

# 物理重要知识点总结

学好物理要记住：最基本的知识、方法才是最重要的。 秘诀：“想”

学好物理重在理解（概念、规律的确切含义，能用不同的形式进行表达，理解其适用条件）

A(成功)=X(艰苦的劳动)+Y(正确的方法)+Z(少说空话多干实事)

(最基础的概念、公式、定理、定律最重要)；每一题中要弄清楚(对象、条件、状态、过程)是解题关键

物理学习的核心在于思维，只要同学们在平常的复习和做题时注意思考、注意总结、善于归纳整理，对于课堂上老师所讲的例题做到触类旁通，举一反三，把老师的知识和解题能力变成自己的知识和解题能力，并养成规范答题的习惯，这样，同学们一定就能笑傲考场，考出理想的成绩！

对联：概念、公式、定理、定律。（学习物理必备基础知识）

对象、条件、状态、过程。（解答物理题必须明确的内容）

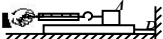
力学问题中的“过程”、“状态”的分析和建立及应用物理模型在物理学习中是至关重要的。

说明：凡矢量式中用“+”号都为合成符号，把矢量运算转化为代数运算的前提是先规定正方向。

**答题技巧：**“基础题，全做对；一般题，一分不浪费；尽力冲击较难题，即使做错不后悔”。“容易题不丢分，难题不得零分”。“该得的分一分不丢，难得的分分分必争”，“会做⇒做对⇒不扣分”

在学习物理概念和规律时不能只记结论，还须弄清其中的道理，知道物理概念和规律的由来。

**I。力的种类：**这些力是受力分析不可少的“是受力分析的基础”

力的种类：(13 个力)	有 18 条定律、2 条定理
1 重力： $G = mg$ (g 随高度、纬度、不同星球上不同)	1 万有引力定律 B
2 弹力： $F = Kx$	2 胡克定律 B
3 滑动摩擦力： $F_{\text{滑}} = \mu N$ 	3 滑动摩擦定律 B
4 静摩擦力： $0 \leq f_{\text{静}} \leq f_m$ (由运动趋势和平衡方程去判断)	4 牛顿第一定律 B
5 浮力： $F_{\text{浮}} = \rho g V_{\text{排}}$	5 牛顿第二定律 B
6 压力： $F = PS = \rho g h s$	6 牛顿第三定律 B
7 万有引力： $F_{\text{引}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	7 动量守恒定律 B
8 库仑力： $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$ (真空中、点电荷)	8 机械能守恒定律 B
9 电场力： $F_{\text{电}} = q E = q \frac{u}{d}$	9 能的转化守恒定律.
10 安培力： 磁场对电流的作用力 $F = BIL (B \perp I)$ 方向：左手定则	10 电荷守恒定律
11 洛伦兹力： 磁场对运动电荷的作用力 $f = BqV (B \perp V)$ 方向：左手定则	11 真空中的库仑定律
12 分子力： 分子间的引力和斥力同时存在,都随距离的增大而减小,随距离的减小而增大,但斥力变化得快。	12 欧姆定律
13 核力： 只有相邻的核子之间才有核力，是一种短程强力。	13 电阻定律 B
	14 闭合电路的欧姆定律 B
	15 法拉第电磁感应定律
	16 楞次定律 B
	17 反射定律
	18 折射定律 B
	定理：
	①动量定理 B
	②动能定理 B 做功跟动能改变的关系

<p><b>5 种基本运动模型</b></p> <p>1 静止或作匀速直线运动（平衡态问题）；</p> <p>2 匀变速直、曲线运动（以下均为非平衡态问题）；</p> <p>3 类平抛运动；</p> <p>4 匀速圆周运动；</p> <p>5 振动。</p>	
---	--

受力分析入手（即力的大小、方向、力的性质与特征，力的变化及做功情况等）。

再分析运动过程（即运动状态及形式，动量变化及能量变化等）。

最后分析做功过程及能量的转化过程；

然后选择适当的力学基本规律进行定性或定量的讨论。

强调：用能量的观点、整体的方法(对象整体，过程整体)、等效的方法(如等效重力)等解决

**II 运动分类：（各种运动产生的力学和运动学条件及运动规律）是高中物理的重点、难点**

**高考中常出现多种运动形式的组合** 追及(直线和圆)和碰撞、平抛、竖直上抛、匀速圆周运动等

①匀速直线运动  $F_{合}=0$   $a=0$   $V_0 \neq 0$

②匀变速直线运动：初速为零或初速不为零，

③匀变速直、曲线运动(决于  $F_{合}$  与  $V_0$  的方向关系) 但  $F_{合} =$  恒力

④只受重力作用下的几种运动：自由落体，竖直下抛，竖直上抛，平抛，斜抛等

⑤圆周运动：竖直平面内的圆周运动(最低点和最高点)；**匀速圆周运动(关键搞清楚是什么力提供作向心力)**

⑥简谐运动；单摆运动；

⑦波动及共振；

⑧分子热运动；(与宏观的机械运动区别)

⑨类平抛运动；

⑩带电粒在电场力作用下的运动情况；带电粒子在  $f_{洛}$  作用下的匀速圆周运动

**III。物理解题的依据：**

(1) 力或定义的公式 (2) 各物理量的定义、公式

(3) 各种运动规律的公式 (4) 物理中的定理、定律及数学函数关系或几何关系

**IV 几类物理基础知识要点：**

①凡是性质力要知：施力物体和受力物体；

②对于位移、速度、加速度、动量、动能要知参照物；

③状态量要搞清那一个时刻（或那个位置）的物理量；

④过程量要搞清那段时间或那个位移或那个过程发生的；（如冲量、功等）

⑤加速度  $a$  的正负含义：①不表示加减速；②  $a$  的正负只表示与人为规定正方向比较的结果。

⑥如何判断物体作直、曲线运动；

⑦如何判断加减速运动；

⑧如何判断超重、失重现象。

⑨如何判断分子力随分子距离的变化规律

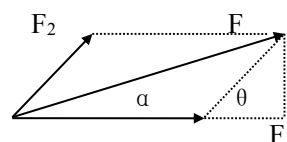
⑩根据电荷的正负、电场线的顺逆(可判断电势的高低)  $\Rightarrow$  电荷的受力方向；再根据移动方向  $\Rightarrow$  其做功情况  $\Rightarrow$  电势能的变化情况

**V。知识分类举要**

**1. 力的合成与分解、物体的平衡** 求  $F_1$ 、 $F_2$  两个共点力的合力的公式：

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

合力的方向与  $F_1$  成  $\alpha$  角：



$$\tan\alpha = \frac{F_2 \sin\theta}{F_1 + F_2 \cos\theta}$$

注意：(1) 力的合成和分解都均遵从平行四边形定则。

(2) 两个力的合力范围： $|F_1 - F_2| \leq F \leq |F_1 + F_2|$

(3) 合力大小可以大于分力、也可以小于分力、也可以等于分力。

共点力作用下物体的平衡条件：静止或匀速直线运动的物体，所受合外力为零。

$$\Sigma F = 0 \quad \text{或} \quad \Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0$$

推论：[1]非平行的三个力作用于物体而平衡，则这三个力一定共点。按比例可平移为一个封闭的矢量三角形

[2]几个共点力作用于物体而平衡，其中任意几个力的合力与剩余几个力(一个力)的合力一定等值反向

三力平衡： $F_3 = F_1 + F_2$

摩擦力的公式：

(1) 滑动摩擦力： $f = \mu N$

说明：a、N 为接触面间的弹力，可以大于 G；也可以等于 G；也可以小于 G

b、 $\mu$  为滑动摩擦系数，只与接触面材料和粗糙程度有关，与接触面积大小、接触面相对运动快慢以及正压力 N 无关。

(2) 静摩擦力：由物体的平衡条件或牛顿第二定律求解，与正压力无关。

大小范围： $0 \leq f_{\text{静}} \leq f_m$  ( $f_m$  为最大静摩擦力与正压力有关)

说明：a、摩擦力可以与运动方向相同，也可以与运动方向相反，还可以与运动方向成一定夹角。

b、摩擦力可以作正功，也可以作负功，还可以不作功。

c、摩擦力的方向与物体间相对运动的方向或相对运动趋势的方向相反。

d、静止的物体可以受滑动摩擦力的作用，运动的物体也可以受静摩擦力的作用。

### 力的独立作用和运动的独立性

当物体受到几个力的作用时，每个力各自独立地使物体产生一个加速度，就象其它力不存在一样，这个性质叫做力的独立作用原理。

一个物体同时参与两个或两个以上的运动时，其中任何一个运动不因其它运动的存在而受影响，这叫运动的独立性原理。物体所做的合运动等于这些相互独立的分运动的叠加。

根据力的独立作用原理和运动的独立性原理，可以分解速度和加速度，在各个方向上建立牛顿第二定律的分量式，常常能解决一些较复杂的问题。

### VI. 几种典型的运动模型：追及和碰撞、平抛、竖直上抛、匀速圆周运动等及类似的运动

#### 2. 匀变速直线运动：

两个基本公式(规律)：	$V_t = V_0 + a t$	$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	及几个重要推论：
(1) 推论：	$V_t^2 - V_0^2 = 2as$	(匀加速直线运动：a 为正值 匀减速直线运动：a 为正值)	
(2) AB 段中间时刻的即时速度：	$V_{t/2} = \frac{V_0 + V_t}{2} = \frac{s}{t}$	(若为匀变速运动) 等于这段的平均速度	
(3) AB 段位移中点的即时速度：	$V_{s/2} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$		
$V_{t/2} = \bar{V} = \frac{V_0 + V_t}{2} = \frac{S_{N+1} + S_N}{2T} = V_N$	$\leq$	$V_{s/2} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$	$\begin{cases} x = \bar{v}t & \text{①} \\ \bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} & \text{②} \\ v_t = v_0 + at & \text{③} \\ x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 & \text{④} \\ v_t^2 - v_0^2 = 2ax & \text{⑤} \end{cases}$
匀速： $V_{t/2} = V_{s/2}$ ； 匀加速或匀减速直线运动： $V_{t/2} < V_{s/2}$			

$$(4) S_{\text{第}t\text{秒}} = S_t - S_{(t-1)} = (v_0 t + \frac{1}{2} a t^2) - [v_0(t-1) + \frac{1}{2} a (t-1)^2] = v_0 + a(t - \frac{1}{2})$$

(5) 初速为零的匀加速直线运动规律

①在 1s 末、2s 末、3s 末……ns 末的速度比为 1: 2: 3……n;

②在 1s、2s、3s……ns 内的位移之比为 1<sup>2</sup>: 2<sup>2</sup>: 3<sup>2</sup>……n<sup>2</sup>;

③在第 1s 内、第 2s 内、第 3s 内……第 ns 内的位移之比为 1: 3: 5……(2n-1);

④从静止开始通过连续相等位移所用时间之比为 1: ( $\sqrt{2} - 1$ ): ( $\sqrt{3} - \sqrt{2}$ ) ……( $\sqrt{n} - \sqrt{n-1}$ )

⑤通过连续相等位移末速度比为 1:  $\sqrt{2}$ :  $\sqrt{3}$  …… $\sqrt{n}$

(6) 匀减速直线运动至停可等效认为反方向初速为零的匀加速直线运动。(先考虑减速至停的时间). “刹车陷阱”

**实验规律:**

(7) 通过打点计时器在纸带上打点(或频闪照像法记录在底片上)来研究物体的运动规律: 此方法称留迹法。

初速无论是否为零,只要是匀变速直线运动的质点,就具有下面两个很重要的特点:

在连续相邻相等时间间隔内的位移之差为一常数;  $\Delta s = aT^2$  (判断物体是否作匀变速运动的依据)。

中时刻的即时速度等于这段的平均速度 (运用  $\bar{v}$  可快速求位移)

(1)是判断物体是否作匀变速直线运动的方法。  $\Delta s = aT^2$

$$(2) \text{求的方法 } v_N = \bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{S_{N+1} + S_N}{2T} \quad v_{t/2} = v_{\text{平}} = \frac{v_0 + v_t}{2} = \frac{s}{t} = \frac{S_{n+1} + S_n}{2T}$$

(3)求 a 方法: ①  $\Delta s = aT^2$  ②  $S_{N+3} - S_N = 3aT^2$  ③  $S_m - S_n = (m-n)aT^2$

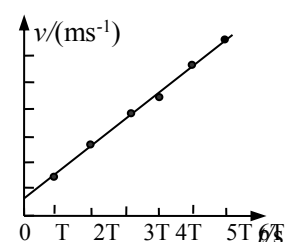
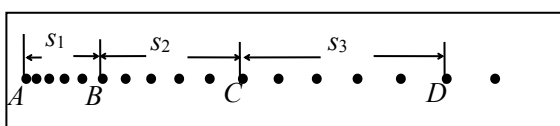
④画出图线根据各计数点的速度,图线的斜率等于 a;

识图方法:一轴、二线、三斜率、四面积、五截距、六交点

**探究匀变速直线运动实验:**

下图为打点计时器打下的纸带。选点迹清楚的一条,舍掉开始比较密集的点迹,从便于测量的地方取一个开始点 O, 然后每 5 个点取一个计数点 A、B、C、D …。(或相邻两计数点间

有四个点未画出) 测出相邻计数点间的距离  $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$  …



利用打下的纸带可以:

(1)求任一计数点对应的即时速度 v: 如  $v_c = \frac{s_2 + s_3}{2T}$  (其中记数周期:  $T=5 \times 0.02s=0.1s$ )

(2)利用上图中任意相邻的两段位移求 a: 如  $a = \frac{s_3 - s_2}{T^2}$

(3)利用“逐差法”求 a:  $a = \frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{9T^2}$

(4)利用 v-t 图象求 a: 求出 A、B、C、D、E、F 各点的即时速度, 画出如图的 v-t 图线, 图线的斜率就是加速度 a。

注意：点 a. 打点计时器打的点还是人为选取的计数点  
 距离 b. 纸带的记录方式，相邻记数间的距离还是各点距第一个记数点的距离。  
 纸带上选定的各点分别对应的米尺上的刻度值，  
 周期 c. 时间间隔与选计数点的方式有关  
 (50Hz,打点周期 0.02s,常以打点的 5 个间隔作为一个记时单位)即区分打点周期和记数周期。  
 d. 注意单位。一般为 cm

试通过计算推导出的刹车距离  $s$  的表达式：说明公路旁书写“严禁超载、超速及酒后驾车”以及“雨天路滑车辆减速行驶”的原理。

解：（1）、设在反应时间内，汽车匀速行驶的位移大小为  $s_1$ ；刹车后汽车做匀减速直线运动的位移大小为  $s_2$ ，加速度大小为  $a$ 。由牛顿第二定律及运动学公式有：

$$\left\{ \begin{array}{l} s_1 = v_0 t_0 \dots\dots\dots < 1 > \\ a = \frac{F + \mu mg}{m} \dots\dots\dots < 2 > \\ v_0^2 = 2as_2 \dots\dots\dots < 3 > \\ s = s_1 + s_2 \dots\dots\dots < 4 > \end{array} \right.$$

由以上四式可得出：
$$s = v_0 t_0 + \frac{v_0^2}{2(\frac{F}{m} + \mu g)} \dots\dots\dots < 5 >$$

①**超载**（即  $m$  增大），车的惯性大，由  $< 5 >$  式，在其他物理量不变的情况下刹车距离就会增长，遇紧急情况不能及时刹车、停车，危险性就会增加；

②同理**超速**（ $v_0$  增大）、**酒后驾车**（ $t_0$  变长）也会使刹车距离就越长，容易发生事故；

③**雨天**道路较滑，动摩擦因数  $\mu$  将减小，由  $< 5 >$  式，在其他物理量不变的情况下刹车距离就越长，汽车较难停下来。

因此为了提醒司机朋友在公路上行车安全，在公路旁设置“严禁超载、超速及酒后驾车”以及“雨天路滑车辆减速行驶”的警示牌是非常有必要的。

## 思维方法篇

### 1. 平均速度的求解及其方法应用

① 用定义式： $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  普遍适用于各种运动；②  $\bar{v} = \frac{V_0 + V_t}{2}$  只适用于加速度恒定的匀变速直线运动

### 2. 巧选参考系求解运动学问题

### 3. 追及和相遇或避免碰撞的问题的求解方法：

**两个关系和一个条件**：1 两个关系：时间关系和位移关系；2 一个条件：两者速度相等，往往是物体间能否追上，或两者距离最大、最小的临界条件，是分析判断的切入点。

关键：在于掌握两个物体的位置坐标及相对速度的特殊关系。

基本思路：分别对两个物体研究，画出运动过程示意图，列出方程，找出时间、速度、位移的关系。解出结果，必要时进行讨论。

追及条件：追者和被追者  $v$  相等是能否追上、两者间的距离有极值、能否避免碰撞的临界条件。

讨论：

#### 1. 匀减速运动物体追匀速直线运动物体。

①两者  $v$  相等时， $S_{\text{追}} < S_{\text{被追}}$  永远追不上，但此时两者的距离有最小值

②若  $S_{\text{追}} < S_{\text{被追}}$ 、 $V_{\text{追}} = V_{\text{被追}}$  恰好追上，也是恰好避免碰撞的临界条件。 $S_{\text{追}} = S_{\text{被追}}$

③若位移相等时， $V_{\text{追}} > V_{\text{被追}}$  则还有一次被追上的机会，其间速度相等时，两者距离有一个极大值

#### 2. 初速为零匀加速直线运动物体追同向匀速直线运动物体

①两者速度相等时有最大的间距 ②位移相等时即被追上

3. 匀速圆周运动物体：同向转动： $\omega_A t_A = \omega_B t_B + n2\pi$ ；反向转动： $\omega_A t_A + \omega_B t_B = 2\pi$

4. 利用运动的对称性解题

5. 逆向思维法解题

6. 应用运动学图象解题

7. 用比例法解题

8. 巧用匀变速直线运动的推论解题

①某段时间内的平均速度 = 这段时间中时刻的即时速度

②连续相等时间间隔内的位移差为一个恒量

③位移=平均速度×时间

**解题常规方法：**公式法(包括数学推导)、图象法、比例法、极值法、逆向转变法

### 3. 竖直上抛运动：(速度和时间的对称)

分过程：上升过程匀减速直线运动,下落过程初速为 0 的匀加速直线运动.

全过程：是初速度为  $V_0$  加速度为  $-g$  的匀减速直线运动。

$$(1) \text{上升最大高度: } H = \frac{V_0^2}{2g} \quad (2) \text{上升的时间: } t = \frac{V_0}{g} \quad (3) \text{从抛出到落回原位置的时间: } t = 2 \frac{V_0}{g}$$

(4)上升、下落经过同一位置时的加速度相同，而速度等值反向

(5)上升、下落经过同一段位移的时间相等。

$$(6) \text{匀变速运动适用全过程 } S = V_0 t - \frac{1}{2} g t^2; \quad V_t = V_0 - g t; \quad V_t^2 - V_0^2 = -2gS \quad (S、V_t \text{ 的正、负号的理解})$$

### 4. 匀速圆周运动

$$\text{线速度: } V = \frac{s}{t} = \frac{2\pi R}{T} = \omega R = 2\pi f R \quad \text{角速度: } \omega = \frac{\theta}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$\text{向心加速度: } a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 f^2 R = \omega \times v$$

$$\text{向心力: } F = ma = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R = m \frac{4\pi^2}{T^2} R = m 4\pi^2 n^2 R$$

追及(相遇)相距最近的问题：同向转动： $\omega_A t_A = \omega_B t_B + n 2\pi$ ；反向转动： $\omega_A t_A + \omega_B t_B = 2\pi$

注意：(1)匀速圆周运动的物体的向心力就是物体所受的合外力，总是指向圆心。

(2)卫星绕地球、行星绕太阳作匀速圆周运动的向心力由万有引力提供。

(3)氢原子核外电子绕原子核作匀速圆周运动的向心力由原子核对核外电子的库仑力提供。

### 5. 平抛运动：匀速直线运动和初速度为零的匀加速直线运动的合运动

(1)运动特点：a、只受重力；b、初速度与重力垂直。尽管其速度大小和方向时刻在改变，但其运动的加速度却恒为重力加速度  $g$ ，因而平抛运动是一个匀变速曲线运动。在任意相等时间内速度变化相等。

(2)平抛运动的处理方法：平抛运动可分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动。

水平方向和竖直方向的两个分运动既具有独立性又具有等时性。

(3)平抛运动的规律：

证明：做平抛运动的物体，任意时刻速度的反向延长线一定经过此时沿抛出方向水平总位移的中点。

证：平抛运动示意图

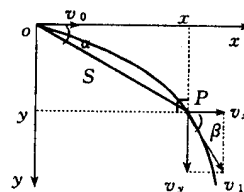
设初速度为  $V_0$ ，某时刻运动到 A 点，位置坐标为  $(x, y)$ ，所用时间为  $t$ 。

此时速度与水平方向的夹角为  $\beta$ ，速度的反向延长线与水平轴的交点为  $x'$ ，

位移与水平方向夹角为  $\alpha$ 。以物体的出发点为原点，沿水平和竖直方向建立坐标。

依平抛规律有：

$$\text{速度: } \begin{cases} V_x = V_0 \\ V_y = gt \\ v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \end{cases} \quad \tan \beta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{V_0} = \frac{y}{x - x'} \quad (1)$$



$$\text{位移: } \begin{cases} S_x = V_0 t \\ s_y = \frac{1}{2} gt^2 \\ s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \end{cases} \quad \tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2} gt^2}{V_0 t} = \frac{1}{2} \frac{gt}{V_0} \quad (2)$$

$$\text{由①②得: } \tan \alpha = \frac{1}{2} \tan \beta \quad \text{即} \quad \frac{y}{x} = \frac{1}{2} \frac{y}{x - x'} \quad (3)$$

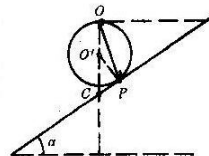
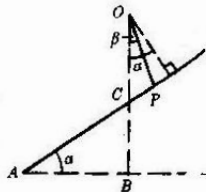
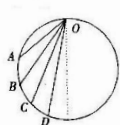
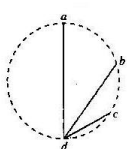
$$\text{所以: } x' = \frac{1}{2} x \quad (4)$$

④式说明：做平抛运动的物体，任意时刻速度的反向延长线一定经过此时沿抛出方向水总位移的中点。

“在竖直平面内的圆周，物体从顶点开始无初速地沿不同弦滑到圆周上所用时间都相等。”

一质点自倾角为  $\alpha$  的斜面上方定点 O 沿光滑斜槽 OP 从静止开始下滑，如图所示。为

了使质点在最短时间内从 O 点到达斜面，则斜槽与竖直方向的夹角  $\beta$  等于多少？



7. 牛顿第二定律:  $F_{\text{合}} = ma$  (是 矢量式) 或者  $\Sigma F_x = m a_x$   $\Sigma F_y = m a_y$

理解: (1) 矢量性 (2) 瞬时性 (3) 独立性 (4) 同体性 (5) 同系性 (6) 同单位制

### ● 力和运动的关系

- ① 物体受合外力为零时，物体处于静止或匀速直线运动状态；
- ② 物体所受合外力不为零时，产生加速度，物体做变速运动。
- ③ 若合外力恒定，则加速度大小、方向都保持不变，物体做匀变速运动，匀变速运动的轨迹可以是直线，也可以是曲线。
- ④ 物体所受恒力与速度方向处于同一直线时，物体做匀变速直线运动。
- ⑤ 根据力与速度同向或反向，可以进一步判定物体是做匀加速直线运动或匀减速直线运动；
- ⑥ 若物体所受恒力与速度方向成角度，物体做匀变速曲线运动。

⑦物体受到一个大小不变，方向始终与速度方向垂直的外力作用时，物体做匀速圆周运动。此时，外力仅改变速度的方向，不改变速度的大小。

⑧物体受到一个与位移方向相反的周期性外力作用时，物体做机械振动。

表 1 给出了几种典型的运动形式的力学和运动学特征。

表 1 几种典型的运动形式的力学和运动学特征

力的特征		运动学特征		运动形式	典型运动
合力 F	F 与 $v_0$ 的夹角	加速度	速度		
为零		为零	保持不变	平衡状态	静止或匀速直线运动
恒力	0°	恒定	方向不变，增加	匀速直线运动	匀加速直线运动
	180°	恒定	方向不变，减少		匀减速直线运动
	90°	恒定	方向改变，增加	匀变速曲线运动	平抛运动
	任意	恒定	大小，方向都变		斜抛运动
变力	大小不变，方向与 v 垂直	大小不变，方向改变	大小不变，方向改变	变速曲线运动	匀速圆周运动
	$F=kx$ ， x 为位移	周期性变化	周期性变化	变速直线运动	弹簧振子
				变速曲线运动	单摆

综上所述：判断一个物体做什么运动，一看受什么样的力，二看初速度与合外力方向的关系。力与运动的关系是基础，在此基础上，还要从功和能、冲量和动量的角度，进一步讨论运动规律。

## 8. 万有引力及应用：与牛二及运动学公式

1 思路和方法：①卫星或天体的运动看成匀速圆周运动，②  $F_{\text{心}}=F_{\text{万}}$  (类似原子模型)

2 公式：  $G \frac{Mm}{r^2} = ma_n$ ，又  $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$ ，  
 则  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ， $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ， $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

3 求中心天体的质量 M 和密度  $\rho$

$$\text{由 } G \frac{Mm}{r^2} = m \omega^2 r = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r \Rightarrow M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} \quad \left(\frac{r^3}{T^2} = \text{恒量}\right)$$

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi r^3}{GR^3 T^2} \quad (\text{当 } r=R \text{ 即近地卫星绕中心天体运行时}) \Rightarrow \rho = \frac{3\pi}{GT^2} \quad \rho = \frac{3\pi}{GT_{\text{近}}^2} = \frac{3\pi}{GT_{\text{远}}^2} \left(\frac{R+h}{R}\right)^3$$

$$(M = \rho V_{\text{球}} = \rho \frac{4}{3}\pi r^3) \quad S_{\text{球面}} = 4\pi r^2 \quad S = \pi r^2 \quad (\text{光的垂直有效面接收，球体推进辐射}) \quad S_{\text{球冠}} = 2\pi Rh$$

轨道上正常转：  $F_{\text{引}} = G \frac{Mm}{r^2} = F_{\text{心}} = ma_{\text{心}} = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R = m \frac{4\pi^2}{T^2} R = m 4\pi^2 n^2 R$

地面附近：  $G \frac{Mm}{R^2} = mg \Rightarrow GM = gR^2$  (黄金代换式)  $mg = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{gR} = v_{\text{第一宇宙}} = 7.9 \text{ km/s}$



题目中常隐含：(地球表面重力加速度为  $g$ )；这时可能要用到上式与其它方程联立来求解。

轨道上正常转：

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

【讨论】( $v$  或  $E_k$ )与  $r$  关系， $r_{\text{最小}}$  时为地球半径时， $v_{\text{第一宇宙}}=7.9\text{km/s}$  (最大的运行速度、最小的发射速度)；

$T_{\text{最小}}=84.8\text{min}=1.4\text{h}$

①沿圆轨道运动的卫星的几个结论： $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ ， $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ， $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

②理解近地卫星：来历、意义 万有引力 $\approx$ 重力=向心力、 $r_{\text{最小}}$ 时为地球半径、

最大的运行速度= $v_{\text{第一宇宙}}=7.9\text{km/s}$  (最小的发射速度)； $T_{\text{最小}}=84.8\text{min}=1.4\text{h}$

③同步卫星几个一定：三颗可实现全球通讯(南北极仍有盲区)

轨道为赤道平面  $T=24\text{h}=86400\text{s}$  离地高  $h=3.56 \times 10^4\text{km}$  (为地球半径的 5.6 倍)

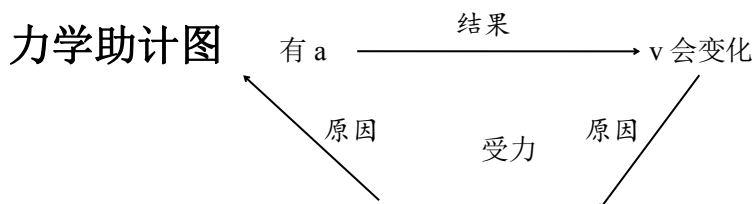
$V_{\text{同步}}=3.08\text{km/s} < V_{\text{第一宇宙}}=7.9\text{km/s}$   $\omega=15^\circ/\text{h}$  (地理上时区)  $a=0.23\text{m/s}^2$

④运行速度与发射速度、变轨速度的区别

⑤卫星的能量： $r$  增  $\Rightarrow v$  减小 ( $E_k$  减小  $< E_p$  增加)，所以  $E_{\text{总}}$  增加；需克服引力做功越多，地面上需要的发射速度越大

⑦卫星在轨道上正常运行时处于完全失重状态，与重力有关的实验不能进行

⑧应该熟记常识：地球公转周期 1 年，自转周期 1 天=24 小时=86400s，地球表面半径  $6.4 \times 10^3\text{km}$  表面重力加速度  $g=9.8\text{m/s}^2$  月球公转周期 30 天



## ● 典型物理模型及方法 受力

◆1. 连接体模型：是指运动中几个物体或叠放在一起、或并排挤放在一起、或用细绳、细杆联系在一起的物体组。解决这类问题的基本方法是整体法和隔离法。

整体法是指连接体内的物体间无相对运动时，可以把物体组作为整体，对整体用牛二定律列方程

隔离法是指在需要求连接体内各部分间的相互作用(如求相互间的压力或相互间的摩擦力等)时，把某物体从连接体中隔离出来进行分析的方法。

连接体的圆周运动：两球有相同的角速度；两球构成的系统机械能守恒(单个球机械能不守恒)

与运动方向和有摩擦( $\mu$  相同)无关，及与两物体放置的方式都无关。

平面、斜面、竖直都一样。只要两物体保持相对静止

记住： $N = \frac{m_2 F_1 + m_1 F_2}{m_1 + m_2}$  ( $N$  为两物体间相互作用力)，

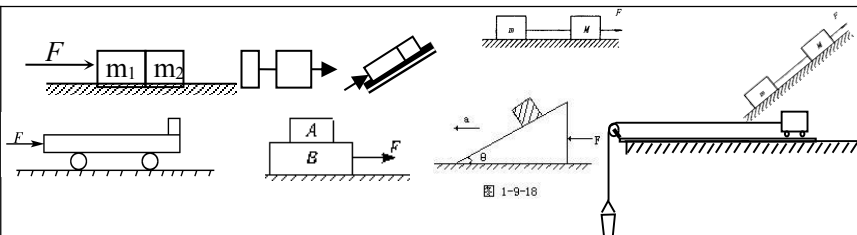
一起加速运动的物体的分子  $m_1 F_2$  和  $m_2 F_1$  两项的规律并能应用  $\Rightarrow N = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F$

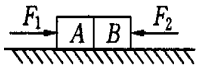
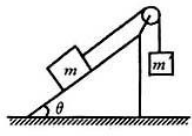
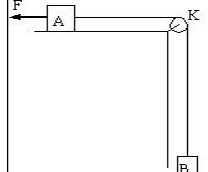
讨论：①  $F_1 \neq 0$ ； $F_2 = 0$

$F = (m_1 + m_2)a$

$N = m_2 a$

$N = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F$



② $F_1 \neq 0; F_2 \neq 0$ $N = \frac{m_2 F_1 + m_1 F_2}{m_1 + m_2}$ $(F_2 = 0 \text{ 就是上面的情况})$ 	$F = \frac{m_1(m_2 g) + m_2(m_1 g)}{m_1 + m_2}$	
	$F = \frac{m_1(m_2 g) + m_2(m_1 g \sin \theta)}{m_1 + m_2}$	
	$F = \frac{m_A(m_B g) + m_B F}{m_1 + m_2}$	

$F_1 > F_2$   $m_1 > m_2$   $N_1 < N_2$  (为什么)

$N_{5 \text{ 对 } 6} = \frac{m}{M} F$  ( $m$  为第 6 个以后的质量) 第 12 对 13 的作用力  $N_{12 \text{ 对 } 13} = \frac{(n-12)m}{nm} F$

## ◆2. 水流星模型(竖直平面内的圆周运动——是典型的变速圆周运动)

研究物体通过最高点和最低点的情况，并且经常出现临界状态。(圆周运动实例)

① 火车转弯

② 汽车过拱桥、凹桥

③ 飞机做俯冲运动时，飞行员对座位的压力。

④ 物体在水平面内的圆周运动(汽车在水平公路转弯，水平转盘上的物体，绳拴着的物体在光滑水平面上绕绳的一端旋转)和物体在竖直平面内的圆周运动(翻滚过山车、水流星、杂技节目中的飞车走壁等)。

⑤ 万有引力——卫星的运动、库仑力——电子绕核旋转、洛伦兹力——带电粒子在匀强磁场中的偏转、重力与弹力的合力——锥摆、(关键要搞清楚向心力怎样提供的)

(1) **火车转弯**：设火车弯道处内外轨高度差为  $h$ ，内外轨间距  $L$ ，转弯半径  $R$ 。由于外轨略高于内轨，使得火车所受重力和支持力的合力  $F_{\text{合}}$  提供向心力。

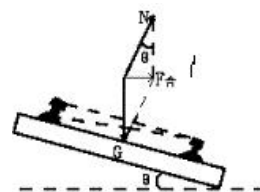
由  $F_{\text{合}} = mg \tan \theta \approx mg \sin \theta = mg \frac{h}{L} = m \frac{v_0^2}{R}$  得  $v_0 = \sqrt{\frac{Rgh}{L}}$  ( $v_0$  为转弯时规定速度  $v_0 = \sqrt{g \tan \theta \times R}$ )

(是内外轨对火车都无摩擦力的临界条件)

① 当火车行驶速率  $V$  等于  $v_0$  时， $F_{\text{合}} = F_{\text{向}}$ ，内外轨道对轮缘都没有侧压力

② 当火车行驶  $V$  大于  $v_0$  时， $F_{\text{合}} < F_{\text{向}}$ ，外轨道对轮缘有侧压力， $F_{\text{合}} + N = m \frac{v^2}{R}$

③ 当火车行驶速率  $V$  小于  $v_0$  时， $F_{\text{合}} > F_{\text{向}}$ ，内轨道对轮缘有侧压力， $F_{\text{合}} - N' = m \frac{v^2}{R}$



即当火车转弯时行驶速率不等于  $v_0$  时，其向心力的变化可由内外轨道对轮缘侧压力自行调节，但调节程度不宜过大，以免损坏轨道。火车提速靠增大轨道半径或倾角来实现

(2) **无支承的小球**，在竖直平面内作圆周运动过最高点情况：

受力：由  $mg + T = mv^2/L$  知，小球速度越小，绳拉力或环压力  $T$  越小，但  $T$  的最小值只能为零，此时小球以重力提供作向心力。

结论：通过最高点时绳子(或轨道)对小球没有力的作用(可理解为恰好通过或恰好通不过的条件)，此时只有重力提供作向心力。注意讨论：绳系小球从最高点抛出做圆周还是平抛运动。

能过最高点条件： $V \geq V_{\text{临}}$  (当  $V \geq V_{\text{临}}$  时，绳、轨道对球分别产生拉力、压力)

不能过最高点条件： $V < V_{\text{临}}$  (实际上球还未到最高点就脱离了轨道)



讨论：① 恰能通过最高点时： $mg = m \frac{v_{\text{临}}^2}{R}$ ，临界速度  $V_{\text{临}} = \sqrt{gR}$ ；

可认为距此点  $h = \frac{R}{2}$  (或距圆的最低点)  $h = \frac{5R}{2}$  处落下的物体。

☆此时最低点需要的速度为  $V_{\text{低临}} = \sqrt{5gR}$  ☆最低点拉力大于最高点拉



力  $\Delta F = 6mg$

② 最高点状态:  $mg + T_1 = m \frac{v_{\text{高}}^2}{L}$  (临界条件  $T_1 = 0$ , 临界速度  $V_{\text{临}} = \sqrt{gR}$ ,  $V \geq V_{\text{临}}$  才能通过)

最低点状态:  $T_2 - mg = m \frac{v_{\text{低}}^2}{L}$  高到低过程机械能守恒:  $\frac{1}{2} m v_{\text{低}}^2 = \frac{1}{2} m v_{\text{高}}^2 + mg2L$

$T_2 - T_1 = 6mg$  (g可看为等效加速度)

② 半圆: 过程  $mgR = \frac{1}{2} m v^2$  最低点  $T - mg = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow$  绳上拉力  $T = 3mg$ ; 过最低点的速度为  $V_{\text{低}} = \sqrt{2gR}$

小球在与悬点等高处静止释放运动到最低点, 最低点时的向心加速度  $a = 2g$

③ 与竖直方向成  $\theta$  角下摆时, 过最低点的速度为  $V_{\text{低}} = \sqrt{2gR(1 - \cos \theta)}$ ,

此时绳子拉力  $T = mg(3 - 2\cos \theta)$

(3) 有支承的小球, 在竖直平面作圆周运动过最高点情况:

① 临界条件: 杆和环对小球有支持力的作用 (由  $mg - N = m \frac{U^2}{R}$  知)

当  $V = 0$  时,  $N = mg$  (可理解为小球恰好转过或恰好转不过最高点)

② 当  $0 < v < \sqrt{gR}$  时, 支持力  $N$  向上且随  $v$  增大而减小, 且  $mg > N > 0$

③ 当  $v = \sqrt{gR}$  时,  $N = 0$

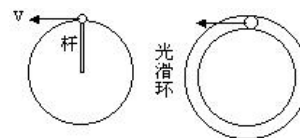
④ 当  $v > \sqrt{gR}$  时,  $N$  向下 (即拉力) 随  $v$  增大而增大, 方向指向圆心。

当小球运动到最高点时, 速度  $v < \sqrt{gR}$  时, 受到杆的作用力  $N$  (支持)

但  $N < mg$ , (力的大小用有向线段 长短表示)

当小球运动到最高点时, 速度  $v = \sqrt{gR}$  时, 杆对小球无作用力  $N = 0$

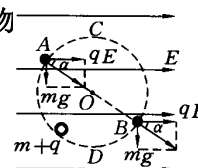
当小球运动到最高点时, 速度  $v > \sqrt{gR}$  时, 小球受到杆的拉力  $N$  作用



恰好过最高点时, 此时从高到低过程  $mg2R = \frac{1}{2} m v^2$

低点:  $T - mg = m v^2 / R \Rightarrow T = 5mg$ ; 恰好过最高点时, 此时最低点速度:  $V_{\text{低}} = 2\sqrt{gR}$

注意物理圆与几何圆的最高点、最低点的区别: (以上规律适用于物理圆, 但最高点, 最低点, g 都应看成等效的情况)



## 2. 解决匀速圆周运动问题的一般方法

(1) 明确研究对象, 必要时将它从转动系统中隔离出来。

(2) 找出物体圆周运动的轨道平面, 从中找出圆心和半径。

(3) 分析物体受力情况, 千万别臆想出一个向心力来。

(4) 建立直角坐标系 (以指向圆心方向为  $x$  轴正方向) 将力正交分解。

(5) 建立方程组 
$$\begin{cases} \sum F_x = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 R \\ \sum F_y = 0 \end{cases}$$

## 3. 离心运动

在向心力公式  $F_n = m v^2 / R$  中,  $F_n$  是物体所受合外力所能提供的向心力,  $m v^2 / R$  是物体作圆周运动所需要的向心力。当提供的向心力等于所需要的向心力时, 物体将作圆周运动; 若提供的向心力消失或小于所需要

的向心力时,物体将做逐渐远离圆心的运动,即离心运动。其中提供的向心力消失时,物体将沿切线飞去,离圆心越来越远;提供的向心力小于所需要的向心力时,物体不会沿切线飞去,但沿切线和圆周之间的某条曲线运动,逐渐远离圆心。

### ◆3 斜面模型 (搞清物体对斜面压力为零的临界条件)

斜面固定:物体在斜面上情况由倾角和摩擦因素决定

$\mu = \tan \theta$  物体沿斜面匀速下滑或静止  $\mu > \tan \theta$  物体静止于斜面

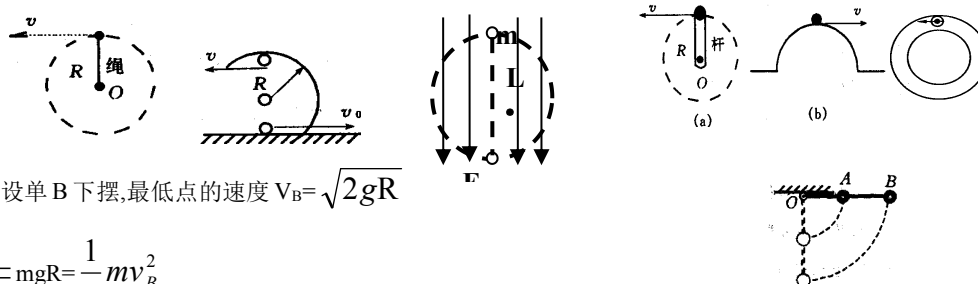
$\mu < \tan \theta$  物体沿斜面加速下滑  $a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta)$

### ◆4. 轻绳、杆模型

绳只能受拉力,杆能沿杆方向的拉、压、横向及任意方向的力。

如图:杆对球的作用力由运动情况决定只有  $\theta = \arctan(\frac{a}{g})$  时才沿杆方向

最高点时杆对球的作用力;最低点时的速度?,杆的拉力? 若小球带电呢?



假设单 B 下摆,最低点的速度  $V_B = \sqrt{2gR}$

$$\leftarrow mgR = \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$\text{整体下摆 } 2mgR = mg \frac{R}{2} + \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$V_B' = 2V_A' \Rightarrow V_A' = \sqrt{\frac{3}{5}gR} \quad ; \quad V_B' = 2V_A' = \sqrt{\frac{6}{5}2gR} > V_B = \sqrt{2gR}$$

所以 AB 杆对 B 做正功, AB 杆对 A 做负功

### ◆ . 通过轻绳连接的物体

①在沿绳连接方向(可直可曲),具有共同的  $v$  和  $a$ 。

特别注意:两物体不在沿绳连接方向运动时,先应把两物体的  $v$  和  $a$  在沿绳方向分解,求出两物体的  $v$  和  $a$  的关系式,

②被拉直瞬间,沿绳方向的速度突然消失,此瞬间过程存在能量的损失。

讨论:若作圆周运动最高点速度  $V_0 < \sqrt{gR}$ ,运动情况为先平抛,绳拉直时沿绳方向的速度消失

即是有能量损失,绳拉紧后沿圆周下落机械能守恒。而不能够整个过程用机械能守恒。

求水平初速及最低点时绳的拉力?

换为绳时:先自由落体,在绳瞬间拉紧(沿绳方向的速度消失)有能量损失(即  $v_1$  突然消失),再  $v_2$  下摆机械能守恒

例:摆球的质量为  $m$ ,从偏离水平方向  $30^\circ$  的位置由静释放,设绳子为理想轻绳,求:小球运动到最低点 A 时绳子受到的拉力是多少?

