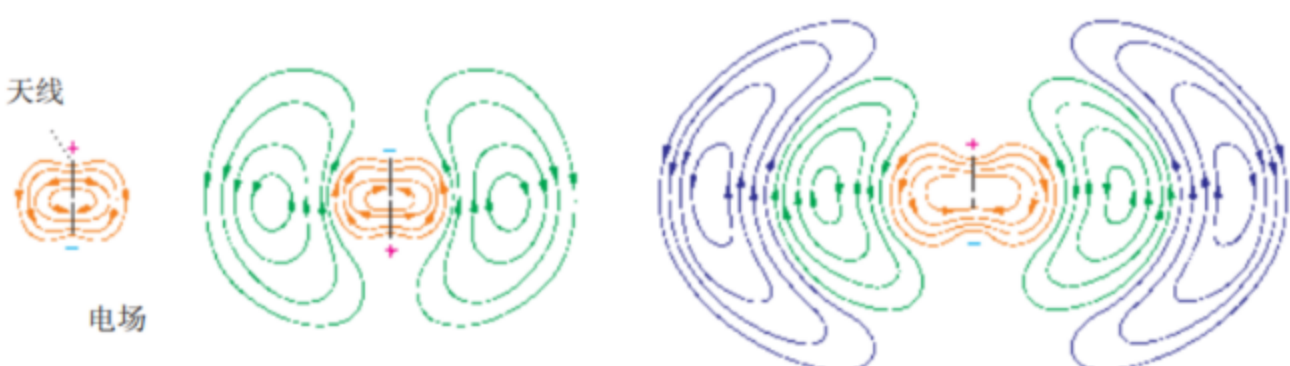
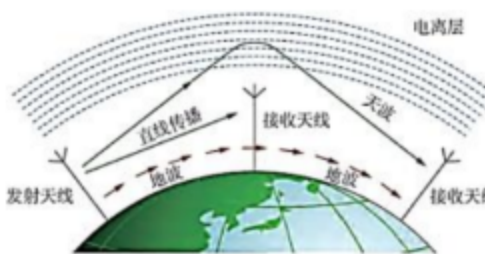
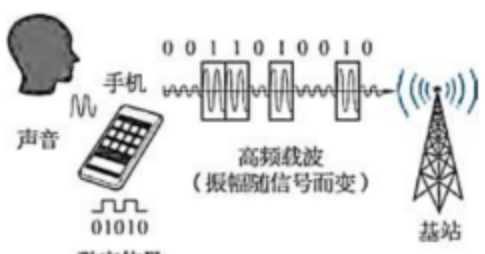
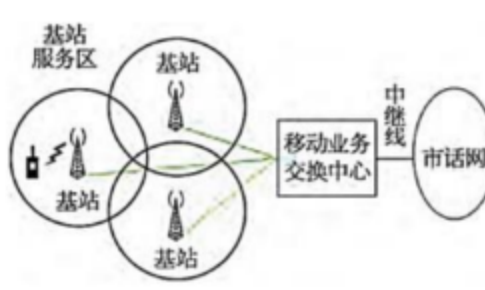
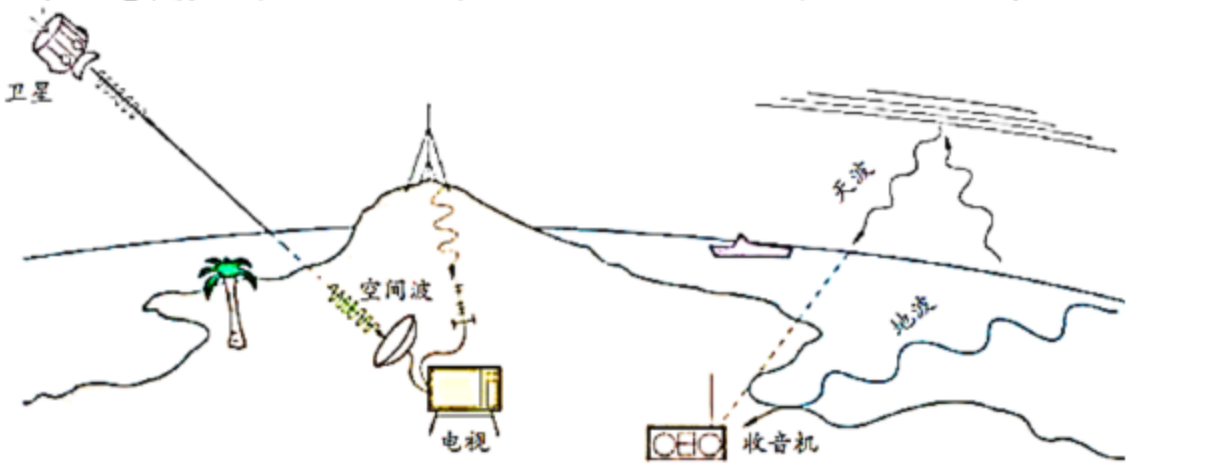
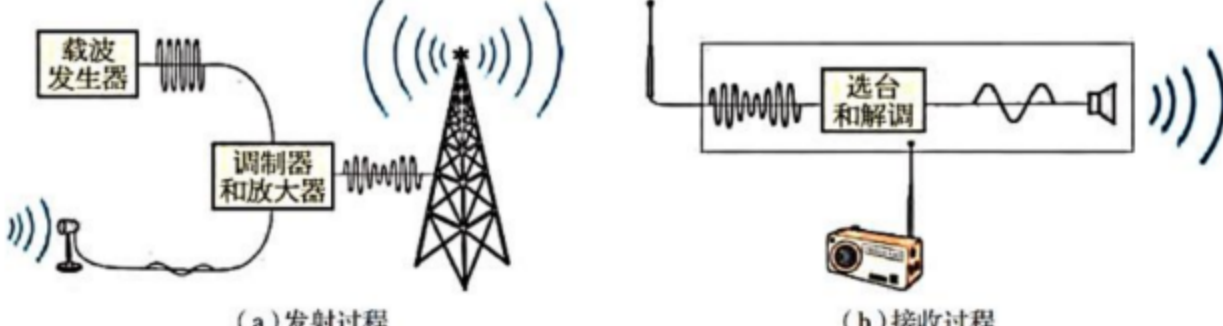
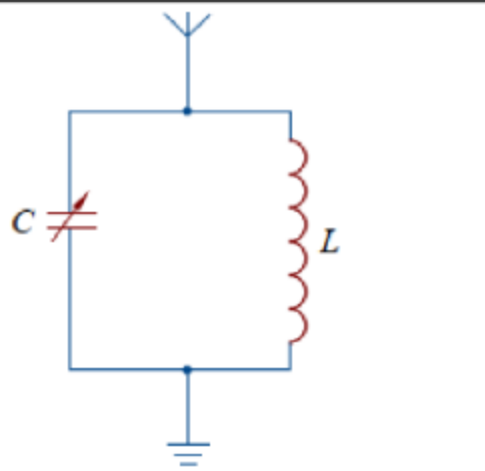
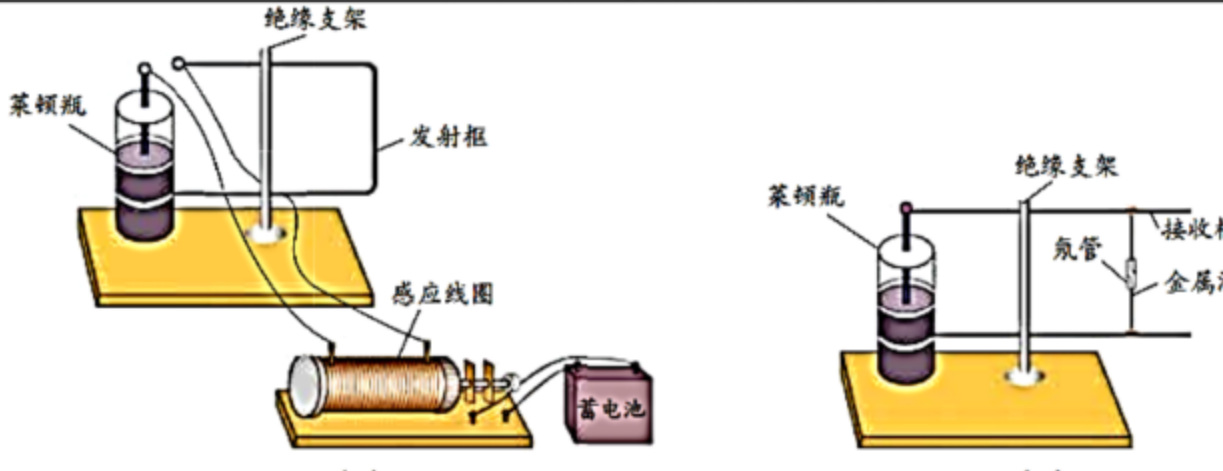


图 4-11 调幅和调频示意图

		 a 电场线 b 磁感线 图 4-1-4 电磁波传播范围内电场线和磁感线的分布  图 4-2-11 天线周围的电场随时间的变化																																									
电磁波的传播	 图 4-3-4 无线电波的传播方式  图 8-19 数字调制示意图  图 8-28 蜂窝移动通信系统	<table><tr><th colspan="5">表 4-3-1 不同波段无线电波传播方式及其应用</th></tr><tr><th>波段</th><th>波长 λ/m</th><th>频率 f/kHz</th><th>传播方式</th><th>主要用途</th></tr><tr><td>长波</td><td>3000 ~ 30 000</td><td>10 ~ 100</td><td>地波</td><td>超远程无线电通信和导航</td></tr><tr><td>中波</td><td>200 ~ 3000</td><td>100 ~ 1500</td><td rowspan="2">地波和天波</td><td rowspan="2">调幅无线电广播、电报、通信</td></tr><tr><td>中短波</td><td>50 ~ 200</td><td>1500 ~ 6000</td></tr><tr><td>短波</td><td>10 ~ 50</td><td>6000 ~ 30 000</td><td>天波</td><td></td></tr><tr><td rowspan="4">微波</td><td>米波</td><td>1 ~ 10</td><td>近似于直线传播</td><td>调频无线电广播、电视、导航</td></tr><tr><td>分米波</td><td>0.1 ~ 1</td><td rowspan="3">直线传播</td><td rowspan="3">电视、雷达、导航</td></tr><tr><td>厘米波</td><td>0.01 ~ 0.1</td></tr><tr><td>毫米波</td><td>0.001 ~ 0.01</td></tr></table> 图 4-12 电磁波三种传播途径示意图  (a) 发射过程 (b) 接收过程 图 8-20 无线电广播的发射和接收过程示意图	表 4-3-1 不同波段无线电波传播方式及其应用					波段	波长 λ/m	频率 f/kHz	传播方式	主要用途	长波	3000 ~ 30 000	10 ~ 100	地波	超远程无线电通信和导航	中波	200 ~ 3000	100 ~ 1500	地波和天波	调幅无线电广播、电报、通信	中短波	50 ~ 200	1500 ~ 6000	短波	10 ~ 50	6000 ~ 30 000	天波		微波	米波	1 ~ 10	近似于直线传播	调频无线电广播、电视、导航	分米波	0.1 ~ 1	直线传播	电视、雷达、导航	厘米波	0.01 ~ 0.1	毫米波	0.001 ~ 0.01
表 4-3-1 不同波段无线电波传播方式及其应用																																											
波段	波长 λ/m	频率 f/kHz	传播方式	主要用途																																							
长波	3000 ~ 30 000	10 ~ 100	地波	超远程无线电通信和导航																																							
中波	200 ~ 3000	100 ~ 1500	地波和天波	调幅无线电广播、电报、通信																																							
中短波	50 ~ 200	1500 ~ 6000																																									
短波	10 ~ 50	6000 ~ 30 000	天波																																								
微波	米波	1 ~ 10	近似于直线传播	调频无线电广播、电视、导航																																							
	分米波	0.1 ~ 1	直线传播	电视、雷达、导航																																							
	厘米波	0.01 ~ 0.1																																									
	毫米波	0.001 ~ 0.01																																									
电磁波的接收	 图 4-14 LC 调谐电路	 (a) (b) 图 4-13 电磁波发射与接收实验装置示意图																																									

电磁波谱

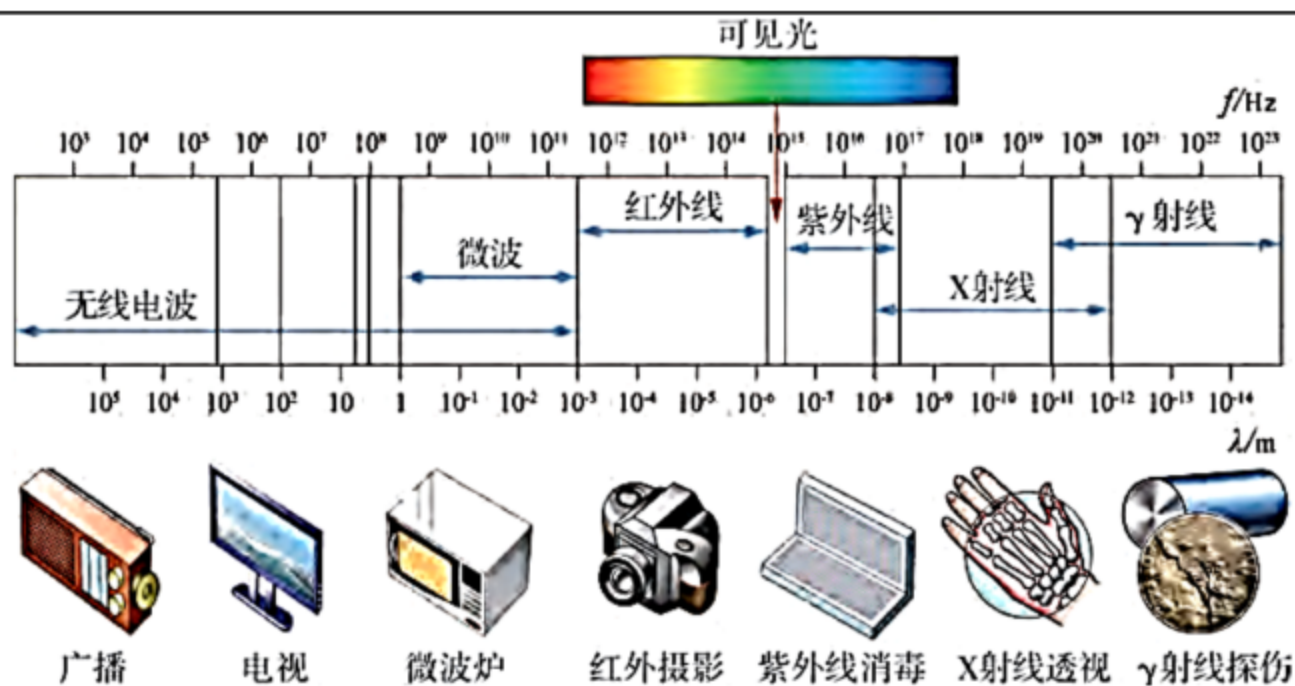
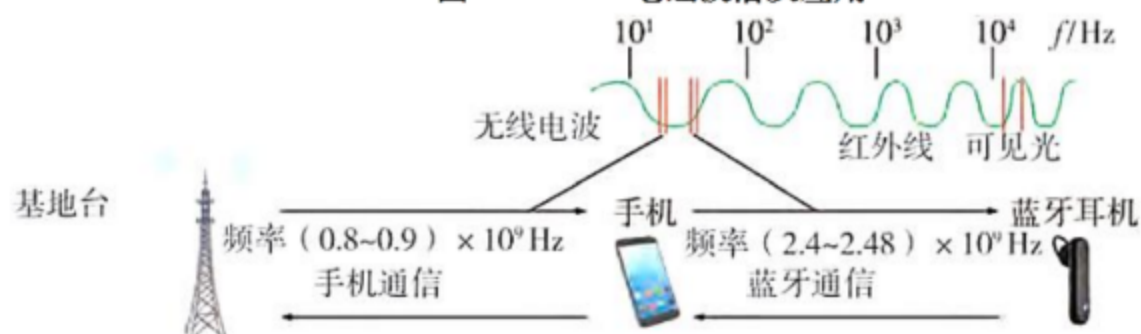


图 4-4-1 电磁波谱及应用



传感器

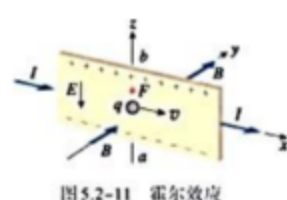


图 5.2-11 霍尔效应

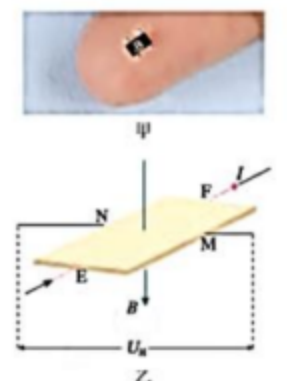


图 5.2-12 霍尔元件

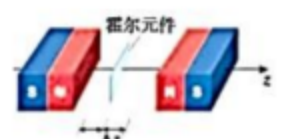


图 5.2-13 利用霍尔元件测量微小位移

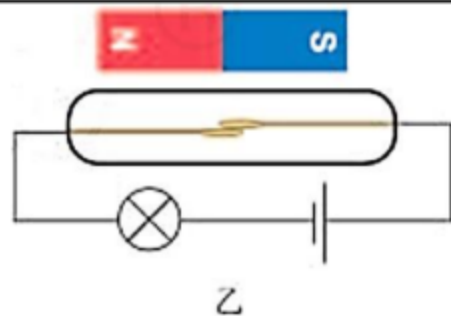


图 5.1-1 干簧管

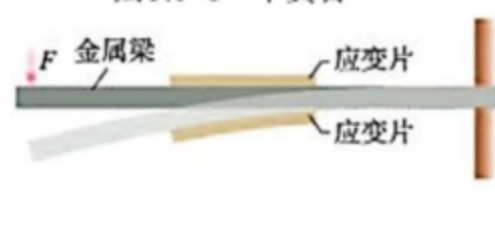


图 5.2-8 应变片测力原理

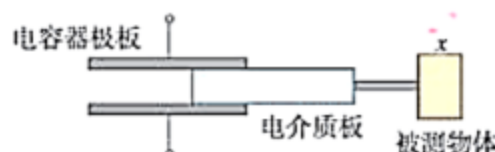
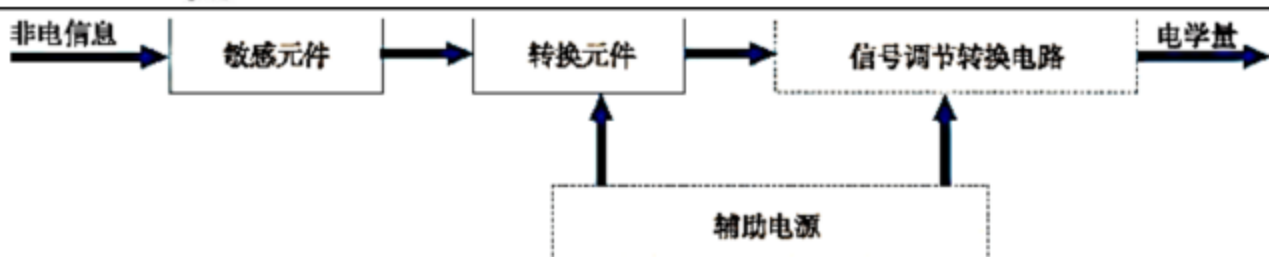


