



教师招聘笔试考试

# 物 理

高频考点 300

华图教育



# 目 录

第一章 物理学简史.....	1
第二章 经典力学.....	3
第三章 热学.....	35
第四章 电磁学.....	45
第五章 光学.....	82
第六章 声现象.....	92
第七章 现代物理学基础.....	93
第八章 实验.....	109



## 第一章 物理学简史

### 【考点 1】代表人物及研究成果

人物	研究成果
伽利略	①发现摆的等时性 ②物体下落过程中的运动情况与物体的质量无关 ③伽利略的理想斜面实验：将实验与逻辑推理结合在一起探究科学真理，为物理学研究开创了新的篇章（发现了物体具有惯性，同时也说明了力是改变物体运动状态的原因，而不是使物体运动的原因）。
胡克	胡克定律
牛顿	①牛顿在伽利略、笛卡儿、开普勒、惠更斯等人研究的基础上，采用归纳与演绎、综合与分析的方法，总结出一套普遍适用的力学运动规律——牛顿运动定律和万有引力定律，建立了完整的经典力学（也称牛顿力学或古典力学）体系，物理学从此成为一门成熟的自然科学。 ②经典力学的建立标志着近代自然科学的诞生
卡文迪许	测量了万有引力常量
亚里士多德	观点： ①重的物体下落得比轻的物体快 ②力是维持物体运动的原因
开普勒	开普勒三定律
密立根	密立根油滴实验——测定元电荷
奥斯特	电流的磁效应（电流能够产生磁场）
法拉第	①用电场线的方法表示电场 ②发现了电磁感应现象 ③发现了法拉第电磁感应定律

安培	①磁场对电流可以产生作用力（安培力），并且总结出了这一作用力遵循的规律 ②安培分子电流假说
汤姆生	①发现了电子（揭示了原子具有复杂的结构） ②建立了原子的模型——枣糕模型
卢瑟福	指导助手进行了 $\alpha$ 粒子散射实验 提出了原子的核式结构 发现了质子
查德威克	发现了中子
居里夫妇	①发现了放射性同位素 ②发现了正电子
爱因斯坦	①用光子说解释了光电效应 ②相对论
麦克斯韦	①建立了完整的电磁理论 ②预言了电磁波的存在，并且认为光是一种电磁波（赫兹通过实验证实电磁波的存在）

**【考点2】矢量与标量：**

- (1) 矢量：兼具大小及方向的物理量，如：速度、力……
- (2) 标量：仅具大小而无方向的物理量，如：体积、时间、功……

**【考点3】七个基本物理量：**

基本量	代号	基本单位	单位代号
时间	T	秒	s
长度	L	米	m
质量	M	千克（公斤）	kg
电流	I	安培	A

温度	T	开尔文	K
发光强度	lv	坎德拉	cd
物质的量	n	摩尔	mol

## 第二章 经典力学

### 【考点4】质点

质点是用来代替物体的有质量的点。它是一种理想化的模型。

若物体的大小和形状对所研究的问题没有影响，或者其影响可以忽略不计时，该物体可看作质点。

### 【考点5】参考系

为了研究物体的运动而选定用来作为参考的物体称为参考系。通常以地面或相对于地面不动的物体作为参考系来研究物体的运动。

### 【考点6】位移与路程

1. 路程：质点实际运动轨迹的长度，它只有大小没有方向，是标量。

2. 位移：是表示质点由初始位置指向末位置的有向线段，有大小和方向，是矢量。

3. 位移和路程的区别：

(1) 一般来说，位移的大小不等于路程。只有质点做方向不变的无往返的直线运动时位移大小才等于路程。

(2) 时刻与质点的位置相对应，时间与质点的位移相对应。

(3) 位移和路程的单位相同，但位移和路程永远不可能相等（类别不同，不能比较）。

### 【考点7】速度

速度是描述物体运动快慢的物理量，是矢量。物体速度方向与运动方向相同。

平均速度——在变速直线运动中，运动物体的位移和所用时间的比值，叫作这段位移内（或这段时间内）的平均速度，即  $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 。平均速度是矢量，其方向与  $\Delta s$  方向相同。

瞬时速度——对应于某一时刻（或某一位置）的速度，方向为物体的运动方向。

速率——瞬时速度的大小即为速率，是标量。只有大小，没有方向。

平均速率——质点运动的路程与时间的比值。

### 【考点 8】加速度

加速度是描述物体速度变化快慢的物理量，通常用  $a$  表示，单位为  $\text{m/s}^2$ 。 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ （又叫速度的变化率）。加速度是矢量，它的方向与  $\Delta v$  的方向相同（即与合外力方向相同）。

(1) 加速度与速度没有直接关系。加速度很大，速度可以很小、可以很大、也可以为零（某瞬时）；加速度很小，速度可以很小、可以很大、也可以为零（某瞬时）。

(2) 加速度与速度的变化量没有直接关系。加速度很大，速度变化量可以很小、也可以很大；加速度很小，速度变化量可以很大、也可以很小。加速度是“变化率”——表示变化的快慢，不表示变化的大小。