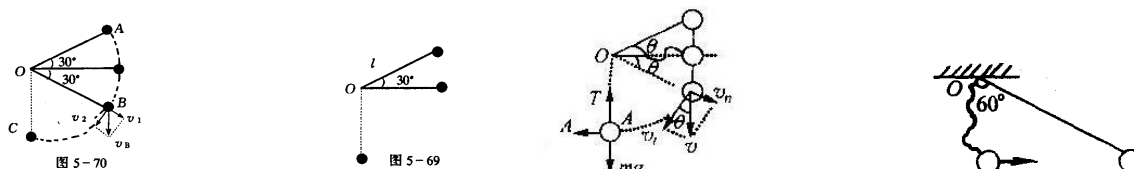


图 4-1

## ◆5. 超重失重模型

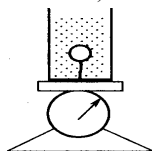
系统的重心在竖直方向上有向上或向下的加速度(或此方向的分量  $a_y$ )

向上超重(加速向上或减速向下) $F=m(g+a)$ ; 向下失重(加速向下或减速上升) $F=m(g-a)$

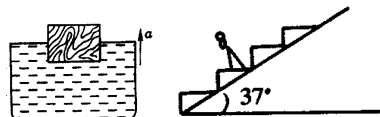
难点: 一个物体的运动导致系统重心的运动

1 到 2 到 3 过程中 (1、3 除外)超重状态

绳剪断后台称示数  
系统重心向下加速



铁木球的运动  
用同体积的水去补充



斜面对地面的压力?  
地面对斜面摩擦力?  
导致系统重心如何运动?

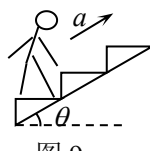
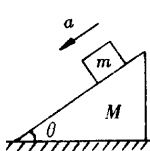
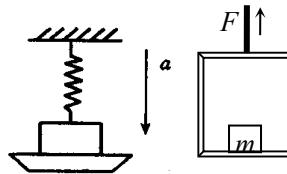


图 9



## ◆6. 碰撞模型:

## ◆7. 子弹打击木块模型:

## ◆8. 人船模型:

一个原来处于静止状态的系统, 在系统内发生相对运动的过程中,

在此方向遵从①动量守恒方程:  $mv=MV$ ;  $ms=MS$ ; ②位移关系方程  $s+S=d \Rightarrow s=\frac{M}{m+M}d$   $M/m=L_m/L_M$

载人气球原静止于高  $h$  的高空, 气球质量为  $M$ , 人的质量为  $m$ . 若人沿绳梯滑至地面, 则绳梯至少为多长?

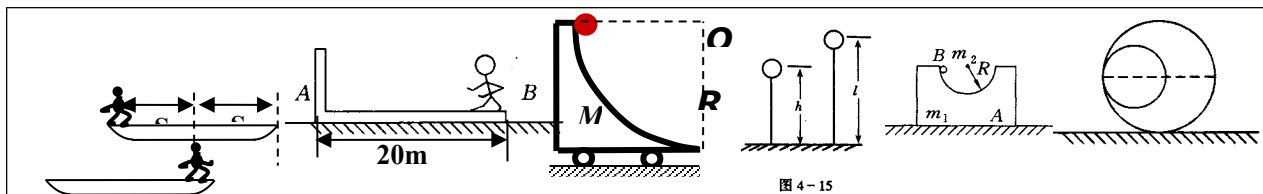


图 4-15

## ◆9. 弹簧振子模型: $F=-Kx$ ( $X$ 、 $F$ 、 $a$ 、 $v$ 、 $A$ 、 $T$ 、 $f$ 、 $E_k$ 、 $E_p$ 等量的变化规律) 水平型或竖直型

## ◆10. 单摆模型: $T=2\pi\sqrt{l/g}$ (类单摆) 利用单摆测重力加速度

## ◆11. 波动模型: 特点: 传播的是振动形式和能量, 介质中各质点只在平衡位置附近振动并不随波迁移。

①各质点都作受迫振动,

②起振方向与振源的起振方向相同,

③离源近的点先振动,

④没波传播方向上两点的起振时间差=波在这段距离内传播的时间

⑤波源振几个周期波就向外传几个波长。

⑥波从一种介质传播到另一种介质, 频率不改变, 波速  $v=s/t=\lambda/T=\lambda f$

波速与振动速度的区别 波动与振动的区别: 波的传播方向  $\leftrightarrow$  质点的振动方向 (同侧法)

知波速和波形画经过  $\Delta t$  后的波形 (特殊点画法和去整留零法)

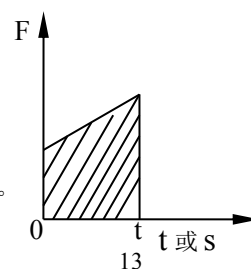
## ◆12. 图象模型: 识图方法: 一轴、二线、三斜率、四面积、五截距、六交点

明确: 点、线、面积、斜率、截距、交点的含义

中学物理中重要的图象

(1) 运动学中的  $s-t$  图、 $v-t$  图、振动图象  $x-t$  图以及波动图象  $y-x$  图等。

(2) 电学中的电场线分布图、磁感线分布图、等势面分布图、交流电图象、电磁振荡  $i-t$  图等。



(3)实验中的图象：如验证牛顿第二定律时要用到  $a$ - $F$  图象、 $F$ - $1/m$  图象；用“伏安法”测电阻时要画  $I$ - $U$  图象；测电源电动势和内电阻时要画  $U$ - $I$  图；用单摆测重力加速度时要画的图等。

(4)在各类习题中出现的图象：如力学中的  $F$ - $t$  图、电磁振荡中的  $q$ - $t$  图、电学中的  $P$ - $R$  图、电磁感应中的  $\Phi$ - $t$  图、 $E$ - $t$  图等。

### ●模型法常常有下面三种情况

(1)“对象模型”：即把研究的对象的本身理想化。

用来代替由具体物质组成的、代表研究对象的实体系统，称为对象模型(也可称为概念模型)，实际物体在某种条件下的近似与抽象，如质点、光滑平面、理想气体、理想电表等；

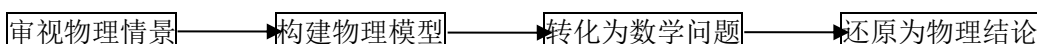
常见的如“力学”中有质点、点电荷、轻绳或杆、轻质弹簧、单摆、弹簧振子、弹性体、绝热物质等；

(2)条件模型：把研究对象所处的外部条件理想化，排除外部条件中干扰研究对象运动变化的次要因素，突出外部条件的本质特征或最主要的方面，从而建立的物理模型称为条件模型。

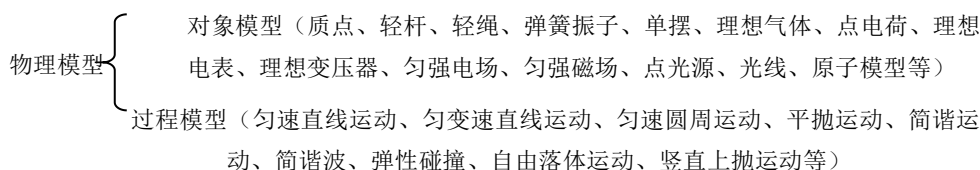
(3)过程模型：把具体过程纯粹化、理想化后抽象出来的一种物理过程，称过程模型。理想化了的物理现象或过程，如匀速直线运动、自由落体运动、竖直上抛运动、平抛运动、匀速圆周运动、简谐运动等。

有些题目所设物理模型是不清晰的，不宜直接处理，但只要抓住问题的主要因素，忽略次要因素，恰当的将复杂的对象或过程向隐含的理想化模型转化，就能使问题得以解决。

### 解决物理问题的一般方法可归纳为以下几个环节：



原始的物理模型可分为如下两类：



物理解题方法：如整体法、假设法、极限法、逆向思维法、物理模型法、等效法、物理图像法等。

## ● 知识分类举要

1. 力的三种效应：
- 力的瞬时性(产生  $a$ )  $F=ma$ 、 $\Rightarrow$  运动状态发生变化  $\Rightarrow$  牛顿第二定律
  - 时间积累效应(冲量)  $I=Ft$ 、 $\Rightarrow$  动量发生变化  $\Rightarrow$  动量定理
  - 空间积累效应(做功)  $w=Fs$   $\Rightarrow$  动能发生变化  $\Rightarrow$  动能定理

2. 动量观点： 动量(状态量)：  $p=mv=\sqrt{2mE_K}$  冲量(过程量)：  $I=Ft$

动量定理： 内容：物体所受合外力的冲量等于它的动量的变化。

公式：  $F_{\text{合}}t = mv' - mv$  (解题时受力分析和正方向的规定是关键)

$I = F_{\text{合}}t = F_1t_1 + F_2t_2 + \dots = \Delta p = P_{\text{末}} - P_{\text{初}} = mv_{\text{末}} - mv_{\text{初}}$

动量守恒定律： 内容、守恒条件、不同的表达式及含义：  $p = p'$ ；  $\Delta p = 0$ ；  $\Delta p_1 = -\Delta p_2$

内容：相互作用的物体系统，如果不受外力，或它们所受的外力之和为零，它们的总动量保持不变。

(研究对象：相互作用的两个物体或多个物体所组成的系统)

守恒条件：①系统不受外力作用。(理想化条件)

②系统受外力作用，但合外力为零。

③系统受外力作用，合外力也不为零，但合外力远小于物体间的相互作用力。

④系统在某一个方向的合外力为零，在这个方向的动量守恒。

⑤全过程的某一阶段系统受合外力为零，该阶段系统动量守恒，

即：原来连在一起的系统匀速或静止(受合外力为零)，分开后整体在某阶段受合外力仍为零可用动量守恒。

例：火车在某一恒定牵引力作用下拖着拖车匀速前进，拖车在脱勾后至停止运动前的过程中(受合外力为零)动量守恒

**“动量守恒定律”、“动量定理”不仅适用于短时间的的作用，也适用于长时间的作用。**

不同的表达式及含义(各种表达式的中文含义)：

$$P=P' \quad \text{或} \quad P_1+P_2=P_1'+P_2' \quad \text{或} \quad m_1V_1+m_2V_2=m_1V_1'+m_2V_2' \\ (\text{系统相互作用前的总动量 } P \text{ 等于相互作用后的总动量 } P')$$

$$\Delta P=0 \quad (\text{系统总动量变化为 } 0)$$

$$\Delta P=-\Delta P' \quad (\text{两物体动量变化大小相等、方向相反})$$

如果相互作用的系统由两个物体构成，动量守恒的实际应用中的具体表达式为

$$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'; \quad 0=m_1v_1+m_2v_2 \quad m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v_{\text{共}}$$

原来以动量(P)运动的物体，若其获得大小相等、方向相反的动量(-P)，是导致物体静止或反向运动的临界条件。即：P+(-P)=0

**注意理解四性：**系统性、矢量性、同时性、相对性

**系统性：**研究对象是某个系统、研究的是某个过程

**矢量性：**对一维情况，先选定某一方向为正方向，速度方向与正方向相同的速度取正，反之取负，

再把矢量运算简化为代数运算。，引入正负号转化为代数运算。不注意正方向的设定，往往得出错误结果。一旦方向搞错，问题不得其解

**相对性：**所有速度必须是相对同一惯性参照系。

**同时性：** $v_1$ 、 $v_2$ 是相互作用前同一时刻的速度， $v_1'$ 、 $v_2'$ 是相互作用后同一时刻的速度。

解题步骤：选对象，划过程，受力分析。所选对象和过程符合什么规律？用何种形式列方程(先要规定正方向)求解并讨论结果。

动量定理说的是物体动量的变化量跟总冲量的矢量相等关系；

动量守恒定律说的是存在内部相互作用的物体系统在作用前后或作用过程中各物体动量的矢量和保持不变的关系。

## ◆7. 碰撞模型和◆8 子弹打击木块模型专题：

碰撞特点①动量守恒 ②碰后的动能不可能比碰前大 ③对追及碰撞,碰后后面物体的速度不可能大于前面物体的速度。

**◆弹性碰撞：弹性碰撞应同时满足：**

$$\begin{cases} m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2' & (1) \\ \frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2 & (2) \end{cases} \quad \begin{aligned} \sqrt{2m_1E_{k1}}+\sqrt{2m_2E_{k2}} &= \sqrt{2m_1E_{k1}'}+\sqrt{2m_2E_{k2}'} \\ \frac{p_1^2}{2m_1}+\frac{p_2^2}{2m_2} &= \frac{p_1'^2}{2m_1}+\frac{p_2'^2}{2m_2} \end{aligned}$$
$$\begin{cases} v_1'=\frac{(m_1-m_2)v_1+2m_2v_2}{m_1+m_2} \\ v_2'=\frac{(m_2-m_1)v_2+2m_1v_1}{m_1+m_2} \end{cases} \quad \text{当 } m_2v_2=0 \text{ 时} \quad \begin{cases} v_1'=\frac{(m_1-m_2)v_1}{m_1+m_2} \\ v_2'=\frac{2m_1v_1}{m_1+m_2} \end{cases}$$

(这个结论最好背下来，以后经常要用到。)

讨论：①一动一静且二球质量相等时的弹性正碰：**速度交换**

②大碰小一起向前；质量相等，速度交换；小碰大，向后返。

③原来以动量(P)运动的物体，若其获得等大反向的动量时，是导致物体静止或反向运动的临界条件。

**◆“一动一静”弹性碰撞规律：**即  $m_2v_2=0$ ； $\frac{1}{2}m_2v_2^2=0$  代入(1)、(2)式

$$\text{解得: } v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 \quad (\text{主动球速度下限}) \quad v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 \quad (\text{被碰球速度上限})$$

讨论 (1):

当  $m_1 > m_2$  时,  $v_1' > 0$ ,  $v_2' > 0$   $v_1'$  与  $v_1$  方向一致; 当  $m_1 \gg m_2$  时,  $v_1' \approx v_1$ ,  $v_2' \approx 2v_1$  (高射炮打蚊子)

当  $m_1 = m_2$  时,  $v_1' = 0$ ,  $v_2' = v_1$  即  $m_1$  与  $m_2$  交换速度

当  $m_1 < m_2$  时,  $v_1' < 0$  (反弹),  $v_2' > 0$   $v_2'$  与  $v_1$  同向; 当  $m_1 \ll m_2$  时,  $v_1' \approx -v_1$ ,  $v_2' \approx 0$  (乒乓球撞铅球)

讨论 (2): 被碰球 2 获最大速度、最大动量、最大动能的条件为

A. 初速度  $v_1$  一定, 当  $m_1 \gg m_2$  时,  $v_2' \approx 2v_1$

B. 初动量  $p_1$  一定, 由  $p_2' = m_2 v_2' = \frac{2m_1 m_2 v_1}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1 v_1}{\frac{m_1}{m_2} + 1}$ , 可见, 当  $m_1 \ll m_2$  时,  $p_2' \approx 2m_1 v_1 = 2p_1$

C. 初动能  $E_{k1}$  一定, 当  $m_1 = m_2$  时,  $E_{k2}' = E_{k1}$

◆完全非弹性碰撞应满足:

$$\begin{cases} m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v' & v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \\ E_{\text{损}} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v'^2 = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2 (v_1 - v_2)^2}{m_1 + m_2} \end{cases}$$

◆一动一静的完全非弹性碰撞 (子弹打击木块模型) 是高中物理的重点。

特点: 碰后有共同速度, 或两者的距离最大(最小)或系统的势能最大等等多种说法。

$$m_1 v_1 + 0 = (m_1 + m_2) v' \quad v' = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} \quad (\text{主动球速度上限, 被碰球速度下限})$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + 0 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v'^2 + E_{\text{损}}$$

$$E_{\text{损}} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v'^2 = \frac{m_1 m_2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} E_{k1}$$

讨论:

①  $E_{\text{损}}$  可用于克服相对运动时的摩擦力做功转化为内能

$$E_{\text{损}} = f d_{\text{相}} = \mu mg \cdot d_{\text{相}} = \frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2} (m + M) v'^2 = \frac{m M v_0^2}{2(m + M)} \Rightarrow d_{\text{相}} = \frac{m M v_0^2}{2(m + M) f} = \frac{m M v_0^2}{2 \mu g (m + M)}$$

② 也可转化为弹性势能;

③ 转化为电势能、电能发热等等; (通过电场力或安培力做功)

由上可讨论主动球、被碰球的速度取值范围

$$\frac{(m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2} < v_{\text{主}} < \frac{m_1 v_0}{m_1 + m_2} \quad \frac{m_1 v_0}{m_1 + m_2} < v_{\text{被}} < \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

“碰撞过程”中四个有用推论

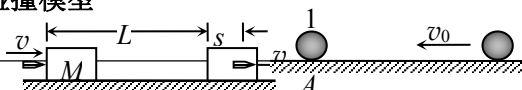
推论一: 弹性碰撞前、后, 双方的相对速度大小相等, 即:  $u_2 - u_1 = v_1 - v_2$

推论二: 当质量相等的两物体发生弹性正碰时, 速度互换。

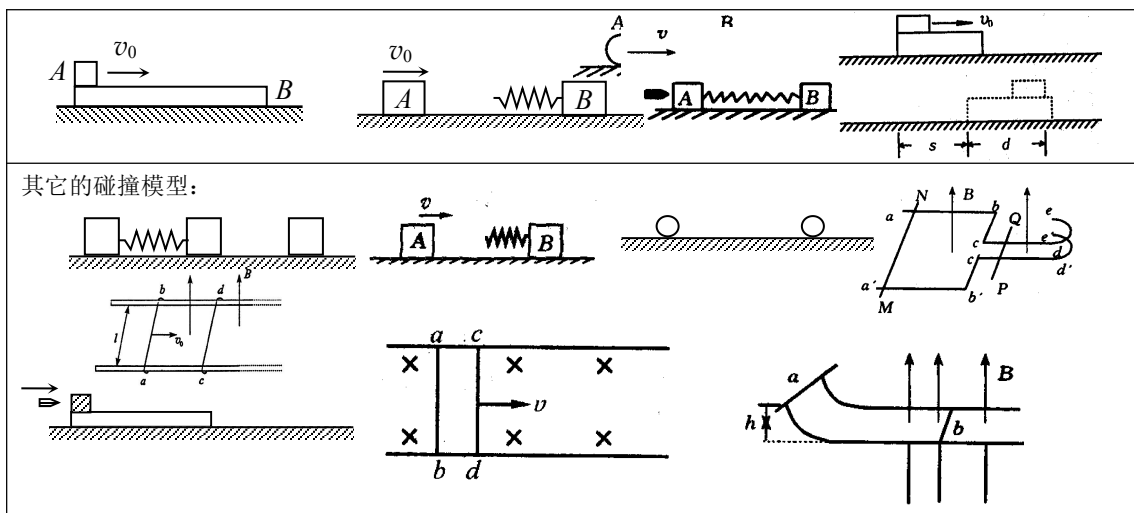
推论三: 完全非弹性碰撞碰后的速度相等

推论四: 碰撞过程受(动量守恒)(能量不会增加)和(运动的合理性)三个条件的制约。

碰撞模型







其它的碰撞模型：

证明：碰撞过程中机械能损失为：
$$\Delta E = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} m_1 u_1^2 - \frac{1}{2} m_2 u_2^2$$

由动量守恒的表达式中得：
$$u_2 = \frac{1}{m_2} (m_1 v_1 + m_2 v_2 - m_1 u_1)$$

代入上式可将机械能的损失 $\Delta E$ 表为 $u_1$ 的函数为：

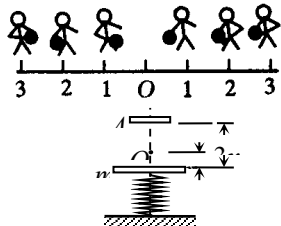
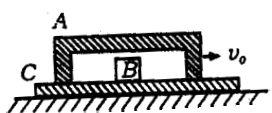
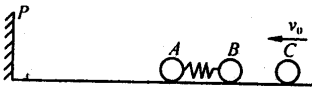
$$\Delta E = -\frac{m_1(m_1 + m_2)}{2m_2} u_1^2 - \frac{m_1(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{m_2} u_1 + \left[ \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \right] - \frac{1}{2m_2} (m_1 v_1 + m_2 v_2)^2$$

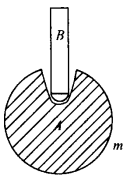
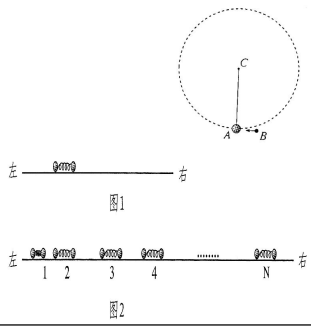
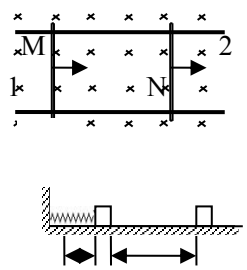
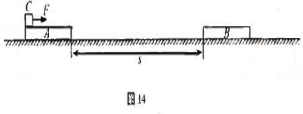
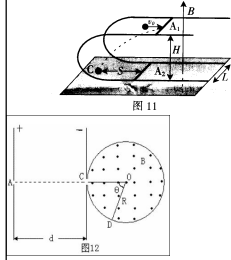
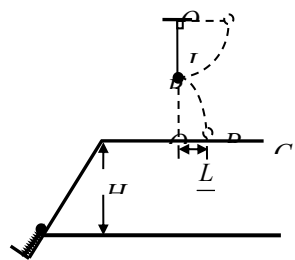
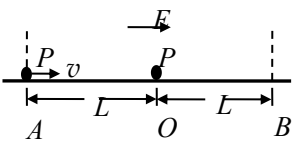
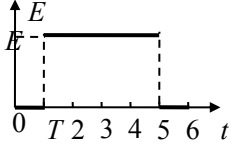
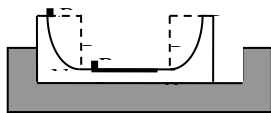
这是一个二次项系数小于零的二次三项式，显然：当 $u_1 = u_2 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ 时，

即当碰撞是完全非弹性碰撞时，系统机械能的损失达到最大值

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \left( \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \right)^2$$

历年高考中涉及动量守恒模型的计算题都有：(对照图表)

一质量为 $M$ 的长木板静止在光滑水平桌面上.一质量为 $m$ 的小滑块以水平速度 $v_0$ 从长木板的一端开始在木板上滑动,直到离开木板.滑块刚离开木板时速度为 $V_0/3$ ,若把此木板固定在水平面上,其它条件相同,求滑块离开木板时速度?		
1996 年全国广东(24 题)	1995 年全国广东(30 题压轴题) 1997 年全国广东(25 题轴题 12 分)	1998 年全国广东(25 题轴题 12 分)
试在下述简化情况下由牛顿定律导出动量守恒定律的表达式：系统是两个质点，相互作用		质量为 $M$ 的小船以速度 $V_0$ 行驶，船上有两个质量皆为 $m$ 的小孩 $a$ 和 $b$ ，分别静止站在船头和船尾。现小孩 $a$ 沿水平方向以速率 $v$ (相对于静止水面)向前跃入水中，

用力是恒力，不受其他力，沿直线运动要求说明推导过程中每步的根据，以及式中各符号和最后结果中各项的意义。		
1999 年全国广东(20 题 12 分)	2000 年全国广东(22 压轴题)	2001 年广东河南(17 题 12 分)
		
2002 年广东(19 题)	2003 年广东(19、20 题)	2004 年广东(15、17 题)
		
2005 年广东(18 题)	2006 年广东(16、18 题)	2007 年广东(17 题)
		
2008 年广东(19 题、第 20 题)		

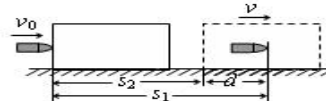
### 子弹打木块模型：物理学中最为典型的碰撞模型（一定要掌握）

子弹击穿木块时,两者速度不相等;子弹未击穿木块时,两者速度相等.这两种情况的临界情况是:当子弹从木块一端到达另一端,相对木块运动的位移等于木块长度时,两者速度相等.

例题：设质量为  $m$  的子弹以初速度  $v_0$  射向静止在光滑水平面上的质量为  $M$  的木块，并留在木块中不再射出，子弹钻入木块深度为  $d$ 。求木块对子弹的平均阻力的大小和该过程中木块前进的距离。

解析：子弹和木块最后共同运动，相当于完全非弹性碰撞。

从动量的角度看，子弹射入木块过程中系统动量守恒：



$$mv_0 = (M + m)v$$

从能量的角度看,该过程系统损失的动能全部转化为系统的内能。设平均阻力大小为 $f$ ,设子弹、木块的位移大小分别为 $s_1$ 、 $s_2$ ,如图所示,显然有 $s_1 - s_2 = d$

$$\text{对子弹用动能定理: } f \cdot s_1 = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots ①$$

$$\text{对木块用动能定理: } f \cdot s_2 = \frac{1}{2}Mv^2 \dots\dots\dots ②$$

$$\text{①、②相减得: } f \cdot d = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(M + m)v^2 = \frac{Mm}{2(M + m)}v_0^2 \dots\dots\dots ③$$

③式意义: $f \cdot d$ 恰好等于系统动能的损失;根据能量守恒定律,系统动能的损失应该等于系统内能的增加;可见 $f \cdot d = Q$ ,即两物体由于相对运动而摩擦产生的热(机械能转化为内能),等于摩擦力大小与两物体相对滑动的路程的乘积(由于摩擦力是耗散力,摩擦生热跟路径有关,所以这里应该用路程,而不是用位移)。

$$\text{由上式不难求得平均阻力的大小: } f = \frac{Mmv_0^2}{2(M + m)d}$$

至于木块前进的距离 $s_2$ ,可以由以上②、③相比得出:  $s_2 = \frac{m}{M + m}d$   
从牛顿运动定律和运动学公式出发,也可以得出同样的结论。试试推理。

由于子弹和木块都在恒力作用下做匀变速运动,位移与平均速度成正比:

$$\frac{s_2 + d}{s_2} = \frac{(v_0 + v)/2}{v/2} = \frac{v_0 + v}{v}, \therefore \frac{d}{s_2} = \frac{v_0}{v} = \frac{M + m}{m}, s_2 = \frac{m}{M + m}d$$

一般情况下 $M \gg m$ ,所以 $s_2 \ll d$ 。这说明在子弹射入木块过程中木块的位移很小,可以忽略不计。这就为分阶段处理问题提供了依据。象这种运动物体与静止物体相互作用,动量守恒,最后共同运动的类型,

$$\text{全过程动能的损失量可用公式: } \Delta E_k = \frac{Mm}{2(M + m)}v_0^2 \dots\dots\dots ④$$

当子弹速度很大时,可能射穿木块,这时末状态子弹和木块的速度大小不再相等,但穿透过程中系统动量仍然守恒,系统动能损失仍然是 $\Delta E_k = f \cdot d$ (这里的 $d$ 为木块的厚度),但由于末状态子弹和木块速度不相等,所以不能再用④式计算 $\Delta E_k$ 的大小。

做这类题目时一定要画好示意图,把各种数量关系和速度符号标在图上,以免列方程时带错数据。

以上所列举的人、船模型的前提是系统初动量为零。如果发生相互作用前系统就具有一定的动量,那就不能再用 $m_1v_1 = m_2v_2$ 这种形式列方程,而要利用 $(m_1 + m_2)v_0 = m_1v_1 + m_2v_2$ 列式。  
**特别要注意各种能量间的相互转化**

### 3. 功与能观点:

**求功方法**      单位: J     $\text{ev} = 1.9 \times 10^{-19} \text{J}$     度 $= \text{kwh} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$      $1\text{u} = 931.5 \text{Mev}$

◎力学: ① $W = F s \cos \theta$  (适用于恒力功的计算)①理解正功、零功、负功②功是能量转化的量度

$$\text{② } W = P \cdot t \quad (\Rightarrow p = \frac{W}{t} = \frac{FS}{t} = Fv) \quad \text{功率: } P = \frac{W}{t} \quad (\text{在 } t \text{ 时间内力对物体做功的平均功率}) \quad P = Fv$$

( $F$ 为牵引力,不是合外力; $v$ 为即时速度时, $P$ 为即时功率. $v$ 为平均速度时, $P$ 为平均功率. $P$ 一定时, $F$ 与 $v$ 成正比)

动能:  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$       重力势能  $E_p = mgh$  (凡是势能与零势能面的选择有关)

③动能定理: 外力对物体所做的总功等于物体动能的变化(增量)

公式:  $W_{\text{合}} = W_{\text{合}} = W_1 + W_2 + \dots + W_n = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mV_2^2 - \frac{1}{2}mV_1^2$

(1) $W_{\text{合}}$ 为外力所做功的代数和. ( $W$  可以不同的性质力做功)

(2)外力既可以有几个外力同时作用, 也可以是各外力先后作用或在不同过程中作用;

(3)既为物体所受合外力的功。

④功是能量转化的量度(最易忽视)主要形式有: 贯穿整个高中物理的主线

“功是能量转化的量度”这一基本概念含义理解。

(1)重力的功-----量度-----重力势能的变化

物体重力势能的增量由重力做的功来量度:  $W_G = -\Delta E_p$ , 这就是势能定理。

与势能相关的力做功特点:如重力,弹力,分子力,电场力它们做功与路径无关,只与始末位置有关。

除重力和弹簧弹力做功外,其它力做功改变机械能; 这就是机械能定理。

只有重力做功时系统的机械能守恒。

(2)电场力的功-----量度-----电势能的变化

(3)分子力的功-----量度-----分子势能的变化

(4)合外力的功-----量度-----动能的变化; 这就是动能定理。

(5)摩擦力和空气阻力做功  $W = fd_{\text{路程}} \Rightarrow E_{\text{内能}}$  (发热)

(6)一对互为作用力反作用力的摩擦力做的总功, 用来量度该过程系统由于摩擦而减小的机械能,

也就是系统增加的内能。  $f \cdot d = Q$  ( $d$  为这两个物体间相对移动的路程)。

⊙热学:  $\Delta E = Q + W$  (热力学第一定律)

⊙电学:  $W_{AB} = qU_{AB} = F_{\text{电}} d = qEd$   $\Rightarrow$  动能(导致电势能改变)

$$W = QU = UIt = I^2 R t = U^2 t / R \quad Q = I^2 R t$$

$$E = I(R + r) = U_{\text{外}} + U_{\text{内}} = U_{\text{外}} + Ir \quad P_{\text{电源}} t = UIt + E_{\text{其它}} \quad P_{\text{电源}} = IE = I U + I^2 R t$$

⊙磁学: 安培力功  $W = F_{\text{安}} d = BILd \Rightarrow$  内能(发热)  $= B \frac{BLV}{R} Ld = \frac{B^2 L^2 V}{R} d$

⊙光学: 单个光子能量  $E = h\gamma$       一束光能量  $E_{\text{总}} = Nh\gamma$  ( $N$  为光子数目)

$$\text{光电效应 } E_{km} = \frac{1}{2}mv_m^2 = h\gamma - W_0 \quad \text{跃迁规律: } h\gamma = E_{\text{末}} - E_{\text{初}} \quad \text{辐射或吸收光子}$$

⊙原子: 质能方程:  $E = mc^2$      $\Delta E = \Delta mc^2$  注意单位的转换换算

机械能守恒定律: 机械能=动能+重力势能+弹性势能(条件:系统只有内部的重力或弹力做功)。

守恒条件: (功角度)只有重力和弹簧的弹力做功; (能转化角度)只发生动能与势能之间的相互转化。

“只有重力做功”  $\neq$  “只受重力作用”。

在某过程中物体可以受其它力的作用, 只要这些力不做功, 或所做功的代数和为零, 就可以认为是“只有重力做功”。

列式形式:  $E_1 = E_2$  (先要确定零势能)     $P_{\text{减(或增)}} = E_{\text{增(或减)}} \quad E_{A \text{ 减(或增)}} = E_{B \text{ 增(或减)}}$

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mV_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mV_2^2 \quad \text{或者} \quad \Delta E_{p \text{ 减}} = \Delta E_{k \text{ 增}}$$

除重力和弹簧弹力做功外,其它力做功改变机械能; 滑动摩擦力和空气阻力做功  $W = fd_{\text{路程}} \Rightarrow E_{\text{内能}}$  (发热)

## 4. 功能关系: 功是能量转化的量度。有两层含义:

(1)做功的过程就是能量转化的过程, (2)做功的多少决定了能转化的数量,即:功是能量转化的量度

强调: 功是一种过程量, 它和一段位移(一段时间)相对应; 而能是一种状态量, 它与一个时刻相对应。

两者的单位是相同的(都是 J)，但不能说功就是能，也不能说“功变成了能”。

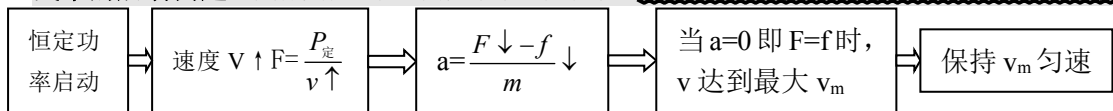
做功的过程是物体能量的转化过程，做了多少功，就有多少能量发生了变化，功是能量转化的量度。		
(1)动能定理		合外力对物体做的总功=物体动能的增量。即 $W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k$
(2) 与 势 能 相 关 力 做 功 ⇒ 导 致 与 之 相 关 的 势 能 变 化	重力	重力对物体所做的功=物体重力势能增量的负值。即 $W_G = E_{P1} - E_{P2} = -\Delta E_P$ 重力做正功，重力势能减少；重力做负功，重力势能增加。
	弹簧弹力	弹力对物体所做的功=物体弹性势能增量的负值。即 $W_{\text{弹力}} = E_{P1} - E_{P2} = -\Delta E_P$ 弹力做正功，弹性势能减少；弹力做负功，弹性势能增加。
	分子力	分子力对分子所做的功=分子势能增量的负值
	电场力	电场力对电荷所做的功=电荷电势能增量的负值 电场力做正功，电势能减少；电场力做负功，电势能增加。注意： <u>电荷的正负及移动方向</u>
(3)机械能变化原因		除重力(弹簧弹力)以外的的其它力对物体所做的功=物体机械能的增量即 $W_F = E_2 - E_1 = \Delta E$ 当除重力(或弹簧弹力)以外的力对物体所做的功为零时，即机械能守恒
(4)机械能守恒定律		在只有重力和弹簧的弹力做功的物体系内，动能和势能可以互相转化，但机械能的总量保持不变。即 $E_{K2} + E_{P2} = E_{K1} + E_{P1}$ ， $\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$ 或 $\Delta E_K = -\Delta E_P$
(5)静摩擦力做功的特点		(1)静摩擦力可以做正功，也可以做负功，还可以不做功； (2)在静摩擦力做功的过程中，只有机械能的互相转移，而没有机械能与其他形式的能的转化，静摩擦力只起着传递机械能的作用； (3)相互摩擦的系统内，一对静摩擦力对系统所做功的和总是等于零。
(6)滑动摩擦力做功特点“摩擦所产生的热”		(1)滑动摩擦力可以做正功，也可以做负功，还可以不做功； =滑动摩擦力跟物体间相对路程的乘积，即一对滑动摩擦力所做的功 (2)相互摩擦的系统内，一对滑动摩擦力对系统所做功的和总表现为负功， 其大小为： $W = -fS_{\text{相对}} = Q$ 对系统做功的过程中，系统的机械能转化为其他形式的能， ( $S_{\text{相对}}$ 为相互摩擦的物体间的相对位移；若相对运动有往复性，则 $S_{\text{相对}}$ 为相对运动的路程)
(7)一对作用力与反作用力做功的特点		(1)作用力做正功时，反作用力可以做正功，也可以做负功，还可以不做功； 作用力做负功、不做功时，反作用力亦同样如此。 (2)一对作用力与反作用力对系统所做功的总和可以是正功，也可以是负功，还可以零。
(8)热学 外界对气体做功		外界对气体所做的功 $W$ 与气体从外界所吸收的热量 $Q$ 的和=气体内能的变化 $W+Q=\Delta U$ (热力学第一定律,能的转化守恒定律)
(9)电场力做功		$W=qu=qEd=F_{\text{电}}S_E$ (与路径无关)
(10)电流做功		(1)在纯电阻电路中 $w = uIt = I^2Rt = \frac{u^2}{R}t$ (电流所做的功率=电阻发热功率) (2) 在电解槽电路中,电流所做的功率=电阻发热功率+转化为化学能的的功率 (3) 在电动机电路中,电流所做的功率=电阻发热功率与输出的机械功率之和 $P_{\text{电源}}t = uIt = +E_{\text{其它}}; W = IUt > I^2Rt$
(11)安培力做功		安培力所做的功对应着电能与其它形式的能的相互转化，即 $W_{\text{安}} = \Delta E_{\text{电}}$ ， 安培力做正功，对应着电能转化为其他形式的能（如电动机模型）； 克服安培力做功，对应着其它形式的能转化为电能（如发电机模型）； 且安培力作功的绝对值，等于电能转化的量值， $W = F_{\text{安}}d = BILd \Rightarrow \text{内能(发热)}$
(12)洛仑兹力永不做功		洛仑兹力只改变速度的方向，不改变速度的大小。
(13)光学		光子的能量: $E_{\text{光子}} = h\gamma$ ；一束光能量 $E_{\text{光}} = N \times h\gamma$ ( $N$ 指光子数目)  在光电效应中，光子的能量 $h\gamma = W + \frac{1}{2}mv^2$

(14)原子物理	原子辐射光子的能量 $h\gamma = E_{\text{初}} - E_{\text{末}}$ ，原子吸收光子的能量 $h\gamma = E_{\text{末}} - E_{\text{初}}$ 爱因斯坦质能方程： $E = mc^2$
(15)能量转化和守恒定律	对于所有参与相互作用的物体所组成的系统，其中每一个物体的能量数值及形式都可能发生变化，但系统内所有物体的各种形式能量的总合保持不变

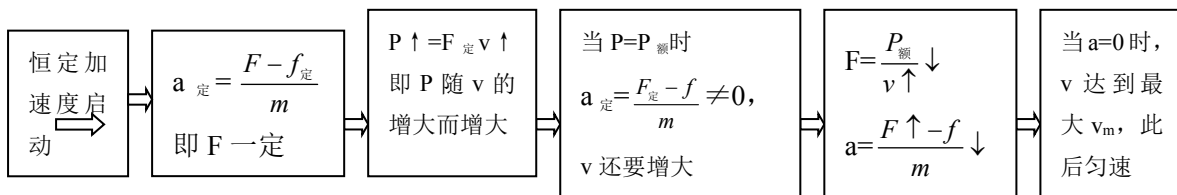
功和能的关系贯穿整个物理学。现归类整理如下：常见力做功与对应能的关系

常见的几种力做功		能量关系		数量关系式
力的种类	做功的正负	对应的能量	变化情况	
①重力 $mg$	+	重力势能 $E_p$	减小	$mgh = -\Delta E_p$
	-		增加	
②弹簧的弹力 $kx$	+	弹性势能 $E_{\text{弹性}}$	减小	$W_{\text{弹}} = -\Delta E_{\text{弹性}}$
	-		增加	
③分子力 $F_{\text{分子}}$	+	分子势能 $E_{\text{分子}}$	减小	$W_{\text{分子力}} = -\Delta E_{\text{分子}}$
	-		增加	
④电场力 $Eq$	+	电势能 $E_{\text{电势}}$	减小	$qU = -\Delta E_{\text{电势}}$
	-		增加	
⑤滑动摩擦力 $f$	-	内能 $Q$	增加	$fs_{\text{相对}} = Q$
⑥感应电流的安培力 $F_{\text{安培}}$	-	电能 $E_{\text{电}}$	增加	$W_{\text{安培力}} = \Delta E_{\text{电}}$
⑦合力 $F_{\text{合}}$	+	动能 $E_k$	增加	$W_{\text{合}} = \Delta E_k$
	-		减小	
⑧重力以外的力 $F$	+	机械能 $E_{\text{机械}}$	增加	$W_F = \Delta E_{\text{机械}}$
	-		减小	

**汽车的启动问题：**具体变化过程可用如下示意图表示。关键是发动机的功率是否达到额定功率。



| → → → 变加速直线运动 → → → → → | → → → → 匀速直线运动 → → → →



| → → → 匀加速直线运动 → → → → | → → → 变加速 ( $a \downarrow$ ) 运动 → → → → | → 匀速运动 →

(1) 若额定功率下启动，则一定是变加速运动，因为牵引力随速度的增大而减小，求解时不能用匀变速运动的规律来解。

(2) 特别注意匀加速启动时，牵引力恒定，当功率随速度增至预定功率时的速度(匀加速结束时的速度)，并不是车行的最大速度，此后，车仍要在额定功率下做加速度减小的加速运动(这阶段类同于额定功率启动)直至  $a=0$  时速度达到最大。

### 高考物理力学常见几类计算题的分析

高考题物理计算的常见几种类型	题型常见特点	考查的主要内容	解题时应注意的问题
牛顿运动定律的应用与运动学公式的应用	(1) 一般研究单个物体的阶段性运动。 (2) 力大小可确定，一般仅涉及力、速度、加速度、位移、	(1) 运动过程的阶段性分析与受力分析 (2) 运用牛顿第二定律求 $a$ (3) 选择最合适的运动学公式求位移、速度和时间。	(1) 学会画运动情境草，并对物体进行受力分析，以确定合外力的方向。 (2) 加速度 $a$ 计算后，应根据物体加减速运动确定运动学公式如