图 5.2-10 电容式位移传感器



▲ 图5-1-5 传感器的结构

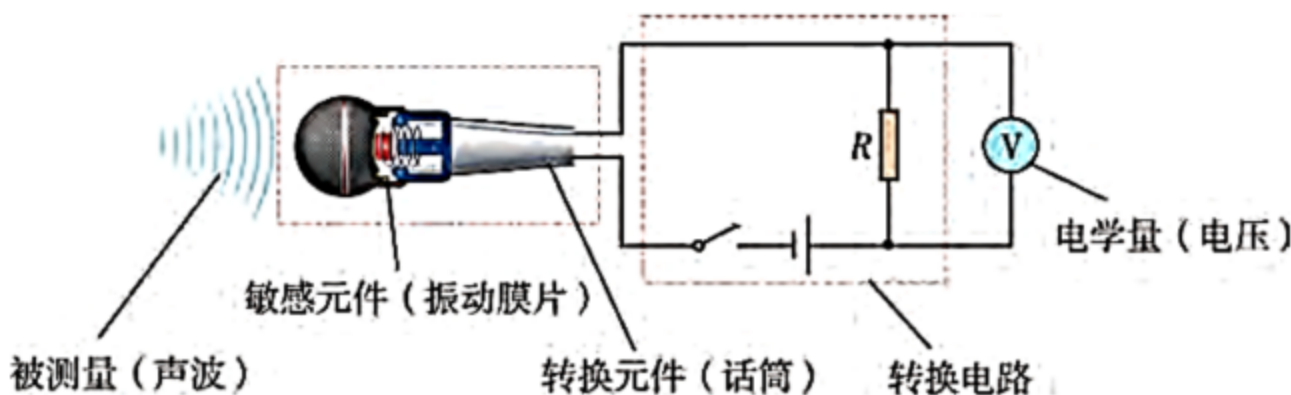


图 5-1-4 话筒和转换电路等组成的传感器示意图

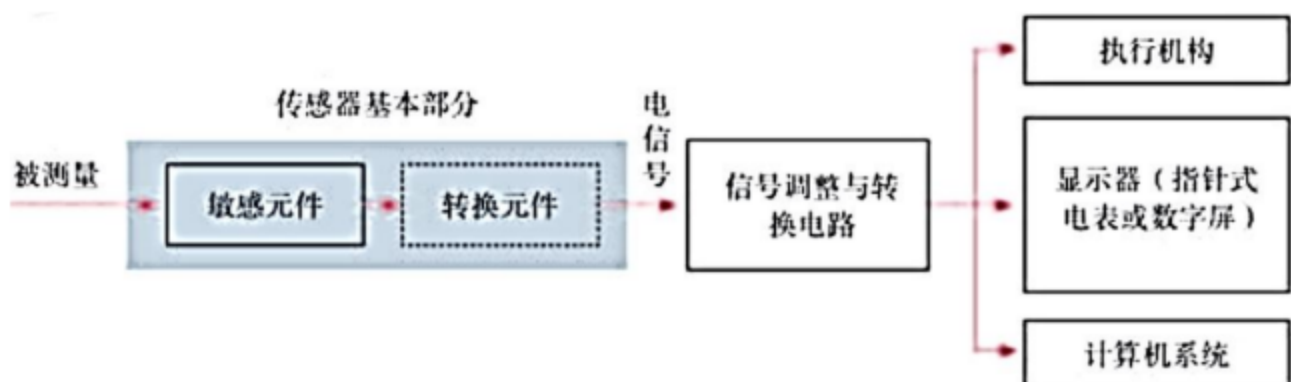
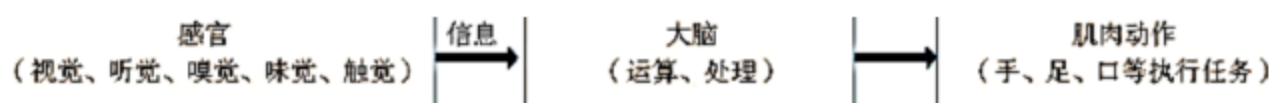


图 5.1-8 传感器应用的一般模式

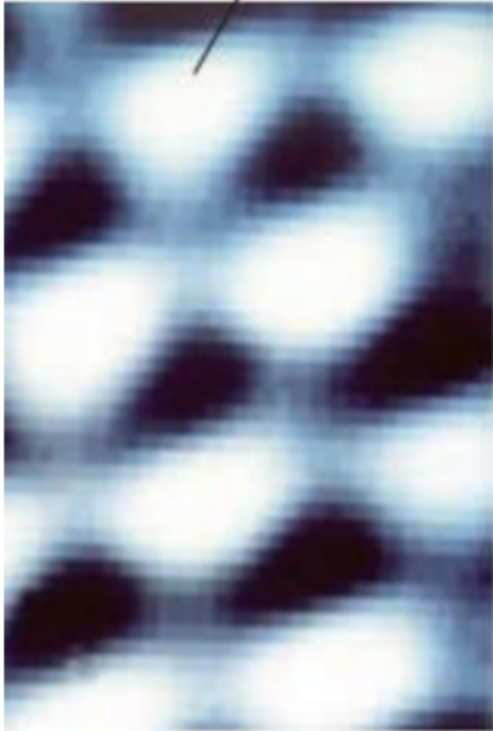
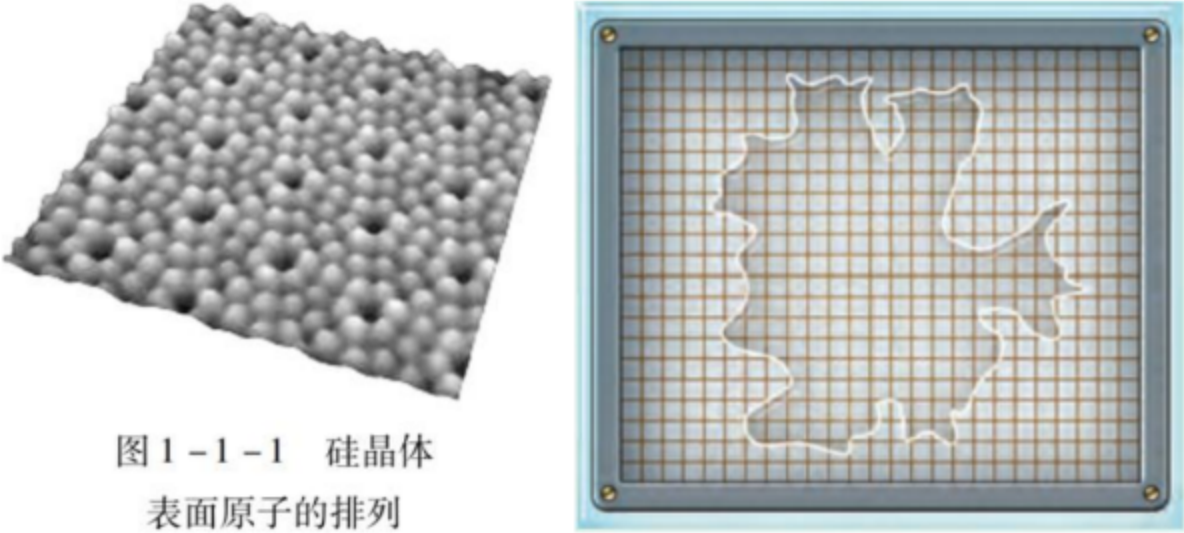
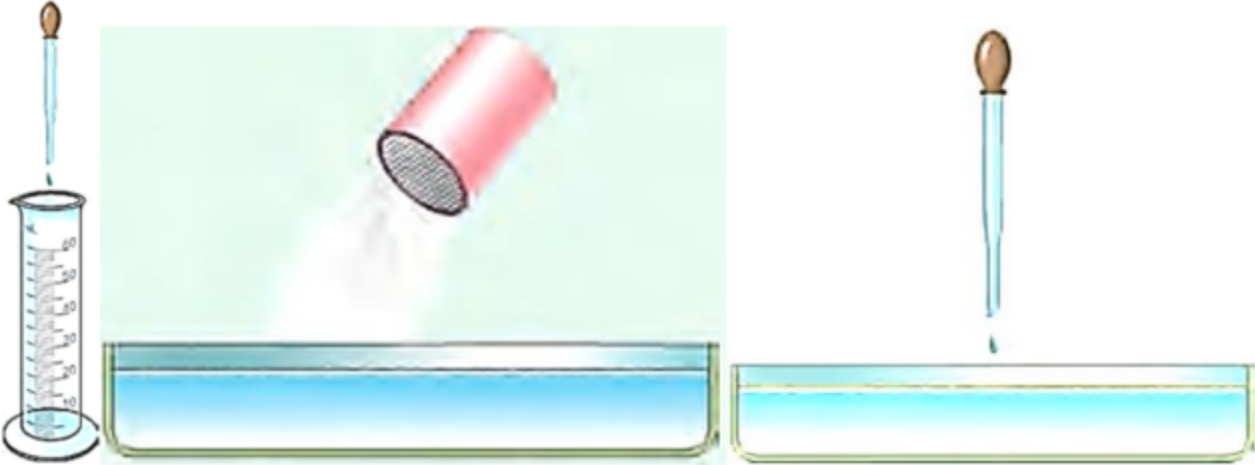


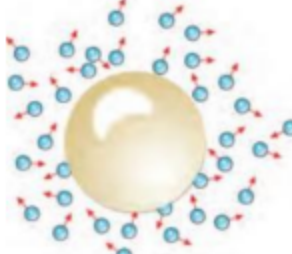
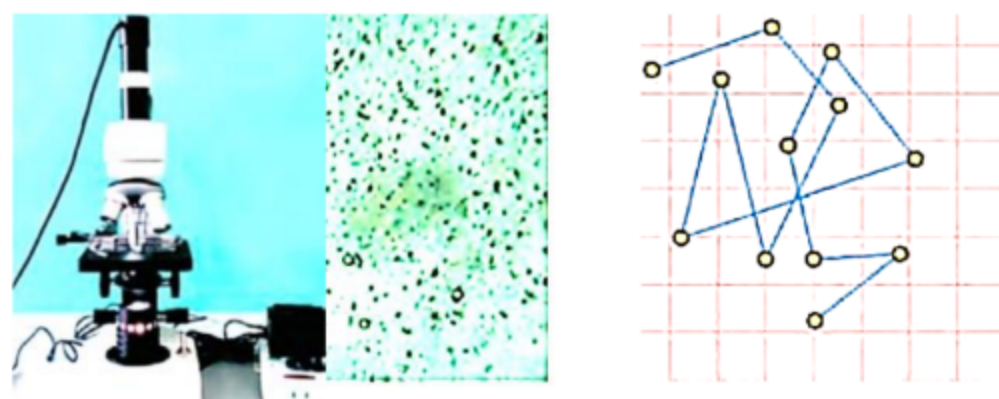
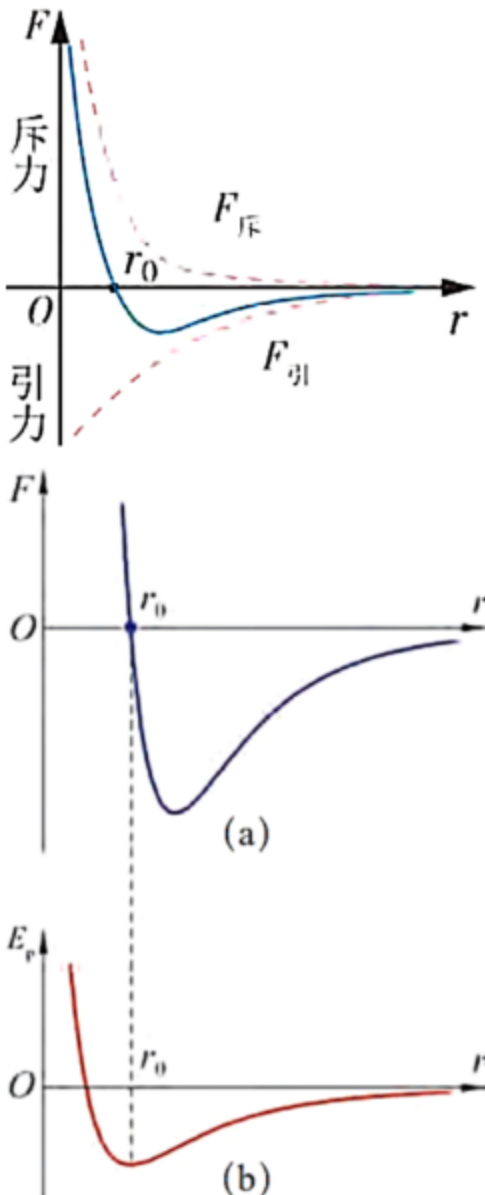
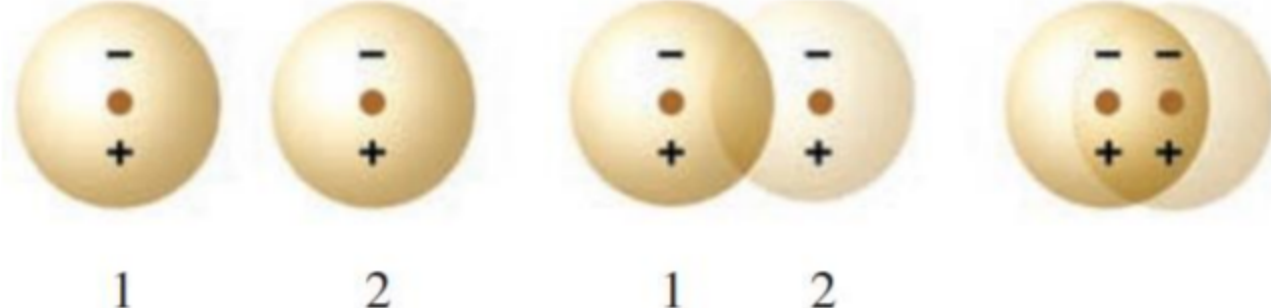
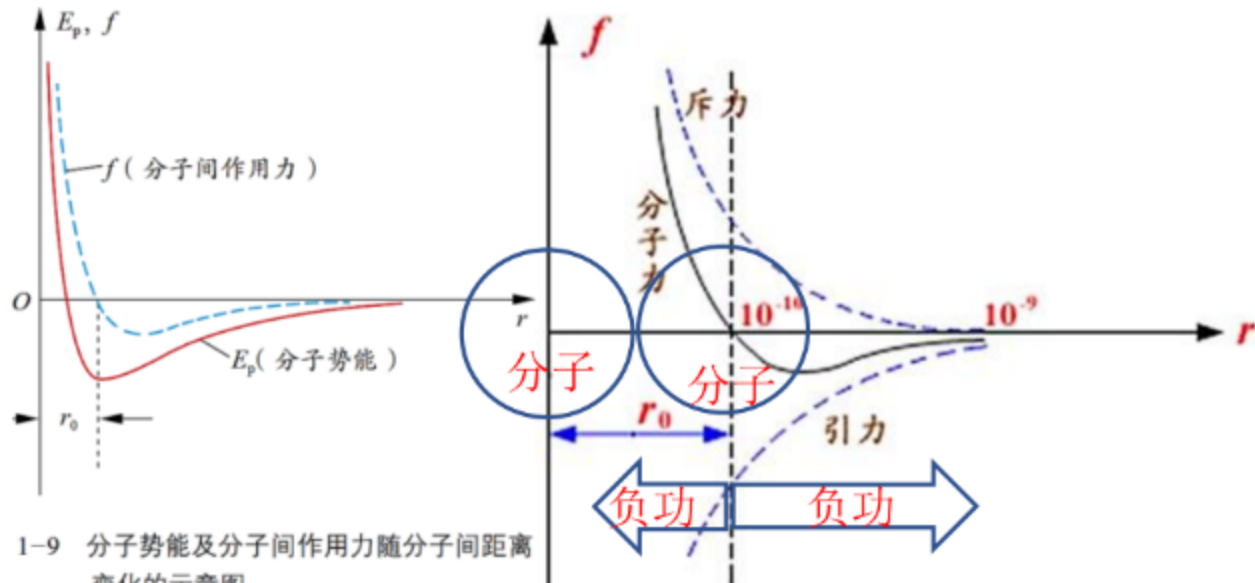
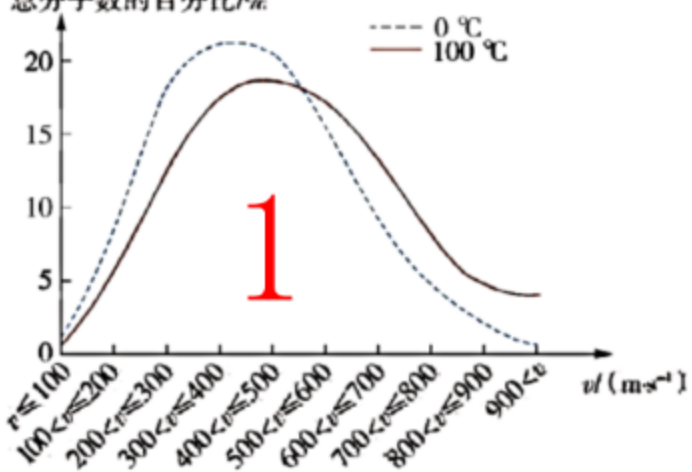
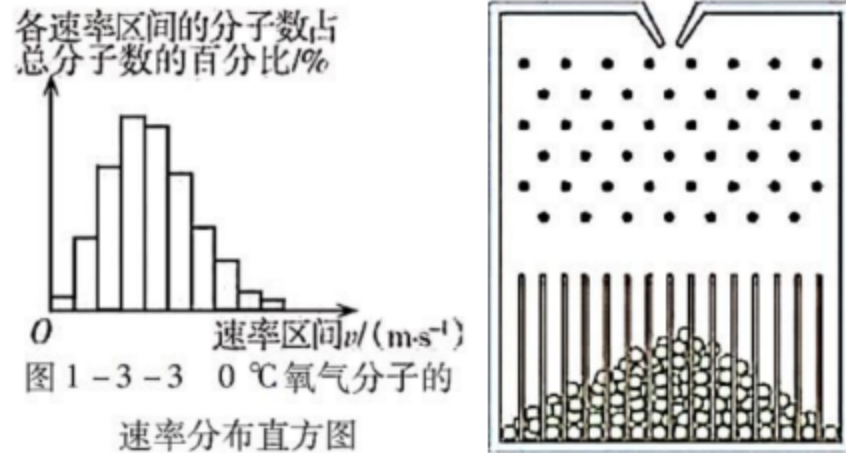
▲ 图5-1-3 人体的活动

