

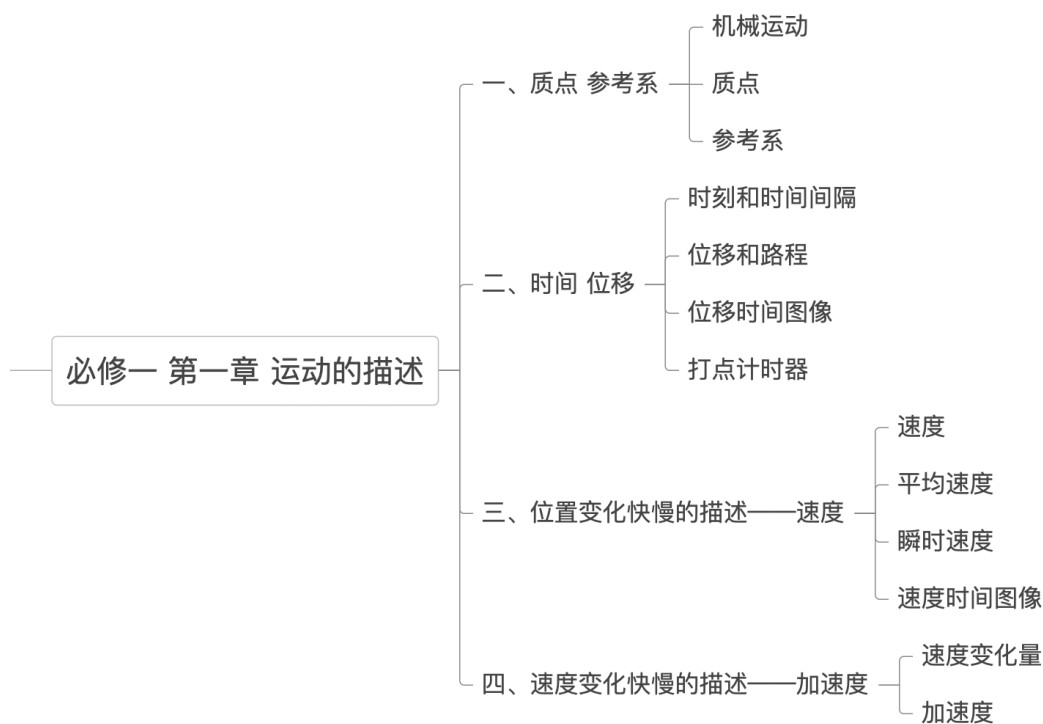
高中物理知识总结

目录

必修一 第一章 运动的描述	3
必修一 第二章 匀变速直线运动的研究.....	7
必修一 第三章 相互作用——力	12
必修一 第四章 运动和力的关系	19
必修二 第五章 抛体运动.....	28
必修二 第六章 圆周运动.....	33
必修二 第七章 万有引力与宇宙航行.....	39
必修二 第八章 机械能守恒定律	43
必修三 第九章 静电场及其应用	49
必修三 第十章 静电场中的能量	55
必修三 第十一章 电路及其应用	62
必修三 第十二章 电能 能量守恒定律.....	69
必修三 第十三章 电磁感应与电磁波初步	76
选择性必修一 第一章 动量守恒定律.....	80
选择性必修一 第二章 机械振动	86
选择性必修一 第三章 机械波	90
选择性必修一 第四章 光.....	93
选择性必修二 第一章 安培力和洛伦兹力	98
选择性必修二 第二章 电磁感应	110
选择性必修二 第三章 交变电流	117
选择性必修二 第四章 电磁振荡与电磁波	122
选择性必修三 第一章 分子动理论	126
选择性必修三 第二章 气体、固体和液体	129
选择性必修三 第三章 热力学定律	133
选择性必修三 第四章 原子结构和波粒二象性	135
选择性必修三 第五章 原子核	141

必修一 第一章 运动的描述

※内容框架



※必备知识

一、质点 参考系

1. **机械运动**：物体的空间位置随时间的变化。（高中物理研究的运动：机械运动、电磁运动、热运动）

2. **质点**：忽略物体的大小和形状，简化为一个有质量的点。

（1）理想化模型，非真实存在。

（2）物体被看作质点的条件：

①物体尺寸远小于所研究的运动距离

②研究某些平动

③研究轨迹而非动作

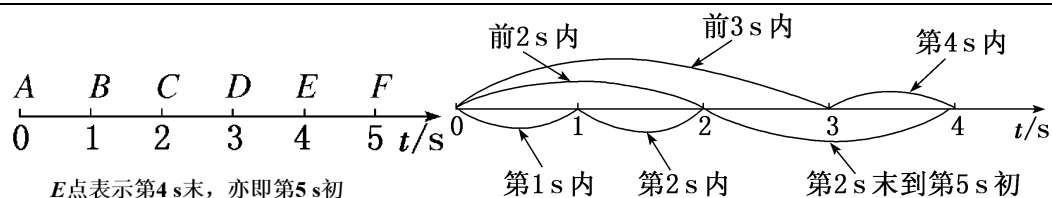
3. **参考系**：研究一个物体运动时，选来用作参考的其他物体。

二、时间 位移

1.时刻和时间间隔

（1）时刻：第 n 秒初，第 n 秒末

（2）时间间隔：第 n 秒内，前 n 秒



2.坐标系

用于定量描述物体位置。

3.位移和路程

(1) 位移：初位置指向末位置的有向线段。**矢量**。

(2) 路程：运动轨迹的长度。标量。单向直线运动中路程等于位移大小。

	标量	矢量
正负	-	表示方向
大小比较	-	只比较“绝对值”
运算规则	四则运算	平行四边形定则
举例	时间、长度、质量、功、能量、温度等	位移、速度、加速度、力

4.位移-时间图像

以位置为纵坐标，时刻为横坐标，可得到**直线运动**物体的位置-时间图像（简称 $x-t$ 图），当取物体的出发点为坐标原点， $x-t$ 图可表示物体的位移随时间变化。

5.位移时间的测量——打点计时器

	电磁打点计时器	电火花计时器
结构图示		
工作电源	约为 8 V 交流电	220 V 交流电
打点方式	振针周期性上、下振动	周期性产生电火花
阻力来源	振针打点时，复写纸与纸带间的摩擦力；限位孔与纸带间的摩擦	纸带与限位孔、墨粉与纸盘之间的摩擦
打点周期	0.02 s（使用 50 Hz 交流电）	
记录信息	运动物体的位移、时间	
使用注意事项	先接通电源，再释放纸带。先关闭电源，再取下纸带。	

三、位置变化快慢的描述——速度

1.速度

(1) 定义：位移与发生这段位移所用时间之比， $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 。比值定义法。（比值定义法：各物理量相互独立，新定义物理量不随定义所涉物理量改变而改变。）

(2) 物理含义：表示运动的快慢，或位置变化的快慢。

2.平均速度

(1) 定义：物体在一段时间内的位移与时间之比， $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 。（注意：中途停止运动的时间也考虑。）(注意：平均速度并不一定等于初、末速度的平均值。)

(2) 物理含义：物体在一段时间内的平均快慢程度。

3.瞬时速度

(1) 定义： Δt 非常小时， $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 叫做物体在时刻 t 的瞬时速度。（极限思想）

(2) 物理含义：表示物体在某一时刻或某一位置的快慢程度。

	平均速度	瞬时速度	瞬时速率	平均速率
定义	位移比时间	Δt 非常小时，位移比时间	瞬时速度大小	路程比时间（注意，平均速率不是平均速度的大小）
方向	位移方向	运动方向，不一定等于平均速度方向	-	-
矢量/标量	矢量	矢量	标量	标量
举例	400 米赛跑全程平均速度几乎为零	博尔特冲刺速度	汽车的“速度计”、最高限速、“冲刺速度”	百公里平均速度

4. 速度-时间图像

以瞬时速度为纵坐标，时刻为横坐标，可得到直线运动物体的速度-时间图像（简称 $v-t$ 图）。（注意： $v-t$ 图中的 v 表示物体的瞬时速度，非平均速度）。

	$x-t$ 图	$v-t$ 图
点	①与纵轴交点：出发点 ②与 t 轴交点：来到参考原点 ③拐点：运动方向改变 ④交点：相遇	①与纵轴交点：初速度 ②与 t 轴交点：运动方向改变（若跨轴） ③拐点：加速-减速的分界 ④交点：共速（并非相遇）
线	①水平直线：静止 ②倾斜直线：匀速 ③曲线：变速	①水平直线：匀速 ②倾斜直线：匀变速 ③曲线：非匀变速 靠近 t 轴减速，远离 t 轴加速
斜率	速度 v	加速度 a
面积	-	位移 x （微元法）
	均只表示直线运动	

四、速度变化快慢的描述——加速度

1.速度变化量

末速度-初速度， $\Delta v = v_t - v_0$

2.加速度

(1) 定义：速度变化量与发生这一变化所用时间之比， $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ，比值定义法。（比值定义法：各物理量相互独立，新定义物理量不随定义所涉物理量改变而改变。）

(2) 物理含义：物体速度变化的快慢

(3) 矢量性：矢量，方向与 Δv 方向相同

(4) 根据加减速判断加速度方向，或根据加速度方向判断加减速：若 a 与 v 同向，则物体加速；若 a 与 v 异向，则物体减速。

(5) 速度大与加速度大、速度增大与加速度增大的区分

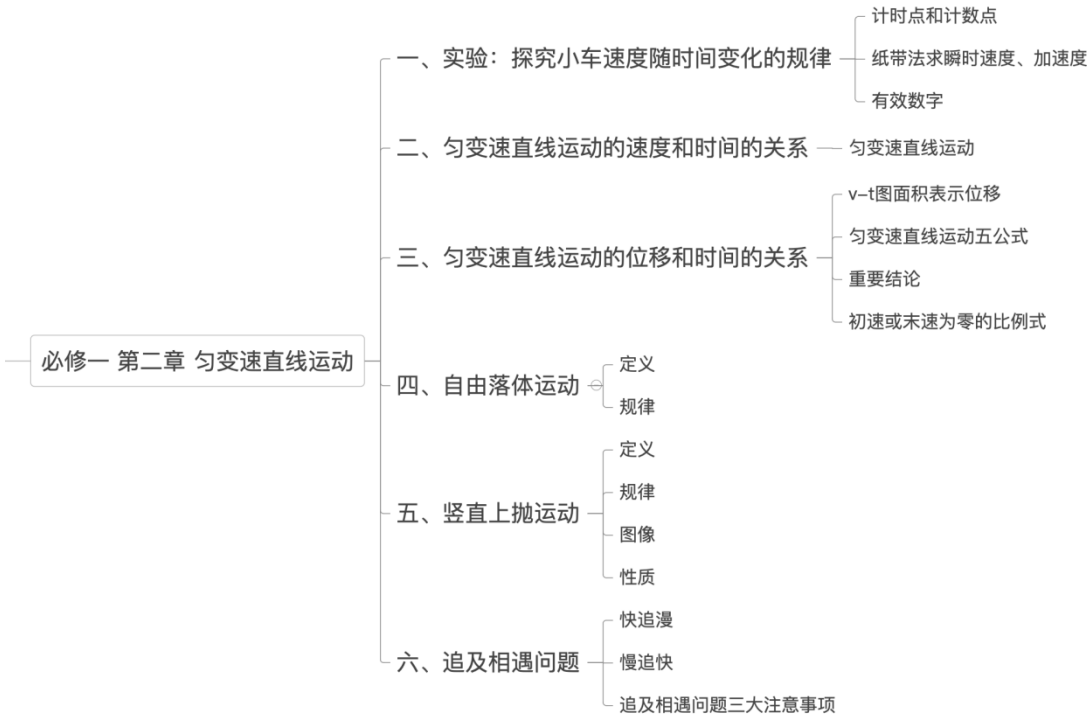
速度	大小恒定	比较大	物体运动快：匀速高铁
		比较小	物体运动慢：匀速自行车
	大小变化	增大	物体加速：小球下落
		减小	物体减速：小球上抛的上升过程
加速度	大小恒定	比较大	加速或减速得比较快：小球自由下落
		比较小	加速或减速得比较慢：小球沿斜面下落
	大小变化	增大	加速（或减速）得越来越快：小球沿外球面下滚
		减小	加速（或减速）得越来越慢：小球沿内球面下滚

(6) 速度、速度变化量与加速度的区分

	速度 v	速度变化量 Δv	加速度 a
定义	位移比时间	末速度-初速度	速度变化量比时间
物理含义	运动快慢	速度变化大小	速度变化快慢
方向	运动方向	由初末速度决定	与速度变化量方向一致
大小	三者大小无必然联系（即 v 大， Δv 不一定大， a 也不一定大）		

必修一 第二章 匀变速直线运动的研究

※内容框架



※必备知识

一、实验：探究小车速度随时间变化的规律

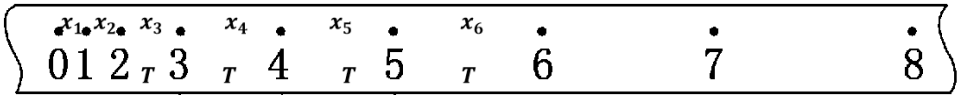
1. 计时点与计数点

计时点：纸带上原始点， $T=0.02\text{ s}$

计数点：“每隔四个点”=“每五个点”=“两个点间还有四个点没画出”， $T=0.10\text{ s}$ （前提 50Hz ）

2. 纸带法求瞬时速度、加速度

（1）求瞬时速度



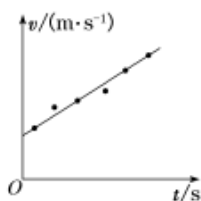
$$v_4 = \bar{v}_{35} = \frac{x_{35}}{2T}$$

（2）求加速度

①两点法：适用于只有两段的纸带（如 x_{34} 、 x_{45} 已知）

$$a = \frac{\frac{x_{34}}{T} - \frac{x_{45}}{T}}{T}$$

②作图法：适用于多段纸带。做 $v-t$ 图，让直线通过尽可能多的点，不在直线上的点均匀分布在直线的两侧，偏差比较大的点忽略不计， $a = k$ 。



③逐差法：适用于多段纸带。逐段求加速度然后取平均，如 6 段。

$$a_1 = \frac{x_4 - x_1}{3T^2}, \quad a_2 = \frac{x_5 - x_2}{3T^2}, \quad a_3 = \frac{x_6 - x_3}{3T^2}$$

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = \frac{x_4 + x_5 + x_6 - (x_1 + x_2 + x_3)}{3 \times 3T^2}$$

（分子是纸带一分为二，分母是分子下标 $\times T^2$ 。如果是 4 段，分母为 $4T^2$ 。计算时注意单位。）

3.有效数字：从左边第一个非 0 数字起，到末位数字止，所有的数字都是这个数的有效数字。1.24 和 0.00124 的有效数字是 3 位，0.001240 的有效数字是 4 位，1.796 取三位有效数字为 1.80。

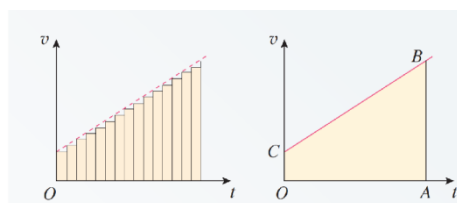
二、匀变速直线运动的速度和时间的关系

1. 匀变速直线运动

沿着一条直线，且加速度不变的运动。等价于“ $v-t$ 图是一条倾斜的直线”、“速度随时间均匀变化的直线运动”。

三、匀变速直线运动的位移和时间的关系

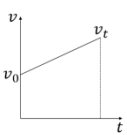
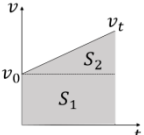
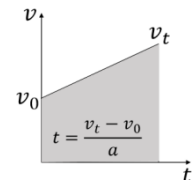
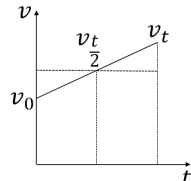
1. $v-t$ 图面积表示位移（微元法）。



$v-t$ 面积=无穷多个小矩形面积之和=无穷多段匀速直线运动位移之和

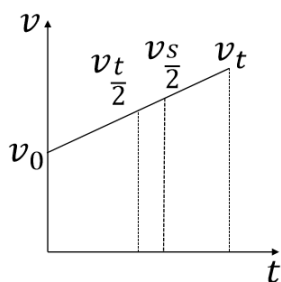
2. 匀变速直线运动五公式

	速度公式	位移公式	速度位移公式	中间时刻速度公式	位移差公式
	$v_t = v_0 + at$	$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$	$v_t^2 - v_0^2 = 2ax$	$v_{\frac{t}{2}} = \bar{v}$ $= \frac{1}{2}(v_0 + v_t)$	$\Delta x = aT^2$
数学推导	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 变形 而来	$x = S_{\text{梯}}$ $= \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t$, 代入 v_t	$t = \frac{v_t - v_0}{a}$, 代入 $x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$	$v_{\frac{t}{2}} = v_0 + a \frac{t}{2}$ $= \frac{1}{2}(v_0 + v_t)$	计算 x_m 和 x_{m+1} , 然后作 差

图像理解	 $y = kx + b$	 $x = S_{\text{梯}} = S_1 + S_2$	 $x = \frac{1}{2}(v_0 + v_t) \frac{v_t - v_0}{a}$	 $\Delta x = aT \cdot T$	
使用场景	在一段匀变速直线运动中, v_0 、 v_t 、 t 、 a 、 x 知三求二			平均速度可求的两段	等 T 的连续两段

3.重要结论

(1) 中间位置速度 $v_{\frac{s}{2}} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$, 无论加速还是减速, 均 $v_{\frac{s}{2}} > v_{\frac{t}{2}}$

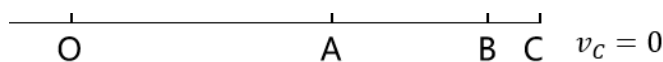


(2) 已知初末速度求位移: $x = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t$

(3) 等 T 不连续两段: $x_m - x_n = (m - n)aT^2$

4.初速或末速为零的比例式

(1) 时间等分

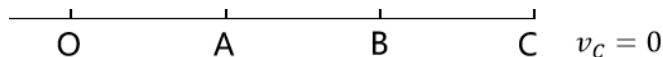


①同起点位移比 $x_{CB} : x_{CA} : x_{CO} = 1 : 4 : 9$

②相邻位移比 $x_{CB} : x_{BA} : x_{AO} = 1 : 3 : 5$

③速度比 $v_B : v_A : v_O = 1 : 2 : 3$

(2) 位移等分



①同起点时间比 $t_{CB} : t_{CA} : t_{CO} = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$

②相邻时间比 $t_{CB} : t_{BA} : t_{AO} = 1 : (\sqrt{2} - 1) : (\sqrt{3} - \sqrt{2})$

③速度比 $v_B : v_A : v_O = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$

注意: 以上比例式仅适用于初速或末速为零的情形。同时还要注意是否相邻。

小结: 匀变速直线运动公式选用技巧

一段匀变速直线运动	两段匀变速直线运动	初速或末速为零
v_0 、 v_t 、 t 、 a 、 x 知三求二	中间时刻速度或位移差公式 (公众号: 屋里学家)	比例式 (注意逆向思维)

四、自由落体运动

1. 定义：静止开始、仅受重力作用（ $v_0 = 0, a = g$ 的匀变速直线运动）

2. 规律：

（1）基本公式

	匀变速直线运动		自由落体运动
速度公式	$v = v_0 + at$	$v_0 = 0$ $a = g$	$v = gt$
位移公式	$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$		$h = \frac{1}{2} gt^2$
速度位移公式	$v^2 - v_0^2 = 2ax$		$v^2 = 2gh$

（2）推论

① 平均速度 $\bar{v} = v_t = \frac{v}{2}$

② 连续等时间间隔 T 内下落的高度差 $h_n - h_{n-1} = gT^2$

③ 比例式同初速为零的比例式。

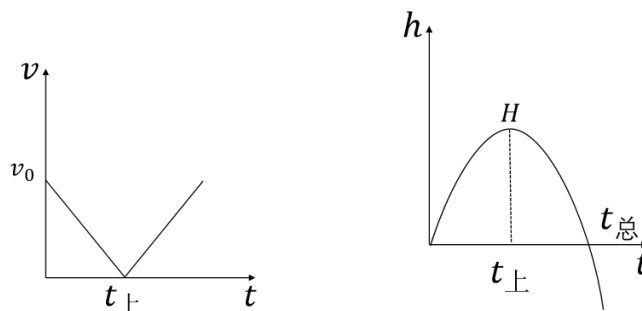
五、竖直上抛运动

1. 定义：仅在重力作用下，以一定初速度竖直向上抛出（ v_0 竖直向上, $a = -g$ 的匀变速直线运动）

2. 规律

	匀变速直线运动		竖直上抛运动
速度公式	$v = v_0 + at$	$v_0 = 0$ $a = g$	$v = v_0 - gt$
位移公式	$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$		$h = v_0 t - \frac{1}{2} gt^2$
速度位移公式	$v^2 - v_0^2 = 2ax$		$v^2 = v_0^2 - 2gh$

3. 图像



$$t_{\text{上}} = \frac{v_0}{g}, \quad t_{\text{总}} = \frac{2v_0}{g}, \quad H = \frac{v_0^2}{2g}$$

4. 性质

（1）对称性：上升和下降过程对称

（2）多解性：同一位移，最多两个时间；同一位移大小，最多三个时间

自由落体与竖直上抛结合问题，只要空中相遇：

$$\frac{1}{2} gt_{\text{遇}}^2 + v_0 t_{\text{遇}} - \frac{1}{2} gt_{\text{遇}}^2 = H, \quad \text{即} \quad t_{\text{遇}} = \frac{H}{v_0}$$

落地相遇 (即同时落地)	$t_{\text{遇}} = t_{\text{总}}, \text{ 即 } \frac{H}{v_0} = \frac{2v_0}{g}$	$v_0 = \sqrt{\frac{gH}{2}}$
最高处相遇	$t_{\text{遇}} = t_{\text{上}}, \text{ 即 } \frac{H}{v_0} = \frac{v_0}{g}$	$v_0 = \sqrt{gH}$
上升阶段相遇	$v_0 > \sqrt{gH}$	
下降阶段相遇	$v_0 < \sqrt{gH}$	

5.追及相遇问题

(1) 慢追快

一定追上，共速前距离拉大，共速后距离缩短，共速时相距最远。

(2) 快追慢

不一定追上。

共速位移差 $\Delta S_{\text{共}} < d_0$ ，追不上，共速时有最小距离。

共速位移差 $\Delta S_{\text{共}} = d_0$ ，恰好追上或恰好不相撞。

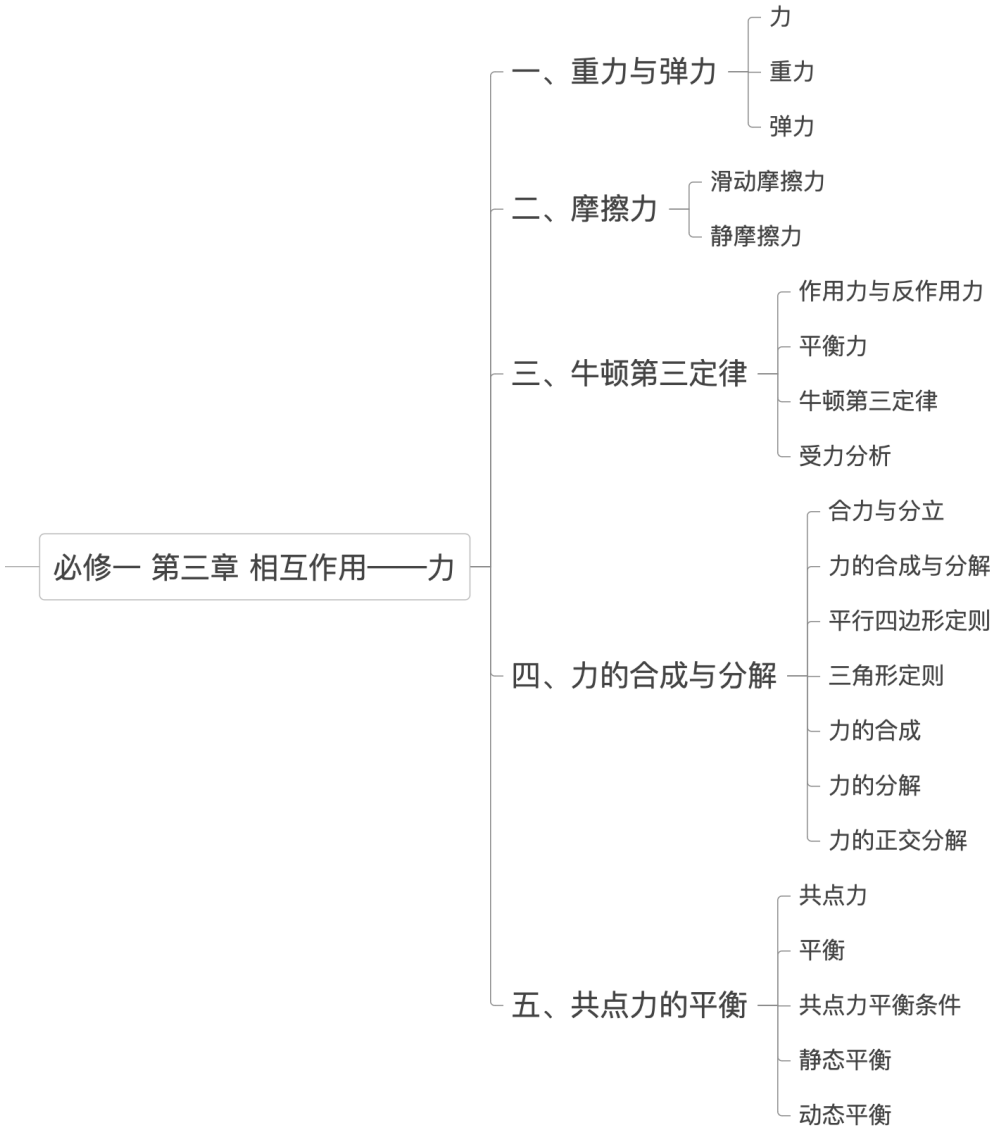
共速位移差 $\Delta S_{\text{共}} > d_0$ ，共速前追上，共速后可能有二次相遇。

(3) 追及相遇问题注意事项

- (1) 刹车陷阱
- (2) 反应时间
- (3) 速度上限

必修一 第三章 相互作用——力

※内容框架



※必备知识

一、重力与弹力

1. 力

物体间的相互作用。

- (1) 物质性：凡力必有施力物体和受力物体
- (2) 相互性：力成对出现，施力物体同时是受力物体
- (3) 三要素：大小、方向、作用点
- (4) 两效果：形变或改变物体运动状态
- (5) 表示法：力的图示、力的示意图

(6) 分类

①按性质分：重力、弹力、摩擦力、电场力、磁场力等；

②按作用效果分：拉力、压力、支持力、动力、阻力、向心力。同一性质的力可以有不同作用效果。

2.重力

(1) 定义：由于地球的吸引而使物体受到的力（公众号：屋里学家）

(2) 产生：由于地球吸引。但重力 \neq 地球引力。重力只是地球引力的分力。(3) 大小： $G = mg$ ， g 与纬度、高度有关（越近地心 g 越大），默认取 9.8N/kg (4) 方向：竖直向下。（注意：竖直向下 \neq 垂直向下 \neq 指向地心）

(5) 重心：重力等效作用点。与质量分布、形状有关，不等于几何中心，不一定在物体上（悬挂法）。

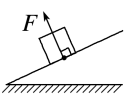
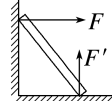
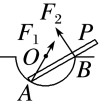

3.弹力

(1) 形变：物体在力的作用下形状或体积发生改变。微小形变观察：放大法。

(2) 定义：发生形变的物体，要恢复原状，对与它接触的物体会产生力的作用。常见的弹力有拉力、压力、支持力、推力等。

(3) 产生条件：①直接接触 ②接触处发生弹性形变

(4) 方向：指向形变恢复方向

面与面	点与平面	点与曲面	曲面与平面
			
垂直于接触面	垂直于接触面	垂直于切面	垂直于平面

①接触面压力/支持力：垂直接触面,指向受力物体

②绳拉力：沿绳，指向收缩方向。

③弹簧拉力或支持力：沿弹簧轴线，指向原长方向

④杆拉力或支持力：活杆沿杆，定杆可沿任意方向

(5) 弹簧弹力大小：胡克定律

①内容：在弹性限度内，弹簧弹力 F 大小与弹簧形变量 x 成正比。（注意： x 为形变量，非弹簧长度）

②成立条件：弹性形变（形变量在弹性限度内）。

③表达式： $F = kx$ ，推论： $\Delta F = k\Delta x$ ④劲度系数 k ： N/m （计算时注意横轴单位）

二、摩擦力

1.滑动摩擦力

(1) 定义：两个相互接触的物体，当它们相对运动时，在接触面上会产生一种阻碍相对运动的力。

(2) 产生条件：① $\mu \neq 0$ ② $N \neq 0$ ③存在相对运动（ $\Delta v \neq 0$ ）

(3) 方向：沿接触面，与相对运动方向相反。

① $f_{\text{滑}}$ 与 v 方向无必然联系（举例：搓动的双手在空中移动）② $f_{\text{滑}}$ 与 v 可同向（动力）， $f_{\text{滑}}$ 与 v 可异向（阻力）③静止的物体也可受 $f_{\text{滑}}$ (4) 大小： $f_{\text{滑}} = \mu N$ ， N 为正压力，不一定等于 mg 。

2.静摩擦力

(1) 定义：两个相互接触且相对静止的物体，当它们存在相对运动趋势时，在接触面上会产生一种阻碍相对运动趋势的力。

(2) 产生条件：① $\mu \neq 0$ ② $N \neq 0$ ③存在相对运动趋势（一种将要运动而尚未运动的状态。可假设接触面光滑来判断有无相对运动趋势。）

(3) 方向：沿接触面，与相对运动趋势方向相反。

① $f_{\text{静}}$ 与 v 方向无必然联系（举例：握在手中的瓶子在空中移动）

② $f_{\text{静}}$ 与 v 可同向（动力，比如骑自行车时后轮）， $f_{\text{静}}$ 与 v 可异向（阻力，比如骑自行车时前轮）。

③运动的物体也可受 $f_{\text{静}}$

(3) 大小：随外力改变而改变，大小和方向均可突变， $0 < f_{\text{静}} \leq f_{\text{max}}$ ， f_{max} 为最大静摩擦力（约等于滑动摩擦力）

①与压力无关。但增大压力会增大 f_{max} ，防止发生相对滑动。

②通常根据受力平衡确定 $f_{\text{静}}$ 大小。

运动方向	相对运动方向	相对运动趋势方向
相对于地面的运动方向	一个物体相对于与之接触的另一物体的运动方向	相对静止的两个物体，一个物体相对于另一物体有向某个方向运动的趋势
三者无必然联系		

三、牛顿第三定律

1. 作用力与反作用力

力的作用是相互的。一对相互作用力：①同一性质②等大反向共线③作用在不同物体。

2. 平衡力

①可以不同性质②等大反向共线③作用在同一物体上

3. 牛顿第三定律

(1) 内容：两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在同一条直线上。

(2) 表达式： $F = -F'$

(3) 适用条件：普遍成立

4. 受力分析

(1) 选定研究对象（注意整体法）

(2) 分析受力

重力	通常存在，但要注意“轻杆”、“轻绳”	竖直向下
弹力	①条件法（“恰好接触”“恰好伸长”） ②假设法（假设无弹力，能否保持当前状态）	垂直接触面（注意曲面）
摩擦力	①假设法（假设光滑，能否保持当前状态） ②平衡法（结合其他力来确定）	沿接触面，与相对运动或相对运动趋势方向相反

四、力的合成与分解

1. 合力与分力

假设一个力单独作用的效果跟某几个力共同作用的效果相同，这个力叫作合力，这几个力叫做那个力的分力。二者是等效替代关系。（注意，可以用合力代替几个分力，但不是说物体多受一个合力）。

2. 力的合成与分解

求几个力的合力叫力的合成，求一个力的分力叫力的分解。（公众号：屋里学家）

3. 平行四边形定则

两个力合成时，如果以表示这两个力的有向线段为邻边做平行四边形，这两个邻边之间的对角线就代表合力的大小和方向。

4. 三角形定则

两个力合成时，将一个力的起点移动到另一个力的终点，则从该起点指向该终点的有向线段表示合力的大小和方向。三角形定则本质是平行四边形定则。

5. 力的合成

(1) 合力与分力关系： $F_{\text{合}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$, $0 \leq \theta \leq \pi$

①分力一定时，夹角越小，合力越大

②合力一定且分力等大时，夹角越小，所需分力越小

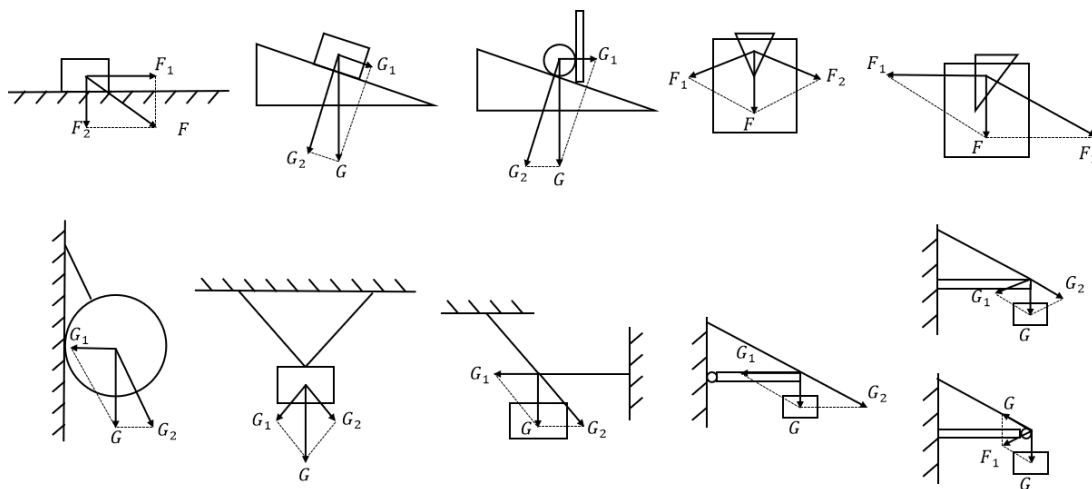
(2) 合力的大小范围： $|F_1 - F_2| \leq F_{\text{合}} \leq F_1 + F_2$ (三角形三边关系)

(3) 特殊情况的合力

情况	合力大小	合力方向
F_1 、 F_2 垂直	$F_{\text{合}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$	$F_{\text{合}}$ 与 F_1 夹角 θ 满足 $\tan \theta = \frac{F_2}{F_1}$
F_1 、 F_2 等大	$F_{\text{合}} = 2F_1 \cos \frac{\theta}{2}$, θ 为两分力夹角	$F_{\text{合}}$ 指向角平分线方向
F_1 、 F_2 等大，夹角为 120°	$F_{\text{合}} = F_1 = F_2$	$F_{\text{合}}$ 指向角平分线方向
F_1 、 F_2 等大，夹角为 60°	$F_{\text{合}} = \sqrt{3}F_1$	$F_{\text{合}}$ 指向角平分线方向

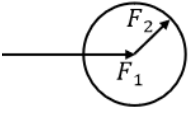
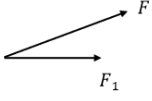
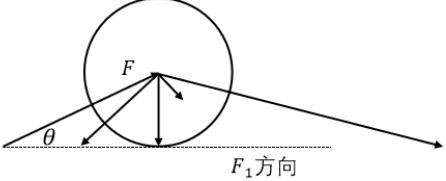
6. 力的分解

(1) 不唯一性：一个力的分解有多种可能，通常根据力的作用效果分解。

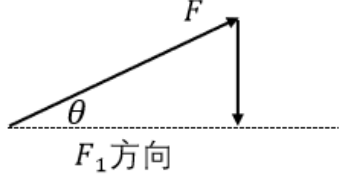
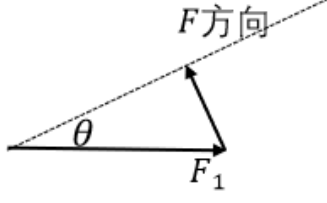
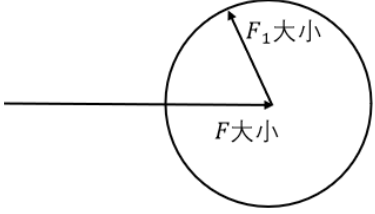


(2) 多解性： F_1 、 F_2 大小或方向未知时，可能存在多种分解结果。

已知条件	解的情况	示意图
两分力方向已知	唯一解 (公众号：屋里学家)	

两分力大小已知	$F > F_1 + F_2$, 无解 $F < F_1 - F_2 $, 无解 $F = F_1 - F_2 $, 唯一解 $F = F_1 + F_2$, 唯一解 $ F_1 - F_2 < F < F_1 + F_2$, 两解	
一分力的大小和方向已知	唯一解	
一分力方向已知, 另一分力大小已知	$F \sin \theta > F_2$, 无解 $F \sin \theta = F_2$, 唯一解 $F \sin \theta < F_2 < F$, 两解 $F_2 \geq F$, 唯一解	

(3) 最值问题:

已知条件	最值情况	示意图
F 大小和方向一定, F_1 方向已知	$F_2 \perp F_1$ 时, 最小值 $F_2 = F \sin \theta$	
F 方向一定, F_1 大小和方向已知	$F_2 \perp F$ 时, 最小值 $F_2 = F_1 \sin \theta$	
F 大小一定, F_1 大小已知	F_1 与 F 共线且反向时, 最小值 $F_2 = F - F_1 $	

7. 力的正交分解

把力沿着两个选定的互相垂直的方向分解。正交分解的目的是求多个力的合力。步骤:

- (1) 选定正交坐标系。(注意让尽可能多的力落在坐标轴上)
- (2) 求 F_{1x} 、 F_{1y} 、 F_{2x} 、 F_{2y} 等
- (3) 求 $F_{x\text{合}}$ 、 $F_{y\text{合}}$ (注意正负)

(4) 求 $F_{\text{合}}$ 和 θ

五、共点力的平衡

1. 共点力

作用线交于一点的几个力称为共点力。

2. 平衡

静止或匀速直线运动状态。注意：静止 \neq 速度为零。

3. 共点力平衡条件

$$F_{\text{合}} = 0 \Leftrightarrow F_{x\text{合}} = 0 \text{ 且 } F_{y\text{合}} = 0$$

(1) 二力平衡：等大反向共线

(2) 三力平衡：三个力组成封闭矢量三角形（注意首尾相连）。

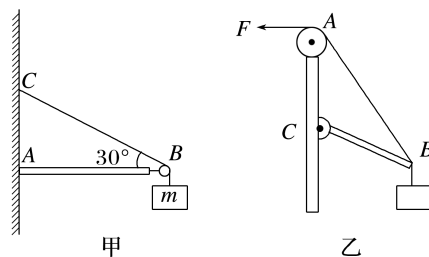
(3) 多力平衡：多个力组成封闭矢量多边形

注意：处于非平衡状态的物体，可以在某方向受力平衡，如沿斜面加速下滑的木块，垂直斜面方向受力平衡。

4. 静态平衡

分析方法	含义	举例
合成法	代求力的合力与已知力等大反向	
作用效果分解法	已知力在各方向的分力，与待求力等大反向	
正交分解法	x、y 方向合力均为零	
整体法 (多物体)	利用整体法可快速求解物体所受外力	

- 活结：当绳绕过光滑的滑轮或挂钩时，绳上的力是相等的，即滑轮只改变力的方向，不改变力的大小，如图甲，滑轮 B 两侧绳的拉力大小相等。
- 死结：若结点不是滑轮，而是固定点时，称为“死结”结点，则两侧绳上的弹力大小不一定相等，如图乙，结点 B 两侧绳的拉力大小不相等。本质是两段绳。
- 动杆：若轻杆用光滑的转轴或铰链连接，当杆平衡时，杆所受到的弹力方向一定沿着杆，否则杆会转动。如图乙所示，若 C 为转轴，则轻杆在缓慢转动中，弹力方向始终沿杆的方向。
- 定杆：若轻杆被固定，不发生转动，则杆受到的弹力方向不一定沿杆的方向，如图甲所示。

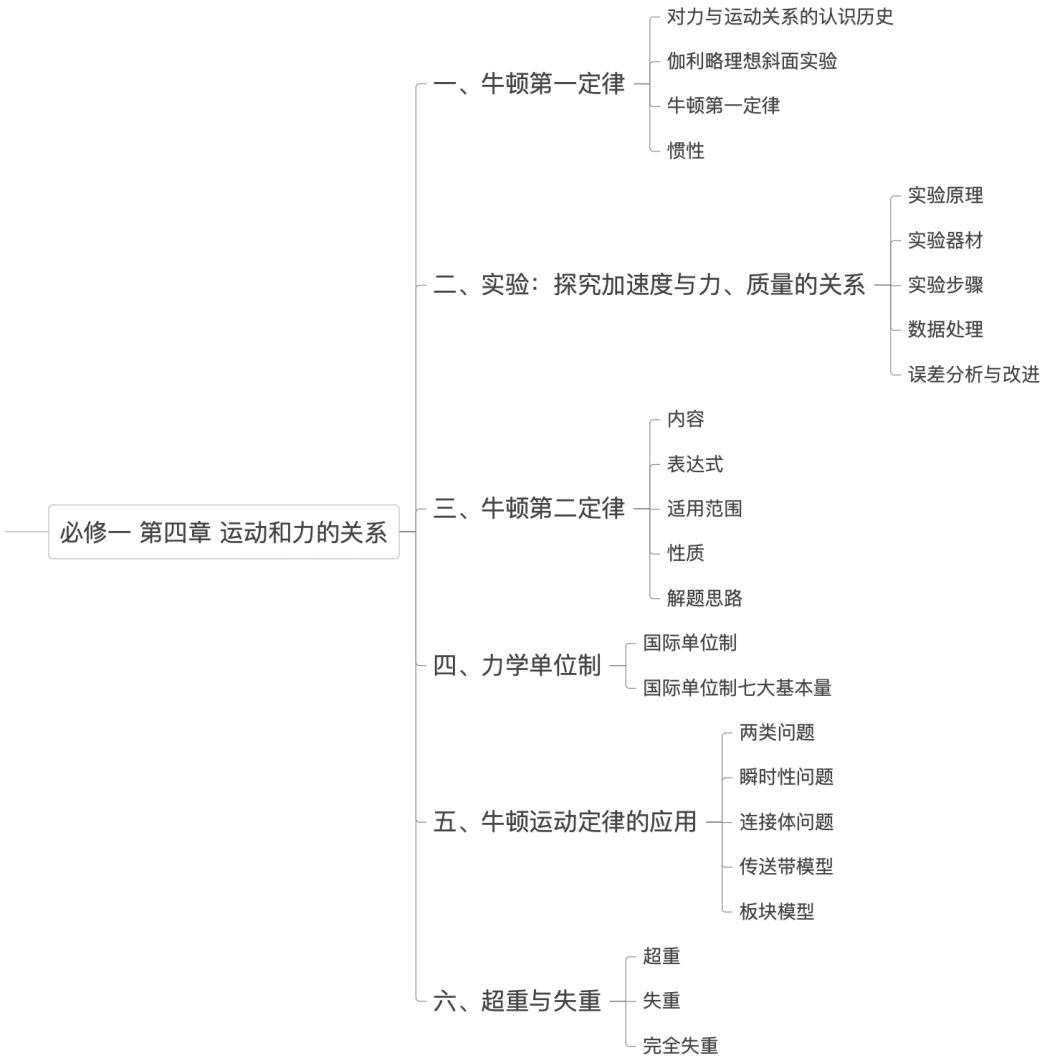


5.动态平衡

分析方法	含义	举例
解析法	建立平衡方程，求解某个力关于某个角度的关系式	
矢量三角形法 (图解法)	恒力+恒定方向的变力。各个力组成封闭矢量三角形，分析某条边转动如何影响其他边的长度。	
相似三角形法	恒力+过定点的两定长线段。几何三角形与力三角形相似，根据前者各边变化分析后者各边变化。(公众号：屋里学家)	
动态圆法	恒力+定角。旋转过程两力夹角不变，则该角为某条弦的圆周角。	

必修一 第四章 运动和力的关系

※内容框架



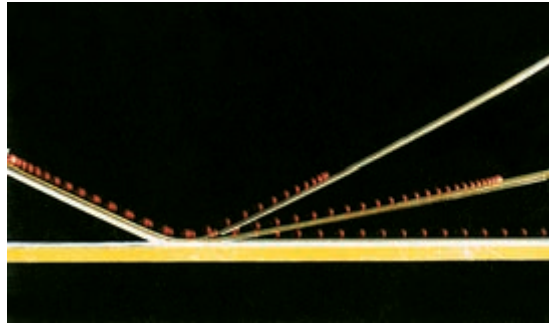
※必备知识

一、牛顿第一定律

1. 对力与运动关系的认识历史

- (1) 亚里士多德：力是维持运动的原因
- (2) 伽利略：力不是维持运动的原因，如果没有摩擦，运动的物体将一直运动
- (3) 笛卡尔：没有力的作用，运动物体将一直做匀速直线运动
- (4) 牛顿：牛顿第一定律