	时间计算,通常不涉及功、能量、动量计算问题。	(4)特殊的阶段性运动或二物体运动时间长短的比较常引入速度图象帮助解答。	何表示(即正负号如何添加) (3)不同阶段的物理量要加角标予以区分。
力学二大定理与二大定律的应用	二大定理应用:(1)一般研究单个物体运动:若出现二个物体时隔离受力分析,分别列式判定。 (2)题目出现“功”、“动能”、“动能增加(减少)”等字眼,常涉及到功、力、初末速度、时间和长度量计算。	(1)功、冲量的正负判定及其表达式写法。 (2)动能定理、动量定理表达式的建立。 (3)牛顿第二定律表达式、运动学速度公式与单一动量定理表达是完全等价的;牛顿第二定律表达式、运动学位移公式与单一动能定理表达是完全等价的;二个物体动能表达式与系统能量守恒式往往也是等价的。应用时要避免重复列式。 (4)曲线运动一般考虑到动能定理应用,圆周运动一般还要引入向心力公式应用;匀变速直线运动往往考查到二个定理的应用。	(1)未特别说明时,动能中速度均是相对地而言的,动能不能用分量表示。 (2)功中的位移应是对地位移;功的正负要依据力与位移方向间夹角判定,重力和电场力做功正负有时也可根据特征直接判定。 (3)选用牛顿运动定律及运动学公式解答往往比较繁琐。 (4)运用动量定理时要注意选取正方向,并依据规定的正方向来确定某力冲量,物体初末动量的正负。
	二大定律应用:(1)一般涉及二个物体运动 (2)题目常出现“光滑水平面”(或含“二物体间相互作用力等大反向”提示)、“碰撞”、“动量”、“动量变化量”、“速度”等字眼,给定二物体质量,并涉及共同速度、最大伸长(压缩量)最大高度、临界量、相对移动距离、作用次数等问题。	(1)系统某一方向动量守恒时运用动量守恒定律。 (2)涉及长度量、能量、相对距离计算时常运用能量守恒定律(含机械能守恒定律)解题。 (3)等质量二物体的弹性碰撞,二物体会交换速度。 (4)最值问题中常涉及二物体的共同速度问。	(1)运用动量守恒定律时要注意选择某一运动方向为正方向。 (2)系统合外力为零时,能量守恒式要力争抓住原来总能量与后来总能量相等的特点列式;当合外力不为零时,常根据做多少功转化多少能特征列式计算。 (3)多次作用问题逐次分析、列式找规律的意识。
万有引力定律的应用(一般出在选择题中)	(1)涉及天体运动问题,题目常出现“卫星”、“行星”、“地球”、“表面”等字眼。 (2)涉及卫星的环绕速度、周期、加速度、质量、离地高度等计算 (3)星体表面环绕速度也称第一宇宙速度。	(1)物体行星表面处所受万有引力近似等于物体重力,地面处重力往往远大于向心力 (2)空中环绕时万有引力提供向心力。 (3)物体所受的重力与纬度和高度有关,涉及火箭竖直上升(下降)时要注意在范围运动对重力及加速度的影响,而小范围的竖直上抛运动则不用考虑这种影响。 (4)当涉及转动圈数、二颗卫星最近(最远距离)、覆盖面大小问题时,要注意几何上角度联系、卫星到行星中心距离与行星半径的关系。	(1)注意万有引力定律表达式中的两天体间距离 $r_{距}$ 与向心力公式中物体环绕半径 $r$ 的区别与联系。 (2)双子星之间距离与转动半径往往不等,列式计算时要特别小心。 (3)向心力公式中的物体环绕半径 $r$ 是所在处的轨迹曲率半径,当轨迹为椭圆时,曲率半径不一定等于长半轴或短半轴。 (4)地面处重力或万有引力远大于向心力,而空中绕地球匀速圆周运动时重力或万有引力等于向心力。

## ● 电学部分一：静电场：

**静电场：**概念、规律特别多，注意理解及各规律的适用条件；电荷守恒定律，库仑定律

1. 电荷守恒定律：元电荷  $e = 1.6 \times 10^{-19} C$

2. 库仑定律：  $F = K \frac{Qq}{r^2}$  条件：真空中、点电荷；静电力常量  $k = 9 \times 10^9 Nm^2/C^2$

三个自由点电荷的平衡问题：“三点共线，两同夹异，两大夹小”

中间电荷量较小且靠近两边中电量较小的：  $\sqrt{q_1 q_2} + \sqrt{q_2 q_3} = \sqrt{q_1 q_3}$

常见电场的电场线分布熟记，特别是孤立正、负电荷，等量同种、异种电荷连线上及中垂线上的场强分布，电场线的特点及作用。

3. 力的特性(E)：只要有电荷存在周围就存在电场，电场中某位置场强：

$E = \frac{F}{q}$  (定义式)  $E = \frac{KQ}{r^2}$  (真空点电荷)  $E = \frac{U}{d}$  (匀强电场 E、d 共线) 叠加式  $E = E_1 + E_2 + \dots$  (矢量合成)

4. 两点间的电势差：U、 $U_{AB}$ ：(有无下标的区别)

静电力做功 U 是(电能  $\Rightarrow$  其它形式的能) 电动势 E 是(其它形式的能  $\Rightarrow$  电能)

$U_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q} = \varphi_A - \varphi_B = Ed = -U_{BA} = -(U_B - U_A)$  与零势点选取无关)

电场力功  $W = qu = qEd = F_{\text{电}} S_E$  (与路径无关)

5. 某点电势  $\varphi$  描述电场能的特性：  $\varphi = \frac{W_{A \rightarrow 0}}{q}$  (相对零势点而言)

理解电场线概念、特点；常见电场的电场线分布要求熟记，特别是等量同种、异种电荷连线上及中垂线上的场强特点和规律

6. 等势面(线)的特点，处于静电平衡导体是个等势体，其表面是个等势面，导体外表面附近的电场线垂直于导体表面(距导体远近不同的等势面的特点?)，导体内部合场强为零，导体内部没有净电荷，净电荷只分布于导体外表面；表面曲率大的地方等势面越密，E 越大，称为尖端放电。应用：静电感应，静电屏蔽

7. 电场概念题思路：电场力的方向  $\Rightarrow$  电场力做功  $\Rightarrow$  电势能的变化(这些问题是电学基础)

8. 电容器的两种情况分析

① 始终与电源相连 U 不变；

当  $d \uparrow \Rightarrow C \downarrow \Rightarrow Q = CU \downarrow \Rightarrow E = U/d \downarrow$ ；仅变 s 时，E 不变。

② 充电后断电源 q 不变：

当  $d \uparrow \Rightarrow C \downarrow \Rightarrow u = q/c \uparrow \Rightarrow E = u/d = \frac{q/c}{d} = \frac{4\pi k q}{\epsilon s}$  不变；仅变 d 时，E 不变；



9 带电粒子在电场中的运动  $qU = \frac{1}{2}mv^2$ ; 侧移  $y = \frac{qU'L^2}{2mdv_0^2}$ , 偏角  $\tan \phi = \frac{qU'L}{mdv_0^2}$

$$(1) \text{ 加速 } W = qu_{\text{加}} = qEd = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (1) \quad v_0 = \sqrt{\frac{2qu_{\text{加}}}{m}}$$

(2) 偏转(类平抛)平行 E 方向:

$$\text{加速度: } a = \frac{F}{m} = \frac{qE_2}{m} = \frac{qU_{\text{偏}}}{dm} \quad (2) \quad \text{再加磁场不偏转时: } qBv_0 = qE = q \frac{U_{\text{偏}}}{d}$$

$$\begin{cases} \text{水平: } L_1 = v_0 t \\ \text{竖直: } y = \frac{1}{2}at^2 \end{cases} \quad (3) \quad (4)$$

$$\text{竖直侧移: } y_{\text{侧}} = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qU_{\text{偏}}}{md} t^2 = \frac{qU_{\text{偏}} L_1^2}{2mdv_0^2} = \frac{U_{\text{偏}} L_1^2}{4dU_{\text{加}}} = \frac{qdB^2 L_1^2}{2mU_{\text{偏}}}$$

$v_0$ 、 $U_{\text{偏}}$ 来表示;  $U_{\text{偏}}$ 、 $U_{\text{加}}$ 来表示;  $U_{\text{偏}}$ 和  $B$  来表示

$$\text{竖直速度: } v_y = at = \frac{qU_{\text{偏}}}{dm} \frac{L_1}{v_0} = \frac{qBL_1}{m}$$

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{at}{v_0} = \frac{qU_{\text{偏}} L_1}{mdv_0^2} = \frac{U_{\text{偏}} L_1}{2dU_{\text{加}}} = \frac{qL_1 dB^2}{mU_{\text{偏}}} \quad (\theta \text{ 为速度方向与水平方向夹角})$$

(3) 若再进入无场区: 做匀速直线运动。

$$\begin{cases} \text{水平: } L_2 = v_0 t_2 \\ \text{竖直: } y_2 = v_y t_2 = at_1 t_2 = L_2 \tan \theta \quad (\text{简捷}) \end{cases} \quad (5) \quad (6)$$

$$y_2 = \frac{qU_{\text{偏}} L_1 L_2}{dmv_0^2} = \frac{U_{\text{偏}} L_1 L_2}{2dU_{\text{加}}} = \frac{qdB^2 L_1 L_2}{mU_{\text{偏}}}$$

$$\text{总竖直位移: } y = y_1 + y_2 = \left(\frac{L_1}{2} + L_2\right) \frac{qU_{\text{偏}} L_1}{dmv_0^2} = \left(\frac{L_1}{2} + L_2\right) \frac{U_{\text{偏}} L_1}{2dU_{\text{加}}} = \left(\frac{L_1}{2} + L_2\right) \frac{qdB^2 L_1}{mU_{\text{偏}}}$$

③ 圆周运动

④ 在周期性变化电场作用下的运动

**结论:**

① 不论带电粒子的  $m$ 、 $q$  如何, 在同一电场中由静止加速后, 再进入同一偏转电场, 它们飞出时的侧移和偏转角是相同的(即它们的运动轨迹相同)

② 出场速度的反向延长线跟入射速度相交于  $O$  点, 粒子好象从中心点射出一样 (即  $b = \frac{y}{\tan \alpha} = \frac{L}{2}$ )

$$\text{证: } \tan \beta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{gt}{v_0} \quad \tan \alpha = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{gt}{2v_0} \quad \tan \beta = 2 \tan \alpha \quad (\alpha \beta \text{ 的含义?})$$

汤姆生用来测定电子的比荷(电子的电荷量与质量之比)的实验装置如图 9-10 所示, 真空管内的阴极  $K$  发出的电子(不计初速、重力和电子间的相互作用)经加速电压加速后, 穿过  $A'$  中心的小孔沿中心轴  $O_1O$  的方向进入到两块水平正对放置的平行极板  $P$  和  $P'$  间的区域. 当极板间不加偏转电压时, 电子束打在荧光屏的中心  $O$  点处, 形成了一个亮点; 加上偏转电压  $U$  后, 亮点偏离到  $O'$  点, ( $O'$  与  $O$  点的竖直间距为  $d$ , 水平间距可忽略不计. 此时, 在  $P$  和  $P'$  间的区域, 再加上一个方向垂直于纸面向里的匀强磁场. 调节磁场的强弱, 当磁感应强度的大小为  $B$  时, 亮点重新回到  $O$  点. 已知极板水平方向的长度为  $L_1$ , 极板间距为  $b$ , 极板右端到荧光屏的距离为  $L_2$ .

- (1) 求打在荧光屏  $O$  点的电子速度的大小.
- (2) 推导出电子的比荷的表达式.

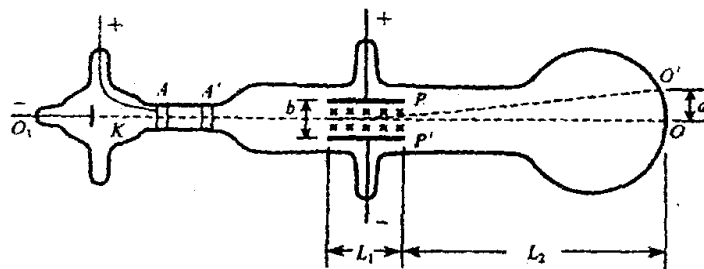


图 9-10

## 恒定电流：

$$I = \frac{q}{t} \text{ (定义)} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad I = nesv \text{ (微观)} \quad I = \frac{u}{R} = \frac{u'}{r} \quad I = \frac{E}{R+r} ; R = \frac{u}{I} \text{ (定义) 电阻定律: } R = \rho \frac{L}{S} \text{ (决定)}$$

$$\text{部分电路欧姆定律: } I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = IR \Rightarrow R = \frac{U}{I} \quad \text{闭合电路欧姆定律: } I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$

$$\text{路端电压: } U = \varepsilon - I r = IR \quad \text{输出功率: } P_{\text{出}} = I \varepsilon - I^2 r = I^2 R$$

$$\text{电源热功率: } P_r = I^2 r \quad \text{电源效率: } \eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{总}}} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{R}{R+r}$$

$$\text{电功: } W = QU = UIt = I^2 R t = U^2 t / R \quad \text{电功率 } P = W/t = UI = U^2 / R = I^2 R \quad \text{电热: } Q = I^2 R t$$

$$\text{对于纯电阻电路: } W = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

$$\text{对于非纯电阻电路: } W = IUt > I^2 R t \quad P = IU > I^2 r$$

$$E = I(R+r) = u_{\text{外}} + u_{\text{内}} = u_{\text{外}} + Ir \quad P_{\text{电源}} = uIt = +E_{\text{其它}} \quad P_{\text{电源}} = IE = IU + I^2 R t$$

$$\text{单位: } J \quad e v = 1.9 \times 10^{-19} J \quad \text{度} = kwh = 3.6 \times 10^6 J \quad 1u = 931.5 Mev$$

电路中串并联的特点和规律应相当熟悉

1、联电路和并联电路的特点（见下表）：

		串联电路	并联电路
两个基本特点	电压	$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$	$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$
	电流	$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$	$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$
三个重要性质	电阻	$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
	电压	$U/R = U_1/R_1 = U_2/R_2 = U_3/R_3 = \dots = I$	$IR = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = \dots = U$
	功率	$P/R = P_1/R_1 = P_2/R_2 = P_3/R_3 = \dots = I^2$	$PR = P_1 R_1 = P_2 R_2 = P_3 R_3 = \dots = U^2$

2、记住结论：

①并联电路的总电阻小于任何一条支路的电阻；

②当电路中的任何一个电阻的阻值增大时，电路的总电阻增大，反之则减小。

3、电路简化原则和方法

①原则：a、无电流的支路除去；b、电势相等的各点合并；c、理想导线可任意长短；d、理想电流表电阻为零，理想电压表电阻为无穷大；e、电压稳定时电容器可认为断路

②方法：

a、**电流分支法**：先将各节点用字母标上，判定各支路元件的电流方向（若无电流可假设在总电路两端加上电压后判定），按电流流向，自左向右将各元件，结点，分支逐一画出，加工整理即可；

b、**等势点排列法**：标出节点字母，判断出各结点电势的高低（电路无电压时可先假设在总电路两端加上电压），将各节点按电势高低自左向右排列，再将各节点间的支路画出，然后加工整理即可。注意以上两种方法应结合使用。

4、滑动变阻器的几种连接方式

a、限流连接：如图，变阻器与负载元件串联，电路中总电压为  $U$ ，此时负载  $R_x$  的电压调节范围红为

$$\frac{UR_x}{R_x + R_p} \sim U, \text{ 其中 } R_p \text{ 起分压作用，一般称为限流电阻，滑线变阻器的连接称为限流连接。}$$

b、分压连接：如图，变阻器一部分与负载并联，当滑片滑动时，两部分电阻丝的长度发生变化，对应电阻也发生变化，根据串联电阻的分压原理，其中  $U_{AP} = \frac{R_{AP}}{R_{AP} + R_{PB}} U$ ，当滑片  $P$  自  $A$  端向  $B$  端滑动时，负

载上的电压范围为  $0 \sim U$ ，显然比限流时调节范围大， $R$  起分压作用，滑动变阻器称为分压器，此连接方式为分压连接。

一般说来，当滑动变阻器的阻值范围比用电器的电阻小得多时，做分压器使用好；反之做限流器使用好。

5、含电容器的电路：分析此问题的关键是找出稳定后，电容器两端的电压。

6、电路故障分析：电路不正常工作，就是发生故障，要求掌握断路、短路造成的故障分析。

## 电路动态变化分析(高考的热点)各灯、表的变化情况

1 程序法:局部变化  $\Rightarrow R_{\text{总}} \Rightarrow I_{\text{总}} \Rightarrow$  先讨论电路中不变部分(如: $r$ )  $\Rightarrow$  最后讨论变化部分

局部变化  $R_i \uparrow \Rightarrow R_{\text{总}} \uparrow \Rightarrow I_{\text{总}} \downarrow \Rightarrow U_{\text{内}} \downarrow \Rightarrow U_{\text{露}} \uparrow \Rightarrow$  再讨论其它

2 直观法:

①任一个  $R$  增必引起通过该电阻的电流减小,其两端电压  $U_R$  增加.(本身电流、电压)

②任一个  $R$  增必引起与之并联支路电流  $I_{\text{并}}$  增加; 与之串联支路电压  $U_{\text{串}}$  减小 (称串反并同法)

局部  $R_i \uparrow \Rightarrow \begin{cases} I_i \downarrow \\ U_i \uparrow \end{cases} \Rightarrow$  与之串、并联的电阻  $\begin{cases} I_{\text{并}} \uparrow \\ U_{\text{串}} \downarrow \end{cases}$

当  $R=r$  时，电源输出功率最大为  $P_{\text{max}}=E^2/4r$  而效率只有 50%，

## 路端电压跟负载的关系

(1)路端电压：外电路的电势降落，也就是外电路两端的电压，通常叫做路端电压。

(2)路端电压跟负载的关系

当外电阻增大时，电流减小，路端电压增大；当外电阻减小时，电流增大，路端电压减小。

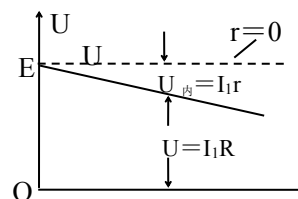
定性分析：  $R \uparrow \rightarrow I (= \frac{E}{R+r}) \downarrow \rightarrow Ir \downarrow \rightarrow U (= E - Ir) \uparrow$

$R \downarrow \rightarrow I (= \frac{E}{R+r}) \uparrow \rightarrow Ir \uparrow \rightarrow U (= E - Ir) \downarrow$

特例：

外电路断路：  $R \uparrow \rightarrow I \downarrow \rightarrow Ir \downarrow \rightarrow U = E$ 。

外电路短路：  $R \downarrow \rightarrow I (= \frac{E}{r}) \uparrow \rightarrow Ir (= E) \uparrow \rightarrow U = 0$ 。



图象描述：路端电压  $U$  与电流  $I$  的关系图象是一条向下倾斜的直线。 $U-I$  图象如图所示。

直线与纵轴的交点表示电源的电动势  $E$ ，直线的斜率的绝对值表示电源的内阻。

路端电压随电流的变化图线中注意坐标原点是否都从零开始

## 闭合电路中的功率

(1) 闭合电路中的能量转化  $qE = qU_{\text{外}} + qU_{\text{内}}$

在某段时间内，电能提供的电能等于内、外电路消耗的电能之和。

电源的电动势又可理解为在电源内部移送 1C 电量时，电源提供的电能。

(2) 闭合电路中的功率： $EI = U_{\text{外}}I + U_{\text{内}}I \Rightarrow EI = I^2R + I^2r$

说明电源提供的电能只有一部分消耗在外电路上，转化为其他形式的能，另一部分消耗在内阻上，转化为内能。

(3) 电源提供的电功率：又称之为电源的总功率。 $P = EI = \frac{E^2}{R+r}$

$R \uparrow \rightarrow P \downarrow$ ， $R \rightarrow \infty$  时， $P = 0$ 。  $R \downarrow \rightarrow P \uparrow$ ， $R \rightarrow 0$  时， $P_m = \frac{E^2}{r}$ 。

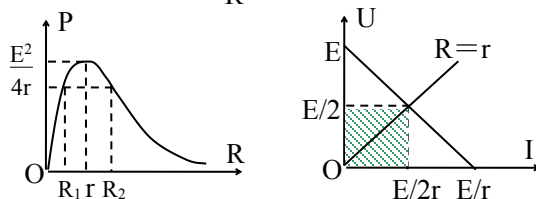
(4) 外电路消耗的电功率：又称之为电源的输出功率。 $P = U_{\text{外}}I$

定性分析： $I = \frac{E}{R+r}$   $U_{\text{外}} = E - Ir = \frac{RE}{R+r}$

从这两个式子可知， $R$  很大或  $R$  很小时，电源的输出功率均不是最大。

定量分析： $P_{\text{外}} = U_{\text{外}}I = \frac{RE^2}{(R+r)^2} = \frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R} + 4r}$  (当  $R=r$  时，电源的输出功率为最大， $P_{\text{外max}} = \frac{E^2}{4r}$ )

图象表述：



从  $P-R$  图象中可知，当电源的输出功率小于最大输出功率时，对应有两个外电阻  $R_1$ 、 $R_2$  时电源的输出功率相等。可以证明， $R_1$ 、 $R_2$  和  $r$  必须满足： $r = \sqrt{R_1 R_2}$ 。

(5) 内电路消耗的电功率：是指电源内电阻发热的功率。

$P_{\text{内}} = U_{\text{内}}I = \frac{rE^2}{(R+r)^2}$   $R \uparrow \rightarrow P_{\text{内}} \downarrow$ ， $R \downarrow \rightarrow P_{\text{内}} \uparrow$ 。

(6) 电源的效率：电源的输出功率与总功率的比值。 $\eta = \frac{P_{\text{外}}}{P} = \frac{R}{R+r}$

当外电阻  $R$  越大时，电源的效率越高。当电源的输出功率最大时， $\eta = 50\%$ 。

# 电学实验专题

## 测电动势和内阻

(1)直接法：外电路断开时，用电压表测得的电压  $U$  为电动势  $E$  ; $U=E$

(2)通用方法：AV 法测要考虑表本身的电阻,有内外接法；

①单一组数据计算，误差较大

②应该测出多组( $u$ ， $I$ )值，最后算出平均值

③作图法处理数据，( $u$ ， $I$ )值列表，在  $u$ -- $I$  图中描点，最后由  $u$ -- $I$  图线求出较精确的  $E$  和  $r$ 。

(3)特殊方法 (一) 即计算法：画出各种电路图

$$E = I_1(R_1 + r) \quad E = \frac{I_1 I_2 (R_1 - R_2)}{I_2 - I_1} \quad r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1} \quad (\text{一个电流表和两个定值电阻})$$

$$E = I_2(R_2 + r)$$

$$E = u_1 + I_1 r \quad E = \frac{I_1 u_2 - I_2 u_1}{I_1 - I_2} \quad r = \frac{u_2 - u_1}{I_1 - I_2} \quad (\text{一个电流表及一个电压表和一个滑动变阻器})$$

$$E = u_2 + I_2 r$$

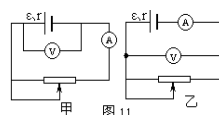
$$E = u_1 + \frac{u_1}{R_1} r \quad E = \frac{u_1 u_2 (R_1 - R_2)}{u_2 R_1 - u_1 R_2} \quad r = \frac{(u_1 - u_2) R_1 R_2}{u_2 R_1 - u_1 R_2} \quad (\text{一个电压表和两个定值电阻})$$

$$E = u_2 + \frac{u_2}{R_2} r$$

(二) 测电源电动势  $\varepsilon$  和内阻  $r$  有甲、乙两种接法，如图

甲法中：所测得  $\varepsilon$  和  $r$  都比真实值小， $\varepsilon/r$  测 =  $\varepsilon$  测/ $r$  真；

乙法中： $\varepsilon$  测 =  $\varepsilon$  真，且  $r$  测 =  $r + r_A$ 。



(三) 电源电动势  $\varepsilon$  也可用两阻值不同的电压表 A、B 测定，单独使用 A 表时，读数是  $U_A$ ，单独使用 B 表时，读数是  $U_B$ ，用 A、B 两表测量时，读数是  $U$ ，则  $\varepsilon = U_A U_B / (U_A - U)$ 。

## 电阻的测量

AV 法测：要考虑表本身的电阻,有内外接法；多组( $u$ ， $I$ )值，列表由  $u$ -- $I$  图线求。怎样用作图法处理数据

欧姆表测：测量原理

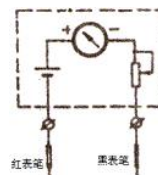
两表笔短接后,调节  $R_0$  使电表指针满偏，得  $I_g = E / (r + R_g + R_0)$

接入被测电阻  $R_x$  后通过电表的电流为  $I_x = E / (r + R_g + R_0 + R_x) = E / (R_{中} + R_x)$

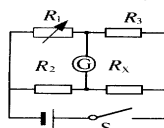
由于  $I_x$  与  $R_x$  对应，因此可指示被测电阻大小

使用方法:机械调零、选择量程(大到小)、欧姆调零、测量读数时注意挡位(即倍率)、拨 off 挡。

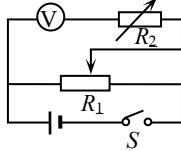
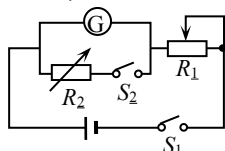
注意:测量电阻时，要与原电路断开,选择量程使指针在中央附近,每次换挡要重新短接欧姆调零。



$$\text{电桥法测: } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \Rightarrow R = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

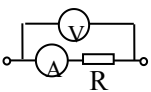
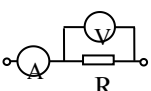


半偏法测表电阻：断  $s_2$ , 调  $R_1$  使表满偏；闭  $s_2$ , 调  $R_2$  使表半偏. 则  $R_{表} = R_2$ ；



一、测量电路(内、外接法) 记忆诀调 “内” 字里面有一个 “大” 字

类型	电路图	$R_{测}$ 与 $R_{真}$ 比较	条件	计算比较法
----	-----	----------------------	----	-------

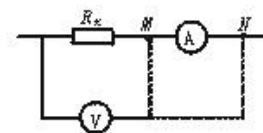
				已知 $R_v$ 、 $R_A$ 及 $R_x$ 大致值时
内		$R_{测} = \frac{U_R + U_A}{I} = R_x + R_A > R_x$	$R_x \approx R_v \gg R_A$ 适于测大电阻	$R_x > \sqrt{R_A R_v}$
外		$R_{测} = \frac{U}{I_v + I_R} = \frac{R_x R_v}{R_x + R_v} < R_x$	$R_x \approx R_A \gg R_v$ 适于测小电阻	$R_x < \sqrt{R_A R_v}$

当  $R_v$ 、 $R_A$  及  $R_x$  未知时, 采用实验判断法: 左端为定端, M、N 端为动端。

动端分别与 M 接时( $I_1$ ;  $u_1$ ), 动端与 N 接时( $I_2$ ;  $u_2$ )

若  $I$  有较大变化 (即  $\frac{|u_1 - u_2|}{u_1} < \frac{|I_1 - I_2|}{I_1}$ ) 说明  $v$  有较大电流通过, 采用内接法

若  $u$  有较大变化 (即  $\frac{|u_1 - u_2|}{u_1} > \frac{|I_1 - I_2|}{I_1}$ ) 说明  $A$  有较强的分压作用, 采用外接法



测量电路(内、外接法)选择方法有(三)

①  $R_x$  与  $R_v$ 、 $R_A$  粗略比较

② 计算比较法  $R_x$  与  $\sqrt{R_A R_v}$  比较

③ 当  $R_v$ 、 $R_A$  及  $R_x$  未知时, 采用实验判断法:

## 二、供电电路(限流式、调压式)

电路图	电压变化范围	电流变化范围	优势	选择方法
限流	$\frac{R}{R_x + R_{滑}} E \sim E$	$\frac{E}{R_x + R_{滑}} \sim \frac{E}{R_x}$	电路简单 附加功耗小	$R_x$ 比较小、 $R_{滑}$ 比较大, $R_{滑全} > n$ 倍的 $R_x$ 通电前调到最大
调压	$0 \sim E$	$0 \sim \frac{E}{R_x}$	电压变化范围大 要求电压 从 0 开始变化	$R_x$ 比较大、 $R_{滑}$ 比较小 $R_{滑全} > R_x/2$ 通电前调到最小

以“供电电路”来控制“测量电路”: 采用以小控大的原则

电路由测量电路和供电电路两部分组成,其组合以减小误差,调整处理数据两方便

$R_{滑}$ 唯一: 比较 $R_{滑}$ 与 $R_x$ 确定控制电路 $R_x < R_{滑} < 10 R_x \Rightarrow$ 限流方式 $\frac{R_x}{10} < R_{滑} < R_x \Rightarrow$ 分压接法 $R_{滑} \approx R_x$ 两种均可, 从节能角度选限流	$R_{滑}$ 不唯一: 实难要求 $\Rightarrow$ 确定控制电路 $\Rightarrow R_{滑}$ 实难要求: ① 负载两端电压变化范围大。 ② 负载两端电压要求从 0 开始变化。 ③ 电表量程较小而电源电动势较大。 有以上 3 种要求都采用调压供电。 无特殊要求都采用限流供电
---	---

## 三、选实验试材(仪表)和电路,

按题设实验要求组装电路,画出电路图,能把实物接成实验电路,精心安排操作步骤,过程中需要测?物理量,结果表达式中各符号的含义.

(1) 选量程的原则: 测  $u, I$ , 指针超过  $1/2$ , 测电阻刻度应在中心附近.

(2) 方法: 先画电路图,各元件的连接方式(先串再并的连线顺序)

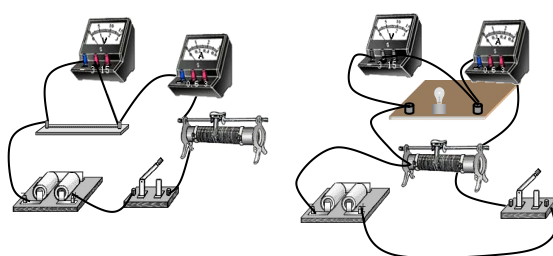
明确表的量程,画线连接各元件,铅笔先画,查实无误后,用钢笔填,

先画主电路,正极开始按顺序以单线连接方式将主电路元件依次串联,后把并联无件并上.

(3) 注意事项: 表的量程选对,正负极不能接错;导线应接在接线柱上,且不能分叉;不能用铅笔画用伏安法测小电珠的伏安特性曲线: 测量电路用外接法, 供电电路用调压供电。

#### (4)实物图连线技术

无论是分压接法还是限流接法都应该先把伏安法部分接好；即：先接好主电路(供电电路)。对限流电路，只需用笔画线当作导线，从电源正极开始，把电源、电键、滑动变阻器、伏安法四部分依次串联起来即可(注意电表的正负接线柱和量程,滑动变阻器应调到阻值最大处)。对分压电路，应该先把电源、电键和滑动变阻器的全部电阻丝三部分用导线连接起来，然后在滑动变阻器电阻丝两端之中任选一个接头，比较该接头和滑动触头两点的电势高低，根据伏安法部分电表正负接线柱的情况，将伏安法部分接入该两点间。



#### 实物连线的总思路

画出电路图→连滑动变阻器→  
 { 分压（滑动变阻器的下两个接线柱一定连在电源和电键的两端）  
 { 限流（一般连上一接线柱和下一接线柱）  
 （两种情况合上电键前都应注意滑片的位置）  
 →连接总回路：  
 { 电表的正负接线柱  
 { 总开关一定接在干路中  
 { 导线不能交叉

#### 微安表改装成各种表：关键在于原理

首先要知：微安表的内阻、满偏电流、满偏电压。

采用半偏法先测出表的内阻；最后要对改装表进行较对。

(1)改为 V 表：串联电阻分压原理

$$\frac{u_g}{R_g} = \frac{u - u_g}{R} \Rightarrow R = \left( \frac{u - u_g}{u_g} \right) R_g = (n - 1) R_g \quad (n \text{ 为量程的扩大倍数})$$

(2)改为 A 表：并联电阻分流原理

$$I_g R_g = (I - I_g) R \Rightarrow R = \frac{I_g}{I - I_g} R_g = \frac{1}{n - 1} R_g \quad (n \text{ 为量程的扩大倍数})$$

(3)改为欧姆表的原理

两表笔短接后,调节  $R_0$  使电表指针满偏,得  $I_g = E / (r + R_g + R_0)$

接入被测电阻  $R_x$  后通过电表的电流为  $I_x = E / (r + R_g + R_0 + R_x) = E / (R_{\text{中}} + R_x)$

由于  $I_x$  与  $R_x$  对应, 因此可指示被测电阻大小

## 磁场 基本特性,来源,

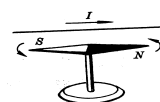


图 3-1 奥斯特实验



方向(小磁针静止时极的指向,磁感线的切线方向,外部(N→S)内部(S→N)组成闭合曲线

要熟悉五种典型磁场的磁感线空间分布(正确分析解答问题的关键)

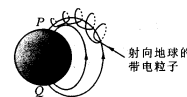
脑中要有各种磁源产生的磁感线的立体空间分布观念;会从不同的角度看、画、识 各种磁感线分布图  
能够将磁感线分布的立体、空间图转化成不同方向的平面图(正视、符视、侧视、剖视图)

## 磁场

安培右手定则: 电产生磁 安培分子电流假说, 磁产生的实质(磁现象电本质)奥斯特和罗兰实验

安培左手定则(与力有关) 磁通量概念一定要指明“是哪一个面积的、方向如何”且是双向标量

$F_{\text{安}} = BIL$  推导  $f_{\text{洛}} = qBv$  建立电流的微观图景(物理模型)



从安培力  $F = ILB \sin \theta$  和  $I = neSv$  推出  $f = qvB \sin \theta$ 。

典型的比值定义

$$(E = \frac{F}{q} \quad E = k \frac{Q}{r^2}) (B = \frac{F}{IL} \quad B = k \frac{I}{r^2}) (u = \frac{W_{a \rightarrow b}}{q} \quad \varphi_A = \frac{W_{A \rightarrow 0}}{q}) (R = \frac{u}{I} \quad R = \rho \frac{L}{S}) (C = \frac{Q}{u} \quad C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d})$$

磁感强度 **B**: 由这些公式写出 **B** 单位, 单位  $\Leftrightarrow$  公式

$$\textcircled{1} B = \frac{F}{IL}; \quad \textcircled{2} B = \frac{\phi}{S}; \quad \textcircled{3} E = BLv \Rightarrow B = \frac{E}{Lv}; \quad \textcircled{4} B = k \frac{I}{r^2} \quad (\text{直导体}); \quad \textcircled{5} B = \mu NI \quad (\text{螺线管})$$

$$\textcircled{6} qBv = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{qB} \Rightarrow B = \frac{mv}{qR}; \quad \textcircled{7} qBv = qE \Rightarrow B = \frac{E}{v} = \frac{u}{v} = \frac{u}{dv}$$

$$\text{电学中的三个力: } F_{\text{电}} = qE = q \frac{u}{d} \quad F_{\text{安}} = BIL \quad f_{\text{洛}} = qBv$$

注意:  $F_{\text{安}} = BIL$  ①、 $B \perp I$  时; ②、 $B \parallel I$  时; ③、 $B$  与  $I$  成夹角时

$$f_{\text{洛}} = qBv$$

①、 $B \perp v$  时,  $f_{\text{洛}}$  最大,  $f_{\text{洛}} = qBv$

( $fBv$  三者方向两两垂直且力  $f$  方向时刻与速度  $v$  垂直)  $\Rightarrow$  导致粒子做匀速圆周运动。

②、 $B \parallel v$  时,  $f_{\text{洛}} = 0 \Rightarrow$  做匀速直线运动。

③、 $B$  与  $v$  成夹角时, (带电粒子沿一般方向射入磁场),

可把  $v$  分解为(垂直  $B$  分量  $v_{\perp}$ , 此方向匀速圆周运动; 平行  $B$  分量  $v_{\parallel}$ , 此方向匀速直线运动。)

$\Rightarrow$  合运动为等距螺旋线运动。安培力的冲量:  $BIL \Delta t = m \Delta v$

带电粒子在洛伦兹力作用下的圆周(或部分圆周)运动

带电粒子在磁场中圆周运动（关键是画出运动轨迹图，画图应规范），找圆心和确定半径

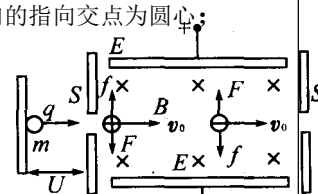
规律：  $qBv = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}$  （不能直接用）  $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$

- 1、找圆心：①(圆心的确定)因  $f_{洛}$  一定指向圆心， $f_{洛} \perp v$  任意两个  $f_{洛}$  方向的指向交点为圆心；  
②任意一弦的中垂线一定过圆心；  
③两速度方向夹角的角平分线一定过圆心。

2、求半径(两个方面)：①物理规律  $qBv = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}$

②由轨迹图得出与半径  $R$  有关的几何关系方程

(解题时应突出这两条方程)



几何关系：速度的偏向角  $\varphi$  = 偏转圆弧所对应的圆心角(回旋角)  $\alpha$  = 2 倍的弦切角  $\theta$

相对的弦切角相等，相邻弦切角互补 由轨迹画及几何关系式列出：关于半径的几何关系式去求。

- 3、求粒子的运动时间：偏向角（圆心角、回旋角）  $\alpha$  = 2 倍的弦切角  $\theta$ ，即  $\alpha = 2\theta$

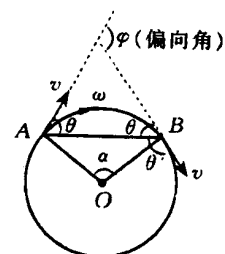
$$t = \frac{\text{圆心角(回旋角)}}{2\pi(\text{或}360^\circ)} \times T \quad t = \frac{\text{圆心角(回旋角)}}{2\pi(\text{或}360^\circ)} \times T$$

- 4、圆周运动有关的对称规律：特别注意在文字中隐含着的临界条件

a、从同一边界射入的粒子，又从同一边界射出时，速度与边界的夹角相等。

b、在圆形磁场区域内，沿径向射入的粒子，一定沿径向射出。

注意：均匀辐射状的匀强磁场，圆形磁场，及周期性变化的磁场。



## 专题：带电粒子在复合场中的运动

一、复合场的分类：1、复合场：2、叠加场：

二、带电粒子在复合场电运动的基本分析

三、电场力和洛伦兹力的比较

- 1.在电场中的电荷，不管其运动与否，均受到电场力的作用；

而磁场仅仅对运动着的、且速度与磁场方向不平行的电荷有洛伦兹力的作用。

- 2.电场力的大小  $F = Eq$ ，与电荷的运动的速度无关；

而洛伦兹力的大小  $f = Bqv \sin \alpha$ ，与电荷运动的速度大小和方向均有关。

- 3.电场力的方向与电场的方向或相同、或相反；

而洛伦兹力的方向始终既和磁场垂直，又和速度方向垂直。

- 4.电场力既可以改变电荷运动的速度大小，也可以改变电荷运动的方向，

而洛伦兹力只能改变电荷运动的速度方向.不能改变速度大小

- 5.电场力可以对电荷做功，能改变电荷的动能；

而洛伦兹力不能对电荷做功，不能改变电荷的动能。

- 6.匀强电场中在电场力的作用下,运动电荷的偏转轨迹为抛物线；

匀强磁场中在洛伦兹力的作用下,垂直于磁场方向运动的电荷的偏转轨迹为圆弧。

四、对于重力的考虑 重力考虑与否分三种情况。

## 五、复合场中的特殊物理模型

1. 粒子速度选择器

如图所示，粒子经加速电场后得到一定的速度  $v_0$ ，进入正交的电场和磁场，受到的电场力与洛伦兹力方

向相反，若使粒子沿直线从右边孔中出去，则有  $qv_0B=qE, v_0=E/B$ ，若  $v=v_0=E/B$ ，粒子做直线运动，与粒子电量、电性、质量无关

若  $v<E/B$ ，电场力大，粒子向电场力方向偏，电场力做正功，动能增加。

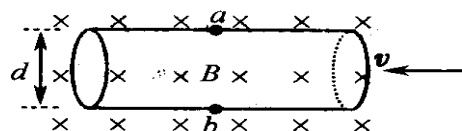
若  $v>E/B$ ，洛伦兹力大，粒子向磁场力方向偏，电场力做负功，动能减少。

## 2.磁流体发电机

如图所示，由燃烧室 O 燃烧电离成的正、负离子（等离子体）以高速。喷入偏转磁场 B 中。在洛伦兹力作用下，正、负离子分别向上、下极板偏转、积累，从而在板间形成一个向下的电场。两板间形成一定的电势差。当  $qvB=qU/d$  时电势差稳定  $U=dvB$ ，这就相当于一个可以对外供电的电源。

## 3.电磁流量计.

电磁流量计原理可解释为：如图所示，一圆形导管直径为 d，用非磁性材料制成，其中有可以导电的液体向左流动。导电液体中的自由电荷（正负离子）在洛伦兹力作用下纵向偏转，



a,b 间出现电势差。当自由电荷所受电场力和洛伦兹力平衡时，a、b 间的电势差就保持稳定。

由  $Bqv=Eq=Uq/d$ ，可得  $v=U/Bd$ 。流量  $Q=Sv=\pi U d/4B$

4.质谱仪：如图所示：组成：离子源 O，加速场 U，速度选择器 (E,B)，偏转场  $B_2$ ，胶片。

原理：加速场中  $qU=\frac{1}{2}mv^2$

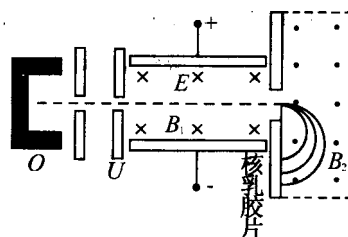
选择器中：

$$Bqv=Eq \Rightarrow v = \frac{E}{B_1}$$

偏转场中： $d=2r$ ,  $qvB_2=mv^2/r$

$$\text{比荷: } \frac{q}{m} = \frac{2E}{B_1 B_2 d}$$

$$\text{质量 } m = \frac{B_1 B_2 d q}{2E}$$



作用：主要用于测量粒子的质量、比荷、研究同位素。

## 5.回旋加速器

如图所示：组成：两个 D 形盒，大型电磁铁，高频振荡交变电压，两缝间可形成电压 U

作用：电场用来对粒子（质子、氦核、 $\alpha$  粒子等）加速，磁场用来使粒子回旋从而能反复加速。高能粒子是研究微观物理的重要手段。

要求：粒子在磁场中做圆周运动的周期等于交变电源的变化周期。

关于回旋加速器的几个问题：

(1)回旋加速器中的 D 形盒，它的作用是静电屏蔽，使带电粒子在圆周运动过程中只处在磁场中而不受电场的干扰，以保证粒子做匀速圆周运动 ‘

(2)回旋加速器中所加交变电压的频率 f 与带电粒子做匀速圆周运动的频率相等：

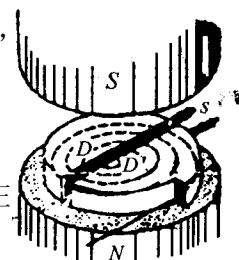
$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

(3)回旋加速器最后使粒子得到的能量，可由公式  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$  来计算，

在粒子电量、质量 m 和磁感应强度 B 一定的情况下，回旋加速器的半径 R 越大，粒子的能量就越大。

## 电磁感应：

1.法拉第电磁感应定律：电路中感应电动势的大小跟穿过这一电路的磁通量变化率成正比，这就是法拉第电磁感应定律。



内容：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。

发生电磁感应现象的这部分电路就相当于电源，在电源的内部电流的方向是从低电势流向高电势。(即：由负到正)

## 2.[感应电动势的大小计算公式]

1)  $E = BLV$

(垂直平动切割)

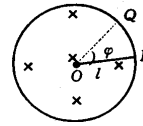
2)  $E = n \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = n \frac{\Delta B \times s}{\Delta t} = n \frac{B \times \Delta s}{\Delta t} = \dots = ?$  (普适公式)  $\varepsilon \propto \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$  (法拉第电磁感应定律)

3)  $E = nBS \omega \sin(\omega t + \Phi)$ ;  $E_m = nBS \omega$

(线圈转动切割)

4)  $E = BL^2 \omega / 2$

(直导体绕一端转动切割)



5)\* 自感  $E_{\text{自}} = n \Delta \Phi / \Delta t = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$

(自感)

**3.楞次定律：**感应电流具有这样的方向，即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量变化，这就是楞次定律。

内容：感应电流具有这样的方向，就是感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。

**$B_{\text{感}}$  和  $I_{\text{感}}$  的方向判定：**楞次定律(右手) 深刻理解“阻碍”两字的含义( $I_{\text{感}}$  的  $B_{\text{感}}$  是阻碍产生  $I_{\text{感}}$  的原因)

$B_{\text{原}}$  方向?  $B_{\text{原}}$  变化(原方向是增还是减);  $I_{\text{感}}$  方向? 才能阻碍变化; 再由  $I_{\text{感}}$  方向确定  $B_{\text{感}}$  方向。

楞次定律的多种表述

- ①从磁通量变化的角度：感应电流的磁场总是阻碍引起感应电流的磁通量的变化。
- ②从导体和磁场的相对运动：导体和磁体发生相对运动时，感应电流的磁场总是阻碍相对运动。
- ③从感应电流的磁场和原磁场：感应电流的磁场总是阻碍原磁场的变化。(增反、减同)
- ④楞次定律的特例——右手定则

在应用中常见两种情况：一是磁场不变，导体回路相对磁场运动；二是导体回路不动，磁场发生变化。

磁通量的变化与相对运动具有等效性：磁通量增加相当于导体回路与磁场接近，磁通量减少相当于导体回路与磁场远离。因此，

从导体回路和磁场相对运动的角度来看，感应电流的磁场总要阻碍相对运动；

从穿过导体回路的磁通量变化的角度来看，感应电流的磁场总要阻碍磁通量的变化。

能量守恒表述： $I_{\text{感}}$  效果总要反抗产生感应电流的原因

电磁感应现象中的动态分析，就是分析导体的受力和运动情况之间的动态关系。

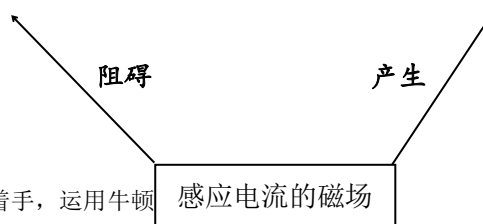
一般可归纳为：

导体组成的闭合电路中磁通量发生变化  $\Rightarrow$  导体中产生感应电流  $\Rightarrow$  导体受安培力作用  $\Rightarrow$  导体所受合力随之变化  $\Rightarrow$  导体的加速度变化  $\Rightarrow$  其速度随之变化  $\Rightarrow$  感应电流也随之变化 周而复始地循环，最后加速度小致零(速度将达到最大)导体将以此最大速度做匀速直线运动

“阻碍”和“变化”的含义

感应电流的磁场总是要阻碍引起感应电流的磁通量的变化，而不是阻碍引起感应电流的磁场。因此，不能认为感应电流的磁场的方向和引起感应电流的磁场方向相反。

磁通量变化  $\xrightarrow{\text{产生}}$  感应电流

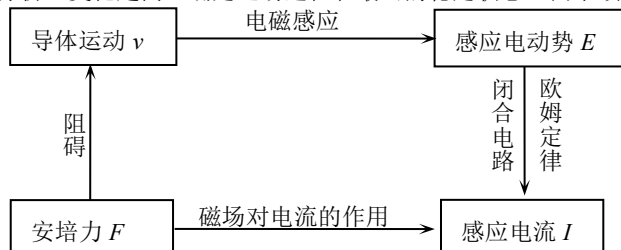


## 4.电磁感应与力学综合

方法：从运动和力的关系着手，运用牛顿

(1)基本思路:受力分析 $\rightarrow$ 运动分析 $\rightarrow$ 变化趋向 $\rightarrow$ 确定运动过程和最终的稳定状态 $\rightarrow$ 由牛顿第二列方程求解.