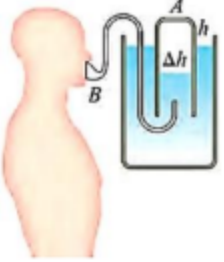
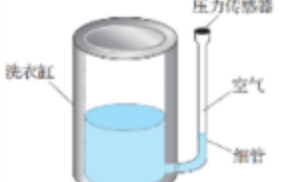
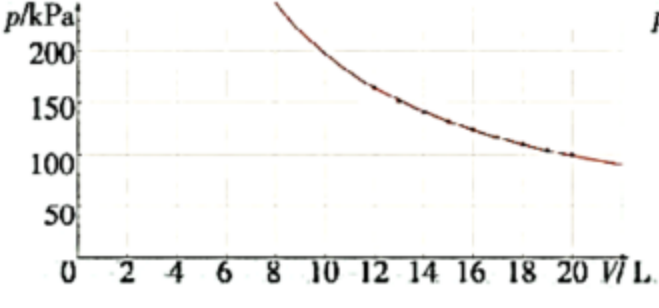
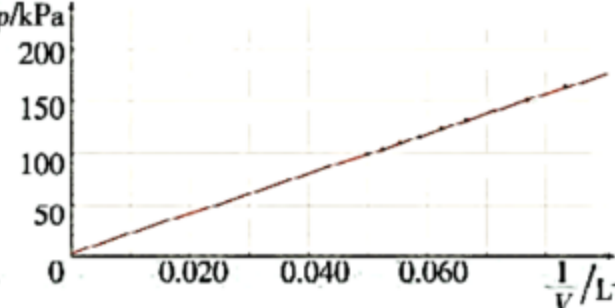
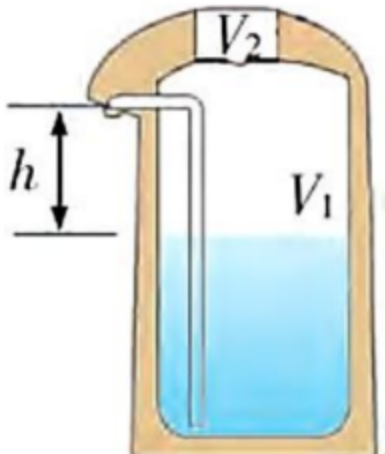
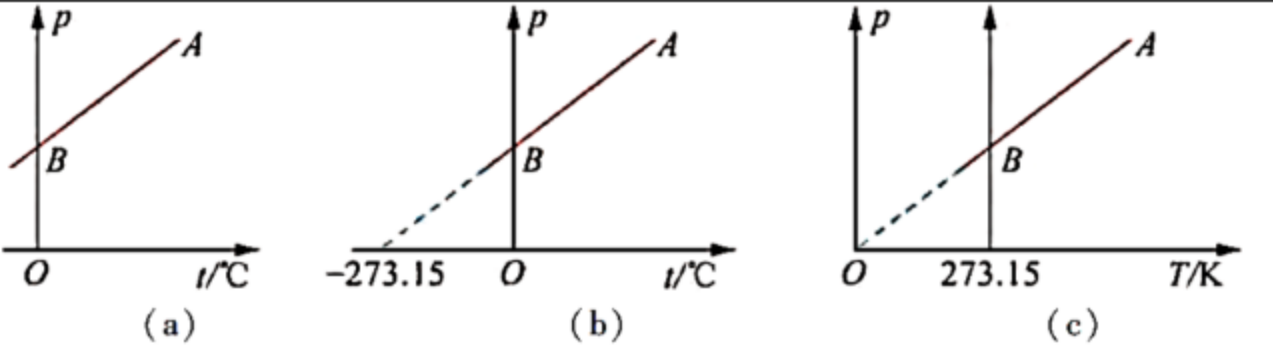
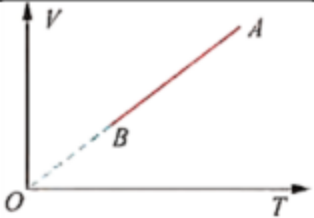
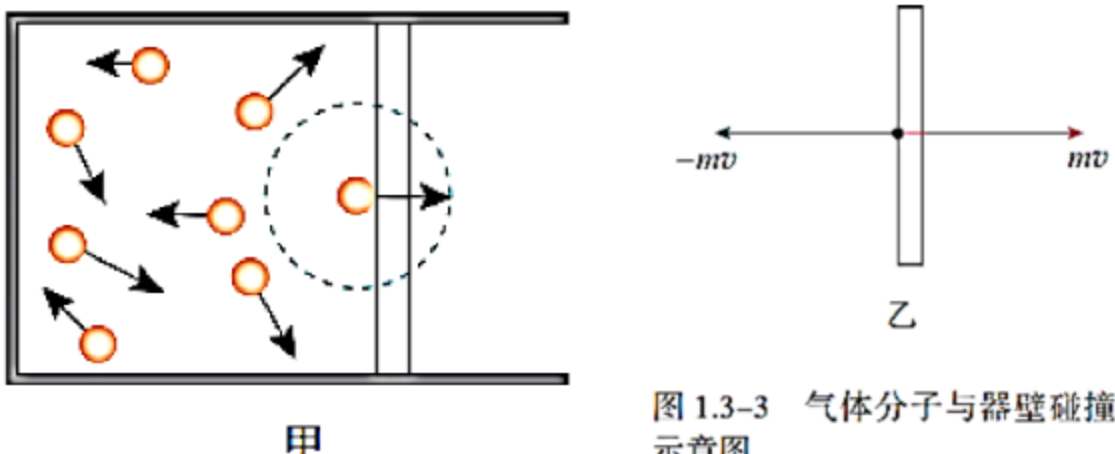


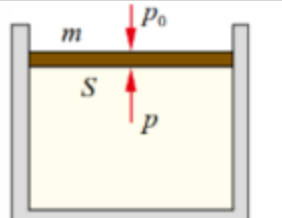
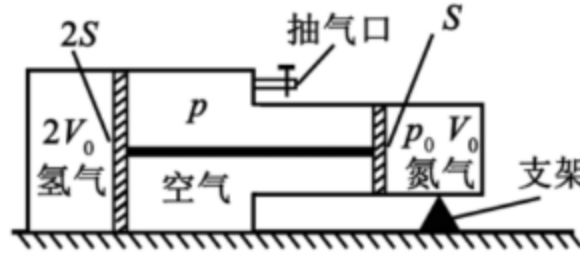
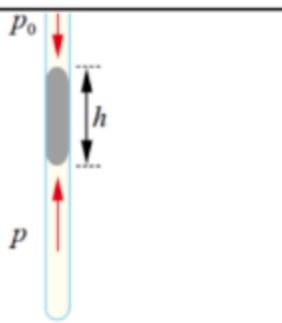
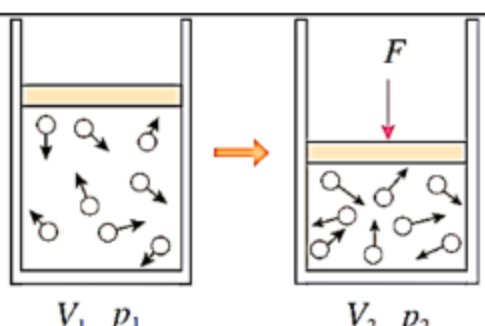
▲ 图5-1-4 自动化 (智能化) 机器工作

选择性必修 第三册（高二 下学期）

利用油膜法估测油酸分子的大小 理论值 $1.12 \times 10^{-9}m$，即使用高倍光学显微镜也无法直接观测。 上述实验借用宏观的体积、面积来估测微观的分子直径，这是一种借宏观量来研究微观量的方法。	一般来说，不同物质分子大小不同，通常是 $10^{-10}m$ 的数量级，也有一些塑料、合成纤维等高分子化合物，其分子大小的数量级可达到 $10^{-7}m$  石墨表面原子的照片	油酸分子中较大的“头部”（烃链$C_{17}H_{33}-$）不溶于水，而很小的“尾巴”（羧基$-COOH$）对水有很强的亲和力。因此，油酸分子在水中会竖起来，“头部”露出水面，而“尾巴”则留在水中。若水面足够大，油膜展开得足够充分，则油酸分子就单分子层会一个挨一个整齐地紧密排列在水面上，形成单分子层油膜，将油酸分子视为球体，忽略分子间距离。  图 1-1-1 硅晶体表面原子的排列
	$d = \frac{V}{S}$  图 1-1-2 单分子层油膜示意图	测算 1 滴溶液中纯油酸的体积 V。用滴管将体积分数为 0.2% 的油酸酒精溶液滴入量筒，根据溶液体积分数、滴数和体积的关系，可以测算出 1 滴溶液中油酸体积的平均值。
	阿伏伽德罗常数 $N_A = 6.02 \times 10^{23}mol^{-1}$	测量油膜面积的关键是让油膜形成明显的边界。在水平放置的浅盘（约 30cm×40cm）中倒入约 2cm 深的水，用纱网（或粉扑）将适量痱子粉均匀地轻轻撒在水面上。用滴管将 1 滴油酸酒精溶液轻轻滴入水面中央。油酸立即在水面散开，形成一块油膜，通过痱子粉可以清楚地看出油膜的轮廓。待油膜形状稳定后，在浅盘上盖上带有网格线的透明塑料盖板，用彩笔描出油膜的轮廓。估算出油膜的面积 S。洗净浅盘，擦去塑料盖板上的油膜轮廓线，重复实验 2~3 次。将实验数据填入自己设计的表格中，然后利用公式计算出油酸分子的直径，并取其平均值。
		 $\begin{array}{ccccccc} \frac{km}{千} & \xrightarrow{\times 1000} & m & \xrightarrow{\times 10} & dm & \xrightarrow{\times 10} & cm \\ & & & \xrightarrow{\times 10} & & \xrightarrow{\times 10} & mm \\ & & & & \text{亿} & & \text{万} \\ & & & & 1 & , & 000,000,000 \end{array}$$\begin{array}{ccccccc} & & \times 1000 & & \times 1000 & & \times 1000 \\ & & \frac{mm}{毫} & \xrightarrow{\times 1000} & \frac{\mu m}{微} & \xrightarrow{\times 1000} & \frac{nm}{纳} \end{array}$

扩散现象 无规则	温度 越高， 物质扩散得越快。	由于 分子不停地运动 而产生的物质迁移现象称为扩散(diffusion)。 $PM_{2.5}: 2.5\mu m$																																				
布朗运动 显微镜 下才 能看到 无规则 热运动	布朗运动是大量液体分子对悬浮微粒的 不平衡 撞击 引起的 	悬浮在液体或气体中的微粒做的这种无规则运动叫作布朗运动。  图 1-2-2 实验装置显微镜中的影像4 炭微粒运动情况折线图																																				
分子力 (电磁相互作用, 引力和斥力的合力)  -6 “粘”在一起的铅柱吊起重物 分子间存在着空隙。 (固液气)	 图 12-3 分子相互作用力和分子势能与分子间距离的关系	 a 两原子相距较远时 b 两原子接近时 c 两原子相当靠近时 图 1-3-6 分子间相互作用的微观解释  1-9 分子势能及分子间作用力随分子间距离变化的示意图 当 $r=r_0$ 时, 分子 势能最小 , 无论往左或右, 分子力做 负功 , 分子 势能增加 。																																				
分子速率按一定的统计规律分布 分子沿各个方向运动的概率相等	曲线与横坐标所围面积为: 所有速率区间的分子数 占 气体总分子数的 比例 , 故该 面积 的值为 1 <table><tr><th>速率区间 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$</th><th colspan="2">不同温度下各速率区间的分子数占总分子数的百分比</th></tr><tr><th></th><th>0 °C</th><th>100 °C</th></tr><tr><td>$v\leq 100$</td><td>1.4%</td><td>0.7%</td></tr><tr><td>$100 < v\leq 200$</td><td>8.1%</td><td>5.4%</td></tr><tr><td>$200 < v\leq 300$</td><td>17.0%</td><td>11.9%</td></tr><tr><td>$300 < v\leq 400$</td><td>21.4%</td><td>17.4%</td></tr><tr><td>$400 < v\leq 500$</td><td>20.4%</td><td>18.6%</td></tr><tr><td>$500 < v\leq 600$</td><td>15.1%</td><td>16.7%</td></tr><tr><td>$600 < v\leq 700$</td><td>9.2%</td><td>12.9%</td></tr><tr><td>$700 < v\leq 800$</td><td>4.5%</td><td>7.9%</td></tr><tr><td>$800 < v\leq 900$</td><td>2.0%</td><td>4.6%</td></tr><tr><td>$900 < v$</td><td>0.9%</td><td>3.9%</td></tr></table>  图 1-3-2 氧气分子的速率分布曲线  图 1-3-3 0 °C 氧气分子的速率分布直方图 正态分布	速率区间 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	不同温度下各速率区间的分子数占总分子数的百分比			0 °C	100 °C	$v\leq 100$	1.4%	0.7%	$100 < v\leq 200$	8.1%	5.4%	$200 < v\leq 300$	17.0%	11.9%	$300 < v\leq 400$	21.4%	17.4%	$400 < v\leq 500$	20.4%	18.6%	$500 < v\leq 600$	15.1%	16.7%	$600 < v\leq 700$	9.2%	12.9%	$700 < v\leq 800$	4.5%	7.9%	$800 < v\leq 900$	2.0%	4.6%	$900 < v$	0.9%	3.9%	
速率区间 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	不同温度下各速率区间的分子数占总分子数的百分比																																					
	0 °C	100 °C																																				
$v\leq 100$	1.4%	0.7%																																				
$100 < v\leq 200$	8.1%	5.4%																																				
$200 < v\leq 300$	17.0%	11.9%																																				
$300 < v\leq 400$	21.4%	17.4%																																				
$400 < v\leq 500$	20.4%	18.6%																																				
$500 < v\leq 600$	15.1%	16.7%																																				
$600 < v\leq 700$	9.2%	12.9%																																				
$700 < v\leq 800$	4.5%	7.9%																																				
$800 < v\leq 900$	2.0%	4.6%																																				
$900 < v$	0.9%	3.9%																																				

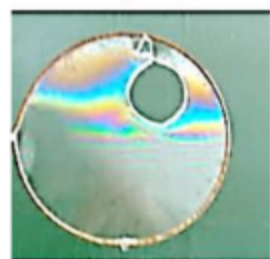
玻意耳定律 	等温过程 $p_1 V_1 = p_2 V_2$ 	 图 2-1-4 等温过程的 $p-V$ 图线  图 2-1-5 等温过程的 $p - \frac{1}{V}$ 图线
若瓶中只有半瓶水，希望按压两次就能出水  图 2-1-7 气压式保温瓶结构图	$p_0 \left(\frac{V_1}{2} + 2V_2 \right) = (p_0 + \rho gh) \frac{V_1}{2}$ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{4p_0}{\rho gh}$ 	设保温瓶可盛水的体积为 V_1 瓶盖下方气室的体积为 V_2 出水管口到瓶中水面的高度为 h 水的密度为 ρ 外界大气压为 p_0 则保温瓶内水上方的空气压强至少要达到 $p_0 + \rho gh$ 忽略不计出水管体积
查理定律  -2-1 实验装置示意图	等容过程 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	 图 2-2-2 气体等容变化
热力学温度	$T = t + 273.15$	理论和实践表明，热力学温度 $0K$（即绝对零度）是不可能实现的
盖-吕萨克定律	等压过程 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	 2-2-3 气体等压变化
气体压强的微观解释  图 2-3-1 雨点密集地落在伞面上，对伞面施加了压力	压强与（分子）密度和分子平均动能（温度）有关	从分子动理论的观点来看，气体压强是大量气体分子对器壁作用的宏观效果，大小等于大量气体分子作用在器壁单位面积上的平均作用力  图 1.3-3 气体分子与器壁碰撞的示意图
绝对湿度	单位体积空气所含有的水汽分子数，水汽密度	因为水汽压强和水汽密度成正比。所以通常用水蒸气的压强，表示空气的绝对湿度。
相对湿度 描述空气中水蒸气偏离饱和状态的（潮湿）程度	$\text{相对湿度} \downarrow = \frac{\text{绝对湿度}}{\text{同温度饱和气压} \uparrow}$ （干热湿冷）	饱和蒸汽：相同时间内回到水中的分子数等于从水面飞出的分子数的，与液体处处于动态平衡的蒸汽。 饱和气压：液体的饱和蒸汽所具有的压强。饱和气压只与温度有关。温度越高 $\uparrow$，饱和气压越大 $\uparrow$。饱和气压与体积无关，因此气体实验定律不适用于饱和蒸汽。

力 平 衡	 图 2.1-19 分析气缸内气体压强的示意图	$pS = p_0S + mg$											
	 图 2.1-20 分析玻璃管内气体压强的示意图	$pS = p_0S + \rho ghS$	本质是力平衡（牛顿定律）										
气体实验定律 的微观解释	 图 2.3-3 等温变化												
理想气体	虽然实际气体不严格遵循气体实验定律，但为了研究方便，我们可以设想有一种 严格遵循气体实验定律的气体 ，这样的气体被称为 理想气体 。根据气体实验定律	$\frac{p_1V_1}{T_1} = c = \frac{p_2V_2}{T_2}$	表 2-3-1 气体压强和体积的乘积 <table><tr><th>气体</th><th>空气</th><th>氢气</th><th>一氧化碳</th><th>二氧化碳</th></tr><tr><td>pV</td><td>0.999 77</td><td>1.000 28</td><td>0.999 74</td><td>0.997 20</td></tr></table> 理想气体的理想化微观模型是分子有质量而没有体积，分子间除相互碰撞外，没有相互作用力。 而实际气体，只有在常温常压下，分子间间距较大，分子的大小及相互作用力可以忽略时，才基本遵循气体实验定律。 当气体压强很大、温度很低（可能液化）时，单位体积内分子数很多，分子非常密集，分子的大小及分子间相互作用力不可忽略时，气体实验定律也就不适用了。	气体	空气	氢气	一氧化碳	二氧化碳	pV	0.999 77	1.000 28	0.999 74	0.997 20
	气体	空气		氢气	一氧化碳	二氧化碳							
pV	0.999 77	1.000 28	0.999 74	0.997 20									
表示的。	克拉伯龙方程 $pV = nRT$												

液体的
表面张力



a



b

1-2-8 关于肥皂膜的实验



U形铁丝框肥皂膜实验现象

从微观的角度来看,液体的表面并不是一个几何面,而是一个厚度为**分子力有效作用距离**(数量级为 $10^{-9}m$)的薄层。



液体的表面就像**绷紧**的橡皮膜一样,总是有**收缩的趋势**。

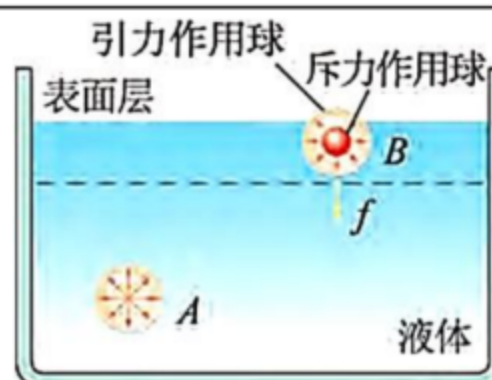


图 2-4-9 液体表面附近分子分布的示意图

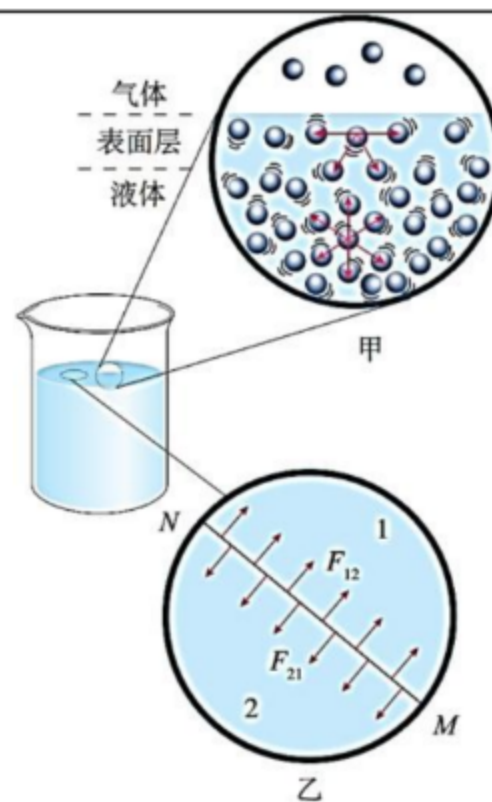


图 2.5-3 液体的表面张力

设想在液体表面画一条直线,如图所示,则直线两旁的液膜表现出使液体表面**收缩**的相互作用的拉力,液体表面出现的这种张力称为**表面张力**

正是由于表面张力的作用,液体表面这种**收缩**的趋势会使得**液滴**的**表面积尽可能地减小**。在**体积一定**的情况下,**球形**在所有几何体中的**表面积最小**,所以**露珠**的形状**更接近于球形**