### 【考点 9】匀变速直线运动的四个基本公式

$$\text{位移公式: } s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2;$$

$$\text{速度公式: } v = v_0 + a t;$$

$$\text{速度位移公式: } v_t^2 - v_0^2 = 2 a s;$$

$$\text{位移平均速度公式: } s = \frac{v_0 + v_t}{2} t;$$

### 【考点 10】匀变速直线运动的重要推论

(1) 任意两个连续相等的时间间隔 ( $T$ ) 内，位移之差是一恒量，即

$$\Delta s = s_2 - s_1 = s_3 - s_2 = \dots = s_n - s_{n-1} = a T^2;$$

可以推广为： $s_m - s_n = (m - n) a T^2$ 。

(2) 在一段时间内，中间时刻的瞬时速度  $v$  等于这段时间的平均速度： $v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v_t}{2}$

(3) 中间位移处的速度:  $v_{\frac{s}{2}} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$ , 无论匀加速还是匀减速, 都有:  $v_{\frac{t}{2}} < v_{\frac{s}{2}}$ 。

**【考点 11】初速度为零的匀变速直线运动的特殊推论**

(1)  $1T$  末、 $2T$  末、 $3T$  末……的瞬时速度之比为:

$$v_1 : v_2 : v_3 : \dots : v_n = 1 : 2 : 3 : \dots : n$$

(2)  $1T$  内、 $2T$  内、 $3T$  内…… $nT$  内的位移之比为:

$$S_1 : S_2 : S_3 : \dots : S_N = 1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots : n^2$$

(3) 第 1 个  $T$  内、第 2 个  $T$  内、第 3 个  $T$  内……第  $n$  个  $T$  内的位移之比为:

$$s'_1 : s'_2 : s'_3 : \dots : s'_n = 1 : 3 : 5 : \dots : (2n - 1)$$

(4) 通过连续相等的位移  $s$  所用的时间之比为:

$$t_1 : t_2 : t_3 : \dots : t_n = 1 : \sqrt{2} - 1 : \sqrt{3} - \sqrt{2} : \dots : \sqrt{n} - \sqrt{n-1}$$

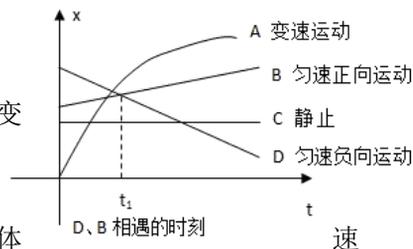
(5) 连续通过  $1s$ 、 $2s$ 、 $3s$ 、……、 $ns$  所用时间之比为:

$$t'_1 : t'_2 : t'_3 : \dots : t'_n = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \dots : \sqrt{n}$$

**【考点 12】x-t 图象**

(1) 物理意义: 反映了物体做直线运动的位移随时间变化的规律。

(2) 斜率的意义: 图线上某点切线斜率的大小表示物体速度的大小, 斜率正负表示物体速度的方向。

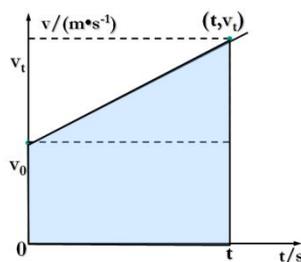


**【考点 13】v-t 图**

对于匀变速直线运动来说, 其速度随时间变化的  $v-t$  图线如右图所示, 对于该图线, 应把握的有如下三个要点。

(1) 纵轴上的截距其物理意义是运动物体的初速度  $v_0$ ;

(2) 图线的斜率其物理意义是运动物体的加速度  $a$ ;



(3) 图线下的“面积”其物理意义是运动物体在相应的时间内所发生的位移  $s$ 。

### 【考点 14】自由落体运动

自由落体运动的运动规律

(1) 速度公式:  $v_t = gt$ ;

(2) 位移公式:  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ;

(3) 速度位移关系式:  $v_t^2 = 2gh$

(4) 从运动开始连续相等的时间内位移之比为 1: 3: 5: 7: ……

(5) 连续相等的时间: 内位移的增加量相等, 即  $\Delta s = gt^2$

(6) 一段时间内的平均速度  $\bar{v} = \frac{h}{t} = \frac{gt}{2}$

### 【考点 15】竖直上抛运动

竖直上抛运动的规律

(1) 速度公式:  $v_t = v_0 - gt$ ;

(2) 位移公式:  $h = v_0t - \frac{1}{2}gt^2$ ;

(3) 上升的最大高度:  $H = \frac{v_0^2}{2g}$ ;