(2)注意安培力的特点:



(3)纯力学问题中只有重力、弹力、摩擦力，电磁感应中多一个安培力，安培力随速度变化，部分弹力及相应的摩擦力也随之而变，导致物体的运动状态发生变化，在分析问题时要注意上述联系。

## 5.电磁感应与动量、能量的综合

方法：

(2)从受力角度着手，运用牛顿运动定律及运动学公式

变化过程是：导线受力做切割磁力线运动，从而产生感应电动势，继而产生感应电流，这样就出现与外力方向相反的安培力作用，于是导线做加速度越来越小的变加速直线运动，运动过程中速度  $v$  变，电动势  $BLv$  也变，安培力  $BIL$  亦变，当安培力与外力大小相等时，加速度为零，此时物体就达到最大速度。

(2)从动量角度着手，运用动量定理或动量守恒定律

①应用动量定理可以由动量变化来求解变力的冲量，如在导体棒做非匀变速运动的问题中，应用动量定理可以解决牛顿运动定律不易解答的问题。

②在相互平行的水平轨道间的双棒做切割磁感线运动时，由于这两根导体棒所受的安培力等大反向，合外力为零，若不受其他外力，两导体棒的总动量守恒。解决此类问题往往要应用动量守恒定律。

(3)从能量转化和守恒着手，运用动能定理或能量守恒定律

①基本思路：受力分析→弄清哪些力做功，正功还是负功→明确有哪些形式的能量参与转化，哪增哪减→由动能定理或能量守恒定律列方程求解。

②能量转化特点：

其它能（如：机械能）
------------

 $\xrightarrow{\text{安培力做负功}}$ 

电能
----

 $\xrightarrow{\text{电流做功}}$ 

内能（焦耳热）
---------

## 6.电磁感应与电路综合

方法：在电磁感应现象中，切割磁感线的导体或磁通量发生变化的回路相当于电源。解决电磁感应与电路综合问题的基本思路是：

(1)明确哪部分相当于电源，由法拉第电磁感应定律和楞次定律确定感应电动势的大小和方向。

(2)画出等效电路图。

(3)运用闭合电路欧姆定律、串并联电路的性质求解未知物理量。

功能关系：电磁感应现象的实质是不同形式能量的转化过程。因此从功和能的观点入手，分析清楚电磁感应过程中能量转化关系，往往是解决电磁感应问题的关键，也是处理此类题目的捷径之一。

**棒平动切割  $B$  时达到的最大速度问题；及电路中产生的热量  $Q$ ；通过导体棒的电量问题**

$$\textcircled{1} v_m = \frac{F_{\text{合外}} R}{B^2 L^2} \quad (F_{\text{合外}} \text{ 为导体棒在匀速运动时所受到的合外力})。$$

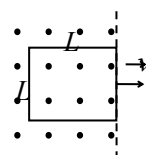
求最大速度问题，尽管达最大速度前运动为变速运动，感应电流(电动势)都在变化，但达最大速度之后，感应电流及安培力均恒定，计算热量运用能量观点处理，运算过程得以简捷。

$$\textcircled{2} Q = W_F - W_f = \frac{1}{2} m v_m^2 \quad (W_F \text{ 为外力所做的功； } W_f \text{ 为克服外界阻力做的功})；$$

$$\textcircled{3} \text{流过电路的感应电量 } q = \bar{I} \Delta t = \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot \Delta t = n \frac{\Delta \phi}{R \Delta t} \cdot \Delta t = \frac{n \Delta \phi}{R}$$

【例】长  $L_1$  宽  $L_2$  的矩形线圈电阻为  $R$ ，处于磁感应强度为  $B$  的匀强磁场边缘，线圈与磁感线垂直。将线圈以向右的速度  $v$  匀速拉出磁场，求：

- ① 拉力  $F$  大小；
- ② 拉力的功率  $P$ ；
- ③ 拉力做的功  $W$ ；
- ④ 线圈中产生的电热  $Q$ ；
- ⑤ 通过线圈某一截面的电荷量  $q$ 。



$$E = BL_2 v, I = \frac{E}{R}, F = BIL_2, \therefore F = \frac{B^2 L_2^2 v}{R} \propto v;$$

$$P = Fv \propto v^2; W = FL_1 = \frac{B^2 L_2^2 L_1 v}{R} \propto v;$$

解析：

$$Q = W \propto v; q = I \cdot t = \frac{E}{R} t = \frac{\Delta \Phi}{R} \text{ 与 } v \text{ 无关。}$$

特别要注意电热  $Q$  和电荷  $q$  的区别，其中  $q$  与速度无关！

## 交变电流 电磁场

交变电流(1)中性面线圈平面与磁感线垂直的位置，或瞬时感应电动势为零的位置。

中性面的特点：a. 线圈处于中性面位置时，穿过线圈的磁通量  $\Phi$  最大，但  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$ ；

产生：矩形线圈在匀强磁场中绕与磁场垂直的轴匀速转动。

变化规律  $e = NBS\omega \sin \omega t = E_m \sin \omega t$ ； $i = I_m \sin \omega t$ ；（中性面位置开始计时），最大值  $E_m = NBS\omega$

四值：①瞬时值②最大值③有效值电流的热效应规定的；对于正弦式交流  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707U_m$  ④平均值

不对称方波： $I = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2}{2}}$  不对称的正弦波  $I = \frac{\sqrt{I_{m1}^2 + I_{m2}^2}}{2}$

求某段时间内通过导线横截面的电荷量  $Q = I \Delta t = \varepsilon \Delta t / R = \Delta \Phi / R$

我国用的交变电流，周期是 0.02s，频率是 50Hz，电流方向每秒改变 100 次。

瞬时表达式： $e = e = 220\sqrt{2} \sin 100\pi t = 311 \sin 100\pi t = 311 \sin 314t$

线圈作用是“通直流，阻交流；通低频，阻高频”。

电容的作用是“通交流、隔直流；通高频、阻低频”。

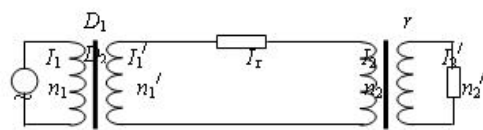
变压器两个基本公式：①  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$  ②  $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$ ，输入功率由输出功率决定，

远距离输电：一定要画出远距离输电的示意图来，

包括发电机、两台变压器、输电线等效电阻和负载电阻。并按照规定在图中标出相应的物理量符号。一般设两个变压器的初、次级线圈的匝数分别为、 $n_1$ 、 $n_1'$   $n_2$ 、 $n_2'$ ，相应的电压、电流、功率也应该采用相应的符号来表示。

功率之间的关系是： $P_1 = P_1'$ ， $P_2 = P_2'$ ， $P_1' = P_r = P_2$ 。

电压之间的关系是： $\frac{U_1}{U_1'} = \frac{n_1}{n_1'}$ ， $\frac{U_2}{U_2'} = \frac{n_2}{n_2'}$ ， $U_1' = U_r + U_2$ 。



电流之间的关系是： $\frac{I_1}{I_1'} = \frac{n_1'}{n_1}$ ， $\frac{I_2}{I_2'} = \frac{n_2'}{n_2}$ ， $I_1' = I_r = I_2$ 。求输电线上的电流往往是这类问题的突破口。

输电线上的功率损失和电压损失也是需要特别注意的。

分析和计算时都必须用  $P_r = I_r^2 r$ ， $U_r = I_r r$ ，而不能用  $P_r = \frac{U_1'^2}{r}$ 。

特别重要的是要会分析输电线上的功率损失  $P_r = \left(\frac{P_1}{U_1'}\right)^2 \cdot \rho \frac{L}{S} \propto \frac{1}{U_1'^2 S}$ ，

解决变压器问题的常用方法(解题思路)

①电压思路.变压器原、副线圈的电压之比为  $U_1/U_2 = n_1/n_2$ ；当变压器有多个副绕组时  $U_1/n_1 = U_2/n_2 = U_3/n_3 = \dots$

②功率思路.理想变压器的输入、输出功率为  $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$ ，即  $P_1 = P_2$ ；当变压器有多个副绕组时  $P_1 = P_2 + P_3 + \dots$

③电流思路.由  $I = P/U$  知,对只有一个副绕组的变压器有  $I_1/I_2 = n_2/n_1$ ；当变压器有多个副绕组时  $n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3 + \dots$

④（变压器动态问题）制约思路.

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

(2)电流制约：当变压器原、副线圈的匝数比 ( $n_1/n_2$ ) 一定，且输入电压  $U_1$  确定时，原线圈中的电

流  $I_1$  由副线圈中的输出电流  $I_2$  决定, 即  $I_1 = n_2 I_2 / n_1$ , 可简述为“副制约原”。


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

②变压器副线圈中的电流  $I_2$  由用户负载及电压  $U_2$  确定,  $I_2 = P_2 / U_2$ ;

③总功率  $P_{\text{总}} = P_{\text{线}} + P_2$ 。

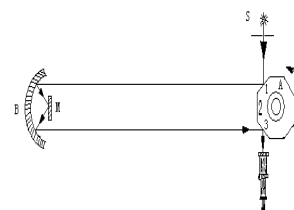
动态分析问题的思路程序可表示为:

$$U_1 \xrightarrow[\text{决定}]{\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}} U_2 \xrightarrow[\text{决定}]{I_2 = \frac{U_2}{R_{\text{负载}}}} I_2 \xrightarrow[\text{决定}]{P_1 = P_2 (I_1 U_1 = I_2 U_2)} I_1 \xrightarrow[\text{决定}]{P_1 = I_1 U_1} P_1$$

⑤原理思路. 变压器原线圈中磁通量发生变化, 铁芯中  $\Delta \Phi / \Delta t$  相等; 当遇到“”型变压器时有

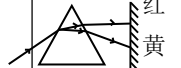
$\Delta \Phi_1 / \Delta t = \Delta \Phi_2 / \Delta t = \Delta \Phi_3 / \Delta t$ , 适用于交流电或电压(电流)变化的直流电, 但不适用于恒定电流

**光学:** 美国迈克耳逊用旋转棱镜法较准确的测出了光速, 反射定律(物像关于镜面对称); 由偏折程度直接判断各色光的  $n$



$$\text{折射定律 } n = \frac{\sin i}{\sin \gamma} = \frac{C}{v_{\text{介}}} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin C} = \frac{\lambda_{\text{空}}}{\lambda_{\text{介}}}$$

## 光学中的一个现象一串结论

色散现象	$n$	$v$	$\lambda$ (波动性)	衍射	$C_{\text{临}}$	干涉间距	$\gamma$ (粒子性)	$E_{\text{光子}}$	光电效应
	小 ↓ 大	大 ↓ 小	大 (明显) ↓ 小 (不明显)	容易 ↓ 难	小 ↓ 大	大 ↓ 小	小 (不明显) ↓ 大 (明显)	小 ↓ 大	难 ↓ 易

结论: (1) 折射率  $n$ 、;

(2) 全反射的临界角  $C$ ;

(3) 同一介质中的传播速率  $v$ ;

(4) 在平行玻璃块的侧移  $\Delta x$

(5) 光的频率  $\gamma$ , 频率大, 粒子性明显.;

(6) 光子的能量  $E = h \gamma$  则光子的能量越大。越容易产生光电效应现象

(7) 在真空中光的波长  $\lambda$ , 波长大波动性显著;

(8) 在相同的情况下, 双缝干涉条纹间距  $x$  越来越窄

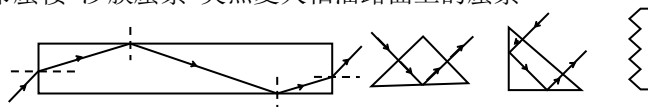
(9) 在相同的情况下, 衍射现象越来越不明显

全反射的条件: 光密到光疏; 入射角等于或大于临界角

全反射现象: 让一束光沿半圆形玻璃砖的半径射到直边上, 可以看到一部分光线从玻璃直边上折射到空气中, 一部分光线反射回玻璃砖内. 逐渐增大光的入射角, 将会看到折射光线远离法线, 且越来越弱. 反射光越来越强, 当入射角增大到某一角度  $C_{\text{临}}$  时, 折射角达到  $90^\circ$ , 即是折射光线完全消失, 只剩下反射回玻璃中的光线. 这种现象叫全反射现象. 折射角变为  $90^\circ$  时的入射角叫临界角

应用: 光纤通信(玻璃  $\text{SiO}_2$ ) 内窥镜 海市蜃楼 沙漠蜃景 炎热夏天柏油路面上的蜃景

水中或玻璃中的气泡看起来很亮.



**理解:** 同种材料对不同色光折射率不同; 同一色光在不同介质中折射率不同。



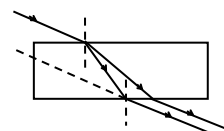
- 几个结论：1 紧靠点光源向对面墙平抛的物体，在对面墙上的影子的运动是匀速运动。
- 2、两相互正交的平面镜构成反射器,任何方向射入某一镜面的光线经两次反射后一定与原入射方向平行反向。
- 3、光线由真空射入折射率为  $n$  的介质时，如果入射角  $\theta$  满足  $\tan \theta = n$ ，则反射光线和折射光线一定垂直。
- 4、由水面上看水下光源时，视深  $d' = d/n$ ；若由水面下看水上物体时，视高  $d' = nd$ 。
- 5、光线以入射角  $i$  斜射入一块两面平行的折射率为  $n$ 、厚度为  $h$  的玻璃砖后，出射光线仍与入射光线平行，

但存在侧移量  $\Delta x = dsini(1 + \frac{\cos i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}})$  两反射光间距  $\Delta x' = \frac{dsin2i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}$

双缝干涉：条件  $f$  相同，相位差恒定(即是两光的振动步调完全一致) 当其反相时又如何？

亮条纹位置： $\Delta S = n\lambda$ ； 暗条纹位置： $\Delta S = \frac{(2n+1)}{2}\lambda$  ( $n=0,1,2,3,\dots$ )

条纹间距： $\Delta X = \frac{L}{d}\lambda = \frac{a}{n-1}\Rightarrow \lambda = \frac{d\Delta x}{L} = \frac{da}{L(n-1)}$



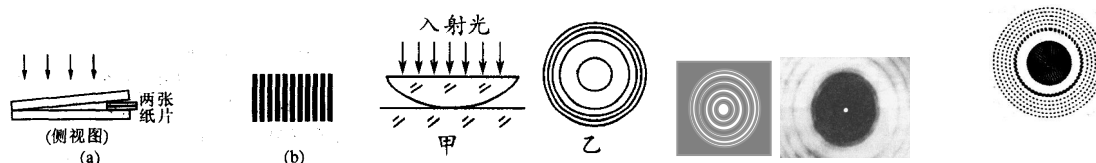
( $\Delta S$ :路程差(光程差);  $d$  两条狭缝间的距离;  $L$ : 挡板与屏间的距离) 测出  $n$  条亮条纹间的距离  $a$

薄膜干涉:由膜的前后两表面反射的两列光叠加，实例：肥皂膜、空气膜、油膜、牛顿环、光器件增透膜 (厚度是绿光在薄膜中波长的  $1/4$ ,即增透膜厚度  $d = \lambda/4$ )

衍射:现象,条件 单缝 圆孔 泊松亮斑(来历) 任何物体都能使光发生衍射致使轮廓模糊

三种圆环区别：单孔衍射(泊松亮斑) 中间明而亮,周围对称排列亮度减弱,条纹宽变窄的条纹

空气膜干涉环 间隔间距等亮度的干涉条纹  
牛顿环 内疏外密的干涉条纹



干涉、衍射、多普勒效应(太阳光谱红移 $\Rightarrow$ 宇宙在膨胀)、偏

振都是波的特有现象,证明光具有波动性; 衍射表明了光的直线传播只有一种近似规律; 说明任何物理规律都受一定的条件限制的.

光的电磁说(1)麦克斯韦根据电磁波与光在真空中的传播速度相同,提出光在本质上是一种电磁波——这就是光的电磁说, 赫兹用实验证明了光的电磁说的正确性。

(2)电磁波谱。波长从大到小排列顺序为：无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线、 $\gamma$ 射线。各种电磁波中，除可见光以外，相邻两个波段间都有重叠。

	无线电波	红外线	可见光	紫外线	X射线	$\gamma$ 射线
组成频率波	波长：大 $\longrightarrow$ 小    波动性：明显 $\longrightarrow$ 不明显 频率：小 $\longrightarrow$ 大    粒子性：不明显 $\longrightarrow$ 明显					
产生机理	在振荡电路中，自由电子作周期性运动产生	原子的外层电子受到激发产生的			原子的内层电子受到激发后产生的	原子核受到激发后产生的

(3)红外线、紫外线、X射线的主要性质及其应用举例。

种 类	产 生	主要性质	应用举例
红外线	一切物体都能发出	热效应	遥感、遥控、加热
紫外线	一切高温物体能发出	化学效应	荧光、杀菌、合成 $V_{D2}$
X射线	阴极射线射到固体表面	穿透能力强	人体透视、金属探伤

(4)实验证明：物体辐射出的电磁波中辐射最强的波长  $\lambda_m$  和物体温度  $T$  之间满足关系  $\lambda_m \cdot T = b$  ( $b$  为常数)。  
可见高温物体辐射出的电磁波频率较高。在宇宙学中，可根据接收恒星发出的光的频率，分析其表面温度。

**光五种学说：**原始微粒说(牛顿),波动学说(惠更斯),电磁学说(麦克斯韦),

光子说(爱因斯坦),波粒两相性学说(德布罗意波)概率波

各种电磁波产生的机理,特性和应用,光的偏振现象说明光波是横波,也证明光的波动性.

激光的产生特点应用(单色性,方向性好,亮度高,相干性好)

光电效应实验装置,现象,所得出的规律(四)爱因斯坦提出光子学说的背景

爱因斯坦光电效应方程:  $mV_m^2/2 = hf - W_0$  一个光子的能量  $E = hf$  (决定了能否发生光电效应)

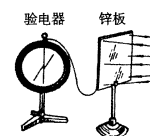
**光电效应规律:**实验装置、现象、总结出四个规律

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

②光电子的最大初动能与入射光的强度无关,只随入射光频率的增大而增大。

③入射光照到金属上时,光子的发射几乎是瞬时的,一般不超过  $10^{-9}s$

④当入射光的频率大于极限频率时,光电流强度与入射光强度成正比。



**康普顿效应**(石墨中的电子对 x 射线的散射现象)这两个实验都证明光具粒子性 光波粒二象性:

?情况体现波动性(大量光子,转播时,  $\lambda$  大),

?粒子性 光波是概率波(物质波) 任何运动物体都有  $\lambda$  与之对应(这种波称为德布罗意波)

### 《原子、原子核》知识归类

整个知识体系,可归结为:两模型(原子的核式结构模型、波尔原子模型);六子(电子、质子、中子、正电子、 $\alpha$  粒子、 $\gamma$  光子);四变(衰变、人工转变、裂变、聚变);两方程(核反应方程、质能方程)。

4 条守恒定律(电荷数守恒、质量数守恒、能量守恒、动量守恒)贯串全章。

1.汤姆生模型(枣糕模型) 汤姆生发现电子,使人们认识到原子有复杂结构。从而打开原子的大门。

2.卢瑟福的核式结构模型(行星式模型)卢瑟福  $\alpha$  粒子散射实验装置,现象,从而总结出核式结构学说

$\alpha$  粒子散射实验是用  $\alpha$  粒子轰击金箔,实验现象:结果是绝大多数  $\alpha$  粒子穿过金箔后基本上仍沿原来的方向前进,但是有少数  $\alpha$  粒子发生了较大的偏转.这说明原子的正电荷和质量一定集中在一个很小的核上。

卢瑟福由  $\alpha$  粒子散射实验提出:在原子的中心有一个很小的核,叫原子核,原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核里,带负电的电子在核外空间运动。

由  $\alpha$  粒子散射实验的实验数据还可以估算出原子核大小的数量级是  $10^{-15}m$ 。

而核式结构又与经典的电磁理论发生矛盾:①原子是否稳定,②其发出的光谱是否连续

3.玻尔模型(引入量子理论,量子化就是不连续性,整数  $n$  叫量子数)玻尔补充三条假设

(1)定态--原子只能处于一系列不连续的能量状态(称为定态),电子虽然绕核运转,但不会向外辐射能量。

(本假设是针对原子稳定性提出的)

(2)跃迁--原子从一种定态跃迁到另一种定态,要辐射(或吸收)一定频率的光子(其能量由两定态的能量差决定)

(本假设针对线状谱提出) ( $h\nu = E_{初} - E_{终}$ ) 辐射(吸收)光子的能量为  $hf = E_{初} - E_{末}$

氢原子跃迁的光谱线问题[一群氢原子可能辐射的光谱线条数为  $N = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$ ].

[ (大量)处于  $n$  激发态原子跃迁到基态时的所有辐射方式]

(3)能量和轨道量子化----定态不连续,能量和轨道也不连续;(即原子的不同能量状态跟电子沿不同的圆形轨道绕核运动相对应,原子的定态是不连续的,因此电子的可能轨道分布也是不连续的)

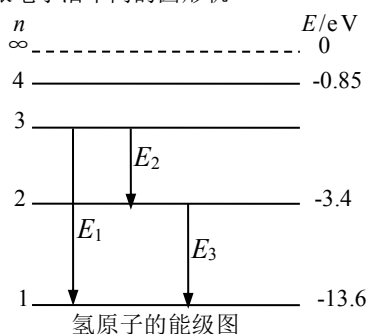
(针对原子核式模型提出,是能级假设的补充)

氢原子的激发态和基态的能量(最小)与核外电子轨道半径间的关系是:

【说明】氢原子跃迁

① 轨道量子化  $r_n = n^2 r_1$  ( $n=1,2,3\cdots$ )  $r_1 = 0.53 \times 10^{-10}m$

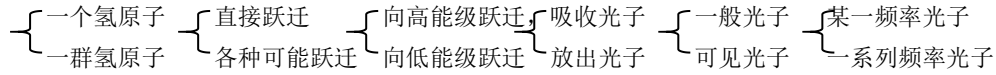
能量量子化:  $E_n = \frac{E_1}{n^2}$   $E_1 = -13.6eV$



②

	$E_n, E_p, r, n$	$E_k, v$
吸收光子时	增大	减小
放出光子时	减小	增大

③氢原子跃迁时应明确:



④氢原子吸收光子时——要么全部吸收光子能量, 要么不吸收光子

1 光子能量大于电子跃迁到无穷远处(电离)需要的能量时, 该光子可被吸收。

(即: 光子和原子作用而使原子电离)

2 光子能量小于电子跃迁到无穷远处(电离)需要的能量时, 则只有能量等于两个能级差的光子才能被吸收。

(受跃迁条件限:  $h\nu = E_{\text{初}} - E_{\text{终}}$  只适用于光子与原子作用使原子在各定态之间跃迁的情况)。

⑤氢原子吸收外来电子能量时——可以部分吸收外来碰撞电子的能量(实物粒子作用而使原子激发)。

因此, 能量大于某两个能级差的电子均可被氢原子吸收, 从而使氢原子跃迁。

$E_{51}=13.06$   $E_{41}=12.75$   $E_{31}=12.09$   $E_{21}=10.2$ ; (有规律可依)

$E_{52}=2.86$   $E_{42}=2.55$   $E_{32}=1.89$ ;  $E_{53}=0.97$   $E_{43}=0.66$ ;  $E_{54}=0.31$

(3)玻尔理论的局限性。由于引进了量子理论(轨道量子化和能量量子化), 玻尔理论成功地解释了氢光谱的规律。但由于它保留了过多的经典物理理论(牛顿第二定律、向心力、库仑力等), 所以在解释其他原子的光谱上都遇到很大的困难。

氢原子在  $n$  能级的动能、势能, 总能量的关系是:  $E_p = -2E_k$ ,  $E = E_k + E_p = -E_k$ 。(类似于卫星模型)

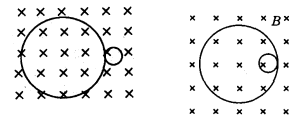
由高能级到低能级时, 动能增加, 势能降低, 且势能的降低量是动能增加量的 2 倍, 故总能量(负值)降低。

量子数  $n \uparrow E \uparrow E_p \uparrow E_k \downarrow V \downarrow T \uparrow$

天然放射现象

1.天然放射现象的发现, 使人们认识到原子核也有复杂结构。

核变化从贝克勒耳发现天然放射现象开始衰变(用电磁场研究):



2.各种放射线的性质比较

种类	本质	质量(u)	电荷(e)	速度(c)	电离性	贯穿性
$\alpha$ 射线	氦核	4	+2	0.1	最强	最弱, 纸能挡住
$\beta$ 射线	电子	1/1840	-1	0.99	较强	较强, 穿几 mm 铝板
$\gamma$ 射线	光子	0	0	1	最弱	最强, 穿几 cm 铅版

三种射线在匀强磁场、匀强电场、正交电场和磁场中的偏转情况比较:

四种核反应类型(衰变, 人工核转变, 重核裂变, 轻核聚变)

(1)衰变:  $\alpha$  衰变:  ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$  (实质: 核内  $2{}_1^1\text{H} + 2{}_0^1\text{n} \rightarrow {}_2^4\text{He}$ )  $\alpha$  衰变形成外切(同方向旋),

$\beta$  衰变:  ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{234}\text{Pa} + {}_{-1}^0\text{e}$  (实质: 核内的中子转变成了质子和中子  ${}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{H} + {}_{-1}^0\text{e}$ )

$\beta$  衰变形成内切(相反方向旋), 且大圆为  $\alpha$ 、 $\beta$  粒子径迹。

+  $\beta$  衰变:  ${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_1^0\text{e}$  (核内  ${}_1^1\text{H} \rightarrow {}_0^1\text{n} + {}_1^0\text{e}$ )

$\gamma$  衰变: 原子核处于较高能级, 辐射光子后跃迁到低能级。

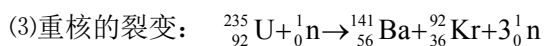
(2)人工转变:

${}_{7}^{14}\text{N} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_1^1\text{H}$  (发现质子的核反应)(卢瑟福)用  $\alpha$  粒子轰击氮核, 并预言中子的存在

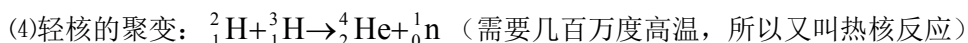
${}_6^9\text{Be} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{12}^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$  (发现中子的核反应)(查德威克)钋产生的  $\alpha$  射线轰击铍

${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$   ${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_1^0\text{e}$  (人工制造放射性同位素)

正电子的发现(约里奥居里和伊丽芙居里夫妇) $\alpha$ 粒子轰击铝箔



在一定条件下(超过临界体积),裂变反应会连续不断地进行下去,这就是链式反应。



所有核反应的反应前后都遵守:质量数守恒、电荷数守恒。(注意:质量并不守恒。)

**核能计算方法有三:**①由  $\Delta E = \Delta mc^2$  ( $\Delta m$  单位为“kg”)计算;

②由  $\Delta E = 931.5 \Delta m$  ( $\Delta m$  单位为“u”)计算;③借助动量守恒和能量守恒计算。

## 2.半衰期

放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间叫半衰期。(对大量原子核的统计规律)

计算式为:  $N_t = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$   $N$  表示核的个数,此式也可以演变成  $m_t = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$  或  $n_t = n_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ ,

式中  $m$  表示放射性物质的质量,  $n$  表示单位时间内放出的射线粒子数。以上各式左边的量都表示时间  $t$  后的剩余量。

半衰期(由核内部本身的因素决定,与物理和化学状态无关)、同位素等重要概念 放射性标志

## 3.放射性同位素的应用

(1)利用其射线:  $\alpha$  射线电离性强,用于使空气电离,将静电泄出,从而消除有害静电。 $\gamma$  射线贯穿性强,可用于金属探伤,也可用于治疗恶性肿瘤。各种射线均可使 DNA 发生突变,可用于生物工程,基因工程。

(2)作为示踪原子。用于研究农作物化肥需求情况,诊断甲状腺疾病的类型,研究生物大分子结构及其功能。

(3)进行考古研究。利用放射性同位素碳 14,判定出土木质文物的产生年代。

一般都使用人工制造的放射性同位素(种类齐全,各种元素都有人工制造的放射性同位。半衰期短,废料容易处理。可制成各种形状,强度容易控制)。

**高考对本章的考查:**以  $\alpha$  粒子散射实验、原子光谱为实验基础的卢瑟福原子核式结构学说和玻尔原子理论,各种核变化和与之相关的核反应方程、核能计算等。

卢瑟福根据  $\alpha$  粒子散射实验提出了原子的核式结构学说,玻尔把量子说引入到核式结构模型之中,建立了以下三个假说为主要内容的玻尔理论.认识原子核的结构是从发现天然放射现象开始的,发现质子的核反应是认识原子核结构的突破点.裂变和聚变是获取核能的两个重要途径.裂变和聚变过程中释放的能量符合爱因斯坦质能方程。在核反应中遵循电荷数守恒和质量数守恒,在微观世界中动量守恒定律同样适用。

## 重要的物理现象或史实跟相应的科学家

伽利略	揭示了力与运动的关系,想实验法指出在	爱因斯坦(德美)	光电效应规律、提出了光子说;圆满
-----	--------------------	----------	------------------

	水平面上运动的物体若没有摩擦,将保持这个速度一直运动下去,论证重物体不会比轻物体下落得快;单摆的等时性	<u>光电效应</u>	解释了光电效应现象,质能方程;狭义相对论指出经典力学不适用于微观粒子和高速运动物体;相对论
法拉第(英)	首先用电场线描述电场;研究电磁感应(磁生电)现象,电磁感应定律:磁场产生电流的条件和规律	卢瑟福(英)	$\alpha$ 粒子散射实验并提出原子的核式结构模型; $\alpha$ 粒子轰击氮核,第一次实现了原子核的人工转变,发现了质子,并预言中子存在
卡文迪许(英)	利用卡文迪许扭秤首测万有引力恒量	惠更斯(荷兰)	单摆的周期公式;光的波动说
库仑(法)	库仑定律;利用库仑扭秤测定静电力常量	玻尔(丹麦)	关于原子模型三个假设,圆满解释氢光谱
安培(法)	分子电流假说、电流间的相互作用规律(左右手定则)	查德威克(英)	$\alpha$ 粒子轰击铍核时发现中子,由此人们认识到原子核的组成
奥斯特(丹麦)	发现电流的磁效应(电流周围存在磁场)	贝克勒尔(法)	天然放射性的发现,说明原子核也有复杂的内部结构
牛顿(英)	牛顿三定律和万有引力定律,光的色散,牛顿环、光的微粒说	托马斯·扬(英)	光的双缝干涉实验,证实光具有波动性
楞次(俄)	楞次定律:确定感应电流方向的定律	布朗(英)	悬浮在水中的花粉微粒不停地做无规则运动的现象——布朗运动
麦克斯韦(英)	建立了电磁场理论;光的电磁说,预言了电磁波的存在。	皮埃尔居里(法)和玛丽居里(法)	发现放射性元素钋、镭
赫兹(德)	用实验证实了电磁波的存在,发现并证实了电磁波,并测定了电磁波的传播速度等于光速	约里奥居里(法)和伊丽芙居里(法)	发现人工放射性同位素
汤姆生(英)	利用阴极射线管发现电子,说明原子可分,有复杂内部结构,并提出原子的枣糕模型	普朗克(德)	<b>解释物体热辐射规律提出电磁波的发射和吸收不是连续的,而是一份一份的,把物理学带进了量子世界;</b>
密立根	电子电量的测定	亨利	发现自感现象
开普勒(德)	开普勒三定律	伦琴(德)	发现X射线(伦琴射线)
<u>多普勒效应</u> (奥地利)	由于波源和观察者之间有相对运动,使观察者感到频率发生变化的现象——多普勒效应。	<u>康普顿效应</u>	石墨中的电子对x射线的散射现象
欧姆(德)	欧姆定律	德布罗意(法)	预言了实物粒子的波动性
斯涅耳(荷兰)	入射角与折射角之间的规律——折射定律	富兰克林	过风筝实验验证闪电是电的一种形式,把天电与地电统一起来,并发明避雷针
洛伦兹(荷兰)	提出运动电荷产生了磁场和磁场对运动电荷有作用力(洛伦兹力)的观点	昂尼斯	大多数金属在温度降到某一值时,都会出现电阻突然降为零的现象——超导现象
泊松(法)	用波动理论推理到光的圆板衍射——泊松亮斑	焦耳—楞次定律	先后各自独立发现电流通过导体时产生热效应的规律

### 机械振动、机械波:

基本的概念,简谐运动中的力学运动学条件及位移,回复力,振幅,周期,频率及在一次全振动过程中各物理量的变化规律。

简谐振动： 回复力：  $F = -KX$  加速度：  $a = -KX/m$

单摆：  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$  (与摆球质量,振幅无关) \*弹簧振子  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$  (与振子质量有关,与振幅无关)

等效摆长、等效的重力加速度 影响重力加速度有：



①纬度,离地面高度

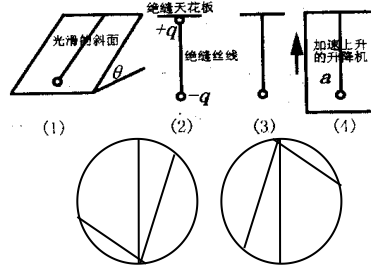
②在不同星球上不同,与万有引力圆周运动规律 (或其它运动规律) 结合考查

③系统的状态(超、失重情况)

④所处的物理环境有关,有电磁场时的情况

⑤静止于平衡位置时等于摆线张力与球质量的比值

注意等效单摆(即是受力环境与单摆的情况相同)



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad \text{应用: } T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{L_0}{g}}$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{L_0 - \Delta L}{g}} \Rightarrow g = \frac{4\pi^2 \Delta L}{T_1^2 - T_2^2}$$

$$\text{沿光滑弦 cda 下滑时间 } t_1 = t_{oa} = \sqrt{\frac{2R}{g}} = \sqrt{2}\sqrt{\frac{R}{g}}$$

$$\text{沿 cde 圆弧下滑 } t_2 \text{ 或弧中点下滑 } t_3: t_2 = t_3 = \frac{T}{4} = \frac{2\pi}{4}\sqrt{\frac{R}{g}} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{R}{g}}$$

共振的现象、条件、防止和应用

**机械波:**基本概念,形成条件、

特点：传播的是振动形式和能量,介质的各质点只在平衡位置附近振动并不随波迁移。

①各质点都作受迫振动， ②起振方向与振源的起振方向相同， ③离源近的点先振动，

④没波传播方向上两点的起振时间差=波在这段距离内传播的时间 ⑤波源振几个周期波就向外传几个波长

波长的说法：①两个相邻的在振动过程中对平衡位置“位移”总相等的质点间的距离

②一个周期内波传播的距离 ③两相邻的波峰(或谷)间的距离

④过波上任意一个振动点作横轴平行线，该点与平行线和波的图象的第二个交点之间的距离为一个波长

波从一种介质传播到另一种介质,频率不改变, 波长、波速、频率的关系：  $v = \lambda f = \frac{\lambda}{T}$  (适用于一切波)

波速与振动速度的区别 波动与振动的区别：

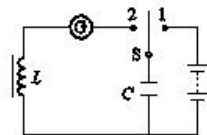
研究的对象：振动是一个点随时间的变化规律，波动是大量点在同一时刻的群体表现，

图象特点和意义 联系：

波的传播方向  $\Leftrightarrow$  质点的振动方向 (同侧法、带动法、上下波法、平移法)

知波速和波形画经过 ( $\Delta t$ ) 后的波形 (特殊点画法和去整留零法)

波的几种特有现象：叠加、干涉、衍射、多普勒效应，知现象及产生条件



**电磁波：** LC 振荡电路：产生高频的交流电.  $T = 2\pi\sqrt{LC}$

电场能  $\uparrow \rightarrow$  电场线密度  $\uparrow \rightarrow$  电场强度  $E \uparrow \rightarrow$  电容器极板间电压  $u \uparrow \rightarrow$  电容器带电量  $q \uparrow$

磁场能  $\uparrow \rightarrow$  磁感线密度  $\uparrow \rightarrow$  磁感强度  $B \uparrow \rightarrow$  线圈中电流  $i \uparrow$

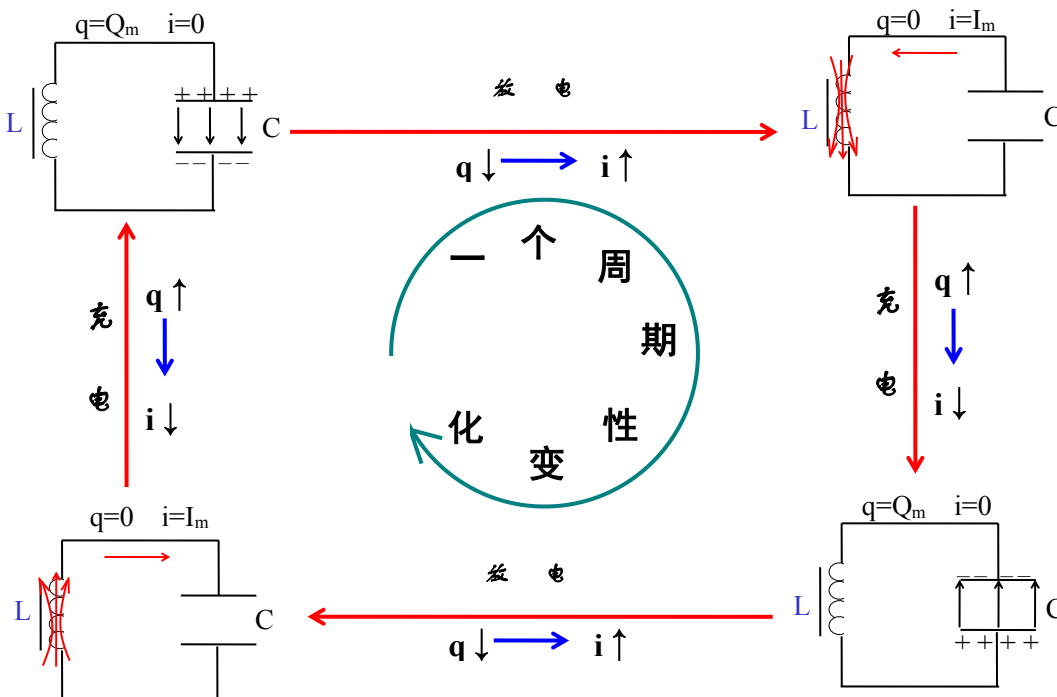
(2)电磁振荡的产生过程

放电过程：在放电过程中， $q \downarrow$ 、 $u \downarrow$ 、 $E_{\text{电场能}} \downarrow \rightarrow i \uparrow$ 、 $B \uparrow$ 、 $E_{\text{磁场能}} \uparrow$ ，电容器的电场能逐渐转变成线圈的磁场能。放电结束时， $q=0$ ， $E_{\text{电场能}}=0$ ， $i$  最大， $E_{\text{磁场能}}$  最大，电场能完全转化成磁场能。