挂在草尖上的水珠 图 2-4-2 水黾停在水面上 图 2-4-3 硬币浮在水面上
液体**表面层**的分子**比液体内部稀疏**,分子势能大,分子间表现为**引力**(表面层中分子间的距离比液体内部分子间的距离大,分子间的相互作用力表现为引力),从而使液体**表面绷紧**,具有**收缩的趋势**。

位于**液体表面层内**的分子与**液体内部**分子,它们所受到的**分子力**是有区别的。

我们可以把**分子力的作用范围**认为是一个**半径等于分子力有效作用距离**的球,这个球称为**分子作用球**。

由于**分子斥力**的有效作用距离**比分子引力的有效作用距离小得多**,**分子斥力作用球**的半径远小于**分子引力作用球**的半径。

设液体内部有一分子A,如图所示,由于**分子A**的分子作用球处于**液体内部**,**液体内部**的**分子均匀分布**,对于分子A来说其分布是**球对称**的,因此液体内部所有分子对分子A的**斥力**和**引力的合力为零**。

设在液体表面层内有一分子B,如图所示,以**分子B**为中心的**分子作用球**一部分在液体外,由于**分子斥力作用球**的半径远小于**分子引力作用球**的半径,**分子B**的**分子斥力作用球**仍处于液体内部,其受到的**分子斥力**仍是**球对称**的,但**分子B**所受的**分子引力**就不再是**球对称**的。由于缺少了液体表面层外这部分分子的引力,作用在分子B上的全部分子引力的合力**f**垂直液面指向液体内部。

由此,**液体表面层单位体积内的分子数目**相对**液体内部**会**更少**,**分子间距**相对**更大**一些。因而**表面层分子间的分子力**表现为**引力**

毛细现象



a) 水浸润玻璃



水银不浸润玻璃



图 2-4-14 防水布料



图 2-4-12 水的浸润现象

浸润：液体与固体的接触面有**扩张**的趋势，液体会**附着**在固体上。浸润液体在**细管中上升**

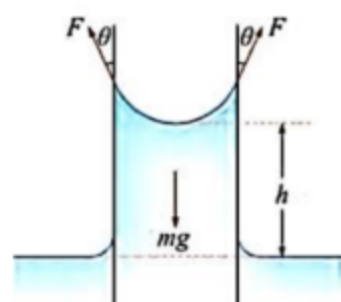
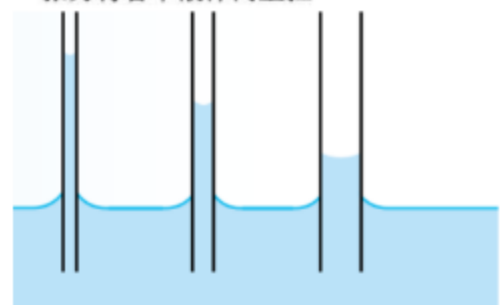


图 2-4-15 浸润时，表面张力将管中液体向上拉



不同玻璃管中水面高度示意图

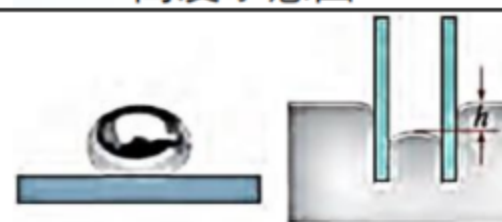
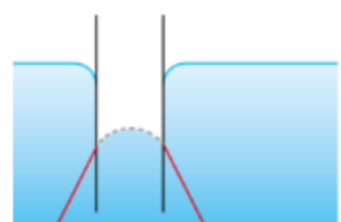
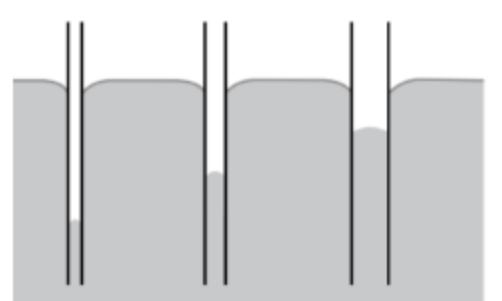


图 2-4-13 水银的不浸润现象

不浸润：液体与固体的接触面有**收缩**的趋势，液体**不会附着**在固体上。不浸润液体在**细管中下降**。



3 形成向下作用力的示意图



2-21 不同玻璃管中水银面高度示意图

水不浸润石蜡而**浸润玻璃**，而**水银不浸润玻璃**。

例如，鸭子用嘴把**油脂涂到羽毛上**，使水不能浸润羽毛

人们采用表面经过特殊涂层处理的织物来制成**防水布料**，如图所示；而医院使用**脱脂棉**来**吸收药液**等。

浸润与不浸润现象产生的原因与产生表面张力的**原因相似**。

在**液体与固体接触**的地方也有**薄薄的一层液体**，其性质与液体内部不同，我们称其为**附着层**。附着层的液体分子**既要受液体内分子力的作用，也要受固体分子力的作用**。若液体内分子的引力更大，则附着层中液体分子的密度变小，液体分子间距增大，相互间的分子力表现为引力，此时附着层有**收缩**的趋势，表现为**不浸润**。若固体分子的引力更强，则附着层中液体分子的密度更大，液体分子间距减小，相互间的分子力表现为斥力，此时附着层有**扩张**趋势，从而表现为**浸润**。

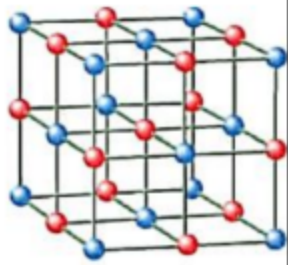
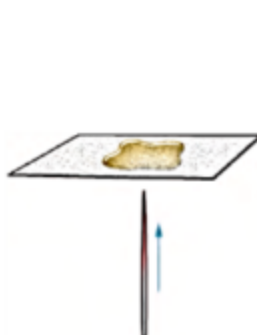
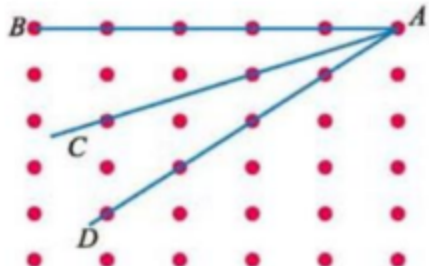
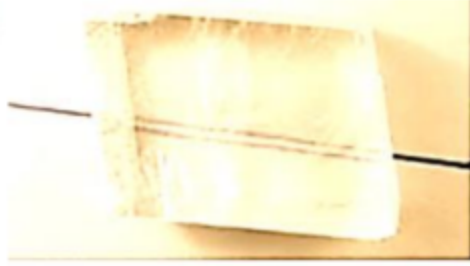
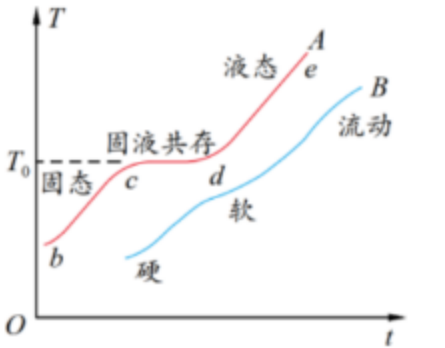
毛细现象是液体的**浸润**（或**不浸润**）与**表面张力**现象**共同作用**的结果。液体浸润细管时，**浸润液体**的**附着层沿细管壁有扩张趋势**，故附着层液体**顺着管壁往上升**，此时**管内液面弯曲，面积变大**。

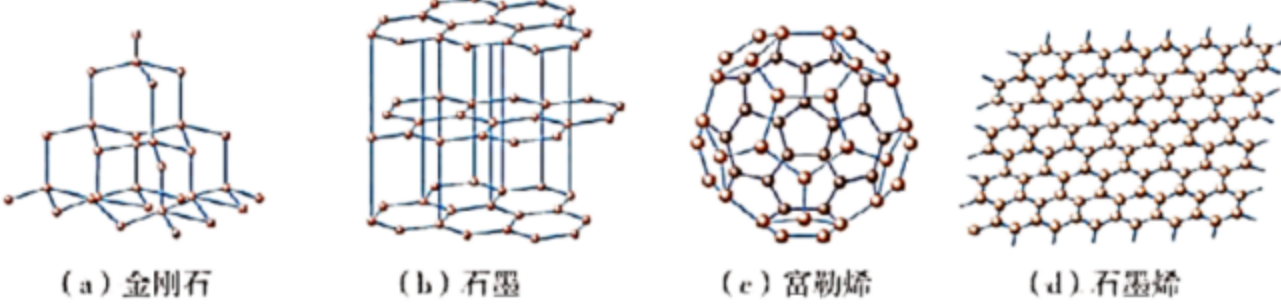
而**表面张力使液面收缩**，从而**拉动管中液体上升**。当管中液柱的**重力与表面张力F上拉的合力平衡**时，**液柱不再上升**，如图所示。

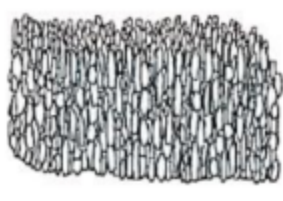
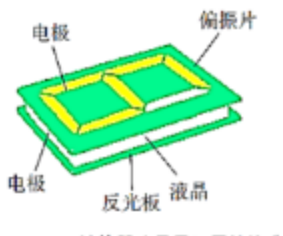
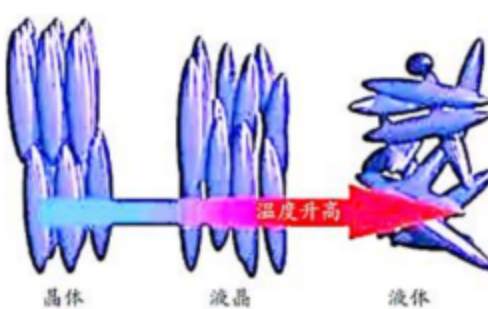
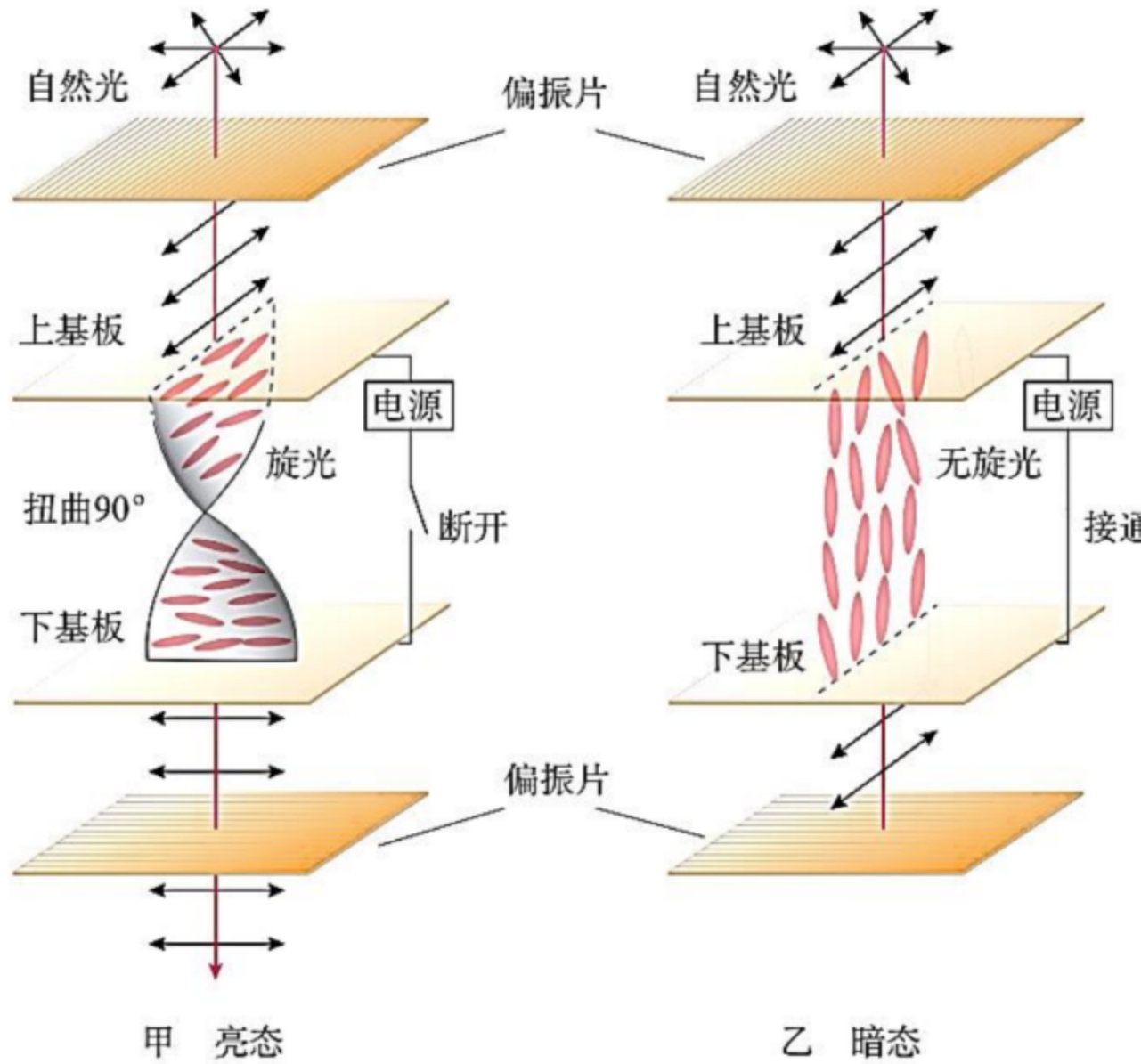
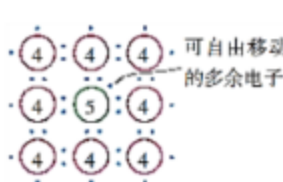
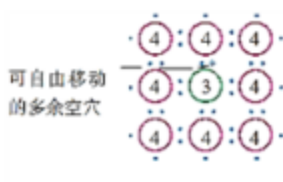
若管的**内径增大**，则管中液体的**体积与重力相应增大**，且**比液体面积增大得更快**。因而管的**内径越细，液体上升得越高**，如图所示。液体**不浸润**细管时，表现出的毛细现象则与液体浸润细管情况**相反**，如图所示。

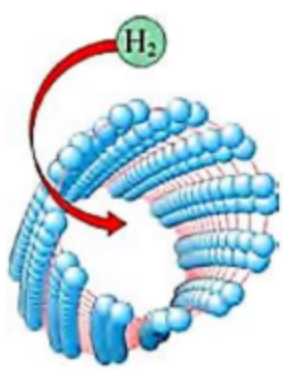
在自然界中，**植物**之所以能**吸收到土壤的水分**，正是由于毛细现象将地下水通过**泥土中的缝隙**上升至**植物的根部**。同样，实验室常用**酒精灯**也是由于毛细现象，才使**棉质的酒精灯芯自动地将酒精输送到灯芯的顶端**。

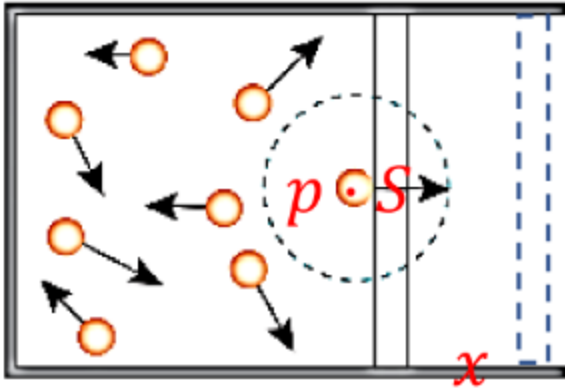
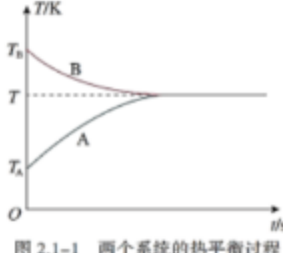
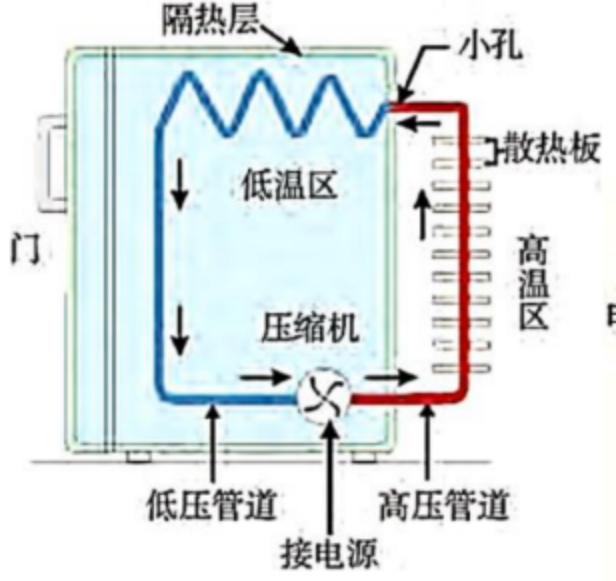
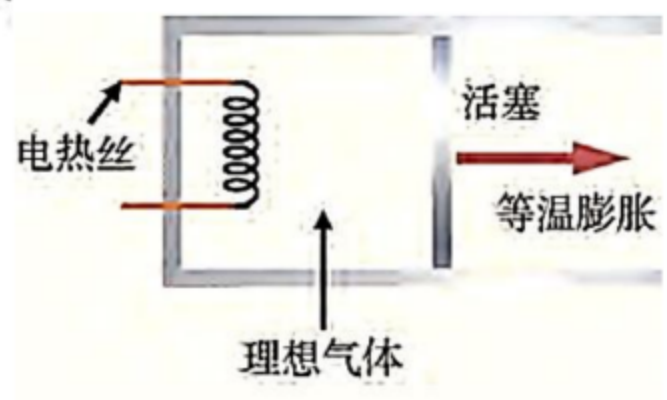
有些物体内部有许多细小的孔道，孔道起到了毛细管的作用。例如，土壤里有很多毛细管，地下的水分可以沿着它们上升到地面。如果保存地下的水分，就要把地面的土壤锄松，破坏这些土壤里的毛细管。相反，如果想把地下的水分引上来，就不仅要保持土壤里的毛细管，而且还要使它们变得更细，这时就要用碾子压紧土壤。