(4) 上升到最大高度处所需时间  $t_{\text{上}}$  和从最高点处落回原抛出点所需时间  $t_{\text{下}}$  相等,

$$\text{即 } t_{\text{上}} = t_{\text{下}} = \frac{v_0}{g}$$

### 【考点 16】力的定义力的性质

力是物体对物体的相互作用。

物质性: 力不能离开物体单独存在。没有施力物体或受力物体的力是不存在的。

相互性: 力的作用是相互的。施力(受力)物体同时也是受力(施力)物体。

矢量性：力是矢量，既有大小又有方向。

独立性：一个力作用于物体上产生的效果与这个物体是否同时受其他作用力无关。

### 【考点 17】力的分类

按性质分类：重力、弹力、摩擦力、分子力、电磁力、核力等。

按效果分类：拉力、压力、支持力、动力、阻力、向心力、回复力等。

按作用方式分类：非接触力和接触力。重力、电场力、磁场力为非接触力；弹力、摩擦力为接触力。

按研究对象分类：内力和外力。

### 【考点 18】力的作用效果

使物体发生形变或改变物体的运动状态。

### 【考点 19】重力

重力的产生：重力是由于地球的吸引而产生的力，重力是万有引力的一个分力，另一分力是提供物体随地球自转做匀速圆周运动的向心力。

2. 重力的大小： $G=mg$ ， $g$  是重力与质量的比例常数。

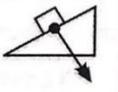
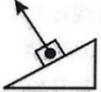
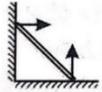
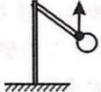
3. 重力的方向：总是竖直向下。

### 【考点 20】重心：

(1) 规则的几何形状、质量均匀的物体，其重心在它的几何中心；质量分布不均匀的物体，其重心因物体的形状和质量分布的不同而不同。

(2) 重心可能在物体上，也可能在物体之外。

### 【考点 21】弹力方向的判断：

	面面接触		点面接触		绳产生的弹力	杆产生的弹力示例
	压力	支持力	点与平面	点与曲面		
示例						
说明	垂直接触面指向受力物体		垂直接触面或过切点的切面		沿绳收缩的方向	杆产生的弹力方向不一定沿杆

### 【考点 22】弹力的大小

对有明显形变的弹簧，弹力的大小可以由胡克定律  $F = -kx$  计算。对没有明显形变的物体，如桌面、绳子等物体，弹力的大小由物体的受力情况和运动情况共同决定。

### 【考点 23】静摩擦力

两个相互接触的物体，当接触面存在相对运动趋势但又没有发生相对运动时，接触面上就会产生一种阻碍相对运动的力，这种力叫作静摩擦力。

(1) 静摩擦力产生的条件：两个物体相互接触并挤压且接触面粗糙，具有相对运动的趋势。

(2) 静摩擦力的大小：静摩擦力  $F$  在 0 与最大静摩擦力  $F_{\max}$  之间变化，即  $0 < F \leq F_{\max}$ 。静摩擦力的大小与压力大小无关，由物体的运动状态和物体所受的其他力所决定，可根据牛顿第二定律或平衡条件求解。

### 【考点 24】滑动摩擦力

两个相互挤压的物体，当接触面存在相对运动时，接触面上就会产生一种阻碍物体相对运动的力，这种力叫作滑动摩擦力。

(1) 滑动摩擦力产生的条件，两个物体相互接触且接触面相糙，相互之间存在着压力且发生相对滑动。

(2) 滑动摩擦力的大小：

滑动摩擦力的大小遵循滑动摩擦定律，用公式表述为  $F_f = \mu F_N$ ，其中  $\mu$  为动摩擦因数， $F_N$  表示两物体间的压力。

### 【考点 25】物体受力分析

为了不使研究对象所受到的力与所施出的力混淆，通常需要采用“隔离法”，把研究对象从所处的物理环境中隔离出来；为了不使研究对象所受到的力在分析过程中发生遗漏或重复，通常需要按照某种顺序逐一进行受力情况分析，而相对合理的顺序则是按重力、弹力，摩擦力的次序来进行。

#### ①整体法

## ②隔离法

**【考点 26】平行四边形定则。**

由力的合成所遵循的平行四边形定则可知：两个大小分别为  $F_1$  和  $F_2$  的力的合力大小  $F$  的取值范围为

$$|F_1 - F_2| \leq F \leq F_1 + F_2$$

同样，由力的分解所遵循的平行四边形定则可知：如不加任何限制而将某个力分解为两个分力，则可以得到无数种分解的方式，这是毫无意义的。通常作力的分解时所加的限制有两种：按照力的作用效果进行分解；按照所建立的直角坐标将力作正交分解。