充电过程：在充电过程中， $q \uparrow$ 、 $u \uparrow$ 、 $E_{\text{电场能}} \uparrow \rightarrow i \downarrow$ 、 $B \downarrow$ 、 $E_{\text{磁场能}} \downarrow$ ，线圈的磁场能向电容器的电场能转化。充电结束时， $q$ 、 $E_{\text{电场能}}$ 增为最大， $i$ 、 $E_{\text{磁场能}}$ 均减小到零，磁场能向电场能转化结束。

反向放电过程： $q \downarrow$ 、 $u \downarrow$ 、 $E_{\text{电场能}} \downarrow \rightarrow i \uparrow$ 、 $B \uparrow$ 、 $E_{\text{磁场能}} \uparrow$ ，电容器的电场能转化为线圈的磁场能。放电结束时， $q=0$ ， $E_{\text{电场能}}=0$ ， $i$ 最大， $E_{\text{磁场能}}$ 最大，电场能向磁场能转化结束。

反向充电过程： $q \uparrow$ 、 $u \uparrow$ 、 $E_{\text{电场能}} \uparrow \rightarrow i \downarrow$ 、 $B \downarrow$ 、 $E_{\text{磁场能}} \downarrow$ ，线圈的磁场能向电容器的电场能转化。充电结束时， $q$ 、 $E_{\text{电场能}}$ 增为最大， $i$ 、 $E_{\text{磁场能}}$ 均减小到零，磁场能向电场能转化结束。



麦克斯韦的电磁场理论：

①变化的磁场产生电场：均匀变化的磁场将产生恒定的电场，周期性变化的磁场将产生同频率周期性变化的电场。

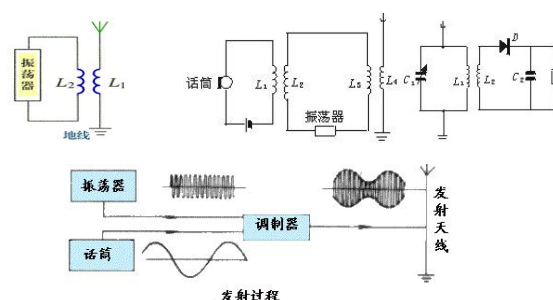
②变化的电场产生磁场：均匀变化的电场将产生恒定的磁场，周期性变化的电场将产生同频率周期性变化的磁场。

发射电磁波的条件①频率要有足够高。②振荡电路的电场和磁场必须分散到尽可能大的空间，采用开放电路。

特点：(1)电磁波是横波。(2)三个特征量的关系  $v = \lambda/T = \lambda f$

(3)电磁波可以在真空中传播，向周围空间传播电磁能，能发生反射，折射，干涉和衍射。

无线电波的发射：LC振荡器电路产生的高频振荡电流通过  $L_2$  与  $L_1$  的互感作用，使  $L_1$  也产生同频率的振荡电流，振荡电流在开放电路中激发出无线电波，向四周发射。



调制要传递的信号附加到高频等幅振荡电流上的过程叫调制。两种方式：调幅和调频

a. 调幅使高频振荡的振幅随信号而改变叫做调幅。(AM) 中波和短波的波段

b. 调频使高频振荡的频率随信号而改变叫做调频。(FM)和电视广播，微波中的甚高频(VHF)和超高频(UHF)波段。

电波的接收(1)电谐振选台。当接收电路的固有频率跟接收到的电磁波的频率相同时，接收

电路中产生的振荡电流最强。这种现象叫做电谐振，相当于机械振动中的共振。

(2)检波由调谐电路接收到的感应电流,是经过调制的高频振荡电流,还不是所需要的信号。还必须从高频振荡电流中“检”出声音或图象信号,从接收到的高频振荡中“检”出所携带的信号,叫做检波。也叫解调。

下图中  $L_2$ 、 $D$ 、 $C_2$  和耳机共同组成检波电路。检波之后的信号再经过放大重现我们就可以听到或看到了。

(如上图)

## 高中物理现行高考常用公式

### 一. 力学 1.1 静力学



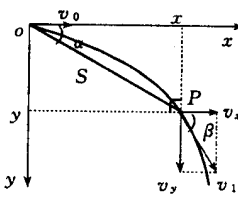
物理概念规律名称	公式
重力	$G = mg$ (g 随高度、纬度而变化)
摩擦力	(1) 滑动摩擦力: $f = \mu N$ (2) 静摩擦力: 大小范围 $0 \leq f_{\text{静}} \leq f_{\text{m}}$ ( $f_{\text{m}}$ 为最大静摩擦力与正压力有关)
浮力、密度	浮力 $F_{\text{浮}} = \rho_{\text{液}} g V_{\text{排}}$ ; 密度 $\rho = \frac{m}{V}$
压强、液体压强	压强 $p = \frac{F}{S}$ ; 液体压强 $p = \rho gh$
胡克定律	$F = kx$ (在弹性限度内)
万有引力定律	a 万有引力=向心力: $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ $G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \frac{V^2}{(R+h)^2} = m\omega^2(R+h) = m \frac{4\pi^2}{T^2}(R+h)$ b、近地卫星 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ (黄金代换) ; 地球赤道上 $G \frac{Mm}{R^2} - N = mR\omega^2$ 不从心 同步卫星 $G \frac{Mm}{r^2} = m r \omega^2$ c. 第一宇宙速度 $mg = m \frac{V^2}{R}$ $V = \sqrt{gR} = \sqrt{GM/R}$ d. 行星密度 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ (T 为近地卫星的周期) $V_{\text{球}} = \frac{4}{3}\pi R^3$ $S_{\text{球}} = 4\pi R^2$ e. 双星系统 $G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1 R_1 \omega^2 = m_2 R_2 \omega^2$ ( $R_1 + R_2 = r$ )
互成角度的二力的合成	$F_{\text{合}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \alpha}$ $\tan \theta = \frac{F_2 \cdot \sin \alpha}{F_1 + F_2 \cos \alpha}$ $F_{\text{合}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ 正交分解法: $\tan \alpha = \frac{F_y}{F_x}$
力矩	$M = FL$ (不要求)
共点力的平衡条件	$F_{\text{合}} = 0$ 或 $\begin{cases} F_x = 0 \\ F_y = 0 \end{cases}$ $\Sigma F = 0$ 或 $\Sigma F_x = 0$ $\Sigma F_y = 0$
有固定转轴物体的平衡条件	$M_{\text{合}} = 0$ 或 $M_{\text{逆}} = M_{\text{顺}}$
共面力的平衡	$F_{\text{合}} = 0, M_{\text{合}} = 0$

### 1.3 动力学

牛顿第二运动定律	$F_{\text{合}} = ma$ 或 $a = \frac{F}{m}$ 或者 $\Sigma F_x = m a_x$ $\Sigma F_y = m a_y$
----------	--

向心力	$F = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R = ma_{\text{向}}$
牛顿第三定律	$F = -F'$

## 1.2 运动学

物理概念规律名称	公式
匀速直线运动	$s = vt$
匀变速直线运动	$v_t = v_0 + at, \quad s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad \text{平均速度: } \bar{v} = \frac{s}{t}$ $v_t^2 - v_0^2 = 2as, \quad s = \frac{v_0 + v_t}{2} \cdot t$ $V_{t/2} = \frac{V_0 + V_t}{2} = \frac{s}{t} \quad V_{s/2} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}} \quad \text{匀加速或匀减速直线运动: } V_{t/2} < V_{s/2}$ <p>①一段时间内的平均速度=这段时间中间时刻的瞬时速度, 即 <math>\bar{v} = v_{\frac{t}{2}} = \frac{s}{t} = \frac{v_0 + v_t}{2}</math></p> <p>②相邻相等的时间内的位移之差都相等, 即 <math>s_2 - s_1 = s_3 - s_2 = \dots = aT^2, \quad a = \frac{s_m - s_n}{(m-n)T^2}</math> 初速为零的匀加速直线运动, 时间间隔相同时 <math>S_I : S_{II} : S_{III} = 1:3:5</math></p> <p>初速为零的匀加速直线运动, 位移间隔相同时 <math>T_I : T_{II} : T_{III} = 1 : (\sqrt{2} - 1) : (\sqrt{3} - \sqrt{2})</math></p> <p><math>\Delta s = aT^2</math> (a 匀变速直线运动的加速度 T 一每个时间间隔的时间)</p>
自由落体运动	$v_t = gt, \quad h = \frac{1}{2} gt^2, \quad v_t^2 = 2gh$
竖直抛体运动	$v_t = v_0 \pm gt, \quad h = v_0 t \pm \frac{1}{2} gt^2 \quad v_t^2 = v_0^2 \pm 2gh$ (注意: 时间和速度的对称性)
平抛运动	<p>速度: <math>\begin{cases} V_x = V_0 \\ V_y = gt \\ v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \end{cases}</math></p> <p><math>\tan \beta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0} = \frac{\frac{1}{2} gt^2}{v_0 t} = \frac{2y}{x} = \frac{y}{x - x'}</math> ①</p> <p>位移: <math>\begin{cases} S_x = V_0 t \\ s_y = \frac{1}{2} gt^2 \\ s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \end{cases}</math> 轨迹: <math>y = \frac{g}{2v_0^2} x^2</math></p> <p><math>\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2} gt^2}{v_0 t} = \frac{1}{2} \frac{gt}{v_0}</math> ②</p> 

斜向上抛运动	$v_x = v_0 \cos \theta$ $v_y = v_0 \sin \theta - gt$ $x = v_0 \cos \theta \cdot t$ $y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$ 轨迹: $y = \tan \theta \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2$
匀速圆周运动	线速度: $v = \frac{S}{t} = \frac{2\pi R}{T} = \omega R$ 角速度: $\omega = \frac{\phi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \frac{v}{R}$ $S=R\theta$ 向心力: $F = ma = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R = mv\omega = mR \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ 轨迹: $y = \sqrt{R^2 - x^2}$

#### 1.4 冲量与动量、功和能

物理概念规律名称	公式
动能	$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$
重力势能	$E_p = mgh$ (与零势能面的选择有关)
弹性势能	$E_p = \frac{1}{2}kx^2$
功	$W = Fs \cos \theta$ (恒力做功) $W = Pt$ (拉力功率不变) $W = f S_{\text{相对路程}}$ (阻力大小不变)
功率	平均功率: $P = \frac{W}{t}$ 即时功率: $P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$
机械效率	$\eta = \frac{W_{\text{有}}}{W_{\text{总}}} = \frac{P_{\text{有}}}{P_{\text{总}}}$
动能定理	$W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$
机械能守恒定律	$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 + \frac{1}{2}kx_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 + \frac{1}{2}kx_2^2$ 或者 $\Delta E_p = -\Delta E_k$
动量	$p = mv = \sqrt{2mE_k}$
冲量	$I = F \cdot t$
动量定理	$F \cdot t = mv_2 - mv_1$ (解题时受力分析和正方向的规定是关键)
动量守恒	$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ 或 $\Delta p_1 = -\Delta p_2$ 或 $\Delta p_1 + \Delta p_2 = 0$ $m_1 v_1 + m_2 v_2 + \dots = m_1 v_1' + m_2 v_2' + \dots$

弹性碰撞	$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$ $v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$
完全非弹性碰撞	$v = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$
简谐振动:	回复力 $F = -kx$ ( $k$ 比例系数,非劲度系数; $x$ 位移, 非形变量) $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$ ( $T$ 与振子质量有关、与振幅无关) $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ( $\theta < 5^\circ$ ) ( $T$ 与振子质量、振幅无关)
波动	(1) 波长、波速、频率的关系: $v = \lambda f = \frac{\lambda}{T}$ $\lambda = vT$ $x = vt$ (适用于一切波) (2) I 如果 $S_1$ 、 $S_2$ 同相 ①若满足: $L_2 - L_1 = n\lambda (n=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ , 则 P 点的振动加强。 ②若满足: $L_2 - L_1 = \frac{(2n+1)\lambda}{2} (n=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ , 则 P 点的振动减弱 II 如果 $S_1$ 、 $S_2$ 反相, P 点振动的加强与减弱情况与 I 所述正好相反。 (3) 一个周期质点走的路程为 $4A$ 半个周期质点走的路程为 $2A$ 一个周期波传播的距离为 $\lambda$ 半个周期波传播的距离为 $\lambda/2$

### 三. 电磁学

物理概念规律名称	公式
库仑定律	真空中: $F = k \frac{Q_1Q_2}{r^2}$ 介质中: $F = k \frac{Q_1Q_2}{\epsilon r^2}$
电场强度	$E = \frac{F}{q}$ (一切) $E = K \frac{Q}{R^2}$ (点电荷) $E = \frac{U}{d}$ (匀强)
电场力	$F = qE$ (一切) $F = K \frac{Q_1Q_2}{R^2}$ (点电荷)
电场力的功	$W = qU$ (一切) $W = EqScos\theta$ (匀强)
电势差	$U_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q} = \varphi_A - \varphi_B = Ed = -U_{BA} = -(U_B - U_A)$ (与零势点选取无关)
电势	$\varphi = \frac{W_{A \rightarrow 0}}{q}$ (相对零势点而言) 点电荷电势: $\varphi = k \frac{Q}{\epsilon r}$
电势能	$\Delta \epsilon = q\varphi$

电容	定义: $C = \frac{Q}{U} = \frac{ne}{U}$ 决定: $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$ $\frac{\text{电压不变 } E = \frac{U}{d}}{\text{电量不变 } E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon S}}$
电容器串、并联	串联: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$ ; 并联: $C = C_1 + C_2 + \dots$
电容器的两种情况分析	①始终与电源相连 U 不变; 当 $d \uparrow \Rightarrow C \downarrow \Rightarrow Q = CU \downarrow \Rightarrow E = U/d \downarrow$ ; 仅变 s 时, E 不变。 ②充电后断电源 q 不变: 当 $d \uparrow \Rightarrow c \downarrow \Rightarrow u = q/c \uparrow \Rightarrow E = u/d = \frac{q/c}{d} = \frac{4\pi k q}{\epsilon s}$ 不变; 仅变 d 时, E 不变;
电流	$I = \frac{q}{t}$ (定义) = $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ $I = nesv$ (微观) $I = \frac{u}{R} = \frac{u'}{r}$ ; $I = \frac{E}{R + r}$ ;
电阻定律	$R = \rho \frac{L}{S}$ (决定); $R = \frac{u}{I}$ (定义)
串联电阻	$R_{\text{串}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
并联电阻	$\frac{1}{R_{\text{并}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
电动势	$\epsilon = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$
欧姆定律	部分电路: $I = \frac{U}{R}$ 全电路: $I = \frac{\epsilon}{R + r}$
闭合电路的常用规律	$\epsilon = U + Ir$ ; $\epsilon = U + \frac{U}{R} r$ ; $\epsilon = IR + Ir$
电功	$W = UIt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t$
电功率	$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$
焦耳定律	普遍式: $Q = I^2 Rt$ 纯电阻电路中: $Q = W = UIt = \frac{U^2}{R} t = Pt$
磁感应强度	$B = \frac{F}{IL}$ , $L \perp B$
磁通量	$\Phi = B \cdot S$
安培力	$F = ILB$ ( $B \perp L$ ) 或 $F = ILB \sin \theta$
磁场 洛伦兹力	1. $F = BIL \sin \theta$ $f = qVB \sin \theta$ 2. $M = NBIS \cos \theta$ 匀强磁场 $M = NBIS = K \theta$ 辐向磁场 3. $R = \frac{mv}{qB}$ $T = \frac{2\pi m}{qB}$ (只有洛伦兹力提供向心力才成立)

	<p>4.回旋加速器 <math>R_m = \frac{mV_m}{qB}</math>    <math>\frac{1}{2}mV_m^2 = nUq</math>    <math>T = \frac{2\pi m}{qB}</math></p> <p><math>t_{\text{磁}} = n \frac{\pi m}{qB}</math>    <math>t_{\text{电}} = \frac{V_m}{\frac{Uq}{dm}}</math></p>
电磁力矩	$M = BIS$ (平面 S 平行磁感线时)
电磁感应	<p>1. <math>\varepsilon = BLV\sin\theta</math> 平动切割    <math>\varepsilon = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}</math> 磁变模型 <math>\varepsilon = BLV_{\text{中点}}</math> 旋转切割</p> <p>2. <math>\Phi = BS\sin\theta</math>; <math>e = NBS\omega\cos\omega t</math> (矩形线圈在匀强磁场中匀速转动)</p> <p><math>E_{\text{有}} = \frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}</math> (只有正弦)</p> <p>3. 焦耳热 <math>Q = I^2 R t</math> (I 恒定) <math>Q = I_{\text{有}}^2 R t</math> (I 正弦变化)    <math>Q = \Delta E_{\text{机}}</math> (I 非正弦变化)</p> <p>4. 电量 <math>q = It</math>    <math>q = n \Delta\phi / R</math>    <math>BILt = BLq = mV_2 - mV_1</math> (只受洛伦兹力)</p> <p>5. 变压器 <math>U_1 = n_1 \frac{\Delta\phi}{\Delta t}</math>    <math>U_2 = n_2 \frac{\Delta\phi}{\Delta t}</math>    <math>(\frac{\Delta\phi}{\Delta t})_m = \frac{U_{1m}}{n_1} = \frac{U_{2m}}{n_2}</math></p> <p><math>\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}</math>    <math>P_{\text{入}} = P_{\text{出}}</math>    <math>n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3</math></p> <p>6. 输电 <math>P = UI</math>    <math>P_{\text{损}} = (\frac{P}{U})^2 R_{\text{线}}</math>    <math>U_{\text{送}} = U_{\text{损}} + U_{\text{达}}</math>    <math>P_{\text{送}} = P_{\text{损}} + P_{\text{达}}</math></p> <p>7. 电磁振荡 <math>T = 2\pi\sqrt{LC}</math>    <math>q = q_m \sin\omega t</math>    <math>i = I_m \cos\omega t</math></p>
法拉第电磁感应定律	<p>普适公式: <math>\varepsilon = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}</math></p> <p>导体切割: <math>\varepsilon = BLv</math> (B、L、v 三者相互垂直)</p>
自感电动势	$\varepsilon = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
感抗	$X_L = 2\pi f L$
容抗	$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$
交变电动势、电流	<p>最大值: <math>\varepsilon_m = BS\omega</math>    <math>I_m = \frac{\varepsilon_m}{R}</math></p> <p>瞬时值: <math>e = \varepsilon_m \sin\omega t</math>    <math>i = I_m \sin\omega t</math></p>
正弦或余弦交流电有效值	$\varepsilon = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}}$ , $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ ; $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$
理想变压器	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ , $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$

振荡电路周期频率	周期: $T = 2\pi\sqrt{LC}$ 频率: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
电磁波、光波波长	$\lambda = \frac{c}{f}$

#### 四. 光学、原子物理

物理概念规律名称	公式
折射定律、折射率	$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \frac{c}{v}$
临界角	$\sin C = \frac{1}{n}$
光的波长	$\lambda = \frac{v}{f}$
光子能量	$E = h\nu$
光电效应方程	$\frac{1}{2}mv_m^2 = h\nu - W$
能级跃迁	$h\nu = E_{\text{初}} - E_{\text{终}}$
质能关系	$E = mc^2, \Delta E = \Delta mc^2$
元素衰变	$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}, m = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$
光学	<p>1. <math>n_1 \sin i = n_2 \sin r</math>    <math>n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2</math>    <math>n_1 V_1 = n_2 V_2</math>    <math>n_{\text{红}} &lt; n_{\text{紫}}</math>    <math>v_{\text{红}} &lt; v_{\text{紫}}</math> (频率)</p> <p>2. <math>n \sin C = 1 \sin 90^\circ</math> 紫光最易发生全反射</p> <p>3. <math>P_t = nh\nu = nh \frac{c}{\lambda} = nh \frac{v}{\lambda_{\text{介}}}</math>    小孔透过光子数 <math>\frac{\pi r^2}{4\pi R^2} = \frac{n}{n_{\text{总}}}</math></p> <p>4. 干涉 <math>\Delta S = n\lambda</math> 明条纹    <math>\Delta S = (2n-1)\lambda/2</math> 暗条纹    <math>\Delta x = \frac{L}{d}\lambda</math> (条纹间距)</p> <p><math>d = \frac{\lambda_{\text{介}}}{4}</math> 增透膜    <math>\Delta S = 2d = n\lambda</math> 明条纹    <math>\Delta S = 2d = (2n-1)\lambda/2</math> 暗条纹</p> <p>5. <math>h\nu = W + \frac{1}{2}mv^2</math></p>
原子物理学	<p>1. <math>r_n = n^2 r_1</math>    <math>E_n = \frac{E_1}{n^2}</math> (<math>E_1 = -13.6\text{eV}</math>)</p> <p><math>(E_n = E_{\text{电势能 } n} + E_{\text{kn}})</math>    <math>(k \frac{e^2}{r_n^2} = m \frac{V_n^2}{r_n})</math></p> <p>2. <math>h\nu = \Delta E</math></p>

	3. $\Delta E = \Delta mc^2$ 4. 静止在磁场中的原子核发生 $\alpha$ 衰变(外切); $\beta$ 衰变(内切) $(M-m)V_1 = mV_2 \quad \frac{r_1}{r_2} = \frac{q_2}{q_1} \quad \Delta mc^2 = \frac{1}{2}mV_2^2 + \frac{1}{2}(M-m)V_1^2$
--	---

## 高考物理解答题规范化要求

物理计算题可以综合地考查学生的知识和能力,在高考物理试题中,计算题在物理部分中的所占的比分很大(60%),单题的分值也很高。一些考生考后感觉良好但考分并不理想,一个很重要的原因便是解题不规范导致失分过多。在高考的物理试卷上对论述计算题的解答有明确的要求:“解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤,只写出最后答案的不能得分,有数值计算的题,答案中必须明确写出数值和单位。”具体地说,物理计算题的解答过程和书写表达的规范化要求,主要体现在以下几个方面。

一、文字说明要清楚 必要的文字说明是指以下几方面内容:

①说明研究的对象

①对字母、符号的说明。题中物理量有给定符号的,必须严格按题给符号表示,无需另设符号;

题中物理量没有给定符号的,应该按课本习惯写法(课本原始公式)形式来设定。

②对物理关系的说明和判断。如在光滑水平面上的两个物体用弹簧相连,“在两物体速度相等时弹簧的弹性势能最大”,“在弹簧为原长时物体的速度有极大值。”

③说明研究对象、所处状态、所描述物理过程或物理情境要点,关键的条件作必要的分析判断。

题目中的隐含条件,临界条件等。即说明某个方程是关于“谁”的,是关于“哪个状态或过程”的。

④说明所列方程的依据及名称,规定的正方向、零势点及所建立的坐标系。

这是展示考生思维逻辑严密性的重要步骤。

⑤选择物理规律的列式形式;按课本公式的“原始形式”书写。

⑥诠释结论:说明计算结果中负号的物理意义,说明矢量的方向。

⑦对于题目所求、所问的答复,说明结论或者结果。

文字说明防止两个倾向:①过于简略而显得不完整,缺乏逻辑性。②罗嗦,分不清必要与不必要。

答题时表述的详略原则是物理方面要详,数学方面要略。书写方面,字迹要清楚,能单独辨认。题解要分行写出,方程要单列一行,绝不能连续写下去,切忌将方程、答案淹没在文字之中。

二、主干方程要突出 (在高考评卷中,主干方程是得分的重点)

主干方程是指物理规律、公式或数学的三角函数、几何关系式等

(1) 主干方程式要有依据,一般表述为:依 xx 物理规律得;由图几何关系得,根据……得等。

(2) 主干方程列式形式得当,字母、符号的书写规范,严格按课本“原始公式”的形式列式,不能以变形的结果式代替方程式;(这是相当多考生所忽视的)。要全部用字母符号表示方程,不能字母、符号和数据混合,不要方程套方程;要用原始方程组联立求解,不要用连等式

如:带电粒子在磁场的运动应有  $qvB = m \frac{v^2}{R}$ , 而不是其变形结果  $R = \frac{mv}{qB}$ 。

(3) 列方程时,物理量的符号要用题目中所给符号,不能自己另用字母符号表示,

若题目中没有给定物理量符号,应该先设定,设定也有要求(按课本形式设定),

如:U 表示两点间的电压,  $\varphi$  表示某点的电势, E 表示电动势,  $\mathcal{E}$  表示电势能

(4) 主干方程单独占一行,按首行格式放置;式子要编号,号码要对齐。



(5) 对所列方程式(组)进行文字(符号)运算,推导出最简形式的计算式,不是关键环节不计算结果。

具体推导过程只在草稿纸上演算而不必写在卷面上。如果题目有具体的数值运算,则只在最简形式的计算式中代入数值算出最后结果,切忌分步进行代数运算。

(6) 要用原始公式联立求解,分步列式,并用式别标明。不要用连等式,不断地用等号连等下去。

因为这样往往因某一步的计算错误会导致整个等式不成立而失分。

### 三、书写布局要规范

(1) 文字说明的字体要书写公整、版面布局合理整齐、段落清晰、美观整洁。详略得当、言简意赅、逻辑性强。一定要突出重要解题观点。

(2) 要用规范的物理语言、式子准确地表达你的解答过程,准确求得结果并得出正确结论。

总结为一个要求:

就是要用最少的字符,最小的篇幅,表达出最完整的解答,以使评卷老师能在最短的时间内把握你的答题信息,就是一份最好的答卷。

## 特别注意: 板面的设计、布局。

### 四、解题过程中运用数学的方式有讲究

①“代入数据”,解方程的具体过程可以不写出。

②所涉及的几何关系只需说出判断结果而不必证明。

③重要的中间结论的文字表达式要写出来。

④所求的方程若有多个解,都要写出来,然后通过讨论,该舍去的舍去。

⑤数字相乘的,数字之间不要用“ $\cdot$ ”而用“ $\times$ ”进行连接,相除的也不要“ $\div$ ”,而用“ $/$ ”。

### 五、使用各种字母符号要规范

①字母符号要写清楚、写规范,忌字迹潦草,阅卷时因为“ $v$ 、 $r$ 、 $\nu$ 、”不分,“ $G$ ”的草体像“ $a$ ”,希腊字母“ $\rho$ 、 $\mu$ 、 $\beta$ 、 $\eta$ ”笔顺或形状不对而被扣分已屡见不鲜了。

②尊重题目所给的符号,题目给了符号的一定不要再另立符号,如题目给出半径是 $r$ ,你若写成 $R$ 就算错。

③一个字母在一个题目中只能用来表示一个物理量,忌一字多用,要用到同一字母表示物理量,采用角上标、角下标加与区别。一个物理量在同一题中不能有多符号,以免混淆。

④尊重习惯用法,如拉力用 $F$ ,摩擦力用 $f$ 表示,阅卷人一看便明白,如果用反了就会带来误解;

⑤角标要讲究,角标的位置应当在右下角,比字母本身小许多,角标的选用亦应讲究,如通过 $A$ 点的速度用 $V_A$ 就比用 $V_1$ 好,通过某同一点的速度,按时间顺序第一次 $V_1$ 用,第二次用 $V_2$ 就很清楚,如果倒置,必然带来误解。

⑥物理量的符号不论大写还是小写,均采用斜体。如功率 $P$ 、压强 $p$ 、电容 $C$ 、光速 $c$ 等。

⑦物理量单位符号不论大写还是小写,均采用正体。其中源于人名的单位应大写,如库仑 $C$ ,亨利 $H$ ,由两个字母组成的单位,一般前面字母用大写,后面字母用小写,如 $Hz$ 、 $Wb$ 。

### 六、学科语言要规范,有学科特色

①学科术语要规范,如“定律”、“定理”、“公式”、“关系”、“定则”等词要用准确,阅卷时“由牛顿运动定理”、“动能定律”、“四边形公式”、“油标卡尺”等错误说法时有发生。

②语言要富有学科特色。在如图所示的坐标系中将电场的方向说成“西南方向”、“南偏西 $45^\circ$ ”、“向左下方”等均是不规范的,应说成“与轴正方向夹角为 $135^\circ$ ”或“如图所示”。

### 七、绘制图形图象要清晰、准确

①绘制必须用铅笔(便于修改)、圆规、直尺、三角板,反对随心所欲徒手画。

②画出的示意图(受力图、电路图、光路图、运动过程图等)应大致能反映有关量的关系,图文要对应。

③画函数图象,要画好坐标原点,坐标轴上的箭头,标好物理量的符号、单位及坐标轴的数据.

④图形图线应清晰、准确,线段的虚实要分明,有区别.

⑤高考答题时,必须应用黑色钢笔或签字笔描黑,否则无法扫描,从而造成失分.

## 解物理计算题一般步骤●物理的一般解题步骤:

- 1 审题:  
(是解题的关键)
- ①看懂文句,
  - ②弄清题述物理现象、状态、过程。
  - ③明确对象所处的状态,所经历的过程。
  - ④状态或过程所对应的物理模型,所联系的物理知识,物理量,物理规律。
  - ⑤找出状态或过程之间的联系。
  - ⑥明确已知和待求,
  - ⑦挖掘在文字叙述(语言表达)中的隐含条件,(这往往是解题的突破口)。
- (如:光滑,匀速,恰好,缓慢,距离最大或最小,有共同速度,弹性势能最大或最小等等)

2. 选对象、找状态、划过程(整体思想):
- 对象: 整体或隔离体(系统)、
  - 找准状态
  - 研究过程: 准确划分(全过程还是分过程)。

对所选对象在某状态或过程中(全或分)进行: **受力,运动,做功特点分析**。

3. 分析:
- 受力情况
  - 运动情况
  - 做功情况
  - 及能量转化情况。
- 必要时画出受力、运动示意图或其它图辅助解答。

定性分析受哪些力(方向、大小、个数);做什么性质的运动( $v$ 、 $a$ );及各力做功的情况等。

搞清各过程中相互的联系,如:上一个程的末状态就是下一过程的初状态。

4. 依 $\Rightarrow$ (运动、受力、做功或能量转化)特点 $\Rightarrow$ 选择适当的物理规律:

(对象所处状态或发生过程中的)

- (三把“金钥匙”)
- ①牛二及运动学公式;
  - ②动量定理及动量守恒定律;
  - ③动能定理、机械能守恒定律及功能关系等。

**注意:** 用能的观点解有时快捷,动量定理,动能定理,功能关系可用以不同性质运动阶段的全过程。

5. 运用规律列式前(准备)
- 设出题中没有直接给出的物理量
  - 建立坐标
  - 规定正方向等。

- 6 所选的物理规律用何种形式建立方程。 有时可能要用到数学的函数关系或几何关系式。  
主干方程式要依课本中的“原给公式”形式进行列式,

不同的状态或过程对应不同的规律。及它们之间的联系,统一写出方程。并给予序号标明。

6. 统一单位制,将已知物理量代入方程(组)求解结果。

7. 检验结果:必要时进行分析讨论,结果是矢量的要说明其方向。

选准研究对象,正确进行受力、运动、做功情况分析,弄清所处状态或发生的过程。是解题的关键。

过程往往涉及多个分过程,不同的过程中受力、做功不同,选用不同的规律,但要注意不同过程中相互联系的物理量。有时也可不必分析每个过程的物理情景,而把物理规律直接应用于整个过程,会使解题步骤大为简化。

## 物理解题诀窍歌：

确定平衡体，作出受力图。  
 分解合成巧应用，平衡条件掌握牢。  
 受力过程详分析，所列方程细推敲。  
 a 是桥梁，把运动学和力学来沟通。  
 始末状态要分清，联系状态（量）心要明。  
 零参考选取需巧妙，规律应用要活灵。  
 变力做功莫怕难，功能关系尽开颜。  
 状态清楚参量明，条件变化要分清。  
 重力电场力相类似，联系对比巧应用。  
 千难万难力学难，关键过好力学关。  
 电路结构要分清，各路参量心要明。  
 安培定则常使用，左力右电是规律。  
 牛顿有三定律，力学有三把锁匙。  
 热力学有三定律，几学光学有三条主光线。  
 物理光学概念清，原子结构模型定。  
 光电效应要理解，能级跃迁会应用。

对联：概念、公式、定理、定律。

对象、条件、状态、过程。

物理审题要认真

物理条件要分清

物理状态心要明

定理、定律形式多

如何选取要活灵

成绩高低看基础

决胜高考看平时

## [计算说明]

### 1、单个物体问题情景

$$F=ma + \begin{cases} \text{物体平衡 (+直线运动规律)} \\ \text{直线运动} \\ P=FV \text{ (以不变功率运行等)} \end{cases} \quad \begin{cases} \text{平抛运动+万有引力} \\ \text{圆周运动+万有引力} \\ \text{圆周运动+功能关系} \end{cases}$$

### 2、多个物体问题以“动量+功能”组合见多，出现机会最大

3、①力电综合以电荷在电场、磁场中运动为多，体现出力、电、磁三主干内容学科内综合。②磁场中电路的部分导体切割磁感线运动，综合物体的平衡、电路（欧姆定律）、磁场（安培力）、电磁感应四大内容，重新成为高考热点。

4、要熟悉电子绕核运行时动能与等效电流、光子能量与太阳辐射等问题的分析

### 5、解力学问题的一般程序

(1)选对象（整体法和隔离法）、选过程（全过程和分阶段过程）

(2)分析研究对象的受力情况(各力大小方向、是否恒力、做功与否、冲量等)和运动情况(初末速度、动量、动能等)

(3)

$$\text{选合适的物理规律列式} \begin{cases} \text{恒力作用下物理问题} \begin{cases} F=ma + \text{匀变速直线运动规律} \\ \text{功能关系} \text{—— 通常涉及位移情况时} \\ \text{动量理论} \text{—— 通常涉及时间情况时} \end{cases} \\ \text{变力作用下物理问题} \text{—— “功能关系+动量理论”} \end{cases}$$

(4)解方程，验根

### 6、典型电荷在电场、磁场中运动的专题问题

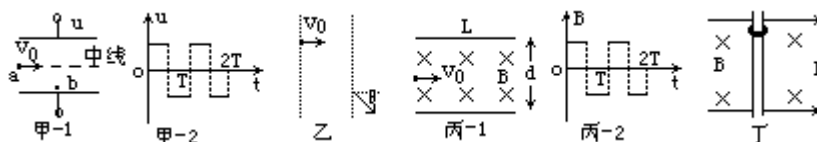
(1)极板间加电场（图甲）

① 不同时刻从 b 点由静止释放电荷，讨论其往返运动情况。

② 电荷从中央 a 点射入，讨论电荷仍从中央线处射的条件等

③ 电荷从 b 点由静止释放，讨论其到达另一极板的条件

④ 极板电压改为  $u=U_0 \cos \omega t$  等情况时，讨论电荷从 a 点连续高速入射时，电荷持续出射时间间隔



(2)电荷在电场、磁场中运动的比较

- ① 电荷分别以相同初速垂直进入同宽度的有界电场  $E$ 、磁场  $B$  中（图乙），偏向角均为  $\theta$ ，求初速  $v_0$
- ② 电荷进入极板间的磁场（图丙等）中，讨论电荷不能出射的条件
- ③ 带电环在电、磁场中沿竖直杆运动，讨论其运动的最大速度  $V_m$ 、最大加速度  $a_m$
- (3) 物体受恒力作用时的曲线运动轨迹为抛物线；只受洛伦兹力（ $B \perp v$ ）时，运动轨迹为圆；受洛伦兹力和其它恒力作用时，所做曲线运动的轨迹既不是抛物线，也不是圆。

## 物理解题中的审题技巧

审题过程，就是破解题意的过程，它是解题的第一步，而且是关键的一步，通过审题分析，能在头脑里形成生动而清晰的物理情景，找到解决问题的简捷办法，才能顺利地、准确地完成解题的全过程。在未寻求到解题方法之前，要审题不止，而且题目愈难，愈要在审题上下功夫，以寻求突破；即使题目容易，也不能掉以轻心，否则也会导致错误。在审题过程中，要特别注意这样几个方面：

第一、题中给出什么； 第二、题中要求什么；

第三、题中隐含什么； 第四、题中考查什么； 第五、规律是什么；

高考试卷中物理计算题约占物理总分的 60%，（共 90 分左右）综观近几年的高考，高考计算题对学生的能力要求越来越高，物理计算题做得好坏直接影响物理的成绩及总成绩，影响升学。所以，如何在考场中迅速破解题意，找到正确的解题思路和方法，是许多学生期待解决的问题。下面给同学们总结了几条破解题意的具体方法，希望给同学们带来可观的物理成绩。

### 1. 认真审题，捕捉关键词句

审题过程是分析加工的过程，在读题时不能只注意那些给出具体数字或字母的显形条件，而应扣住物理题中常用一些关键用语，如：“最多”、“至少”、“刚好”、“缓慢”、“瞬间”等。充分理解其内涵和外延。

### 2. 认真审题，挖掘隐含条件

物理问题的条件，不少是间接或隐含的，需要经过分析把它们挖掘出来。隐含条件在题设中有时就是一句话或几个词，甚至是几个字，

如“刚好匀速下滑”说明摩擦力等于重力沿斜面下滑的分力；

“恰好到某点”意味着到该点时速率变为零；

“恰好不滑出木板”，就表示小物体“恰好滑到木板边缘处且具有了与木板相同的速度”，等等。但还有些隐含条件埋藏较深，挖掘起来有一定困难。而有些问题看似一筹莫展，但一旦寻找出隐含条件，问题就会应刃而解。

### 3. 审题过程要注意画好情景示意图，展示物理图景

画好分析图形，是审题的重要手段，它有助于建立清晰有序的物理过程，确立物理量间的关系，把问题具体化、形象化，分析图可以是运动过程图、受力分析图、状态变化图等等。

### 4. 审题过程应建立正确的物理模型

物理模型的基本形式有“对象模型”和“过程模型”。

“对象模型”是：实际物体在某种条件下的近似与抽象，如质点、光滑平面、理想气体、理想电表等；

“过程模型”是：理想化了的物理现象或过程，如匀速直线运动、自由落体运动、竖直上抛运动、平抛运动、匀速圆周运动、简谐运动等。

有些题目所设物理模型是不清晰的，不宜直接处理，但只要抓住问题的主要因素，忽略次要因素，恰当的将复杂的对象或过程向隐含的理想化模型转化，就能使问题得以解决。

### 5. 审题过程要重视对基本过程的分析

①力学部分涉及到的过程有匀速直线运动、匀变速直线运动、平抛运动、圆周运动、机械振动等。除了这些运动过程外还有两类重要的过程，一个是碰撞过程，另一个是先变加速最终匀速过程（如恒定功率汽车的启动问题）。

②电学中的变化过程主要有电容器的充电与放电等。

以上的这些基本过程都是非常重要的，在平时的学习中都必须进行认真分析，掌握每个过程的特点和每个过程遵循的基本规律。

### 6.在审题过程中要特别注意题目中的临界条件问题

1. 所谓临界问题：是指一种物理过程或物理状态转变为另一种物理过程或物理状态的时候，存在着分界限的现象。还有些物理量在变化过程中遵循不同的变化规律，处在不同规律交点处的取值即是临界值。临界现象是量变到质变规律在物理学中的生动表现。这种界限，通常以临界状态或临界值的形式表现出来。

2. 物理学中的临界条件有：

(1)两接触物体脱离与不脱离的临界条件是：相互作用力为零。

(2)绳子断与不断的临界条件为：作用力达到最大值，

绳子弯曲与不弯曲的临界条件为：作用力为零

(3)靠摩擦力连接的物体间发生与不发生相对滑动的临界条件为：静摩擦力达到最大值。

(4)追及问题中两物体相距最远的临界条件为：速度相等，

相遇不相碰的临界条件为：同一时刻到达同一地点， $v_1 \leq v_2$

(5)两物体碰撞过程中系统动能损失最大即动能最小的临界条件为：两物体的速度相等。

(6)物体在运动过程中速度最大或最小的临界条件是：加速度等于零。

(7)光发生全反射的临界条件为：光从光密介质射向光疏介质；入射角等于临界角。

### 3. 解决临界问题的方法有两种：

第一种方法是：以定理、定律作为依据，首先求出所研究问题的一般规律和一般解，然后分析、讨论其特殊规律和特殊解。

第二种方法是：直接分析讨论临界状态和相应的临界条件，求解出研究的问题。

解决动力学问题的三个基本观点：

- 1、力的观点（牛顿定律结合运动学）；
- 2、动量观点（动量定理和动量守恒定律）；
- 3、能量观点（动能定理和能量守恒定律）。

一般来说，若考查有关物理学量的瞬时对应关系，需用牛顿运动定律；

若研究对象为单一物体，可优先考虑两大定理，

特别是涉及时间问题时应优先考虑动量定理；涉及功和位移问题时，就优先考虑动能定理。

若研究对象为一系统，应优先考虑两大守恒定律。

## 物理审题核心词汇中的隐含条件

### 一. 物理模型（16个）中的隐含条件

- 1 质点：物体只有质量，不考虑体积和形状。
- 2 点电荷：物体只有质量、电荷量，不考虑体积和形状
- 3 轻绳：不计质量，力只能沿绳子收缩的方向，绳子上各点的张力相等
- 4 轻杆：不计质量的硬杆，可以提供各个方向的力（不一定沿杆的方向）
- 5 轻弹簧：不计质量，各点弹力相等，可以提供压力和拉力，满足胡克定律
- 6 光滑表面：动摩擦因数为零，没有摩擦力
- 7 单摆：悬点固定，细线不会伸缩，质量不计，摆球大小忽略，秒摆；周期为 2s 的单摆
- 8 通讯卫星或同步卫星：运行角速度与地球自转角速度相同，周期等与地球自转周期，即 24h
- 9 理想气体：不计分子力，分子势能为零；满足气体实验定律  $PV/T=C$  ( $C$  为恒量)
- 10 绝热容器：与外界不发生热传递
- 11 理想变压器：忽略本身能量损耗(功率  $P_{\text{输入}}=P_{\text{输出}}$ )，磁感线被封闭在铁芯内（磁通量  $\Phi_1=\Phi_2$ ）
- 12 理想安培表：内阻为零
- 13 理想电压表：内阻为无穷大
- 14 理想电源：内阻为零，路端电压等于电源电动势
- 15 理想导线：不计电阻，可以任意伸长或缩短
- 16 静电平衡的导体：必是等势体，其内部场强处处为零，表面场强的方向和表面垂直