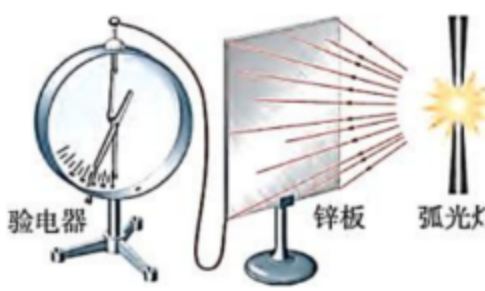
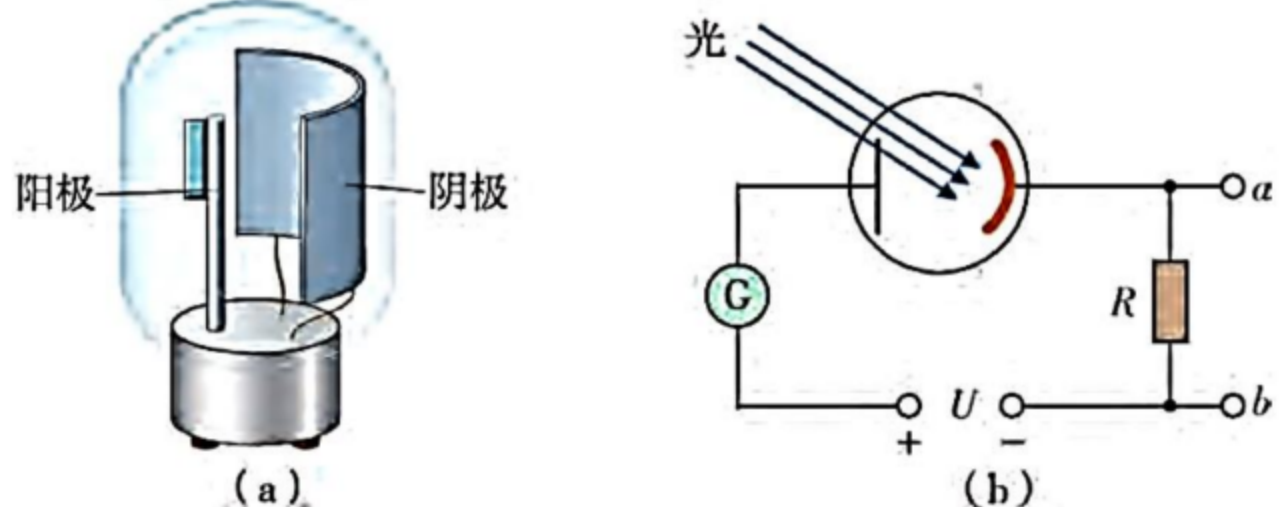
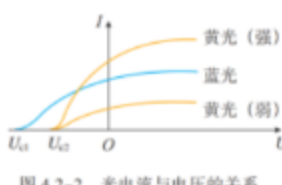
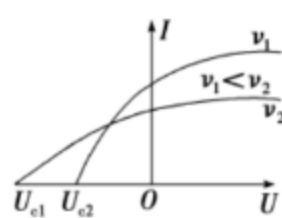
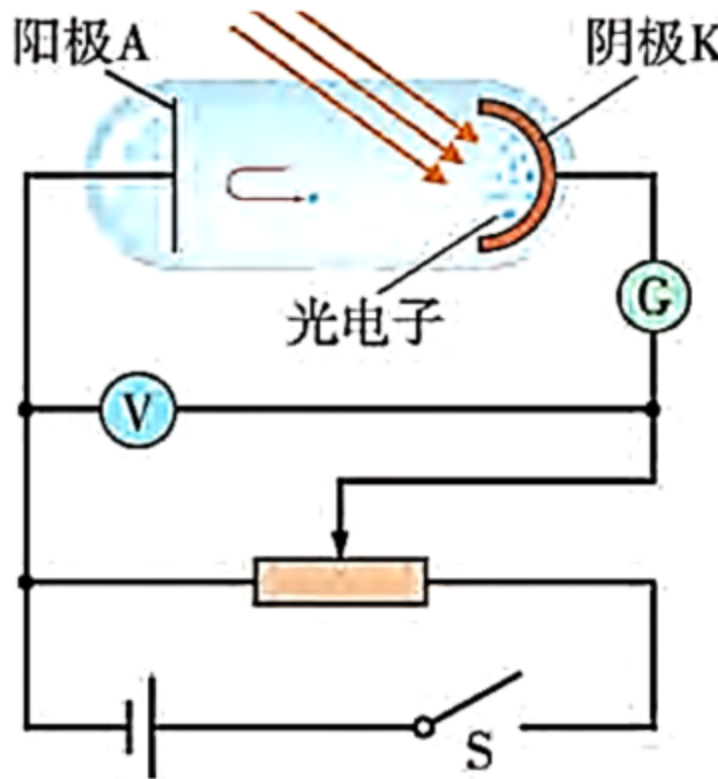
晶体一般纯净物(忽略杂质)是晶体非晶体一般混合物是非晶体	晶体有固定的 熔点 ，非晶体没有固定的熔点。	晶体：石英、云母、明矾、食盐、味精、蔗糖等，具有 天然规则 的 几何形状	  												
	 图 2-5-5 食盐晶体的微观结构	蔗糖受潮后会粘在一起形成糖块，看起来没有特定的几何形状。但是用放大镜仔细观察，会发现组成糖块的是一个 个晶体颗粒 。	图 2-5-1 食盐晶体 图 2-5-2 水晶晶体 图 2-5-3 雪花晶体												
	在晶体中，晶体微粒都是按照一定的 规则 排列的， 具有空间上的周期性 。	粘在一起 的糖块是多晶体，单个的晶体颗粒是单晶体。由于多晶体是由许多单晶体 杂乱无章 组合而成的，所以多晶体没有特定的几何形状。金属和岩石就是两种最常见的多晶体	   (a) 烧热的钢针 图 2.4-4 实验装置 图 2.4-5 熔化区域的形状												
	如图是食盐的晶体微观结构示意图，	玻璃、松香、沥青、橡胶等都是非晶体，没有天然规则的几何形状。	把熔化了了的石蜡薄薄地涂在薄玻璃片和单层云母片上，再将烙铁通电烧热，然后用烙铁头分别接触玻璃片和云母片的背面(图 2.4-4)。观察玻璃片和云母片石蜡熔化区域的形状(图 2.4-5)。												
	在晶体中，晶体微粒间 相互作用很强 ，		从实验结果可以看出， 玻璃 片上石蜡熔化区域的形状近似于 圆形 ，表明玻璃沿 各个方向 的 导热性能相同 ； 云母 片上石蜡熔化区域的形状呈 椭圆形 ，表明云母沿 不同方向 的 导热性能不同 。												
	其热运动不足以克服它们相互间的作用力而远离，最终表现为在某 平衡位置 附近不停地 振动 ，图	组成晶体的微粒是对称排列的，形成很规则的几何空间点阵，空间点阵排列成不同的形状，就在宏观上呈现为晶体不同的几何形状。而非 晶体 内部的微粒是 无规则地均匀排列 的，没有一个方向比另一个方向特殊，因此表现为 各向同性 。	事实上，单晶体在不同的方向上不仅导热性能不同，而且 机械强度 、 导电性能 和 光的折射率 等其他 物理性质 也不同，这类现象称为 各向异性 。												
	中所画的点为它们振动的平衡位置。		  图 2-1-4 各向异性的微观解释 图 2.4-6 方解石的双折射现象												
			非晶体沿各个方向的物理性质都是一样的，这叫作各向同性。由于多晶体是由许多单晶体 杂乱无章 地组合而成的，所以多晶体在一般情况下是 各向同性 的。												
			同种物质也可能以晶体和非晶体两种不同的形态出现，也就是说，物质是晶体还是非晶体，并不是绝对的。例如， 天然石英是晶体 ，而 熔化以后再凝固的水晶 (即 石英玻璃)就是 非晶体 。有些非晶体在一定条件下也 可以转化 为晶体。												
			 2-7 晶体和非晶体的熔化过程示意图												
			<table><tr><td>单晶体</td><td>多晶体</td><td>非晶体</td></tr><tr><td>规则</td><td>不规则</td><td>不规则</td></tr><tr><td>确定</td><td>确定</td><td>不确定</td></tr><tr><td>各向异性</td><td>各向同性</td><td>各向同性</td></tr></table>	单晶体	多晶体	非晶体	规则	不规则	不规则	确定	确定	不确定	各向异性	各向同性	各向同性
单晶体	多晶体	非晶体													
规则	不规则	不规则													
确定	确定	不确定													
各向异性	各向同性	各向同性													

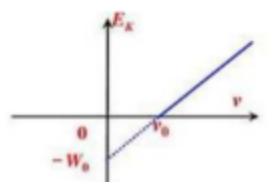
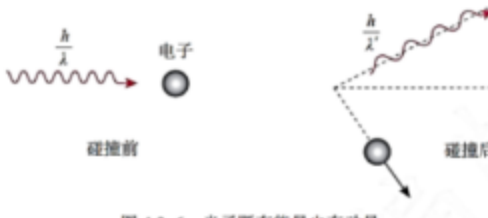
			 (a) 金刚石 (b) 石墨 (c) 富勒烯 (d) 石墨烯 图 2-5-6 碳的四种不同微观结构 在不同条件下，同种物质的微粒在空间按不同的规则排列，会生成不同的晶体。它们宏观的几何形状不同，物理性质也会不同。 如图（a），碳原子按图中排列就成为金刚石，原子间的相互作用力很强，因而硬度大，可用来做切割工具； 碳原子按图（b）排列就成为石墨，它呈层状分布，层与层间距较大，原子间相互作用力较小，故石墨质地松软，可用来做润滑剂。 1985 年，人们制备出了由 60 个碳原子构成的富勒烯（又称足球烯），如图（c） 在 2004 年之前，人类对材料的研究已经进入纳米、甚至原子尺度，人们也对石墨烯的结构有了更清晰的认识，预言了单层石墨可能会有非常好的物理性质。但如何把石墨不断磨薄，薄到只有一个原子的厚度，然而，这个世界性难题还是让很多科学家们望而却步了，甚至有人质疑单层石墨是否能够独立存在。安德烈的想象力再一次“拯救”了这项研究，在助手们试图将石墨块磨成石墨烯而陷入“绝境”的时候，安德烈在偶然的机会上，观察到助手们用透明胶带去除石墨块表面的污渍。这时他天才的直觉引导他将粘过的胶带放到仪器下观察，发现远比助手们打磨好的样品薄了许多，有的甚至只有几十个原子那么厚。随即，他便利用透明胶带反复地粘黏，直到获得了单层的石墨——石墨烯。石墨烯独特的结构使它在力学、电学等方面具有很多奇特的物理性质。 在力学特性方面，石墨烯是目前人类已知的强度最高的物质之一。强度比世界上最好的钢铁还要高百倍之多。同时还具有很好的韧性，且可以弯曲。在电学、热学特性方面，电子在石墨烯中“奔跑”的速率比在硅材料中高出数十倍甚至上百倍，这有利于进一步提高计算机处理器的运算速率。
--	--	--	--

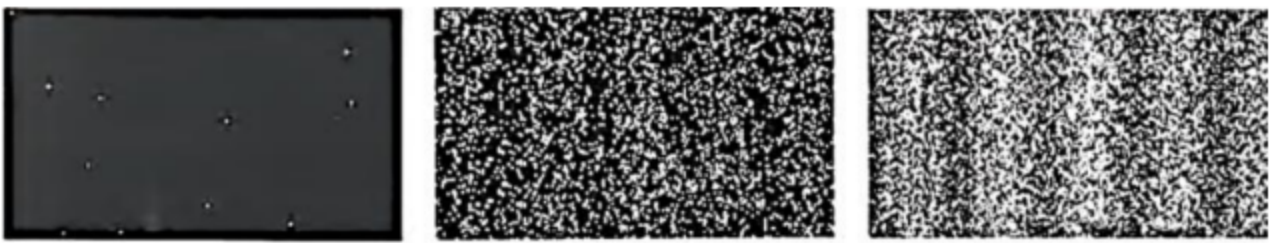
液晶 不是晶体 无固定熔点  图 2-5-8 长棒状(向列型)液晶  3-3-6 计算器液晶显示屏的构造	此类有机化合物在固态向液态转化的过程中存在着混浊的中间态。 液晶在力学性质上与液体相同，具有流动性、连续性，可以形成液滴；在光学性质、电学性质等方面又具有明显的各向异性，因而又具有晶体的某些性质。  图 2-25 晶体、液晶和液体的分子排列示意图	分子取向排列的液晶具有光学各向异性，具体地说，沿分子长轴方向上的折射率不同于沿短轴的。入射光的偏振方向与液晶分子长轴的方向成不同夹角时，液晶对光的折射率不同。因此，一束非偏振光射入液晶层后再射出时，由于液晶折射率的各向异性会产生两束光程不同的光。这样两束光在出射点处矢量叠加（等效于干涉），我们在显微镜下就可以观察到某种色光。  图 2.5-10 TN 模式液晶显示器的基本工作原理示意图
半导体材料  图 2-6-1 将单晶硅锭切成的圆晶片  图 2-6-2 用硅晶片制成的集成芯片  图 3-4-3 n 型半导体晶体结构图  图 3-4-4 p 型半导体晶体结构图	半导体材料的导电能力介于导体与绝缘体之间。 它有一个最重要的性质，如果在纯净的半导体中掺入某些微量元素作为杂质，则其导电性能将会发生显著变化，即半导体的导电性能可通过掺杂来控制。 人们利用半导体这一特性制造出了各种不同用途的半导体电子器件。	硅、锗是目前应用最广泛的半导体材料，95%以上的集成电路芯片都是在单晶硅片上制作的。随着集成工艺的提高，其内部元器件的工艺尺寸已缩小到几个纳米的大小，晶片上可集成超过 10 亿个电子元器件。电路及电子元器件的高度集成，使得各种功能组件小型化、微型化成为可能。 近些年，半导体材料在太阳能发电、余热发电领域成为科学研究的热点。半导体制成的光伏材料能将太阳能直接转化为电能。目前，人们致力于降低光伏材料成本和提高发电效率，使光伏发电的成本与传统发电方式相当，从而为大规模应用创造条件。半导体热电材料是将热能直接转化为电能的材料，已在航天领域得到应用。在航天探测器上，人们采用热电材料将放射性同位素衰变时放出的热量转化成电能来维持探测器电子设备的运行。由于放射性同位素的半衰期较长，故能维持航天探测器长时间的运行。

纳米材料  图 2-6-4 碳纳米管   图 2-6-5 歼-20 隐形战机	纳米材料(nanomaterial)是当今新材料研究最富有活力和影响力的领域。纳米技术的应用,使得人类能在原子水平操作物质,从而更加自由地搬动原子和重组分子,组成具有特殊性能的新材料。 纳米材料是指在三维空间中至少有一维处于纳米尺度范围(1~100nm)或由它们作为重要单元构成的材料,这大约相当于 10~100 个原子紧密排列在一起的尺度。 与宏观物质相比,纳米材料通常硬度、韧性、延展性等力学性能更好,熔点、磁性、导热和导电性降低,对光和物质具有更好的吸收和吸附性,化学活性大大增加。	图 2-6-4 碳纳米管纳米材料具有更强的韧性和强度以及吸附性能。如碳纳米管是非常细的中空管状纳米材料,其强度是钢的 100 倍,而密度是钢的 1/6,故有人设想用碳纳米管来制造从地球到人造卫星的太空云梯。另外,碳纳米管还能够大量地吸附氢气,就好像自带许多个“纳米钢瓶”,如图 2-6-4 所示。研究表明,常温常压下约 2/3 的氢气能从碳纳米管里释放出来。据预测,对于现在正在研制的氢气汽车,只需要携带 15 升左右的碳纳米管,就可以行驶 500 千米。 纳米梯度材料的结构单元尺寸(如晶粒尺寸)在空间上呈梯度变化,从纳米尺度连续增加到宏观尺度,能解决传统工艺和材料中的一些难题。如在航天用的发动机中,燃烧室的内表面需要耐高温,其外表面却要与冷却剂接触。当用金属和陶瓷纳米颗粒按其含量逐渐变化的要求混合后烧结成形时,就能达到燃烧室内侧耐高温、外侧有良好导热性的要求。 图 2-6-5 歼-20 隐形战机纳米材料能改变材料的表面活性和生物活性,可以用来制造冰箱、洗衣机、空调等电器的内壁或外壳,可以有效地防止微生物滋生,从而不留异味、易于清洗。在军事上,将高分子纤维与纳米氧化铝、氧化硅、氧化钛复合纳米粉体以及铁氧体磁性纳米材料结合,形成的复合材料涂装在飞机上,能对雷达起到很强的隐身作用。在医学上,有科学家成功地研制了以纳米磁性材料为载体的靶向药物,可用于癌症、血栓等各种疾病的诊断与治疗 作为目前发现的最薄、强度最大、导电和导热性能最强的一种新型纳米材料,石墨烯被称为“黑金”,是“新材料之王”,科学家甚至预言石墨烯将“彻底改变 21 世纪”,极有可能掀起一场席卷全球的颠覆性新技术、新产业革命
超材料	 图 2-6-6 左手材料的负折射现象	