**【考点 27】平衡条件**

平衡状态是静止或匀速直线运动状态；在共点力的作用下的物体的平衡条件是：物体所受到的合外力为零，即  $\sum F = 0$ 。

**【考点 28】牛顿第一定律**

(1) 内容：一切物体都将保持静止状态或匀速直线运动状态，直到有外力迫使其改变这种运动状态为止。

(2) 理解：

## ①牛顿第一定律

a. 牛顿第一定律是在可靠的实验事实基础上经过科学的逻辑推理得出的结论。

b. 牛顿第一定律揭示了力和运动的关系。力不是维持物体运动的原因，而是改变物体运动状态的原因，即力是产生加速度的原因。

**【考点 29】惯性**

物体惯性与物体是否受力、怎样受力无关，与物体是否运动、怎样运动、所处的地理位置无关，只与物体的质量有关。

惯性不是力，惯性与力是两个截然不同的概念。

**【考点 30】牛顿第二定律**

(1) 内容：物体的加速度  $a$  与其合外力  $F$  成正比，与其质量  $m$  成反比，可表示为  $F=ma$ 。

(2) 理解：牛顿第二定律明确了物体的受力情况和运动情况之间的定量关系，联系物体受力情况和运动情况的桥梁是加速度。

**【考点 31】牛顿第二定律的基本应用步骤**

①明确研究对象，根据问题的需要和解题的方便，选出研究的对象。

②分析物体的受力情况和运动情况，画好受力分析图，明确物体的运动性质和运动过程。

③选取正方向或建立坐标系，通常以加速度的方向为正方向或以加速度方向为某一坐标轴的正方向。

④求合外力  $F_{\text{合}}$ 。根据牛顿第二定律  $F_{\text{合}} = ma$  列方程求解，必要时还要对结果进行讨论。

**【考点 32】牛顿第三定律**

(1) 内容：两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在一条直线上。

(2) 表达式： $F_{\text{甲对乙}} = -F_{\text{乙对甲}}$ ，负号表示方向相反。

(3) 意义：揭示了相互作用力的关系。

**【考点 33】作用力和反作用力与一对平衡力的比较**

区别	作用力与反作用力	一对平衡力
受力物体	作用在两个不同的物体上	作用在同一个物体上
作用效果	不可抵消	可以抵消
力的性质	一定相同	不一定相同
变化特点	同时增大、同时减小、同时产生、同时消失	无必然联系

**【考点 34】超重与失重**

运动情况	超重、失重	视重 ( $F$ )
$a = 0$	不超重、不失重	$F = mg$
$a$ 的方向竖直向上	超重	$F = m(g + a)$
$a$ 的方向竖直向下	失重	$F = m(g - a)$
$a$ 的方向竖直向下 $a = g$	完全失重	$F = 0$

**【考点 35】曲线运动的条件**

1. 从运动学角度，物体的加速度方向跟速度方向不在同一条直线上，物体就做曲线运动。
2. 从动力学角度，物体所受合外力的方向跟物体的速度方向不在同一条直线上，物体就做曲线运动。

**【考点 36】合运动与分运动的关系**

等时性：各分运动经历的时间与合运动经历的时间相同。

独立性：各分运动独立进行不受其他分运动的影响。

等效性：分运动的规律叠加起来与合运动的规律有相同的效果。

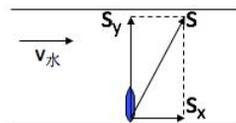
**【考点 37】运动的分解遵循的法则**

由于描述运动的各物理量都是矢量，故不在同一条直线上的两个分运动合成时遵循平行四边形定则；分解时常用的方法有根据运动的实际效果分解和正交分解。

**【考点 38】渡河问题**

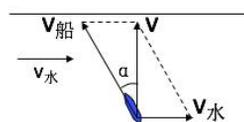
1. 渡河时间问题

在分析渡河时间问题时，我们将船的运动沿平行河岸和垂直河岸进行分解，于是船速  $v_1$  可分解为平行河岸分量  $v_{\parallel}$  和垂直河岸分量  $v_{\perp}$ ，如图所示，而水速  $v$  在垂直河岸方向没有分量，对小船过河没有影响。



2. 垂直渡河的条件

要使小船垂直河岸渡河，即如图中  $v_{\parallel} = v_2$ ， $v_{\perp} = v_{\text{合}}$ ，设船速



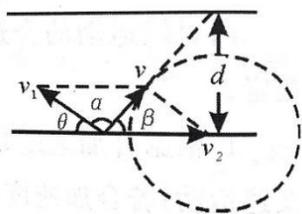
与河岸上游的夹角为  $\alpha$ ，则  $\cos \alpha = \frac{v_{\parallel}}{v_1} = \frac{v_2}{v_1}$ ，且  $v_2 > v_1$  时才有可能垂直渡河。

### 3. 以最小位移渡河

(1) 当船在静水中的速度  $v_1$  大于水流速度  $v_2$  时，小船可以垂直河岸渡河，显然渡河的最小位移  $s$  等于河宽  $d$ 。

(2) 当船在静水中的速度  $v_1$  小于水流速度  $v_2$  时，不论船头指向何处，船总要被水冲向下游，不可能垂直渡河。

设小船指向与河岸上游之间的夹角为  $\theta$  时，渡河位移最小。此时，船头指向与合速度方向成  $\alpha$  角，合速度方向与水流方向成  $\beta$  角，如图右所示。