2. 伽利略理想斜面实验



实验（理想实验）+逻辑推理：力不是维持物体运动的原因。

3. 牛顿第一定律

（1）内容：一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态（称作惯性），除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。亦称惯性定律。

（2）成立条件：惯性系。（惯性系：不受力物体保持静止或匀速直线运动状态的参考系，如地面、相对地面静止或匀速直线运动的物体。）

（3）注意：理想状态下的定律，不能实验直接验证

4. 惯性

（1）定义：物体保持匀速直线运动状态或静止状态的性质

（2）物体的固有属性，只跟质量有关，与受力、速度、所处位置无关

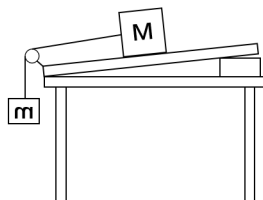
（3）物体受合外力为零时，惯性表现为保持静止或匀速直线状态；物体受合外力不为零时，惯性表现为运动改变的难易程度。

二、实验：探究加速度与力、质量的关系

1. 实验原理（控制变量法）

（1）保持小车质量 M 不变，测量 a 与 F

（2）保持小车所受合外力 F 不变，测量 a 与 M



2. 实验器材

（1）测 a ：交流电源、导线、打点计时器、纸带、小车、细绳、槽码、一端带定滑轮的长木板、夹子、毫米刻度尺、木块

（2）测 F ： F 为小车受到的合外力，即 $F = T + mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta$ ，当平衡摩擦使 $\tan \theta = \mu$ 时， $F = T$ 。在本实验中，当 $m \ll M$ 时， $T \approx mg$ 。因此，可以用天平测 m ，近似代替 F 。

（3）测 M ：天平

3. 实验步骤

①测小车质量 M

②组装实验器材

③平衡摩擦。后续实验无需再次平衡摩擦。

④测不同 F 下的 a

⑤控制 F 不变（槽码数量不变），测不同 M 下的 a

4. 数据处理

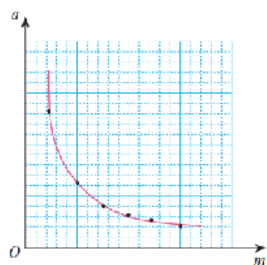


图 4.2-4 双曲线

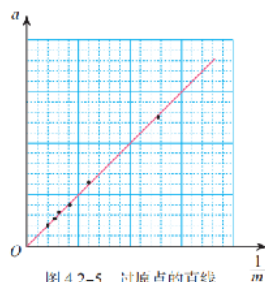


图 4.2-5 过原点的直线

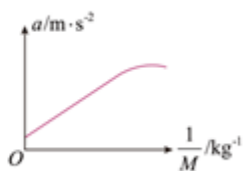
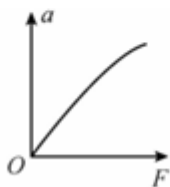
实验结论: (1)质量 M 不变时, 物体的加速度 a 与所受外力 F 成正比, 即 $a \propto F$; (2)力 F 不变时, 物体的加速度 a 与质量 M 成反比, 即 $a \propto 1/M$;

5. 误差分析与改进

(1) 误差来源:

①摩擦力。 $F = T + mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta$, 当平衡摩擦时 $\tan \theta \neq \mu$ 时, $F \neq T$ 。

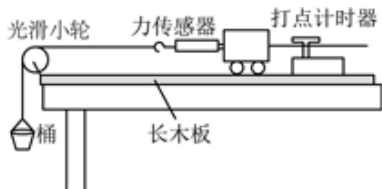
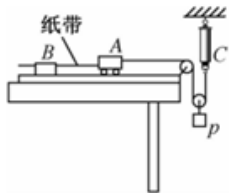
②拉力测量误差。质量关系未满足 $m \ll M$, 表现为 $a - F$ 图和 $a - \frac{1}{M}$ 图向下弯曲。



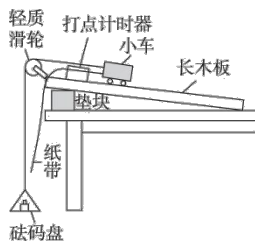
(2) 实验改进:

①减小摩擦力。气垫导轨代替长木板, 此时无需平衡摩擦。

②利用弹簧测力计 (和滑轮) 或力传感器直接测量拉力。



④断绳法。挂上托盘和砝码, 改变木板的倾角, 使质量为 M 的小车拖着纸带沿木板匀速下滑。然后取下托盘和砝码, 测出其总质量为 m , 让小车沿木板下滑, 测出加速度 a ;



三、牛顿第二定律

1. 内容: 物体加速度的大小跟它受到的作用力成正比, 跟它的质量成反比, 加速度的方向跟作用力的方向相同。

2. 表达式: $F = kma$, F 、 m 、 a 的单位分别取 N 、 kg 和 m/s^2 时, $k = 1$ 。

3. 适用范围: 只适用于惯性参考系, 只适用于宏观低速运动。

4. 性质:

(1) 因果性: F 决定 a , 合外力不为零必产生加速度, 有加速度可推断合外力不为零。

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	$a = \frac{F}{m}$
---------------------------------	-------------------

定义式, a 不随 Δv 、 Δt 改变而改变决定式, 改变物体 a 的因素只有: F 和 m (2) 瞬时性: a 随 F 同时产生、同时变化、同时消失。(3) 矢量性: F 方向与 a 方向一致, F 和 a 的合成与分解满足平行四边形法则。(4) 同体性: F 、 m 、 a 要对应同一物体、同一系统。(5) 独立性: 作用在物体上的每一个 F 与所产生的 a 遵循本定律; F 所产生的 a 在各个方向遵循本定律。

5. 解题思路:

① 选定研究对象 (注意整体法的使用)

② 受力分析 (注意判断 $F_{\text{合}}$ 的方向, $F_{\text{合}}$ 方向与 a 方向一致)③ 沿 x 、 y 方向列牛二方程 (注意正负号)

④ 计算结果

四、力学单位制

1. 国际单位制

(1) 基本量

(2) 导出量: 由基本量根据物理关系推导得来的其他物理量, 如速度、加速度等。

2. 国际单位制的七大基本量

物理量名称	符号	单位
长度	l	米 (m)
质量	m	千克 (kg)
时间	t	秒 (s)
电流	I	安 (A)
热力学温度	T	开 (K)
物质的量	$n(\nu)$	摩 (mol)
发光强度	$I(I_V)$	坎 (cd)

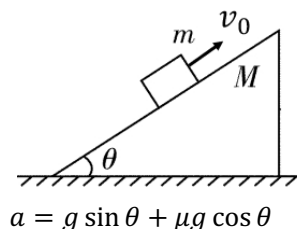
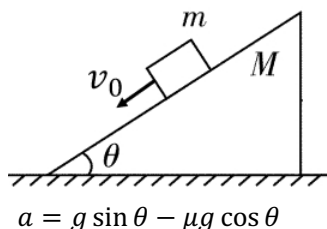
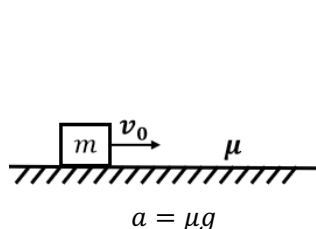
单位运算可检验物理结果表达式的正误。

五、牛顿运动定律的应用

1. 两类问题

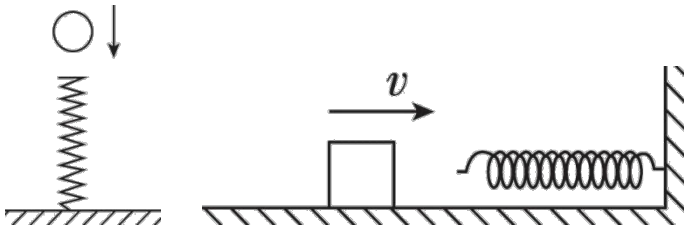
(1) 已知受力求运动

(2) 已知运动求受力



2. 瞬时性问题

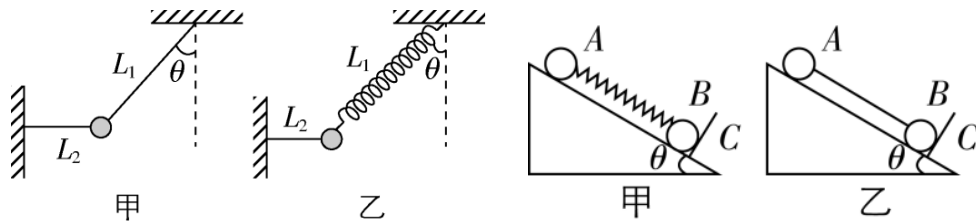
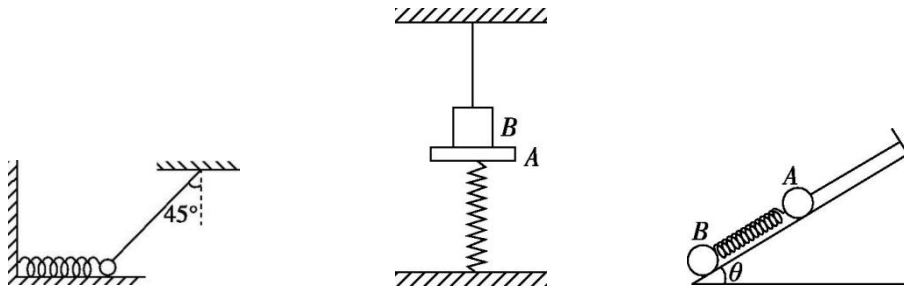
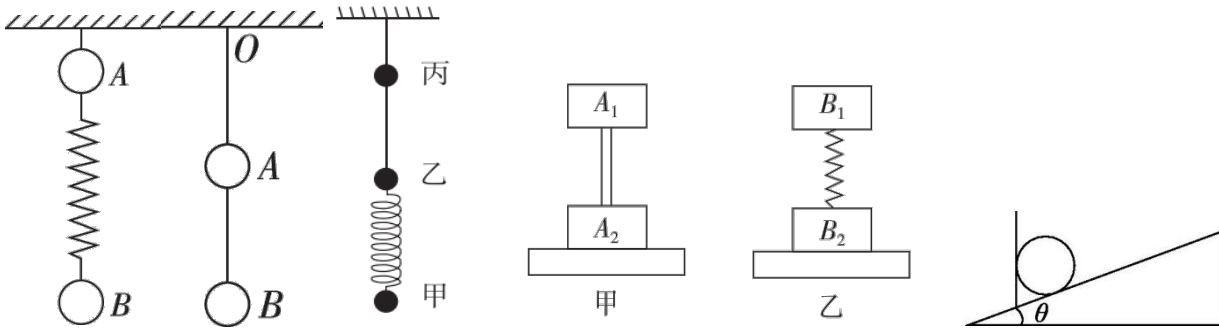
(1) 变力产生的瞬时加速度



(2) 绳杆弹簧的突变

①绳、杆、接触面：形变不明显，其他力撤去瞬间弹力可突变，立即消失或改变（取决于运动趋势）。

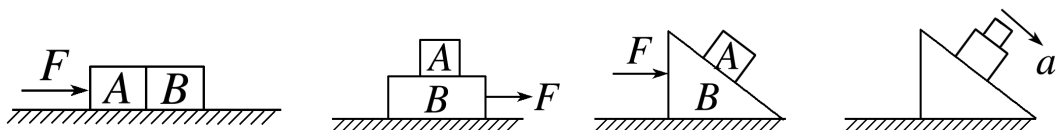
②弹簧、橡皮筋：形变明显，其他力撤去瞬间弹力不可突变，瞬间保持不变。



3. 连接体问题

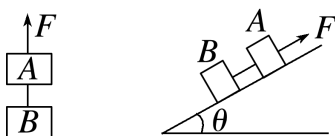
 对于加速度有关系的两物体（有共同加速度或加速度大小相等）：先整体，后隔离， $a_{共}$ 和 $F_{内}$ 可求。

(1) 物物叠放连接体：两物体通过弹力、摩擦力作用，具有相同的速度和加速度

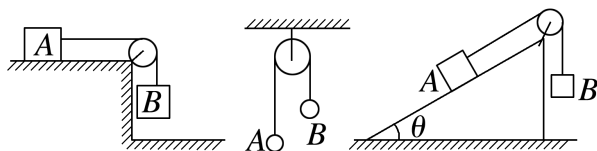


速度、加速度相同

(2) 轻绳连接体：轻绳在伸直状态下，两端的连接体沿绳方向的速度总是相等。

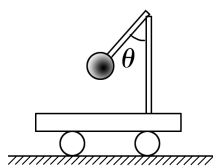


速度、加速度相同



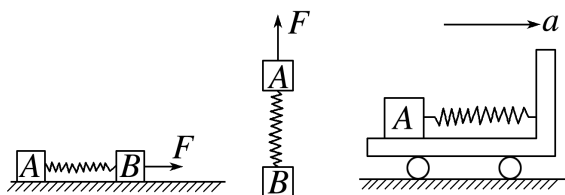
速度、加速度大小相等，方向不同

(3) 轻杆连接体：轻杆平动时，连接体具有相同的平动速度。



速度、加速度相同

(4) 弹簧连接体：在弹簧发生形变的过程中，两端连接体的速度、加速度不一定相等；在弹簧形变最大时，两端连接体的速度、加速度相等。



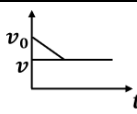
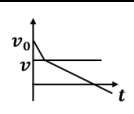
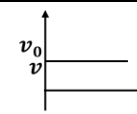
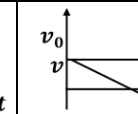
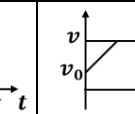
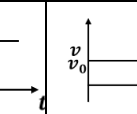
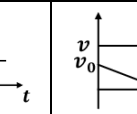
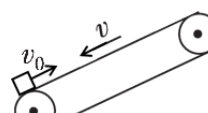
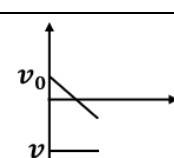
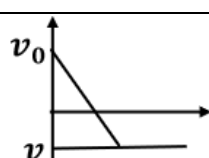
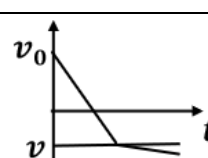
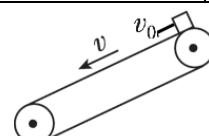
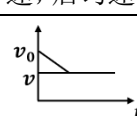
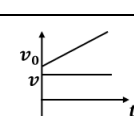
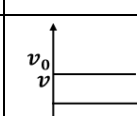
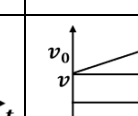
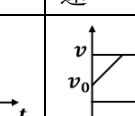
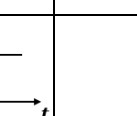
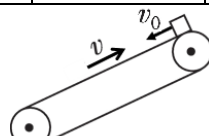
4. 传送带模型

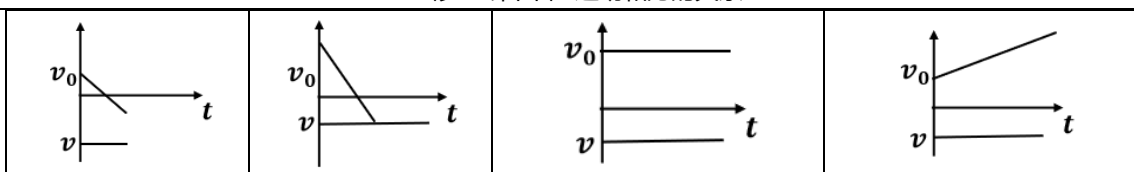
(1) 水平传送带

同向进入		① $v_0 > v$ 时，可能一直减速（不够长），也可能先减速后匀速（足够长） ② $v_0 = v$ 时，一直匀速 ③ $v_0 < v$ 时，先加速后匀速（足够长）
异向进入		① 可能一直减速（不够长） ② 可能先减速至零（足够长），后反向加速至 $\min\{v_0, v\}$ （公众号：屋里学家）

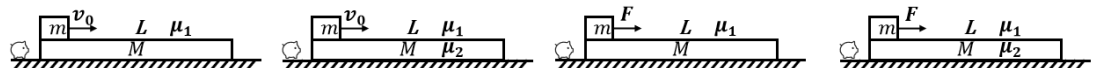
(2) 倾斜传送带

① 同向上坡						
$v_0 > v$		$v_0 = v$		$v_0 < v$		
减速至共速		-		-		
$\mu \geq \tan \theta$	$\mu < \tan \theta$	$\mu \geq \tan \theta$	$\mu < \tan \theta$	$\mu > \tan \theta$	$\mu = \tan \theta$	$\mu < \tan \theta$

共速后匀 速	共速后继 续减速	一直匀速	减速至零， 后反向加速	加速至共 速，后匀 速（特 例 $v_0=0$ ）	一直匀速	减速至零， 后反向加 速
						
②异向上坡						
						
减速至零，后反向加速						
$v_0 \leq v$		$v_0 > v$				
加速至 $-v_0$		加速至共速				
		$\mu \geq \tan \theta$		$\mu < \tan \theta$		
		共速后匀速		共速后加速		
						
③同向下坡						
						
$v_0 > v$		$v_0 = v$		$v_0 < v$		
-		-		加速至共速		
$\mu > \tan \theta$	$\mu < \tan \theta$	$\mu \geq \tan \theta$	$\mu < \tan \theta$	$\mu \geq \tan \theta$	$\mu < \tan \theta$	
减速至共 速，后匀 速	一直加速	一直匀速	一直加速	共速后匀 速	共速后继续加速	
						
④异向下坡						
						
$\mu \geq \tan \theta$			$\mu = \tan \theta$		$\mu < \tan \theta$	
$v_0 \leq v$		$v_0 > v$		-		-
减速至零，后反向 加速至 v_0		减速至零，后反向 加速至 v		一直匀速		一直加速



5. 板块模型

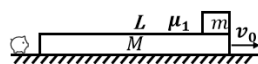
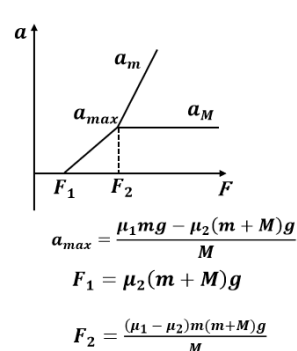
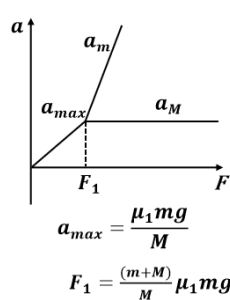
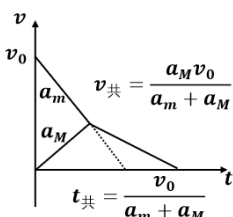
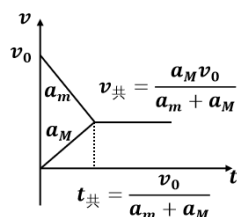


m有初速度，地面光滑

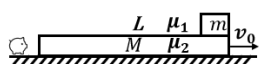
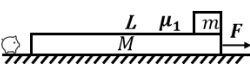
m有初速度，地面粗糙

m受外力，地面光滑

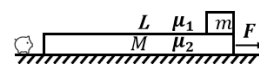
m受外力，地面粗糙



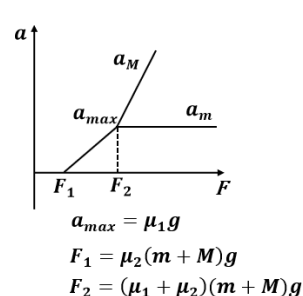
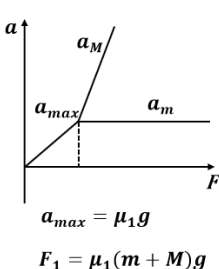
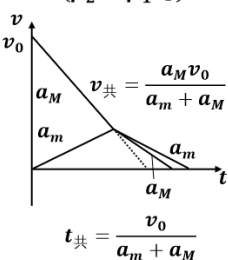
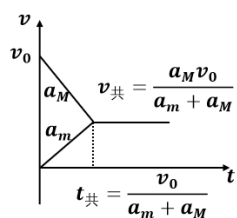
M有初速度，地面光滑


 M有初速度，地面粗糙
($\mu_2 > \mu_1$ 时)


M受外力，地面光滑



M受外力，地面粗糙



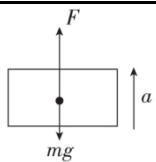
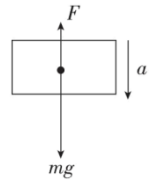
六、超重和失重

 1. 超重：对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）> 重力， a 向上

 2. 失重：对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）< 重力， a 向下

 3. 完全失重：对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）= 0，此时 $a = g$ 。完全失重下，因重力产生的现象消失（天平无法称重、浮力消失、液体压强消失）。

状态	受力	加速度	速度	举例
平衡		$a = 0$	$v = 0$ 或 匀速	静止在地面上的人

超重		a 向上	v 向上，加速 v 向下，减速	向上加速提起的水桶
失重		a 向下	v 向上，减速 v 向下，加速	水桶无束缚掉落 (完全失重)

必修二 第五章 抛体运动

※内容框架



※必备知识

一、曲线运动

1.曲线运动条件

$F_{合}$ 与 $v_{合}$ 不共线

2.曲线运动的特点

- (1) 速度特点：沿该点切线方向，方向时刻变化
- (2) 受力特点：指向轨迹凹侧。力的方向、大小不一定变
- (3) 轨迹特点：夹于力与速度之间，最终趋向于力的方向

3.曲线运动的分类

- (1) 匀变速曲线运动： $F_{合}$ 恒定，但与 v_0 不共线
- (2) 变加速曲线运动： $F_{合}$ 大小或方向改变

4.运动的判断

情形	结果
----	----

匀速直线+匀速直线	匀速直线
匀速直线+匀变速直线	匀变速曲线
初速为零的两匀变速直线运动	匀变速直线运动
初速不为零的两匀变速直线运动	判断与 $a_{\text{合}}$ 与 $v_{\text{合}}$ 是否共线

二、运动的合成与分解

1.合运动与分运动：“蜡块相对于黑板向右上方的运动叫作合运动。”“蜡块沿玻璃管向上的运动和它随着玻璃管向右的运动，都叫作分运动。”

2.运动的合成与分解

(1) 运算法则：平行四边形定则/三角形定则

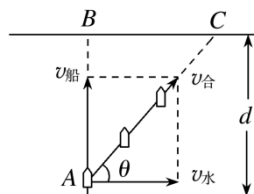
(2) 特性：等效性、等时性、独立性、同体性

3.关联速度问题

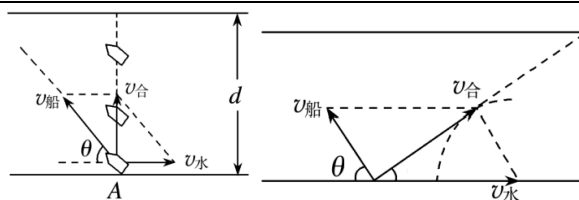
(1) 绳杆关联 (公众号：屋里学家)			
$v_{\text{物}} \cos \theta = v$	$v_A \cos \theta = v_B$	$v_{\text{物}} \cos \theta = v'_{\text{物}} \cos \alpha$	$v_A \cos \beta = v_B \cos \alpha$
(2) 接触关联			

4.小船渡河问题

(1) 最短时间： $v_{\text{船}} \perp v_{\text{水}}$ 时



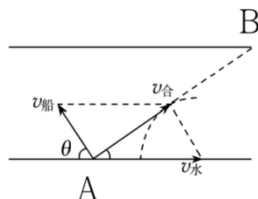
(2) 最短航程



若 $v_{\text{船}} > v_{\text{水}}$, $\cos \theta = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}$ 时, $x_{\min} = d$, $v_{\text{合}} = v_{\text{船}} \sin \theta$, $t = \frac{d}{v_{\text{合}}}$

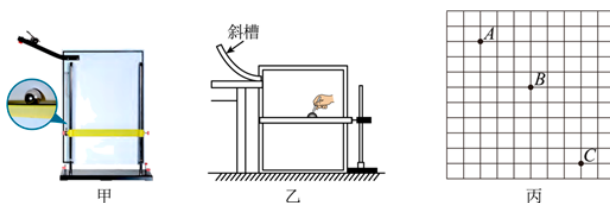
若 $v_{\text{船}} < v_{\text{水}}$, “相切”即 $\cos \theta = \frac{v_{\text{船}}}{v_{\text{水}}}$ 时, $x_{\min} = \frac{d}{\cos \theta} = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}} d$, $t = \frac{d}{v_{\text{船}} \sin \theta}$

(3) 最小船速



要从 A 抵达定点 B, 船速最小为 $v_{\text{船min}} = v_{\text{水}} \cos \theta$

三、实验：研究抛体运动的特点



1. 实验注意事项

- (1) 斜槽末端的切线水平
- (2) 小球释放处要求位于同一位置
- (3) 背板位于竖直面内
- (4) 坐标原点非槽口端点, 而是小球出槽口时球心在背板的投影点
- (5) 小球释放的位置要高度适中

2. 数据处理

(1) 时间计算:

$$t_{AB} = t_{BC} = \sqrt{(h_{BC} - h_{AB})/g}$$

(3) 速度计算

$$v_0 = v_{Bx} = \frac{x_{AB}}{t_{AB}}, \quad v_{By} = \frac{h_{AC}}{2t_{AB}}$$

(4) 抛出坐标计算

$$t_B = \frac{v_{By}}{g}, \quad x_O = x_B - v_{Bx}t_B, \quad y_O = y_B - \frac{1}{2}gt_B^2$$

四、抛体运动的规律

1. 抛体运动

(1) 定义：以一定初速度在空中抛出，仅受重力作用的运动

(2) 分类

	分类	初速度	加速度	特点
v_0 与 a 共线	竖直上抛运动	v_0 竖直向上	g	匀变速直线运动
	竖直下抛运动	v_0 竖直向下		
v_0 与 a 不共线	平抛运动	v_0 水平		水平匀速，竖直自由落体
	斜上抛运动	v_0 倾斜向上		水平匀速，竖直上抛
	斜下抛运动	v_0 倾斜向下		水平匀速，竖直下抛

2. 平抛运动

 (1) 水平： $v_x = v_0$ ， $x = v_0 t$

 (2) 竖直： $v_y = gt$ ， $y = \frac{1}{2}gt^2$ （竖直位移定时间）， $\Delta v = g\Delta t$

 (3) 合运动： $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}$ ， $\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{1}{2} \frac{gt}{v_0}$ ， $y = \frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0}\right)^2$

 (4) 两推论：① $\tan \theta = 2 \tan \alpha$ ②速度反向延长过水平位移中点

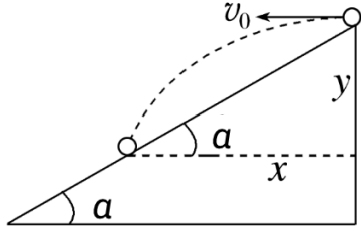
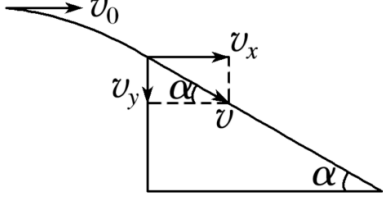
3. 斜抛运动

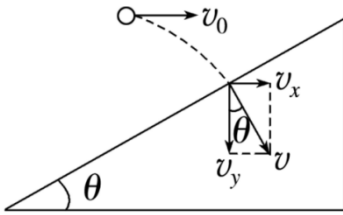
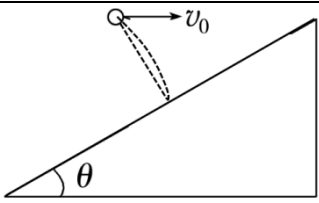
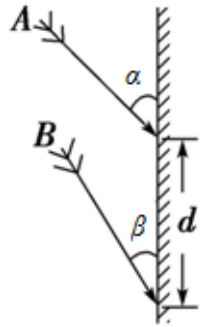
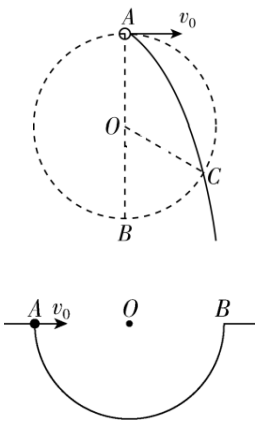
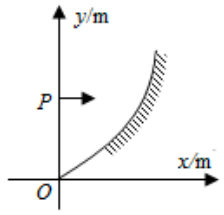
 (1) 水平： $v_x = v_0 \cos \theta$ ， $x = v_0 \cos \theta t$

 (2) 竖直： $v_y = v_0 \sin \theta - gt$ ， $y = v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2}gt^2$

 (3) 飞行时间 $T_{\text{上}} = T_{\text{下}} = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$ ，射高 $H = \frac{(v_0 \sin \theta)^2}{2g}$ ，射程 $X = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$ （有最值）

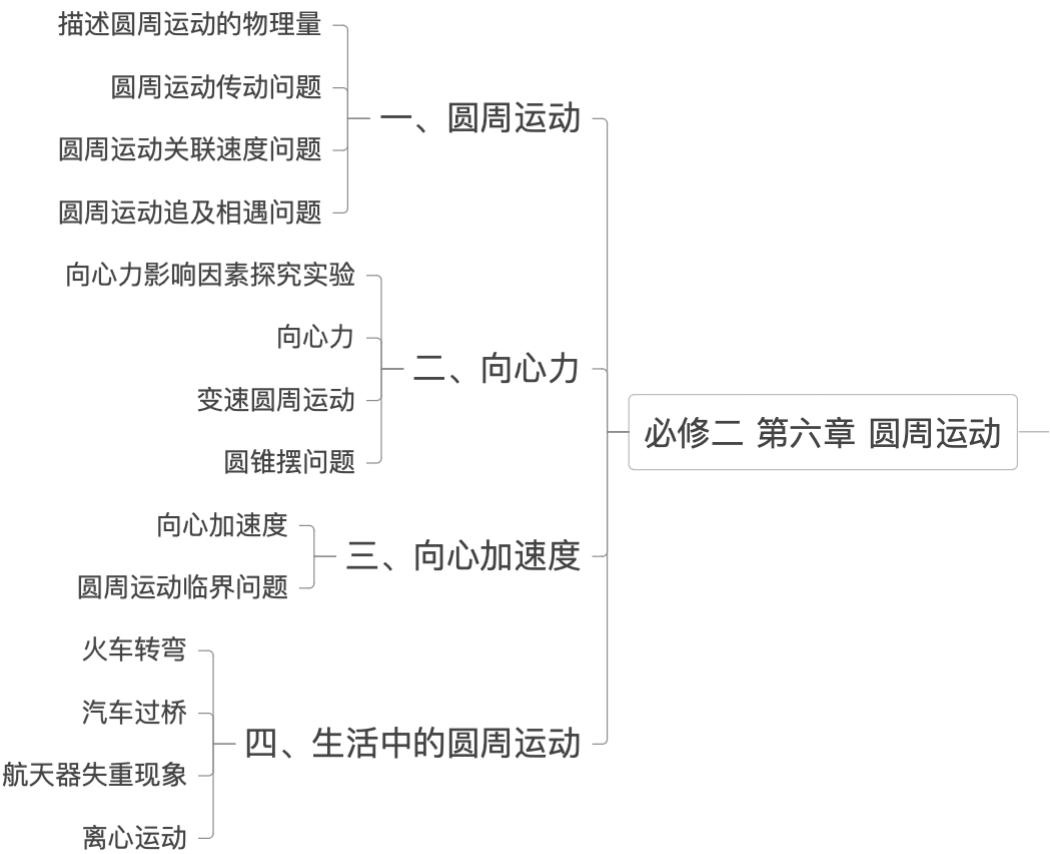
4. 有约束的抛体运动

	示意图	约束关系
自斜面落入斜面		位移方向已知 $\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t}$ α, v_0, t 知二求一 (1) 不同 v_0 末速度均平行 (2) 离斜面最远距离 $d = \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g \cos \alpha}$
自空中切入斜面		速度方向确定 $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}$ α, v_0, t 知二求一

自空中垂直落入斜面		速度方向确定 $\tan(90^\circ - \theta) = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}$ θ, v_0, t 知二求一
自空中以最小位移落入斜面		位移方向确定 $\tan(90^\circ - \theta) = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}$ θ, v_0, t 知二求一
落入竖直墙壁		反向延长过中点。 $\frac{\frac{1}{2}L}{\tan \alpha} - \frac{\frac{1}{2}L}{\tan \beta} = d, L \text{ 可求}$ y_A, y_B 可求 触壁速度有最小值
落入圆面		水平位移和竖直位移存在约束 最高点抛出： $\left(\frac{1}{2}gt^2 - R\right)^2 + (v_0t)^2 = R^2$ 圆心等高点抛出： $\left(\frac{1}{2}gt^2\right)^2 + (v_0t - R)^2 = R^2$
落入抛物线界面		落点坐标 $(v_0t, h - \frac{1}{2}gt^2) \in y = y(x)$, t 可求 触壁速度有最小值

必修二 第六章 圆周运动

※ 内容框架



※ 必备知识

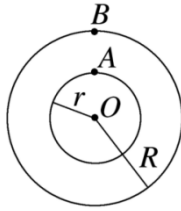
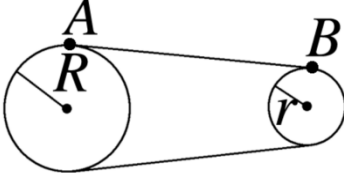
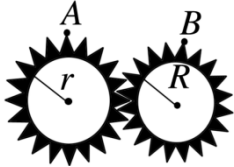
一、圆周运动

1. 描述圆周运动的物理量

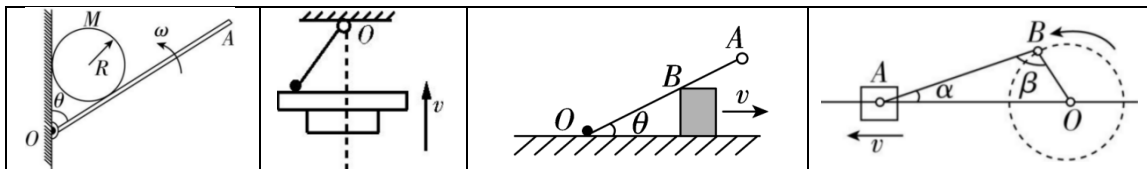
	线速度 v	角速度 ω	周期 T 、频率 f 、转速 n
定义	弧长与时间之比	角度与时间之比	周期：圆周运动一周所用时间 频率：单位时间圆周运动的次数 转速：单位时间圆周运动的圈数
单位	m/s	rad/s	—
表达式	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T}$	$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$	$T = \frac{2\pi r}{v}, \text{ s}$ $f = \frac{1}{T}, \text{ Hz}$ $n = f \text{ (n 单位取 r/s 时)}$

关系	$v = \omega r = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f$ (讨论正比反比关系时要控制变量)
匀速圆周运动	匀速圆周运动=线速度大小不变的圆周运动=角速度不变的圆周运动=向心加速度大小不变的圆周运动

2. 圆周运动传动问题

同轴转动	皮带传动	齿轮传动
		
角速度相等, $v \propto r$	线速度相等, $\omega \propto \frac{1}{r}$	线速度相等, $\omega \propto \frac{1}{r}$
地面物体与同步卫星	自行车链条前后齿轮	机械手表机芯

3. 圆周运动关联速度问题



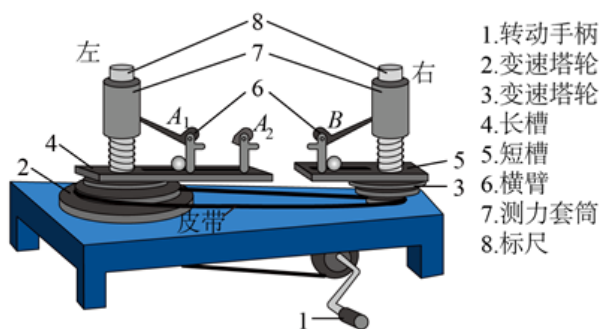
4. 圆周运动追及相遇问题

$$\theta_{快} - \theta_{慢} = \pi \text{ 或 } 2\pi + 2k\pi, k = 0, 1, 2, \dots$$

$$\theta_{快} - \theta_{慢} = \omega_{快}t - \omega_{慢}t$$

二、向心力

1. 向心力影响因素探究实验



控制变量法

2. 向心力

(1) 定义: 做匀速圆周运动的物体所受的合力总指向圆心, 这个指向圆心的力称为向心力。

 (2) 表达式: $F_n = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m\omega v$

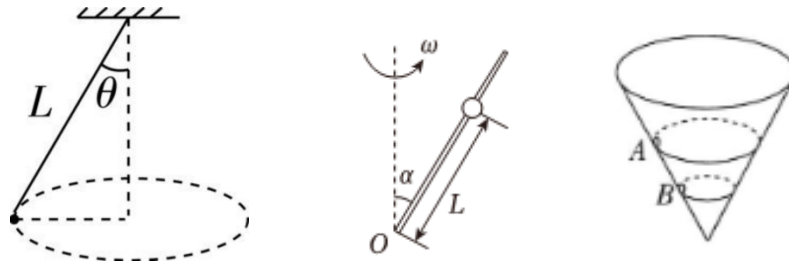
(3) 方向: 匀速圆周运动向心力始终指向圆心, 改变速度的方向 (不改变速度大小)

(4) 特点：效果力，非某一性质力，可以是几个力的合力，也可以是某个力的分力

3. 变速圆周运动

	匀速圆周运动	变速圆周运动
速度特点	线速度大小不变	线速度大小改变
受力特点	$F_{\text{合}}$ 指向圆心	$F_{\text{合}}$ 不指向圆心。 $\vec{F}_{\text{合}} = \vec{F}_n + \vec{F}_\tau$ 法向分力 F_n ：改变速度方向， $F_n = m \frac{v^2}{r}$ 。圆周运动速度为 0 时，物体所受合力沿切线。 切向分力 F_τ ：改变速度大小。
举例	圆锥摆	绳子所连物体在竖直面内圆周运动
联系	$F_n = m \frac{v^2}{r}$ 均适用	

4. 圆锥摆模型



- (1) 拉力 $T \cos \theta = mg$
- (2) 向心力 $F_n = T \sin \theta = mg \tan \theta$, $a_n = g \tan \theta$
- (3) 角速度 $mg \tan \theta = m \omega^2 l \sin \theta$, 即 $g = \omega^2 h$, ω 和 h 一一对应
- (4) 角度 $\cos \theta = \frac{g}{\omega^2 l}$

三、向心加速度

1. 向心加速度

(1) 定义：物体做匀速圆周运动时的加速度总指向圆心，这个加速度叫做向心加速度。

(2) 表达式： $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \omega v$

2. 圆周运动临界问题

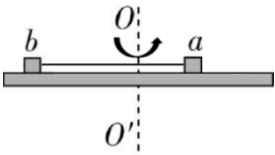
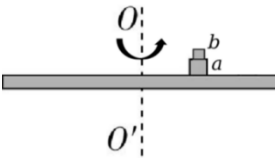
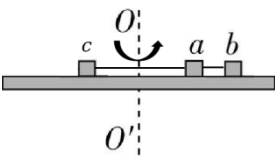
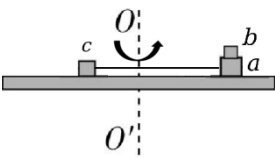
(1) 竖直圆周运动临界问题

	轻绳模型	轻杆模型
示意图		
最高点受力	$mg + F = m \frac{v^2}{r}$	$mg + F = m \frac{v^2}{r}$ $F > 0$, 则与 mg 同向, 为拉力/外壁支持力 $F < 0$, 则与 mg 反向, 为支持力/内壁支持力

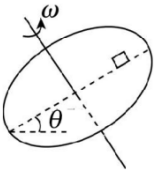
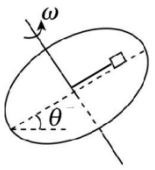
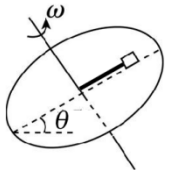
最高点临界速度	$F=0$ 时, $v_{\min} = \sqrt{gr}$	$v_{\min} = 0$
最低点受力	$F - mg = m \frac{v^2}{r}$	$F - mg = m \frac{v^2}{r}$
$F - v^2$ 图		

(2) 水平圆周运动临界问题

情形	示意图	ω 从零开始增大	临界情况
单个物体		$f_{\text{静}}$ 增大到 f_{\max}	$\mu mg = m\omega^2 r$ $\omega = \sqrt{\mu g/r}$
		T 增大, N 减小 $T \sin \theta = mg$, 物体起飞	$\frac{mg}{\tan \theta} = m\omega^2 l \cos \theta$
		T_1 随物体上升而增大, T_2 绳绷紧后, T_1 不变	$\frac{mg}{\tan \theta} = m\omega^2 l \cos \theta$
		T 增大, N 减小 $T \cos \theta = mg$, 物体起飞	$mg \tan \theta = m\omega^2 l \sin \theta$
两个物体		f_a 、 f_b 增大, 达到最大静摩擦力后开始滑动	$\mu_a m_a g = m_a \omega_a^2 r_a$ $\mu_b m_b g = m_b \omega_b^2 r_b$ 比较 μ_a 、 μ_b
		$(\mu_a = \mu_b)$ f_a 、 f_b 增大, f_b 先达到 f_{\max} , 拉力产生, 使 f_a 达到 f_{\max} , 后 a 、 b 滑动	拉力恰好产生: $\mu m g = m \omega_1^2 r_b$ ab 恰好滑动: $\mu m_a g - T = m_a \omega_2^2 r_a$ $T + \mu m_b g = m_b \omega_2^2 r_b$

	异侧 相连		$(\mu_a = \mu_b)$ f_a, f_b 增大, f_b 先达到 f_{max} , 拉力产生, 使 f_a 减小, f_a 减小到零后反向增大至 f_{max}	拉力恰好产生: $\mu m g = m \omega_1^2 r_b$ f_a 恰好为零: $\mu m g + T = m \omega_2^2 r_b$ $T = m \omega_2^2 r_a$ ab 恰好滑动: $T - \mu m_a g = m_a \omega_3^2 r_a$ $T + \mu m_b g = m_b \omega_3^2 r_b$
	同侧 叠放		f_a, f_b 增大, 哪个先达到 f_{max} 取决于 μ_a, μ_b (公众号: 屋里学家)	b 先滑: $\mu_b m_b g = m_b \omega_b^2 r$ ab 整体滑: $\mu_a m_{总} g = m_{总} \omega_{总}^2 r$
三个 物体	异侧 相连		$(\mu_a = \mu_b = \mu_c)$ f_a, f_b, f_c 增大, f_b 达 f_{max} 产生 T_{ab} . T_{ab} 使 f_a 达 f_{max} 产生 T_{ac} , T_{ac} 使 f_c 减小到零, 反向增大到 f_{max} , 后 abc 整体滑动	T_{ab} 产生: T_{ac} 产生: f_c 减小到零: abc 整体滑
	异侧 叠放 相连		f_a, f_b, f_c 增大, 哪个先达到 f_{max} 取决于 μ_a, μ_b, μ_c	b 先滑: $\mu_b m_b g = m_b \omega_b^2 r_b$ abc 整体滑: $T + \mu_a (m_a + m_b) g = (m_a + m_b) \omega_{总}^2 r_a$ $T - \mu_c m_c g = m_c \omega_{总}^2 r_c$
小结: 临界情况出现的标志 (1) 摩擦力: 恰好绳子伸直或恰好相对滑动时, $f_{静}$ 达到 f_{max} (2) 绳: 恰好伸直 (T 为零) 时 (3) 接触面: N 恰好为零 (4) 杆: 作用力 (拉力或支持力) 恰好为零				

(3) 倾斜圆周运动临界问题

	摩擦力模型	轻绳模型	轻杆模型
示意图			

最高点临界角速度	恰到最高点: $mg \sin \theta = m\omega_0^2 r$ $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = m\omega_{min}^2 r$ $mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta = m\omega_{max}^2 r$	恰到最高点: $mg \sin \theta = m\omega_0^2 r$ $mg \sin \theta + T_{max} = m\omega_{max}^2 r$	恰到最高点: $\omega = 0$ 恰无拉力: $mg \sin \theta = m\omega_0^2 r$
最低点临界角速度	$\mu mg \cos \theta - mg \sin \theta = m\omega_m^2 r$	$T_{max} - mg \sin \theta = m\omega_m^2 r$	$T_{max} - mg \sin \theta = m\omega_z^2 r$

四、生活中的圆周运动

1. 火车转弯

(1) 轨道特点: 轨道面倾斜, 由重力和支持力的合力提供向心力, 当火车速度达到设计速度 v_0 时, 火车对内外侧轨道恰好无挤压。

(2) 设计速度 v_0 : 设轨道高度差 h , 间距 L , 转弯半径 R , 则设计速度 v_0 :

$$mg \tan \theta = m \frac{v_0^2}{R}, \quad v_0 = gR \tan \theta \approx gR \frac{h}{L}$$