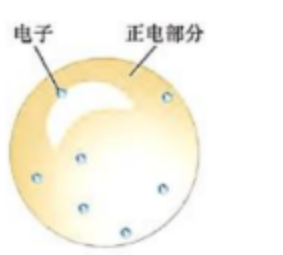
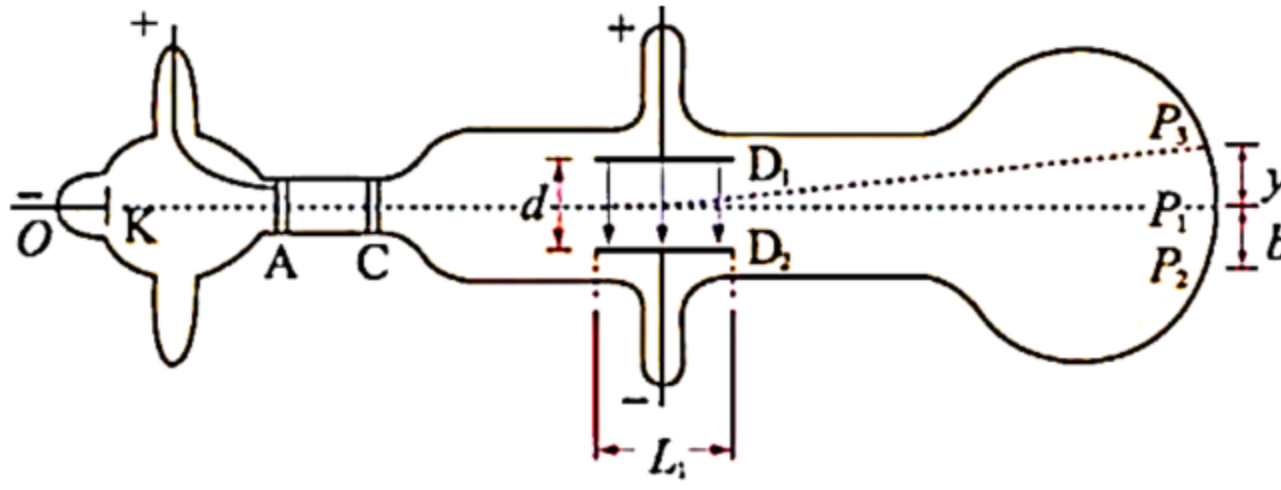
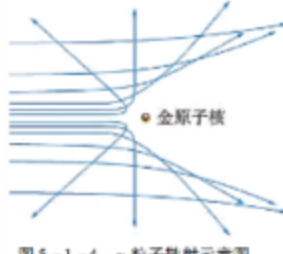
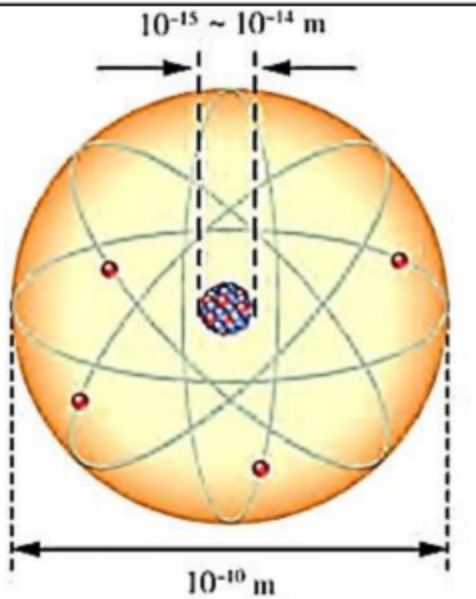
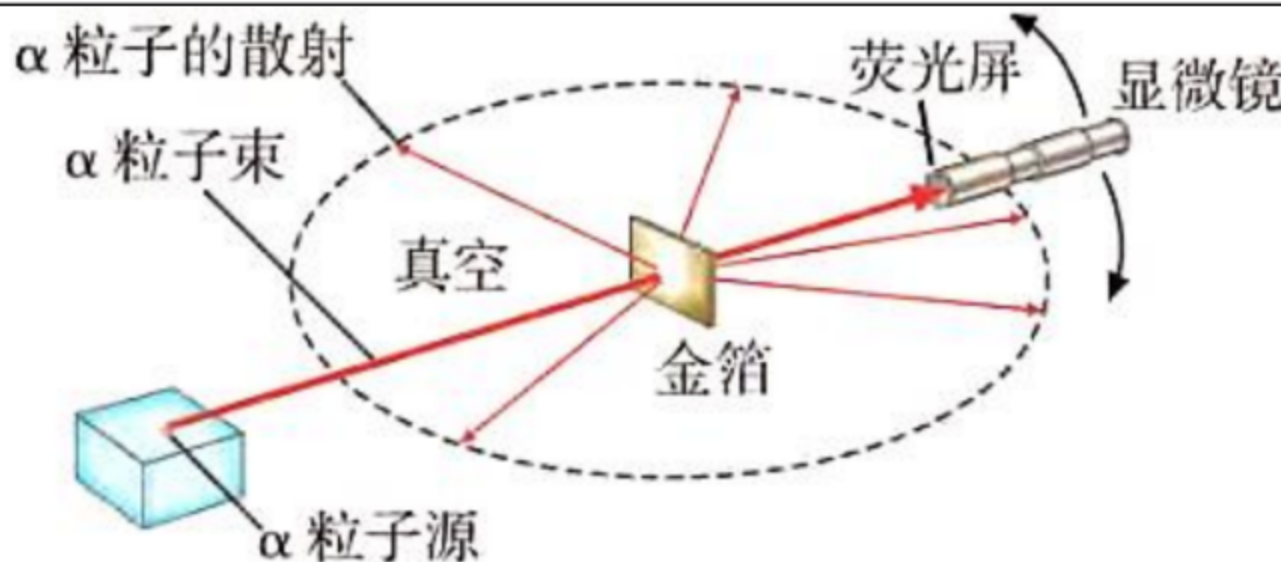
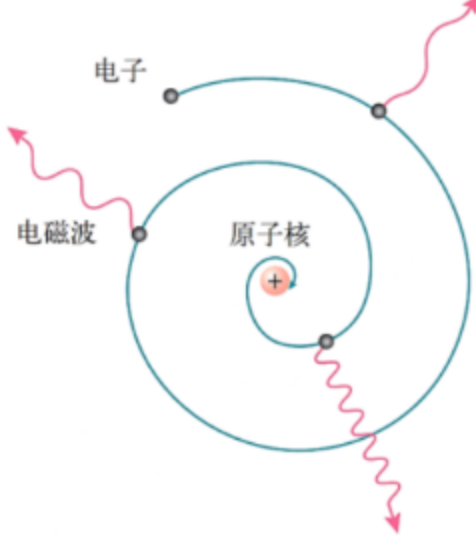
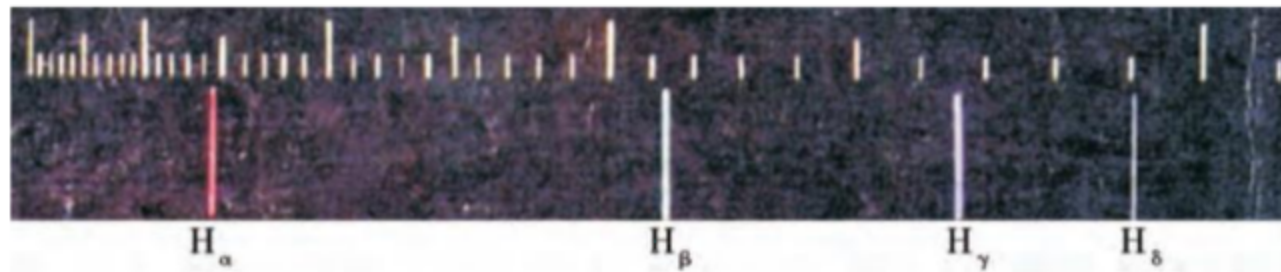
内能	分子动能	$E_k = N\overline{E_k}$	分子平均动能（微观） $\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$ 热力学温度(宏观)， k 玻尔兹曼常数
	分子势能	(固液气)	理想气体忽略分子间的相互作用，分子势能小到可以忽略。
	做功	$W = \overline{F}x = \overline{pS} \cdot x = p\Delta V$	 忽略摩擦，自由膨胀（p不变）
	热力学第一定律 (不是能量守恒)	$\Delta U = Q + W$	改变内能的两种方式：做功，热传递。（注意正负） 理想气体向真空中膨胀不做功。
	第一类永动机  图 3-2-2 “永动机”构想图	不需要任何 动力 或 燃料 却能不断对外做功 $W = \Delta U - Q$	能量守恒定律的确立，使人们走出了制造第一类永动机的幻想，人们更加专注于探究实现各种能量形式相互转化的具体条件，从而有效利用自然界的各种能源。 <u>（不能凭空产生能量）</u>
	扩散的 <u>方向性</u>	 图 12-11 饮水机 蒸发改变重心	两种不同的气体可以自发地混合，最后成为一种均匀的混合气体。相反，一种均匀的混合气体却不会自发地分开成为两种气体。
	热力学第二定律  图 2.1-1 两个系统的热平衡过程 能量退降： 能量可利用程度降低。 熵：系统内部的无序程度（热寂）	克劳修斯表述：热量不能 自发 地从低温物体传递到高温物体。或者说，不可能使热量由低温物体传递到高温物体，而 不引起其他变化 。 开尔文表述：不可能从 单一热源 吸收热量并把它 全部 用来做功，而 不产生其他影响 。	热传导的 <u>方向性</u> ：两个温度不同的物体互相接触时，热量会自发地从高温物体传递给低温物体，最后两个物体温度相同达到热平衡。 <u>（和扩散现象区分，扩散是无规则运动）</u>   图 3-3-1 电冰箱工作原理图 图 3-3-2 等温膨胀构想图
	第二类永动机 机械能和内能转化的 <u>方向性</u>	历史上曾经有人设想制造一种热机，让它从单一热源吸收热量并全部用来做功，把它得到的内能全部转化为机械能， 热机效率 达到 100%	有人设想：理想气体可从单一热源吸热并进行 等温膨胀 ，从而实现百分之百对外做功。 事实上，该过程是一个等压膨胀的过程，气体压强不变，体积增大，温度升高，内能增大，气体吸收的热量不可能百分之百对外做功。

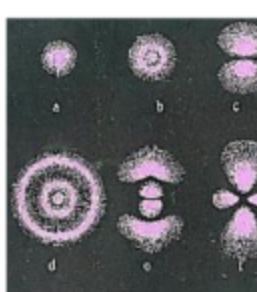
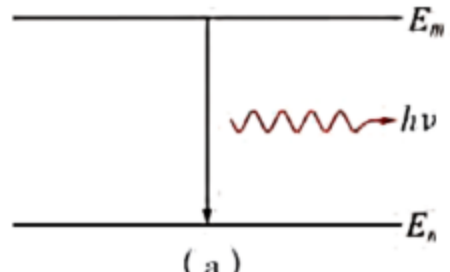
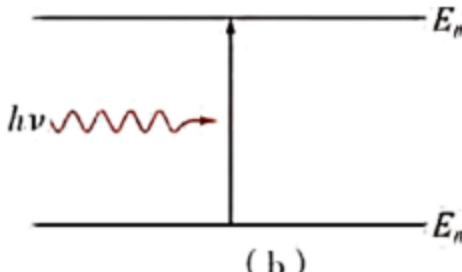
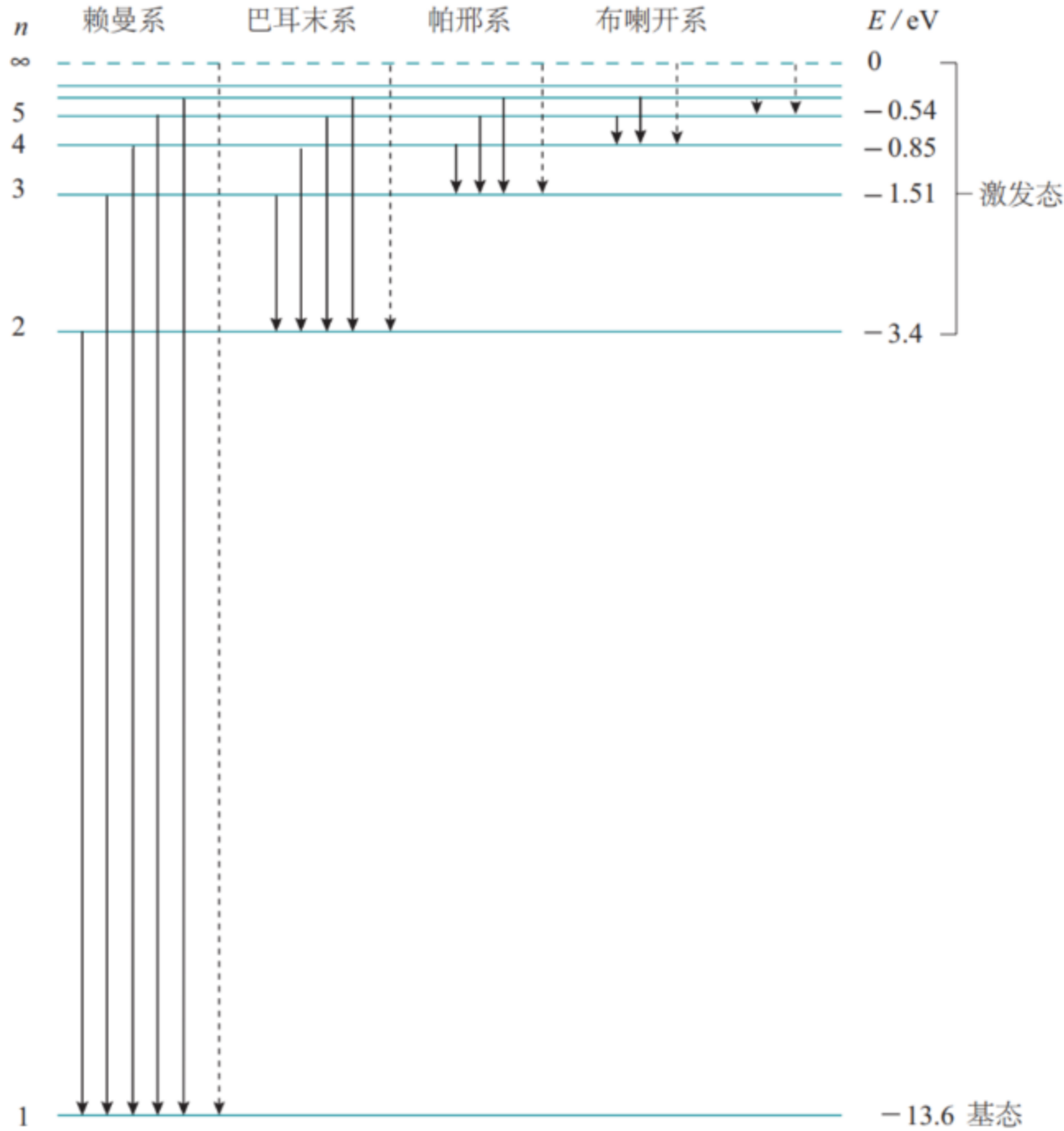
光电效应	金属在光的照射下发射电子的现象			
	发射出来的电子被称为光电子		图 4-1-1 光电管的结构及其工作原理 光电管主要由密封在真空玻璃壳内的阴极和阳极组成，如图（a）所示。阴极表面通常涂有碱金属，如铯、铷等。碱金属对电子的束缚能力比较弱，所以比较容易在光的照射下发射电子。如图（b）所示，阴极发射的光电子受到正向电压U加速，被阳极收集，在回路中形成电流，称为光电流（photocurrent）。这样，光电管就把光信号变成电信号	
光电效应的实验规律	饱和电流	 图 4.2-2 光电流与电压的关系 	实验发现，在光照条件不变的情况下，光电流的大小随着正向电压的增大而增大，当正向电压增加到一定值时，光电流大小不再变化，达到饱和。 饱和电流的大小与入射光的强度成正比 $I = \frac{Q}{t}$	
	截止频率 ν_c	$\lambda = cT = c \frac{1}{f}$	事实上，对于每一种金属，只有当入射光频率大于某一频率ν_c时，才会产生光电流。	实验中也出现了一个“奇怪”的现象，当入射光的频率比较低时，无论入射光强度多么大，照射时间多么长，光电管都没有光电流产生。而当入射光的频率大于某一频率时，无论入射光强弱，都能够几乎瞬时（不超过$10^{-9}s$）产生光电流。
	遏止电压 U_c	反向电压达到某一数值时，光电流将会减小到零	调节反向电压的大小可阻止光电子到达阳极 动能定理 $eU_c = \frac{1}{2}mv_{\text{最大初速率}}^2$ $E_{k\text{最大初动能}} = \frac{1}{2}mv_{\text{最大初速率}}^2$	
				4-1-4 测量遏止电压实验示意图

	经典电磁理论 解释的困难		人们通过大量的实验发现，对于那些频率高的光，随着入射光强度的增加，光电流也会增大。经典电磁理论可以对此进行解释，在光的照射下，金属内部的电子受到电磁波的作用做受迫振动。光的强度越强，电磁波的振幅越大，对电子的作用越强，电子振动得越厉害，因而，电子就越容易从物体内部逃逸出来。也就是说，单位时间到达阳极的光电子数目也就随之增多，光电流就会增大。 根据上述理论，只要入射光的强度足够强，任何频率的入射光都应该能够产生光电子，光电子的初动能也应该由入射光的强度决定。但是实验结果却表明，每种金属都对应有一个不同的截止频率，而且遏止电压只与入射光的频率有关，与入射光的强度无关。由此可见，经典电磁理论在解释光电效应实验时遇到了根本性的困难。
  图 4.1-1 普朗克辐射定律 图 4.1-2 各种辐射能量分布公式与实验结果对比	能量子假说 光子假说	$\varepsilon = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ 普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ $E = n\varepsilon \quad (n = 1, 2, 3 \dots)$	能量子假说：物体热辐射所发出的电磁波的能量是不连续的，只能是 $h\nu$ 的整数倍，$h\nu$ 被称为一个能量子，其中 ν 是辐射频率。 当光和物质相互作用时，光的能量不是连续的，而是一份一份的光量子。这些光量子后来被称为光子（photon）
	光电效应方程	$eU_c = \frac{1}{2}mv_{\text{最大初速率}} = h\nu - W_0$  方程: $E_k = h\nu - W_0$ 横轴截距: ν_c 纵轴截距: $-W_0$ 斜率: h  方程: $U_c = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_0}{e}$ 横轴截距: ν_c 纵轴截距: $-\frac{W_0}{e}$ 斜率: $\frac{h}{e}$	电子只能吸收一个光子，（除了激光）吸收到多个的几率可以忽略光强越大，光子数越多。 逸出功 W_0 只与金属本身有关。 一个光子能量 $\varepsilon = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ $eU_c = E_{k\text{最大初动能}} = \frac{1}{2}mv_{\text{最大初速率}} = 0$ 时，截止频率 $\nu_c = \frac{W_0}{h}$
	康普顿效应	$\varepsilon = h\nu$ $\lambda = \frac{c}{\nu}$ $p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$  图 4.2-6 光子既有能量也有动量	1918—1922 年，美国物理学家康普顿在研究石墨对 X 射线的散射时，发现一部分散射出来的 X 射线波长变长，这个现象后来称为康普顿效应。按照经典电磁理论，光波波长在散射前后应该不变。正如在光电效应中一样，经典电磁理论再次与实验事实出现了矛盾。1923 年，康普顿借助爱因斯坦的光子假说，用光子与物质中的自由电子的弹性碰撞解释了散射光波长变长的现象。他证实了 X 射线的光子不仅具有能量，也像其他粒子那样具有动量，光子与电子碰撞时遵守能量守恒定律和动量守恒定律。他据此推导出散射光波长的变化量，该结果与实验符合得很好。在康普顿效应中，当入射的光子与物质中的电子碰撞时，一部分动量会转移给电子，因而光子动量变小。由光子动量公式可知，动量减小则波长变长，因此有些光子散射后波长会变长

光的波粒二象性	由于每次穿过狭缝的只有一个光子，它不可能跟其他光子产生干涉，但光的干涉还是发生了。可见，波动性也是光子的属性。光既有粒子性，又有波动性	 (a) 短时间曝光 (b) 稍长时间曝光 (c) 长时间曝光 图 4-3-5 弱光干涉图样
----------------	--	--