由图可知， $\beta$  角越大渡河位移越小，以  $v_2$  的顶点为圆心，以  $v_1$  的大小为半径作圆，很明显，只有当  $\alpha = 90^\circ$  时， $\beta$  最大，渡河位移最小。即当船头指向和实际运动方向垂直时，渡河位移最小， $s = \frac{d}{\sin \beta} = \frac{v_2}{v_1} d$ 。

### 【考点 39】平抛运动的规律

以抛出点为坐标，水平初速度  $v_0$  的方向为  $x$  轴方向，竖直向下方向为  $y$  轴方向

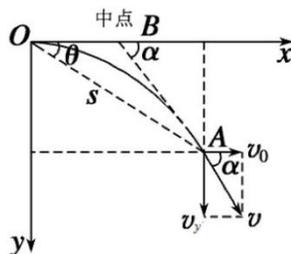
水平方向： $v_x = v_0$ ， $x = v_0 t$

竖直方向： $v_y = gt$ ， $y = \frac{1}{2} gt^2$

合速度： $v_t = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$

方向： $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_0} = \frac{gt}{v_0}$

合位移： $s = \sqrt{x^2 + y^2}$



$$\text{方向: } \tan \theta = \frac{Y}{X} = \frac{gt}{2v_0}$$

(1) 飞行时间和水平射程

$$\text{飞行时间: } t = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \text{ 只与 } h、g \text{ 有关, 与 } v_0 \text{ 无关。}$$

$$\text{水平射程: } s = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}, \text{ 由 } v_0、h、g \text{ 共同决定。}$$

(2) 速度的变化规律

水平方向分速度保持  $v_x = v_0$  不变; 竖直方向加速度恒为  $g$ ,

速度  $v_y = gt$ , 从抛出点起, 每隔  $\Delta t$  时间, 速度的矢量关系如

图所示, 这一矢量关系有两个特点:

a. 任意时刻的速度水平分量均等于初速度  $v_0$

b. 任意相等时间间隔  $\Delta t$  内的速度改变量  $\Delta v$  的方向均竖直向下, 大小均为

$$\Delta v = \Delta v_y = g\Delta t$$

(3) 位移的变化规律

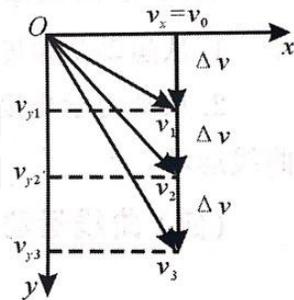
a. 任意相等的时间间隔内, 水平位移不变, 且  $\Delta x = v_0 \Delta t$

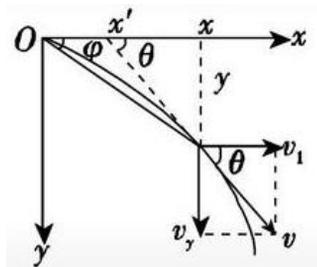
b. 任意相等的时间间隔  $\Delta t$  内, 竖直方向上的位移差不变, 即  $\Delta y = g\Delta t^2$

### 【考点 40】平抛运动的两个重要推论

推论 1: 做平抛 (或类平抛) 运动的物体在任一时刻任一位置处, 设其末速度方向与水平方向的夹角为  $\theta$ , 位移与水平方向的夹角为  $\varphi$ , 则  $\tan \theta = 2 \tan \varphi$

推论 2: 做平抛 (或类平抛) 运动的物体, 任意时刻的瞬时速度方向的反向延长线一定通过此时水平位移的中点。





**【考点 41】描述匀速圆周运动的物理量**

物理量	符号	单位	定义	定义式	转化式	关系及说明
线速度	$v$	$\text{m/s}$	质点在单位时间转过的弧长	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	$v = \frac{2\pi r}{T}$	$v = \omega r$
角速度	$\omega$	$\text{rad/s}$	质点在单位时间转过的圆心角	$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$	$\omega = \frac{2\pi}{T}$	
向心加速度	$a$	$\text{m/s}^2$	单位时间速度的变化	$a = \frac{v^2}{r}$	$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$	
周期	$T$	$\text{s}$	质点运动一周所用的时间	$T = \frac{2\pi r}{v}$	$T = \frac{2\pi}{\omega}$	$f = \frac{1}{T}$
频率	$f$	$\text{Hz}$	质点在 1s 内完成圆周运动的次数	$f = \frac{1}{T}$		转速 $n$ 与频率相当

**【考点 42】离心现象与向心现象**

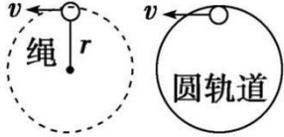
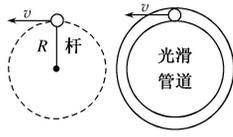
(1) 离心现象