2. 汽车过桥

(1) 凸拱桥最大速度: $mg = m \frac{v_{max}^2}{R}, \quad v_{max} = \sqrt{gR}$

(2) 凹形桥最大速度: $mg + N_{max} = m \frac{v_{max}^2}{R}, \quad v_{max} = \sqrt{gR}$

3. 航天器失重现象

最小发射速度: $mg = m \frac{v_0^2}{R}, \quad v_0 = \sqrt{gR}$

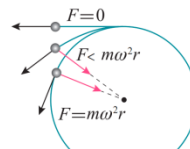
完全失重状态: 当航天器以 $v_0 = \sqrt{gR}$ 的速度运行, 航天器内任意物体仅由重力提供向心力, 处于完全失重状态, 两物体间无相互挤压。

4. 离心运动

(1) 定义: 做圆周运动的物体沿切线飞出或逐渐远离圆心的运动。

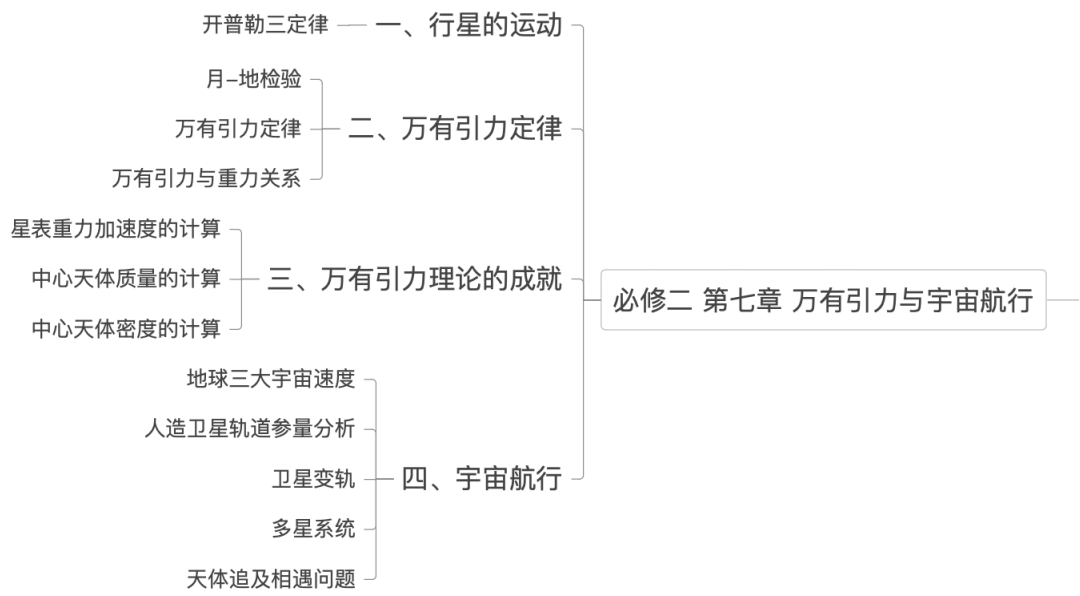
(2) 原因: 提供向心力的外力消失或减小, 小于圆周运动所需的向心力。 $F_{合} < m \frac{v^2}{r}$, $F_{合}$ 减小或 v 增大时, r 增大, 做离心运动。相反, v 减小时, r 减小, 做近心运动。

(3) 现象: 旋转雨伞水珠飞出, 投掷链球, 洗衣机脱水, 离心分离, 砂轮机防护罩, 汽车高速过弯发生侧滑。



必修二 第七章 万有引力与宇宙航行

※内容框架



※必备知识

一、行星的运动

1. 开普勒三定律

	轨道定律	面积定律	周期定律
内容	所有行星绕太阳做椭圆运动，太阳位于椭圆的一焦点	同一行星相同时间扫过的面积相同。（近日点速度最大。）	同一中心天体的不同行星： $\frac{r^3}{T^2} = k$ （同一中心天体同一个 k ）。常用于椭圆的周期计算。
近似	所有天体绕太阳做匀速圆周运动		

二、万有引力定律

1. 月-地检验

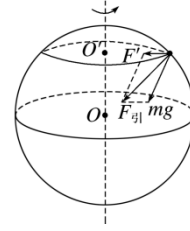
- (1) 目的：验证使苹果下落的力与天体间的力为同一性质的力
- (2) 原理：判断 $a_{月} = \frac{1}{60^2}g$
- (3) 结论：地面物体所受地球的引力、月球所受地球的引力，与太阳、行星间的引力遵循相同规律。
2. 万有引力定律
- (1) 内容：自然界中任何两个物体都相互吸引，引力的方向在它们的连线上，引力的大小与物体的质量 m_1 和 m_2 的乘积成正比、与它们之间距离 r 的二次方成反比。

(2) 表达式： $F_{引} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ， $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$

(3) 适用条件：质点与质点、质点与球、球与球

3. 万有引力与重力关系

(1) 在地表：物体随地球自转，需要指向圆心（注意不是球心）的向心力 \vec{F}_n ，且 $\vec{F}_{引} = \vec{F}_n + \vec{G}$ ，即重力为引力的分力。



(i) 两极处， $\vec{F}_n=0$ ， $\vec{G} = \vec{F}_{引}$ ，此时 g 最大。

(ii) 赤道处， \vec{F}_n 最大， $G = F_{引} - F_n$ ，此时 g 最小。

(iii) 从赤道到两极， F_n 减小， G 增大。考虑到 $F_{引} \gg F_n$ ， $G \approx F_{引}$ 。

(2) 离开地表： $F_{引} = G = mg_h = m \frac{v^2}{r}$

三、万有引力理论的成就

1. 天体表面重力加速度计算： $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ ， $g = \frac{GM}{R^2}$ (黄金代换式)

2. 中心天体质量、密度计算

(1) 表面重力加速度法： $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ ， 则 $M = \frac{gR^2}{G}$ ， $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3g}{4\pi GR}$

(2) 卫星环绕法： $G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (R+h)$ ， 则 $M = \frac{4\pi^2 (R+h)^3}{GT^2}$ (开普勒第三定律： $k = \frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$)， $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} =$

$$\frac{3\pi (R+h)^3}{GT^2 R^3}$$

四、宇宙航行

1. 地球的三大宇宙速度

	第一宇宙速度	第二宇宙速度	第三宇宙速度
物理含义	能环绕地球表面做匀速圆周运动的 最小发射速度 。也是卫星环绕地球的最大速度。	卫星摆脱地球引力，环绕太阳或太阳其他行星做速圆周运动的发射速度。	卫星摆脱太阳引力，在宇宙漫游的发射速度。
大小	7.9 km/s	11.2 km/s	16.7 km/s
范围	(1) 发射速度 < 7.9 km/s，落回地面 (2) 发射速度 = 7.9 km/s，绕地球表面匀速圆周 (3) 发射速度 (7.9 km/s, 11.2 km/s)，绕地球做椭圆运动		

	(4) 发射速度[11.2km/s, 16.7km/s), 绕太阳或绕其他行星 (5) 发射速度>16.7km/s, 离开太阳系
联系	均为地球表面发射速度

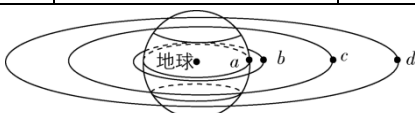
环绕速度：人造卫星绕地球做匀速圆周运动的线速度

宇宙速度：三个宇宙速度均是发射速度

发射速度：地面附近使卫星获得的初速度

2.人造卫星轨道参量分析

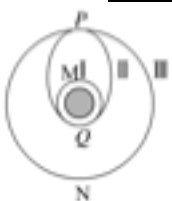
参量	表达式	分析
向心力	$F_n = G \frac{Mm}{r^2} \propto \frac{m}{r^2}$	跟质量有关
向心加速度	$a_n = \frac{GM}{r^2} \propto \frac{1}{r^2}$	越低越快
速度	$v = \sqrt{GM/r} \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$	
角速度	$\omega = \sqrt{GM/r^3} \propto \frac{1}{\sqrt{r^3}}$	
周期	$T = 2\pi\sqrt{r^3/GM} \propto \sqrt{r^3}$	

	近地卫星 b	同步卫星 c	赤道物体 a
			
向心力	万有引力	万有引力	万有引力-支持力
向心加速度	$a_n = \frac{GM}{r^2}$, $a_{近} > a_{同}$		与同步卫星同轴转动, $a_{同} > a_{赤}$
轨道半径	R	$h \approx 6R$, $r \approx 7R$	R
线速度	第一宇宙速度	3.1km/s	1668km/h \approx 463m/s
角速度	最大		同角速度
周期	84min		24h

3.卫星变轨：

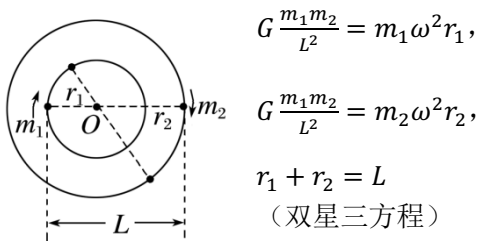
变轨过程：圆轨道I加速，离心，至椭圆轨道II P 点，加速离心至圆轨道III。（P、Q 均为轨道II的点）

线速度	周期	向心力	向心加速度	机械能
$v_Q > v_M$	$T_I < T_2 < T_3$ 开普勒周期定律	看质量	$a_n = \frac{GM}{r^2}$ 看半径	$E_I < E_2 < E_3$ 升轨消耗内能
$v_Q > v_P$				
$v_N > v_P$				
$v_M > v_N$				
$v_Q > v_M > v_N > v_P$				



4. 多星系统

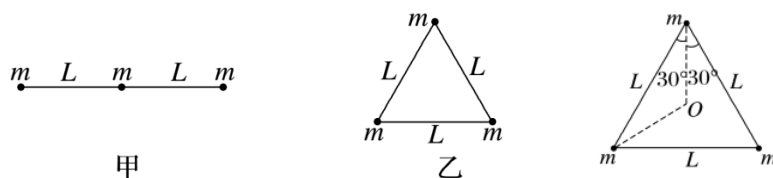
(1) 双星系统：同轴转动（注意区分轨道半径与星距）


 (i) $m_1 r_1 = m_2 r_2$ ：越重越近（轨道半径与质量成反比）

 (ii) $G \frac{(m_1 + m_2)}{L^2} = \omega^2 (r_1 + r_2)$ ： $m_{\text{总}}$ 、 ω 、 L 知二求一

 (iii) $m_1 = m_2$ 时，引力最大。

(2) 多星系统：正确寻找轨道半径与星距的几何关系



5. 天体追及相遇问题

 (1) 相遇时间：设下一次相距最近或最远所经过的时间 $t_{\text{遇}}$ ，可建立 $t_{\text{遇}}$ 与 $\frac{\omega_{\text{快}}}{\omega_{\text{慢}}}$ 的关系

$$\theta_{\text{快}} - \theta_{\text{慢}} = \pi \text{ 或 } 2\pi$$

$$\theta_{\text{快}} - \theta_{\text{慢}} = \omega_{\text{快}} t_{\text{遇}} - \omega_{\text{慢}} t_{\text{遇}}$$

(2) 相遇次数：t 时间内两行星相遇次数 N

$$\frac{t}{T_{\text{快}}} - \frac{t}{T_{\text{慢}}} = N$$

五、相对论时空观和牛顿力学的局限性

1. 狭义相对论的两个基本假设

(1) 光速不变原理：真空中光速在不同惯性参考系中都是相同的。

(2) 狭义相对性原理：一切物理规律在不同惯性参考系中都是相同的。

2. 时间延缓效应（钟慢效应）

$$\Delta t = \frac{\Delta \tau}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

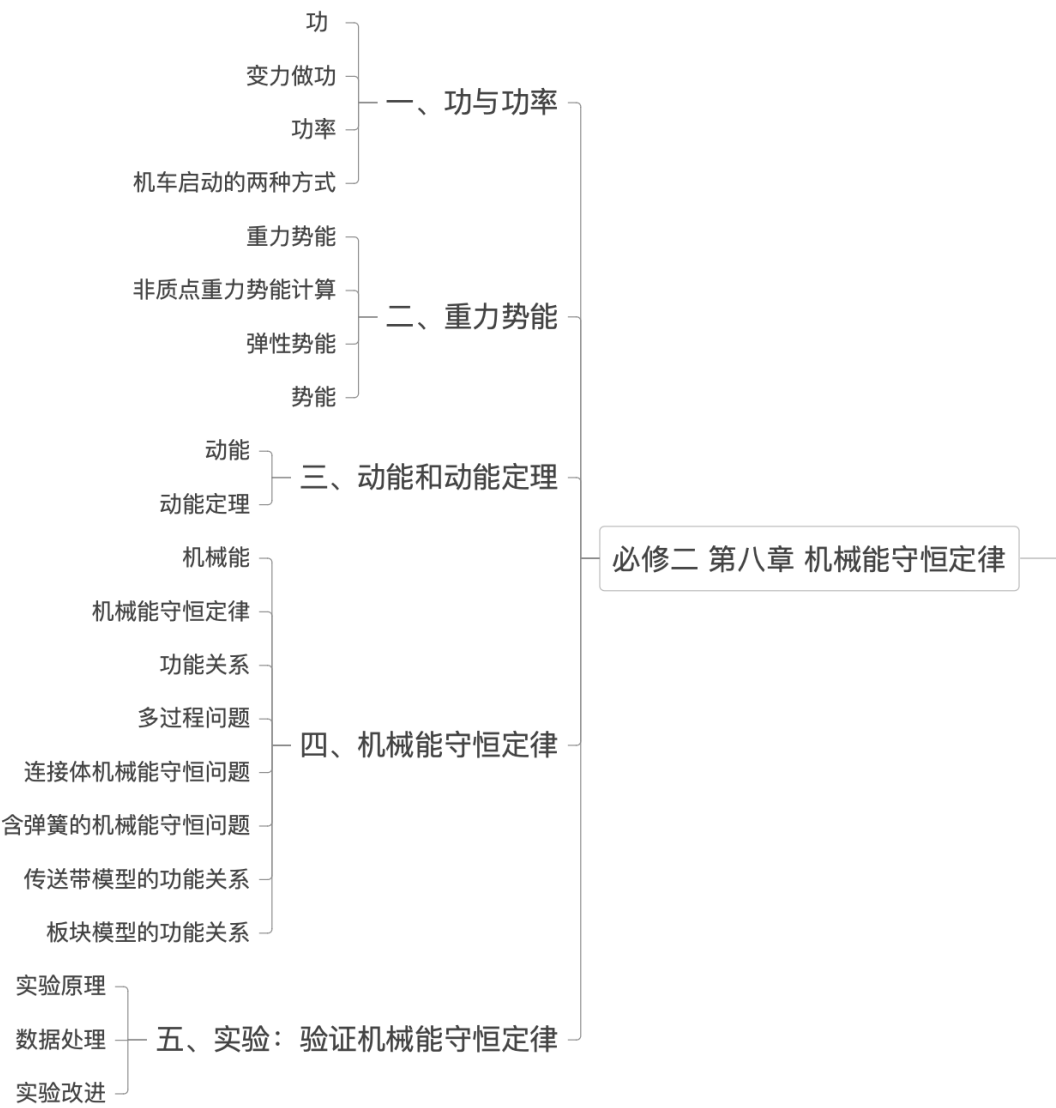
3. 长度收缩效应（尺缩效应）

$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

4. 牛顿力学的局限性：牛顿力学适用于宏观、低速场景，是狭义相对论的特殊情形。

必修二 第八章 机械能守恒定律

※内容框架



※必备知识

一、功与功率

- 1.功
- (1) 定义：物体受到力的作用，并在力的方向上发生了位移，则力对物体做了功。
 - (2) 恒力做功表达式： $W = fs \cos \theta$
 - (3) 标量：标量，有正负，但不表示方向，不表示大小，表示做功的效果，正功表示力对物体是动力，负功表示力对物体是阻力，物体克服该力做功。
 - (4) 物理含义：能量变化的量度。功是过程量。

情形	做功特点	总功
一对相互作用力	作用力做正功，反作用力可以做正功、负功或不做功。力大小相等，方向相反，但两物体位移不一定相等，二者做功无必然联系。	总功可以为正，可以为负，可以为零。
一对平衡力	一对平衡力大小相等方向相反，作用在同一物体，因此做功位移相等，做功大小相等。	总功为零。
滑动摩擦力	滑动摩擦力可以做正功、负功或不做功	一对滑动摩擦力总功为负，产生热量
静摩擦力	静摩擦力可以做正功、负功或不做功	一对静摩擦力总功为零

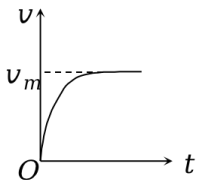
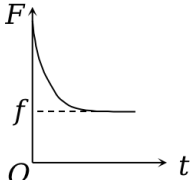
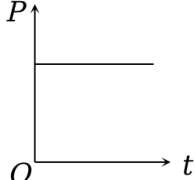
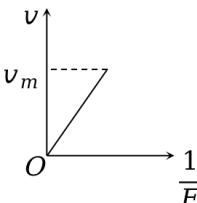
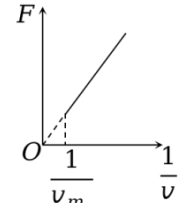
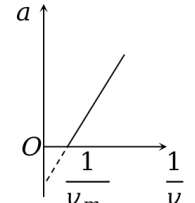
2. 变力做功

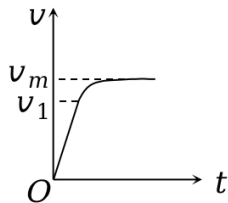
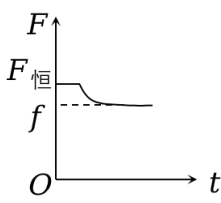
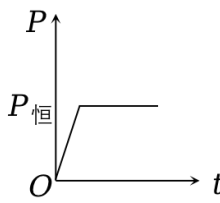
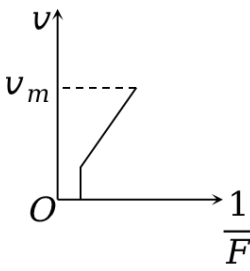
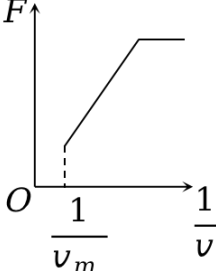
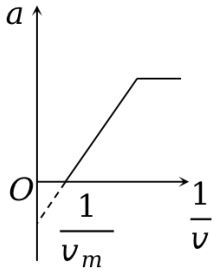
- (1) 转换法：力的方向改变时，转换研究对象，把求变力做功转化为求恒力做功。
- (2) 图像法：力的大小改变时，画 $F-x$ 图求面积。当力随位移线性变化时，可用平均力求解。
- (3) 微元法：力的方向变化，但始终和速度方向有关时，每一 Δx 内做功的表达式相同，用微元法。
- (4) 动能定理：初、末速度已知时。
- (5) 恒定功率：力的大小改变但功率恒定时，如机车恒定功率启动，用恒定功率求功。

3. 功率

- (1) 定义：功与完成这些功所用时间之比
- (2) 平均功率表达式： $P = \frac{W}{t}$ ，W 或 kW
- (3) 平均功率与瞬时功率：平均功率 $P = \frac{W}{t}$ ，瞬时功率 $P_t = Fv \cos \theta$

4. 机车启动的两种方式

恒定功率启动	P 恒定， v 增加， $F_{\text{牵}}$ 减小， a 减小。 $a = 0$ 时， $F_{\text{牵}} = f$ ， $v_m = \frac{P}{f}$		
	$Pt - fs = \frac{1}{2}mv_m^2$		
			
			
恒定加速度启动	a 恒定， $F_{\text{牵}}$ 恒定， v 增加， P 增加。 $P = P_{\text{额}}$ 时， P 之后恒定。 P 恒定， v 增加， $F_{\text{牵}}$ 减小， a 减小。 $a = 0$ 时， $F_{\text{牵}} = f$ ， $v_m = \frac{P}{f}$ 匀加速时间计算： $\frac{P}{at} - f = ma$ 或 $\frac{1}{2}Pt - f\frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}m(at)^2$		

二、重力势能

1.重力势能

- (1) 定义：物体由于处于一定高度而具有的能量。
- (2) 表达式： $E_p = mgh$
- (3) 重力做功与重力势能关系： $W_G = mg(h_1 - h_2) = -\Delta E_p$
- (4) 特点
 - (i) 标量：标量，有正负，正负表示大小
 - (ii) 相对性：与零势能面选取有关。但重力势能差与零势能面选取无关。
 - (iii) 状态量：某一位置所具有的能量
 - (IV) 系统性：与地球所具有，简称“物体所具有的重力势能”。

2.非质点重力势能计算

等效法：相当于把多大质量的质点移动多少高度

3.弹性势能

- (1) 定义：物体由于发生弹性形变而具有的能量
- (2) 特点：与劲度系数、形变量有关

三、动能和动能定理

1.动能

- (1) 定义：物体由于运动而具有的能量。
- (2) 表达式： $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
- (3) 特点
 - (i) 标量，非负。 v 变 E_k 不一定变， E_k 变 v 一定变。
 - (ii) 相对性： v 与参考系有关。
 - (iii) 状态量

2.动能定理

- (1) 内容：合外力对物体做的功，等于物体动能变化量。
- (2) 表达式： $W_{F_{\text{合}}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

四、机械能守恒定律

1.机械能

(1) 定义：系统的重力势能、弹性势能和动能之和

(2) 表达式： $E = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + E_{p弹}$

2.机械能守恒定律

(1) 内容：在只有重力和系统内弹力做功时，系统机械能守恒。

(2) 表达式

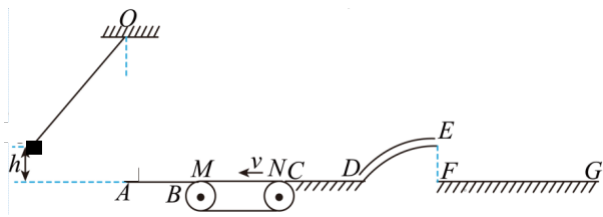
守恒观点	$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$
转化观点	$\Delta E_p = -\Delta E_k$
转移观点	$\Delta E_A = -\Delta E_B$

(3) 适用条件：除重力和系统内弹力做功外，其他力不做功或做功为零。

3.功能关系

做功	能量变化	表达式
重力做功	重力势能	$W_G = -\Delta E_{p重}$
弹力做功	弹性势能	$W_{弹} = -\Delta E_{p弹}$
合外力做功	动能	$W_{F合} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$
除重力和系统内弹力以外的力做功	机械能	$W_{其他} = \Delta E$
滑动摩擦力做功	内能	$Q = fx_{相}$

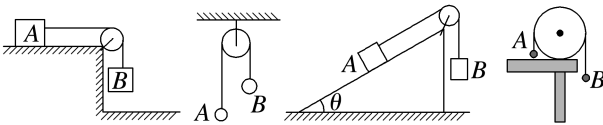
4.专题 多过程问题：注意临界情况判断（能否到达最高点，能否通过传送带，是否往返运动）



5.专题 连接体机械能守恒问题

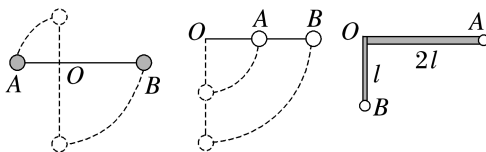
对多个物体通过轻绳或轻杆组成的系统，不计空气阻力和一切摩擦，系统的机械能守恒。注意易错点：质量不等、速度关联和位移关系。四类情景：

(1) 速率相等



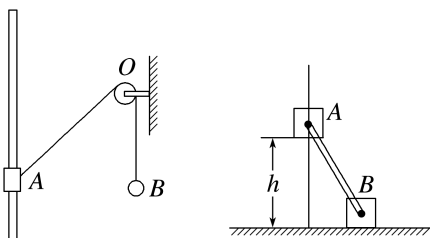
注意分析各个物体在竖直方向的高度变化。

(2) 角速度相等



杆对物体的作用力并不总是沿杆的方向，杆能对物体做功，单个物体机械能不守恒。速度与半径成正比。

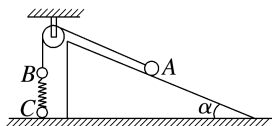
(3) 某一方向分速度相等



沿绳（或沿杆）方向的分速度大小相等。

(4) 含弹簧的系统机械能守恒问题

对同一弹簧，弹簧的伸长量和压缩量相等时，弹簧的弹性势能相等。



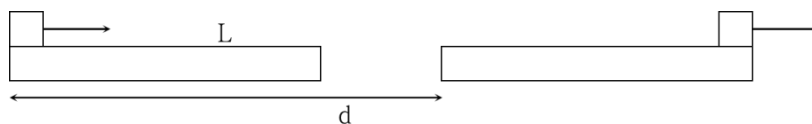
6. 摩擦力做功与能量转化

比较		静摩擦力做功	滑动摩擦力做功
不同点	能量的转化	只有机械能从一个物体转移到另一个物体，而没有机械能转化为其他形式的能	(1)一部分机械能从一个物体转移到另一个物体 (2)一部分机械能转化为内能，此部分能量就是系统机械能的损失量
	一对摩擦力的总功	一对静摩擦力所做功的代数和总等于零	一对滑动摩擦力做功的代数和总是负值，总功 $W = -Ffs$ 相对，即发生相对滑动时产生的热量
相同点	做功情况	两种摩擦力对物体可以做正功，也可以做负功，还可以不做功	

7. 传送带模型的功能关系

- 传送带划痕：多段痕迹先判断方向，同向相加，异向取大值
- 传送带产生的热量：找相对位移
- 传送带多消耗电能：多消耗的电能=机械能增量+摩擦生热（能量守恒）

8. 板块模型的功能关系



(1) 木板增加的动能: $W_{fM} = \mu mgd$

(2) 木块减少的动能: $W_{fm} = \mu mg(d + L)$

(3) 系统机械能减少量: $\Delta E = W_{fm} - W_{fM} = \mu mgL$

(4) 摩擦产生的热量: $Q = \mu mgx_{\text{相}} = \mu mgL$

五、实验：验证机械能守恒定律

1. 实验原理：测速度、距离，验证 $\Delta E_p = -\Delta E_k$

2. 数据处理：两点法，图像法

3. 实验改进

(1) 偶然误差：测长度（多次测量取平均值）

(2) 系统误差：阻力（选择密度大的重物）、滑轮转动动能（选择轻滑轮）

4. 注意事项

(1) 打点计时器要竖直：安装打点计时器时要竖直架稳，使其两限位孔在同一竖直线上，以减小摩擦。

(2) 重物应选用质量大、体积小、密度大的。

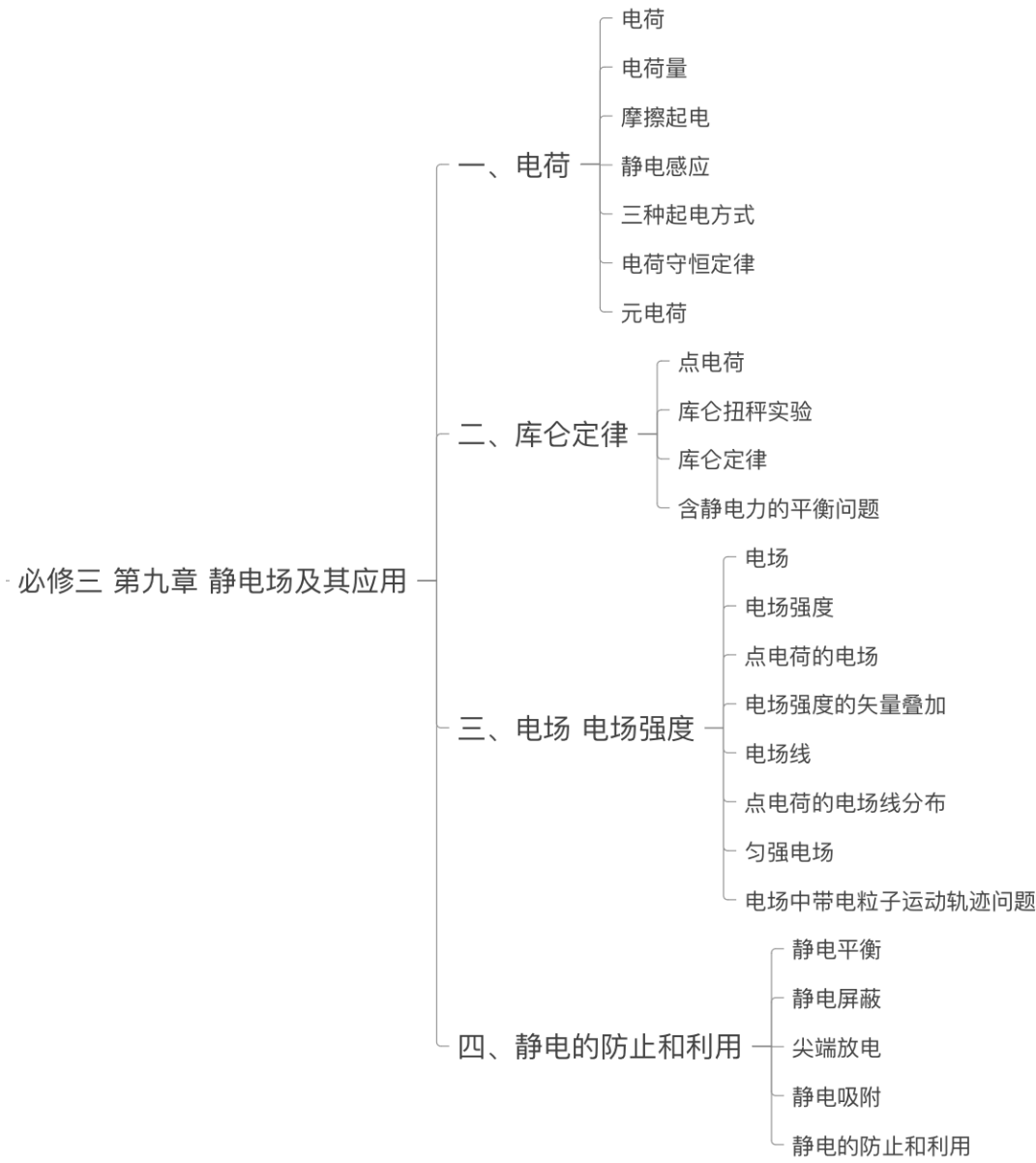
(3) 应先接通电源，让打点计时器正常工作，后松开纸带让重物下落。

(4) 测长度，算速度：某时刻的瞬时速度的计算应用 $v_n = \frac{h_{n+1} - h_{n-1}}{2T}$ ，不能用 $v_n = \sqrt{2gh_n}$ 或 $v_n = gt$ 来计算。

(5) 此实验中不需要测量重物的质量。

必修三 第九章 静电场及其应用

※内容框架



※必备知识

一、电荷

- 1.电荷
 - (1) 性质：物理吸引轻小物质的性质
 - (2) 分类：正电荷和负电荷
 - (3) 特点：同种相斥，异种相吸
- 2.电荷量

- (1) 定义：电荷的多少
- (2) 符号： Q
- (3) 单位：库仑 (C)
- (4) 标量：正负表示电荷的种类，大小比较看绝对值

3.摩擦起电：毛皮摩擦过的橡胶棒 (-)、丝绸摩擦过的玻璃棒 (+)

4.静电感应：

5.三种起电方式

	摩擦起电	接触起电	感应起电
实质	原子核对电子束缚能力不同而得失电子	电子在物体间的转移	带电体附近，自由电子在导体中的重新分布
规律	等量异种	(完全相同)先中和，后平均	代数和不变
共同点	电子的移动		

6.电荷守恒定律

(1) 内容：电荷既不会创生，也不会消灭，它只能从一个物体转移到另一物体，或者从物体的一部份转移到另一部份；在转移过程，电荷的总量保持不变。(另一表述：一个与外界没有电荷交换的系统，电荷的代数和保持不变。)

7.元电荷

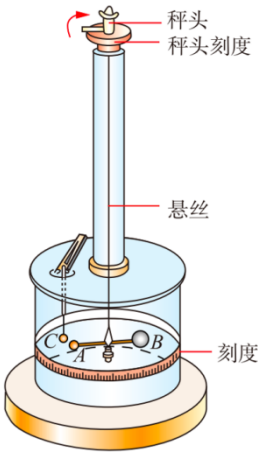
- (1) 定义：最小的电荷量 e 。带电体的电荷量均为 e 的整数倍。电荷量不能是连续变化的物理量。
- (2) 测量：密立根油滴实验。现代精确值： $e=1.602\ 176\ 634\times 10^{-19}\text{C}\approx 1.60\times 10^{-19}\text{C}$
- (3) 比荷/荷质比 $\frac{q}{m}$ ：电荷量与质量之比。

二、库仑定律

1.点电荷

- (1) 定义：当带电体之间的距离比它们自身的大小大得多，以致带电体的形状、大小及电荷分布状况对它们之间的作用力的影响可以忽略时，带电体可被看成点电荷。理想模型。
- (2) 条件：带电体间的距离远大于自身尺寸。

2.库仑扭秤实验



(1) 科学方法：控制变量法、放大法。

3.库仑定律

(1) 内容：真空中两个静止点电荷之间的相互作用力，与它们的电荷量的乘积成正比，与它们的距离二次方成反比，作用力的方向在他们的连线上。这种电荷之间的相互作用力叫做静电力或库仑力。

(2) 表达式： $F_{\text{库}} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ， k 为静电力常数， $k = 9.0 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 。

(3) 适用条件：点电荷（电荷分布均匀的两球体也可用此公式计算静电力）。

(4) 静电力的计算：微观粒子静电力远大于重力；多个点电荷的静电力满足矢量叠加原理。

4. 含静电力的平衡问题

(1) 三点电荷共线平衡问题：关键是对不同电荷分别列平衡方程



距离：两大夹一小（研究 C 或 B），电性：两同夹一异（研究 A），电荷量：近小远大（研究 A）。注意：若电荷被固定，则上述规律不适用。

(2) 含静电力的静态平衡问题：整体法，隔离法，正交分解

(3) 含静电力的动态平衡问题：整体法，矢量三角形法、相似三角形法

三、电场 电场强度

1. 电场

(1) 场：物质存在的一种形式，具有能量。

(2) 电场的性质：对放入其中的电荷有力的作用。

(3) 静电场：静止电荷产生的电场。

2. 电场强度

(1) 试探电荷和场源电荷：试探电荷——为了研究电场各点性质而引入的体积和电荷量都很小的电荷，场源电荷——激发电场的带电体所带的电荷。

(2) 定义：试探电荷在电场中某点所受电场力的大小与电荷量的比值，称为该点的电场强度。

(3) 表达式： $E = \frac{F}{q}$ ，其中 q 为试探电荷的电荷量。

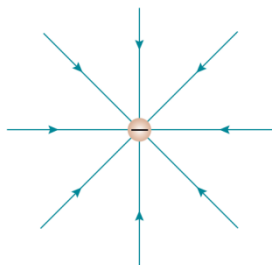
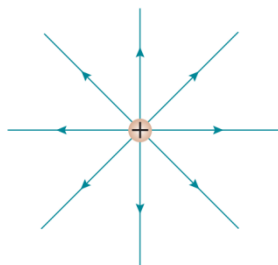
(4) 单位：N/C

(5) 方向：矢量，规定某点电场强度方向与正电荷在该点所受电场力方向相同。

3. 点电荷的电场

(1) 决定式： $E = k \frac{Q}{R^2}$

(2) 适用条件：点电荷（电荷分布均匀的带电球体也适用）



4. 电场强度的矢量叠加

多个场源电荷产生的电场，某一点的电场强度等于各个场源电荷单独存在时的电场强度的矢量叠加。

5. 电场线

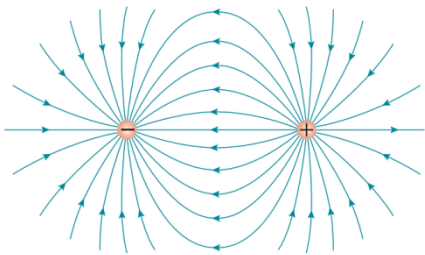
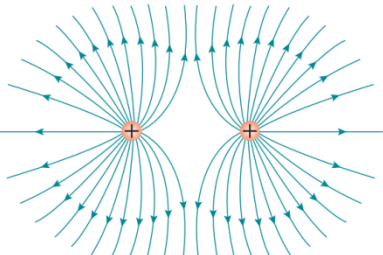
(1) 提出：法拉第（“力线”）。

(2) 定义：画在电场中有方向的曲线，曲线上每一点的切线表示该点的电场强度方向。

(3) 特点：

- ①假想，非真实存在，不是粒子的运动轨迹；
- ②不相交，不闭合，从正电荷或无穷远处出发，终止于负电荷或无穷远处；
- ③同一电场，电场线疏密程度表示电场强度的大小。

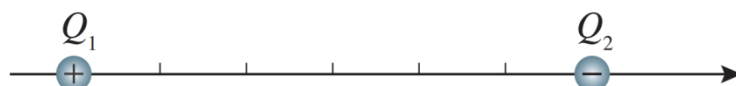
6. 点电荷的电场线分布

	等量异种电荷	等量同种电荷
电场线		
连线上电场强度	大小：越靠近电荷，场强越大，中点场强最小	
	方向：正电荷指向负电荷	（等量正电荷）电荷指向中点
中垂线上电场强度	大小：中点到无穷远处，场强减小	大小：中点到无穷远处，场强（从零）先增大后减小（到零）
	方向：垂直中垂线，指向负电荷一侧	方向：（等量正电荷）中点指向无穷远

不等量同种电荷（如下图），场强为零的点在连线上中点偏右。

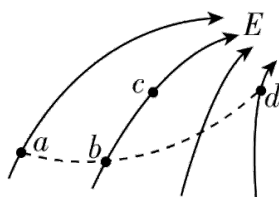


不等量异种电荷（如下图），场强为零的点在连线上电荷量小的电荷右侧。



7. 匀强电场：电场中各处电场强度的大小和方向相同的电场。匀强电场的电场线为等间距平行直线。

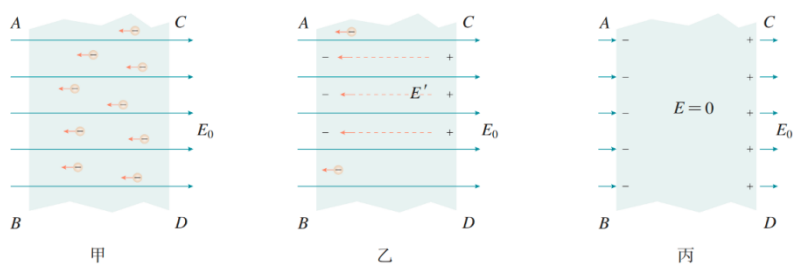
8. 电场中的带电粒子运动轨迹问题



- (1) 电场力/加速度：方向与电场线相切指向轨迹凹侧，大小看电场线疏密
- (2) 电场强度：方向与电场力同向或反向（取决于电性），大小看电场线疏密
- (3) 速度：方向沿切线，加速减速看与力的夹角

四、静电的防止与利用

1. 静电平衡



(1) 定义：导体内自由电子不再发生定向移动的状态。此过程时间极短： 10^{-14}s

(2) 导体处于静电平衡的特点：

①导体内电场强度处处为零，否则自由电子继续定向移动；

②导体内部无电荷（否则内部有电场线穿过），电荷只分布在导体外表面，且越尖锐的地方，电荷面密度越大，场强越大；

③导体表面处处场强与表面垂直。导体表面是等势面。

2. 静电屏蔽

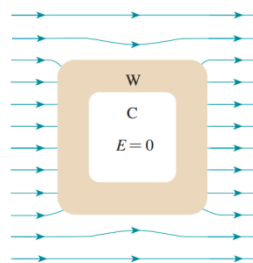


图 9.4-4 导体腔内的电场为 0

(1) 空腔导体内场强处处为零。

(2) 空腔导体内表面无电荷（否则内部有电场线穿过）。

(3) 外部电场对空腔内用电器无影响（静电屏蔽）。

(4) 静电屏蔽不要求密闭金属容器，金属网也可实现静电屏蔽。

3. 尖端放电

(1) 空气电离：强电场可使空气中带电粒子剧烈运动，并与空气分子碰撞而产生带电的正负离子。

(2) 尖端放电：空气中电离的电荷与导体尖端所带电荷中和，相当于导体从尖端失去电荷。导体越尖锐处越容易发生尖端放电现象。

(3) 应用：避雷针、电晕（夜间高压线的绿色光晕）。

4. 静电吸附

(1) 静电除尘：强电场中空气被电离，产生的电子与烟气中的粉尘结合，是粉尘带负电，被吸附到带正电的 A 板上。

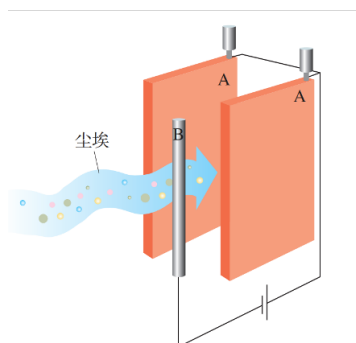
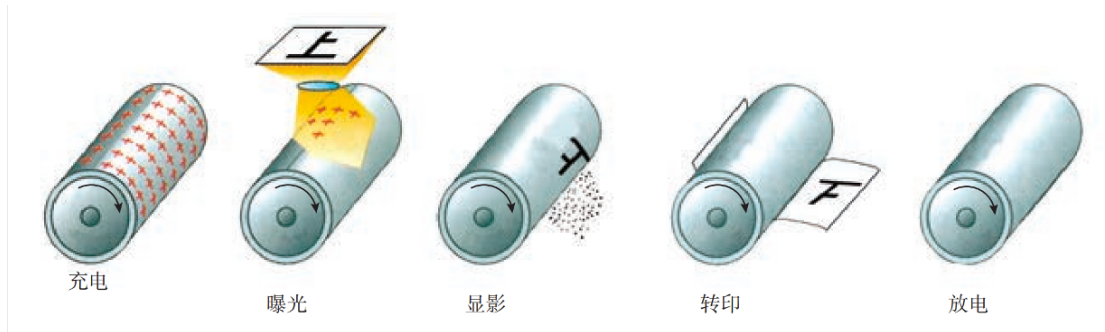


图 9.4-8 静电除尘原理

(1) 静电喷漆：油漆颗粒带负电，沉积在带正电的工件表面。

(2) 静电复印：金属圆柱表面涂有有机光导体（OPC），无光照射时是绝缘体，可以保持电荷。复印件的图案区域产生 OPC 的绝缘区域，保持电荷吸附墨粉，实现复印。



5. 静电的防止和利用

防止：良好接地；增加空气湿度。

必修三 第十章 静电场中的能量

※内容框架



※必备知识

一、电势能和电势

1.静电力做功的特点

- (1) 特点：静电力做功与路径无关，只与电荷的初末位置有关。
- (2) 匀强电场静电力做功表达式： $W = qEd$ ， d 为沿电场线方向的位移。

2.电势能

- (1) 定义：电荷在电场中具有的势能。
- (2) 静电力的功能关系：静电力做的功，等于电势能变化量的负值。

$$W_{AB} = E_{pA} - E_{pB} = -\Delta E_p$$

静电力做正功，电势能减小。静电力做负功，电势能增大。

同种电荷相互靠近，或异种电荷相互远离，电势能增加。异种电荷相互靠近，或同种电荷相互远离，电势能减小。

正电荷顺电场线运动，或负电荷逆电场线运动，电势能减小；正电荷逆电场线运动，或负电荷顺电场线运动，电势能增加。

- (3) 大小：电荷在某点的电势能，等于把它从这点移动到零势能位置静电力所做的功。 $E_{pA} = W_{AO}$ ，O处电势能为零。

- (3) 电势能具有相对性。规定离场源电荷无穷远处或大地表面处电荷的电势能为零。
- (4) 电势能具有系统性
- (5) 电势能是标量，但有正负，正负不表示方向，表示大小（该值比零值大或小）。

	矢量	标量		
举例	v 、 a 、 F 、 E	功	电势能/重力势能	电荷量
正	与规定的正方向同向	正功表示力为动力	比零势能大	正电荷
负	与规定的正方向反向	负功表示力为阻力	比零势能小	负电荷

3. 电势

- (1) 定义：电荷在电场中某一点的电势能与它的电荷量之比。
- (2) 表达式： $\varphi = \frac{E_p}{q}$ （带负号运算）
- (3) 单位： $J/C = V$
- (4) 电势高低判断：沿电场线方向，电势降低。
靠近正电荷的地方，电势高。靠近负电荷的地方，电势低。
正电荷在电势高的地方电势能大，负电荷在电势高的地方电势能小。
- (5) 电势具有相对性
- (6) 电势是标量，但有正负。正负表示大小，不表示方向。

二、电势差

1. 电势差

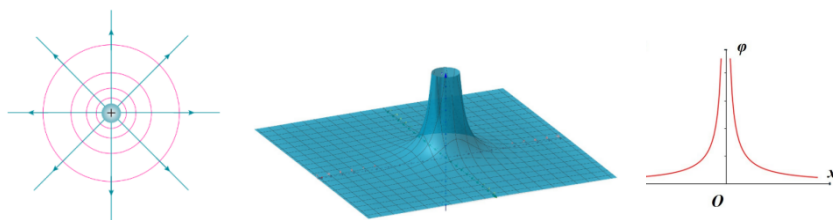
- (1) 定义：电场中两点之间电势的差值，也叫做电压。
- (2) 表达式： $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = -U_{BA}$ （注意下标顺序）
- (3) 标量： $U_{AB} > 0$ ，表示 A 点电势比 B 点电势高。
- (4) 静电力做功与电势差的关系： $W_{AB} = qU_{AB}$ （适用于一切电场，带负号运算）。