### 二. 运动模型中的隐含条件

- 1 自由落体运动：只受重力作用， $V_0=0$ ， $a=g$
- 2 竖直上抛运动：只受重力作用， $a=g$ ，初速度方向竖直向上
- 3 平抛运动：只受重力作用， $a=g$ ，初速度方向水平
- 4 碰撞、爆炸、动量守恒：弹性碰撞、动能、动量都守恒；完全非弹性碰撞：动量守恒、动能损失最大
- 5 直线运动：物体受到的合外力为零，后者合外力的方向与速度在同一条直线上，即垂直于速度方向上的合力为零
- 6 相对静止：两物体的运动状态相同，即具有相同的加速度和速度
- 7 简谐运动：机械能守恒，回复力满足  $F=-kx$

8 用轻绳系小球绕固定点在竖直平面内恰好能做完整的圆周运动；小球在最高点时，做圆周运动的向心力

只有重力提供，此时绳中张力为零，最高点速度为  $V=\sqrt{gR}$  ( $R$  为半径)

9 用皮带传动装置(皮带不打滑)；皮带轮轮圆上各点线速度相等；绕同一固定转轴的各点角速度相等

10 初速度为零的匀变速直线运动；①连续相等的时间内通过的位移之比： $S_I: S_{II}: S_{III}: S_{IV}\cdots=1:3:5:7\cdots$

②通过连续相等位移所需时间之比： $t_1: t_2: t_3: \cdots=1: (\sqrt{2}-1): (\sqrt{3}-\sqrt{2}) \cdots$

### 三. 物理现象和过程中的隐含条件

1 完全失重状态：物体对悬挂物体的拉力或对支持物的压力为零

2 一个物体受到三个非平行力的作用而处于平衡态；三个力是共点力

3 物体在任意方向做匀速直线运动：物体处于平衡状态， $F_{\text{合}}=0$

4 物体恰能沿斜面下滑；物体与斜面的动摩擦因数  $\mu=\tan \theta$

5 机动车在水平里面上以额定功率行驶： $P_{\text{额}}=F_{\text{牵引力}} V$  当  $F_{\text{牵引力}}=f_{\text{阻力}}$ ， $V_{\text{max}}=P_{\text{额}}/f_{\text{阻力}}$

6 平行板电容器接上电源，电压不变；电容器断开电源，电量不变

7 从水平飞行的飞机中掉下来的物体；做平抛运动

8 从竖直上升的气球中掉出来的物体；做竖直上抛运动

9 带电粒子能沿直线穿过速度选择器： $F_{\text{洛伦兹力}}=F_{\text{电场力}}$ ，出来的各粒子速度相同

10 导体接地；电势比为零（带电荷量不一定为零）

## 高中物理中的习题“定理”

1、匀加速运动的物体追匀速运动的物体，当两者速度相等时，距离最远；

匀减速运动的物体追匀速运动的物体，当两者速度相等时，距离最近，若这时仍未追上，则不会追上。

2、质点做简谐运动，靠近平衡位置时加速度减小而速度增加；离开平衡位置时，加速度增加而速度减小。

3、两劲度系数分别为  $K_1$ 、 $K_2$  的轻弹簧 A、B 串联的等效系数  $K_{\text{串}}$  与  $K_1$ 、 $K_2$  满足  $\frac{1}{K_{\text{串}}} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$ ，

并联后的等效劲度系数  $K_{\text{并}}=K_1+K_2$ 。

4、欲推动放在粗糙平面上的物体，物体与平面之间的动摩擦因数为  $\mu$ ，推力方向与水平面成  $\theta$  角，

$$\tan \theta = \mu \text{ 时最省力, } F_{\min} = \frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}}。$$

若平面换成倾角为  $\alpha$  的斜面后，推力与斜面夹角满足关系  $\tan \theta = \mu$  时， $F_{\min} = \frac{\mu mg \cos \alpha}{\sqrt{1+\mu^2}}$ 。

5、两个靠在一起的物体 A 和 B，质量为  $m_1$ 、 $m_2$ ，放在同一光滑平面上，当 A 受到水平推力 F 作用后，

A 对 B 的作用力为  $\frac{m_2 F}{m_1 + m_2}$ 。平面虽不光滑，但 A、B 与平面间存在相同的摩擦因数时上述结论成立，

斜面取代平面。只要推力 F 与斜面平行，F 大于摩擦力与重力沿斜面分力之和时同样成立。

6、若由质量为  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3\cdots$  加速度分别是  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3\cdots$  的物体组成的系统，则合外力

$$F = m_1 a_1 + m_2 a_2 + m_3 a_3 + \cdots$$

7、支持面对支持物的支持力随系统的加速度而变化。若系统具有向上的加速度  $a$ ，则支持力 N 为  $m(g+a)$ ；

若系统具有向下的加速度  $a$ ，则支持力 N 为  $m(g-a)$ （要求  $a \leq g$ ），

8、系在绳上的物体在竖直面上做圆周运动的条件是： $v_{\text{高}} \geq \sqrt{gl}$ ，

绳改成杆后, 则  $v_{\text{最高}} \geq 0$  均可, 在最高点  $v_{\text{最高}} > \sqrt{gl}$  时, 杆拉物体;  $v_{\text{最高}} < \sqrt{gl}$  时杆支持物体。

9、卫星绕行星运转时, 其线速度  $v$  角速度  $\omega$ , 周期  $T$  同轨道半径  $r$  存在下列关系

$$\textcircled{1} v^2 \propto 1/r \quad \textcircled{2} \omega^2 \propto 1/r^3 \quad \textcircled{3} T^2 \propto r^3$$

由于地球的半径  $R=6400\text{Km}$ , 卫星的周期不低于 84 分钟。由于同步卫星的周期  $T$  一定, 它只能在赤道上空运行, 且发射的高度, 线速度是固定的。

10、太空中两个靠近的天体叫“双星”。它们由于万有引力而绕连线上一点做圆周运动, 其轨道半径与质量成反比、环绕速度与质量成反比。

11、质点若先受力  $F_1$  作用, 后受反方向  $F_2$  作用, 其前进位移  $S$  后恰好又停下来, 则运动的时间  $t$  同质量  $m$ , 作用力  $F_1$ 、 $F_2$ , 位移  $S$  之间存在关系  $t = \sqrt{2m(F_1 + F_2)s / F_1 F_2}$

12、质点若先受力  $F_1$  作用一段时间后, 后又在反方向的力  $F_2$  作用相同时间后恰返回出发点, 则  $F_2=3F_1$ 。

13、由质量为  $m$  质点和劲度系数为  $K$  的弹簧组成的弹簧振子的振动周期  $T = 2\pi\sqrt{m/k}$  与弹簧振子平放, 竖放没有关系。

14、单摆的周期  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , 与摆角  $\theta$  和质量  $m$  无关。

若单摆在加速度为  $a$  的系统中, 式中  $g$  应改为  $g$  和  $a$  的矢量和。

若摆球带电荷  $q$  置于匀强电场中, 则  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  ( $g$  由重力和电场力的矢量和与摆球的质量  $m$  比值代替);

若单摆处于由位于单摆悬点处的点电荷产生的电场中, 或磁场中, 周期不变。

#### 四、动量和机械能中的习题“定理”

15、相互作用的一对静摩擦力, 若其中一个力做正功, 则另一个力做负功, 且总功代数和为零,

若相互作用力是一对滑动摩擦力, 也可以对其中一个物体做正功, 另一个可不做功,

但总功代数和一定小于零, 且  $W_{\text{总}} = -FS_{\text{相对}}$ 。

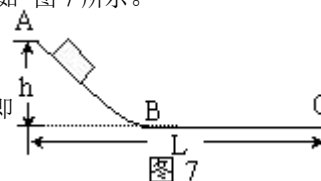
16、人造卫星的动能  $E_K$ , 势能  $E_P$ , 总机械能  $E$  之间存在  $E = -E_K$ ,  $E_P = -2E_K$ ; 当它由近地轨道到远地轨道时, 总能量增加, 但动能减小。

17、物体由斜面上高为  $h$  的位置滑下来, 滑到平面上的另一点停下来, 若  $L$  是释放点到停止点的水平总距离, 则物体的与滑动面之间的摩擦因数  $\mu$  与  $L$ ,  $h$  之间存在关系  $\mu = h/L$ , 如图 7 所示。

18、两物体发生弹性碰撞后, 相对速度大小不变, 方向相反,

$v_1 - v_1' = v_2' - v_2$ ; 也可以说两物体的速度之和保持不变, 即

$v_1 + v_2 = v_1' + v_2'$ 。



19、两物体  $m_1$ 、 $m_2$  以速度  $V_1$ 、 $V_2$  发生弹性碰撞之后的速度分别变为:

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

若  $m_1 = m_2$ , 则  $v_1' = v_2$ ,  $v_2' = v_1$ , 交换速度。

$m_1 \gg m_2$ , 则  $v_1' = v_1$ ,  $v_2' = 2v_1 - v_2$ 。



$m_1 < m_2$ , 则  $v_1' = 2v_2 - v_1, v_2' = v_2$

若  $v_2=0, m_1=m_2$  时,  $v_1' = 0, v_2' = v_1$ 。

$m_1 \gg m_2$  时,  $v_1' = v_1, v_2' = 2v_1$ 。

$m_1 < m_2$  时,  $v_1' = -v_1, v_2' = 0$ 。

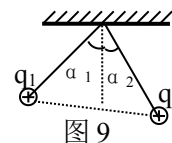
20、两物体  $m_1、m_2$  碰撞之后, 总动量必须和碰前大小方向都相同, 总动能小于或等于碰前总动能, 碰后在没有其他物体的情况下, 保证不再发生碰撞。

## 六、静电学中的习题“定理”

21、若一条直线上有三个点电荷因相互作用均平衡,(两同夹异、两大夹小, 且中间的电量值最小)

22、两同种带电小球分别用等长细绳系住, 相互作用平衡后, 摆角  $\alpha$  与质量  $m$  存在

$$m_1 \sin \alpha_1 = m_2 \sin \alpha_2,$$



23、电场强度方向是电势降低最快的方向, 在等差等势面分布图中, 等势面密集的地方电场强度大。

## 七、电路问题中的习题“定理”

24、在闭合电路里, 某一支路的电阻增大(或减小), 一定会导致总电阻的增大(或减小), 总电流的减小(或增大), 路端电压的增大(或减小)

25、伏安法测电阻时, 若  $R_x \ll R_V$ , 用电流表外接法, 测量值小于真实值;

$R_x \gg R_A$  时, 用电流表内接法, 测量值大于真实值。待测电阻阻值范围未知时, 可用试探法。电压表明显变化, 外接法; 电流表明显变化, 用内接法。

26、闭合电路里, 当负载电阻等于电源内阻时, 电源输出功率最多, 且  $P_{\max} = E^2/4r$ 。

## 八、磁场和电磁感应中的习题“定律”

27、两条通电直导线相互作用问题: 平行时同向电流吸引, 反向电流排斥。不平行时有转到平行且同向的趋势。

28、在正交的电场和磁场区域, 当电场力和磁场力方向相反, 若  $V$  为带电粒子在电磁场中的运动速度, 且满足  $V=E/B$  时, 带电粒子做匀速直线运动; 若  $B、E$  的方向使带电粒子所受电场力和磁场力方向相同时, 将  $B、E、v$  中任意一个方向反向既可, 粒子仍做匀速直线运动, 与粒子的带电正负、质量均无关。

29、在各种电磁感应现象中, 电磁感应的效果总是阻碍引起电磁感应的原因, 若是由相对运动引起的, 则阻碍相对运动; 若是由电流变化引起的, 则阻碍电流变化的趋势。

30、导体棒一端转动切割磁感线产生的感应电动势  $E = BL^2 \omega / 2$ ,

31、闭合线圈绕垂直于磁场的轴匀速转动时产生正弦交变电动势  $\epsilon = NBS \omega \sin \omega t$ 。

线圈平面垂直于磁场时  $E=0$ , 平行于磁场时  $\epsilon = NBS \omega$ 。且与线圈形状, 转轴位置无关。

## 九、光学中的习题“定理”

32、紧靠点光源向对面墙平抛的物体, 在对面墙上的影子的运动是匀速运动。

33、光线由真空射入折射率为  $n$  的介质时, 如果入射角  $\theta$  满足  $\tan \theta = n$ , 则反射光线和折射光线一定垂直。

34、由水面上看水下光源时, 视深  $d' = d/n$ ; 若由水面下看水上物体时, 视高  $d' = nd$ 。

35、光线以入射角  $i$  斜射入一块两面平行的折射率为  $n$ 、厚度为  $h$  的玻璃砖后, 出射光线仍与入射光线平行,

但存在侧移量  $\Delta x = d \sin i \left( 1 + \frac{\cos i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \right)$

36、双缝干涉的条纹间隔即  $\Delta x = L \lambda / d$ 。

## 十、原子物理学中的习题“定律”

37、氢原子的激发态和基态的能量与核外电子轨道半径的关系是： $E_n=E_1/n^2$ ， $r_n=n^2r_1$ ，其中  $E_1=-13.6\text{eV}$ ， $r_1=5.3\times 10^{-10}\text{m}$ ，由  $n$  激发态跃迁到基态的所有方式共有  $n(n-1)/2$  种。

38、氢原子在  $n$  能级的动能、势能，总能量的关系是： $E_p=-2E_k$ ， $E=E_k+E_p=-E_k$ 。由高能级到低能级时，动能增加，势能降低，且势能的降低量是动能增加量的 2 倍，故总能量降低。

39、静止的原子核在匀强磁场里发生  $\alpha$  衰变时，会形成外切圆径迹，发生  $\beta$  衰变时会形成内切圆径迹，且大圆径迹分别是由  $\alpha$ 、 $\beta$  粒子形成的。

40、放射性元素  ${}_Z^MA$  经  $m$  次  $\alpha$  衰变和  $n$  次  $\beta$  衰变成  ${}_{Z'}^{M'}A$ ，则  $m=(M-MM')/4$ ，

$$n = z' - z + (M - M')/2$$

## 高考物理 “二级结论” 集

### 一、静力学：

1. 几个力平衡，则一个力是与其它力合力平衡的力。

2. 两个力的合力： $F_{大}+F_{小}\geq F_{合}\geq F_{大}-F_{小}$ 。

三个大小相等的共点力平衡，力之间的夹角为  $120^\circ$ 。

3. 力的合成和分解是一种等效代换，分力与合力都不是真实的力，求合力和分力是处理力学问题时的一种方法、手段。

4. 三力共点且平衡，则  $\frac{F_1}{\sin \alpha_1} = \frac{F_2}{\sin \alpha_2} = \frac{F_3}{\sin \alpha_3}$ （拉密定理）。

5. 物体沿斜面匀速下滑，则  $\mu = \tan \alpha$ 。

6. 两个一起运动的物体“刚好脱离”时：

貌合神离，弹力为零。此时速度、加速度相等，此后不等。

7. 轻绳不可伸长，其两端拉力大小相等，线上各点张力大小相等。因其形变被忽略，其拉力可以发生突变，“没有记忆力”。

8. 轻弹簧两端弹力大小相等，弹簧的弹力不能发生突变。

9. 轻杆能承受纵向拉力、压力，还能承受横向力。力可以发生突变，“没有记忆力”。

### 二、运动学：

1. 在描述运动时，在纯运动学问题中，可以任意选取参照物；

在处理动力学问题时，只能以地为参照物。

2. 匀变速直线运动：用平均速度思考匀变速直线运动问题，总是带来方便：

$$\bar{v} = v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{S_1 + S_2}{2T}$$

3. 匀变速直线运动：

$$\text{时间等分时，} \quad S_n - S_{n-1} = aT^2 \quad ,$$

$$\text{位移中点的即时速度 } v_{\frac{s}{2}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2}{2}} \quad , \quad v_{\frac{s}{2}} > v_{\frac{t}{2}}$$

$$\text{纸带点痕求速度、加速度：} \quad v_{\frac{t}{2}} = \frac{S_1 + S_2}{2T} \quad , \quad a = \frac{S_2 - S_1}{T^2} \quad , \quad a = \frac{S_n - S_1}{(n-1)T^2}$$

4. 匀变速直线运动， $v_0 = 0$  时：

时间等分点：各时刻速度比：1：2：3：4：5

各时刻总位移比：1：4：9：16：25

各段时间内位移比：1：3：5：7：9

位移等分点：各时刻速度比：1： $\sqrt{2}$ ： $\sqrt{3}$ ：……

到达各分点时间比 1： $\sqrt{2}$ ： $\sqrt{3}$ ：……

通过各段时间比 1： $(\sqrt{2}-1)$ ： $(\sqrt{3}-\sqrt{2})$ ：……

### 5. 自由落体：

$n$  秒末速度 (m/s)：10, 20, 30, 40, 50

$n$  秒末下落高度 (m)：5、20、45、80、125

第  $n$  秒内下落高度 (m)：5、15、25、35、45

6. 上抛运动：对称性： $t_{\text{上}}=t_{\text{下}}$ ， $v_{\text{上}}=v_{\text{下}}$ ， $h_m=\frac{v_0^2}{2g}$

7. 相对运动：共同的分运动不产生相对位移。

8. “刹车陷阱”：给出的时间大于滑行时间，则不能用公式算。先求滑行时间，确定了滑行时间小于给出的时间时，用  $v^2=2as$  求滑行距离。

9. 绳端物体速度分解：对地速度是合速度，分解为沿绳的分速度和垂直绳的分速度。

10. 两个物体刚好不相撞的临界条件是：接触时速度相等或者匀速运动的速度相等。

11. 物体刚好滑到小车（木板）一端的临界条件是：物体滑到小车（木板）一端时与小车速度相等。

12. 在同一直线上运动的两个物体距离最大（小）的临界条件是：速度相等。

## 三、运动定律：

1. 水平面上滑行： $a=\mu g$

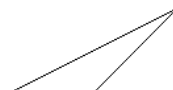
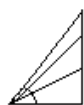
2. 系统法：动力—阻力= $m_{\text{总}} a$

3. 沿光滑斜面下滑： $a=g\sin\alpha$

时间相等：

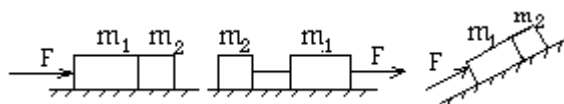
45°时时间最短：

无极值：

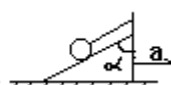
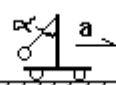
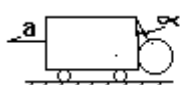
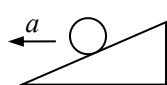


4. 一起加速运动的物体，合力按质量正比例分配：

$$N = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F, \text{ 与有无摩擦 } (\mu \text{ 相同}) \text{ 无关, 平面、斜面、竖直都一样。}$$



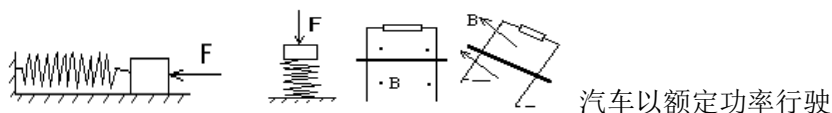
5. 几个临界问题： $a = g\tan\alpha$  注意  $\alpha$  角的位置！



光滑, 相对静止 弹力为零

弹力为零

6. 速度最大时合力为零：



#### 四、圆周运动 万有引力：

- 向心力公式： $F = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R = m \frac{4\pi^2}{T^2} R = m4\pi^2 f^2 R = m\omega v$
- 在非匀速圆周运动中使用向心力公式的办法：沿半径方向的合力是向心力。
- 竖直平面内的圆运动
  - “绳”类：最高点最小速度  $\sqrt{gR}$ ，最低点最小速度  $\sqrt{5gR}$ ，  
上、下两点拉力差  $6mg$ 。  
要通过顶点，最小下滑高度  $2.5R$ 。  
最高点与最低点的拉力差  $6mg$ 。
  - 绳端系小球，从水平位置无初速下摆到最低点：弹力  $3mg$ ，向心加速度  $2g$
  - “杆”：最高点最小速度  $0$ ，最低点最小速度  $\sqrt{4gR}$ 。
- 重力加速  $g = \frac{GM}{r^2}$ ， $g$  与高度的关系： $g = \frac{R^2}{(R+h)^2} \cdot g$
- 解决万有引力问题的基本模式：“引力=向心力”
- 人造卫星：高度大则速度小、周期大、加速度小、动能小、重力势能大、机械能大。  
 $h \uparrow \rightarrow V \downarrow \rightarrow T \uparrow \rightarrow a \downarrow \rightarrow F \downarrow$ 。  
速率与半径的平方根成反比，周期与半径的平方根的三次方成正比。  
同步卫星轨道在赤道上空， $h=5.6R$ ， $v=3.1 \text{ km/s}$
- 卫星因受阻力损失机械能：高度下降、速度增加、周期减小。
- “黄金代换”：重力等于引力， $GM=gR^2$
- 在卫星里与重力有关的实验不能做。
- 双星：引力是双方的向心力，两星角速度相同，星与旋转中心的距离跟星的质量成反比。
- 第一宇宙速度： $V_1 = \sqrt{Rg}$ ， $V_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ， $V_1=7.9 \text{ km/s}$

#### 五、机械能：

- 求机械功的途径：
  - 用定义求恒力功。
  - 用做功和效果（用动能定理或能量守恒）求功。
  - 由图象求功。
  - 用平均力求功（力与位移成线性关系时）
  - 由功率求功。
- 恒力做功与路径无关。
- 功能关系：摩擦生热  $Q=f \cdot S_{\text{相对}}$ =系统失去的动能， $Q$ 等于滑动摩擦力作用力与反作用力总功的大小。
- 保守力的功等于对应势能增量的负值： $W_{\text{保}} = -\Delta E_p$ 。
- 作用力的功与反作用力的功不一定符号相反，其总功也不一定为零。
- 传送带以恒定速度运行，小物体无初速放上，达到共同速度过程中，相对滑动距离等

于小物体对地位移，摩擦生热等于小物体获得的动能。

## 六、动量：

1. 反弹：动量变化量大小  $\Delta p = m(v_1 + v_2)$

2. “弹开”（初动量为零，分成两部分）：速度和动能都与质量成反比。

3. 一维弹性碰撞： $V_1' = \frac{(m_1 - m_2)V_1 + 2m_2V_2}{m_1 + m_2}$ ,  $V_2' = \frac{(m_2 - m_1)V_2 + 2m_1V_1}{m_1 + m_2}$

动物碰静物： $V_2=0$ ,  $V_1' = \frac{(m_1 - m_2)V_1}{m_1 + m_2}$ ,  $V_2' = \frac{2m_1V_1}{m_1 + m_2}$

质量大碰小，一起向前；小碰大，向后转；质量相等，速度交换。

碰撞中动能不会增大，反弹时被碰物体动量大小可能超过原物体的动量大小。

4.  $A$ 追上 $B$ 发生碰撞，则

(1)  $V_A > V_B$  (2)  $A$ 的动量和速度减小， $B$ 的动量和速度增大

(3) 动量守恒 (4) 动能不增加 (5)  $A$ 不穿过 $B$  ( $V_A' < V_B'$ )。

5. 碰撞的结果总是介于完全弹性与完全非弹性之间。

6. 双弹簧振子在光滑直轨道上运动，弹簧为原长时一个振子速度最大，另一个振子速度最小；弹簧最长和最短时（弹性势能最大）两振子速度一定相等。

7. 解决动力学问题的思路：

(1) 如果是瞬时问题只能用牛顿第二定律去解决。

如果是讨论一个过程，则可能存在三条解决问题的路径。

(2) 如果作用力是恒力，三条路都可以，首选功能或动量。

如果作用力是变力，只能从功能和动量去求解。

(3) 已知距离或者求距离时，首选功能。

已知时间或者求时间时，首选动量。

(4) 研究运动的传递时走动量的路。

研究能量转化和转移时走功能的路。

(5) 在复杂情况下，同时动用多种关系。

8. 滑块小车类习题：在地面光滑、没有拉力情况下，每一个子过程有两个方程：

(1) 动量守恒

(2) 能量关系。

常用到功能关系：摩擦力乘以相对滑动的距离等于摩擦产生的热，等于系统失去的动能。

## 七、振动和波：

1. 物体做简谐振动，

在平衡位置达到最大值的量有速度、动量、动能

在最大位移处达到最大值的量有回复力、加速度、势能

通过同一点有相同的位移、速率、回复力、加速度、动能、势能，只可能有不同的运动方向

经过半个周期，物体运动到对称点，速度大小相等、方向相反。

半个周期内回复力的总功为零，总冲量为  $2mv_t$

经过一个周期，物体运动到原来位置，一切参量恢复。

一个周期内回复力的总功为零，总冲量为零。

2. 波传播过程中介质质点都作受迫振动，都重复振源的振动，只是开始时刻不同。  
波源先向上运动，产生的横波波峰在前；波源先向下运动，产生的横波波谷在前。  
波的传播方式：前端波形不变，向前平移并延伸。
3. 由波的图象讨论波的传播距离、时间、周期和波速等时：注意“双向”和“多解”。
4. 波形图上，介质质点的运动方向：“上坡向下，下坡向上”
5. 波进入另一介质时，频率不变、波长和波速改变，波长与波速成正比。
6. 波发生干涉时，看不到波的移动。振动加强点和振动减弱点位置不变，互相间隔。

## 八、热学

1. 阿伏加德罗常数把宏观量和微观量联系在一起。  
宏观量和微观量间计算的过渡量：物质的量（摩尔数）。
2. 分析气体过程有两条路：一是用参量分析（ $PV/T=C$ ）、二是用能量分析（ $\Delta E=W+Q$ ）。
3. 一定质量的理想气体，内能看温度，做功看体积，吸放热综合以上两项用能量守恒分析。

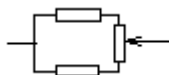
## 九、静电学：

1. 电势能的变化与电场力的功对应，电场力的功等于电势能增量的负值： $W_{\text{电}} = -\Delta E_{\text{电}}$ 。
2. 电现象中移动的是电子（负电荷），不是正电荷。
3. 粒子飞出偏转电场时“速度的反向延长线，通过电场中心”。
4. 讨论电荷在电场里移动过程中电场力的功、电势能变化相关问题的基本方法：  
定性用电力线（把电荷放在起点处，分析功的正负，标出位移方向和电场力的方向，判断电场方向、电势高低等）；  
定量计算用公式。
5. 只有电场力对质点做功时，其动能与电势能之和不变。  
只有重力和电场力对质点做功时，其机械能与电势能之和不变。
6. 电容器接在电源上，电压不变；  
断开电源时，电容器电量不变；改变两板距离，场强不变。
7. 电容器充电电流，流入正极、流出负极；  
电容器放电电流，流出正极，流入负极。

## 十、恒定电流：

1. 串联电路： $U$ 与 $R$ 成正比， $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$ 。  $P$ 与 $R$ 成正比， $P_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} P$ 。
2. 并联电路： $I$ 与 $R$ 成反比， $I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$ 。  $P$ 与 $R$ 成反比， $P_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} P$ 。
3. 总电阻估算原则：电阻串联时，大的为主；电阻并联时，小的为主。
4. 路端电压： $U = E - Ir$ ，纯电阻时 $U = \frac{R}{R+r} E$ 。
5. 并联电路中的一个电阻发生变化，电流有“此消彼长”关系：一个电阻增大，它本身的电流变小，与它并联的电阻上电流变大。：一个电阻减小，它本身的电流变大，与它并联的电阻上电流变小。
6. 外电路任一处的一个电阻增大，总电阻增大，总电流减小，路端电压增大。  
外电路任一处的一个电阻减小，总电阻减小，总电流增大，路端电压减小。

7. 画等效电路的办法：始于一点，止于一点，盯住一点，步步为营。
8. 在电路中配用分压或分流电阻时，抓电压、电流。



9. 右图中，两侧电阻相等时总电阻最大。

10. 纯电阻电路，内、外电路阻值相等时输出功率最大， $P_m = \frac{E^2}{4r}$ 。

$R_1 R_2 = r^2$  时输出功率相等。

11. 纯电阻电路的电源效率： $\eta = \frac{R}{R+r}$ 。

12. 纯电阻串联电路中，一个电阻增大时，它两端的电压也增大，而电路其它部分的电压减小；其电压增加量等于其它部分电压减小量之和的绝对值。反之，一个电阻减小时，它两端的电压也减小，而电路其它部分的电压增大；其电压减小量等于其它部分电压增大量之和。

13. 含电容电路中，电容器是断路，电容不是电路的组成部分，仅借用与之并联部分的电压。稳定时，与它串联的电阻是虚设，如导线。在电路变化时电容器有充、放电电流。

### 直流电实验：

1. 考虑电表内阻的影响时，电压表和电流表在电路中，既是电表，又是电阻。
2. 选用电压表、电流表：
  - ① 测量值不许超过量程。
  - ② 测量值越接近满偏值（表针偏转角度越大）误差越小，一般应大于满偏值的三分之一。
  - ③ 电表不得小偏角使用，偏角越小，相对误差越大。
3. 选限流用的滑动变阻器：在能把电流限制在允许范围内的前提下选用总阻值较小的变阻器调节方便。
 

选分压用的滑动变阻器：阻值小的便于调节且输出电压稳定，但耗能多。
4. 选用分压和限流电路：
  - （1）用阻值小的变阻器调节阻值大的用电器时用分压电路，调节范围才能较大。
  - （2）电压、电流要求“从零开始”的用分压。
  - （3）变阻器阻值小，限流不能保证用电器安全时用分压。
  - （4）分压和限流都可以用时，限流优先（能耗小）。
5. 伏安法测量电阻时，电流表内、外接的选择：

“内接的表的内阻产生误差”，“好表内接误差小”（ $\frac{R_X}{R_A}$  和  $\frac{R_V}{R_X}$  比值大的表“好”）。

6. 多用表的欧姆表的选档：指针越接近  $R_{\text{中}}$  误差越小，一般应在  $\frac{R_{\text{中}}}{4}$  至  $4R_{\text{中}}$  范围内。

选档、换档后，经过“调零”才能进行测量。

7. 串联电路故障分析法：断路点两端有电压，通路两端没有电压。
8. 由实验数据描点后画直线的原则：
  - （1）通过尽量多的点，
  - （2）不通过的点应靠近直线，并均匀分布在线的两侧，
  - （3）舍弃个别远离的点。

### 十一、磁场：

1. 粒子速度垂直于磁场时，做匀速圆周运动： $R = \frac{mV}{qB}$ ， $T = \frac{2\pi m}{qB}$ （周期与速率无关）。
2. 粒子径直通过正交电磁场（离子速度选择器）： $qvB=qE$ ， $v = \frac{E}{B}$ 。
3. 带电粒子作圆运动穿过匀强磁场的有关计算：

从物理方面只有一个方程： $qvB = \frac{mv^2}{R}$ ，得出  $R = \frac{mv}{qB}$  和  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ ；

解决问题必须抓几何条件：入射点和出射点两个半径的交点和夹角。

两个半径的交点即轨迹的圆心，

两个半径的夹角等于偏转角，偏转角对应粒子在磁场中运动的时间。

4. 通电线圈在匀强磁场中所受磁场力没有平动效应，只有转动效应。

磁力矩大小的表达式  $M = nBIS_{\text{有效}}$ ，平行于磁场方向的投影面积为有效面积。

5. 安培力的冲量  $I = BLq$ 。

## 十二、电磁感应：

1. 楞次定律：“阻碍”的方式是“增反、减同”

楞次定律的本质是能量守恒，发电必须付出代价，

楞次定律表现为“阻碍原因”。

2. 运用楞次定律的若干经验：

(1) 内外环电路或者同轴线圈中的电流方向：“增反减同”

(2) 导线或者线圈旁的线框在电流变化时：电流增加则相斥、远离，电流减小时相吸、靠近。

(3) “×增加”与“·减少”，感应电流方向一样，反之亦然。

(4) 单向磁场磁通量增大时，回路面积有收缩趋势，磁通量减小时，回路面积有膨胀趋势。通电螺线管外的线环则相反。

3. 楞次定律逆命题：双解，“加速向左”与“减速向右”等效。

4. 法拉第电磁感应定律求出的是平均电动势，在产生正弦交流电情况下只能用来求感生电量，不能用来算功和能量。

5. 直杆平动垂直切割磁感线时所受的安培力： $F = \frac{B^2 L^2 v}{R_{\text{总}}}$

6. 转杆（轮）发电机的电动势： $E = \frac{1}{2} BL^2 \omega$

7. 感应电流通过导线横截面的电量： $Q = \frac{n\Delta\Phi}{R_{\text{总}}} = \frac{\Delta\Phi}{R_{\text{单匝}}}$

8. 物理公式既表示物理量之间的关系，又表示相关物理单位（国际单位制）之间的关系。

## 十三、交流电：

1. 正弦交流电的产生：

中性面垂直磁场方向，线圈平面平行于磁场方向时电动势最大。

最大电动势： $E_m = nBS\omega$



$\Phi$  与  $e$  此消彼长，一个最大时，另一个为零。

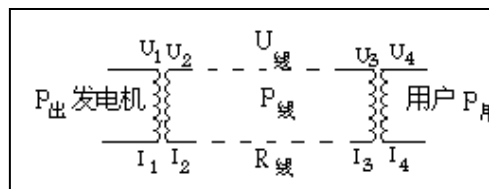
2. 以中性面为计时起点，瞬时值表达式为  $e = E_m \sin \omega t$ ；

以垂直切割时为计时起点，瞬时值表达式为  $e = E_m \cos \omega t$

3. 非正弦交流电的有效值的求法： $I^2 R T$  是一个周期内产生的总热量。

4. 理想变压器原副线之间相同的量：

$$P, \frac{U}{n}, \frac{n}{U}, T, f, \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$



5. 远距离输电计算的思维模式：

#### 十四、电磁场和电磁波：

1. 麦克斯韦预言电磁波的存在，赫兹用实验证明电磁波的存在。
2. 均匀变化的  $A$  在它周围空间产生稳定的  $B$ ，振荡的  $A$  在它周围空间产生振荡的  $B$ 。

#### 十五、光的反射和折射：

1. 光由光疏介质斜射入光密介质，光向法线靠拢。
2. 光过玻璃砖，向与界面夹角的一侧平移；  
光过棱镜，向底边偏转。
3. 光线射到球面和柱面上时，半径是法线。
4. 单色光对比的七个量：

光的颜色	偏折角	折射率	波长	频率	介质中的光速	光子能量	临界角
红色光	小	小	大	小	大	小	大
紫色光	大	大	小	大	小	大	小

#### 十六、光的本性：

1. 双缝干涉图样的“条纹宽度”（相邻明条纹中心线间的距离）： $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$ 。
2. 增透膜增透绿光，其厚度为绿光在膜中波长的四分之一。
3. 用标准样板（空气隙干涉）检查工件表面情况：条纹向窄处弯是凹，向宽处弯是凸。
4. 电磁波穿过介质面时，频率（和光的颜色）不变。
5. 光由真空进入介质： $v = \frac{c}{n}$ ， $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$
6. 反向截止电压为  $U_{反}$ ，则最大初动能  $E_{km} = eU_{反}$

#### 十七、原子物理：

1. 磁场中的衰变：外切圆是  $\alpha$  衰变，内切圆是  $\beta$  衰变，半径与电量成反比。
2.  ${}_b^a X \rightarrow {}_d^c Y$  经过几次  $\alpha$ 、 $\beta$  衰变？先用质量数求  $\alpha$  衰变次数，再由电荷数求  $\beta$  衰变次数。
3. 平衡核方程：质量数和电荷数守恒。
4.  $1u = 931.5 \text{ MeV}$ 。
5. 经核反应总质量增大时吸能，总质量减少时放能。  
衰变、裂变、聚变都是放能的核反应；仅在人工转变中有一些是吸能的核反应。
6. 氢原子任一能级上： $E = E_p + E_k$ ， $E = -E_k$ ， $E_p = -2E_k$ ，  
量子数  $n \uparrow \rightarrow E \uparrow \rightarrow E_p \uparrow \rightarrow E_k \downarrow \rightarrow V \downarrow \rightarrow T \uparrow$



## 按高考考点编制的学生实验（15 个）

实 实验一：研究匀变速直线运动

验 实验二：探究弹力和弹簧伸长的关系

与 实验三：验证力的平行四边形定则

探 实验四：验证牛顿运动定律

究 实验五：探究动能定理

实验六：验证机械能守恒定律

实验七：探究单摆的运动、用单摆测定重力加速度

实验八：验证动量守恒定律

描绘小电珠的伏安特性曲线

实验九：测定金属的电阻率（同时练习使用螺旋测微器）

实验十：描绘小电珠的伏安特性曲线

实验十一：测定电源的电动势和内阻

实验十二：练习使用多用电表

实验十三：传感器的简单使用

实验十四：测定玻璃的折射率

实验十五：用双缝干涉测光的波长

1. 要求会正确使用的仪器主要有：刻度尺、游标卡尺、螺旋测微器、天平、秒表、电火花计时器或电磁打点计时器、弹簧秤、电流表、电压表、多用电表、滑动变阻器、电阻箱等。

2. 要求认识误差问题在实验中的重要性，了解误差的概念，知道系统误差和偶然误差；知道用多次测量求平均值的方法减小偶然误差；能在某些实验中分析误差的主要来源；不要求计算误差。

3. 要求知道有效数字的概念，会用有效数字表达直接测量的结果。间接测量的有效数字运算不作要求

## 实验命题趋势分析

（一）**考情分析：**通过往年高考数据统计分析可以看出，实验专题涉及的考点主要有：常用的基本物理实验仪器、物理分组实验、重要演示实验。考查中要求学生具有独立完成实验的能力，包括理解实验原理、实验目的及要求，了解材料、用具，掌握实验方法步骤，会控制实验条件和使用实验仪器，会处理实验安全问题，会观察、分析和解释实验中产生的现象、数据，并得出合理的实验结论。要求学生能根据要求灵活运用已学过的自然科学理论、实验方法和仪器，设计简单的实验方案并处理相关的实验问题。

（二）**考向走势：**仪器的使用是实验考核的基础内容。无论是实验设计，还是原理分析，往往都涉及基本仪器的使用，所以一些基本仪器的原理、使用方法、注意事项和读数等，在近几年的高考试题中不断出现，长度和电路量的测量及相关仪器的使用是出题最频繁的知识。

近年来，高考实验题已跳出了课本分组实验的范围，不仅延伸到演示实验中，而且出现了迁移类实验、应用型实验、设计型实验，甚至还出现了“研究性学习”类实验。这类试题对考生的要求较高，要求考生能将课本中分组实验和演示实验的实验原理、实验方法迁移到新的背景中，能深刻理解物理概念和规律，并能灵活运用，还要具有较强的创新能力。

（三）**高考中涉及到的实验类型及处理思路：**创新实验题在近年来高考题中频繁出现，创新实验可分为迁移类实验、应用型实验、设计型实验、“研究性学习”类实验等类型。

1. **迁移类实验：**这类实验题具有如下特点：它们基本上都不是课本上现成的实验，但其原理、方法

以及所要求的知识均是学生所学过的，即用“学过的实验方法”、“用过的仪器”进行新的实验，以考查其基本实验能力和理解、推理、迁移的能力。

**解决这类问题的基本思路和方法是：**仔细阅读题目，理解题意，在了解所介绍的实验仪器的基本原理、使用方法的基础上，运用以前所学过的知识、使用过的仪器和做过实验的方法，进行情景迁移、联想类比，就可解决问题。

**2. 应用型实验：**这类实验题具有如下特点：它们基本上以生活、生产和现代科技中的某一实际问题为背景立意命题，且多以信息题的形式出现，要求学生能够从题给的文字、图表中捕获有效信息，运用所学的基础知识来解答。

**解决这类问题的基本思路和方法是：**在熟悉各种仪器的使用的前提下，仔细阅读题目，理解题意，从题给的文字、图表中捕获有效信息，从中找出规律，通过联想、等效、类比等思维方法建立与新情景对应的物理模型，并在旧知识与物理模型之间架设桥梁，并将旧知识迁移并运用到新情景中去，然后进行推理、计算，从而解决问题。

**3. 设计型实验：**这类实验一般要求学生根据题目提出的目的、要求和给出的器材，设计出实验方案。要求深刻理解物理概念和规律，并能灵活运用，具有较强的创新能力。能将课本中分组实验和演示实验的实验原理、实验方法迁移到新的背景中，进而设计出实验方案。

**解决这类问题的基本思路和方法是：**明确实验目的→设计实验原理→根据实验原理设计多种实验方案→对实验方案进行可行性分析，筛选确定最佳方案→根据所定方案选择实验器材→拟定实验步骤→对实验数据进行处理→得出实验结论，并进行误差分析。值得一提的是，依据不同的实验原理选择不同的实验方案时，应遵循科学性，可行性，精确性，简便、直观性这四条基本原则。

**4. “研究性学习”类实验：**这类实验题具有如下特点：以学生在开展研究性学习的活动中所遇到的问题为背景命题，要求学生根据题给条件设计某些实验方案，或给出一些仪器（或实验步骤）来求解某个物理量，或对某些设计出的实验，分析其实验数据得到规律，并对可能产生的误差进行分析。如果试题是要求设计方案，其答案往往具有开放性，侧重考查学生的发散思维能力和创新能力。如果试题是对某些设计出的实验进行数据和误差分析，则要求学生具有扎实的基础知识和实验能力。

**解决这类问题的基本思路和方法是：**在熟悉各种仪器的使用方法、基本实验原理、方法和步骤的前提下，仔细阅读题目，理解题意，根据题给要求，广泛联想，设计出合理的实验方案即可。当然，所设计出的方案应尽可能简单、方便。对于数据处理和误差分析的试题，则应根据题目所给的文字、图表等信息进行分析，找出各物理量之间的关系（定性或定量的关系）并总结出其变化规律，把握问题的本质特征。

## 实验复习对策

### 一 高中物理实验常用基础知识

#### （一）常用实验原理的设计方法

1. 控制变量法：如：在“验证牛顿第二定律的实验”中，加速度、力和质量的关系控制。在“研究单摆的周期”中，摆长、偏角和摆球质量的关系控制等等。

2. 理想化方法：用伏安法测电阻时，选择了合适的内外接方法，一般就忽略电表的非理想性。

3. 等效替代法：某些量不易测量，可以用较易测量的量替代，从而简化实验。在“验证碰撞中的动量守恒”的实验中，两球碰撞后的速度不易直接测量，在将整个平抛时间定为时间单位后，速度的测量就转化

为对水平位移的测量了。

4. 模拟法：当实验情景不易创设或根本无法创设时，可以用物理模型或数学模型等效的情景代替，尽管两个情景的本质可能根本不同。“描绘电场中的等势线”的实验就是用电流场模拟静电场。

5. 微小量放大法：微小量不易测量，勉强测量误差也较大，实验时常采用各种方法加以放大。卡文迪许测定万有引力恒量，采用光路放大了金属丝的微小扭转；在观察玻璃瓶受力后的微小形变时，使液体沿细玻璃管上升来放大瓶内液面的上升。