做匀速圆周运动的物体，在合外力突然变为零，或者不足以提供做圆周运动所需要的向心力时，即： $F < m \frac{v^2}{r}$ ，物体将做逐渐远离圆心的运动，这种现象叫做离心现象。

(2) 向心现象

做匀速圆周运动的物体，在合外力突然增大或速度减小，使所受合外力大于做圆周运动所需要的向心力时，即： $F > m \frac{v^2}{r}$ ，物体将做逐渐向圆心靠近的运动，这种现象叫做向心现象。

【考点 43】竖直面内圆周运动的临界问题分析

	轻绳模型	轻杆模型
类型		
过最高点的临界条件	由 $mg = m \frac{v^2}{r}$ 得 $v_{\text{临}} = \sqrt{gr}$	由小球能运动即可, 得 $v_{\text{临}} = 0$
讨论分析	<p>(1) 过最高点时, <math>v \geq \sqrt{gr}</math>, <math>F_N + mg = m \frac{v^2}{r}</math>, 绳、轨道对球产生弹力 <math>F_N</math></p> <p>(2) 不能过最高点时 <math>v &lt; \sqrt{gr}</math>, 在到达最高点前小球已经脱离了圆轨道</p>	<p>(1) 当 <math>v = 0</math> 时, <math>F_N = mg</math>, <math>F_N</math> 为支持力, 沿半径背离圆心</p> <p>(2) 当 <math>0 &lt; v &lt; \sqrt{gr}</math> 时, <math>-F_N + mg = m \frac{v^2}{r}</math>, <math>F_N</math> 背离圆心且随 <math>v</math> 的增大而减小</p> <p>(3) 当 <math>v = \sqrt{gr}</math> 时, <math>F_N = 0</math></p> <p>(4) 当 <math>v &gt; \sqrt{gr}</math> 时, <math>F_N + mg = m \frac{v^2}{r}</math>, <math>F_N</math> 指向圆心并随 <math>v</math> 的增大而增大</p>

【考点 44】开普勒行星运动三定律

第一定律：所有行星都在椭圆轨道上运动，太阳则处在这些椭圆轨道的一个焦点上

第二定律：行星沿椭圆轨道运动的过程中，与太阳的连线在相等时间内扫过的面积相等；

第三定律：所有行星轨道半长轴的立方与其周期的平方成正比，即： $\frac{r^3}{T^2} = k$

【考点 45】万有引力定律

1. 定律的表述：

宇宙间的一切物体都是相互吸引的，两个物体间的引力大小跟它们的质量乘积成正比，跟它们的距离平方成反比，引力方向沿两个物体的连线方向。

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

2. 定律的适用条件:

万有引力公式一般只适用于两质点间引力大小的计算, 如果相互吸引的双方是标准的均匀球体, 则可将其视为质量集中于球心的质点。

**【考点 46】万有引力定律的应用:**

(1) 天体运动的向心力来源于天体之间的万有引力。即

$$G \frac{Mm}{r^2} = ma_{\text{向}} = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

(2) 地球对物体的万有引力近似等于物体的重力, 即  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$  从而得出  $GM = gR^2$

(黄金代换, 不考虑地球自转)。

**【考点 47】三个宇宙速度**

1. 宇宙速度的大小

第一宇宙速度:  $v_1 = 7.9 \text{ km/s}$ , 是人造卫星的最小发射速度, 也是人造地球卫星环绕地球运行的最大速度。

第二宇宙速度:  $v_2 = 11.2 \text{ km/s}$ , 是物体挣脱地球引力束缚的最小发射速度。

第三宇宙速度:  $v_3 = 16.9 \text{ km/s}$ , 是物体挣脱太阳引力束缚的最小发射速度。

2. 宇宙速度的意义

当发射速度  $v$  与宇宙速度分别有如下关系时, 被发射物体的运动情况将有所不同:

- (1) 当  $v < v_1$  时, 被发射物体最终仍将落回地面;
- (2) 当  $v_1 \leq v < v_2$  时, 被发射物体将环绕地球运动, 成为地球卫星;
- (3) 当  $v_2 \leq v < v_3$  时, 被发射物体将脱离地球束缚, 成为环绕太阳运动的“人造行星”;
- (4) 当  $v \geq v_3$  时, 被发射物体将从太阳系中逃逸。

**【考点 48】人造地球卫星各运动参量随轨道半径的变化关系**

由于卫星绕地球做匀速圆周运动，所以地球对卫星的引力充当卫星所需的向心力，于是有

$$G \frac{Mm}{r^2} = ma_{\text{向}} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

绕地球做匀速圆周运动的卫星各个参量随轨道半径  $r$  的变化情况分别如下：

1. 向心加速度  $a_{\text{向}}$  与  $r$  :  $a_{\text{向}} = \frac{GM}{r^2}$

2. 线速度  $v$  与  $r$  :  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

3. 角速度  $\omega$  与  $r$  :  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