2. 等势面

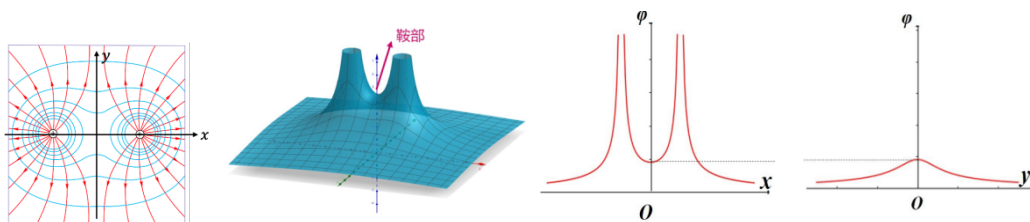
- (1) 定义：电场中电势相等的各点构成的面。
- (2) 特点：
- ① 同一个等势面上移动电荷时，静电力不做功；
 - ② 等势面与电场线垂直；
 - ③ 电场线总是由电势高的等势面指向电势低的等势面。

(3) 典型电场的等势面

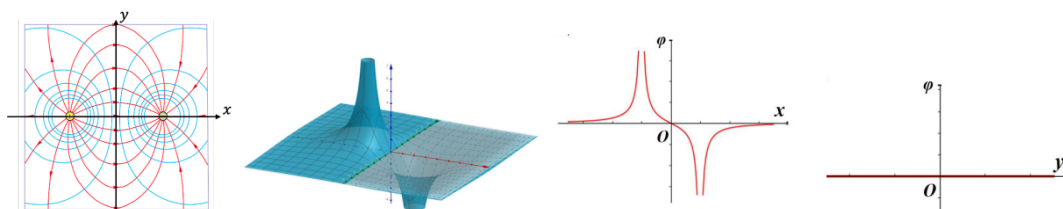
- ① 孤立点电荷：等势面为内密外疏同心球。（正电荷）离电荷越近，电势越高，无穷远处电势为零，电势随空间变化图形如“烟囱”，如图所示。



- ② 等量同种电荷：等势面及电势空间分布图如图所示。



③等量异种电荷：等势面及电势空间分布图如图所示。



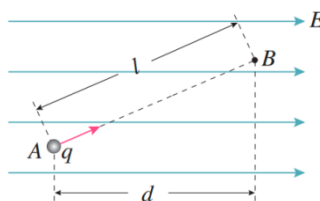
三、电势差与电场强度的关系

1. 匀强电场中电势差与电场强度的关系

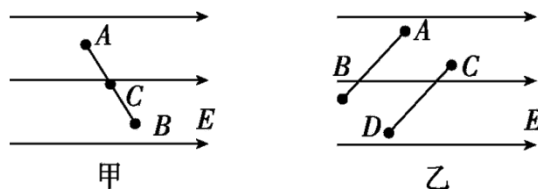
(1) 公式： $U_{AB} = Ed$ ， d 为沿电场方向的距离，适用于匀强电场。

(2) 电场强度另一表述： $E = \frac{U_{AB}}{d}$ ，电场强度在数值上等于沿电场方向单位距离降低的电势。 $V/m = N/C$ 。

(3) 电场强度方向是电势降低最快的方向。



(4) 匀强电场推论：匀强电场沿任意方向，电势均匀降落。



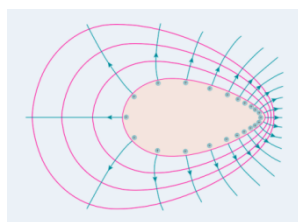
①线段中点电势为初末位置电势的平均值， $\varphi_C = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}$ ；

②平行四边形对边电势差相等， $U_{AB} = U_{CD}$ ；

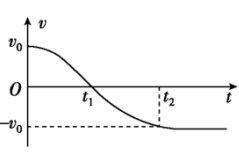
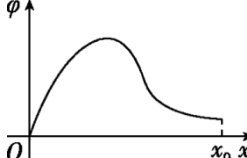
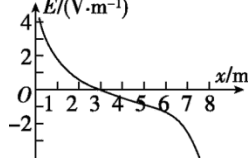
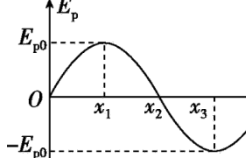
2. 非匀强电场电势差和电场强度的关系

(1) 等差等势面：两相邻等势面的电势差相等的等势面。

(2) 等差等势面的距离越小，电场强度越大。即，等差等势面越密的地方，电场强度越大，电场线越密。



3. 静电场的图像

类型	$v-t$ 图	$\varphi-x$ 图	$E-x$ 图	E_p-x 图
大小变化	加速、减速 (不考虑正负)	电势升高、降低 (考虑正负)	电场强度增大、减小 (不考虑正负)	电势能增大、减小(考虑 正负)
斜率	加速度/电场强度/电 场力	E (注意斜率为零的 点)	- (公众号: 屋里学家)	电场力
面积	位移	-	电势差	-
举例				

4. 静电场的功能关系

(1) 静电力做功的四种计算方式

 ① 电场强度 $W = qEd$ (匀强电场);

 ② 电势差 $W_{AB} = qU_{AB}$ (一切电场);

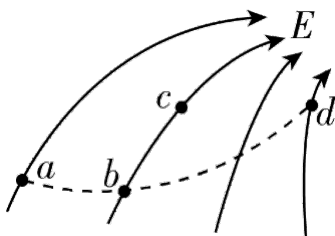
 ③ 电势能 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$;

 ④ 动能定理 $W_{\text{电}} + W_{\text{其他}} = E_{k2} - E_{k1}$ 。

(2) 静电场的功能关系: 电场力做功对应电势能变化。只有电场力做功时, 电势能和机械能的总量恒定。

$$W_{\text{电}} + W_{\text{其他}} = E_{k2} - E_{k1}$$

5. 静电场中的运动轨迹问题



(1) 电场力/加速度: 方向与电场线相切指向轨迹凹侧, 大小看电场线疏密。

(2) 电场强度: 方向与电场力同向或反向(取决于电性), 大小看电场线疏密。

(3) 速度: 方向沿切线, 加速减速看与力的夹角。同种电荷靠近会减速。根据能量守恒判断动能。

(4) 电势/电势能: 顺电场线电势降低; 靠近正电荷电势升高; 静电力做正功电势能减小。同种电荷相互靠近电势能增大。根据动能变化判断电势能变化。

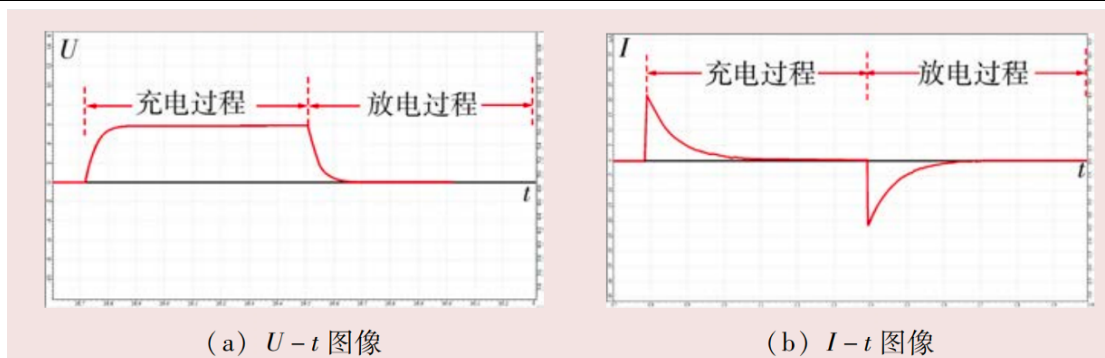
四、电容器的电容

1. 电容器

(1) 功能: 储存电荷和电能的容器。

(2) 构造: 任意两个相互靠近但彼此绝缘的导体, 均构成电容器。

(3) 充电、放电: 充电——使电容器两极板带上等量异种电荷的过程。放电——使电容器所带电荷量减少的过程。充放电过程的电压、电流如图所示。



(4) 电容器的电荷量：单个极板所带电荷量的绝对值。

2. 电容

(1) 定义：电容器所带电荷量 Q 和电容器两极板之间的电势差 U 之比。

(2) 定义式： $C = \frac{Q}{U} = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$

(3) 单位：法拉 F， $1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$ ， $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$

(4) 物理含义：电容器容纳电荷的本领。

(5) 击穿电压和额定电压：电容器铭牌所标电压为额定电压。

3. 平行板电容器的电容

(1) 构造：两个平行且彼此绝缘的金属板。

(2) 电容决定式： $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ ， ϵ_r 为电介质的相对介电常数（通常大于 1）。

(3) 常见电容器：固定电容器和可变电容器。

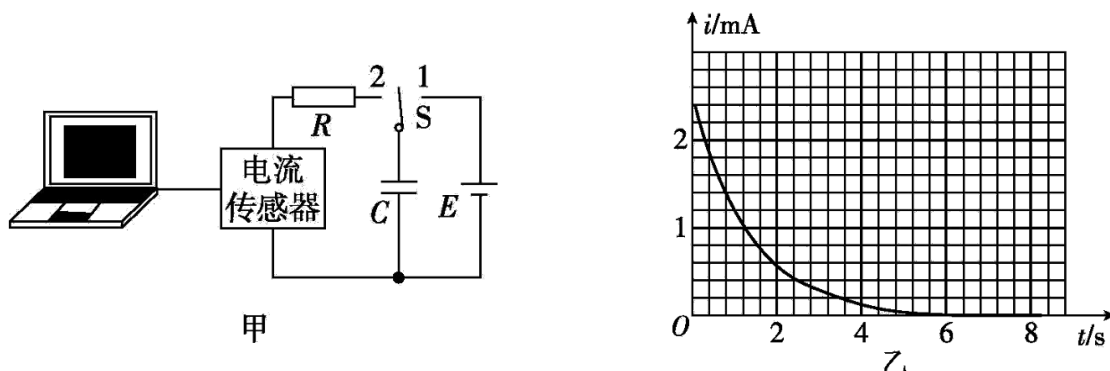
4. 电容器的动态分析

(1) U 不变（与电源连接）： $d/S/\epsilon_r$ 变— C 变—（ U 不变） Q 变—充放电，
 d 变—（ U 不变） E 变—受电场力改变

(2) Q 不变（与电源断开）： $d/S/\epsilon_r$ 变— C 变—（ Q 不变）— U 变— E 不变（仅 d 变）或 E 变（仅 S 变）
 Q 不变的情况下， E 与 d 无关，仅与 ϵ_r 、 S 有关。

$$E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{dC} = \frac{Q}{d \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}} = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$$

5. 实验：用传感器观察电容器的放电过程



(1) 实验原理：利用电流传感器获得 $I-t$ 图， $I-t$ 图与横轴围成的面积为对应时间内充放电的电荷量。

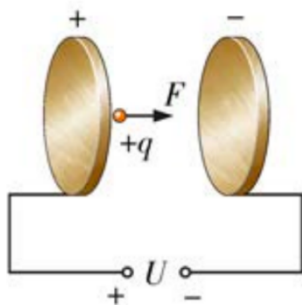
(2) 数据处理：

计算充放电的电荷量：数格法（不足半格舍去，超过一个进一）。

增大 R ，会使初始时刻电流 I_0 减小，要使面积不变（充放电的电荷量不变），充放电的时间变长。

五、带电粒子在电场中的运动

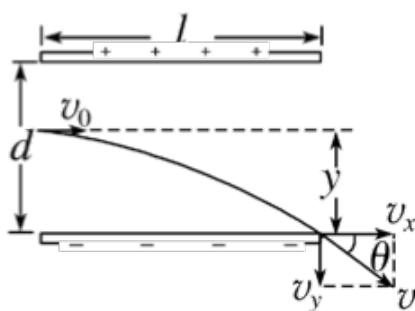
1. 带电粒子在电场中的加速



(1) 运动性质：匀加速直线运动

(2) 公式： $qU = \frac{1}{2}mv^2$, $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ (注意 q 、 e 和下标)

2. 带电粒子在电场中的偏转



(1) 运动性质：类平抛运动

(2) 公式：

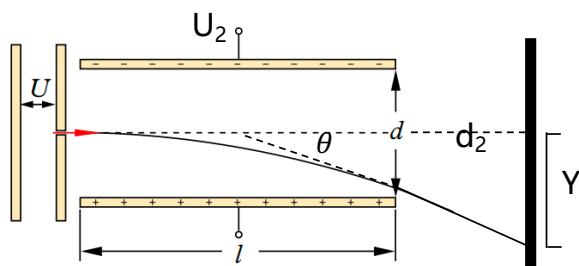
$$v_0 \text{ 方向: } l = v_0 t$$

$$\text{垂直 } v_0 \text{ 方向: } y = \frac{1}{2}at^2, v_y = at, q\frac{U}{d} = ma, \tan \theta = \frac{v_y}{v_0}$$

$$\text{得 } y = \frac{qUl^2}{2mdv_0^2}, v_y = \frac{qUl}{mdv_0}, \tan \theta = \frac{qUl}{mdv_0^2}$$

(3) 常用推论：“反向延长过中点”、 $\tan \theta = 2 \tan \alpha$

3. 示波器



$$Y = y + d_2 \tan \theta = \frac{U_2 l}{4dU} (l + 2d_2) = kU_2$$

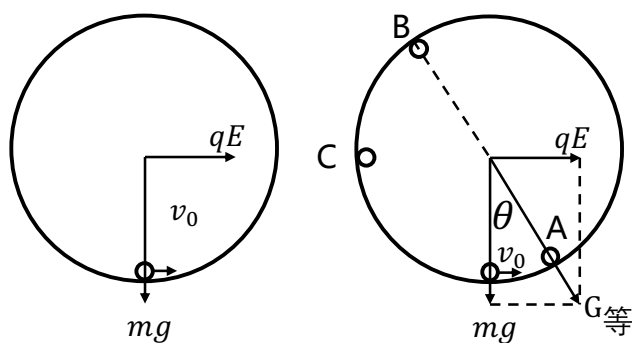
4. 带电粒子在复合场中的运动

复合场：重力场和电场同时存在（带电小球、带电滑块等）

(1) 合力与速度共线：直线运动

(2) 合力与速度不共线：类斜抛运动，速度分解

(3) 圆周运动：等效重力场



$$\theta \text{ 满足: } \tan \theta = \frac{qE}{mg}$$

$$G_{\text{等}} = \frac{mg}{\cos \theta} = \sqrt{(mg)^2 + (qE)^2}$$

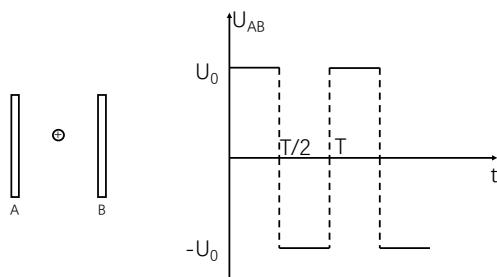
 等效最低点（对轨道压力最大）：A 点。A 点支持力满足： $N - G_{\text{等}} = m \frac{v_A^2}{R}$

 等效最高点（对轨道压力最小，最小为零）：B 点。B 点最小速度： $G_{\text{等}} = m \frac{v_B^2}{R}$

 C 点支持力满足： $N + qE = m \frac{v_C^2}{R}$

各点速度满足动能定理，运动过程仅重力和电场力做功。

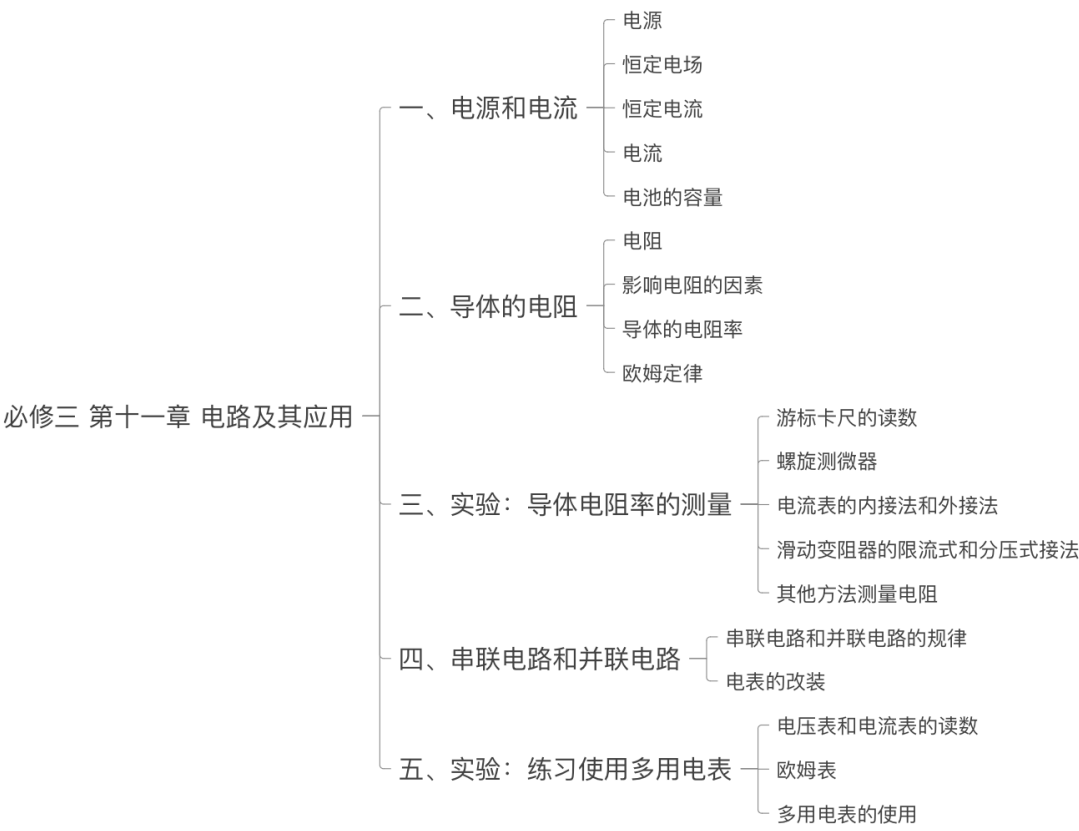
5. 带电粒子在交变电场中的运动



释放时刻	$t = 0$	$t = \frac{T}{4}$	$t = \frac{T}{8}$	$t = \frac{3T}{8}$
$v-t$ 图				
运动轨迹	加 → 减	加 减 ← 减 加	加 减 ← 减 加	加 减 ← 减 加
特点	一个 T 内，沿电场方向的速度变化量为 0。			

必修三 第十一章 电路及其应用

※内容框架



※必备知识

一、电源和电流

- 1.电源
 - (1) 定义：能把电子从正极搬运到负极的装置。
 - (2) 作用：使导体两端始终存在电势差（注意：不提供电荷）。
- 2.恒定电场
 - (1) 定义：电荷分布和电场强度不随时间发生变化的电场。
- 3. 恒定电流
 - (1) 定义：大小和方向都不随时间发生变化的电流。
- 4.电流
 - (1) 定义：通过导体横截面的电荷量 q 与通过这些电荷量所用时间 t 的比值。
 - (2) 定义式： $I = \frac{q}{t}$
 - (3) 单位： $C/s = A$
 - (4) 物理含义：表示电流的强弱程度。

(5) 电流微观表达式: $I = nqSv$, n 为单位体积的电荷数量, S 为垂直电流方向的横截面积, v 为电荷定向移动的平均速率。

5. 电池的容量

- (1) 定义: 电池放电时输出的总电荷量。
- (2) 单位: 安时 (Ah)、毫安时 (mAh)

二、导体的电阻

1. 电阻

- (1) 定义: 导体两端的电压 U 与通过导体的电流 I 之比。
- (2) 定义式: $R = \frac{U}{I}$ (注意: $R \neq \frac{\Delta U}{\Delta I} \neq \lim_{\Delta I \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta I}$)
- (3) 单位: $V/A = \Omega$
- (4) 物理含义: 反映导体对电流的阻碍作用。
- (5) 电阻微观解释: 自由电子与晶体点阵上的原子实碰撞, 使自由电子速度减慢而电流减小, 同时使原子实振动加剧, 产生热效应。

2. 影响电阻的因素

- (1) 导体电阻决定式 (电阻定律): $R = \rho \frac{L}{S}$
- (2) 适用条件: 温度一定, 金属导体或电解质溶液。

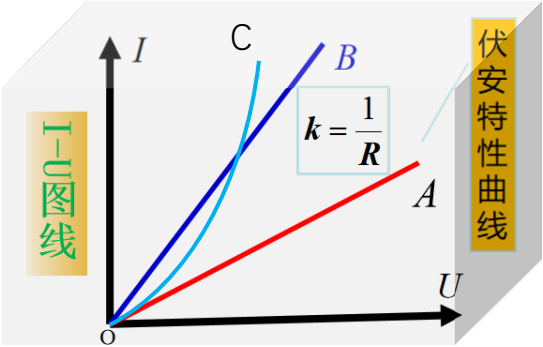
3. 导体的电阻率 ρ

- (1) 物理含义: 反映材料导电性能的物理量。
- (2) 影响因素: 材料和温度
- (3) 不同材料的电阻率随温度的变化关系:

材料	规律	用途
金属	温度升高, 电阻率增大	温度计
半导体	温度升高, 电阻率减小	热敏电阻
合金	几乎不随温度改变	标准电阻

4. 欧姆定律

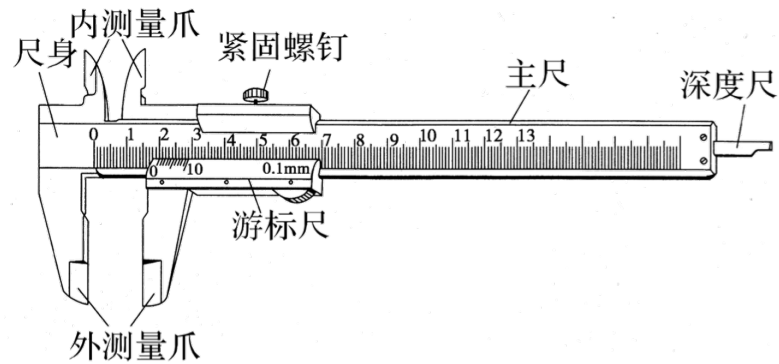
- (1) 内容: 导体中的电流跟导体两端的电压成正比, 跟电阻成反比。
- (2) 表达式: $I = \frac{U}{R}$
- (3) 适用条件: 金属、电解质溶液。气体、半导体不适用。
- (4) 伏安特性曲线: 电学元件的电流随其两端电压变化图像。线性元件 (直线) 欧姆定律成立, 非线性元件 (曲线) 欧姆定律不成立。



三、实验：导体电阻率的测量

1.游标卡尺的读数

(1) 原理：利用主尺单位刻度与游标尺单位刻度的微小差值来提高精度。



分度 (游标尺刻度格数)	游标尺刻度总长度	两尺每格差	精度 (可精确到)
10 分	9mm	0.1mm	0.1mm
20 分	19mm	0.05mm	0.05mm
50 分	49mm	0.02mm	0.02mm

(2) 读数：

①加数法：读数=游标尺 0 前主尺整毫米数+对齐刻度数×精度

第一步，找游标尺 0 刻度前的主尺刻度，读出主尺的整毫米数。

第二步，找与主尺对齐的游标尺上格数（不需估读），乘以相应的精度（末位 0 要保留）。

第三步，加上主尺整毫米数。

②减数法：读数=与游标尺对齐的主尺整毫米数-游标尺对齐刻度数×（1-精度）

（适用于游标尺 0 不可见的情形）

2.螺旋测微器（千分尺）

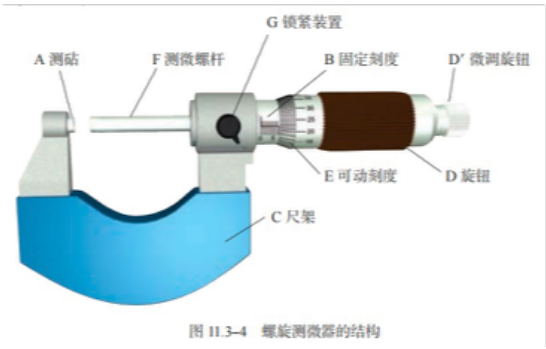
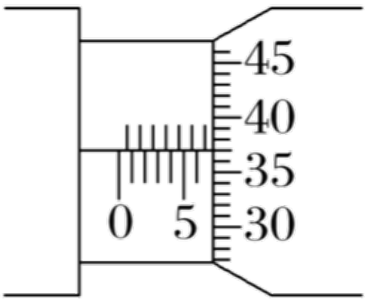


图 11.3-4 螺旋测微器的结构



(1) 原理：粗调旋钮转一周，测微螺杆前进或后退一格（0.5 mm）。

(2) 读数：固定刻度示数（注意判断是否“过线”）+ $\frac{\text{可动刻度数(估读一位)}}{50} \times 0.5 \text{ mm}$

3.电流表内接法和外接法

	电流表内接法	电流表外接法
电路图		

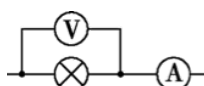
误差原因	电流表分压, $U_{\text{测}} = U_x + U_A$	电压表分流, $I_{\text{测}} = I_x + I_V$
电阻测量结果	$R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} = R_x + R_A > R_x$	$R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V} < R_x$
适用条件	R_x 很大或 R_A 已知	R_x 很小
R_x 大小判断	$R_x > \sqrt{R_A R_V}$	$R_x < \sqrt{R_A R_V}$
	大内偏大, 小外偏小	

4. 滑动变阻器的限流式接法和分压式接法

	限流式接法	分压式接法
电路图		
实物连线图		
负载R分压范围	$\frac{R}{R_0 + R} E \leq U \leq E$	$0 \leq U \leq E$
适用条件	节能	要求电压调节范围尽可能大 (甚至从零开始)
对滑动变阻器的选用	阻值合适, 使电表指针偏转 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 量程	选 R_0 比较小的, 调节过程线性更好

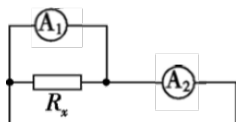
5. 不同方法测电阻

(1) 伏安法



$$R_x = \frac{U}{I}$$

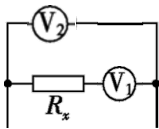
(2) 安安法: 电流表内阻已知时, 可当电压表使用。



$$R_x = \frac{I_1 R_1}{I_2 - I_1}$$

由 $I_1 R_1 = (I_2 - I_1) R_x$ 得 $I_2 = \frac{R_x + R_1}{R_x} I_1$, 做 $I_2 - I_1$ 图求 R_x 。

(3) 伏伏法: 电压表内阻已知时, 可当电流表使用。



$$R_x = \frac{U_2 - U_1}{U_1/R_1}$$

由 $U_2 = U_1 + \frac{U_1}{R_1} R_x$ 得 $U_2 = \frac{R_x + R_1}{R_1} U_1$ ，做 $U_2 - U_1$ 图求 R_x 。

(4) 半偏法（测电表内阻）

	电压表半偏法	电流表半偏法
电路图		
操作步骤	闭合 S_1 ，调节 R_1 使电压表满偏。闭合 S_2 ，调节 R_0 使电压表半偏，此时 R_0 阻值为电压表内阻。	闭合 S_1 ，调节 R_1 使电流表满偏。闭合 S_2 ，调节 R_0 使电流表半偏，此时 R_0 阻值为电流表内阻。
测量误差	$R_{\text{测}} > R_V$ (总电流变小，分压变大，电压表半偏时 R_0 分压大于电压表分压， R_0 阻值大于 R_V)	$R_{\text{测}} < R_A$ (总电阻变小，总电流变大，电流表半偏时 R_0 大于电流表内阻， R_0 阻值大于 R_A)
适用条件	R_1 很小（支路分压几乎不变）	R_1 和 E 很大（总电流几乎不变）

四、串联电路和并联电路

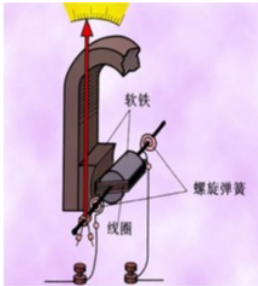
1. 串联电路和并联电路的规律

	串联电路	并联电路
电路图		
电流	$I_{\text{总}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I_{\text{总}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
电压	$U_{\text{总}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ （串联分压）	$U_{\text{总}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ （并联分流）
电阻	$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
重要结论	(1) 串联总电阻大于任一部分电阻，并联总电阻小于任一支路电阻； (2) 增大任一电阻，（串联或并联）总电阻均增大；	

(3) 大电阻串联小电阻，阻值接近于大电阻；大电阻并联小电阻，阻值接近于小电阻。

2.电表的改装

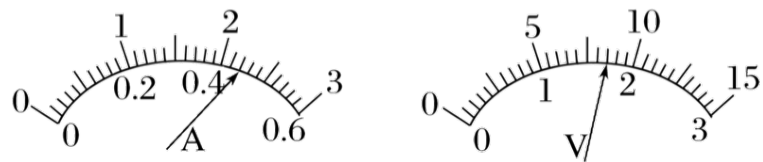
- (1) 原因：灵敏电流计（表头）量程过小，能承受的电流或电压过小，需要并联电阻分流或串联电阻分压。
- (2) 表头 $\text{---}\textcircled{G}\text{---}\textcircled{1}\text{---}$ ：内阻 R_g 、满偏电流 I_g 。指针偏角取决于流过表头内部线圈的电流，示数取决于量程。



	表头改装成电压表	表头改装成电流表
原理	大电阻分压	小电阻分流
电路结构		
R 的阻值	$R = \frac{U_{\text{改}} - I_g R_g}{I_g}$	$R = \frac{I_g R_g}{I_{\text{改}} - I_g}$
误差分析	若使用的 R 偏小，则 $U_{\text{测}} > U_{\text{实}}$	若使用的 R 偏小，则 $I_{\text{测}} < I_{\text{实}}$
校准	若 $U_{\text{测}} > U_{\text{实}}$ ，需增大 R	若 $I_{\text{测}} < I_{\text{实}}$ ，需增大 R
双量程方案	 $U_1 < U_2$	 $I_1 > I_2$

五、实验：练习使用多用电表

1.电压表和电流表的读数



仪表	量程	精度	读数举例	估读规则
电流表	0-3A	0.1A	2.19A、2.20A、2.21A	一分法
	0-0.6A	0.02A	0.43A、0.44A、0.45A	二分法
电压表	0-15V	0.5V	8.4V、8.5V、8.6V	五分法
	0-3V	0.1V	1.69V、1.70V、1.71V	一分法

(1) 一分法：0~3 V 量程的电压表和 0~3 A 量程的电流表，精度（一格的量值）分别是 0.1 V 和 0.1 A，一格分 10 份，估读到下一位 0.01V/0.01A。

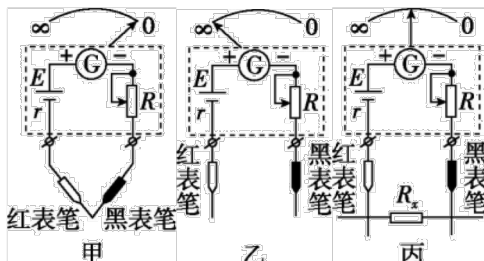
(2) 二分法：0~0.6 A 量程的电流表，精度（一格的量值）是 0.02 A，一格分 2 份，估读到 0.01 A。

(3) 五分法：0~15 V 量程的电压表，精度（一格的量值）是 0.5 V，一格分 5 份，估读到 0.1 V。

2. 欧姆表

(1) 用途：测电阻。

(2) 构造：表头 G、电池、调零电阻 R 和红黑表笔。

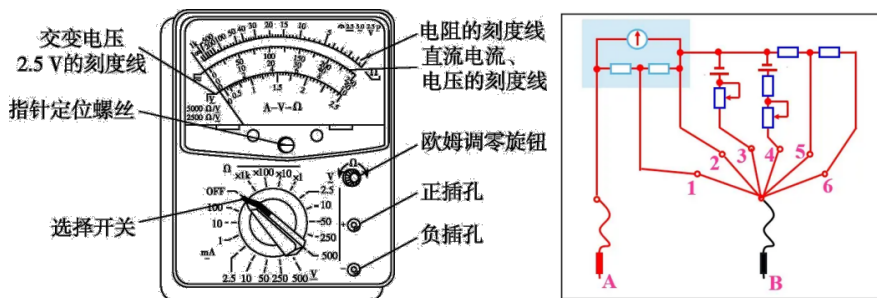


(3) 原理： $R_G = R_g + R + r$, $R_x = \frac{E}{I} - R_G$ 。红黑表笔短接时， $R_x = 0$ ，此时电流最大，指针偏转角最大。当接入某一阻值使指针半偏时，可得 $R_x = R_G$ ，即指针半偏时所测阻值等于表内电阻，此时的阻值称为中值电阻。

(4) 特点：电阻刻度左大右小，左密右疏。尽量使欧姆表在指针半偏时读数。

(5) 使用：使用前必须欧姆调零（红黑表笔短接，调节滑动变阻器使指针指向电阻 0 欧处。）。红表笔插欧姆表的负插孔（接电源负极），使电流从红表笔流进欧姆表。

3. 多用电表的使用



(1) 构造：表盘三排刻度（测电阻、测直流电压电流、测交流电压），中排刻度有三种读数量程，可根据所选档位灵活切换。负插孔接红表笔，让电流通过红表笔流进多用电表。

(2) 测直流电压、电流：

① 机械调零：旋转指针定位螺丝，使指针指在左端“0”刻度线。

② 红表笔插负插孔，黑表笔插正插孔。

③ 选择直流电压/电流档，红表笔接在电路中高电势处，黑表笔接在电路低电势处。

④ 读数。

(3) 测电阻（定值电阻、小灯泡、二极管）：

① 机械调零：旋转指针定位螺丝，使指针指在左端“0”刻度线。

② 红表笔插负插孔，黑表笔插正插孔。

③ 选择欧姆档。测正向电阻时，红表笔接二极管负极，让电流流进多用电表。测反向电阻时，红表笔接二极管正极。

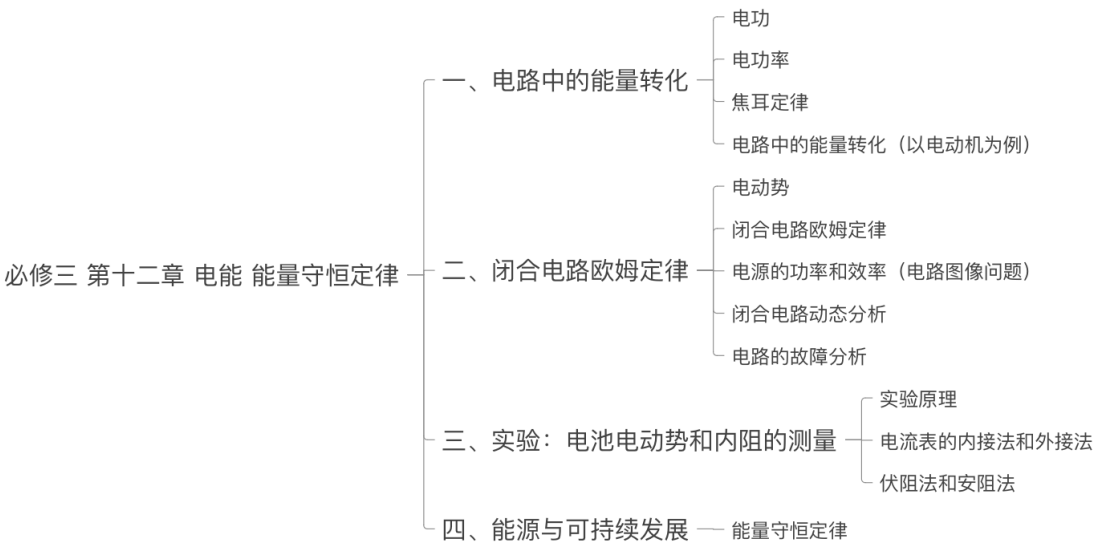
④ 欧姆调零（测电阻凡换挡必欧姆调零）。

⑤ 读数。注意指针示数乘以倍率。

⑥ 测量完毕，选择开关置于 OFF 档或交流电压最高档。

必修三 第十二章 电能 能量守恒定律

※内容框架



※必备知识

一、电路中的能量转化

1.电功

- (1) 定义：电路中电场力对电荷做的功。
- (2) 实质：恒定电场对自由电荷做正功，电势能减少，其他形式的能量增加。
- (3) 表达式： $W = UIt$ （适用于一切电路）

2.电功率

- (1) 定义：电流在一段时间内所做的功与通电时间之比。
- (2) 定义式： $P = \frac{W}{t} = UI$ （适用于一切电路）

3.焦耳定律

- (1) 内容：电流通过导体产生的热量跟电流的二次方成正比，跟导体的电阻和通电时间成正比。
- (2) 表达式： $Q = I^2Rt$
- (3) 热功率 $P = I^2R$

4.电路中的能量转化（以电动机为例）

- (1) 总功率/电功率/功率： $P_{电} = UI$
- (2) 热功率： $P_{热} = I^2R$
- (3) 输出功率/机械功率： $P_{输} = UI - I^2R$
- (4) 效率： $\eta = \frac{P_{输}}{P_{电}} \times 100\%$

	纯电阻电路	非纯电阻电路
电功和热	$W = Q$	$W = Q + E_{\text{其他}}$
电功率和热功率	$P_{\text{电}} = P_{\text{热}}$ $UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$	$P_{\text{电}} = P_{\text{热}} + P_{\text{其他}}$ $UI = I^2 R + P_{\text{其他}}$
欧姆定律	成立, $I = \frac{U}{R}$	不成立, $U > IR$
举例	电阻、电炉丝、白炽灯、机械故障时的电动机	电动机、电解槽

二、闭合电路欧姆定律

1. 电动势

(1) 定义：非静电力把正电荷从负极搬运到正极所做的功跟被搬运的电荷量的比值。数值上等于非静电力把 1C 的正电荷在电源内从负极搬运到正极所做的功。

(2) 定义式： $E = \frac{W_{\text{非}}}{q}$

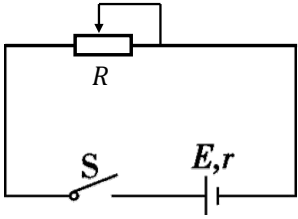
(3) 单位：伏(V)

(4) 物理含义：电源把其他形式的能转化为电势能的本领。

	电压 U	电动势 E
物理含义	电场力做功	非静电力做功
定义	$U = \frac{W}{q}$, W 为电场力做的功	$U = \frac{W}{q}$, W 为非静电力做的功
联系	电动势等于电源未接入电路时两极间的电压。	

(5) 电源的参数：电动势 E、内阻 r、电池容量 Q

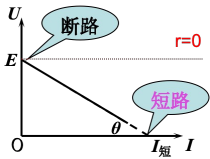
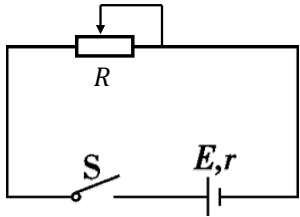
2. 闭合电路欧姆定律



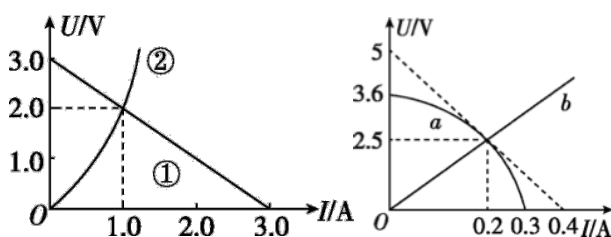
(1) 内容：闭合电路的电流跟电源的电动势成正比，跟内、外电路的电阻之和成反比。

(2) 表达式： $I = \frac{E}{r+R}$, 或路端电压 $U = E - Ir$

(3) 电源外部特性曲线：电源接入电路时，路端电压随总电流的变化曲线。可计算电动势、短路电流和内阻。



(4) 路端电压和负载的关系: $U = \frac{R}{R+r}E$, 负载 R 越大, 路端电压越大。

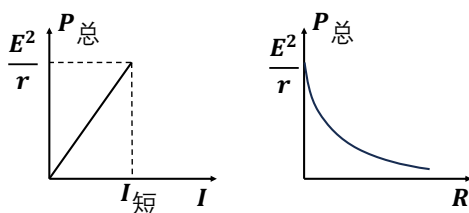


电源外部特性曲线和元件伏安特性曲线的交点, 为负载实际分压。

3. 电源的功率与效率 (电路图像问题)

(1) 电源的总功率:

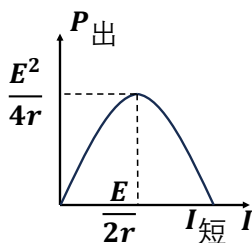
$$P_{\text{电}} = EI = \frac{E^2}{r+R}$$



(2) 电源的输出功率

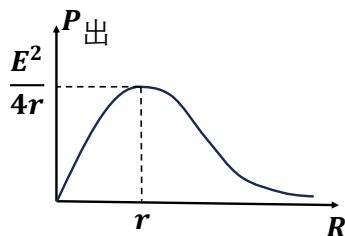
$P_{\text{出}} = (E - Ir)I$, 二次曲线, $I = \frac{E}{2r}$ 时, $P_{\text{出}}$ 有最大值。

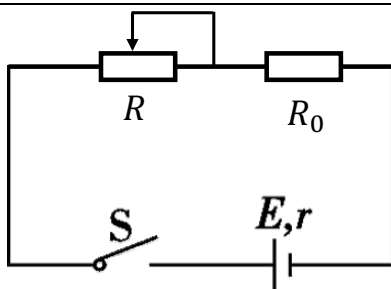
输出功率相同的两个电流满足: $I_1 + I_2 = \frac{E}{r}$ 。



$P_{\text{出}} = \left(\frac{E}{r+R}\right)^2 R = \frac{E^2}{R + \frac{r^2}{R} + 2r}$, R 越接近 r , $P_{\text{出}}$ 越大。 $R = r$ 时, $P_{\text{出}}$ 最大。

输出功率相同的两个外电阻满足: $R_1 R_2 = r^2$ 。





输出功率最大: $P_{\text{出}} = \left(\frac{E}{r+R+R_0} \right)^2 (R+R_0) = \frac{E^2}{R+R_0 + \frac{r^2}{R+R_0} + 2r}$, $R+R_0 = r$ 时。(注意: 若 $R+R_0$ 与 r 不能取等, 则 $R+R_0$

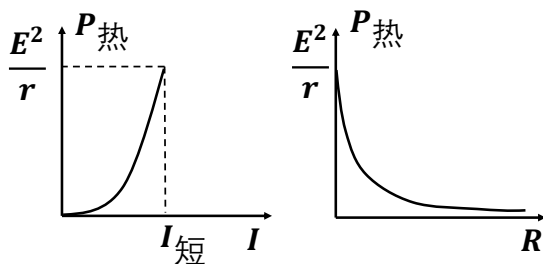
越接近 r , 输出功率越大。)

R 功率最大: $P_R = \left(\frac{E}{r+R+R_0} \right)^2 R = \frac{E^2}{R + \frac{(r+R_0)^2}{R} + 2r}$, $R+R_0 = r$ 时。

R_0 功率最大: $P_{R_0} = \left(\frac{E}{r+R+R_0} \right)^2 R_0$, $R = 0$ 时。

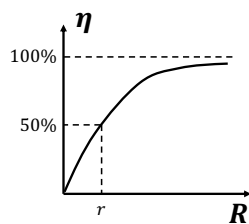
(3) 电源热功率

$$P_{\text{热}} = I^2 r = \left(\frac{E}{r+R} \right)^2 r$$



(4) 电源效率

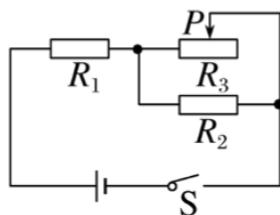
$$\eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{电}}} \times 100\% = \frac{U}{E} \times 100\% = \frac{R}{R+r} \times 100\% = \frac{1}{1 + \frac{r}{R}} \times 100\%$$



外电阻越大, 路端电压越大, 效率越高。输出功率最大 ($R=r$) 时, 效率为 50%。

(5) 电源和负载

4. 闭合电路动态分析



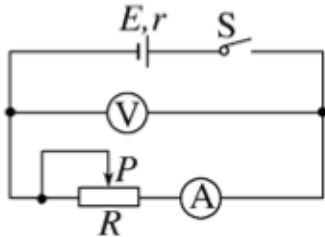
(1) 程序法：局部电阻 R_3 变化—总电阻 $R_{\text{总}}$ —总电流 $I_{\text{总}}$ —固定电路分压 $U_r + U_{R_1}$ —变化电路分压 U —固定支路—变化支路。

(2) 结论法：串反并同（注意前提是电路串并联关系不能变）

(4) 含容电路动态分析：电容稳定时，电容所在之路电流为零。电容电荷变化量 $\Delta Q = C\Delta U = C(\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1)$ ，注意 $\Delta\Delta\varphi_1$ 、 $\Delta\varphi_2$ 的正负。极板接地情况下分析特定点电势，利用场强变化和距离变化分析该点到固定极板的电势差的绝对值。