	不确定性关系	因为微观粒子的位置与动量不可同时被确定，其位置的不确定量 Δx 与动量的不确定量 Δp 遵守不等式 $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$ 从不确定性关系我们知道，在微观领域中，如果要更准确地确定粒子的位置，那么粒子的动量一定会更不准确，也就是说，不可能同时准确地知道粒子的位置和动量，因而也就不可能用“轨迹”来描述粒子的运动，只能通过概率波作统计性的描述 $\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$ (动能↓, T↑) (65 页玻尔理论)	图 4-5-1 单缝衍射图样的光强分布，a 代表粒子位置的不确定范围，b 代表粒子动量的不确定范围 在经典物理学中，对于质点，我们可以用其位置和动量来精确描述它的运动。不仅如此，如果已知该质点的加速度，我们还可以预言质点在以后的任意时刻的位置和动量，从而描绘出它的运动轨迹。 那么，在微观领域中，我们能否同样精确描述微观粒子的位置和运动状态呢？图中单缝衍射图样的光强分布，a 代表粒子位置的不确定范围，b 代表粒子动量的不确定范围。我们知道，在光的单缝衍射实验中，单色光从狭缝投影到光屏上，如果光是经典的粒子，那么它在屏上的落点应该在狭缝的范围之内。但由于光子发生了衍射，它最终到达的位置会超出狭缝投影的范围，而且狭缝调节得越窄，其投射的范围反而越宽。因光屏上各点的亮度反映了粒子到达该点的概率，如果把这个概率的分布用图像表示出来，就可得到如图所示的光强曲线。入射的粒子有确定的动量，但它们在挡板左侧的位置却是不确定的。我们可通过调窄狭缝的宽度 a 来限定它们的位置，使入射粒子位置的不确定量减小。由于微观粒子具有波动性，会发生衍射，许多粒子散布在宽度为 b 的中央亮条纹之内。 按照经典物理学理论，这些粒子本应通过狭缝后要沿着水平方向运动，但有些粒子却跑到缝的投影位置之外。可以判断，这些粒子具有了与其原运动方向垂直的动量。而粒子到达屏上的位置是有一定的概率的，所以粒子在垂直方向上的动量也具有不确定性，中央亮条纹的宽度 b 可以衡量其不确定性的大小。为了得到更准确的通过狭缝粒子的位置，我们调节狭缝变窄，但结果是狭缝越窄，屏上中央亮条纹的宽度 b 就越大。这说明，在得到更准确的粒子位置的同时，粒子的动量不确定性却增大了。微观粒子位置的确定性与其动量的确定性就像跷跷板一样，二者无法同时确定
--	---------------	---	---

汤姆孙  ▲图4-1-1 阴极射线实验  1 J.J. 汤姆孙的原子结构模型	$B_1 q v = q E$ $\text{速度选择器 } v = \frac{E}{B_1}$ $B_2 q v = m \frac{v^2}{r}$ $\text{质谱仪 } \frac{q}{m} = \frac{E}{B_1 B_2 r}$ 类平抛 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{at}{v_0} = \frac{qUL}{dmv_0^2}$	 ▲图4-1-3 测定微粒比荷的实验原理示意图 汤姆孙通过对阴极射线进行研究,发现了电子,提出了“枣糕模型”或“葡萄干布丁模型”
卢瑟福  图 5-1-4 α 粒子散射示意图	 5-1-3 原子的核式结构模型	 图 5-1-2 α 粒子散射实验示意图
氢原子光谱	 图 4.4-4 电子绕核转动的经典图景	按照经典物理学的观点,核外电子带有电荷,运动时要辐射电磁波。电子损失了能量,它的轨道半径会不断变小,最终落在原子核上。由于电子轨道的变化是连续的,辐射电磁波的频率也会连续变化。 但事实上原子是稳定的,由实验得到的氢原子光谱是分立的  图 5-1-6 氢原子光谱

玻尔 能级结构 玻尔定态跃迁理论的局限：半经典（轨道）的量子论  图 6-4-2 氢原子处于基态时的电子云  图 6-4-2 氢原子处于各种定态时的电子云示意图 当原子处于不同的状态时，电子在原子核周围各处出现的概率不同。 若用疏密不同的点表示电子在各处出现的概率，这样画出的概率分布图称为电子云 波函数	跃迁必须满足$h\nu = E_m - E_n$ 基态E_1 电子绕原子核运动的轨道半径是分立的，电子只能在某些特定的轨道上运动。当电子在不同的轨道上运动时，原子处于不同的状态，具有不同的能量。这些分立的能量值被称为原子的能级。 激发态$E_2, E_3, \dots$ 处于激发态的氢原子是不稳定的。它会自发向较低的能级跃迁，跃迁时释放出来的能量以光子形式向外辐射 [如图 (a)]，这就是氢原子具有分立光谱的原因。辐射出的光子的能量等于两能级间的能量差 反之，原子吸收了特定频率的光子，或者通过其他途径（如受到高速电子的轰击）获得能量时，便可以从低能级向高能级跃迁 [如图 (b)]，同样也遵循上述的规律 n能级可能辐射C_n^2种光子 $r \uparrow$, 克服库仑力做功, 电势能$\uparrow$ $k \frac{e^2}{r^{\uparrow 2}} = m \frac{v^{\downarrow 2}}{r}$ $r \uparrow, v \downarrow$, 动能$\downarrow, T \uparrow$	如图所示是氢原子的能级示意图。每条横线代表一个能级，两条横线间的距离表示能级的间隔，即能量差。 选取电子处于无穷远处（电离）时氢原子的（总）能量为零，则氢原子各能级的（总）能量为负值。 原子从一个能级变化到另一个能级的过程叫作跃迁。 （电离可大于所在能级能量）   图 5-1-8 原子的跃迁  图 4.4-6 氢原子能级图 赖曼系 巴尔末系 帕邢系 100 400 1000 λ/nm 紫外 可见光 红外 “高轨低速长周期”
--	--	---

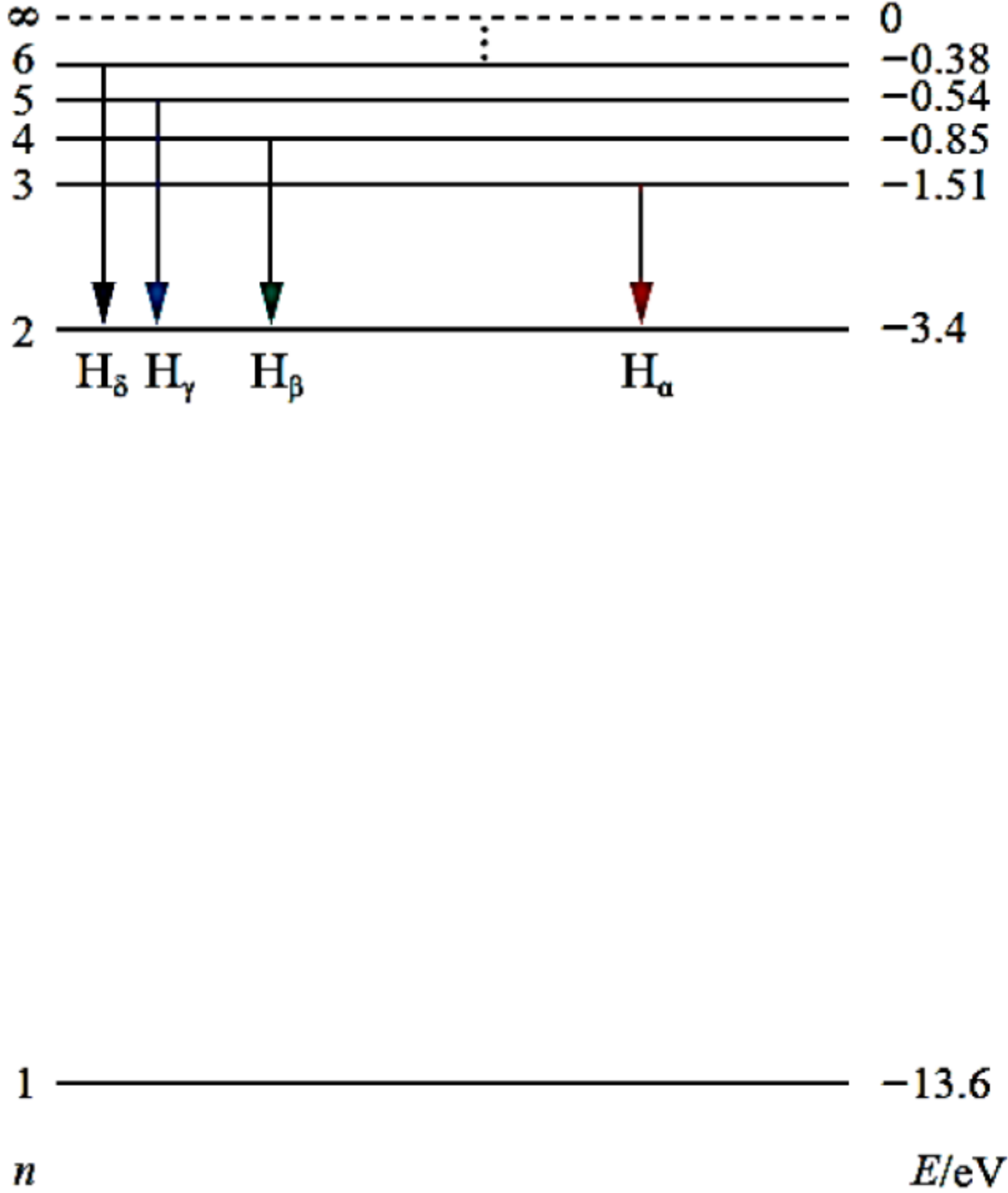
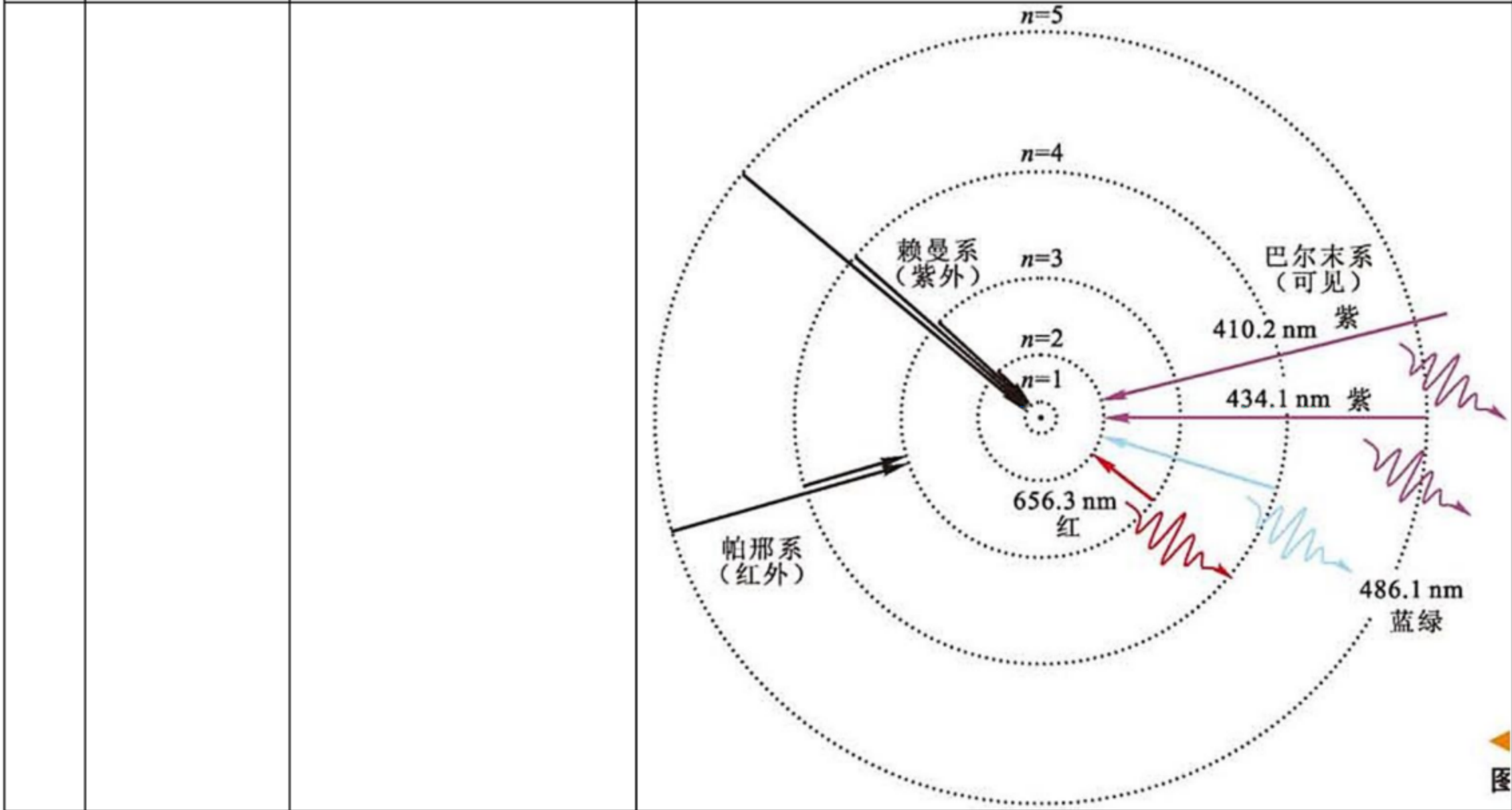
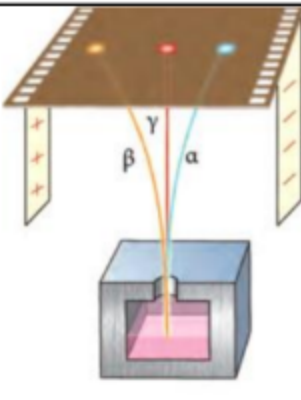
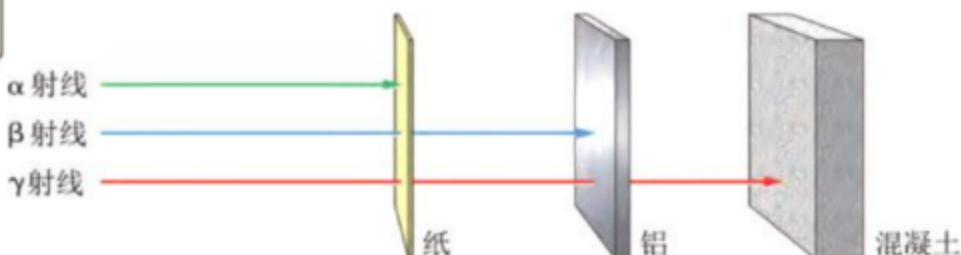
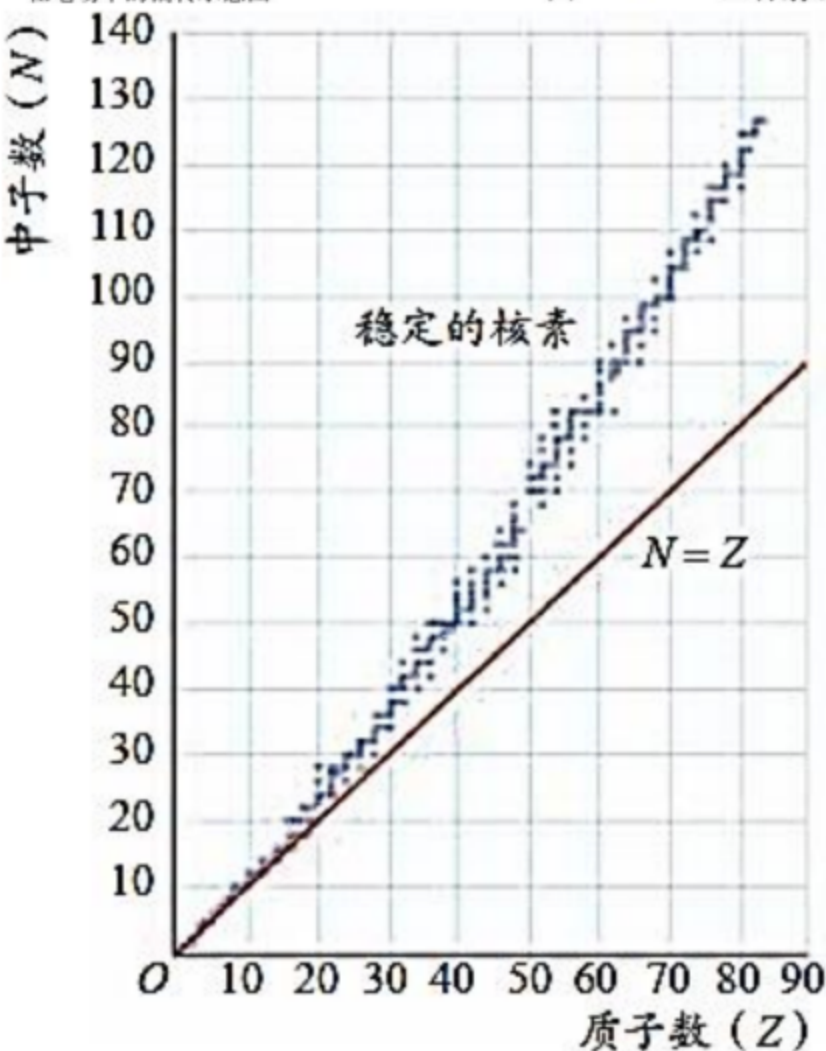
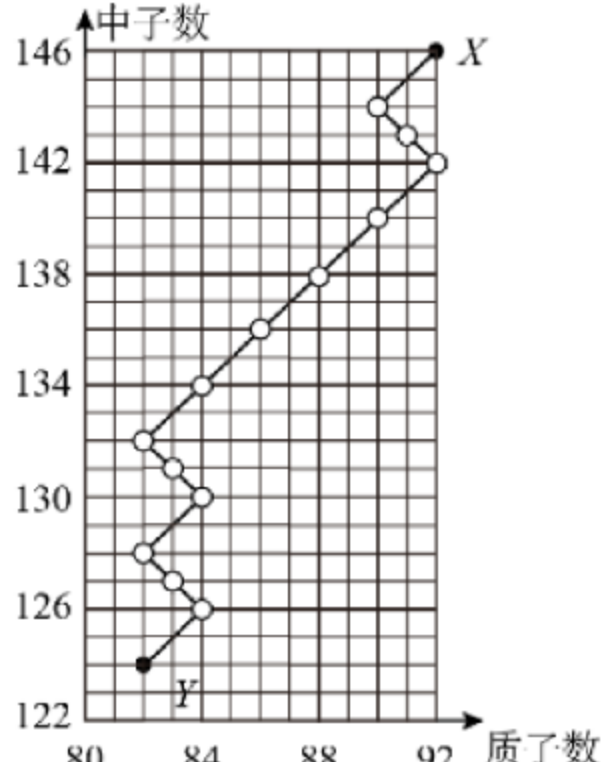
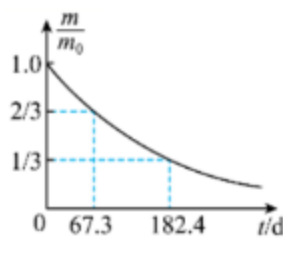
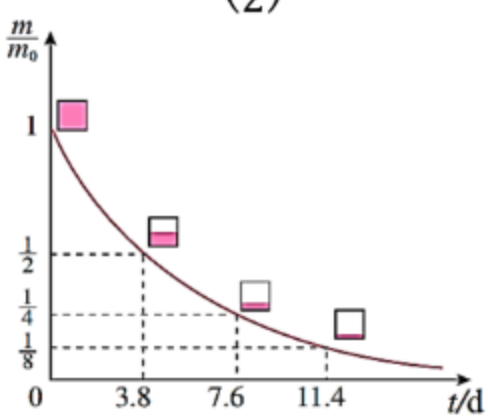
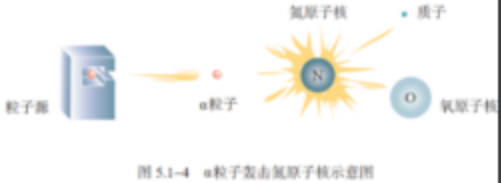
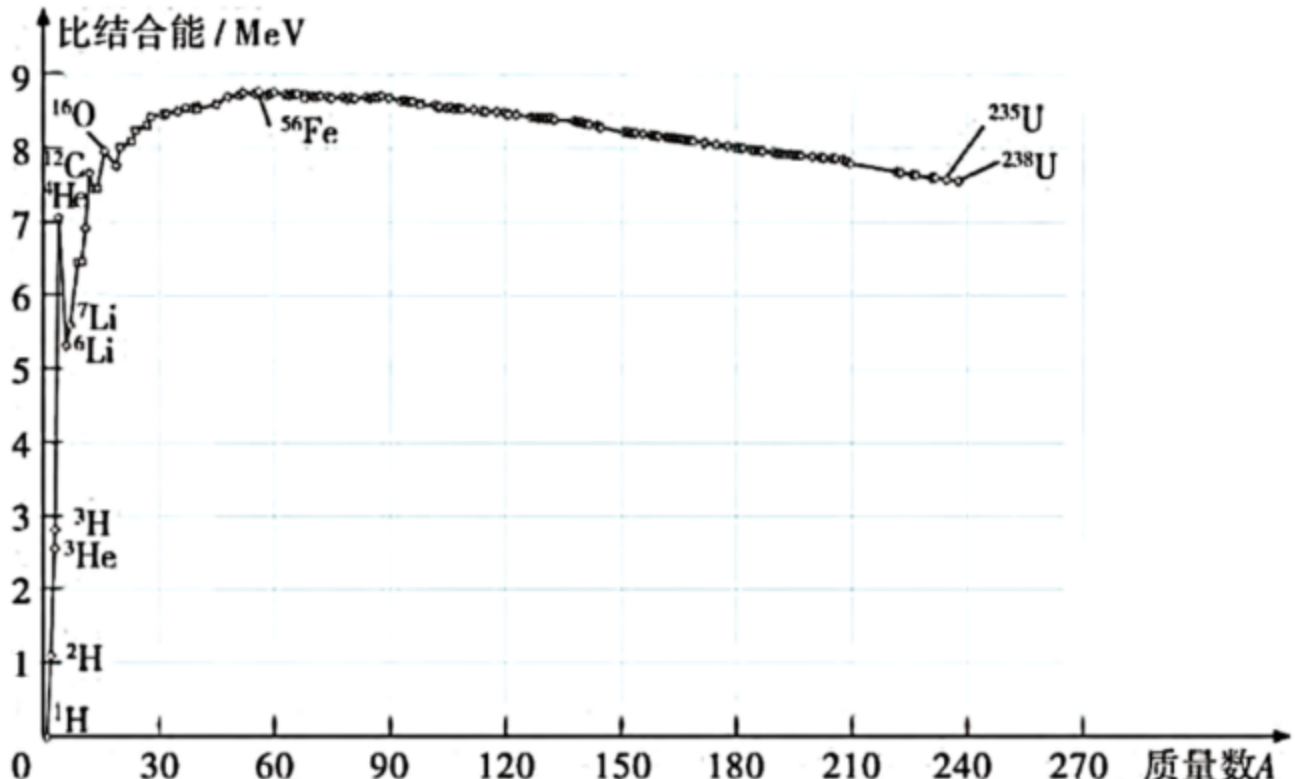
	巴耳末系	$h\nu = E_n - E_2$	$\frac{1}{\lambda} = R_{\infty} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots$ 里德伯常量 $R_{\infty} = 1.10 \times 10^7 m^{-1}$  
	辐射可见光	电子轨道半径 $r_n = n^2 r_1$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)	
	先超过能级 2 再回到能级 2	定态的能量 $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)	
	$\lambda = cT = c \frac{1}{f}$	$h\nu = E_m - E_n$	
		$h \frac{c}{\lambda} = \frac{E_1}{m^2} - \frac{E_1}{n^2}$	
		$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_1}{hc} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	