4. 周期  $T$  与  $r$  :  $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

#### 【考点 49】卫星的变轨问题

当卫星由于某种原因速度突然改变时（开启或关闭发动机或空气阻力作用），万有引力不再等于向心力，卫星将做变轨运行：

1. 当卫星的速度突然增加时， $G \frac{Mm}{r^2} < m \frac{v^2}{r}$ ，即万有引力不足以提供向心力，卫星将做离心运动，脱离原来的圆轨道，轨道半径变大，当卫星进入新的轨道稳定运行时由  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$  可知其运行速度比原轨道时减小；

2. 当卫星的速度突然减小时， $G \frac{Mm}{r^2} > m \frac{v^2}{r}$ ，即万有引力大于所需要的向心力，卫星将做近心运动，脱离原来的圆轨道，轨道半径变小，当卫星进入新的轨道稳定运行时，可知其运行速度比原轨道时增大；卫星的发射和回收就是利用这一原理。

#### 【考点 50】地球同步卫星

1. 轨道平面一定：轨道平面和赤道平面重合。

2. 周期一定：与地球自转周期相同，即  $T = 24h = 86400s$ 。

3. 角速度一定：与地球自转的角速度相同。

4. 高度一定：据  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$  得  $r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} = 4.2 \times 10^4 km$ ，卫星离地面高度

$h = r - R \approx 6R$ （为恒量）。

5. 绕行方向一定：与地球自转的方向一致。

### 【考点 51】双星问题

对于做匀速圆周运动的双星问题，双星的角速度(周期)以及向心力大小相等，基本方程式为  $G \frac{M_1 M_2}{L^2} = M_1 r_1 \omega^2 = M_2 r_2 \omega^2$ ，式中  $L$  表示双星间的距离， $r_1$ ， $r_2$  分别表示两颗星的轨道半径， $L = r_1 + r_2$ 。

### 【考点 52】杠杆定义及条件

一根硬棒，在力的作用下能绕着固定点转动，这根硬棒就叫杠杆。

一个物体要想成为杠杆，必须满足两个条件：①受到力的作用；②能绕固定点转动。

### 【考点 53】杠杆的五要素：

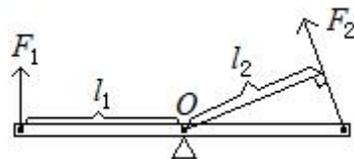
支点：杠杆绕着转动的点。一般用  $O$  表示。

动力：使杠杆转动的力。一般用  $F_1$  表示。

阻力：阻碍杠杆转动的力。一般用  $F_2$  表示。

动力臂：从支点到动力作用线的垂直距离。一般用  $l_1$  表示。

阻力臂：从支点到阻力作用线的垂直距离。一般用  $l_2$  表示。



### 【考点 54】杠杆示意图的画法

①确定支点；②确定动力和阻力，画力的作用线；③画力臂；④标出物理量。

画图技巧：

(1) 力的作用线是沿力的方向所画的直线。在画力臂时，如果力的作用线太短，可用虚线将力的作用线延长。

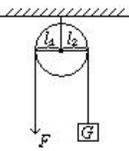
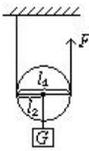
(2) 力臂不是支点到力的作用点的距离。

(3) 力臂用实线表示，力的作用线用虚线表示。力臂部分要用大括号标出来。

**【考点 55】4. 杠杆的平衡条件：**

$$F_1 l_1 = F_2 l_2 \text{ 或者 } \frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

**【考点 56】定滑轮和动滑轮：**

		定滑轮	动滑轮
定义		轴固定不动的滑轮	轴可以随物体一起运动的滑轮
图象			
不同点	是否省力	否	是（省一半力）
	是否改变力的方向	是	否
实质		一个等臂杠杆	一个动力臂为阻力臂二倍的杠杆
位移关系		s=h	s=2h
力的关系		F=G	$F = \frac{1}{2}G$
拉力方向对拉力的影响		没有影响	如果不竖直拉，实际拉力会比计算结果大

**【考点 57】滑轮组**

特点：滑轮组是定滑轮和动滑轮的组合，特点是既省力，又能改变力的方向，但是费距离。

省力情况：n 为承担物重的绳子段数。

①若不考虑滑轮重力及摩擦，拉力  $F = \frac{G}{n}$

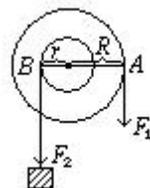
②若不考虑摩擦，而考虑动滑轮重，则拉力  $F = \frac{G_{物} + G_{动}}{n}$