(3) 电表读数变化量比值问题：定值电阻 $R = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ ，阻值变化的电阻构造表达式。

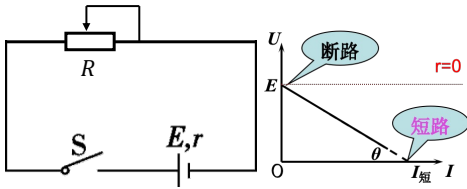
5. 电路的故障分析



	电压表示数为零	电压表示数不为零
电流表示数为零	外部断路	内部断路
电流表示数不为零	内部短路	正常

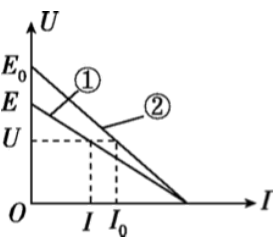
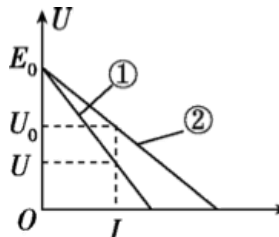
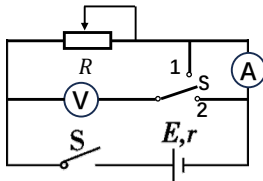
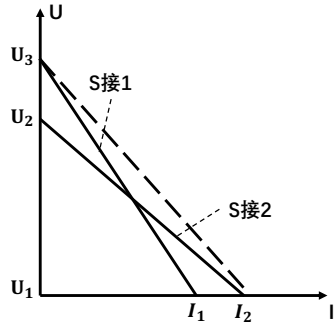
三、实验：电池电动势和内阻的测量

1. 实验原理：根据电源外部特性曲线，通过测量路端电压与流过电源的总电流，可绘制电源外部特性曲线，求得电源电动势和内阻。

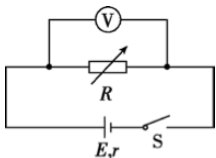
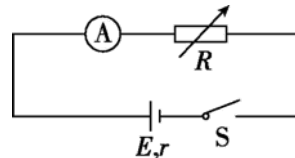


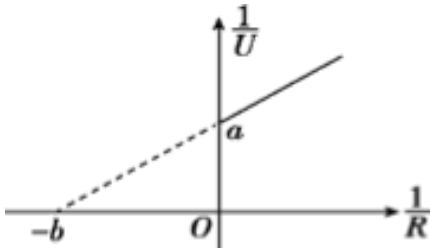
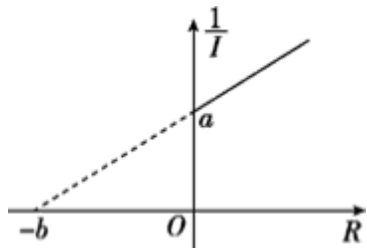
2. 电流表内接法和外接法测电源

	电流表外接法	电流表内接法
电路图		
误差原因	电压表分流，导致电流表读数小于流过电源的总电流	电流表分压，导致电压表读数小于路端电压

图像	 <p>特定电压下，电流表读数比总电流小，此差值（电压表分压）随电压减小而减小，电压为零时两曲线重合。①为电压表随电流表读数变化曲线，②为路端电压随总电流变化曲线（电源外部特性曲线）。</p>	 <p>特定电流下，电压表读数比路端电压小，此差值（电流表分压）随电流减小而减小，电流为零时两曲线重合。①为电压表随电流表读数变化曲线，②为路端电压随总电流变化曲线（电源外部特性曲线）。</p>
测量结果	$E_{\text{测}} < E_{\text{实}}, r_{\text{测}} < r_{\text{实}}$	$E_{\text{测}} = E_{\text{实}}, r_{\text{测}} > r_{\text{实}}$
适用条件	电源内阻很小	电源内阻很大，或 R_A 已知
等效法理解	将虚线框部分等效成新电源，电流表为等效电源内阻的一部分，新电源 $E' = U_{\text{路}} < E, r' < r$	将虚线框部分等效成新电源，电流表为等效电源内阻的一部分，新电源 $E' = E, r' > r$
精确方法	 <p>开关分别接在 1、2，分别测得$U-I$图像，</p> <p>可得$E = U_3, I_m = \frac{U_2}{U_2 - U_1} I_2, r = \frac{U_3}{I_m} = \frac{U_3}{I_2 U_2} (U_2 - U_1)$</p>	

2. 伏阻法和安阻法

	伏阻法	安阻法
特点	电阻箱代替电流表	电阻箱代替电压表
电路图		
误差来源	$\frac{U}{R}$ 为流过电阻箱的电流，小于总电流，相当于电流表在电压表两接线柱内，为外接法	IR 为电阻箱分压，小于路端电压，相当于电流表在电压表两接线柱外，为内接法

测量结果	$E_{\text{测}} < E_{\text{实}}, r_{\text{测}} < r_{\text{实}}$	$E_{\text{测}} = E_{\text{实}}, r_{\text{测}} > r_{\text{实}}$
数据分析	$E = U + \frac{U}{R}r, \frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{E} \frac{1}{R}$ 	$E = I(r + R), \frac{1}{I} = \frac{r}{E} + \frac{1}{E}R$ 

四、能源与可持续发展

1.能量守恒定律

(1) 内容：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，在转化或转移的过程中，能量的总量保持不变。

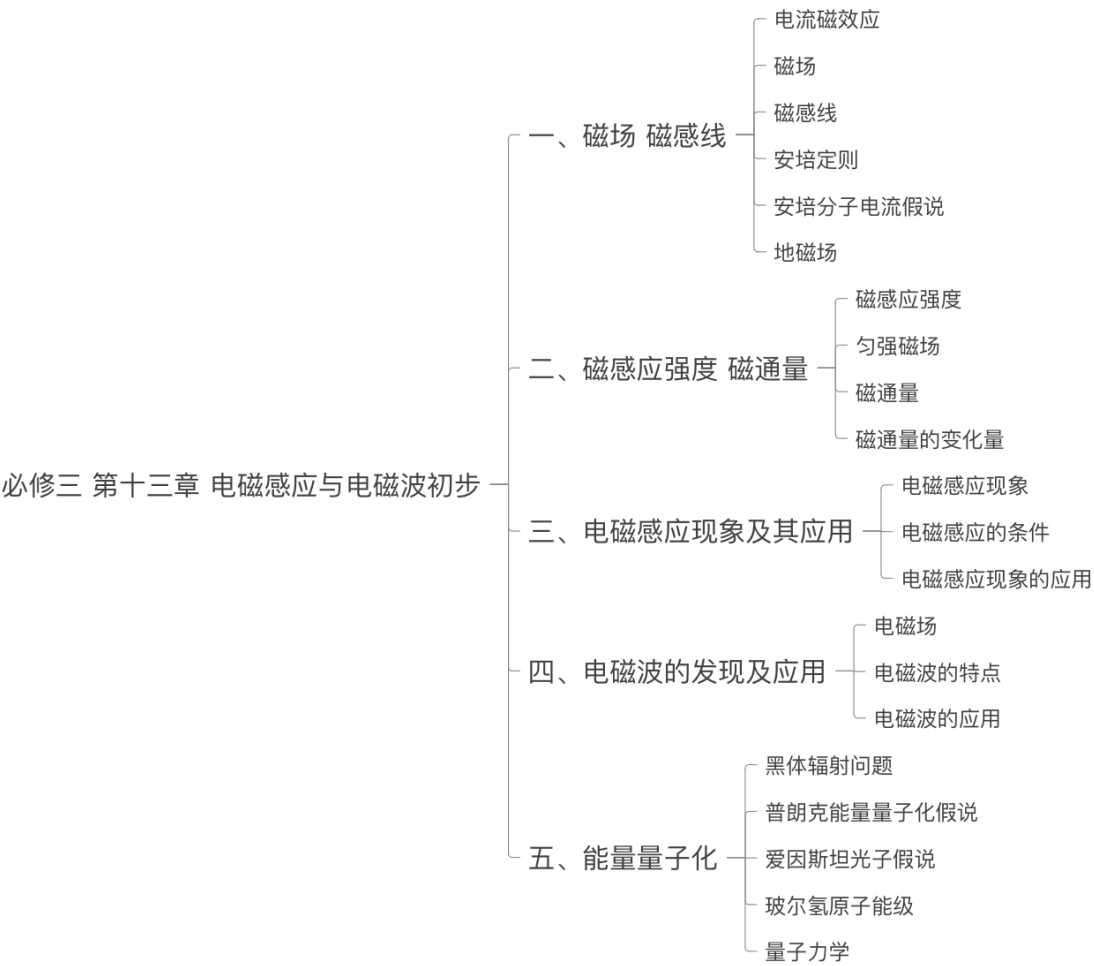
	动量守恒定律	电荷守恒定律	能量守恒定律
内容	如果一个系统不受外力，或者所受外力的矢量和为 0，这个系统的总动量保持不变。	一个与外界没有电荷交换的系统，电荷的代数和保持不变。	能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为其他形式，或者从一个物体转移到别的物体，在转化或转移的过程中，能量的总量保持不变。
特例	-	-	机械能守恒定律

2.能量转移或转化的方向性

- (1) 一切与热现象有关的宏观自然过程都朝着熵增的方向进行，具有不可逆性。
- (2) 能量耗散：能量数量未减小，但形式发生改变，从可利用形式变成不可利用形式。节约能量的原因在于能量耗散。
- (3) 可再生能源和不可再生能源：核能为不可再生能源
- (4) 清洁能源：核能为清洁能源。

必修三 第十三章 电磁感应与电磁波初步

※内容框架



※必备知识

一、磁场 磁感线

1.电流磁效应

- (1) 发现：奥斯特
- (2) 实验要求：通电导线沿南北方向放置，小磁针在电流正下方。

2.磁场

- (1) 基本性质：对放入其中的磁体或电流有力的作用。
- (2) 磁场方向：规定磁体外部 N 极指向 S 级的方向，或小磁针静止时 N 级所指方向。

3.磁感线

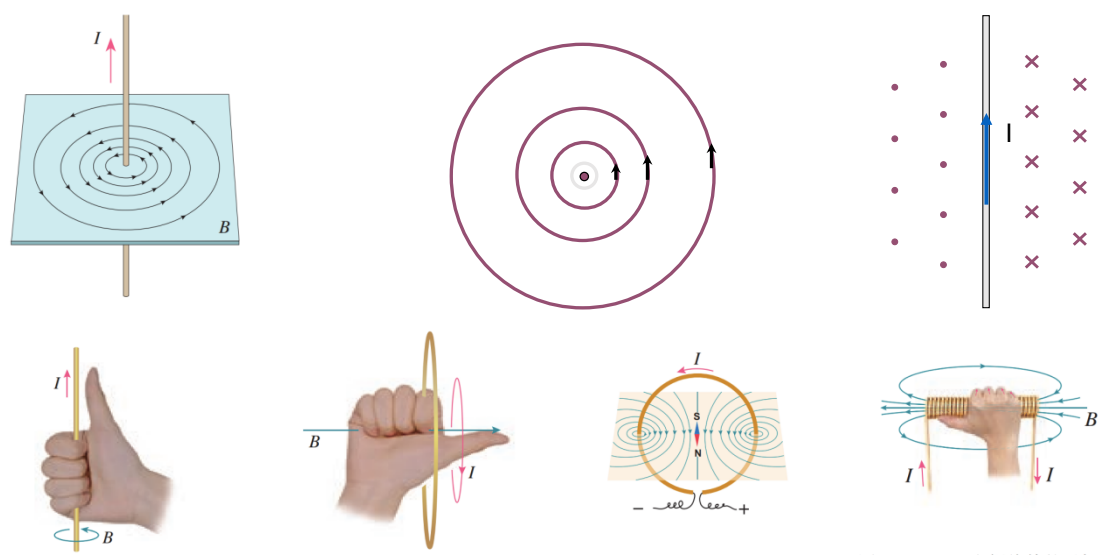
- (1) 定义：画在磁场中的曲线，使曲线上每一点的切线方向与该点磁场方向一致。
- (2) 特点

①闭合曲线。磁体外部 N 极到 S 极，磁体内部 S 极到 N 极。

- ②不相交，不相切。
- ③疏密反映磁场强弱。

		磁感线	电场线
相似点	引入目的	为形象描述场而引入，非客观存在	
	疏密	反映场的强弱	
	切线方向	反映场的方向	
	是否相交	不相交	
不同点		闭合	不闭合

4.安培定则（右手螺旋定则）：判断通电直导线的磁场方向。右手握住导线，拇指指向电流方向，弯曲四指指示磁感线环绕方向。通电线圈同样适用。



- 5.安培分子电流假说：安培认为，物质内部存在环形电流，是物质表现磁性的原因。
- 6.地磁场：
- (1) 地磁 N 极在地理 S 极附近。
 - (2) 南半球地磁场斜向上，北半球地磁场斜向下。

二、磁感应强度 磁通量

1.磁感应强度

- (1) 定义：垂直磁场方向放置的通电导线，所受的磁场力F跟电流I和导线长度L的乘积之比。
- (2) 表达式： $B = \frac{F}{IL}$
- (3) 单位：特 T
- (4) 方向：与磁场方向一致（注意不是电流受力的方向）。
- (5) 物理含义：反映磁场的强弱和方向。

	磁感应强度 B	电场强度 E
物理含义	磁场的强弱	电场的强弱
定义	$B = \frac{F}{IL}$	$E = \frac{F}{q}$
方向	小磁针静止时 N 极方向 (不是电流受力方向)	正电荷受力方向

2.匀强磁场

- (1) 定义：磁感应强度处处大小相等、方向相同的磁场。
- (2) 特点：间距相等的平行直线。
- (3) 举例：通电螺线管内部；平行放置的通电线圈中间区域。

3.磁通量

- (1) 定义：磁场中与磁场方向垂直的平面的面积 S 与磁感应强度 B 的乘积。
- (2) 表达式： $\Phi = B_{\perp} S$
- (3) 单位：韦伯 Wb
- (4) 标量：有正负，正负表示从不同方向穿过平面。不同磁场沿相反方向穿过平面，计算磁通量时需要正负抵消。
- (5) 物理含义：反映穿过平面的磁感线条数。

4.磁通量的变化量

- (1) 表达式： $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$

三、电磁感应现象及应用

1.电磁感应现象

- (1) 发现：法拉第
- (2) 定义：闭合导体回路中磁通量发生改变，在回路中产生电流的现象。
- (3) 感应电流：电磁感应中产生的电流。

2.电磁感应的条件

闭合导体回路中磁通量发生改变。

3.电磁感应现象的应用

发电机、电磁炉

四、电磁波的发现及应用

1.电磁场

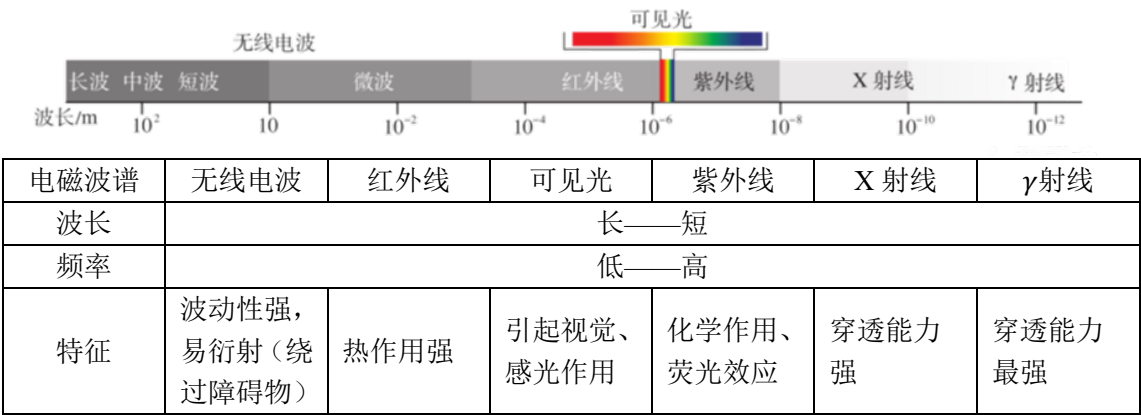
- (1) 定义：变化的电场和变化的磁场总是相互联系，形成一个不可分割的统一场。
- (2) 麦克斯韦预言电磁场产生电磁波，赫兹通过实验证实。

2.电磁波的特点

- (1) 电磁波传播不需要介质。
- (2) 真空中的速度等于光速。光是一种电磁波。
- (3) 同一电磁波的不同在不同介质中波速不同。
- (4) 不同电磁波在同一介质波速不同。（注意：不同机械波在同一介质波速相同。）

3.电磁波应用

- (1) 传递信息
- (2) 传递能量

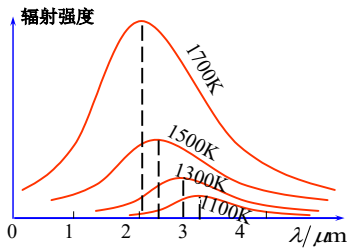


	用途	通信（雷达）	加热；遥感成像；红外摄影；夜视仪	照明；照相；	杀菌消毒	检查；探测细微结构；透视	探测；治疗
--	----	--------	------------------	--------	------	--------------	-------

五、能量量子化

1.黑体辐射问题

- （1）黑体：完全吸收电磁波而不反射的物体。黑体只辐射电磁波。
- （2）黑体辐射：一般物体辐射的电磁波种类及强度和温度、材料及表面状况有关。但黑体辐射的电磁波种类及强度只和温度有关。



- （3）黑体辐射实验：经典物理提出的黑体辐射公式无法解释黑体辐射的实验结果。

2.普朗克能量量子化假说

- （1）普朗克借助能量是不连续的观点，成功解释黑体辐射实验。
- （2）能量子： $\varepsilon = h\nu$

3.爱因斯坦光子假说

- （1）光子：光的能量的最小单位

4.玻尔氢原子能级

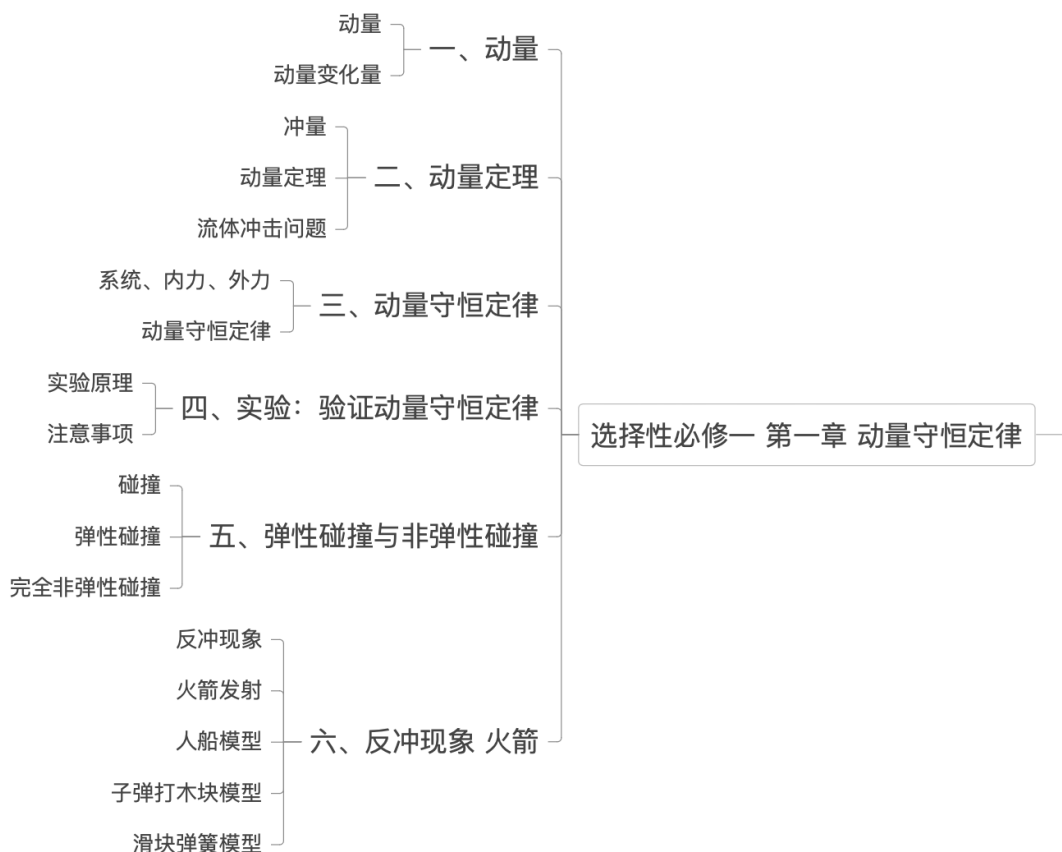
- （1）能级：原子的能量是不连续的。

5.量子力学

描述微观粒子的运动规律。

选择性必修一 第一章 动量守恒定律

※内容框架



※必备知识

一、动量

1.动量

- (1) 定义：质量与速度的乘积
- (2) 表达式： $p = mv$
- (3) 特点
 - (i) 矢量：与 v 同向
 - (ii) 相对性：速度与参考系选取有关。默认为对地速度。
 - (iii) 瞬时性：状态量，与某一位置或时刻所对应

2.动量变化量

- (1) 定义：末动量-初动量
- (2) 表达式： $\Delta p = p_t - p_0$
- (3) 方向：与 Δv 、 a 、 $F_{\text{合}}$ 同向。注意曲线运动的 Δv 的方向用三角形定则确定。

二、动量定理

1. 冲量

- (1) 定义：力与力作用时间的乘积
- (2) 表达式： $I = Ft$
- (3) 物理含义：力的作用在时间上的积累
- (4) 特点
 - (i) 矢量：与 F 同向
 - (ii) 相对性：速度与参考系选取有关。默认为对地速度。
 - (iii) 过程性：过程量，与某一过程所对应
- (5) 变力的冲量： $F-t$ 图面积

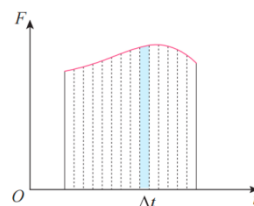


图 1.2-2 变力的冲量

	冲量	动量	动量变化量	动能
定义	力与作用时间的乘积	质量与速度的乘积	末动量-初动量	物体由于运动而具有的能量
表达式	$I = Ft$	$p = mv$	$\Delta p = p_t - p_0$	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$
	$I = \Delta p, E_k = \frac{p^2}{2m}$			

2. 动量定理

- (1) 内容：物体在一个过程中所受力的冲量等于它在这个过程始末的动量变化量。
- (2) 表达式： $F(t' - t) = mv' - mv$
- (3) 理解：
 - (i) 矢量：注意取定正方向
 - (ii) F 为合外力，注意计算过程容易漏重力。若 F 为变力，则 F 为作用时间内的平均值。

	动量定理	动能定理
内容	合外力的冲量等于动量变化量	合外力做的功等于动能变化量
表达式	$F(t' - t) = mv' - mv$	$Fx = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$
物理含义	力的作用在时间的积累引起动量变化，通常用于求时间	力的作用在空间积累引起动能变化，通常用于求位移
共同点	都只研究初末状态，不关注过程，可用于求变力作用的结果	

3. 流体冲击问题

- (1) 根据受力平衡确定平均力 \bar{F} 的大小： $\bar{F} = G_{\text{负重}}$
- (2) 确定流体初末速度：注意速度为零的某些隐含信息
- (3) 计算 m ： t 时间内受 \bar{F} 影响而动量改变的质量 $m = \rho V = \rho SL = \rho S v_0 t$
- (4) 消去 t ，得到 \bar{F} 的表达式

三、动量守恒定律

1. 系统、内力、外力

- (1) 系统：两个或多个相互作用的物体构成的整体
- (2) 内力：系统内物体间的作用力
- (3) 外力：系统以外的物体施加给系统内物体的力

2. 系统的动量定理

系统外力的冲量，等于系统动量变化量。

3. 动量守恒定律

- (1) 内容：如果一个系统不受外力，或者所受外力的矢量和为 0，这个系统的总动量保持不变。
- (2) 表达式： $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$
- (3) 成立条件
 - (i) 理想条件：系统不受外力或合外力为零
 - (ii) 单一方向动量守恒：系统在某一方向不受外力或合外力为零，该方向系统动量守恒
 - (iii) 外力远小于内力时，系统动量近似守恒

四、实验：验证动量守恒定律

1. 实验原理

- (1) 方案一：研究气垫导轨上滑块碰撞时的动量守恒
- (2) 方案二：研究斜槽末端小球碰撞时的动量守恒
- (3) 方案三：研究等长悬线悬挂等大小的小球碰撞时的动量守恒

2. 注意事项

- (1) 方案一注意事项：利用水平仪确保气垫导轨水平
- (2) 方案二注意事项：斜槽末端切线水平；两球半径相等；入射小球质量大于被碰小球质量。
- (3) 方案三注意事项：两小球静止时球心应在同一水平线，且刚好接触；两摆线应在同一竖直面内。

五、弹性碰撞与非弹性碰撞

1. 碰撞

- (1) 定义：
- (2) 特点：时间极短，位移极小，内力远大于外力，动量近似守恒，机械能不一定守恒
- (3) 分类
 - (i) 机械能守恒：弹性碰撞
 - (ii) 机械能不守恒：非弹性碰撞，碰后两物体共速的非弹性碰撞为完全非弹性碰撞
- (4) 合理性
 - (i) 动量守恒
 - (ii) 动能不增加
 - (iii) 速度合理：若碰前两物体同向， $v_{后} > v_{前}$ ，若碰后两物体同向， $v_{后}' < v_{前}'$ ，若碰前两物体同向， $v_{后} < v_{前}$ ，

若碰后物体不变向，则碰后速度减小

(3) 弹性碰撞

$$\text{动量守恒 } m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (1)$$

$$\text{机械能守恒 } \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \quad (2)$$

(②式作平方差，代入①式，得 $v_1' + v_1 = v_2' + v_2$)

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

一动碰一静时： $v_2 = 0$ ，有

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} v_1$$

$$v_2' = \frac{2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

(1) $m_1 = m_2$ 时, $v_1' = 0$, $v_2' = v_1$, 二者速度交换(注意速度交换前提: 等质量弹性碰撞, 与 v_2 是否为零无关)。

(2) $m_1 < m_2$ 时, v_1' 与 v_1 反向, 即小质量碰大质量, 小质量变向。若 $m_1 \ll m_2$, $v_1' \approx -v_1$, $v_2' \approx 0$ 。

(3) $m_1 > m_2$ 时, v_1' 与 v_1 同向, 即大质量碰小质量, 大质量不变向。若 $m_1 \gg m_2$, $v_1' \approx v_1$, $v_2' \approx 2v_1$ 。

3. 完全非弹性碰撞

动量守恒 $m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v_{共}$, 得

$$v_{共} = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

$$\begin{aligned} \text{动能损失 } -\Delta E_k &= \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_{共}^2 \\ &= \frac{m_1m_2(v_1 - v_2)^2}{2(m_1 + m_2)} \quad (\text{注意, } v_1 - v_2 \text{ 为矢量差}) \end{aligned}$$

六、反冲现象 火箭

1. 反冲现象

(1) 定义: 如果一个静止的物体在内力的作用下分裂成两部分, 一部分向某个方向运动, 则另一部分必然向反方向运动。

(2) 动量关系: $m_1v_1 = m_2v_2$

(3) 位移关系: $m_1x_1 = m_2x_2$

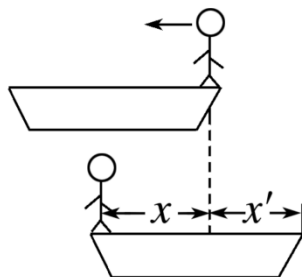
(4) 能量关系: $E_{其他} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$

2. 火箭发射

(1) 动量关系: $0 = mv_1 + (M - m)(-v_{气})$, M 为发射前总质量, m 为发射后箭体质量, v_1 为火箭发射速度(相对地面), $v_{气}$ 为喷气速度(相对地面)。

(2) 提高火箭发射速度: $v_1 = \left(\frac{M}{m} - 1\right)v_{气}$, 提高质量比 $\frac{M}{m}$, 提高喷气速度 $v_{气}$ 。

3. 人船模型

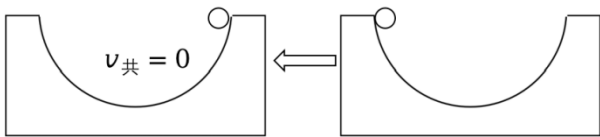
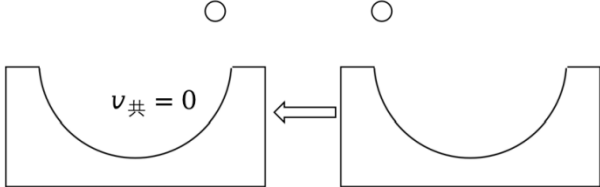
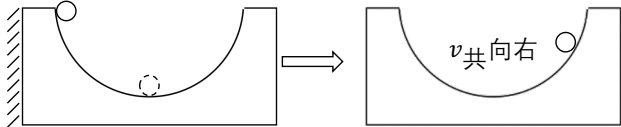
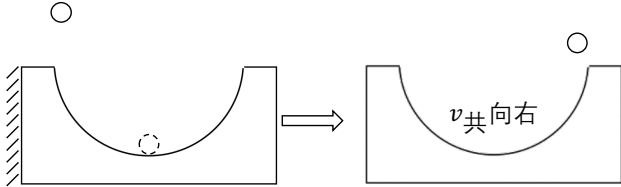
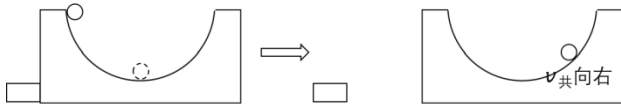


(1) 动量关系: $m_{人}v_{人} = m_{船}v_{船}$

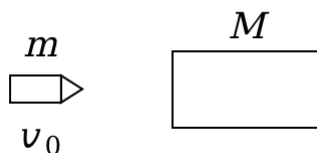
(2) 位移关系: $m_{人}x_{人} = m_{船}x_{船}$, 且 $x_{人} + x_{船} = L$

得 $x_{人} = \frac{m_{船}}{m_{人} + m_{船}}L$, $x_{船} = \frac{m_{人}}{m_{人} + m_{船}}L$ (位移与质量成反比)

(3) 变形: 球落凹槽

球落凹槽		
槽内某高度下落		球滑至最高处时二者共速，速度均为零（水平动量守恒），最高处与释放点等高（机械能守恒）
槽外某高度下落		球滑至槽另一端时二者共速，速度均为零，最高处与释放点等高
槽靠墙，槽内某高度下落		球滑至槽最低点时槽开始运动，球滑至最高处时二者共速，共速不为零，最高处高度比释放点低
槽靠墙，槽外某高度下落		球滑至槽最低点时槽开始运动，球滑至槽另一端时二者共速，共速不为零，之后球斜抛，二者水平速度始终相等
槽一侧放物块，槽内某高度下落		球滑至槽最低点时槽与左侧物体分离，球滑至最高点时二者共速，共速不为零

4. 子弹打木块模型

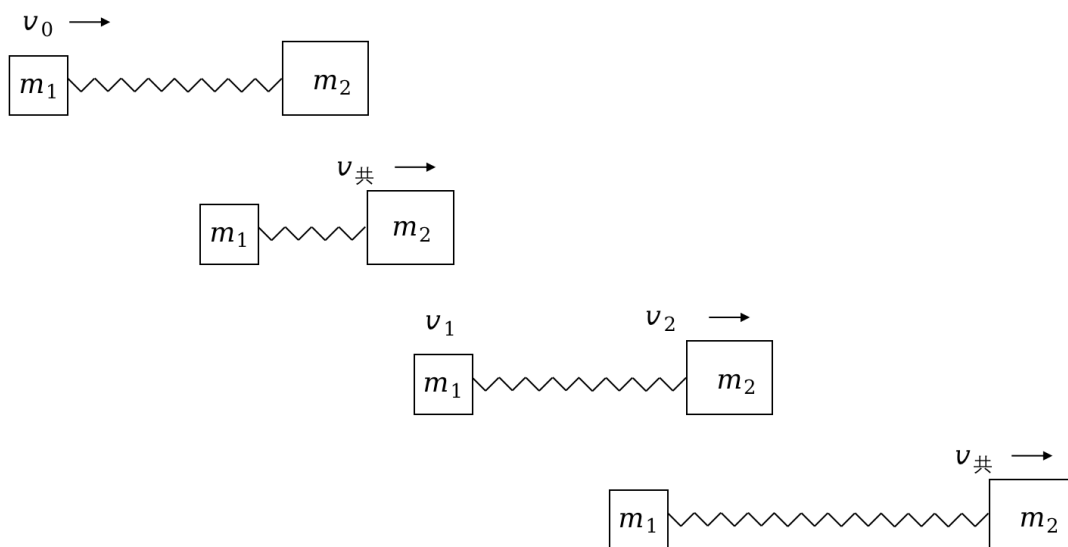


(1) 动量关系: $mv_0 = (m + M)v_{共}$ ，若阻力 f 已知，则 t 可求: $ft = Mv_{共}$

(2) 能量关系: 热量 $Q = -\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m + M)v_{共}^2 = \frac{mMv_0^2}{2(m + M)}$

若阻力 f 已知，则入射深度 L 可求: $Q = fL$ ， x_m 、 x_M 均可由动能定理求得。

5. 滑块弹簧模型



(1) 动量关系:

第一次压缩到最短时, 二者共速: $m_1 v_0 = (m_1 + m_2) v_{\text{共}}$

第一次恢复原长时, 二者有各自速度 (注意, v_1 方向取决于 m_1 与 m_2 大小): $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$

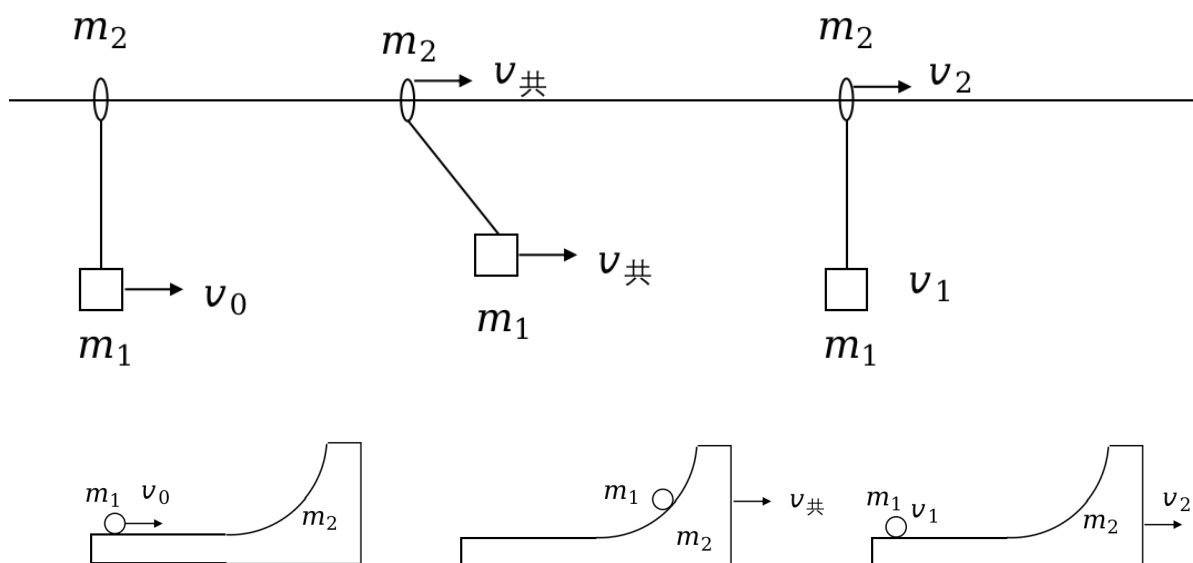
$$\frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

第一次拉伸到最长时, 二者再次共速: $m_1 v_0 = (m_1 + m_2) v_{\text{共}}$

(2) 能量关系: 压缩到最短或拉伸到最长时,

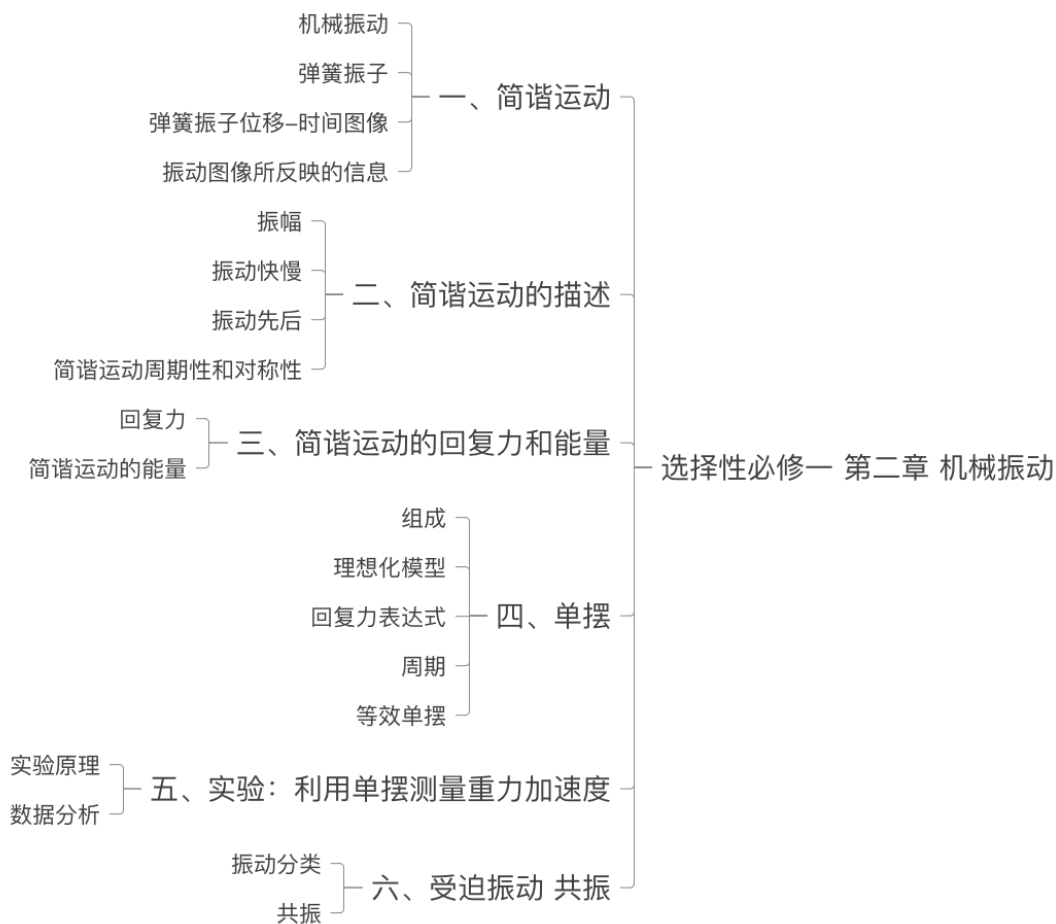
$$\Delta E_{\text{pmax}} = \frac{1}{2} m_1 v_0^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{\text{共}}^2 = \frac{m_1 m_2 v_0^2}{2(m_1 + m_2)}$$

(3) 变形: 悬绳模型、球上凹槽 (注意, v_1 方向取决于 m_1 与 m_2 大小)



选择性必修一 第二章 机械振动

※内容框架



※必备知识

一、简谐运动

1.机械振动

(1) 定义：物体或物体的一部分在一个位置附近的往复运动，简称振动。

2.弹簧振子

(1) 平衡位置：振动物体在振动方向上所受合力为零的位置。平衡位置 \Leftrightarrow 速度最大位置。

(2) 组成：弹簧+小球

(3) 理想化模型：①小球质点 ②轻质弹簧 ③忽略阻力 ④弹性限度

3.弹簧振子位移-时间图像

(1) 位移：平衡位置指向小球所在位置（注意与弹簧形变量区分）。

(2) 位移-时间图像（振动图像）：横轴为时间 t ，纵轴为位移 x

(3) 物理含义：振子位移随时间的变化规律（非振子的运动轨迹）

(4) 简谐运动：振动图像为正弦曲线的机械振动

4. 振动图像所反映的信息

信息	判别	靠近平衡位置时
位移	某一时刻的位移（平衡位置→所在位置） 某一过程位移（初位置→所在位置）	减小
速度	$x-t$ 图像斜率	增大
加速度	看位移（注意不是看形变量）	减小
回复力	看位移（注意不是看形变量）	减小
动能	看速度	增大
势能	看动能（注意不能直接看位移，比如竖直弹簧振子）	减小
机械能	守恒	不变

二、简谐运动的描述

 1. 振幅 A

- (1) 定义：振动物体离开平衡位置的最大距离
- (2) 物理含义：表示物体振动的范围

2. 振动快慢

- (1) 全振动：一个完整的振动过程。（注意：一次全振动，物体可能 2 次/3 次经过同一点。）
- (2) 周期 T ：做简谐运动物体完成一次全振动所需要的时间。（注意：一个 T 内物体的路程为 $4A$ ， $\frac{T}{4}$ 内物体的路程

不一定为 A ）。

- (3) 频率 f ：物体完成全振动的次数与所用时间之比

- (4) 圆频率 ω ： $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

3. 振动先后

- (1) 相位 $\omega t + \varphi$ ：描述做简谐运动物体在一个运动周期中所处的状态
- (2) 初相位 φ ： $t = 0$ 物体所处的状态。平衡位置处开始计时， $\varphi = 0$ 。最大位移处开始计时， $\varphi = \frac{\pi}{2}$ 。
- (3) 相位差 $\Delta\varphi$ ：两个具有相同频率简谐运动的相位差值， $\varphi_1 > \varphi_2$ 表示 1 振动状态比 2 振动状态超前 $\varphi_1 - \varphi_2$ 。

4. 简谐运动的周期性和对称性

- (1) 周期性：经过同一位置，可能对应多个时刻。
- (2) 对称性：关于平衡位置对称的两位置，位移等大反向，速度等大，可同向也可反向。关于平衡位置对称的两段过程，所用时间相等。

三、简谐运动的回复力和能量

1. 回复力

- (1) 定义：使振动物体回到平衡位置的力。（注意：回复力是效果力）
- (2) 方向：总是指向平衡位置
- (3) 简谐运动回复力： $F = -kx$ 。（注意： k 为比例系数，不一定为劲度系数）

判别依据	运动学	动力学	
简谐运动	$x = A \sin(\omega t + \varphi)$	$F = -kx$	$a = -k'x$

2. 简谐运动的能量

- (1) 能量转化关系：动能和势能相互转化
- (2) 能量特点：机械能守恒

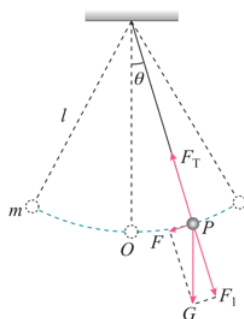
	最大位移处	靠近平衡位置	平衡位置	远离平衡位置
位移	最大	减小	零	增大
速度	零	增大	最大	减小
加速度	最大	减小	(振动方向) 零	增大
回复力	最大	减小	零	增大
动能	零	增大	最大	减小
势能	最大(注意)	减小(注意)	零(注意)	增大(注意)
机械能	恒定			

四、单摆

1.组成：小球+细线

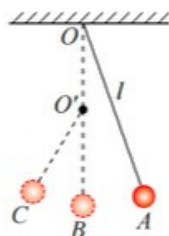
2.理想化模型：①细线轻 ②球径小 ③形变小 ④忽略阻力

3.回复力：重力的分力， $F_{\text{回}} = mg \sin \theta$ ， $\theta < 5^\circ$ 时， $F_{\text{回}} = -mg \frac{x}{l}$ ，单摆做简谐运动。



4.周期： $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ ，与振幅 A、质量 m 无关，惠更斯提出。

5.等效单摆



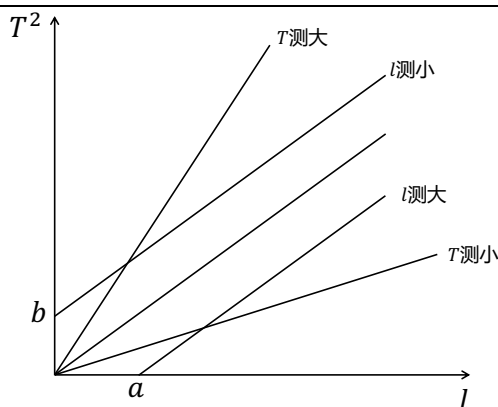
五、实验：利用单摆测量重力加速度

1.实验原理： $\theta < 5^\circ$ 时，单摆 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ ，得 $g = \frac{4\pi^2}{T^2} l$ ，测量 T 、 l 可测 g