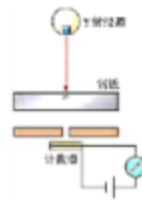
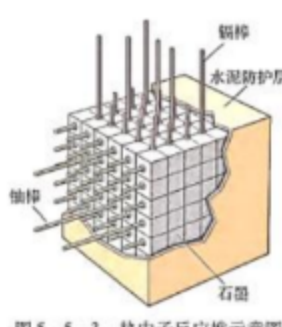
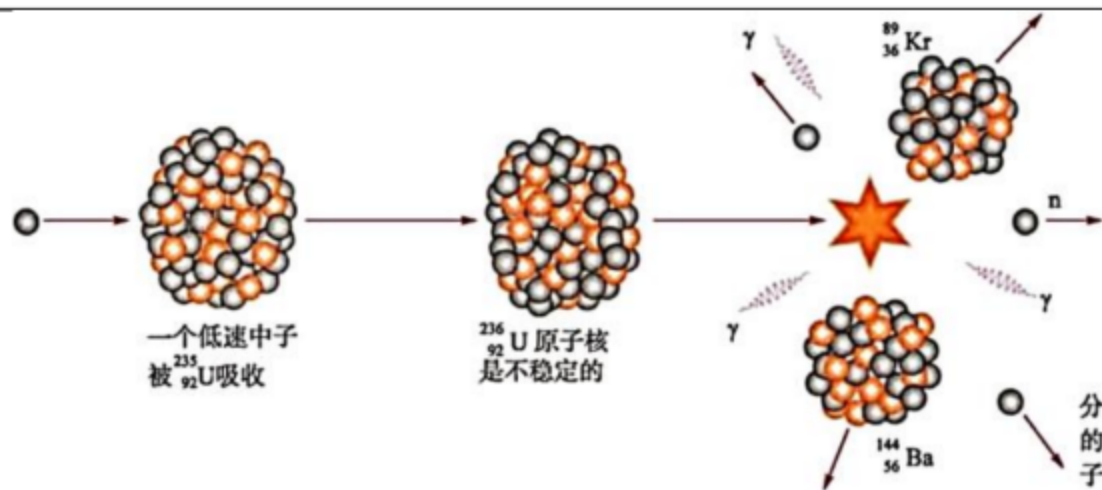
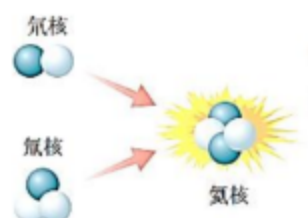
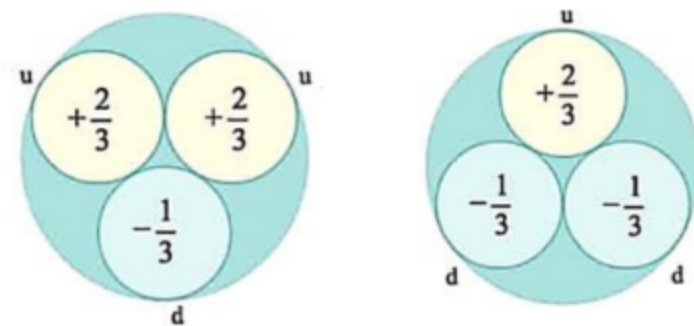
图 4-17 氢原子光谱巴耳末系示意图



	放射性 1895年年末,德国物理学家伦琴发现了一种新的射线——X射线,即伦琴射线。它具有一定的辐射性。	1896年,法国物理学家贝克勒尔发现铀和含铀的矿物都能发出一种看不见的射线,这种射线可以使包在黑纸里的照相底片感光。后来,玛丽·居里(即居里夫人)将这种物质放射出射线的性质叫作放射性。	具有放射性的元素叫作放射性元素。 放射性并不是少数几种元素才有的。研究发现,原子序数大于83的所有元素都有放射性。原子序数小于等于83的元素,有的也具有放射性。这些能自发地放出射线的元素叫作天然放射性元素。 研究表明,如果一种元素具有放射性,那么不论它是以单质的形式存在,还是以某种化合物的形式存在,放射性都不受影响。也就是说,放射性与元素存在的状态无关。我们知道,元素的化学性质取决于原子核外的电子,因此可以断定,射线来源于原子核,也就是说,原子核是有内部结构的。
原子核衰变	α 衰变	${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$	 图 5-2-3 三种射线在电场中的偏转示意图  图 5-4-3 三种射线的穿透能力  图 5-18 核素图
	α 射线	α 粒子(氦原子核 ${}^4_2\text{He}$)	
		速度约十分之一光速	
		薄纸能挡住	
		电离能力很强	
	β 衰变	${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^0_{-1}\text{e}$	
		核内转化 ${}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{H} + {}^0_{-1}\text{e}$	
	β 射线	高速电子流	
		速度接近光速	
		穿过几厘米厚的铝板	
	γ 衰变	${}_0^1\text{n} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_1^2\text{H} + \gamma$	
	γ 射线	高能光子	
		速度等于光速	
	波长很短的电磁波	穿过几厘米厚的铅板	
	总式	${}^{238}_{92}\text{X} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Y} + a {}^4_2\text{He} + b {}^0_{-1}\text{e}$	
		$238 - 206 = 32 = 4a$	
		$a = 8$	
		$92 - 82 = 10 = 2a - b$	
		$b = 6$	

	半衰期 每一种放射性元素都有一定的半衰期。  半衰期: 115.1d	原子核数目因衰变减少到原来的一半所经过的时间，叫作半衰期 $m = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\text{半衰期}}}}$  图 5.2-4 氡的衰变	放射性元素的半衰期，描述的是大量该元素衰变的统计规律。对于一个特定或少量的原子来说，我们只知道其发生衰变的概率，而无法预测其何时发生衰变。例如，一个特定的氡核可能在 1s 后就发生衰变，也可能 1h 后发生衰变，甚至 100 万年后才发生衰变。但对于大量氡核，可以根据其半衰期，准确预言其在某时刻未发生衰变的比例。 放射性元素衰变的速率由核本身的因素决定，与原子所处的物理状态或化学状态无关。这是因为压力、温度或与其他元素的化合等，都不会影响到原子核的结构。
	碳 14 测年技术	自然界中的碳主要是碳 12，也有少量的碳 14。宇宙射线进入地球大气层时，同大气作用产生中子，中子撞击大气中的氮引发核反应产生碳 14。核反应方程为 $^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$ 碳 14 具有放射性，能够自发地进行 β 衰变而变成氮，核反应方程为 ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$ 碳 14 的半衰期 T 为 5730 年。碳 14 不断产生又不断衰变，达到动态平衡，因此，它在大气中的含量相当稳定，大约每 10¹² 个碳原子中有一个碳 14。	活的植物通过光合作用和呼吸作用与环境交换碳元素，体内碳 14 的比例与大气中的相同。植物枯死后，遗体内的碳 14 仍在衰变，不断减少，但是不能得到补充。因此，根据放射性强度减小的情况就可以推算植物死亡的时间。 例如，要推断一块古木的年代，可以从中取出一些样品，测量样品中的碳 14 含量。如果含量是现代植物的一半，则说明这块古木的历史大概有碳 14 的一个半衰期 T，即 5730 年。类似地，如果碳 14 含量是现代植物的 1/4，则古木历史大概是 $2T$，即 11460 年…… 在经济建设中也会用到碳 14 测定年代的方法。例如，进行基本建设时，地质基础的力学性质是个重要指标。一般说来，地层形成年代越早，固结程度越高，抗冲击性和承压性越好。北京饭店新楼施工时，在地面以下 13m 深的位置发现了两棵直径达 1m 的榆树。用碳 14 测定，这两棵树距今 29285±1350 年。据此数据，建设部门认为这个地层已经足够古老，可以作为地基，于是停止下挖，这样就节约了资金。

	原子核	$\begin{matrix} \text{质量数} A \\ \text{电荷数 (原子序数)} Z \end{matrix} X \text{元素}$	中子 $m_n = 1.6749 \times 10^{-27} kg$ 质子 $m_p = 1.6726 \times 10^{-27} kg$ 电子 $m_e = 9.1094 \times 10^{-31} kg$ $\frac{m_p}{m_e} = 1836$		
	核子： 质子和中子	中子数 $= A - Z$			
核反应方程	卢瑟福用 α 粒子轰击氮核而发现了质子	${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$  图 5.1-4 α 粒子轰击氮原子核示意图	在核反应过程中，方程两边总的 质量数 和 电荷数 是 守恒 的。		
	查德威克用 α 粒子轰击铍核而发现了中子	${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$			
四种相互作用	强相互作用	强相互作用	相互作用类型	相地强弱	作用距离
		电磁相互作用	强相互作用	1	10^{-15} m
		弱相互作用	电磁相互作用	10^{-2}	无穷远
		引力相互作用	弱相互作用	10^{-6}	10^{-18} m
核力	核力属于强相互作用	弱相互作用	引力相互作用	10^{-38}	无穷远
		可以是引力或斥力	组成原子核的 核子 之间有很强的相互作用力，它使核子能够克服库仑斥力而紧密地结合在一起，这种力被称为核力。		
结合能	一个原子的核子越多，结合能就越大，所以比较总的结合能显然是没有意义的。	$\Delta E = \Delta mc^2$	由于核子间存在着强大的核力，要把原子核拆散成核子，需要克服核力做功，也就说需要提供一定的能量。		
			反过来，根据能量守恒，核子结合成原子核时也会放出一定的能量。我们把这个能量叫作原子核的结合能。		
比结合能	中等质量的原子核 比结合能最大 ，所以聚变和裂变都释放能量。	原子核的 结合能 与 核子数 之 比 被称为该原子核的 比结合能 ，也叫 平均结合能 。			
		它反映了一个原子核内核子相互结合的 紧密程度 ， 比结合能越大 ，原子核 越稳定 。			

	同位素	具有相同质子数而中子数不同的原子，在元素周期表中处于同一位置，因而互称同位素。	不同元素的原子，其原子核的质子数不同，核外电子的数目和分布情况也不同，因此元素的化学性质不同。																					
		通常说的氕 (${}^1_1\text{H}$)、氘 (${}^2_1\text{H}$) 和氚 (${}^3_1\text{H}$) 就是氢的一组同位素。	同种元素的原子，因为其质子数相同，核外电子数相同，所以有相同的化学性质，但是它们的中子数可以不同。																					
	约里奥-居里夫妇用 α 粒子轰击铝	${}^4_2\text{He} + {}^{27}_{13}\text{Al} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$	反应生成物 ${}^{30}_{15}\text{P}$ 是磷的一种同位素，它有放射性，像天然放射性元素一样发生衰变，衰变时放出正电子 ${}^0_1\text{e}$ (反物质) 和中微子 ν 应用：射线，示踪原子，半衰期																					
人工	放射性同位素	${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_1\text{e} + \nu$																						
核裂变 核电站	 图 5-5-3 热中子反应堆示意图	${}^1_0\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$ 裂变前 <table><tr><td>${}^{235}_{92}\text{U}$</td><td>235.043 9 u</td></tr><tr><td>${}^1_0\text{n}$</td><td>1.008 7 u</td></tr><tr><td></td><td>236.052 6 u</td></tr></table> 裂变后 <table><tr><td>${}^{141}_{56}\text{Ba}$</td><td>140.913 9 u</td></tr><tr><td>${}^{92}_{36}\text{Kr}$</td><td>91.897 3 u</td></tr><tr><td>$3{}^1_0\text{n}$</td><td>3.026 1 u</td></tr><tr><td></td><td>235.837 3 u</td></tr></table> $1\text{u} = 931.5\text{MeV}$	${}^{235}_{92}\text{U}$	235.043 9 u	${}^1_0\text{n}$	1.008 7 u		236.052 6 u	${}^{141}_{56}\text{Ba}$	140.913 9 u	${}^{92}_{36}\text{Kr}$	91.897 3 u	$3{}^1_0\text{n}$	3.026 1 u		235.837 3 u	 ▲ 图 5-4-1 铀 235 的裂变							
${}^{235}_{92}\text{U}$	235.043 9 u																							
${}^1_0\text{n}$	1.008 7 u																							
	236.052 6 u																							
${}^{141}_{56}\text{Ba}$	140.913 9 u																							
${}^{92}_{36}\text{Kr}$	91.897 3 u																							
$3{}^1_0\text{n}$	3.026 1 u																							
	235.837 3 u																							
			石墨、重水：中子减速剂。镉棒：控制棒，吸收中子。 能量低于 1MeV 的中子跟铀 238 基本上只发生弹性碰撞，不引起核反应。因为原子核非常小，如果铀块的体积不够大，中子从铀块中通过时，可能还没有碰到铀核就跑到铀块外面去了。 能够发生链式反应的铀块最小体积叫作它的临界体积。																					
超导 磁约束	核聚变(太阳)	${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + \gamma 17.6\text{MeV}$	 图 5.4-6 核聚变示意图																					
	获得氦	${}^1_0\text{n} + {}^6_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$	<table><tr><td>聚变前</td><td></td><td>聚变后</td></tr><tr><td>${}^2_1\text{H}$</td><td>2.014 1 u</td><td>${}^4_2\text{He}$</td><td>4.002 6 u</td></tr><tr><td>${}^3_1\text{H}$</td><td>3.016 0 u</td><td>${}^1_0\text{n}$</td><td>1.008 7 u</td></tr><tr><td></td><td>5.030 1 u</td><td></td><td>5.011 3 u</td></tr></table>	聚变前		聚变后	${}^2_1\text{H}$	2.014 1 u	${}^4_2\text{He}$	4.002 6 u	${}^3_1\text{H}$	3.016 0 u	${}^1_0\text{n}$	1.008 7 u		5.030 1 u		5.011 3 u						
聚变前		聚变后																						
${}^2_1\text{H}$	2.014 1 u	${}^4_2\text{He}$	4.002 6 u																					
${}^3_1\text{H}$	3.016 0 u	${}^1_0\text{n}$	1.008 7 u																					
	5.030 1 u		5.011 3 u																					
	粒子	 图 5.5-3 标准模型中最基本的粒子类型	<table><tr><td colspan="7">表 5-5-2 6 种夸克</td></tr><tr><td>名称</td><td>u</td><td>d</td><td>s</td><td>c</td><td>b</td><td>t</td></tr><tr><td>电荷</td><td>$\frac{2}{3}e$</td><td>$-\frac{1}{3}e$</td><td>$-\frac{1}{3}e$</td><td>$\frac{2}{3}e$</td><td>$-\frac{1}{3}e$</td><td>$\frac{2}{3}e$</td></tr></table>  (a) 质子由 2 个 u 夸克和 1 个 d 夸克组成，整体电荷量为 +e (b) 中子由 1 个 u 夸克和 2 个 d 夸克组成，整体电荷量为零	表 5-5-2 6 种夸克							名称	u	d	s	c	b	t	电荷	$\frac{2}{3}e$	$-\frac{1}{3}e$	$-\frac{1}{3}e$	$\frac{2}{3}e$	$-\frac{1}{3}e$	$\frac{2}{3}e$
表 5-5-2 6 种夸克																								
名称	u	d	s	c	b	t																		
电荷	$\frac{2}{3}e$	$-\frac{1}{3}e$	$-\frac{1}{3}e$	$\frac{2}{3}e$	$-\frac{1}{3}e$	$\frac{2}{3}e$																		