### （二）常见实验数据的收集方法

#### 1. 利用测量工具直接测量基本物理量

模块	基本物理量	测量仪器
力学	长度	刻度尺、游标卡尺、螺旋测微器
	时间	秒表（停表）、打点计时器
	质量（力）	天平（弹簧秤）
电学	电阻（粗测）	欧姆表、电阻箱
	电流（电压）	电流表（电压表）
热学	温度	温度计

#### 2. 常见间接测量的物理量及其测量方法

有些物理量不能由测量仪器直接测量，这时，可利用待测量和可直接测量的基本物理量之间的关系，将待测物理量的测量转化为基本物理量的测量。

模块	待测物理量	基本测量方法
力学	速度	①利用纸带， $v_m = \frac{S_n + S_{n+1}}{2T}$ ；②利用平抛， $v = x\sqrt{\frac{g}{2y}}$
	加速度	①利用纸带，逐差法 $a = \frac{\Delta S}{T^2}$ ；②利用单摆 $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$
	功	根据 $W = \Delta E_k$ 转化为测量 $m$ 、 $v$
电学	电阻（精确测量）	①根据 $R = \frac{U}{I}$ 转化为测量 $U$ 、 $I$ （伏安法）；②电阻箱（半偏、替代）
	电源电动势	根据 $E = U + Ir$ 转化为测量 $U$ 、 $I$ 然后联立方程求解或运用图像处理

### （三）常用实验误差的控制方法

为了减小由于实验数据而引起的偶然误差，常需要采用以下方法控制实验误差。

1. 多次测量求平均值，这是所有实验必须采取的办法，也是做实验应具有的基本思想。
2. 积累法。一些小量直接测量误差较大，可以累积起来测量，以减小误差。“用单摆测定重力加速度”的实验中，为了减小周期的测量误差，不是测量完成一次全振动的时间，而是测量完成 30~50 次全振动的时间。

### （四）常用实验数据的处理方法

1. 列表法：在记录和处理数据时，常将数据列成表格。数据列表可以简单而又明确的表示出有关物理量之间的关系，有助于找出物理量之间的规律性的联系。列表的要求是①写明表的标题或加上必要的说明；②必须交待清楚表中各符号所表示的物理量的意义，并写明单位；③表中的数据要正确反映测量结果的有效数字。
2. 作图法：用作图法处理实验数据是物理实验中最常用的方法之一。用作图法处理数据的优点是直观、简便，有取平均的效果，由图线的斜率、截距、所包围面积和图线的交点等可以研究物理量之间的变化及其关系，找出规律。作图的规则是：①作图一定要用坐标纸，坐标纸的大小要根据测量数据有效数字的多



少和结果的需要来定；②要标明坐标轴名、单位，在轴上每隔一定相等的间距按有效数字位数标明数值；③图上连线要是光滑曲线（或直线），连线时不一定要通过所有的数据点，而是要使数据点在线的两侧合理的分布；④在图上求直线的斜率时，要选取线上相距较远的两点，不一定要取原来的数据点；⑤作图时常设法使图线线性化，即“化曲为直”。

3. 平均值法：将测定的若干组数相加求和，然后除以测量次数，必须注意，求取平均值时应该按原来测量仪器的准确度决定保留的位数。

4. 逐差法：这就是用打点计时器打出的纸带计算加速度时用到的方法，这种方法充分利用了测量数据，具有较好的取平均的效果。

### （五）有关误差分析的问题

要求认识误差问题在实验中的重要性，了解误差的概念，知道系统误差和偶然误差；知道用多次测量求平均值的方法减小偶然误差；能在某些实验中分析误差的主要来源；不要求计算误差。要熟练掌握常见实验的误差情况及分析方法。

## 二 常用基本仪器的使用与读数

物理《考试说明》中要求学生熟练掌握的基本仪器有 13 种，除打点计时器和滑动变阻器不需要读数外，其余 11 种都涉及到读数问题。其中游标卡尺、螺旋测微器的读数问题，在历年的高考题中出现频率较高，另外像弹簧秤、欧姆表的读数问题也时有涉及，应为本专题的复习重点。凡涉及需要估读的仪器应当解决好：怎样估读、估读到哪一位数等问题，这是本专题的难点所在。

### （一）测量仪器使用常规

对于测量仪器的使用，首先要了解测量仪器的量程、精度、使用注意事项和读数方法。

1. 关于量程问题：这是保护测量仪器的一项重要参数，特别是天平、弹簧秤、温度计、电流表、电压表和多用电表等，超量程使用会损坏仪器，所以实验时要根据实验的具体情况选择量程适当的仪器。在使用电流表、电压表时，选用量程过大的仪器，采集的实验数据过小，会造成相对误差较大，应选择使测量值位于电表量程的  $\frac{1}{3}$  以上的电表；使用多用电表测电阻时，应选择适当的档位，使欧姆表的示数在电表的中值附近。

2. 关于精度问题：所选用仪器的精度直接影响着测量读数的有效数字的位数，因此应在使用前了解仪器的精度，即看清仪器的最小分度值。其中螺旋测微器和秒表的最小分度是一定的。但游标卡尺上游标尺的最小分度、天平游码标尺的最小分度、弹簧秤和温度计刻线的最小分度，都因具体的仪器情况不同而有所差异，电流表、电压表和多用电表则会因所选择的档位不同而造成最小分度值有所不同，因此在进行这些仪器的读数时，一定要看清所选的档位。

3. 使用注意事项：一般不同的仪器在使用中都有其特殊的要求，以下几点要特别注意：

(1)天平在进行测量前应先调平衡。

(2)打点计时器所用电源要求为 4~6V 的交流电源。

(3)多用电表的欧姆档每次换档后要重新调零，被测电阻要与电路断开，使用完毕要将选择开关转至交流电压最高档或“OFF”档。

(4)滑动变阻器、电阻箱和定值电阻使用过程中要考虑其允许的最大电流。滑动变阻器采用限流接法时，滑动触片开始应位于变阻器阻值最大的位置；滑动变阻器采用分压接法时，滑动触片开始应位于分压为零的位置。

(5)电阻箱开始应处于阻值最大状态，调整电阻箱的阻值时，不能由大到小发生突变，以免因为阻值过小而烧坏电阻箱。

### （二）测量仪器的读数方法

1. 需要估读的仪器：在常用的测量仪器中，刻度尺、螺旋测微器、电流表、电压表、天平、弹簧秤等读数时都需要估读。因为最终的读数要以有效数字的形式给出，而有效数字的最后一位数字为估计数字，应和误差所在位置一致，在实际操作中，究竟估读到哪一位数字，应由测量仪器的精度（即最小分度值）和实验误差要求两个因素共同决定。

根据仪器的最小分度可以分别采用  $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{5}$ 、 $\frac{1}{10}$  的估读方法，一般：

最小分度是 2 的，（包括 0.2、0.02 等），采用 1/2 估读，如安培表 0~0.6A 档；  
 最小分度是 5 的，（包括 0.5、0.05 等），采用 1/5 估读，如安培表 0~15V 档；  
 最小分度是 1 的，（包括 0.1、0.01 等），采用 1/10 估读，如刻度尺、螺旋测微器、安培表 0~3A 档、电压表 0~3V 档等，当测量精度要求不高或仪器精度不够高时，也可采用 1/2 估读。

**2. 不需要估读的测量仪器：**游标卡尺、秒表、电阻箱在读数时不需要估读；欧姆表刻度不均匀，可以不估读或按半刻度估读。

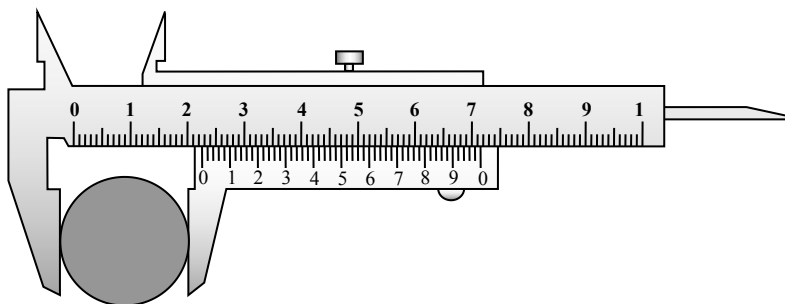
**(1) 游标卡尺的读数：**游标卡尺的读数部分由主尺(最小分度为 1mm)，和游标尺两部分组成。按照游标的精度不同可分为三种：(a) 10 分游标，其精度为 0.1mm；(b) 20 分游标，其精度为 0.05mm；(c) 50 分游标，精度为 0.02mm。游标卡尺的读数方法是：以游标零刻度线为准在主尺上读出整毫米数  $L_1$ ，再看游标尺上哪条刻度线与主尺上某刻度线对齐，由游标上读出毫米以下的小数  $L_2$ ，则总的读数为： $L_1 + L_2$ 。

**(2) 机械秒表的读数：**机械秒表的长针是秒针，转一周是 30s。因为机械表采用的齿轮传动，指针不可能停留在两小格之间；所以不能估读出比 0.1 s 更短的时间。位于秒表上部中间的小圆圈里面的短针是分针，表针走一周是 15 min，每小格为 0.5 min。秒表的读数方法是： $t = \text{短针读数}(t_1) + \text{长针读数}(t_2)$ 。

**(3) 电阻箱：**能表示出接入电阻值大小的变阻器；读数方法是：各旋钮对应的指示点的示数乘以面板上标记的倍数，它们之和就是电阻箱接入电路的阻值。使用电阻箱时要特别注意通过电阻的电流不能超过允许的最大数值。

## 游标卡尺

**(1) 10 分度的游标卡尺。**游标上相邻两个刻度间的距离为 0.9mm，比主尺上相邻两个刻度间距离小 0.1mm。读数时先从主尺上读出厘米数和毫米数，然后用游标读出 0.1 毫米位的数值：游标的第几条刻线跟主尺上某一条刻线对齐，0.1 毫米位就读几（不能读某）。其读数准确到 0.1mm。

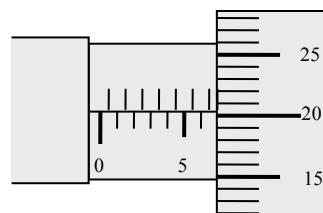


**(2) 20 分度的游标卡尺。**游标上相邻两个刻度间的距离为 0.95mm，比主尺上相邻两个刻度间距离小 0.05mm。读数时先从主尺上读出厘米数和毫米数，然后用游标读出毫米以下的数值：游标的第几条刻线跟主尺上某一条刻线对齐，毫米以下的读数就是几乘 0.05 毫米。其读数准确到 0.05mm。

**(3) 50 分度的游标卡尺。**游标上相邻两个刻度间的距离为 0.98mm，比主尺上相邻两个刻度间距离小 0.02mm。这种卡尺的刻度是特殊的，游标上的刻度值，就是毫米以下的读数。这种卡尺的读数可以准确到 0.02mm。如右图中被测圆柱体的直径为 2.250cm。

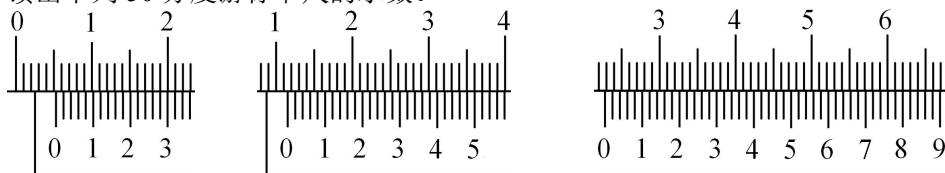
要注意：游标卡尺都是根据刻线对齐来读数的，所以都不再往下一位估读。

**螺旋测微器的读数：**固定刻度上的最小刻度为 0.5mm（在中线的上侧）；可动刻度每旋转一圈前进（或后退）0.5mm。在可动刻度的一周上平均刻有 50 条刻线，所以相邻两条刻线间代表 0.01mm。读数时，从固定刻度上读取整、半毫米数，然后从可动刻度上读取剩余部分（因为是 10 分度，所以在最小刻度后再应再估读一位），再把两部分读数相加，得测量值。右图中的读数应该是 6.702mm。



## (三) 典例分析

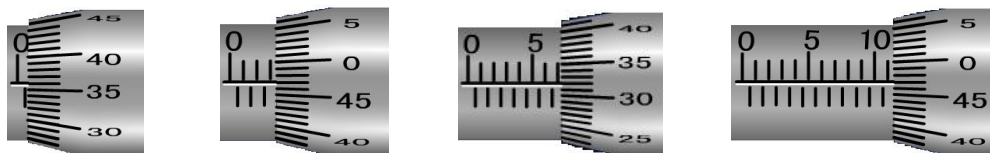
**【例题 1】**读出下列 50 分度游标卡尺的示数。



〔解析〕从左到右示数依次为：5.24mm；11.50mm；22.82mm。

**【例题 2】**试读出下列螺旋测微器的读数（工作原理及读数方法与双缝干涉测波长中的测微目镜手轮的读

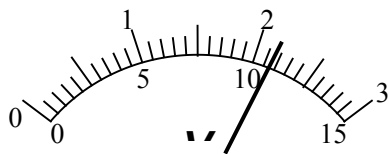
数相同)



【解析】从左到右测微目镜手轮的读书分别为：0.861mm；3.471mm；7.320mm；11.472mm

【例题 3】按照有效数字规则读出下列电表测量值。

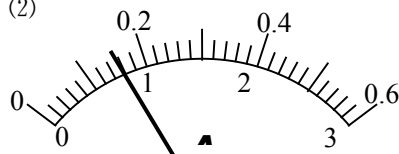
(1)



接 0~3V 量程时读数为\_\_\_\_\_V。

接 0~15V 量程时读数为\_\_\_\_\_V。

(2)



接 0~3A 量程时读数为\_\_\_\_\_A。

接 0~0.6A 量程时读数为\_\_\_\_\_A。

【解析】(1)2.17；10.8；(2)0.80；0.16

## 力学实验

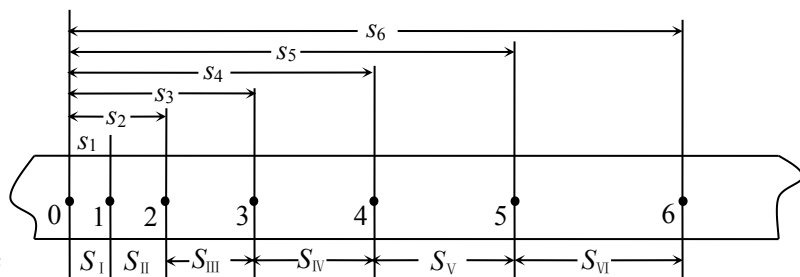
物理《考试说明》中确定的力学实验有：研究匀变速直线运动、探究弹力和弹簧伸长的关系、验证力的平行四边形定则、验证牛顿运动定律、探究动能定理、验证机械能守恒定律，探究单摆的运动，用单摆测定重力加速度。其中有四个实验与纸带的处理有关，可见力学实验部分应以纸带的处理，打点计时器的应用为核心来展开复习。近几年力学实验中与纸带处理相关的实验、力学创新实验是高考的热点内容，以分组或演示实验为背景，考查对实验方法的领悟情况、灵活运用学过的实验方法设计新的实验是高考实验题的新趋势。要求考生掌握常规实验的数据处理方法，能将课本中分组实验和演示实验的实验原理、实验方法迁移到新的背景中，深刻理解物理概念和规律，并能灵活运用，要求考生有较强的创新能力。

在复习过程中，应以掌握常规实验原理、实验方法、规范操作程序、数据处理方法等为本，同时从常规实验中，有意识的、积极的提取、积累一些有价值的方法。逐步过渡到灵活运用学过的实验方法设计新的实验。

### (一) 打点计时器系列实验中纸带的处理

1. 纸带的选取：一般实验应用点迹清晰、无漏点的纸带中选取有足够多点的一段作为实验纸带。在“验证机械能守恒定律”实验中还要求纸带包含第一、二点，并且第一、二两点距离接近 2.0mm。
2. 根据纸带上点的密集程度选取计数点。打点计时器每打  $n$  个点取一个计数点，则计数点时间间隔为  $n$  个打点时间间隔，即  $T=0.02n$  (s)。一般取  $n=5$ ，此时  $T=0.1$ s。
3. 测量计数点间距离。为了测量、计算的方便和减小偶然误差的考虑，测量距离时不要分段测量，尽可能一次测量完毕，即测量计数起点到其它各计数点的距离。如图所示，则由图可得：

$$S_I = s_1, S_{II} = s_2 - s_1, S_{III} = s_3 - s_2, S_{IV} = s_4 - s_3, S_V = s_5 - s_4, S_{VI} = s_6 - s_5$$



4. 判定物体运动的性质：



(1)若  $S_I$ 、 $S_{II}$ 、 $S_{III}$ 、 $S_{IV}$ 、 $S_V$ 、 $S_{VI}$  基本相等，则可判定物体在实验误差范围内作匀速直线运动。

(2)设  $\Delta s_1 = S_{II} - S_I$ ， $\Delta s_2 = S_{III} - S_{II}$ ， $\Delta s_3 = S_{IV} - S_{III}$ ， $\Delta s_4 = S_V - S_{IV}$ ， $\Delta s_5 = S_{VI} - S_V$

若  $\Delta s_1$ 、 $\Delta s_2$ 、 $\Delta s_3$ 、 $\Delta s_4$ 、 $\Delta s_5$  基本相等，则可判定物体在实验误差范围内作匀变速直线运动。

(3)测定第  $n$  点的瞬时速度。物体作匀变速直线运动时，在某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度。即测出第  $n$  点的相邻的前、后两段相等时间  $T$  内的距离，由平均速度公式就可求得，如上图第 4 点的瞬

时速度为：
$$v_4 = \frac{S_{IV} + S_V}{2T} = \frac{s_5 - s_3}{2T}。$$

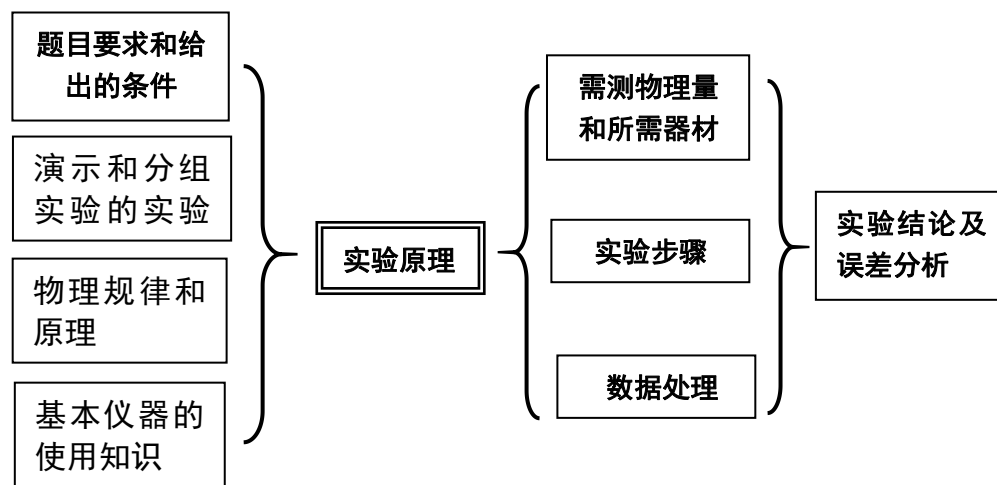
(4)测定作匀变速直线运动物体的加速度，一般用逐差法求加速度。将如上图所示的连续相等时间间隔  $T$  内

的位移  $S_I$ 、 $S_{II}$ 、 $S_{III}$ 、 $S_{IV}$ 、 $S_V$ 、 $S_{VI}$  分成两组，利用  $\Delta s = aT^2$  可得：
$$a_1 = \frac{S_{IV} - S_I}{3T^2}$$
、
$$a_2 = \frac{S_V - S_{II}}{3T^2}$$
、

$$a_3 = \frac{S_{VI} - S_{III}}{3T^2}$$
，再算出的  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  平均值，即：
$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$$
 就是所测定作匀变速直线运动物体

的加速度。若为奇数组数据则将中间一组去掉，然后再将数据分组利用逐差法求解。

## (二) 设计性实验的设计思路与典例分析



### 实验一：研究匀变速直线运动，测定匀变速直线运动的加速度（含练习使用打点计时器）

**[实验目的]** 1. 练习使用打点计时器，学习利用打上点的纸带研究物体的运动。

2. 学习用打点计时器测定即时速度和加速度。

#### **[实验原理]**

1. 打点计时器是一种使用交流电源的计时仪器，它每隔 0.02s 打一次点（由于电源频率是 50Hz），纸带上的点表示的是与纸带相连的运动物体在不同时刻的位置，研究纸带上点之间的间隔，就可以了解物体运动的情况。

2. 由纸带判断物体做匀变速直线运动的方法：如图所示，0、1、2……为时间间隔相等的各计数点， $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$ 、……为相邻两计数点间的距离，若  $\Delta s = s_2 - s_1 = s_3 - s_2 = \dots = \text{恒量}$ ，即若连续相等的时间间隔内的位移之差为恒量，则与纸带相连的物体的运动为匀变速直线运动。

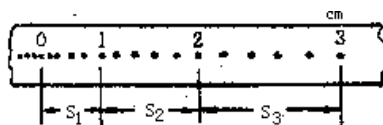
右图为打点计时器打下的纸带。选点迹清楚的一条，舍掉开始比较密集的点迹，从便于测量的地方取一个开始点  $O$ ，然后（每隔 5 个间隔点）取一个计数点  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ……。测出相邻计数点间的距离  $s_1$ 、 $s_2$ 、

$s_3 \cdots$  利用打下的纸带可以:

求任一计数点对应的即时速度  $v$ :  $v_n = \bar{v} = \frac{s_n + s_{(n+1)}}{2T}$ ; 如  $v_c = \frac{s_2 + s_3}{2T}$  (其中  $T=5 \times 0.02s=0.1s$ )

3. 由纸带求物体运动加速度的方法:

(1)利用上图中任意相邻的两段位移求  $a$ : 如  $a = \frac{s_3 - s_2}{T^2}$



(2)用“逐差法”求加速度: 即根据  $s_4 - s_1 = s_5 - s_2 = s_6 - s_3 = 3aT^2$  ( $T$  为相邻两计数点间的时间间隔) 求

$$a_1 = \frac{s_4 - s_1}{3T^2}; a_2 = \frac{s_5 - s_2}{3T^2}; a_3 = \frac{s_6 - s_3}{3T^2} \Rightarrow a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \Rightarrow a = \frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{9T^2}$$

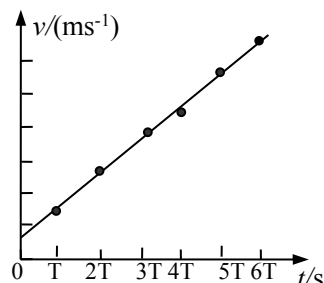
再算出  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  的平均值即为物体运动的加速度。

(3)用  $v-t$  图法: 即先根据  $v_n = \frac{s_n + s_{(n+1)}}{2T}$ ; 求出打第  $n$  点时纸带的瞬时速度, 再求出  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  各

点的即时速度, 画出如图的  $v-t$  图线, 图线的斜率即为物体运动的加速度。

#### [实验器材]

小车, 细绳, 钩码, 一端附有定滑轮的长木板, 打点计时器, 低压交流电源, 导线两根, 纸带, 米尺等。



#### [实验步骤]

1. 把一端附有定滑轮的长木板平放在实验桌上, 并使滑轮伸出桌面, 把打点计时器固定在长木板上没有滑轮的一端, 连接好电路, 如图所示。

2. 把一条细绳拴在小车上, 细绳跨过滑轮, 并在细绳的另一端挂上合适的钩码, 试放手后, 小车能在长木板上平稳地加速滑行一段距离, 把纸带穿过打点计时器, 并把它的一端固定在小车的后面。

3. 把小车停在靠近打点计时器处, 先接通电源, 再放开小车, 让小车运动, 打点计时器就在纸带上打下一系列的点, 取下纸带, 换上新纸带, 重复实验三次。

4. 选择一条比较理想的纸带, 舍掉开头的比较密集的点, 确定好计数始点  $0$ , 标明计数点, 正确使用毫米刻度尺测量两点间的距离, 用逐差法求出加速度值, 最后求其平均值。也可求出各计数点对应的速度, 作  $v-t$  图线, 求得直线的斜率即为物体运动的加速度。

#### [注意事项]

1. 纸带打完后及时断开电源。

2. 小车的加速度应适当大一些, 以能在纸带上长约  $50\text{cm}$  的范围内清楚地取  $7\sim 8$  个计数点为宜。

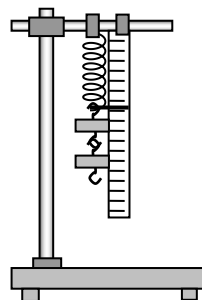
3. 应区别计时器打出的轨迹点与人为选取的计数点, 通常每隔  $4$  个轨迹点选  $1$  个计数点, 选取的计数点不少于  $6$  个 (即每隔  $5$  个时间间隔取一个计数点), 是为求加速度时便于计算。

4. 不要分段测量各段位移, 可统一量出各计数点到计数起点  $0$  之间的距离, 读数时应估读到毫米的下一位。所取的计数点要能保证至少有一位有效数字

## 实验二：探究弹力和弹簧伸长的关系

利用右图装置，改变钩码个数，测出弹簧总长度和所受拉力(钩码总重量)的多组对应值，填入表中。算出对应的弹簧的伸长量。在坐标系中描点,根据点的分布作出弹力  $F$  随伸长量  $x$  而变的图象，从而确定  $F$ - $x$  间的函数关系。解释函数表达式中常数的物理意义及其单位。

该实验要注意区分弹簧总长度和弹簧伸长量。对探索性实验，尝试判定函数关系。（这一点和验证性实验不同。）



要根据描出的点的走向，

## 实验三：验证力的平行四边形定则

### [实验目的]

实验研究合力与分力之间的关系，从而验证力的合成的平行

### [实验原理]

此实验是要用互成角度的两个力与一个力产生相同的效果（即：使橡皮条在某一方向伸长一定的长度），看其用平行四边形定则求出的合力与这一个力是否在实验误差允许范围内相等，如果在实验误差允许范围内相等，就验证了力的平行四边形定则。

### [实验器材]

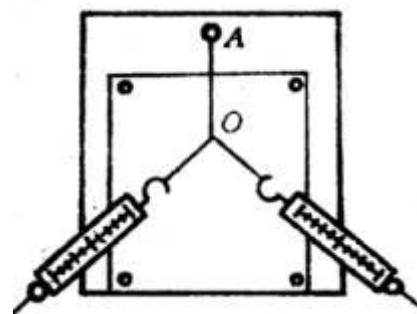
方木板一块,白纸,图钉若干,橡皮条,细绳套,弹簧秤(2 个),三角板,刻度尺,量角器,细线等。

### [实验步骤]

1. 用图钉把一张白纸钉在水平桌面上的方木板上。
2. 用图钉把橡皮条的一端固定在板上的 A 点，用两条细绳套结在橡皮条的另一端。
3. 用两个弹簧秤分别钩住两个细绳套，互成一定角度地拉橡皮条，使橡皮条伸长，结点到达某一位置 O（如图示）。
4. 用铅笔描下结点 O 的位置和两个细绳套的方向，并记录弹簧秤的读数。在白纸上按比例作出两个弹簧秤的拉力  $F_1$  和  $F_2$  的图示，利用刻度尺和三角板，根据平行四边形定则用画图法求出合力  $F$ 。
5. 只用一个弹簧秤，通过细绳套把橡皮条的结点拉到与前面相同的位置 O，记下弹簧秤的读数和细绳的方向。按同样的比例用刻度尺从 O 点起做出这个弹簧秤的拉力  $F'$  的图示。
6. 比较  $F'$  与用平行四边形定则求得的合力  $F$ ，在实验误差允许的范围内是否相等。
7. 改变两个分力  $F_1$  和  $F_2$  的大小和夹角。再重复实验两次，比较每次的  $F$  与  $F'$  是否在实验误差允许的范围内相等。

### [注意事项]

1. 用弹簧秤测拉力时，应使拉力沿弹簧秤的轴线方向，橡皮条、弹簧秤和细绳套应位于与纸面平行的同一平面内。使用的弹簧秤是否良好（是否在零刻度），拉动时尽可能不与其它部分接触产生摩擦，拉力方向应与轴线方向相同。
2. 同一次实验中，橡皮条拉长后的结点位置 O 必须保持不变。
3. 结点的位置和线方向要准确



四边形定则。

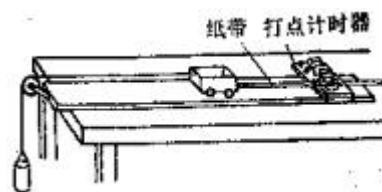
## 实验四：验证牛顿运动定律

[实验目的] 验证牛顿第二定律。

### [实验原理]

1. 如图所示装置，保持小车质量不变，改变小桶内砂的质量，从而改变细线对小车的牵引力，测出小车的对应加速度，作出加速度和力的关系图线，验证加速度是否与外力成正比。
2. 保持小桶和砂的质量不变，在小车上加減砝码，改变小车的质量，测出小车的对应加速度，作出加速度和质量倒数的关系图线，验证加速度是否与质量成反比。

### [实验器材]



小车，砝码，小桶，砂，细线，附有定滑轮的长木板，垫木，打点计时器，低压交流电源，导线两根，纸带，托盘天平及砝码，米尺等。

### [实验步骤]

1. 用天平测出小车和小桶的质量  $M$  和  $M'$ ，把数据记录下来。
2. 按如图装置把实验器材安装好，只是不把挂小桶用的细线系在小车上，即不给小车加牵引力。
3. 平衡摩擦力：在长木板的不带定滑轮的一端下面垫上垫木，反复移动垫木的位置，直至小车在斜面上可以保持匀速直线运动状态（也可以从纸带上打的点是否均匀来判断）。
4. 在小车上加放砝码，小桶里放入适量的砂，把砝码和砂的质量  $m$  和  $m'$  记录下来。把细线系在小车上并绕过滑轮悬挂小桶，接通电源，放开小车，打点计时器在纸带上打下一系列点，取下纸带，在纸带上写上编号。
5. 保持小车的质量不变，改变砂的质量（要用天平称量），按步骤 4 再做 5 次实验。
6. 算出每条纸带对应的加速度的值。
7. 用纵坐标表示加速度  $a$ ，横坐标表示作用力，即砂和桶的总重力  $(M'+m)g$ ，根据实验结果在坐标平面上描出相应的点，作图线。若图线为一条过原点的直线，就证明了研究对象质量不变时其加速度与它所受作用力成正比。
8. 保持砂和小桶的质量不变，在小车上加放砝码，重复上面的实验，并做好记录，求出相应的加速度，用纵坐标表示加速度  $a$ ，横坐标表示小车和车内砝码总质量的倒数，在坐标平面上根据实验结果描出相应的点，并作图线，若图线为一条过原点的直线，就证明了研究对象所受作用力不变时其加速度与它的质量成反比。

### [注意事项]

1. 砂和小桶的总质量不要超过小车和砝码的总质量的
2. 在平衡摩擦力时，不要悬挂小桶，但小车应连着纸带且接通电源。用手轻轻地给小车一个初速度，如果在纸带上打出的点的间隔是均匀的，表明小车受到的阻力跟它的重力沿斜面向下的分力平衡。
3. 作图时应该使所作的直线通过尽可能多的点，不在直线上的点也要尽可能对称地分布在直线的两侧，但如遇个别特别偏离的点可舍去。

加速度和力的关系 加速度和质量的关系

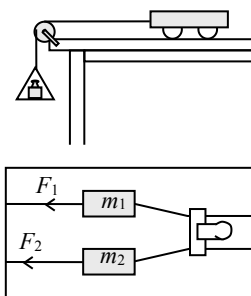
两个相同的小车并排放置在光滑水平桌面上，小车前端系上细线，线的另一端跨过定滑轮各挂一个小盘，盘里分别放有不同质量的砝码。小车所受的水平拉力  $F$  的大小可以认为等于砝码（包括砝码盘）的重力大小。小车后端  $v_n = \frac{h_{(n+1)} + h_{(n-1)}}{2T}$  也系有细线，用一只夹子夹住两根细线，控制两辆小车同时开始运动和结束运动。

由于两个小车初速度都是零，运动时间又相同， $s = \Delta at^2 \propto a$ ，只要测出两小车位移  $s$  之比就等于它们的加速度  $a$  之比。

实验结果是：当小车质量相同时， $a \propto F$ ，当拉力  $F$  相等时， $a \propto 1/m$ 。

实验中用砝码（包括砝码盘）的重力  $G$  的大小作为小车所受拉力  $F$  的大小，这样做会引起什么样的系统误差？怎样减小这个系统误差？

**注意：**为了消除摩擦力对小车运动的影响，必须将木板无滑轮的一端稍微垫高一些，用重力的分力来抵消摩擦力，直到小车不挂重物时能匀速运动为止。当挂上重物时，只要重物的质量远小于小车的质量，那么可近似的认为重物所受的重力大小等于小车所受的合外力的大小。将小车从某一位置释放，小车在绳子的拉力作用下做匀加速直线运动。利用纸带上打出的点便可算出小车的加速度。



## 实验五：探究动能定理

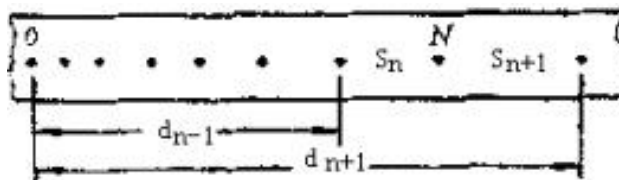
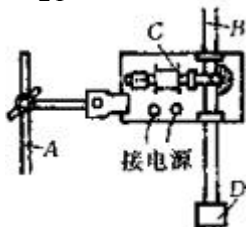
## 实验六：验证机械能守恒定律

**[实验目的]** 验证机械能守恒定律。

**[实验原理]**

当物体自由下落时，只有重力做功，物体的重力势能和动能互相转化，机械能守恒。若某一时刻物体下落的瞬时速度为  $v$ ，下落高度为  $h$ ，则应有： $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ，借助打点计时器，测出重物某时刻的下落高度  $h$  和该时刻的瞬时速度  $v$ ，即可验证机械能是否守恒，实验装置如图所示。

测定第  $n$  点的瞬时速度的方法是：测出第  $n$  点的相邻前、后两段相等时间  $T$  内下落的距离  $s_n$  和  $s_{n+1}$ ，由公式  $v_n = \frac{h_{(n+1)} + h_{(n-1)}}{2T}$  式算出，如图所示。



**[实验器材]**

铁架台（带铁夹），打点计时器，学生电源，导线，带铁夹的重锤，纸带，米尺。

**[实验步骤]**

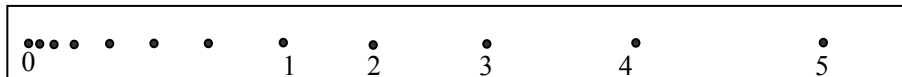
1. 按如图装置把打点计时器安装在铁架台上，用导线把打点计时器与学生电源连接好。
2. 把纸带的一端在重锤上用夹子固定好，另一端穿过计时器限位孔，用手竖直提起纸带使重锤停靠在打点计时器附近。
3. 接通电源，松开纸带，让重锤自由下落。
4. 重复几次，得到 3~5 条打好点的纸带。
5. 在打好点的纸带中挑选第一、二两点间的距离接近 2mm，且点迹清晰一条纸带，在起始点标上 0，以后各依次标上 1, 2, 3.....，用刻度尺测出对应下落高度  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ .....。
6. 应用公式计算各点对应的即时速度  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ .....。
7. 计算各点对应的势能减少量  $mgh_n$  和动能的增加量  $\frac{1}{2}mv_n^2$ ，进行比较。

实验验证步骤：(1)要多做几次实验，选点迹清楚，且第一、二两点间距离接近 2mm 的纸带进行测量。

(2)用刻度尺量出从 0 点到 1、2、3、4、5 各点的距离  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$ 、 $h_5$ ，

利用“匀变速直线运动中间时刻的即时速度等于该段位移内的平均速度”，

算出 2、3、4 各点对应的即时速度  $v_2$ 、 $v_3$ 、 $v_4$ ，验证与 2、3、4 各点对应的重力势能减少量  $mgh$  和动能增加量  $\frac{1}{2}mv^2$  是否相等。



(3)由于摩擦和空气阻力的影响，本实验的系统误差总是使  $mgh > \frac{1}{2}mv^2$

(4)本实验不需要在打下的点中取计数点。也不需要测重物的质量。

**[注意事项]**

1. 打点计时器安装时，必须使两纸带限位孔在同一竖直线上，以减小摩擦阻力。
2. 保证打出的第一个点是清晰的点，选用纸带时应尽量挑第一、二点间距接近 2mm 的纸带。
3. 因不需要知道动能和势能的具体数值，所以不需要测量重物的质量。
4. 先通电源，待打点计时器正常工作后才放纸带
5. 测量下落高度必须从起点开始算
6. 由于有阻力，所以  $\Delta E_K$  稍小于  $\Delta E_P$



7. 此实验不用测物体的质量（无须天平）

验证自由下落过程中机械能守恒，图示纸带的左端是用夹子夹重物的一端。

### 实验七：探究单摆的运动、用单摆测定重力加速度；用单摆测定重力加速度

**[实验目的]**：利用单摆测定当地的重力加速度。

**[实验原理]**：单摆在摆角小于  $5^\circ$  时的振动是简谐运动，其固有周期为  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ，由此可得  $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 。据此，

只要测出摆长  $l$  和周期  $T$ ，即可计算出当地的重力加速度值。

**[实验器材]**

铁架台(带铁夹)，中心有孔的金属小球,约 1m 长的细线,米尺,游标卡尺(选用)，秒表等。

**[实验步骤]**

1. 在细线的一端打一个比小球上的孔径稍大些的结,将细线穿过球上的小孔，制成一个单摆。

2. 将铁夹固定在铁架台的上端，铁架台放在实验桌边，使铁夹伸到桌面以外，把做好的单摆固定在铁夹上，使摆球自由下垂。

3. 测量单摆的摆长  $l$ ：用游标卡尺测出摆球直径  $2r$ ，再用米尺测出从悬点至小球上端的悬线长  $l'$ ，则摆长  $l=l'+r$ 。

4. 把单摆从平衡位置拉开一个小角度(不大于  $5^\circ$ )，使单摆在竖直平面内摆动,用秒表测量单摆完成全振动 30 至 50 次所用的时间,求出完成一次全振动所用的平均时间，这就是单摆的周期  $T$ 。

5. 将测出的摆长  $l$  和周期  $T$  代入公式  $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$  求出重力加速度  $g$  的值。

6. 变更摆长重做两次，并求出三次所得的  $g$  的平均值。

**[注意事项]**

1. 选择细绳时应选择细、轻又不易伸长的线，长度一般在 1m 左右，小球应选用密度较大的金属球，直径应较小，最好不超过 2cm。

2. 单摆悬线的上端不可随意卷在铁夹的杆上，应夹紧在铁夹中，以免摆动时发生摆长改变、摆线下滑的现象。

3. 注意摆动时控制摆线偏离竖直方向不超过  $5^\circ$ ，可通过估算振幅的办法掌握。

4. 摆球摆动时，要使之保持在同一个竖直平面内，不要形成圆锥摆。

5. 计算单摆的振动次数时，应以摆球通过最低位置时开始计时，以后摆球从同一方向通过最低位置时，进行计数，且在数“零”的同时按下秒表，开始计计数。

由于  $g$ ：可以与各种运动相结合考查

本实验用到刻度尺、卡尺、秒表的读数（生物表脉搏），1 米长的单摆称秒摆，周期为 2 秒

摆长的测量：让单摆自由下垂，用米尺量出摆线长  $L'$ （读到 0.1mm），用游标卡尺量出摆球直径（读到 0.1mm）算出半径  $r$ ，则摆长  $L=L'+r$

开始摆动时需注意：摆角要小于  $5^\circ$ （保证做简谐运动）；

摆动时悬点要固定，不要使摆动成为圆锥摆。

必须从摆球通过最低点（平衡位置）时开始计时(倒数法)，

测出单摆做 30 至 50 次全振动所用的时间，算出周期的平均值  $T$ 。

改变摆长重做几次实验，计算每次实验得到的重力加速度，再求这些重力加速度的平均值。

若没有足够长的刻度尺测摆长，可否靠改变摆长的方法求得加速度

### 实验八：验证动量守恒定律

**[实验目的]**：研究在弹性碰撞的过程中，相互作用的物体系统动量守恒。

**[实验原理]**

一个质量较大的小球从斜槽滚下来，跟放在斜槽前边小支柱上另一质量较小的球发生碰撞后两小球都做平抛运动。由于两小球下落的高度相同，所以它们的飞行时间相等，这样如果用小球的飞行时间作时间单位，那么小球飞出的水平距离在数值上就等于它的水平速度。因此，只要分别测出两小球的质量  $m_1$ 、 $m_2$ ，和不放被碰

小球时入射小球在空中飞出的水平距离  $s_1$ ，以及入射小球与被碰小球碰撞后在空中飞出的水平距离  $s_1'$  和  $s_2'$ ，若  $m_1 s_1$  在实验误差允许范围内与  $m_1 s_1' + m_2 s_2'$  相等，就验证了两小球碰撞前后总动量守恒。

### [实验器材]

碰撞实验器（斜槽、重锤线），两个半径相等而质量不等的小球；白纸；复写纸；  
天平和砝码；刻度尺，游标卡尺（选用），圆规等。

### [实验步骤]

1. 用天平测出两个小球的质量  $m_1$ 、 $m_2$ 。
2. 安装好实验装置，将斜槽固定在桌边，并使斜槽末端点的切线水平。
3. 在水平地上铺一张白纸，白纸上铺放复写纸。
4. 在白纸上记下重锤线所指的位置  $O$ ，它表示入射球  $m_1$  碰前的位置。
5. 先不放被碰小球，让入射球从斜槽上同一高度处由静止开始滚下，重复 10 次，用圆规作尽可能小的圆把所有的小球落点圈在里面，圆心就是入射球不碰时的落地点的平均位置  $P$ 。
6. 把被碰球放在小支柱上，调节装置使两小球相碰时处于同一水平高度，确保入射球运动到轨道出口端时恰好与被碰球接触而发生正碰。
7. 再让入射小球从同一高度处由静止开始滚下，使两球发生正碰，重复 10 次，仿步骤（5）求出入射小球的落点的平均位置  $M$  和被碰小球落点的平均位置  $N$ 。
8. 过  $O$ 、 $N$  作一直线，取  $OO' = 2r$ （可用游标卡尺测出一个小球的直径，也可用刻度尺测出紧靠在一起的两小球球心间的距离）， $O'$  就是被碰小球碰撞时的球心竖直投影位置。
9. 用刻度尺量出线段  $OM$ 、 $OP$ 、 $O'N$  的长度。