2.数据分析：

(1) 平均值法： $g = \frac{1}{3}(g_1 + g_2 + g_3)$ ，测错 T 、 l ，均会影响 g 的测量值

(2) 作图法： $T^2 = \frac{4\pi^2}{g} l$ ，做 $T^2 - l$ 图或 $l - T^2$ 图，图像为过原点直线。



若每组数据均测错 l （如遗漏半径或错加直径），图像左右平移（ $r = a$ 或 $r = \frac{b}{k}$ ）， g 测量值无误差。

若每组数据均测错 T （如记录 $n-1$ 次全振动的时间），图像仅斜率改变， g 测量值有误差。

3.注意事项

- （1）计算单摆的全振动次数时，应从摆球通过最低位置(平衡位置)时开始计时，要测 n 次全振动的时间 t 。
- （2）选择细而不易伸长的线，长度一般不应短于 1 m ；摆球应选用密度较大、直径较小的金属球。
- （3）摆动时摆线偏离竖直方向的角度应很小。
- （4）摆球摆动时，要使之保持在同一竖直平面内，不要形成圆锥摆。

六、受迫振动 共振

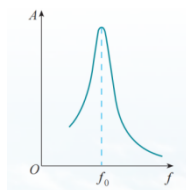
1.振动分类

	固有振动	阻尼振动	受迫振动	共振
受力	不受外力	外力为阻力	受周期性外力	受周期性外力
频率	固有频率	恒定	驱动力频率	外力频率=固有频率
振幅	恒定	减小	取决于驱动力频率	最大
机械能	守恒	减小	有能量输入	能量输入最大

2.共振

（1）定义： $f_{\text{驱}} = f_0$ 时，受迫振动的振幅达到最大的现象。

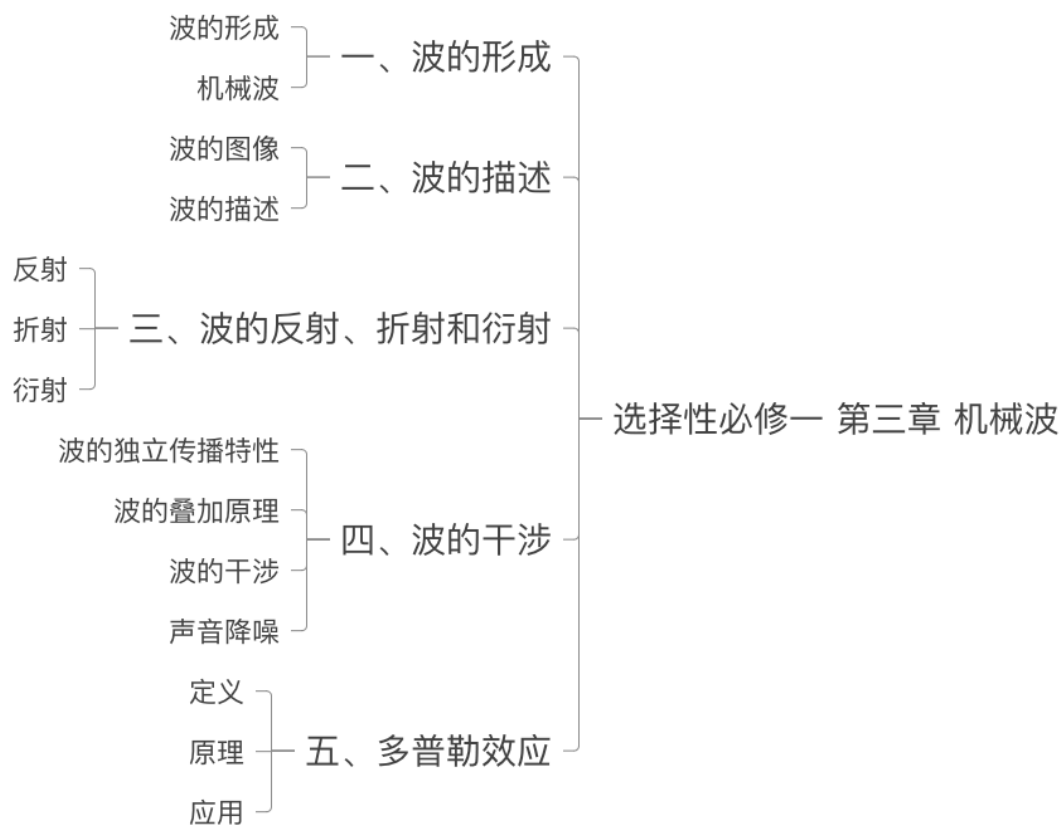
（2）共振曲线



（3）防止：使 $f_{\text{驱}}$ 尽可能偏离 f_0 ，或使外力不具有周期性。

选择性必修一 第三章 机械波

※内容框架



※必备知识

一、波的形成

1.波的形成

(1) 定义：振动的传播

(2) 形成（以绳波为例）：

①质点间存在弹力

②振源带动其他质点上下振动，质点并未随波迁移

③各质点起振方向、振动频率与振源相同

(3) 判断质点的振动方向

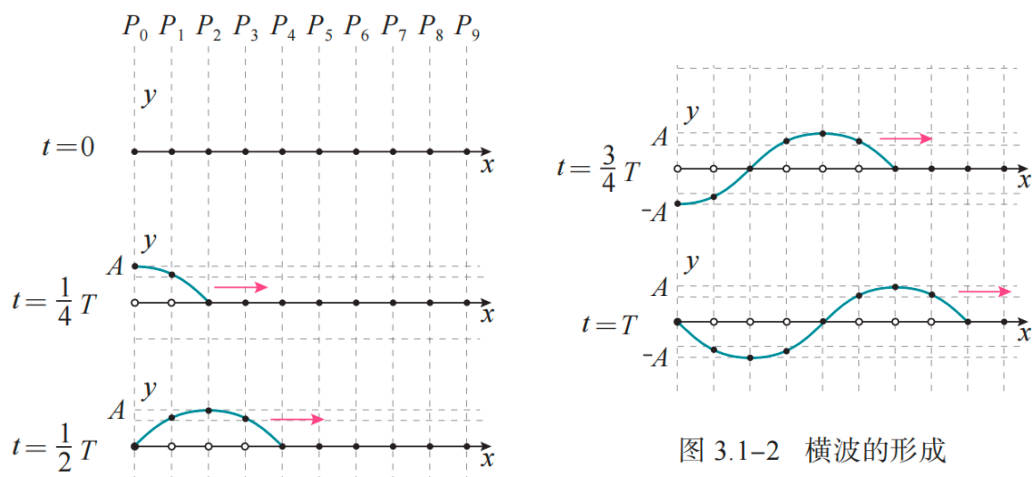


图 3.1-2 横波的形成

带动法：质点振动方向指向前面质点一侧。

(4) 横波与纵波

	横波	纵波
定义	质点振动方向与波传播方向垂直	质点传播方向与波传播方向共线
特征	波峰、波谷 （公众号：屋里学家）	密部、疏部

2. 机械波

(1) 定义：机械振动在介质中的传播

(2) 条件：振源+介质

(3) 特点：①质点不随波迁移 ②传递能量、信息

二、波的描述

1. 波的图像

	波的图像	振动图像
横轴	各质点的平衡位置 x	时间 t
纵轴	各质点的位移 y	位移 x
研究对象	多个质点	单个质点
物理含义	描述某时刻各质点的位移	描述某质点在多个时刻的位移
可获取信息	振幅、波长	振幅、周期
联系	$v = \frac{\lambda}{T}$	

2. 波的描述

(1) 振幅

(2) 周期、频率

(3) 波速

三、波的反射、折射与衍射

	反射	折射	衍射
现象	波遇到介质界面时返回介质的现象	波从一种介质进入另一种介质传播方向发生改变的现象	波绕过障碍物继续传播的现象
规律	入射角=反射角	波速大角度大	明显衍射条件：障碍物

			(孔、缝)尺寸接近或小于波长
发生条件	总是发生	并非总是发生	总是发生
例子	雷声阵阵	水波从深水区到浅水区	隔墙有耳、闻声不见人

四、波的干涉

- 1.波的独立传播特性：两列波相遇时，各自保持原来的运动特性。
- 2.波的叠加原理：两列波相遇时，各质点同时参与两列波的振动，位移、速度和加速度满足矢量叠加原理。
- 3.波的干涉：频率相等、相位差恒定和振动方向相同的两列波（相干波）相遇时，部分区域始终振动加强，部分区域始终振动减弱的现象。

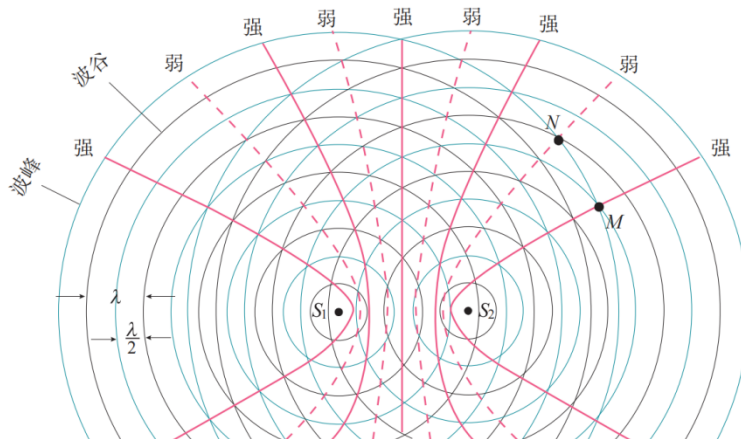


图 3.4-3 波的干涉的示意图

(4) 干涉加强点和减弱点的判断条件：

若两列波振动步调相同，加强点：波程差 $|r_1 - r_2| = \frac{\lambda}{2} \cdot 2k (k = 0, 1, 2, \dots)$ ，减弱点：波程差 $|r_1 - r_2| = \frac{\lambda}{2} \cdot (2k + 1) (k = 0, 1, 2, \dots)$ 。

若两列波振动步调相反，上述结论相反。

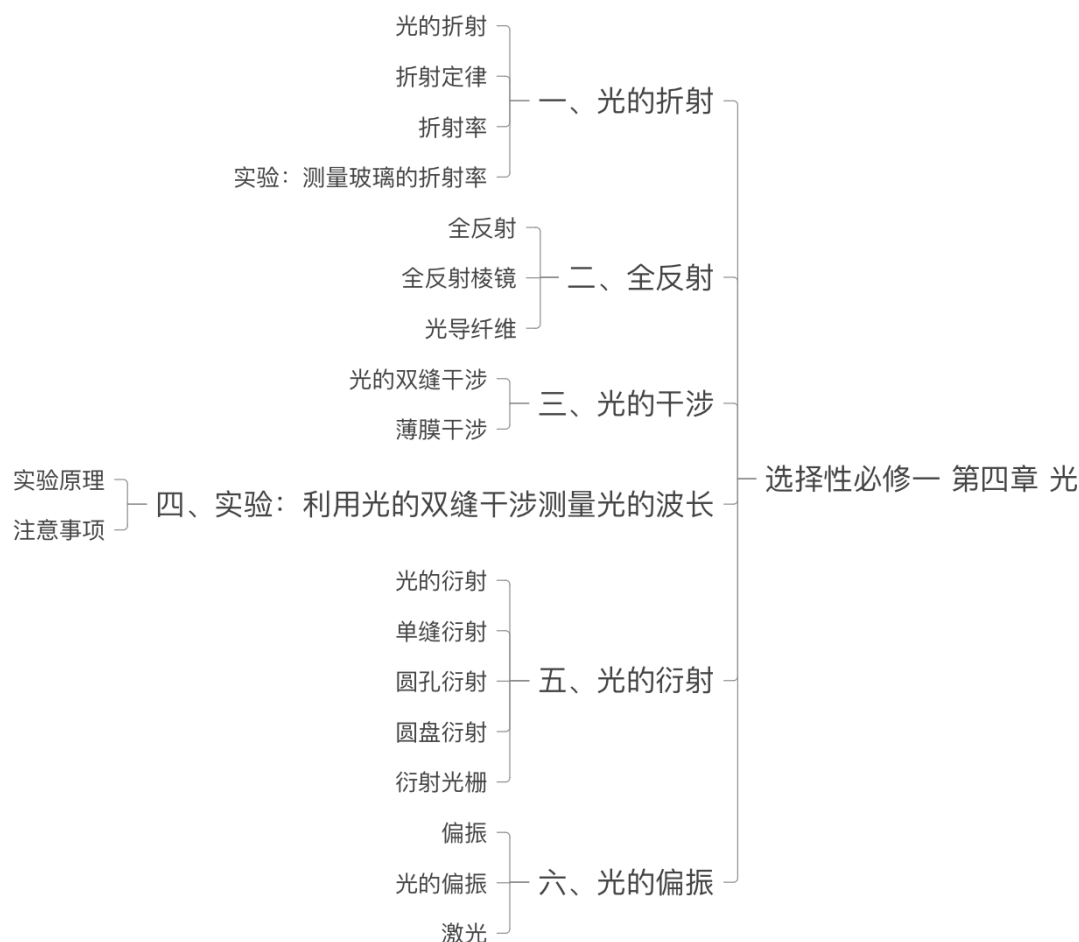
5.声音降噪：被动降噪和主动降噪

五、多普勒效应

- 1.定义：波源与观察者相互靠近或远离时，观察者接收到波的频率发生改变的现象。
- 2.原理：观察者与波相互靠近时，单位时间内接受到波峰（谷）的次数增加，接受到波的频率增加，波长变短。反之亦然。
- 3.应用：多普勒测速（彩超）、光的红移、音爆。

选择性必修一 第四章 光

※内容框架



※必备知识

一、光的折射

1.光的折射

(1) 定义：光从第一种介质射到该介质与第二种介质的分界面时，一部分光会进入第二种介质的现象叫作光的折射。

(2) 特点：三线共面，两线分居，角度不等

2.折射定律

(1) 内容：折射光线与入射光线、法线处在同一平面内，折射光线与入射光线分别位于法线的两侧；入射角的正弦与折射角的正弦成正比

(2) 表达式： $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \text{常数}$

(3) 理解：①比例常数与入射角、折射角的大小无关，只与两种介质的性质有关
②折射现象中光路是可逆的。

③光从一种介质垂直进入另一种介质时，传播方向不变，但传播速度发生改变；斜射时，传播方向和速度发生变化。

3. 折射率

(1) 定义：光从真空射入某种介质发生折射时，入射角的正弦与折射角的正弦之比，叫作这种介质的绝对折射率，简称折射率。

(2) 定义式：
$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

(3) 决定式：
$$n = \frac{c}{v}$$
（任何介质的折射率 n 都大于 1。空气折射率近似为 1。）

4. 实验：测量玻璃砖的折射率

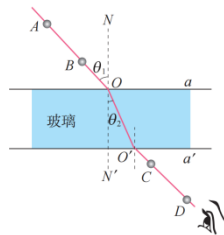
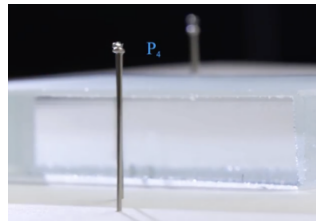


图 4.1-3 测量玻璃的折射率



(1) 实验时，尽可能将大头针竖直插在纸上，且 P1 和 P2 之间，P2 与 O 点之间，P3 与 P4 之间，P3 与 O' 点之间距离要稍大一些。

(2) 入射角 θ_1 应适当大一些，以减小测量误差，但入射角不宜太大，也不宜太小。

(3) 在实验过程中，玻璃砖与白纸的相对位置不能改变。

二、全反射

1. 全反射

(1) 定义：光由光密介质射入光疏介质时，当入射角超过一定角度时，折射角达到 90° ，折射光线完全消失，只剩反射光线的现象。

(2) 临界角：使折射角等于 90° 时的入射角， $\sin C = \frac{1}{n}$

(3) 条件：①光密介质进入光疏介质 ②入射角大于临界角

(4) 应用：水中明亮气泡、晶莹露珠

	红光	紫光
频率	低	高
速度	快	慢
折射率	小	大
临界角	大	小
通过棱镜的偏折程度	小	大

2. 全反射棱镜

(1) 特点：截面是等腰直角三角形

(2) 优点：反射率高，改变光路时失真小

(3) 应用：显微镜、单反相机、望远镜中改变光路方向的器件

3. 光导纤维

(1) 构成：由折射率较高的玻璃内芯和折射率较低的外层透明介质组成。

(2) 特点：反射率高，改变光路时失真小

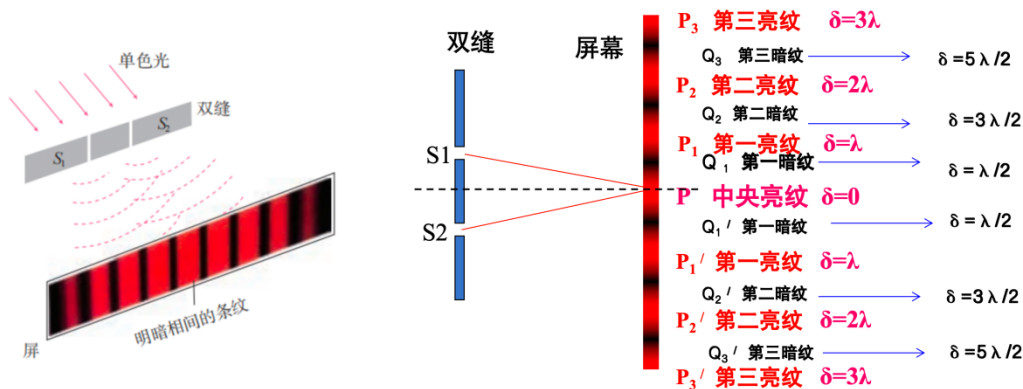
(3) 应用：光纤通信、内窥镜

三、光的干涉

1. 光的双缝干涉

(1) 条件：相干光源（频率相同、相位差恒定、振动方向相同）

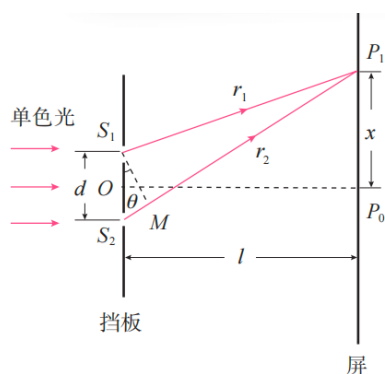
(2) 杨氏双缝干涉实验



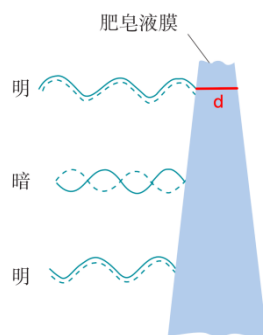
①亮纹： $r_2 - r_1 = \frac{\lambda}{2} 2n$ ($n = 0, 1, 2, \dots$)

②暗纹： $r_2 - r_1 = \frac{\lambda}{2} (2n + 1)$ ($n = 0, 1, 2, \dots$)

③条纹间距： $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$



2. 薄膜干涉

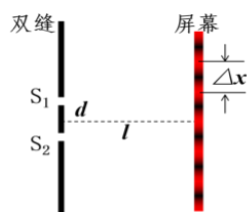


(1) 原理：重力作用形成上窄下宽的楔形薄膜，单色光照射时，薄膜前后表面反射的光叠加产生亮暗条纹，白光照射时，不同颜色光的亮条纹在不同厚度处出现，形成彩色条纹。

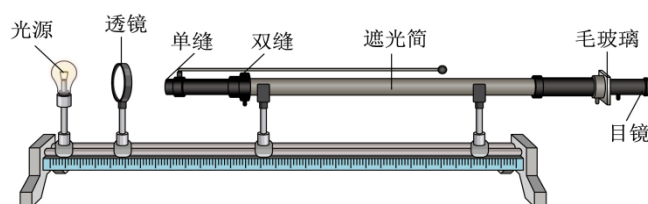
(2) 应用：增透膜、检查器件表面平整度（凸起处亮纹后移，凹陷处亮纹前移。越倾斜亮纹越密）、牛顿环

四、实验：利用光的双缝干涉测量光的波长

1. 实验原理



由 $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$ 得 $\lambda = \frac{d}{l} \Delta x$ 。



单缝：作为线光源。

双缝：作为两个相干光源。

滤光片：装在单缝前，使光成为单色光。

毛玻璃屏：在屏上观察干涉条纹。

透镜：使射向单缝的光更集中。

为了减小测量误差，可测多个亮条纹间的距离，再求出相邻两个条纹间的距离（累计法）。例如，可测出第 1 个亮条纹和第 n 个亮条纹的距离 a ，再求出相邻两个亮条纹间的距离

$$\Delta x = \frac{a}{n-1}$$

2. 注意事项

- (1) 放置单缝和双缝时，必须使缝平行。干涉条纹不清晰一般是因为单缝与双缝不平行。
- (2) 要保证光源、滤光片、单缝、双缝和光屏的中心在同一条轴线上。
- (3) 测量头中的分划板中心刻线与干涉条纹不平行，可转动测量头解决。

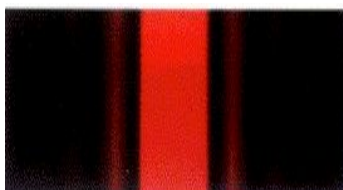
五、光的衍射

1. 光的衍射

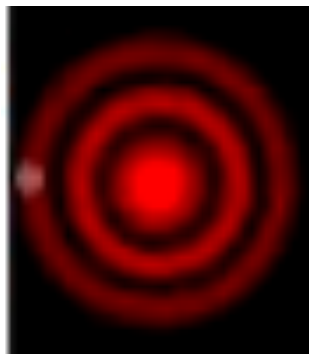
- (1) 定义：光离开直线传播路径传播到障碍物阴影区的现象。
- (2) 明显衍射条件：障碍物/缝/孔的尺寸接近或小于光的波长

2. 单缝衍射

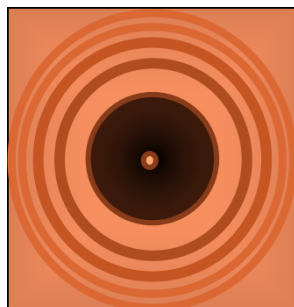
- (1) 明暗相间条纹
- (2) 缝窄波长更明显（条纹间距更大）
- (3) 单缝衍射和双缝干涉区别：单缝衍射中央亮纹更宽、更亮，亮纹不等距，双缝干涉亮纹等距。



3.圆孔衍射：中央亮斑+同心圆亮纹



4.圆盘衍射：中央小亮斑（泊松亮斑）+同心圆亮纹



5.衍射光栅

（1）分类：投射光栅、衍射光栅

（2）应用：光盘彩色条纹、羽毛彩色条纹

六、光的偏振 激光

1.偏振

（1）定义：不同的横波，传播方向相同，振动方向不同的现象。纵波无偏振现象。

2.光的偏振

（1）分类：

①自然光：太阳、电灯等普通光源发出的光。

②偏振光：自然光在玻璃、水面、木质等表面反射时，反射光和折射光均为偏振光

（1）应用：偏振滤光片、3D 眼镜、液晶显示

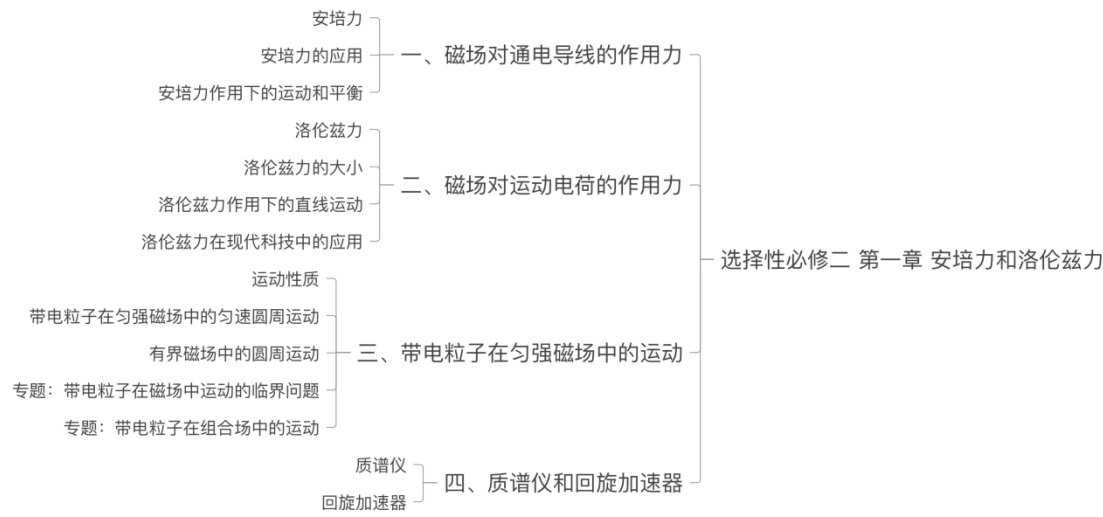
3.激光

（1）定义：某些物质的原子中的粒子受光或电刺激，使低能级的原子变成高能级原子，在向低能态跃迁时辐射出传播方向、偏振、相位等性质完全相同的光波。

（2）特点：相干性好（干涉实验、光纤通信）、平行度高（激光测距、激光雷达、激光刻录）、光强大（激光治疗、激光雕刻）

选择性必修二 第一章 安培力和洛伦兹力

※内容框架

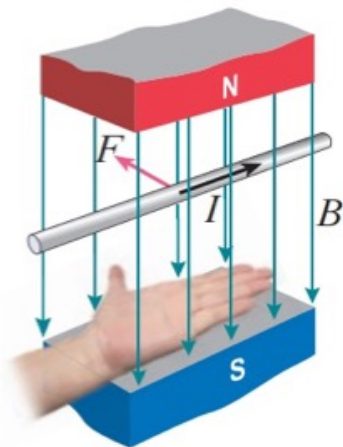


※必备知识

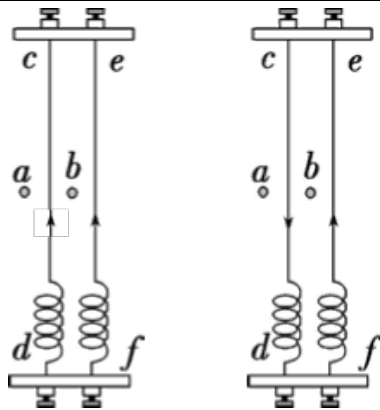
一、磁场对通电导线的作用力

1.安培力

- (1) 定义：磁场对通电导线的作用力
- (2) 方向：左手定则，磁感线垂直穿过手心，四指指向电流方向，大拇指为安培力方向。安培力垂直 B 和 I ，但 B 和 I 不一定垂直。



	安培定则（右手螺旋定则）	左手定则
用途	通电导线产生的磁场方向	通电导线在磁场中受安培力的方向

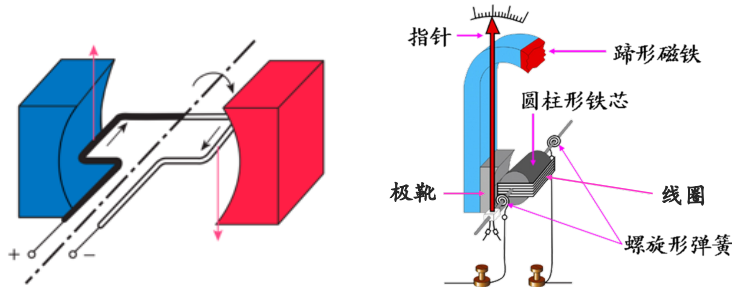


平行放置的通电导线，同向电流相互吸引，反向电流相互排斥。不平行放置会转动至平行且电流同向。‘

(3) 大小： $F_{\text{安}} = ILB_{\perp}$ ， L 为有效长度

2.安培力的应用

(1) 磁电式电流计



提高灵敏度 $\frac{\Delta\theta}{\Delta I}$ ：增大匝数、增大线圈面积、增大磁感应强度、减小螺旋弹簧劲度系数

(2) 电动机：换向器

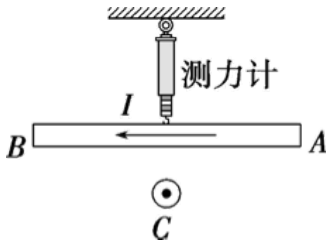
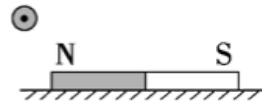
(3) 扬声器

(4) 电磁炮

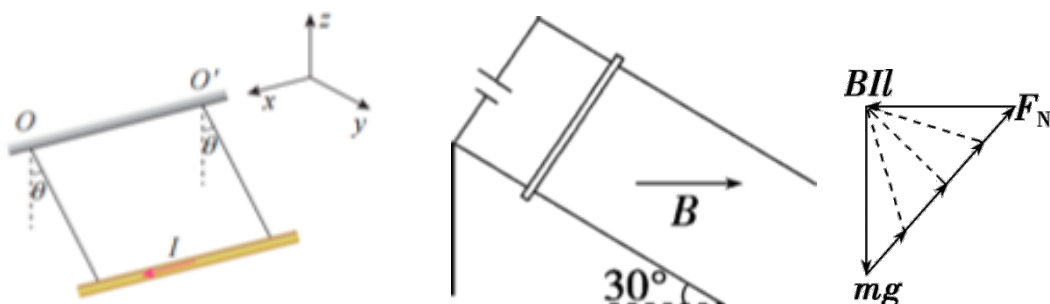
3.安培力作用下的运动与平衡

(1) 运动（转动和移动）

方法	原理	举例	分析
微元法	把整段导线分为多段电流元，分别判断每段电流元所受安培力的方向。先分析转动，再分析移动（分析移动要找中心点）。		导线a 端转向纸外， b 端转向纸里，同时向下运动。
等效法	环形电流可等效成小磁针，通电螺线管可以等效成条形磁铁。		从上往下看，线圈顺时针转动，同时靠近磁铁。
特殊位置法	转动通电导线到某个便于分析的特殊位置		

结论法	同向电流互相吸引, 反向电流互相排斥; 不平行的趋向于转到平行且电流方向相同。		导线 B 端转向读者, 同时测力计读数增大。
转换研究对象法	磁铁受安培力的方向难以判断, 根据牛顿第三定律转换为研究通电导线受力		磁铁受到地面的摩擦力向左。

(2) 平衡: 矢量三角形法



B 方向由水平向右变成竖直向下变化过程中, $F_{\text{安}}$ 先变小后变大, $F_{\text{安}} \perp N$ 时, 安培力有最小值 $F_{\text{安}} = mg \sin \alpha$ 。 N 一直变大。

二、磁场对运动电荷的作用力

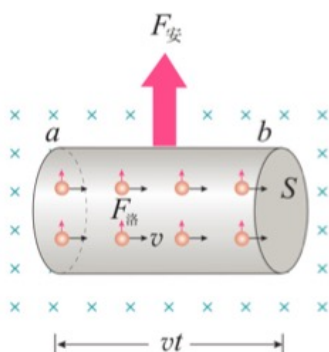
1. 洛伦兹力

(1) 定义: 磁场对运动电荷的作用力。安培力是洛伦兹力的宏观表现。

(2) 方向: 左手定则。 $F_{\text{洛}}$ 垂直 B 和 v 决定的平面, B 和 v 不一定垂直。(注意负电荷受洛伦兹力与同方向运动的正电荷方向受力相反)。洛伦兹力不做功。

2. 洛伦兹力的大小

(1) 推导:



$$F_{\text{洛}} = \frac{F_{\text{安}}}{N}$$

$$F_{\text{安}} = ILB$$

$$I = nqSv$$

$$N = n \cdot SL \cdot q$$

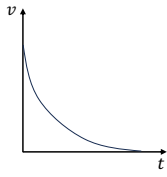
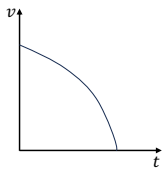
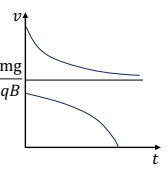
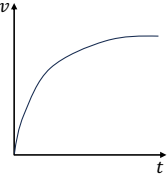
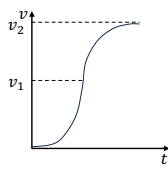
$$\text{得 } F_{\text{洛}} = qvB$$

(2) 表达式: $F_{\text{洛}} = qvB_{\perp}$

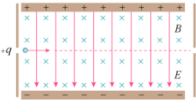
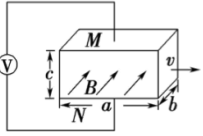
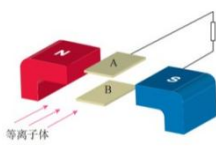
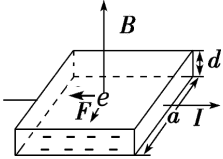
	洛伦兹力	安培力	电场力
定义	磁场对运动电荷的力	磁场对通电导线的力	电场对电荷的力
方向	垂直磁场方向		沿磁场方向
大小	可以为零		不可以为零

3. 洛伦兹力作用下的直线运动

	地面		杆上环	斜面/斜杆	
示意图					
支持力方向	固定	固定	可变	固定	可变
过程分析	向左减速, $F_{\text{洛}}$ 减小, N 减小, f 减小, a 减小, 越来越慢地减速至零	$v_0 > \frac{mg}{qB}$, $F_{\text{洛}} > mg$, 物体向上运动	$v_0 < \frac{mg}{qB}$, $F_{\text{洛}} < mg$, N 向上。向右减速, $F_{\text{洛}}$ 减小, N 增大, f 增大, a 增大, 越来越快地减速至零。	向下加速, $F_{\text{洛}}$ 增大, N 减小, f 减小, a 减小, 越来越慢地加速至 $F_{\text{洛}} = mg$, 此后离开斜面。	向下加速, N 垂直斜杆向上, $F_{\text{洛}}$ 增大, N 减小, f 减小, a 增大, 越来越快地加速至 $F_{\text{洛}} = mg \cos \alpha$, 此后 N 垂直斜杆向下, $F_{\text{洛}}$ 增大, N 增大, f 增大, a 减小, f 增大至 $mg \sin \alpha$
		$v_0 = \frac{mg}{qB}$, $F_{\text{洛}} = mg$, 物体向右匀速直线运动	$v_0 = \frac{mg}{qB}$, $F_{\text{洛}} = mg$, 物体向右匀速直线运动		$v_1 = \frac{mg \cos \alpha}{qB}$
		$v_0 < \frac{mg}{qB}$, $F_{\text{洛}} < mg$ 。向右减速, $F_{\text{洛}}$ 减小, N 增大, f 增大, a 增大, 越来越快地减速至零。	$v_0 > \frac{mg}{qB}$, $F_{\text{洛}} > mg$, N 向下。向右减速, $F_{\text{洛}}$ 减小, N 减小, f 减小, a 减小, 越来越快地减速。 $v = \frac{mg}{qB}$ 时, 开始匀速。		$v_2 = \frac{mg \sin \alpha}{\mu q B} + \frac{\mu mg \cos \alpha}{\mu q B}$

$v-t$ 图					
共同点	均为变加速直线运动				

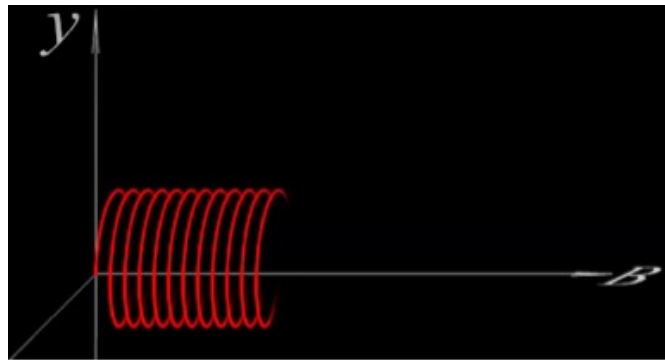
4.洛伦兹力在现代科技中的应用

	速度选择器	电磁流量计	磁流体发电机	霍尔效应
示意图				
原理	带电粒子 $v = \frac{E}{B}$ 时，匀速直线通过	流体中正离子向上偏转，负离子向下偏转，电荷聚集形成向下电场， $qvB = q\frac{U}{c}$ 时，上下极板电势差稳定。	等离子体中正离子向下偏转，负离子向上偏转，电荷聚集形成向下电场， $qvB = q\frac{U}{d}$ 时，上下极板电势差稳定，充当电源。	电流在导体流动时，自由电子受洛伦兹力向前表面偏转而聚集，使前后表面产生电势差。
特点	对粒子的速度大小、方向有要求，对电荷量、质量和电性无要求。	$v = \frac{U}{Bc}$ 流量 $Q = \frac{V}{t} = Sv =$ $bc \frac{U}{Bc} = \frac{bU}{B}$	$U = Bdv$ $I = \frac{Bdv}{r + R}$	$U = Bav$ $I = nqadv$ 霍尔电压 $U = \frac{1}{nq} \frac{BI}{d}$
阻力	-	流体间阻力	从上往下的电流在磁场中受到逆等离子体速度方向的安培力	-
共同点	$qvB = q\frac{U}{d}$			

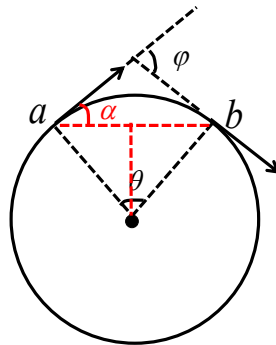
三、带电粒子在匀强磁场中的运动

1.运动性质

- (1) $v // B$: 匀速直线运动
- (2) $v \perp B$: 匀速圆周运动
- (3) v 与 B 有夹角: 等间距螺旋线运动



2. 带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动



(1) 半径 r

$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

(2) 周期 T

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

T 与速度、半径无关，只与质量、电荷量和磁感应强度有关。

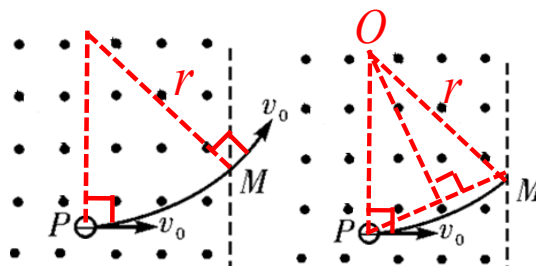
(3) 时间 t

$$t = \frac{\theta}{2\pi} T$$

$$\theta = \varphi = 2\alpha$$

3. 有界磁场中的匀速圆周运动

(1) 找圆心



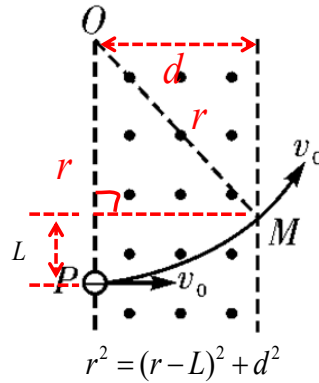
① 已知两速度方向：两垂线交点

②已知一速度方向和初末位置：垂线和垂径交点

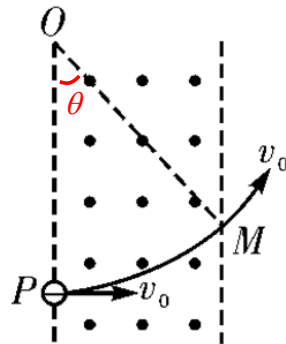
(2) 定半径：

①物理方法： $r = \frac{mv}{qB}$

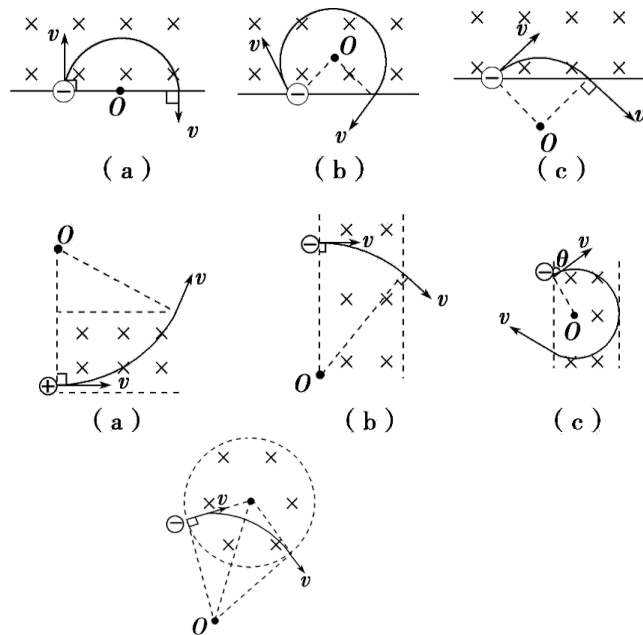
②几何方法：圆、直角三角形的几何关系，如下图：



(3) 算时间：找圆心角/速度偏转角



(4) 画轨迹：注意利用对称性



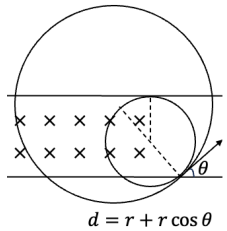
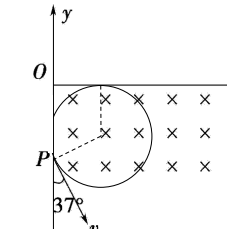
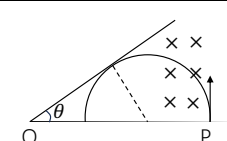
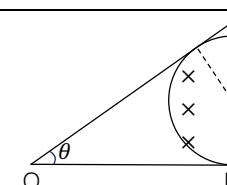
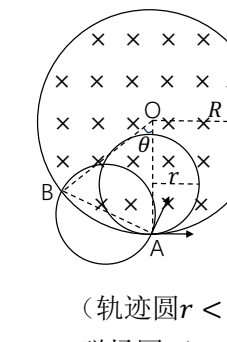
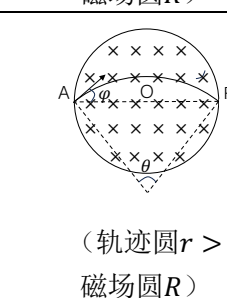
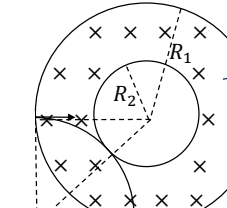
4.专题：带电粒子在磁场中运动的临界问题

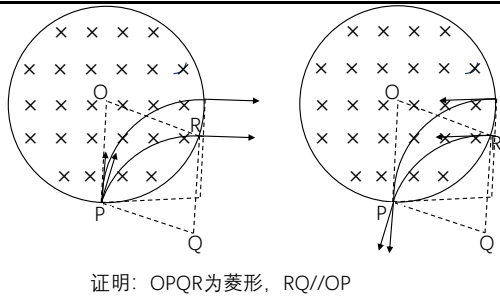
(1) 轨迹动态变化

	旋转圆	放缩圆	平移圆
条件	仅入射速度方向改变	仅入射速度大小改变	仅入射点改变
图像			
几何特点	以入射点为圆心, 轨迹直径为半径。	内切圆	

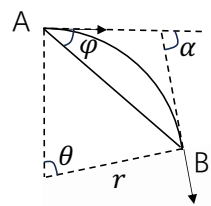
(2) 临界情况

边界情形	示意图	临界情况	几何关系
直线边界		落点最远: 垂直边界入射; 落点最近: 与 θ 有关。	落点最远: $d_1 = 2r$ 落点最近 $d_2 = 2r \cos \theta$:
		左侧最远落点: 旋转圆与边界交点 (OA 为轨迹圆直径) 右侧最远落点: 轨迹圆与边界相切	左侧最远: $d_1 = \sqrt{(2r)^2 - d^2}$ 右侧最远: $d_1 = r$
平行边界		左侧最远落点: 轨迹圆与边界相切 右侧最远落点: 平行边界射入	θ 满足: $r = d + r \cos \theta$
			$r = d$
		恰不从另一边界射出: 轨迹圆与边界相切	$2r = d$

	仅速度大小改变 (与边界有夹角入射)	 $d = r + r \cos \theta$		$d = r + r \cos \theta$
垂直边界	在一边界的特定点且有夹角射入	 $d_{OP} = r + r \sin \theta$	恰不从另一边界射出：轨迹圆与另一边界相切	$d_{OP} = r + r \sin \theta$
夹角磁场	垂直边界入射	 $\frac{r}{d_{OP} - r} = \sin \theta$	恰不从另一边界离开：轨迹圆与另一边界相切	$\frac{r}{d_{OP} - r} = \sin \theta$
	平行边界入射	 $\frac{r}{d_{OP}} = \tan \frac{\theta}{2}$	恰不从另一边界离开：轨迹圆与另一边界相切	$\frac{r}{d_{OP}} = \tan \frac{\theta}{2}$
圆形边界	圆磁场	 (轨迹圆 $r <$ 磁场圆 R)	最远落点：旋转圆与边界相交(AB 为轨迹圆直径)	$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{r}{R}$ 弧长 $l = R\theta$
		 (轨迹圆 $r >$ 磁场圆 R)	从定点沿不同方向入射，最长运动时间：弦长为直径时	$t = \frac{\theta}{2\pi} T$ $\theta = \frac{AB}{r} \text{ (} r \text{一定)}$
	圆环磁场	 $r^2 + R_1^2 = (r + R_2)^2$	恰好能从外边界离开：轨迹圆与内圆相切	$r^2 + R_1^2 = (r + R_2)^2$

		 <p>证明：OPQR为菱形，RQ//OP</p> <p>(轨迹圆r = 磁场圆R)</p>	$r = R$ 时，沿不同方向射入的粒子平行射出（磁发散），平行射入的粒子汇聚于一点（磁聚焦）
--	--	---	---

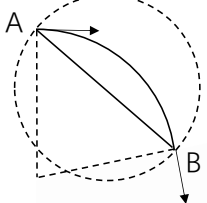
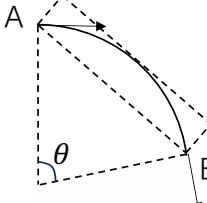
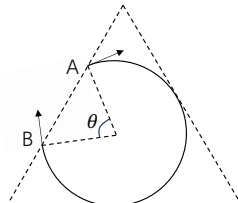
(3) 运动时间最值



$t = \frac{\theta}{2\pi} T = \frac{\theta}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\alpha}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\phi}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB}$, t 的最值等价于求角度最值。若粒子轨迹动态变化过程，轨迹半径 r 不变。

$l_{AB} = 2r \sin \frac{\theta}{2}$, 时间最值等价于求弦长最值。

(4) 磁场面积最值

情形	圆形磁场	矩形磁场	正三角形磁场
示意图			
绘图	以入射点、出射点的连线为直径的圆。	以入射点、出射点的连线为一边，圆弧切线为另一边的矩形。	以入射点、出射点的连线为一边，圆弧切线为另两边的正三角形。
几何关系	$R = \frac{1}{2} d_{AB}$	$l_1 = d_{AB}$ $l_2 = r - r \sin \frac{\theta}{2}$	$l = 2\sqrt{3}r$

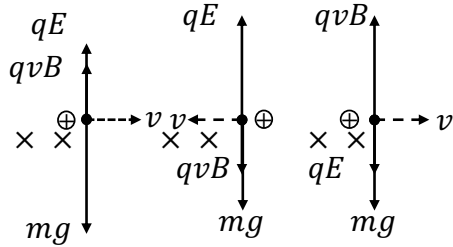
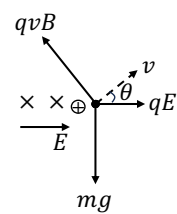
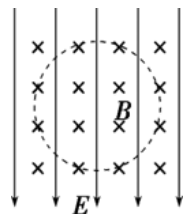
5.专题：带电体在叠加场中的运动

(1) 受力情形

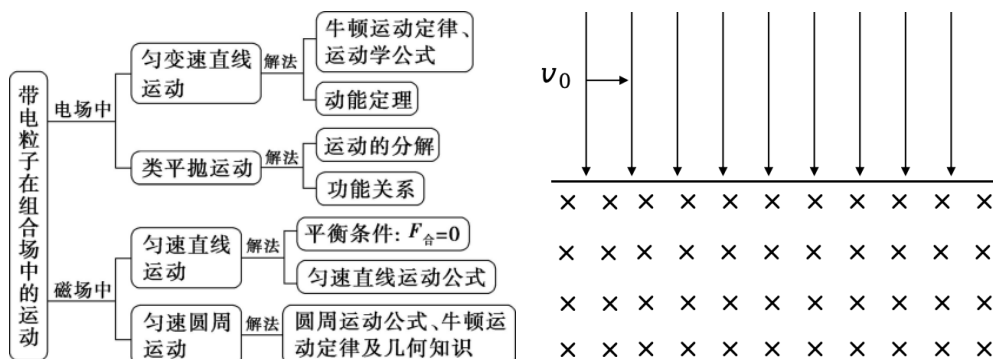
- ① 电场力+洛伦兹力：匀速直线运动、变加速曲线运动
- ② 重力+洛伦兹力：匀速直线运动、变加速曲线运动
- ③ 电场力+重力+洛伦兹力：匀速直线运动、匀速圆周运动、变加速曲线运动

(2) 运动情形

	匀速直线运动	匀速圆周运动
	三力共线	三力不共线

受力分析			
受力特点	$F_{\text{电}}$ 与 G 共线, v 与 $F_{\text{电}}$ 垂直	v 与 $F_{\text{电}}$ 和 G 的合力垂直	$F_{\text{电}}$ 和 G 平衡
关系	$\vec{G} = \vec{F}_{\text{电}} + \vec{F}_{\text{洛}}$	$qE = mg \tan \theta$ $qvB = \frac{mg}{\cos \theta}$	$qE = mg$

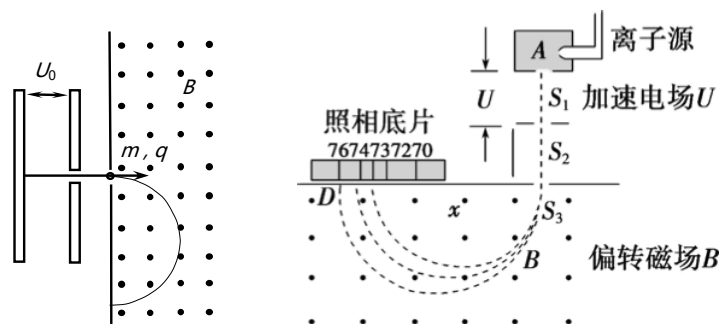
6. 专题：带电粒子组合场中的运动



四、质谱仪和回旋加速器

1. 质谱仪

(1) 原理



$$qU_0 = \frac{1}{2}mv^2$$

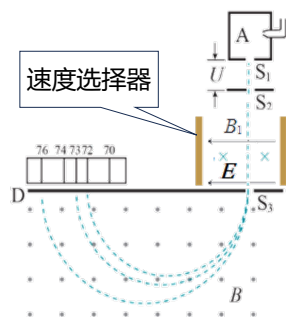
$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$d = 2r$$

$$\text{得 } d = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

(2) 结论：荷质比 $\frac{q}{m}$ 越大， d 越小。

(3) 改进：由于粒子释放时有初速度 v_0 ，使得 d 不仅跟 $\frac{q}{m}$ 有关。改进方法，增加速度选择器。



$$qE = qvB_1$$

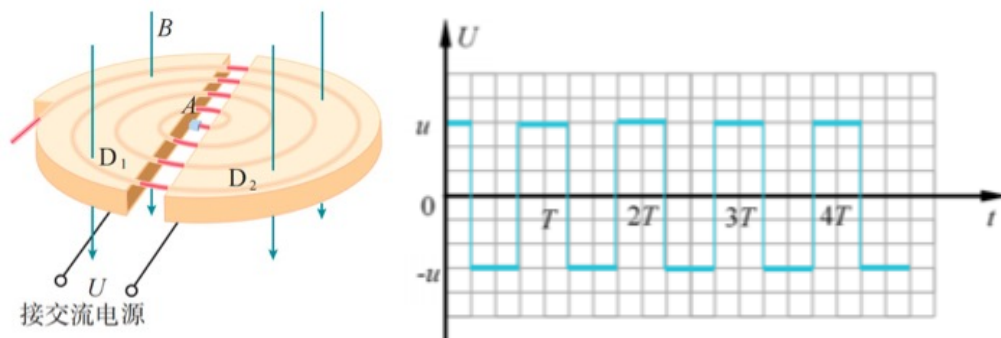
$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$d = 2r$$

$$\text{得 } d = \frac{2mE}{qBB_1}$$

2.回旋加速器

(1) 原理：粒子在电场中加速（时间忽略不计），在磁场中偏转。



$$n \text{ 次加速后的速度 } v_n: nqU = \frac{1}{2}mv_n^2, v_n = \sqrt{\frac{2nqU}{m}}$$

$$n \text{ 次加速后的半径 } r_n: qv_nB = m \frac{v_n^2}{r_n}, r_n = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2nmU}{q}}$$

$$\text{粒子运动周期 } T_{\text{运}}: T_{\text{运}} = T_{\text{电}} = \frac{2\pi m}{qB}, \text{ 一个周期内粒子被加速两次}$$

$$\text{粒子最大速度 } v_m: qv_mB = m \frac{v_m^2}{R}, v_m = \frac{qBR}{m}$$

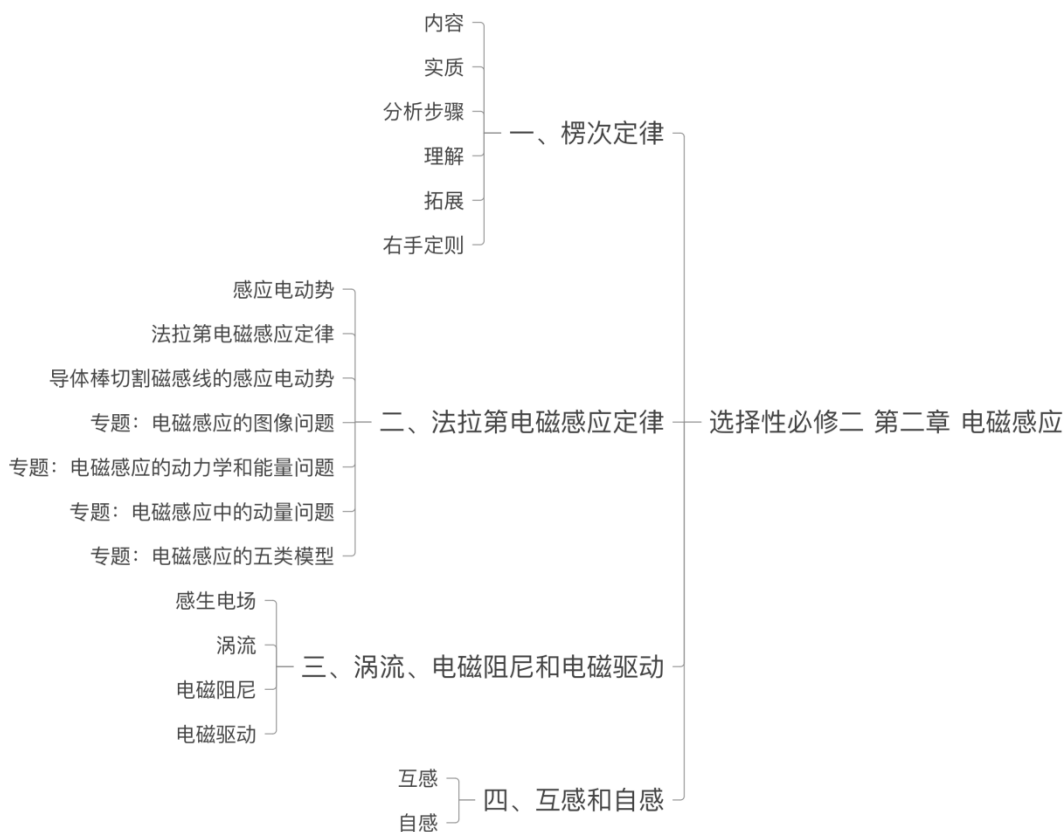
$$\text{粒子最大动能 } E_{km}: E_{km} = \frac{1}{2}mv_m^2, E_{km} = \frac{q^2B^2R^2}{2m}$$

$$\text{加速次数 } n: n = \frac{E_{km}}{qU}$$

$$\text{总运动时间 } t: t = \frac{n}{2}T_{\text{电}} = \frac{\pi BR^2}{2U}$$

选择性必修二 第二章 电磁感应

※内容框架

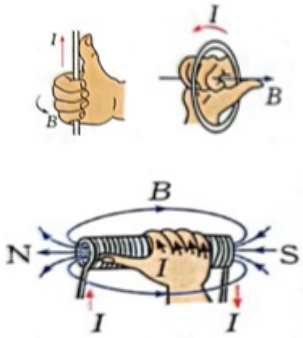
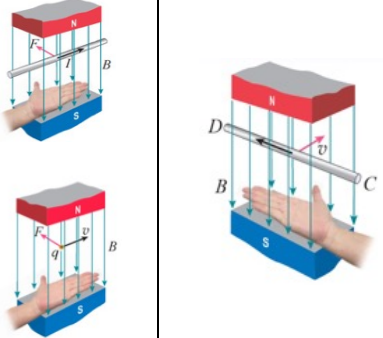
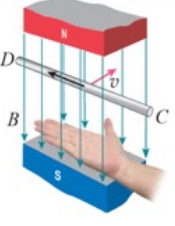


※必备知识

一、楞次定律

- 1.内容：感应电流的方向，要使感应磁场阻碍原磁场磁通量的变化。
- 2.实质：能量守恒的体现。阻碍体现在，通过克服安培力做功，把其他形式的能量转化为电能。
- 3.分析步骤：原磁场方向+磁通量变化（增加/减少）→感应磁场方向→感应电流方向
- 4.理解：
 - （1）谁阻碍：感应磁场
 - （2）阻碍谁：磁通量的变化
 - （3）如何阻碍：增反减同
 - （4）阻碍结果：阻碍 \neq 阻止
 - （5）为何阻碍：能量守恒
- 5.拓展
 - （1）增反减同
 - （2）来拒去留
 - （3）增缩减扩：适用于单向磁场
- 6.右手定则

- (1) 内容：磁感线穿过右手掌心，拇指指向运动方向，四指所指为感应电流的方向。
 (2) 是楞次定律的特例，适用于导体棒切割磁感线产生感应电动势的情形。

	右手螺旋定则（安培定则）	左手定则	右手定则
判断对象	电生磁	安培力或洛伦兹力	磁生电
规则			
共同点	-	四指均为电流方向	

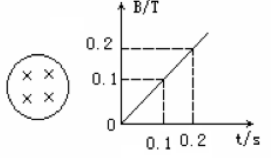
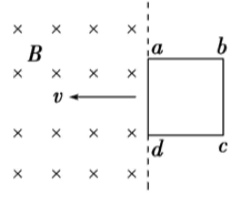
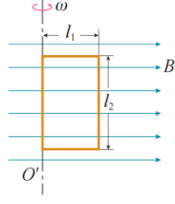
二、法拉第电磁感应定律

1. 感应电动势

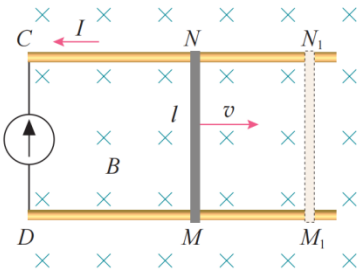
- (1) 定义：在电磁感应现象中产生的电动势。
 (2) 方向：电源内部，电流从负极流向正极。
 (3) 有感应电动势不一定有感应电流，有感应电流一定有感应电动势。

2. 法拉第电磁感应定律

- (1) 内容：闭合电路中感应电动势的大小，跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比，与匝数成正比。
 (2) 公式： $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

	B 变	S 变	B 和 S 均变
示意图			
公式	$E = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S$	$E = n \frac{\Delta S}{\Delta t} B$	$E = n \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t}$

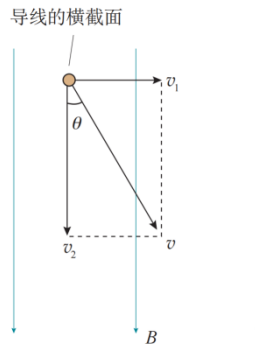
3. 导体棒切割磁感线的感应电动势



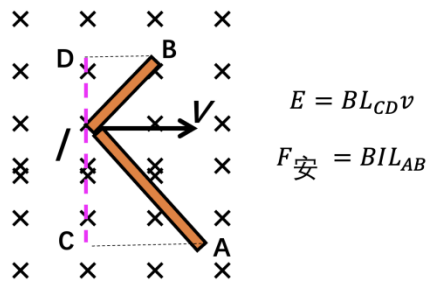
(1) 公式: $E = BLv$

(2) 注意:

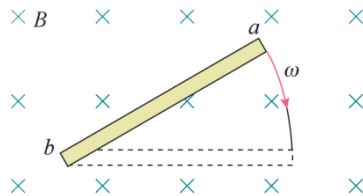
(i) 适用于 $B \perp v$, 若二者不垂直, 采用分解的方法计算。



(ii) 适用于 $L \perp v$, 若二者不垂直, L 为有效切割长度 (垂直速度方向的投影长度)。注意, 安培力中的长度为有效长度 (初末位置的连线长度)。



(3) 转动切割: $E = \frac{1}{2}BL^2\omega = BLv_{\text{中}} = BL\bar{v}$ 。圆盘转动切割磁感线, 相当于无数根导体棒转动切割, 它们之间是电源并联的关系。



4. 专题: 电磁感应中的电路问题

(1) 确定电源

(2) 画等效电路, 注意区分内电路和外电路。

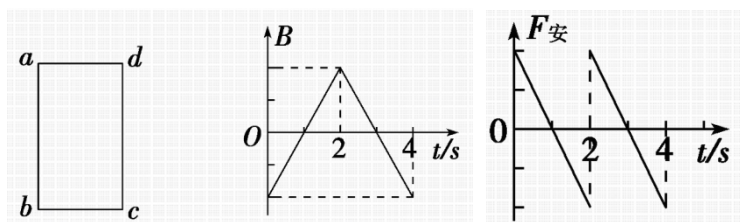
(3) 计算 E 、 I 、 U_{ab} (注意路端电压、正负)

(4) 电荷量的计算: 在一段时间 Δt 内, 通过回路任一横截面的电荷量 q 满足

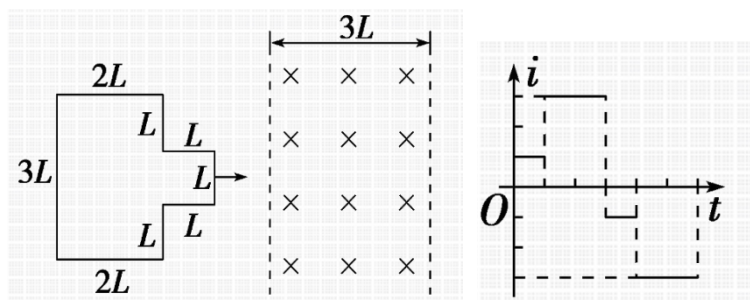
$$q = \bar{I}\Delta t = \frac{\bar{E}}{R+r}\Delta t = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \frac{1}{R+r} \Delta t = n \frac{\Delta\Phi}{R+r}$$

5. 专题: 电磁感应的图像问题

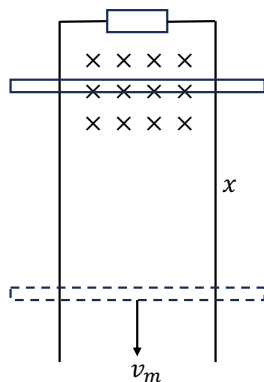
(1) 磁场变化: 注意电流方向是否改变



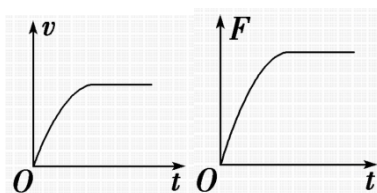
(2) 切割磁感线：注意有效切割长度



5. 专题：电磁感应中的动力学和能量问题



(1) 受力分析： $mg - F_{\text{安}} = ma$, $F_{\text{安}} = BIL$, $I = \frac{E}{R+r}$, $E = BLv$, 有 $mg - \frac{B^2 L^2 v}{R+r} = ma$, 随速度增加，安培力增大，加速度减小。加速度为零时，速度达到最大值。



(2) 最大速度（收尾速度）： $mg - \frac{B^2 L^2 v_m}{R+r} = 0$, 得 $v_m = \frac{mg(R+r)}{B^2 L^2}$

(3) 若从开始运动到达到最大速度过程的位移为 x ，则此过程克服安培力做的功：

$$W_G + W_{\text{克服安培力做的功}} = \frac{1}{2} m v_m^2 - 0$$

$$\text{得 } W_{\text{克服安培力做的功}} = mgx - \frac{1}{2} m v_m^2$$

(4) 此过程电路产生的热量 $Q_{\text{总}}$ ：

$$mgx = Q_{\text{总}} + \frac{1}{2}mv_m^2$$

$$\text{得 } Q_{\text{总}} = mgx - \frac{1}{2}mv_m^2$$

可知, $W_{\text{克服安培力做的功}} = E_{\text{电}} = Q_{\text{总}}$

此过程电阻 R 产生得热量 $Q_R = \frac{R}{R+r}Q_{\text{总}}$

(5) 此过程通过回路任一横截面的电荷量 q

$$q = n \frac{\Delta\Phi}{R+r} = \frac{BLx}{R+r}$$

电荷量与位移一一对应。相反, 若已知从开始运动到达到最大速度过程通过回路任一横截面的电荷量 q , 则 x 可求。

6. 专题: 电磁感应中的动量问题

安培力冲量

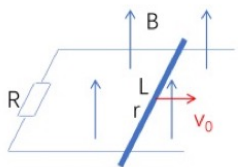
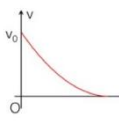
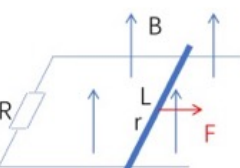
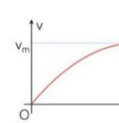
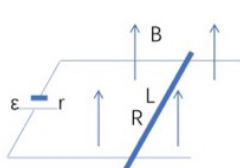
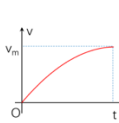
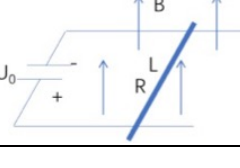
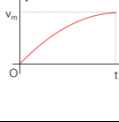
$$I_{\text{安}} = B\bar{I}Lt = BLq$$

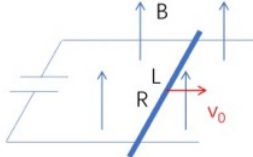
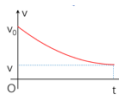
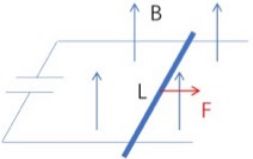
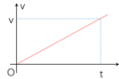
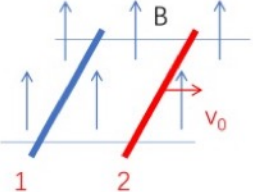
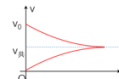
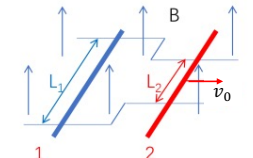
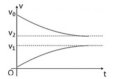
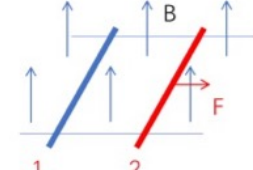
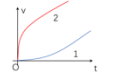
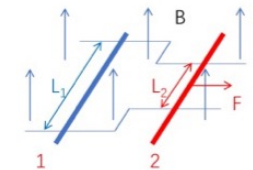
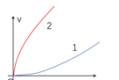
(6) 此过程的时间 t :

$$mgt - I_{\text{安}} = mv_m$$

$$\text{得 } t = \frac{mv_m + BLq}{mg}$$

7. 电磁感应的五类模型

	条件	动力学分析	能量与动量分析	图像
v 型		$\frac{B^2 L^2 v}{R+r} = ma$	$Q_{\text{总}} = \frac{1}{2}mv_0^2$	
F 型		$F - \frac{B^2 L^2 v}{R+r} = ma$ $v_m = \frac{F(R+r)}{B^2 L^2}$	$Fx - Q_{\text{总}} = \frac{1}{2}mv_m^2$ $Ft - I_{\text{安}} = mv_m$ $I_{\text{安}} = BLq = \frac{B^2 L^2 x}{R+r}$	
E 型		$\frac{BL(\epsilon - BLv)}{R+r} = ma$ $\epsilon = BLv_m$	$BLq = mv_m$ $q\epsilon = \frac{1}{2}mv_m^2 + Q_{\text{总}}$	
C 型		$U_{\text{min}} = BLv_m$	$BLq = mv_m$ $q = CU_0 - CU_{\text{min}}$ $v_m = \frac{BLCU_0}{m + CB^2 L^2}$	

			$U_{max} = BLv_{min}$	$BLq = m(v_0 - v_{min})$ $q = CU_{max}$ $\text{得 } v_{min} = \frac{mv_0}{m + CB^2L^2}$	
			$F - BIL = ma$ $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{CBL(v_2 - v_1)}{\Delta t} = CBLa$ $a = \frac{F}{m + CB^2L^2}$		
双杆			$m_2v_0 = (m_1 + m_2)v_{共}$ $\frac{1}{2}m_2v_0^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_{共}^2 + Q$ $BLq = m_1v_{共}$ $q = \frac{BL\Delta x}{R_1 + R_2}$		
			$BL_1v_1 = BL_2v_2$ $\frac{I_{安1}}{I_{安2}} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{m_1v_1}{m_2(v_2 - v_0)}$		
			$F = (m_1 + m_2)a$ $BIL = m_1a$ $I = \frac{BL(v_2 - v_1)}{R_1 + R_2}$		
			$BL_2v_2 - BL_1v_1 = E$ $BL_2(v_2 + a_2t) - BL_1(v_1 + a_1t) = E$ $F - F_{安2} = m_2a_2$ $F_{安1} = m_1a_1$ $\frac{F_{安1}}{F_{安2}} = \frac{L_1}{L_2}$		

8.电磁感应的线框模型

三、涡流、电磁阻尼和电磁驱动

1.感生电场

- (1) 定义：磁场变化时在空间激发的电场，亦称为涡旋电场。
 (2) 提出：麦克斯韦
 (3) 特点：电场线闭合；对电荷做功，做功大小与路径有关；无电势。

	静电场	感生电场
产生	静止电荷	变化的磁场
电场线特点	不闭合	闭合
电场方向	正电荷受力方向	楞次定律

- (4) 电子感应加速器

2. 涡流

- (1) 定义：磁场变化时，导体中的自由电子在感生电场的非静电力作用下定向移动，产生的涡旋状感应电流。
 (2) 应用：真空冶炼炉、电磁炉、探雷器、金属检测仪、安检门
 (3) 防止：变压器铁芯（增大铁芯电阻率、使用相互绝缘的硅钢片）

3. 电磁阻尼

- (1) 定义：当导体在磁场运动时，感应电流使导体受到安培力而阻碍导体的运动。
 (2) 应用：磁电式仪表、汽车电磁制动、磁阻尼摆

4. 电磁驱动

当磁场相对于导体转动时，在导体中会产生感应电流，感应电流使导体受到安培力的作用而运动起来的现象。

四、互感和自感

1. 互感

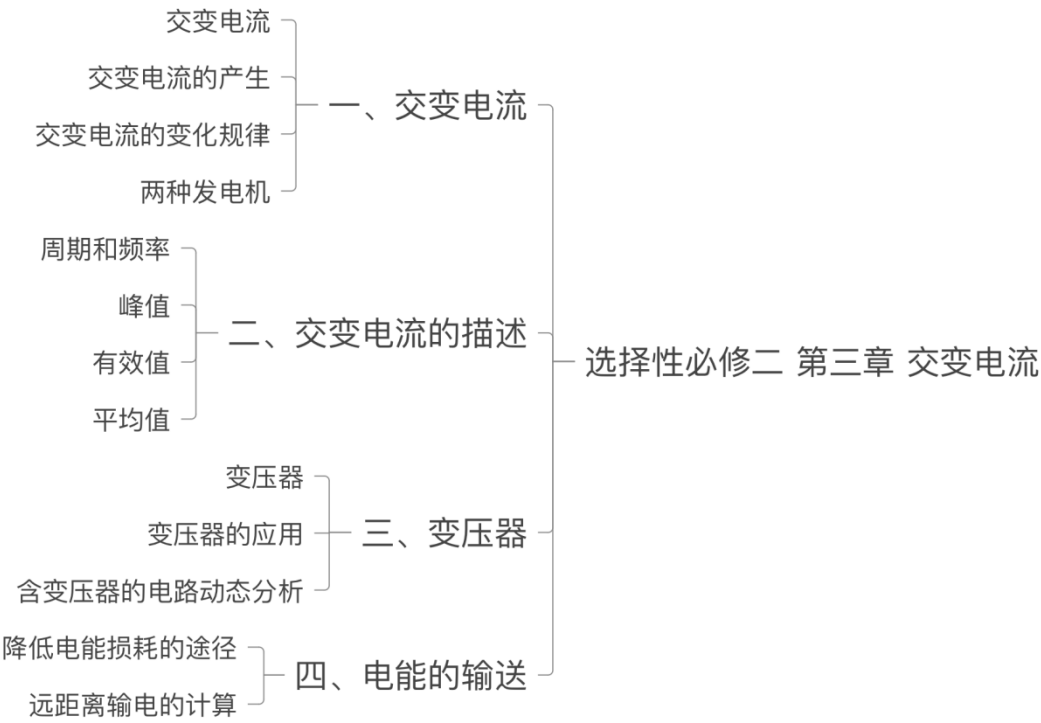
- (1) 定义：两个线圈相互靠近，当一个线圈中的电流变化时，它所产生的变化的磁场会在另一个线圈中产生感应电动势。
 (2) 应用：变压器、无线充电、天线

2. 自感

- (1) 定义：当一个线圈中的电流变化时，它所产生的变化的磁场在线圈本身激发出感应电动势。
 (2) 自感电动势： $E_{\text{自}} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
 (3) 自感系数 L ：取决于有无铁芯、线圈大小、线圈匝数、线圈形状，单位：H。
 (4) 通电自感和断电自感中，线圈中的电流不会突变，以变化前的电流开始缓慢变化。断电自感时，与线圈并联的灯泡是否会闪亮取决于断电前电流大小。

选择性必修二 第三章 交变电流

※内容框架



※必备知识

一、交变电流

1.交变电流（AC）

（1）定义：电流大小和方向随时间周期性变化的电流。方向不变的电流为直流电（脉冲电流+恒定电流，DC）。

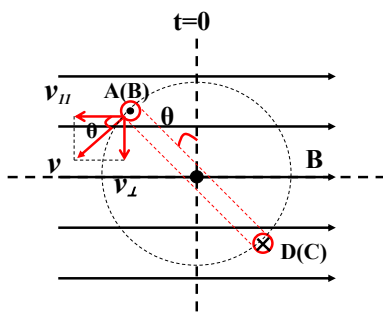
2.交变电流的产生

位置	① 起始位置	② 转过 90 度	③ 转过 180 度	④ 转过 270 度
立体图				
截面图				
B, S, v 关系	$B \perp S$ $B \parallel v$	$B \parallel S$ $B \perp v$	$B \perp S$ $B \parallel v$	$B \parallel S$ $B \perp v$

磁通量 Φ 表达式	$\Phi=BS$	$\Phi=0$	$\Phi=BS$	$\Phi=0$
磁通量的 变化率 $\Delta\Phi/\Delta t$	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=0$	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 最大	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=0$	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 最大
感应电动势/ 电流大小	$E=0$ $I=0$	E 最大 I 最大	$E=0$ $I=0$	E 最大 I 最大
感应电流 方向	无	$D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$	无	$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$

中性面：线圈平面与磁场垂直，磁通量最大，磁通量变化率为零。电流每次经过中性面，电流方向发生改变。一个周期内两次经过中心面，电流方向改变两次。

3.交变电流的变化规律



从中性面开始计时： $e = N \times 2BL_{AB}\omega \frac{L_{AD}}{2} \sin \omega t = E_m \sin \omega t$ ， $E_m = NBS\omega$

从中性面垂直位置开始计时： $e = E_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = E_m \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$

4.两种发电机：旋转电枢式发电机、旋转磁极式发电机

二、交变电流的描述

1.周期和频率

(1) 周期 T ：交变电流完成一次周期性变化所需的时间

(2) 频率 f ：交变电流单位时间内完成周期性变化的次数，单位：Hz

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

2.峰值：电容器所能承受的电压为交流电压的峰值。

$$E_m = NBS\omega$$

3.有效值：让交变电流与恒定电流分别通过大小相同的电阻，如果在交变电流的一个周期内他们产生的热量相等，则恒定电流的电流、电压为交变电流的电流有效值、电压有效值。

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 R t_i}{RT}}$$

正弦式交变电流有效值满足：

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

应用：热效应（热量、功率）、用电器额定电压电流、交流电表测量值（注意，直流电表不用于交流电测量）、保险丝熔断电流

4.平均值：交变电流在一个周期内各个时刻电流、电压的平均值。

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i t_i}{T}$$

正弦式交变电流平均值满足：

$$\bar{I} = \frac{I_m}{\pi/2}$$

应用：用于计算电荷量，如从中性面开始旋转 $\frac{T}{4}$ 过程回路中移动的电荷量

$$q = \bar{I} \Delta t = \frac{\bar{E}}{R} \Delta t = \frac{NBS}{\Delta t R} \Delta t = \frac{NBS}{R}$$

或

$$q = \bar{I} \Delta t = \frac{I_m}{\pi/2} \frac{T}{4} = \frac{I_m}{\omega} = \frac{E_m}{\omega R} = \frac{NBS}{R}$$

5.电感器和电容器对交变电流的作用

感抗：通直流，阻交流，通低频，阻高频。 $X_L = 2\pi fL$ ， L 为自感系数

容抗：通交流，阻直流，通高频，阻低频。 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ， C 为电容

三、变压器

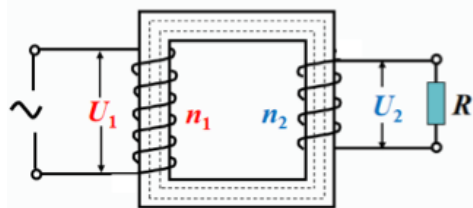
1.变压器

(1) 构造：原线圈、副线圈、铁芯（绝缘硅钢片叠合而成）

(2) 原理：互感

(3) 理想变压器的规律

理想变压器：无铜损（线圈发热）、无铁损（铁芯涡流发热）、无磁损（漏磁）



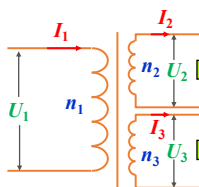
电压关系：\$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}\$（原线圈电压决定副线圈电压）

电流关系：\$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}\$（副线圈电流决定原线圈电流）

功率关系：\$P_1 = P_2\$（副线圈功率决定原线圈功率）

频率关系：\$f_1 = f_2\$

(4) 拓展：副线圈含多个线圈



电压关系: $\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2} = \frac{U_3}{n_3}$

电流关系: $I_1 n_1 = I_2 n_2 + I_3 n_3$

功率关系: $P_1 = P_2 + P_3$

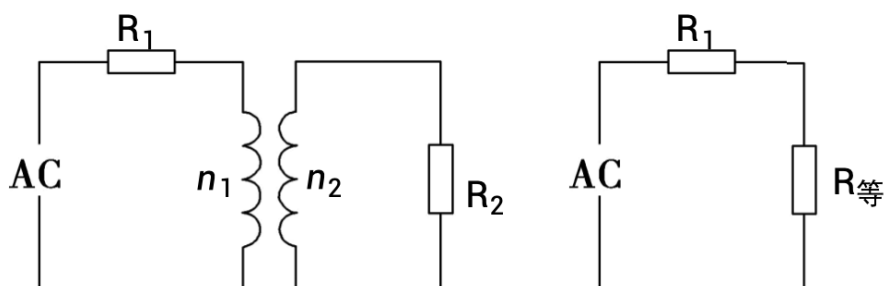
频率关系: $f_1 = f_2$

2. 变压器的应用

- (1) 自耦变压器
- (2) 电压互感器
- (3) 电流互感器
- (4) 无线充电

3. 含变压器的电路分析

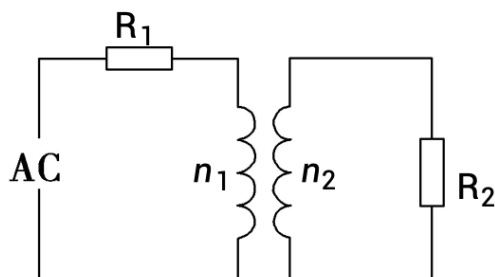
(1) 等效电阻



$$R_{\text{等}} = \frac{n_1^2}{n_2^2} R_2$$

推导: 设电源电动势为 E , 原线圈电流为 I , 有 $\frac{E - IR_1}{n_1} = \frac{I n_1 R_2}{n_2}$, 得 $I = \frac{E}{R_1 + \frac{n_1^2}{n_2^2} R_2}$, 又 $I = \frac{E}{R_1 + R_{\text{等}}}$, 得 $R_{\text{等}} = \frac{n_1^2}{n_2^2} R_2$ 。

(2) 原线圈电路含电阻的动态分析



输入电压恒定 —— $\frac{n_1}{n_2}$ 改变 —— U_2 改变 —— I_2 改变 —— U_{R1} 改变 —— U_1 改变

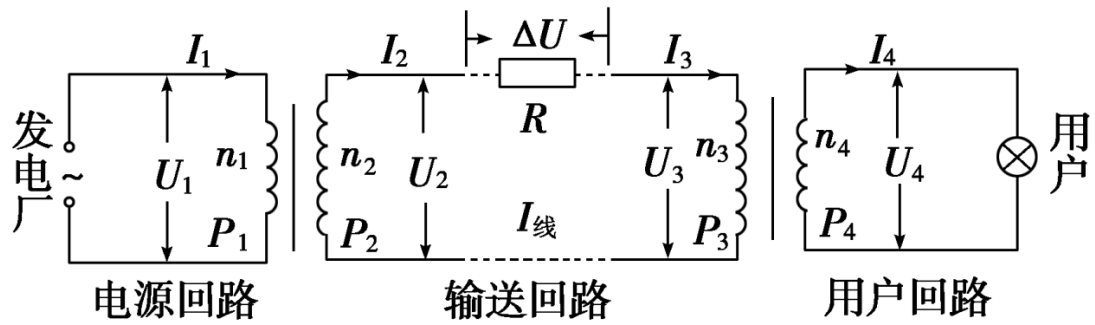
四、电能的输送

1. 降低电能损耗的途径

- (1) 减小输电线的电阻 (不现实)

(2) 减小输电电流

2. 远距离输电的计算



(1) 电源回路:

$$P_{\text{输}} = P_1 = U_1 I_1$$

(2) 输送回路:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad U_2 = U_3 + \Delta U$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$P_1 = P_2, \quad P_2 = U_2 I_2, \quad P_3 = U_3 I_2, \quad P_{\text{损}} = \Delta U I_2$$

(3) 用户电路:

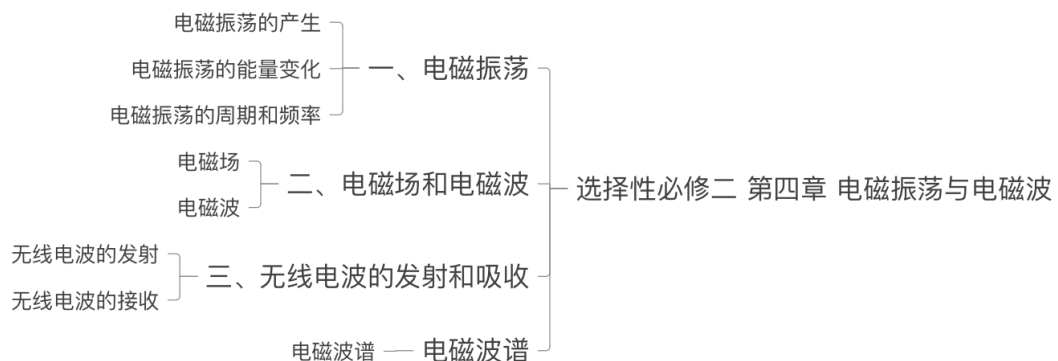
$$\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4}$$

$$\frac{I_3}{I_4} = \frac{n_4}{n_3}$$

$$P_{\text{载}} = P_4 = U_4 I_4$$

选择性必修二 第四章 电磁振荡与电磁波

※内容框架

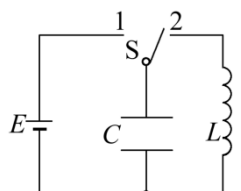


※必备知识

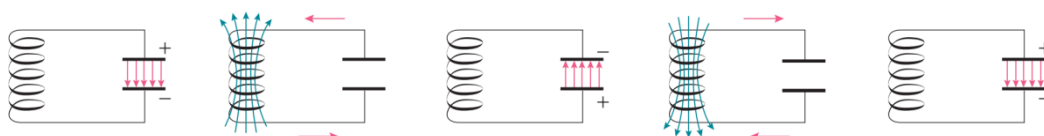
一、电磁振荡

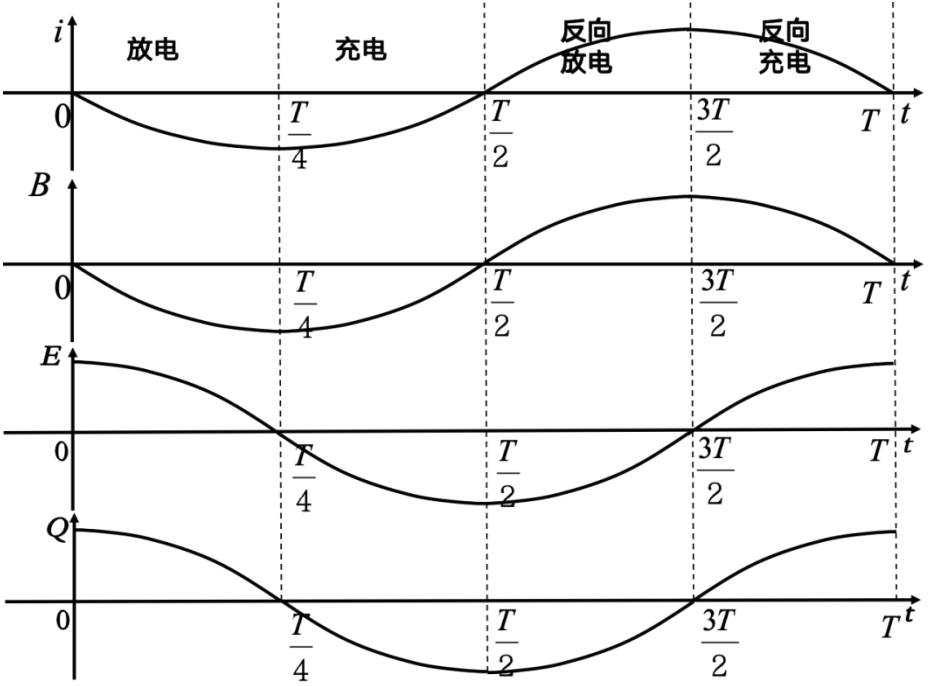
1. 电磁振荡的产生

- (1) 振荡电流：大小和方向都做周期性迅速变化的电流。
- (2) 振荡电路：能够产生振荡电流的电路叫做振荡电路。
- (3) LC 振荡电路：由电感线圈 L 和电容 C 组成的电路。
- (4) 电磁振荡：电路中的电流 i 、电容器极板上的电荷量 q （图 4.1-2 丙）、电容器里的电场强度 E 、线圈里的磁感应强度 B ，都在周期性地变化。



2. 电磁振荡的能量变化





	$0 \sim \frac{T}{4}$	$\frac{T}{4} \sim \frac{T}{2}$	$\frac{T}{2} \sim \frac{3T}{4}$	$\frac{3T}{4} \sim T$
过程	放电	充电	反向放电	反向充电
电荷量 Q	减小	增大	减小	增大
电流 $i = \frac{dQ}{dt}$	增大	减小	增大	减小
磁感应强度 $B = ki$	增大	减小	增大	减小
电场强度 $E = \frac{Q}{ac}$	减小	增大	减小	增大
电场能	减小	增大	减小	增大
磁场能	增大	减小	增大	减小

3.电磁振荡的周期和频率

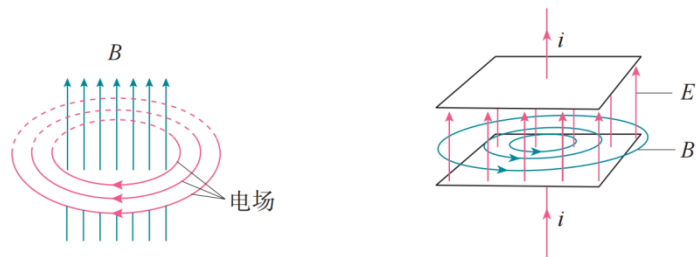
$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

线圈电感 L ：线圈的大小、形状、匝数、铁芯。

平行板电容： $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$

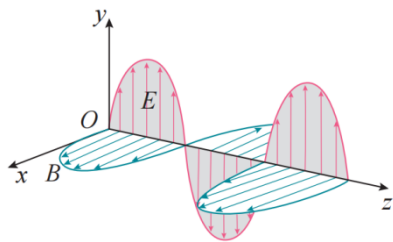
二、电磁场和电磁波

1.电磁场：变化的磁场产生电场，变化的电场产生磁场，变化的电场和磁场总是相互联系的，形成一个不可分割的统一的电磁场。

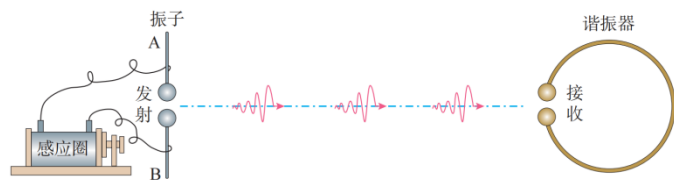


2.电磁波

(1) 产生：变化的电场和磁场由近及远地向周围传播，形成了电磁波。



(2) 发现：麦克斯韦预言，赫兹实验证实。



(3) 特点：

- ①电磁波传播不需要介质。电磁波的传播，是电场和磁场的相互激发，而不是靠介质的机械振动传递。
- ②电磁波是横波。电磁波在空间传播时在任一位置上（或任一时刻）， E 、 B 、 v 三个矢量相互垂直。
- ③真空中电磁波的速度等于光速， $c=3\times 10^8\text{m/s}$ ，光也是一种电磁波。
- ④电磁波的频率由振源决定，波速由介质决定。同一电磁波，在不同介质，波速不同。不同电磁波，在同一介质，波速不同。（注意：不同机械波，在同一介质，波速相同。）
- ⑤电磁波也会发生反射、折射、干涉、衍射、多普勒效应和偏振现象。
- ⑥电磁波具有能量，可以传递信息。