10. 分别算出  $m_1 \cdot \overline{OP}$  与  $m_1 \cdot \overline{OM} + m_2 \cdot \overline{O'N}$  的值，看  $m_1 \cdot \overline{OP}$  与  $m_1 \cdot \overline{OM} + m_2 \cdot \overline{O'N}$  在实验误差允许的范围内是否相等。

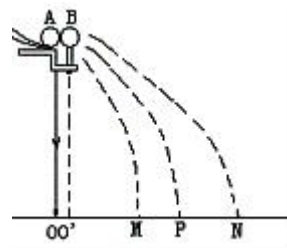
### [注意事项]

1. 应使入射小球的质量大于被碰小球的质量。
2. 要调节好实验装置，使固定在桌边的斜槽末端点的切线水平，小支柱与槽口间距离使其等于小球直径，而且两球相碰时处在同一高度，碰撞后的速度方向在同一直线上。
3. 每次入射小球从槽上相同位置由静止滚下，可在斜槽上适当高度处固定一挡板，使小球靠着挡板，然后释放小球。
4. 白纸铺好后不能移动。

由于  $v_1$ 、 $v_1'$ 、 $v_2$  均为水平方向，且它们的竖直下落高度都相等，所以它们飞行时间相等，若以该时间为时间单位，那么小球的水平射程的数值就等于它们的水平速度。在右图中分别用  $OP$ 、 $OM$  和  $O'N$  表示。因此只需验证： $m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot (O'N - 2r)$  即可。

### 注意事项：

- (1) 必须以质量较大的小球作为入射小球（保证碰撞后两小球都向前运动）。要知道为什么？
- (2) 入射小球每次应从斜槽上的同一位置由静止开始下滑
- (3) 小球落地点的平均位置要用圆规来确定：用尽可能小的圆把所有落点都圈在里面，圆心就是落点的平均位置。
- (4) 所用的仪器有：天平、刻度尺、游标卡尺（测小球直径）、碰撞实验器、复写纸、白纸、重锤、两个直径相同质量不同的小球、圆规。
- (5) 若被碰小球放在斜槽末端，而不用支柱，那么两小球将不再同时落地，但两个小球都将从斜槽末端开始做平抛运动，于是验证式就变为： $m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$ ，两个小球的直径也不需测量了。



电学实验是高考实验考查的重点、热点内容。试题注重联系实验操作的考查，如测量仪器的读数问题、实验线路的连线问题、电表和其他用电器的选择问题都是实验操作的仿真模拟，需要考生具备良好的动手实践经验。试题还注重实验数据的处理分析，如根据实验数据画出图线，根据图线分析得出结论。“设计和完成实验的能力”在理科综合《考试说明》中指出的五个考试目标之一。是近几年高考物理实验题的命题趋向。

完整的设计一个实验，要经历多个环节，在实际考查中，一般不会考查全部环节，而是只考查其中的几个环节，有的题目给出条件和实验器材，要求阐述实验原理；有的给出实验电路图，要求领会实验原理，确定需测物理量及计算公式；有的则要求考生根据操作步骤及测定的物理量判断出实验原理……虽然考查方式不尽相同，但目前高考中几乎所有的设计型实验题都有一个共同点，都以不同方式或多或少的对实验原理作一定的提示，在给出实验器材的前提下进行考查。

由于考查环节和要求的不同，题型也不尽相同，但较多的是选择、填空、作图题。

在复习过程中，应对所学电学实验逐个理解实验原理、实验方法，比较不同实验的异同（如电路图、滑动变阻器和电表的连接）。不断充实自己的经验和方法，逐步达到能灵活运用已学知识解答新的问题。对于设计型实验题目要明确实验设计的关键在于实验原理的设计，它是进行实验的依据和起点，它决定了应选用（或还需）哪些实验器材，应测量哪些物理量，如何编排实验步骤。而实验原理的设计又往往依赖于所提供的实验器材（条件）和实验要求，它们相辅相成，互为条件。

### （一）电学实验中所用到的基本知识

在近年的电学实验中，电阻的测量（包括变形如电表内阻的测量）、测电源的电动势与内电阻是考查频率较高的实验。它们所用到的原理公式为： $R = \frac{U}{I}$ ， $E = U + Ir$ 。由此可见，对于电路中电压  $U$  及电流  $I$  的测量是实验的关键所在，但这两个量的直接测量和间接测量的方法却多种多样，在此往往也是高考试题的着力点之处。因此复习中应熟练掌握基本实验知识及方法，做到以不变应万变。

**1. 电路设计原则：**正确地选择仪器和设计电路的问题，有一定的灵活性，解决时应掌握和遵循一些基本的原则，即“安全性”、“方便性”、“精确性”原则，兼顾“误差小”、“仪器少”、“耗电少”等各方面因素综合考虑，灵活运用。

(1)正确性：实验原理所依据的原理应当符合物理学的基本原理。

(2)安全性：实验方案的实施要安全可靠，实施过程中不对仪器及人身造成危害。要注意到各种电表均有量程、电阻均有最大允许电流和最大功率，电源也有最大允许电流，不能烧坏仪器。

(3)方便性：实验应当便于操作，便于读数，便于进行数据处理。

(4)精确性：在实验方案、仪器、仪器量程的选择上，应使实验误差尽可能的小。

### 2. 电学实验仪器的选择：

(1)根据不使电表受损和尽量减少误差的原则选择电表。首先保证流过电流表的电流和加在电压表上的电压均不超过使用量程，然后合理选择量程，务必使指针有较大偏转（一般要大于满偏度的  $\frac{1}{3}$ ），以减少测读误差。

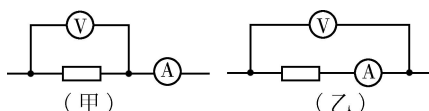
(2)根据电路中可能出现的电流或电压范围选择滑动变阻器，注意流过滑动变阻器的电流不超过它的额定值，对大阻值的变阻器，如果是滑动头稍有移动，使电流、电压有很大变化的，不宜采用。



(3)应根据实验的基本要求来选择仪器,对于这种情况,只有熟悉实验原理,才能作出恰当的选择。总之,最优选择的原则是:方法误差尽可能小;间接测定值尽可能有较多的有效数字位数,直接测定值的测量误差尽可能小,且不超过仪表的量程;实现较大范围的灵敏调节;在大功率装置(电路)中尽可能节省能量;在小功率电路里,在不超过用电器额定值的前提下,适当提高电流、电压值,以提高测试的准确度。

### 3. 测量电路的选择

(1)电流表的内、外接问题:(甲)所示电路为电流表外接电路(简称外接法);(乙)所示电路为电流表内接电路(简称内接法)。两种接法的选择可按下列方法进行:



方法一:设电流表、电压表内阻分别为  $R_A$ 、 $R_V$ , 被测电阻为  $R_x$ , 则

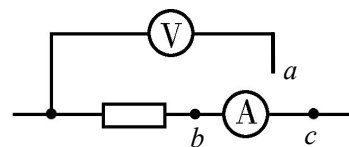
当  $R_x < \sqrt{R_A R_V}$  时,电压表分流作用小,应选用外接法

当  $R_x > \sqrt{R_A R_V}$  时,电流表分压作用小,应选用内接法

当  $R_x = \sqrt{R_A R_V}$  时,电流表分压作用和电压表分流作用相差不大,两种方法均可。

方法二:在  $R_V$ 、 $R_A$  均不知的情况下,可采用试触法。如图所示,

分别将  $a$  端与  $b$ 、 $c$  接触,如果前后两次电流表示数比电压表示数变化明显,说明电压表分流作用大,应采用内接法;如果前后两次电压表示数比电流表示数变化明显,说明电流表分压作用大,应采用外接法。

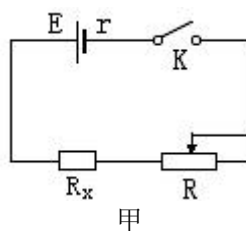


(2)滑动变阻器的分压、限流接法:

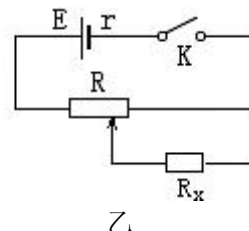
为了改变测量电路(待测电阻)两端的电压(或通过测量电路的电流),常使滑动变阻器与电源连接作为控制电路,滑动变阻器在电路中主要有两种连接方式:如图(甲)为滑动变阻器的限流式接法,  $R_x$  为

待测电阻。它的接线方式是电源、滑动变阻器与待测电阻三者串联。对待测电阻供电电压的最大调节

范围是:  $\frac{ER_x}{R + R_x} \sim E$  ( $R_x$  是待测电阻,  $R$  是滑动变



甲



乙

阻器的总电阻,不计电源内阻)。如图(乙)是滑动变阻器的分压式接法。接线方式是电源与滑动变阻器组成闭合电路,而被测电路与滑动变阻器的一部分电阻并联,该接法对待测电阻供电电压的调节范围是:

$0 \sim E$  (不计电源内阻时)。

**选取接法的原则:**

①要求负载上电压或电流变化范围大,且从零开始连续可调,须用分压式接法。

②负载电阻  $R_x$  远大于滑动变阻器总电阻  $R$  时,须用分压式接法,此时若采用限流式接法对电路基本起不到调节作用。

③采用限流电路时,电路中的最小电流(电压)仍超过电流表的量程或超过用电器的额定电流(电压)时,应采用变阻器的分压式接法。

④负载电阻的阻值  $R_x$  小于滑动变阻器的总电阻  $R$  或相差不大,并且电压表、电流表示数变化不要求

从零开始起调，可用限流式接法。

⑤两种电路均可使用时应优先用限流式接法，因为限流电路结构简单，总功率较小。

**滑动变阻器的粗调和微调作用：**

①在限流电路中，全电阻较大的变阻器起粗调作用，全电阻较小的变阻器起微调作用。

②在分压电路中，全电阻较小的变阻器起粗调作用，全电阻较大的变阻器起微调作用。

**4. 实物图的连接：**实物图连线应掌握基本方法和注意事项。

(1)注意事项：

①连接电表应注意量程选用正确，正、负接线柱不要接错。

②各导线都应接在接线柱上，不应在导线中间出现分叉。

③对于滑动变阻器的连接，要搞清楚接入电路的是哪一部分电阻，在接线时要特别注意不能将线接到滑动触头上。

(2)基本方法：

①画出实验电路图。

②分析各元件连接方式，明确电流表与电压表的量程。

③画线连接各元件。(用铅笔画线，以便改错)连线方式应是单线连接，连线顺序应先画串联电路，再画并联电路。

一般先从电源正极开始，到电键，再到滑动变阻器等。按顺序以单线连接方式将干路中要串联的元件依次串联起来；然后连接支路将要并联的元件再并联到电路中去。连接完毕，应进行检查，检查电路也应按照连线的方法和顺序。

## (二) 定值电阻的测量方法

**1. 欧姆表测量：**最直接测电阻的仪表。但是一般用欧姆表测量只能进行粗测，为下一步的测量提供一个参考依据。用欧姆表可以测量白炽灯泡的冷电阻。

**2. 替代法：**替代法的测量思路是等效的思想，可以是利用电流等效、也可以是利用电压等效。替代法测量电阻精度高，不需要计算，方法简单，但必须有可调的标准电阻（一般给定的仪器中要有电阻箱）。

## 实验九：测定金属的电阻率（同时练习使用螺旋测微器）

**[实验目的]：**用伏安法间接测定某种金属导体的电阻率；练习使用螺旋测微器。

**[实验原理]：**根据电阻定律公式  $R = \rho \frac{l}{S}$ ，只要测量出金属导线的长度  $l$  和它的直径  $d$ ，计算出导线的横截面积  $S$ ，并用伏安法测出金属导线的电阻  $R$ ，即可计算出金属导线的电阻率。

**[实验器材]：**被测金属导线，直流电源（4V），电流表（0-0.6A），电压表（0-3V），滑动变阻器（50Ω），电键，导线若干，螺旋测微器，米尺等。

**[实验步骤]**

1. 用螺旋测微器在被测金属导线上的三个不同位置各测一次直径，求出其平均值  $d$ ，计算出导线的横截面积  $S$ 。

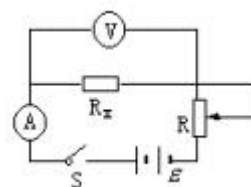
2. 按如图所示的原理电路图连接好用伏安法测电阻的实验电路。

3. 用毫米刻度尺测量接入电路中的被测金属导线的有效长度，反复测量 3 次，求出其平均值  $l$ 。

4. 把滑动变阻器的滑动片调节到使接入电路中的电阻值最大的位置，电路经检查确认无误后，闭合电键  $S$ 。改变滑动变阻器滑动片的位置，读出几组相应的电流表、电压表的示数  $I$  和  $U$  的值，断开电键  $S$ ，求出导线电阻  $R$  的平均值。

5. 将测得的  $R$ 、 $l$ 、 $d$  值，代入电阻率计算公式  $\rho = \frac{RS}{l} = \frac{\pi d^2 U}{4lI}$  中，计算出金属导线的电阻率。

6. 拆去实验线路，整理好实验器材。



### [注意事项]

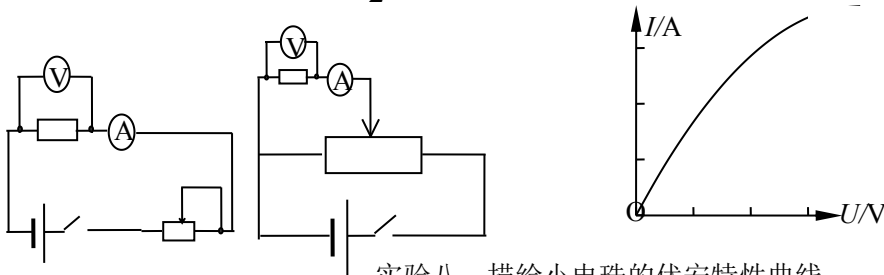
1. 测量被测金属导线的有效长度，是指测量待测导线接入电路的两个端点之间的长度，亦即电压表两接入点间的部分待测导线长度，测量时应将导线拉直。
2. 本实验中被测金属导线的电阻值较小，因此实验电路必须采用电流表外接法。
3. 实验连线时，应先从电源的正极出发，依次将电源、电键、电流表、待测金属导线、滑动变阻器连成主干线路（闭合电路），然后再把电压表并联在待测金属导线的两端。
4. 闭合电键 S 之前，一定要使滑动变阻器的滑动片处在有效电阻值最大的位置。
5. 在用伏安法测电阻时，通过待测导线的电流强度 I 的值不宜过大（电流表用 0~0.6A 量程），通电时间不宜过长，以免金属导线的温度明显升高，造成其电阻率在实验过程中变化。

被测电阻丝的电阻(一般为几欧)较小，所以选用电流表外接法;可确定电源电压、电流表、电压表量程均不宜太大。本实验不要求电压调节范围，可选用限流电路。因此选用下面左图的电路。开始时滑动变阻器的滑动触头应该在右端。本实验通过的电流不宜太大，通电时间不能太长，以免电阻丝发热后电阻率发生明显变化。

### 实验步骤：

- 1、用刻度尺测出金属丝长度
- 2、螺旋测微器测出直径(也可用积累法测)，并算出横截面积。
- 3、用外接、限流测出金属丝电阻
- 4、设计实验表格计录数据（难点）注意多次测量求平均值的方法

原理： 
$$\frac{U}{I} = R = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{L}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2} \Rightarrow \rho = \frac{U \pi D^2}{4 I L}$$



实验八：描绘小电珠的伏安特性曲线

器材：电源(4-6v)、直流电压表、直流电流表、滑动变阻器、小灯泡(4v,0.6A 3.8V,0.3A)灯座、单刀开关，导线若干

### 注意事项：

- ①因为小电珠（即小灯泡）的电阻较小（10Ω左右）所以应该选用安培表外接法。
- ②小灯泡的电阻会随着电压的升高，灯丝温度的升高而增大，且在低电压时温度随电压变化比较明显,因此在低电压区域内,电压电流应多取几组,所以得出的  $U-I$  曲线不是直线。  
为了反映这一变化过程，
- ③灯泡两端的电压应该由零逐渐增大到额定电压(电压变化范围大)。所以滑动变阻器必须选用调压接法。  
在上面实物图中应该选用上面右面的那个图，
- ④开始时滑动触头应该位于最小分压端（使小灯泡两端的电压为零）。  
由实验数据作出的  $I-U$  曲线如图，
- ⑤说明灯丝的电阻随温度升高而增大，也就说明金属电阻率随温度升高而增大。  
（若用  $U-I$  曲线，则曲线的弯曲方向相反。）
- ⑥若选用的是标有“3.8V 0.3A”的小灯泡，电流表应选用 0-0.6A 量程；电压表开始时应选用 0-3V 量程，当电压调到接近 3V 时，再改用 0-15V 量程。

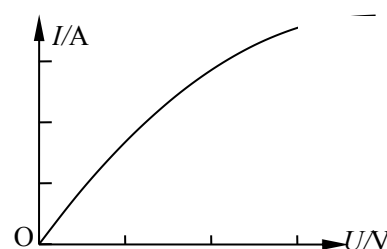
### 实验十：描绘小灯泡的伏安特性曲线

因为小电珠（即小灯泡）的电阻较小（10Ω左右）所以应该选用安培表外接法。

小灯泡的电阻会随着电压的升高，灯丝温度的升高而增大，所以  $U-I$  曲线不是直线。为了反映这一变化过程，灯泡两端的电压应该由零逐渐增大到额定电压。所以滑动变阻器必须选用分压接法。在上面实物图中应该选用右面的那个图，开始时滑动触头应该位于左端（使小灯泡两端的电压为零）。

由实验数据作出的  $I-U$  曲线如右，说明灯丝的电阻随温度升高而增大，也就说明金属电阻率随温度升高而增大。（若用  $U-I$  曲线，则曲线的弯曲方向相反。）

若选用的是标有“3.8V 0.3A”的小灯泡，电流表应选用 0-0.6A 量程；电压表开始时应选用 0-3V 量程，当电压调到接近 3V 时，再改用 0-15V 量程。



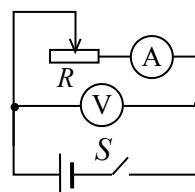
### 实验十一：测定电源的电动势和内阻，（用电流表和电压表测）

**[实验目的]：**测定电池的电动势和内电阻。

**[实验原理]**

如图所示，改变  $R$  的阻值，从电压表和电流表中读出几组  $I$ 、 $U$  值，利用闭合电路的欧姆定律求出几组  $\mathcal{E}$ 、 $r$  值，最后分别算出它们的平均值。

此外，还可以用作图法来处理数据。即在坐标纸上以  $I$  为横坐标， $U$  为纵坐标，用测出的几组  $I$ 、 $U$  值画出  $U-I$  图象（如图 2）所得直线跟纵轴的交点即为电动势值，图线斜率的绝对值即为内电阻  $r$  的值。



**[实验器材]**

待测电池，电压表（0—3V），电流表（0—0.6A），滑动变阻器（10Ω），电键，导线。

**[实验步骤]**

1. 电流表用 0.6A 量程，电压表用 3V 量程，按电路图连接好电路。
2. 把变阻器的滑动片移到一端使阻值最大。
3. 闭合电键，调节变阻器，使电流表有明显示数，记录一组数据（ $I_1$ 、 $U_1$ ），用同样方法测量几组  $I$ 、 $U$  的值。
4. 打开电键，整理好器材。
5. 处理数据，用公式法和作图法两种方法求出电动势和内电阻的值。

**[注意事项]**

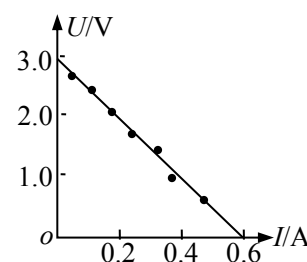
1. 为了使电池的路端电压变化明显，电池的内阻宜大些，可选用已使用过一段时间的 1 号干电池。
2. 干电池在大电流放电时，电动势  $\mathcal{E}$  会明显下降，内阻  $r$  会明显增大，故长时间放电不宜超过 0.3A，短时间放电不宜超过 0.5A。因此，实验中不要将  $I$  调得过大，读电表要快，每次读完立即断电。
3. 要测出不少于 6 组  $I$ 、 $U$  数据，且变化范围要大些，用方程组求解时，要将测出的  $I$ 、 $U$  数据中，第 1 和第 4 为一组，第 2 和第 5 为一组，第 3 和第 6 为一组，分别解出  $\mathcal{E}$ 、 $r$  值再平均。
4. 在画  $U-I$  图线时，要使较多的点落在这条直线上或使各点均匀分布在直线的两侧。个别偏离直线太远的点可舍去不予考虑。这样，就可使偶然误差得到部分的抵消，从而提高精确度。

5. 干电池内阻较小时路端电压  $U$  的变化也较小，即不会比电动势小很多，这时，在画  $U-I$  图线时，纵轴的刻度可以不从零开始，而是根据测得的数据从某一恰当值开始（横坐标  $I$  必须从零开始）。但这时图线和横轴的交点不再是短路电流。不过直线斜率的绝对值照样还是电源的内阻。

外电路断开时，用电压表测得的电压  $U$  为电动势  $\mathcal{E}$   $U = \mathcal{E}$

原理：根据闭合电路欧姆定律： $\mathcal{E} = U + Ir$ ，

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= u_1 + I_1 r \\ \mathcal{E} &= u_2 + I_2 r \end{aligned} \quad \mathcal{E} = \frac{I_1 u_2 - I_2 u_1}{I_1 - I_2} \quad r = \frac{u_2 - u_1}{I_1 - I_2}$$





(一个电流表及一个电压表和一个滑动变阻器)

①单一组数据计算，误差较大

②应该测出多组( $u$ ,  $I$ )值，最后算出平均值

③作图法处理数据，( $u$ ,  $I$ )值列表，在  $u$ - $I$  图中描点，最后由  $u$ - $I$  图线求出较精确的  $E$  和  $r$ 。

本实验电路中电压表的示数是准确的，电流表的示数比通过电源的实际电流小，所以本实验的系统误差是由电压表的分流引起的。为了减小这个系统误差，电阻  $R$  的取值应该小一些，所选用的电压表的内阻应该大一些。

为了减小偶然误差，要多做几次实验，多取几组数据，然后利用  $U$ - $I$  图象处理实验数据：

将点描好后，用直尺画一条直线，使尽量多的点在这条直线上，而且在直线两侧的点数大致相等。这条直线代表的  $U$ - $I$  关系的误差是很小的。

它在  $U$  轴上的截距就是电动势  $E$  (对应的  $I=0$ )，它的斜率的绝对值就是内阻  $r$ 。

(特别要注意：有时纵坐标的起始点不是 0，求内阻的一般式应该是  $r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ 。

为了使电池的路端电压变化明显，电池的内阻宜大些(选用使用过一段时间的 1 号电池)

## 补充实验：1. 伏安法测电阻

伏安法测电阻有  $a$ 、 $b$  两种接法， $a$  叫(安培计)外接法， $b$  叫(安培计)内接法。

①估计被测电阻的阻值大小来判断内外接法：

外接法的系统误差是由电压表的分流引起的，测量值总小于真实值，小电阻应采用外接法；内接法的系统误差是由电流表的分压引起的，测量值总大于真实值，大电阻应采用内接法。

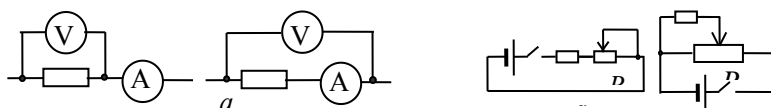
②如果无法估计被测电阻的阻值大小，可以利用试触法：

如图将电压表的左端接  $a$  点，而将右端第一次接  $b$  点，第二次接  $c$  点，观察电流表和电压表的变化，

若电流表读数变化大，说明被测电阻是大电阻，应该用内接法测量；

若电压表读数变化大，说明被测电阻是小电阻，应该用外接法测量。

(这里所说的变化大，是指相对变化，即  $\Delta I/I$  和  $\Delta U/U$ )。



(1) 滑动变阻器的连接

滑动变阻器在电路中也有  $a$ 、 $b$  两种常用的接法： $a$  叫限流接法， $b$  叫分压接法。

**分压接法：**被测电阻上电压的调节范围大。

当要求电压从零开始调节，或要求电压调节范围尽量大时应该用分压接法。

用分压接法时，滑动变阻器应该选用阻值小的；“以小控大”

用限流接法时，滑动变阻器应该选用阻值和被测电阻接近的。

(2) 实物图连线技术

无论是分压接法还是限流接法都应该先把伏安法部分接好；

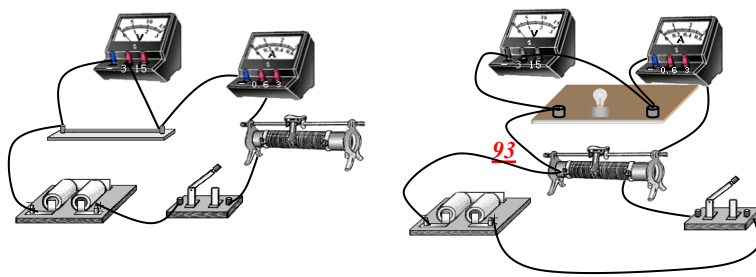
对限流电路：

只需用笔画线当作导线，从电源正极开始，把电源、电键、滑动变阻器、伏安法四部分依次串联起来即可(注意电表的正负接线柱和量程，滑动变阻器应调到阻值最大处)。

对分压电路，

应该先把电源、电键和滑动变阻器的全部电阻丝三部分用导线连接起来，然后在滑动变阻器电阻丝两端之中任选一个接头，比较该接头和滑动触头两点的电势高低，

根据伏安法部分电表正负接线柱的情况，将伏安法部分接入该两点间。



## 实验十二：练习使用多用电表

**[实验目的]：**练习使用多用电表测电阻。

**[实验原理]：**多用电表由表头、选择开关和测量线路三部分组成（如图），表头是一块高灵敏度磁电式电流表，其满偏电流约几十到几百  $\mu\text{A}$ ，转换开关和测量线路相配合，可测量交流电流和直流电流、交流电压和直流电压及电阻等。测量电阻部分即欧姆表是依据闭合电路欧姆定律制成的，原理如图所示，当红、黑表笔短接并调节  $R$  使指针满偏时有

$$I_g = \frac{\mathcal{E}}{r + r_g + R} = \frac{\mathcal{E}}{R_{\#}} \quad (1)$$

当电笔间接入待测电阻  $R_x$  时，有

$$I_x = \frac{\mathcal{E}}{R_{\#} + R_x} \quad (2)$$

联立（1）、（2）式解得

$$\frac{I_x}{I_g} = \frac{R_{\#}}{R_x + R_{\#}} \quad (3)$$

由（3）式知当  $R_x = R_{\#}$  时， $I_x = \frac{1}{2} I_g$ ，指针指在表盘刻度中心，故称  $R_{\#}$  为欧姆表的中值电阻，由（2）式或

（3）式可知每一个  $R_x$  都有一个对应的电流值  $I$ ，如果在刻度盘上直接标出与  $I$  对应的  $R_x$  的值，那么当红、黑表笔分别接触待测电阻的两端，就可以从表盘上直接读出它的阻值。

由上面的（2）可知，电流和电阻的非线性关系，表盘上电流刻度是均匀的，其对应的电阻刻度是不均匀的，电阻的零刻度在电流满刻度处。

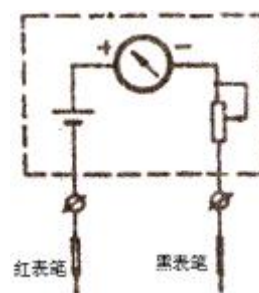
**[实验器材]：**多用电表，标明阻值为几欧、几十欧、几百欧、几千欧的定值电阻各一个，小螺丝刀。

### **[实验步骤]**

1. 机械调零，用小螺丝刀旋动定位螺丝使指针指在左端电流零刻度处，并将红、黑表笔分别接入“+”、“—”插孔。
2. 选挡：选择开关置于欧姆表“ $\times 1$ ”挡。
3. 短接调零：在表笔短接时调整欧姆挡的调零旋钮使指针指在右端电阻零刻度处，若“欧姆零点”旋钮右旋到底也不能调零，应更换表内电池。
4. 测量读数：将表笔搭接在待测电阻两端，读出指示的电阻值并与标定值比较，随即断开表笔。
5. 换一个待测电阻，重复以上 2、3、4 过程，选择开关所置位置由被测电阻值与中值电阻值共同决定，可置于“ $\times 1$ ”或“ $\times 10$ ”或“ $\times 100$ ”或“ $\times 1k$ ”挡。
6. 多用电表用完后，将选择开关置于“OFF”挡或交变电压的最高挡，拔出表笔。

### **[注意事项]**

1. 多用电表在使用前，应先观察指针是否指在电流表的零刻度，若有偏差，应进行机械调零。
2. 测量时手不要接触表笔的金属部分。
3. 合理选择量程，使指针尽可能指在中间刻度附近（可参考指针偏转在  $R_{\#}/5 \sim 5R_{\#}$  的范围）。若指针偏角太



大，应改换低挡位；若指针偏角太小，应改换高挡位。每次换挡后均要重新短接调零，读数时应将指针示数乘以挡位倍率。

4. 测量完毕后应拔出表笔，选择开关置 OFF 挡或交流电压最高挡，电表长期不用时应取出电池，以防电池漏电。

#### 实验十四：测定玻璃的折射率

**[实验目的]**：测定玻璃的折射率

**[实验原理]**

如图所示，当光线 AO 以一定入射角穿过两面平行的玻璃砖时，通过插针法找出跟入射光线 AO 对应的出射光线的 O'B，从而求出折射光线 OO'和折射角  $r$ ，再根据

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \text{ 算出玻璃的折射率。}$$

**[实验器材]**

一块两面平行的玻璃砖，一张白纸，木板一块，大头针（4 枚），量角器（或圆规、三角板），刻度尺，铅笔等

**[实验步骤]**

1. 把白纸铺在木板上。
2. 在白纸上画一直线  $aa'$  作为界面，过  $aa'$  上的一点 O 画出界面的法线  $NN'$ ，并画一条线段 AO 作为入射光线。
3. 把长方形玻璃砖放在白纸上，并使其长边与  $aa'$  重合，再用直尺画出玻璃砖的另一边  $bb'$ 。
4. 在线段 AO 上竖直地插上两枚大头针  $P_1$ 、 $P_2$ 。
5. 从玻璃砖  $bb'$  一侧透过玻璃砖观察大头针  $P_1$ 、 $P_2$  的像，调整视线的方向直到  $P_1$  的像被  $P_2$  的像挡住。再在  $bb'$  一侧插上两枚大头针  $P_3$ 、 $P_4$ ，使  $P_3$  能挡住  $P_1$ 、 $P_2$  的像， $P_4$  能挡住  $P_1$ 、 $P_2$  的像及  $P_3$  本身。
6. 移去玻璃砖，在拔掉  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$  的同时分别记下它们的位置，过  $P_3$ 、 $P_4$  作直线 O'B 交  $bb'$  于 O'。连接 O、O'，OO' 就是玻璃砖内折射光线的方向。 $\angle AON$  为入射角， $\angle O'ON'$  为折射角。
7. 用量角器量出入射角和折射角的度数，查出它们的正弦值，并把这些数据填入记录表格里。
8. 用上述方法分别求出入射角是  $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$  和  $75^\circ$  时的折射角，查出入射角和折射角的正弦值，记录在表格里。

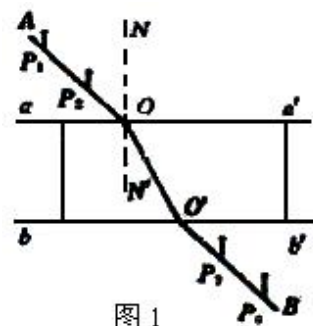
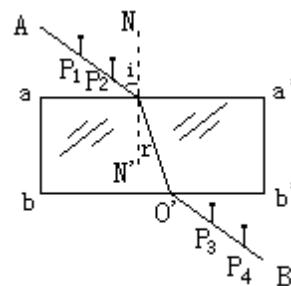


图 1

9. 算出不同入射角时  $\frac{\sin i}{\sin r}$  的值，比较一下，看它们是否接近一个常数。求出几次实验测得的  $\frac{\sin i}{\sin r}$  的平

均值，就是这块玻璃的折射率。

### [注意事项]

1. 轻拿轻放玻璃砖，手只能接触玻璃砖的毛面或棱，不能触摸光洁的光学面。严禁把玻璃砖当直尺用。

2. 实验过程中，玻璃砖在纸面上的位置放好后就不可移动。

3. 插针  $P_1$  与  $P_2$ 、 $P_3$  与  $P_4$  的间距要适当地大些，以减小确定光路方向时出现的误差。

4. 实验时入射角不能太小（接近零度），否则会使测量误差加大；也不能太大（接近  $90^\circ$ ），否则会不易观察到  $P_1$ 、 $P_2$  的像。

5. 本实验中如果采用的不是两面平行玻璃砖，如采用三棱镜，半圆形玻璃砖等，只是出射光和入射光不平行，但一样能测出其折射率。

### [例题]

1. 在用两面平行的玻璃砖测定玻璃折射率的实验中，其实验光路如图 1 所示，对实验中的一些具体问题，下列意见正确的是

A. 为了减少作图误差， $P_3$  和  $P_4$  的距离应适当取大些

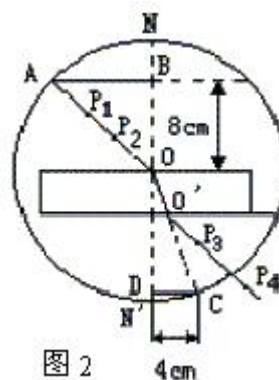
B. 为减少测量误差， $P_1$ 、 $P_2$  的连线与玻璃砖界面的夹角应尽量大些

C. 若  $P_1$ 、 $P_2$  的距离较大时，通过玻璃砖会看不到  $P_1$ 、 $P_2$  的像

D. 若  $P_1$ 、 $P_2$  连线与法线  $NN'$  夹角较大时，有可能在  $bb'$  面发生全反射，所以在  $bb'$  一侧就看不到  $P_1$ 、 $P_2$  的像

答案：A

2. 某同学由于没有量角器，他在完成了光路图以后，以  $O$  点为圆心， $10.00\text{cm}$  长为半径画圆，分别交线段  $OA$  于  $A$  点，交  $O$ 、 $O'$  连线延长线于  $C$  点。过  $A$  点作法线  $NN'$  的垂线  $AB$  交  $NN'$  于  $B$  点，过  $C$  点作法线  $NN'$  的垂线  $CD$  交于  $NN'$  于  $D$  点，如图 2 所示，用刻度尺量得  $OB=8.00\text{cm}$ ， $CD=4.00\text{cm}$ 。由此可得出玻璃的折





射率  $n =$  \_\_\_\_\_。

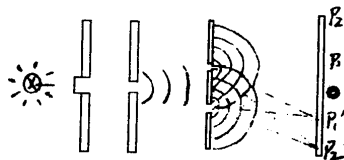
答案：1.50，由图可知： $\sin \angle i = \sin \angle AOB = AB/OA$ ， $\sin \angle r = \sin \angle COD = CD/OC$ ，

在这  $OA = OC = R = 10.00\text{cm}$ ， $CD = 4.00\text{cm}$ ， $AB = \sqrt{AO^2 - OB^2} = 6.00\text{cm}$ ，代入解得： $n = 1.50$

### 实验十五：用双缝干涉测光的波长

#### [实验目的]

- 1、观察双缝干涉的干涉图样
- 2、测定单色光的波长



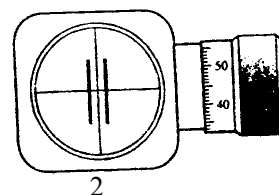
#### [实验原理]

如图 1 所示，电灯发出的光经过滤光片后变成单色光，再经过单缝 S 时发生衍射，这时单缝 S 相当于一单色光源，衍射光波同时到达双缝  $S_1$  和  $S_2$  之后，再次发生衍射， $S_1$ 、 $S_2$  双缝相当于二个步调完全一致的单色相干光源，透过  $S_1$ 、 $S_2$  双缝的单色光波在屏上相遇并叠加，到  $S_1$ 、 $S_2$  距离之差是波长整数倍的位置上，（如  $P_1$ 、 $P_2$ ： $P_1S_2 - P_1S_1 = \lambda$ ， $P_2S_2 - P_2S_1 = 2\lambda$ ）两列光叠加后加强得到明条纹，在到  $S_1$ 、 $S_2$  的距离差为半波长的奇数倍的位置上，两列光相遇后相互抵消，出现暗条纹，这样就在屏上得到了平行于双缝  $S_1$ 、 $S_2$  的明暗相间的干涉条纹。

相邻两条明条纹间的距离  $\Delta x$ ，与入射光的波长  $\lambda$ ，双缝  $S_1$ 、 $S_2$  间距离  $d$  及双缝与屏的距离  $L$  有关，其关系式为： $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$ ，由此，只要测出  $\Delta x$ 、 $d$ 、 $L$  即可测出波长  $\lambda$ ，若光源与单缝间不加滤光片，则光源所发出的各种色光在屏上都分别发生叠加而出现明暗相间找条纹，但各种色光的波长不同，从而两相邻明条纹间的距离就不同，但是各色光在屏上  $S_1$ 、 $S_2$  等距离的位置 O 处均出现明条纹，即明条纹在此重合。从而此处的条纹颜色为白色，但在其它位置上各色光的明条纹并不重合。从而，显现出彩色条纹。

两条相邻明（暗）条纹间的距离  $\Delta x$  用测量头测出。

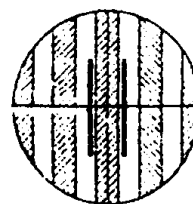
测量头由分划板、目镜、手轮等构成，如图 2 所示。转动手轮，分划板会在左右移动。测量时，应使分划板中心刻度对齐条纹的中心（如图 3 所示）记下此时手轮上的读数  $a_1$ ，转动手轮，使分划板向一侧移动，当分划板中心刻线对齐另一条相邻的明条纹中心时，记下手轮上的刻度线  $a_2$ ，两次读数之差就是相邻两条明



条纹间的距离。即  $\Delta x = |a_1 - a_2|$ 。

$\Delta x$  很小，直接测量时相对误差较大。通常测出  $n$  条明条纹间的距离  $a$ ，再推算相邻两条明（暗）条纹间的距离。

$$\Delta x = a/(n-1)$$



相邻两条亮（暗）条纹之间的距离  $\Delta X$ ；用测量头测出  $a_1$ 、 $a_2$  (用积累法)

测出  $n$  条亮（暗）条纹之间的距离  $a$ ， 求出  $\Delta X = \frac{|a_2 - a_1|}{n-1}$

双缝干涉：条件  $f$  相同，相位差恒定 (即是两光的振动步调完全一致) 当其反相时又如何？

亮条纹位置： $\Delta S = n\lambda$ ；

暗条纹位置： $\Delta S = \frac{(2n+1)}{2} \lambda$  ( $n=0,1,2,3,\dots$ )；

$$\text{条纹间距} : \Delta X = \frac{L}{d} \lambda = \frac{a}{n-1} \Rightarrow \lambda = \frac{d\Delta x}{L} = \frac{da}{L(n-1)}$$

( $\Delta S$ :路程差(光程差);  $d$  两条狭缝间的距离;  $L$ : 挡板与屏间的距离) 测出  $n$  条亮条纹间的距离  $a$

### [实验器材]

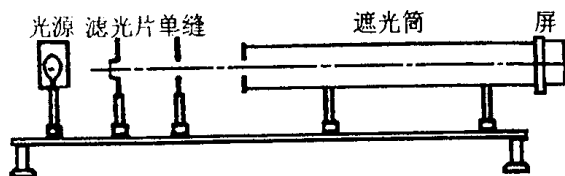
双缝干涉仪即: 光具座、光源、学生电源、导线、滤光片、单缝、双缝、遮光筒、毛玻璃屏、测量头、刻度尺

### [实验步骤]

#### 1、观察双缝干涉图样

- (1)将光源、单缝、遮光管、毛玻璃屏依次安放在光具座上。如图 4 所示。
- (2)接好光源, 打开开关, 使灯丝正常发光。
- (3)调节各器件的高度, 使光源灯丝发出的光能沿轴线到达光屏。

(4)安装双缝, 使双缝与单缝平行, 二者间距约为 5~10cm。



- (5)放上单缝, 观察白光的干涉条纹。
- (6)在单缝和光源间放上滤光片, 观察单色光的干涉条纹。

#### 2、测定单色光的波长

- (1)安装测量头, 调节至可清晰观察到干涉条纹。
- (2)使分划板中心刻线对齐某条亮条纹的中央, 记下手轮上的读数  $a_1$ , 转动手轮, 使分划板中心刻线移动; 记下移动的条纹数  $n$  和移动后手轮的读数  $a_2$ ,  $a_1$  与  $a_2$  之差即为  $n$  条亮纹的间距。
- (3)用刻度尺测量双缝到光屏间距  $L$  ( $d$  是已知的)。
- (4)重复测量、计算, 求出波长的平均值。
- (5)换用不同的滤光片, 重复实验。

### [注意事项]

- 1、双缝干涉仪是比较精密的仪器。应轻拿轻放, 不要随便拆解遮光筒, 测量头等元件。
- 2、滤光片、单缝、双缝、目镜等如有灰尘, 应用擦镜纸轻轻擦去。
- 3、安装时, 注意调节光源、滤光片、单缝、双缝的中心均在遮光筒的中心轴线上, 并使单缝、双缝平行且竖直
- 4、光源灯丝最好为线状灯丝, 并与单缝平行靠近。
- 5、调节的基本依据是: 照在像屏上的光很弱, 主要原因是灯丝与单缝、双缝、测量头与遮光筒不共轴线所致, 干涉条纹不清晰一般主要原因是单缝与双缝不平行所致。

### [例题]

1、某位同学在测定光波的波长实验中, 透过测量头的目镜观察双缝干涉图样时, 发现, 只在工左侧视野中有明暗相间的条纹出现, 而右侧没有, 应如调节?

【解析】这是由于测量头目镜偏离遮光筒轴线所致, 可以转动测量头上的手轮, 使测量头向左移动, 直到在目镜中看到明暗条纹布满视野为止。

2、若上题中, 看不到明暗条纹, 只看到一片亮区, 应注意如何调节?

【解析】这是由于单缝与双缝不平行所致, 可用遮光筒上的调节杆拨动单缝, 直到看到清晰的明暗条纹为止。

**【总结】**总之对实验的复习要做到“三个掌握、五个会”, 即掌握实验目的、步骤、原理; 会控制条件、会使用仪器、会观察分析、会处理数据并得出相应的结论、会设计简单的实验方案。



我们是好未来家长福利社群  
扫描二维码关注家长训练营，获取更多福利干货！