三、无线电波的发射和接收

1.无线电波的发射

- (1) 有效发射的条件：足够高的频率、振荡电路的电场和磁场必须分散到尽可能大的空间。
- (2) 调制：把传递的电信号（叫做调制信号）加到高频电磁波（叫做载波）上的过程。调制的两种方式：调幅 AM、调频 FM

2.无线电波的接收

- (1) 调谐：使接收电路发生电谐振的过程。两种方式：调幅（也叫检波）和调频。
- (2) 解调：把声音或图像信号从高频电流中还原出来。

无线电波传输流程：调制——调谐——解调

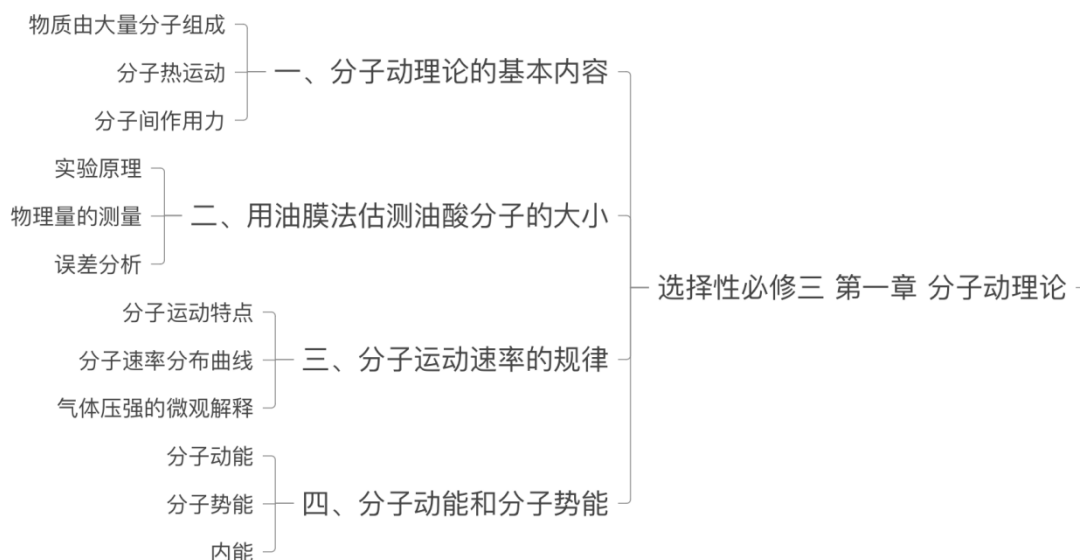
四、电磁波谱

	波长	特点	应用
无线电波	大于 1mm	衍射现象明显	通信、广播及信号传输、雷达

			(反射)
红外线	750nm~1nm	红外线热效应: 所有物体都发射红外线, 温度越高红外辐射越强	①遥控②红外线遥感
可见光	400nm~760nm, 红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫	①光的颜色是由频率决定的; ②所有光在真空中波速都相同; ③光进入介质中波速、波长都要改变, 但频率不变; ④在同一介质中, 频率越高, 波速越小。	视觉
紫外线	5~370nm	①较高的能量②荧光效应③化学作用	①杀菌消毒②促进钙的吸收, 但过强的紫外线会伤害眼睛和皮肤; ③荧光防伪。
X射线	比紫外线更短	具有很强的穿透本领	①医学上, X光片②在工业上, 利用X射线检查金属构件内部的缺陷③生活中: 安全检查。
γ 射线	最短	具有很高的能量	① γ 射线能破坏生命物质, 医学上可以用来治疗癌症② γ 射线穿透能力很强, 能穿过几厘米厚的铅板, 可用于探测金属部件内的缺陷。

选择性必修三 第一章 分子动理论

※内容框架



※必备知识

一、分子动理论的基本内容

1. 物质由大量分子组成

- (1) 分子：研究热学运动性质和规律时，分子、原子、或者离子这些微粒统称为分子。
- (2) 分子模型

① 固体液体分子模型：球体积 $V = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3$

② 气体分子模型：运动空间 $V = d^3$

(3) 阿伏加德罗常数 N_A ：1mol 任何物质所包含的分子数， $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$

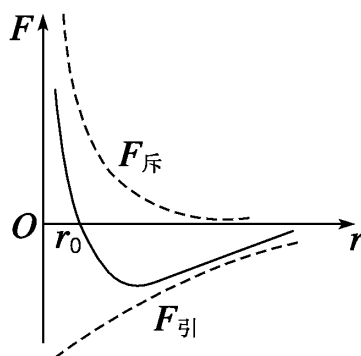
$$N = nN_A, \quad n = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_{mol}}, \quad V_{mol} = 22.4 \text{L/mol} \quad (\text{标况下气体})$$

2. 分子热运动

- (1) 扩散现象：
- (2) 布朗运动
- (3) 分子热运动

	扩散现象	布朗运动	分子热运动
现象	不同物质相互接触能够彼此进入对方的现象	液体或气体中悬浮颗粒的无规则运动	分子永不停息的无规则运动
原因	分子无规则运动	液体分子不平衡撞击。颗粒越小，温度越高，布朗运动越剧烈。	-
关系	分子热运动的直接体现	分子热运动的间接体现	温度越高，分子热运动越剧烈

3.分子间作用力



- (1) $r = r_0 = 10^{-10}m$ 时, $F_{斥} = F_{引}$, $F_{分}=0$, 分子处于平衡状态;
- (2) $r < r_0$, $F_{斥} > F_{引}$, 分子力表现为斥力, 随 r 增大, 分子力减小
- (3) $r > r_0$, $F_{斥} < F_{引}$, 分子力表现为引力, 随 r 增大, 分子力先增大后减小
- (4) $r > 10r_0 = 10^{-9}m$, 分子力为 0。

二、实验：用油膜法估测油酸分子的大小

 1.实验原理: $d = \frac{V}{S}$

- (1) 单层油膜
- (2) 紧密排列
- (3) 球状分子

2.物理量的测量

- (1) 一滴油酸的体积: $V = \frac{V_1}{V_2} \times \frac{V_3}{N}$, V_1 ml 的油酸配制成 V_2 ml 的油酸酒精溶液, N 滴油酸溶液的体积为 V_3 ml
- (2) 一滴油酸的面积: $S = nS_0$

3.误差分析

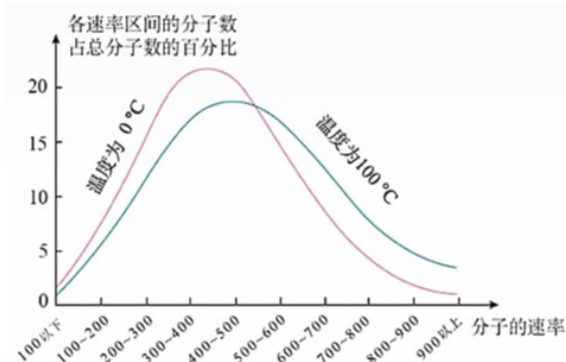
错误操作	V 计算值	S 计算值	d 计算值
油酸酒精溶液久置, 酒精挥发	不变	偏大	偏小
配制油酸酒精时, 多加酒精	不变	偏小	偏大
测量一滴溶液体积时, 多计一滴	不变	偏大	偏小
数格子时, 不足半格按一格算	不变	偏大	偏小

三、分子运动速率的规律

1.分子运动特点

- (1) 气体分子除了相互碰撞或者跟器壁碰撞外, 做匀速直线运动, 充满整个容器空间。
- (2) 分子数密度 $n = \frac{N}{V}$ 很大。
- (3) 某一时刻, 向各个方向运动的分子总数几乎相等。

2.分子速率分布曲线: 均为“中间多, 两头少”。温度上升时, “峰值”右移。但并非每个分子速率均增大。



3.气体压强的微观解释

(1) 产生：分子热运动撞击容器壁而产生

(2) 影响因素： $\bar{F} = \frac{2mv}{\Delta t}$, $p = \frac{1}{3}nmv^2$

微观影响因素	宏观影响因素
分子平均动能 \bar{E}_k	温度 T
分子数密度 n	体积 V

四、分子动能和分子势能

1.分子动能

(1) 分子动能：分子因热运动而具有的能量。

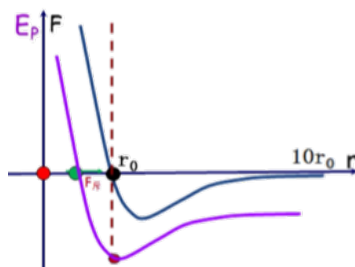
(2) 分子平均动能 \bar{E}_k ：所有分子动能的平均值。只和温度有关，与物质的种类和状态无关。同一温度下，不同物质的分子平均动能相同，但分子平均速率不同。

(3) 分子总动能 E_k ： $E_k = N\bar{E}_k$

微观影响因素	宏观影响因素
分子平均动能 \bar{E}_k	温度 T
分子总数 N	物质的量 n

2.分子势能

(1) 分子势能曲线： $r = r_0$ 时，分子势能最小，此时分子间作用力的合力为零。

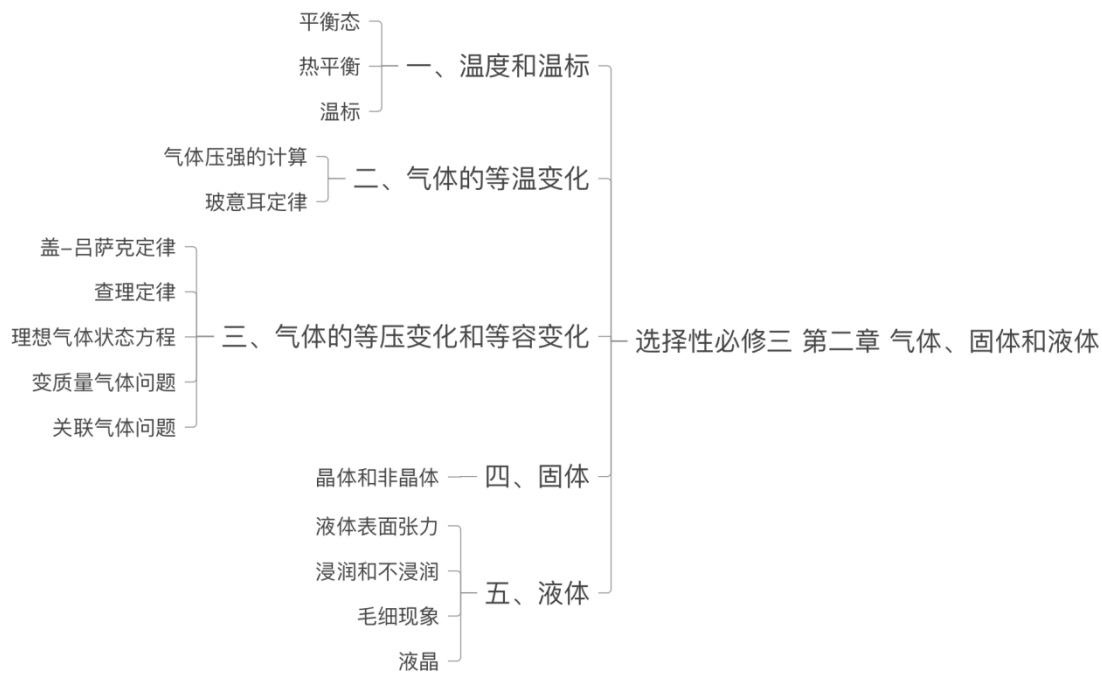


3.内能

微观影响因素	宏观影响因素
分子平均动能 \bar{E}_k	温度 T
分子总数 N	物质的量 n
分子间距 r	体积 V

选择性必修三 第二章 气体、固体和液体

※内容框架



※必备知识

一、温度和温标

- 1.平衡态：在没有外界影响的情况下，系统内各部分状态参量稳定的状态。
- 2.热平衡：如果两个系统相互接触而传热，一段时间后各自的状态参量不再变化，则这两个系统达到了热平衡。处于热平衡的系统之间有一“共同的热学性质”——温度。
- 3.温标

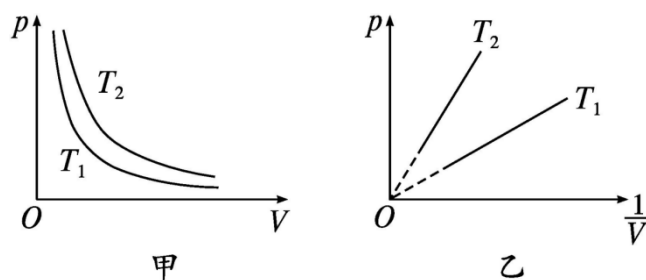
	摄氏温标	热力学温标
零度规定	标准气压下冰水混合物的温度	-273.15°C （绝对零度）
温度符号	t	T
单位	摄氏度 $^{\circ}\text{C}$	开尔文 K
关系	$T=t+273.15\text{K}$	

二、气体的等温变化

- 1.气体压强的计算
 - (1) 平衡法
 - (2) 等液面法
 - (3) 牛顿第二定律法
- 2.玻意耳定律
 - (1) 内容：一定质量的某种气体，在温度不变的情况下，压强 p 和体积 V 成反比。
 - (2) 表达式： $p_1V_1 = p_2V_2$

(3) 适用条件: ①一定质量②温度不变③温度不太低, 压强不太大

(4) 图像 ($T_1 < T_2$)



(5) 微观解释: 温度不变, 则分子平均动能不变。体积增大, 分子数密度减小, 压强减小。

三、气体的等压变化和等容变化

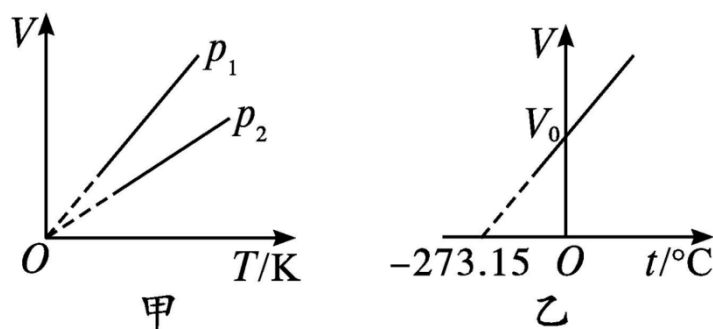
1. 盖-吕萨克定律

(1) 内容: 一定质量的某种气体, 在压强不变的情况下, 体积 V 和热力学温度 T 成正比。

(2) 表达式: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

(3) 适用条件: ①一定质量②压强不变③温度不太低, 压强不太大

(4) 图像 ($p_1 > p_2$)



(5) 微观解释: 温度升高, 分子平均动能增大, 要使压强不变, 分子数密度要减小, 表现为体积增大。

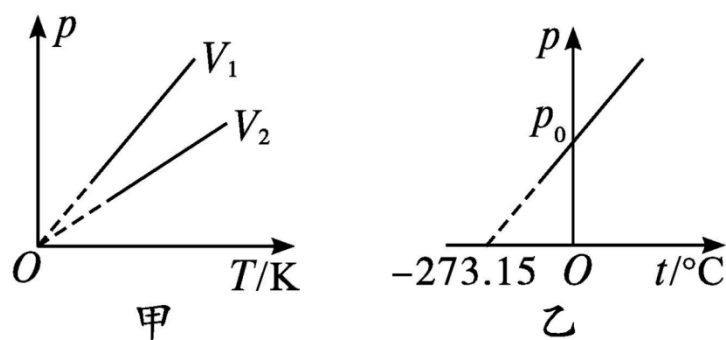
2. 查理定律

(1) 内容: 一定质量的某种气体, 在体积不变的情况下, 压强 p 和热力学温度 T 成正比。

(2) 表达式: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

(3) 适用条件: ①一定质量②体积不变③温度不太低, 压强不太大

(4) 图像 ($V_1 < V_2$)



(5) 微观解释: 温度升高, 分子平均动能增大, 在体积不变时, 压强增大。

3. 理想气体状态方程

(1) 理想气体：在任何温度、任何压强下都遵从气体实验定律的气体。

(2) 表达式： $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

(3) 适用条件：①一定质量②温度不太低，压强不太大

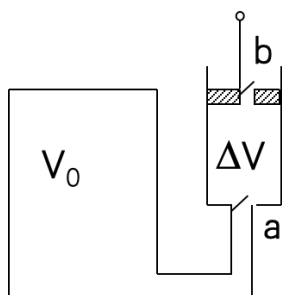
(4) 注意：理想气体没有分子势能，内能只取决于分子动能

4. 变质量气体问题

(1) 充气：容器内原有气体和即将打入的气体作为研究对象， $p_1 V_1 + p_2 V_2 + \dots + p_n V_n = pV$

(2) 分装：充气的逆过程，但要注意分装完毕时容器内有气体残留。

(3) 抽气：和分装的区别在于，每一次离开的气体压强不同。 $P_n = P_0 \left(\frac{V_0}{V_0 + \Delta V} \right)^n$



(4) 漏气：选容器内剩余气体和漏出的气体组成的整体为研究对象。

5. 关联气体问题

(1) 液柱关联

(2) 活塞关联

四、固体

1. 晶体和非晶体

		固定熔点	天然规则几何外形	各向异性
晶体	单晶体	有	有	有
	多晶体	有	无	无
非晶体	非晶体	无	无	无

五、液体

1. 液体表面张力

(1) 表现：液体表面使液面张紧并收缩至最小的力

(2) 微观解释：液体表面层分子间距较大，分子力表现为引力，宏观表现为液体表面张力。

(3) 方向：平行于液面（与液面相切）

2. 浸润和不浸润

(1) 表现：液体润湿固体并附着在固体的表面上的现象。

(2) 微观解释：与固体性质差异大的液体，附着层分子数密度小，分子间距大于 r_0 ，分子间表现为引力，使附着层有收缩趋势，表现为不浸润，反之则浸润。

3. 毛细现象

(1) 表现：浸润液体在细管里上升的现象和不浸润液体在细管里下降的现象。



(2) 微观解释：浸润/不浸润+表面张力

(3) 特点：管径细，高度差大，毛细现象更明显

4.液晶

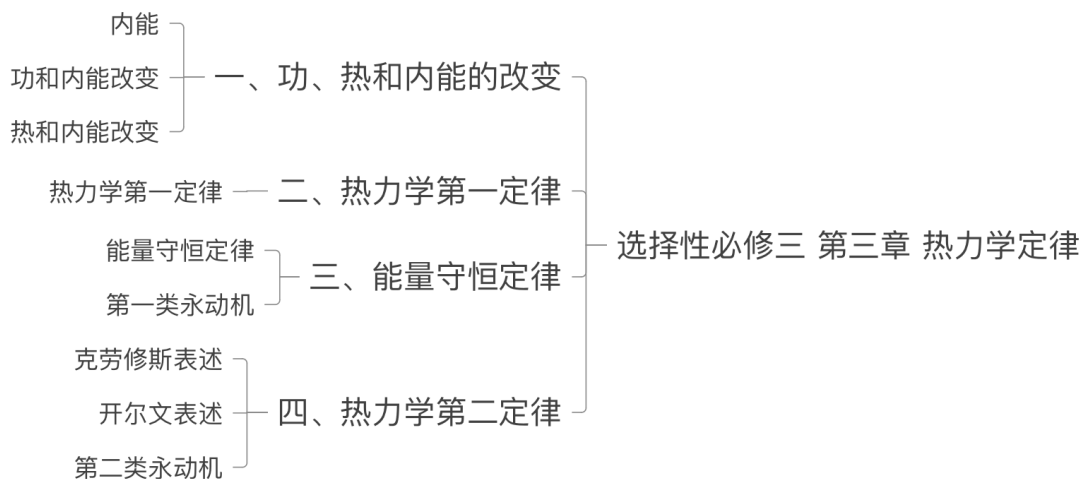
(1) 分子排列整齐，流动性

(2) 各向异性

(3) 光学性质易受条件影响

选择性必修三 第三章 热力学定律

※内容框架



※必备知识

一、功、热和内能的改变

- 1.内能：任何一个热力学系统都必定存在一个只依赖于系统自身状态的一种能量，这种能量叫做系统的内能。
- 2.功和内能改变：绝热过程， $\Delta U = W$
- 3.热和内能改变：仅传热过程， $\Delta U = Q$

二、热力学第一定律

1.热力学第一定律

- (1) 内容：一个热力学系统的内能变化量（增量）等于外界向它传递的热量与外界对它所做的功的和。
- (2) 表达式： $\Delta U = Q + W$

	Q	W	ΔU
+	外界向系统传热，吸热	外界向系统做功，压缩	系统内能增加
-	系统向外界传热，放热	系统向外界做功，膨胀	系统内能减小

(3) 几种特殊情况

- ①绝热过程： $\Delta U = W$
- ②仅传热过程（等容过程）： $\Delta U = Q$
- ③理想气体等温过程： $\Delta U = 0$
- ④等压过程： $W = -p\Delta V$ 。其他过程做功大小等于 p-V 图与坐标轴围成的面积。

三、能量守恒定律

1.能量守恒定律

- (1) 内容：能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为另一种形式，或者从一个物体转移到别的物体，在转化或转移的过程中，能量的总量保持不变。
- (2) 表现

机械运动	机械能守恒定律
热运动	热力学第一定律
电路	闭合电路欧姆定律
电磁感应	楞次定律

2. 第一类永动机

- (1) 定义：不需要任何动力或燃料，却能源源不断地对外做功的机器。
- (2) 失败原因：违背热力学第一定律

四、热力学第二定律

1. 克劳修斯表述

- (1) 内容：热量不能自发地从低温物体传到高温物体。
- (2) 应用：制冷机

2. 开尔文表述

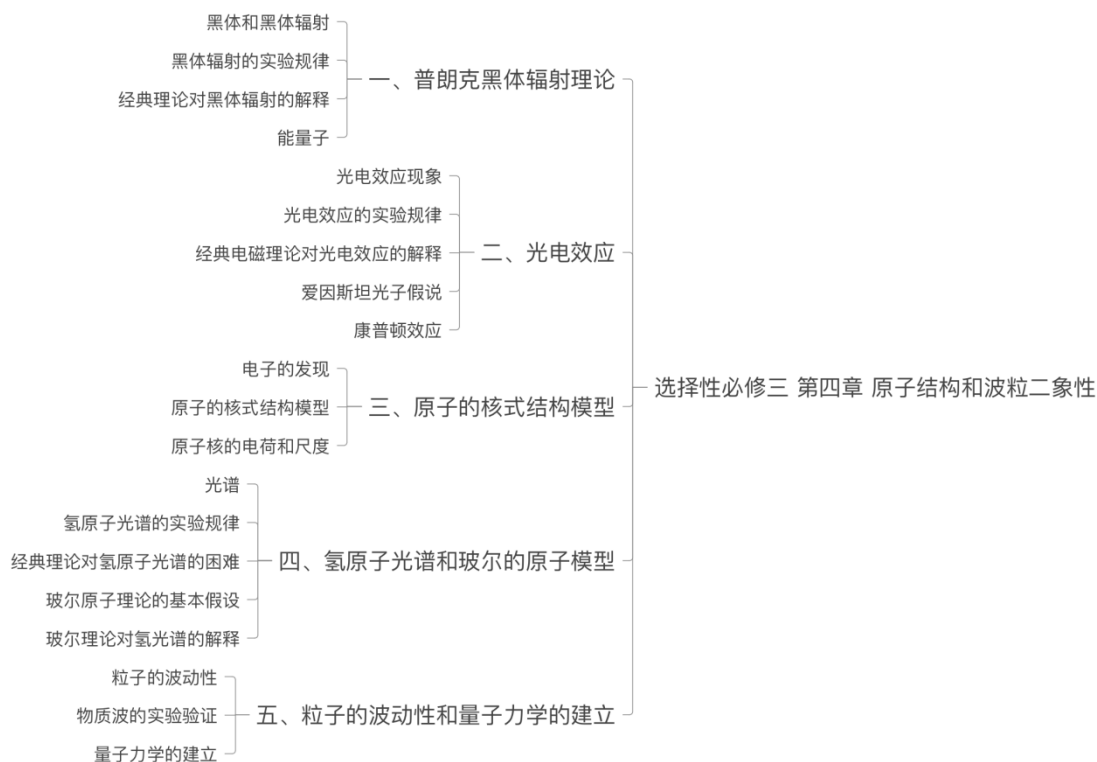
- (1) 内容：不可能从单一热库吸收热量，使之完全变成功，而不产生其他影响。
- (2) 应用：热机

3. 第二类永动机

- (1) 定义：效率为 100% 的热机
- (2) 失败原因：违背热力学第二定律

选择性必修三 第四章 原子结构和波粒二象性

※内容框架



※必备知识

一、普朗克黑体辐射理论

1. 黑体和黑体辐射

(1) 热辐射：任何物体在任何温度都会辐射电磁波。温度升高，辐射的强度增大，辐射的电磁波中短波的成份增多。

(2) 黑体：能够完全吸收而不反射电磁波的物体。黑体可以对外辐射电磁波，故黑体不黑。

(3) 黑体辐射：黑体对外辐射的电磁波。黑体辐射的电磁波情况（辐射强度按波长的分布），只和温度有关，与材料的种类和表面状况无关。

2. 黑体辐射的实验规律

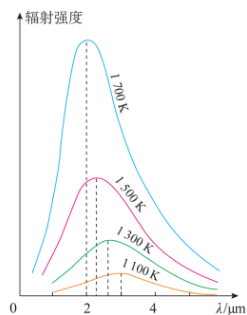


图 4.1-2 黑体辐射的实验规律

- (1) 辐射强度存在极大值。
- (2) 温度升高，辐射总强度增加。
- (3) 温度升高，辐射强度的极大值向波长较短的方向移动（“升温蓝移”）。

3. 经典理论对黑体辐射的解释

经典热学和电磁学：带电微粒振动产生变化的电磁场，辐射电磁波。

- (1) 维恩公式：短波符合
- (2) 瑞利公式：长波符合，紫外灾难

4. 量子

(1) 量子：普朗克从数学上推导了与实验相符的黑体辐射公式，但公式成立的前提是假定组成黑体的振动着的带电微粒，携带的能量只能是某个最小能量值 ε 的整数倍。

(2) 表达式： $\varepsilon = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ ， h 为普朗克常量（精确值为 $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ ）， ν 为带电微粒振动的频率，也是吸收或辐射电磁波的频率。

- (3) 微观粒子能量量子化

二、光电效应

1. 光电效应现象

- (1) 光电效应：光照射到金属表面，会使金属中的电子从表面逸出。
- (2) 光电子：光电效应中逸出的电子。
- (3) 光电流：光电子定向移动形成的电流。

2. 光电效应的实验规律

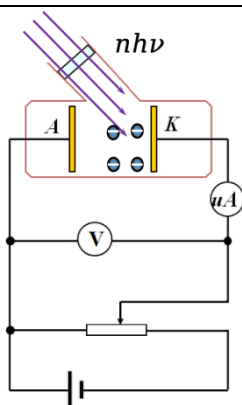
- (1) 存在截止频率 ν_c （使某种金属发生光电效应的入射光最小频率）：不同金属，截止频率不同。
- (2) 存在饱和电流（光强一定时，随着正向电压增大，光电流趋近于饱和值）：光频率不变时，饱和电流随光照强度增加而增加。
- (3) 存在截止电压 U_c （使光电流减小到零的反向电压）：
 - ①截止电压和入射光强度无关。
 - ②截止电压随入射光的频率增大而增大。
- (4) 具有瞬时性： 10^{-9}s

3. 电磁理论对光电效应的解释

- (1) 逸出功 W_0 ：使电子脱离某种金属，需要外界对电子做功的最小值。
- (2) 能量是连续的：单个电子吸收光的能量是连续的，和光照强度和时间有关。

4. 爱因斯坦光子假设

- (1) 光子：光本身就是由一个个不可分割的能量子组成，这些能量子成为光子。
- (2) 爱因斯坦光电效应方程： $E_k = h\nu - W_0$
- (3) 对实验规律的解释



- ①截止频率 ν_c : $W_0 = h\nu_c$, 光电效应发生的条件是入射光频率 $\nu > \nu_c$, 与光强无关。
- ②饱和电流: 同种频率的光, 光照强度(单位时间内的能量, $E = nh\nu$)越大, 光子数越多, 光电子越多, 饱和电流越大。
- ③截止电压 U_c : $E_k = eU_c$ 。入射光频率越大, 光电子最大初动能越大, 需要使其减速到零的反向电压越大。光强与光电子最大初动能无关。
- ④瞬时性: 单个电子一次吸收一份光子的能量, 没有能量积累过程。

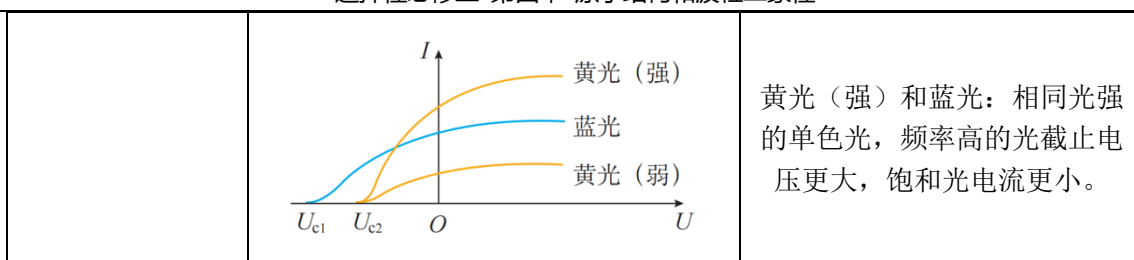
(4) 光电效应的图像

$$E_k = h\nu - W_0$$

$$E_k = eU_c$$

$$W_0 = h\nu_c$$

物理量关系图	图像	可获取的物理量
$E_k - \nu$ 图		截止频率 逸出功 普朗克常量
$U_c - \nu$ 图		截止频率 逸出功 普朗克常量
$I - U$ 图		同种频率(颜色)的光, 光强增大, 饱和电流增大, 截止电压不变。



(5) 实验检验：密立根测量 $U_c - \nu$ 图，计算普朗克常量 h ，与普朗克根据黑体辐射得出的 h 相比较。

5. 康普顿效应：康普顿在研究石墨对 X 射线的散射时，发现在散射的 X 射线中，除了有与入射波长 λ_0 相同的成分外，还有波长大于 λ_0 的成分，这个现象称为康普顿效应。康普顿效应表明光子具有动量 $p = \frac{h}{\lambda}$ 。

三、原子的核式结构模型

1. 电子的发现

(1) 阴极射线：J.J. 汤姆孙发现，阴极射线的本质是电子。

(2) 电子电荷量测量：密立根油滴实验

2. 原子的核式结构模型

(1) 卢瑟福 α 粒子散射实验：绝大多数 α 粒子穿过金箔后，基本上仍沿原来的方向前进，但有少数 α 粒子发生了大角度偏转，极少数偏转的角度甚至大于 90° 。

(2) 卢瑟福原子核式结构模型：在原子的中心有一个体积很小、带正电荷的核（原子核），原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核，带负电的电子在核外空间绕着核旋转做圆周运动。

3. 原子核的电荷和尺度：核半径的数量级为 10^{-15}m ，而整个原子半径的数量级是 10^{-10}m 。

四、氢原子光谱和玻尔的原子模型

1. 光谱

(1) 连续光谱：由连续分布的光连在一起组成的光带，一切波长的光都有。由炽热的固体、液体和高压气体发光形成的。

(2) 线状谱：由一些不连续的亮线组成。亮线叫谱线，各条谱线对应不同波长的光。由稀薄气体或金属蒸气发光形成的（是由游离状态的原子发射的，也叫原子光谱）。利用原子的特征谱线可鉴别物质和确定物质的组成成分。

2. 氢原子光谱的实验规律

(1) 巴尔末公式：氢原子只能发出一系列特定波长的光，可见光区的波长满足：

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5 \dots$$

氢原子光谱在可见光区以外的谱线波长也满足类似的公式。

3. 经典理论对氢原子光谱的困难

(1) 光谱的连续性

(2) 氢原子结构的不稳定性

4. 玻尔原子理论的基本假设

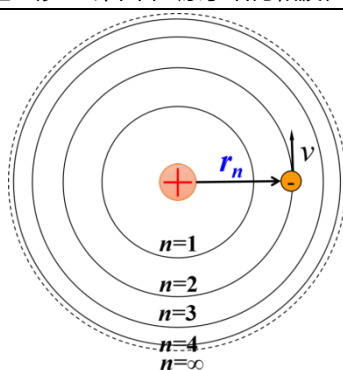
(1) 轨道量子化假设： $r_n = n^2 r_1$ ，电子在轨道绕核转动是稳定的，不产生电磁辐射。

(2) 能量量子化假设：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（能级）。 $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ ，

对氢原子： $E_1 = -13.6\text{eV}$ 。

基态： $n=1$ ，电子离核最近，原子能量最低。

激发态： $n=2, 3, 4, \dots$ ，电子离核远，原子能量高。



r 变大，电子动能减小，势能增大，原子总能量增大。

(3) 电子跃迁假设：原子系统的变化只能是从一个定态，完全跃迁到另一个定态。当电子从能量较高的定态轨道（其能量记为 E_n ）跃迁到能量较低的定态轨道（能量记为 E_m ， $m < n$ ）时，会放出能量为 $h\nu$ 的光子。

$$h\nu = E_n - E_m$$

注意：一群氢原子处于 n 激发态时，能辐射出的光谱线条数最多为 $n(n-1)/2$ 条。一个氢原子处于 n 激发态时，能辐射出的光谱线条数最多为 $(n-1)$ 条。

5. 玻尔理论对氢光谱的解释

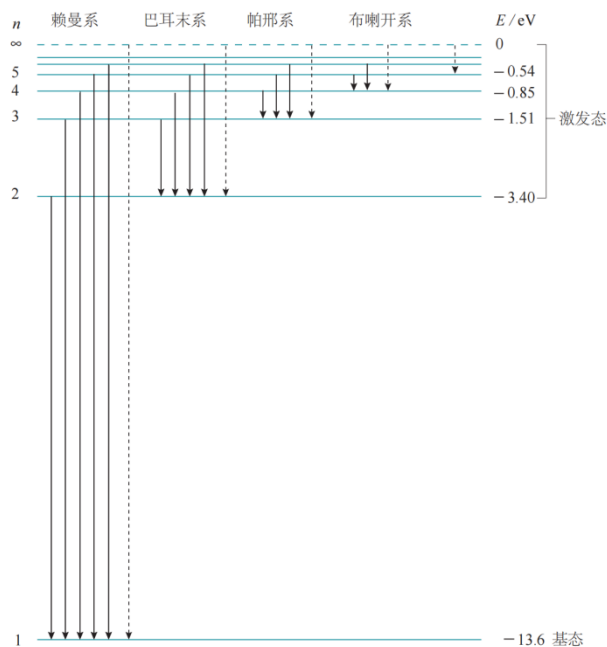


图 4.4-6 氢原子能级图

6. 玻尔理论的局限性

- (1) 复杂原子的光谱
- (2) 发光强度

五、粒子的波动性和量子力学的建立

1. 粒子的波动性

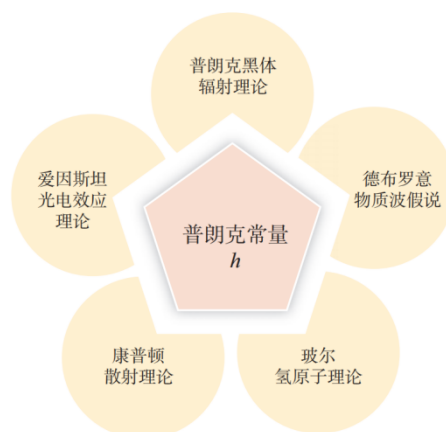
(1) 德布罗意波：德布罗意提出，不仅光子，实物粒子也具有波动性，每一个运动的粒子都与一个对应的波相联系。这种与实物粒子相联系的波称为德布罗意波，也叫物质波。

(2) 德布罗意波长： $\lambda = \frac{h}{p}$ 。对实物粒子： $p = mv = \sqrt{2mE_k}$

2. 物质波的实验验证

(1) 电子束衍射实验：戴维孙和 G.P.汤姆孙

3.量子力学的建立



(1) 普朗克黑体辐射理论： $\varepsilon = h\nu$

(2) 爱因斯坦光电效应方程： $E_k = h\nu - W_0$

(3) 康普顿散射： $p = \frac{h}{\lambda}$

(4) 玻尔氢原子理论： $h\nu = E_n - E_m$

(5) 德布罗意物质波理论： $\lambda = \frac{h}{p}$

4.量子力学的应用

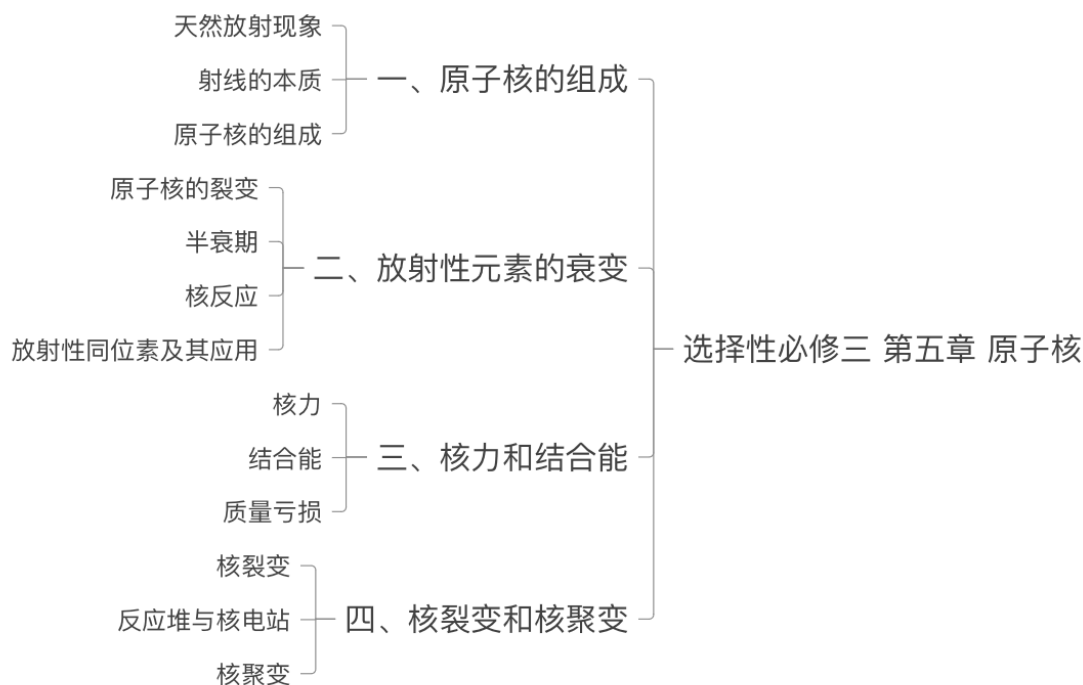
(1) 核物理和粒子物理

(2) 原子、分子物理和光学：激光、核磁共振、原子钟

(3) 固体物理：晶体管、芯片

选择性必修三 第五章 原子核

※内容框架



※必备知识

一、原子核的组成

1.天然放射现象

贝克勒尔发现，居里夫妇提出放射性的概念，天然放射现象表明原子核具有复杂的结构。

2.射线的本质

种类	本质	速度	贯穿能力	电离能力
α 射线	${}^4_2\text{He}$	$\frac{c}{10}$	最弱	最强
β 射线	电子	$0.99c$	中等，可穿透几毫米厚的铝板	中等
γ 射线	光子	c	最强，可穿透几厘米厚的铅板或几十厘米厚的混凝土	最弱

3.原子核的组成

- (1) 卢瑟福发现质子： ${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$
- (2) 查德威克发现中子： ${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$
- (3) 电中性原子：核电荷数=质子数=核外电子数，质量数=质子数+中子数
- (4) 质子数为 Z 、质量数为 A 的原子核： ${}^A_Z\text{X}$
- (5) 质子数相同、中子数不同的原子核，互称为同位素。

二、放射性元素的衰变

1.原子核的衰变

(1) 分类

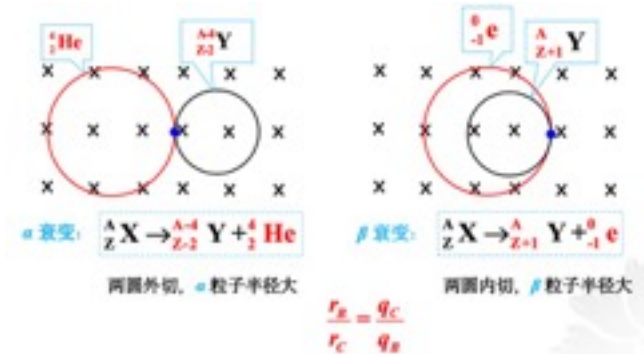
① α 衰变: ${}_Z^AX \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{Z-2}^{A-4}Y$, 两个质子和两个中子转化为一个氦核

② β 衰变: ${}_Z^AX \rightarrow {}_{-1}^0e + {}_{Z+1}^AY$, 一个中子转化为一个质子和电子

放射性的原子核在发生 α 衰变、 β 衰变时, 产生的新核处于高能级, 会向低能级跃迁, 并放出 γ 光子。 γ 射线经常是伴随 α 射线和 β 射线产生的。

(2) 特点: 电荷守恒、质量数守恒、动量守恒

(3) 动量守恒问题: 若X核初速度为零, 则衰变产物满足以下关系



2. 半衰期

(1) 定义: 放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间

(2) 衰变规律: $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau}}$, τ 为半衰期

(3) 特点

①半衰期由原子核内部的因素所决定, 只与元素的种类有关, 与物理、化学状态无关。

②半衰期是统计规律。

3. 核反应

(1) 定义: 原子核在其他粒子的轰击下产生新原子核的过程。

(2) 特点: 电荷守恒、质量数守恒和动量守恒

(3) 人工核反应三大发现:

(1) 卢瑟福发现质子: ${}_2^4\text{He} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + {}_1^1\text{H}$

(2) 查德威克发现中子: ${}_2^4\text{He} + {}_4^9\text{Be} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$

(3) 居里夫妇发现放射性同位素和正电子: ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$, ${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_{+1}^0e$

4. 放射性同位素及其应用

(1) 射线测厚: γ 射线的穿透性

(2) 示踪原子: 放射性同位素

(3) 放疗: 伽马刀

(4) 保鲜育种: γ 射线

(5) 测年技术: 碳 14

5. 辐射与安全

三、核力和结合能

1. 核力

(1) 定义: 能够把核中的各种核子联系在一起的强大的力

(2) 特点

①属于强相互作用, 大于库仑力②短程力: 作用距离约 10^{-15}m 。③与电荷无关。④只跟相邻核子发生核力作用。

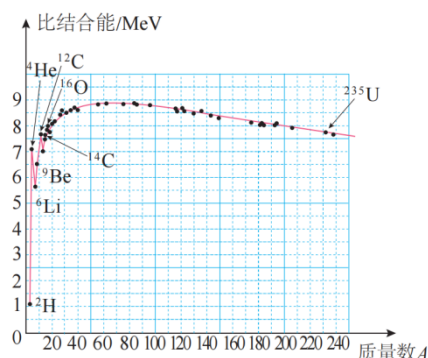
(3) 四种基本相互作用

	引力相互作用	电磁相互作用	强相互作用	弱相互作用
作用对象	一切物体之间	电荷间、磁体间	核子间	基本粒子间
特点	随距离增大而减小	斥力或引力，随距离增大而减小	斥力或引力，随距离增大而减小	随距离增大而减小
作用范围	长程力	长程力	短程力	短程力
举例	重力	弹力、摩擦力	核力	β 衰变由弱相互作用产生

2.结合能

(1) 定义：原子核分解成核子时所吸收的能量，也等于核子组成原子核过程释放的能量，也称为核能。若反应物结合能大于产物结合能，核反应吸收能量。反之，核反应释放能量。

(3) 比结合能：结合能与核子数之比。比结合能越大，原子核越稳定。中等大小的核比结合能最大，最稳定。



3.质量亏损

(1) 定义：原子核质量小于组成原子核的核子质量之和

(2) 爱因斯坦质能方程： $\Delta E = \Delta mc^2$

(3) 核反应能量计算： $X \rightarrow Y + Z$, $E_{kX} + \Delta mc^2 = E_{kY} + E_{kZ}$

四、核裂变和核聚变

1.核裂变

(1) 核裂变：重核受粒子轰击，分裂成质量较小的核，释放核能的反应

(2) 链式反应：临界质量、临界体积

(3) 原子弹：不可控链式反应

2.反应堆与核电站

(1) 原理：可控链式反应

(2) 铀棒（铀 235）、慢中子（热中子）、慢化剂（石墨、重水、轻水）、控制棒（镉棒）、水泥防护层

3.核聚变

(1) 定义：两个轻核结合成质量较大的核的核反应

(1) 举例：太阳、氢弹、托卡马克（人造太阳）