绳子自由端移动距离 s 与物体提升高度 h 的关系：s=nh

n 的判断方法：与动滑轮连接的绳子段数是多少，n 就是多少。

### 【考点 58】轮轴

定义：由两个半径不同的轮子固定在同一转轴上的装置叫做轮轴。半径较大的轮叫轮，半径较小的轮叫轴。



实质：轮轴实质是一个可以连续转动的杠杆。

特点：动力作用在轮上时，使用轮轴省力，但是费距离；动力作用在轴上时，使用轮轴费力，但是省距离。

### 【考点 59】斜面

斜面是一种省力，但却费距离的简单机械。

特点：省力、费距离

原理： $F_1 = Gh$  ( $F_1$ ——沿斜面方向的推力； $l$ ——斜面长； $G$ ——物重； $h$ ——斜面高度)

如果斜面与物体间的摩擦为  $f$ ，则： $F_1 = f + Gh$

当斜面高度相同时，斜面越长越省力。

### 【考点 60】机械效率

1. 有用功：有用功相当于不使用机械时，人直接对物体所做的功。

$$W_{\text{有用}} = Gh = W_{\text{总}} - W_{\text{额}} = \eta W_{\text{总}}$$

2. 额外功：在工作时，人们不需要的但不得不做的功，叫做额外功。使用机械时，由于克服摩擦以及机械自重所做的功就是额外功。

$$W_{\text{额}} = W_{\text{总}} - W_{\text{有用}}$$

3. 总功：有用功加额外功是总共做的功。

$$W_{\text{总}} = W_{\text{额}} + W_{\text{有用}} = Fs = \frac{W_{\text{有用}}}{\eta}$$

4. 机械效率：有用功跟总功的比值叫机械效率。

$$\text{公式：} \eta = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}}$$

提高机械效率的方法：①减小机械自重；②减小机件间的摩擦，保持零件间的润滑。

### 【考点 61】压力和重力的区别与联系

	重力	压力
定义	由于地球的吸引而使物体受到的力	垂直作用在物体表面上的力
产生原因	由于地球的吸引而产生	由于物体对物体的挤压而产生
方向	总是竖直向下	垂直于受压面且指向被压物体
作用点	物体的重心	在受压物体的表面
施力物体	地球	对受力物体产生挤压作用的物体
联系	在通常情况下，静止在水平地面上的物体，对地面的压力等于物体受到的重力	

### 【考点 62】压强

1. 压强的物理意义：压强是描述压力作用效果的物理量。压强的值越大，压力的作用效果越显著；压强的值越小，压力的作用效果越不明显。

2. 压强定义：物体单位面积上受到的压力叫压强。

压强定义公式： $p = \frac{F}{S}$ ，式中 F 表示作用在物体表面上的压力 S 表示物体受压力作用的面积，即是施压物体和受压物体实际接触的面积，p 表示压强。

### 【考点 63】液体压强的特点

1. 液体对容器底和侧壁都有压强，液体内部向各个方向都有压强，
2. 液体的压强随深度的增加而增大。
3. 在同一深度，液体向各个方向的压强相等。
4. 不同液体的压强还跟液体的密度有关。

### 【考点 64】液体压强的计算公式

1. 液体压强的计算公式： $p = \rho_{液}gh$ 。

## 2. 使用液体压强公式应注意的问题

(1) 利用  $p = \rho_{\text{液}}gh$  计算液体压强的时候， $\rho$  的单位要用  $\text{kg/m}^3$ ； $h$  的单位要用  $\text{m}$ ， $g=9.8\text{N/kg}$ ，计算出的压强单位才是  $\text{Pa}$ 。

(2) 在液体压强公式中  $h$  表示深度，而不是高度。

(3) 从液体压强公式  $p = \rho_{\text{液}}gh$  可以看出，公式中的压强是液体由于自身重力产生的压强，它不包括液体受到的外加压强。

### 【考点 65】大气压强

#### 1. 托里拆利实验

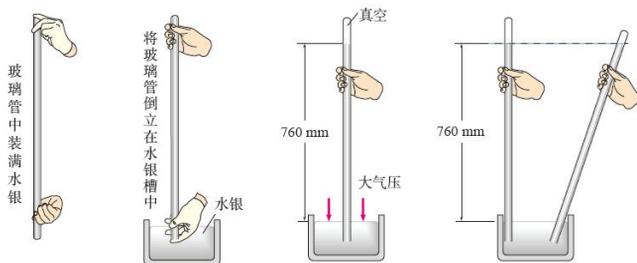


图9.3-3 托里拆利实验

在实验中，玻璃管内部没有空气，随着水银柱的下降，管内水银的上方形成真空。管外水银面上气体的压强受到大气压强，正是大气压强支持着玻璃管内 760mm 高的水银柱。

#### 2. 标准大气压

通常把 760mm 高水银柱产生的压强叫标准大气压，根据  $p = \rho_{\text{水银}}gh \approx 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

即一标准大气压的值为  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。粗略计算时可取  $10^5 \text{ Pa}$ 。

### 【考点 66】流体压强与流速的关系

#### 1. 流体压强与流速的关系

液体在流速大的地方压强小，在流速小的地方压强大。

#### 2. 气体压强与流速的关系

气体在流速大的地方压强小，在流速小的地方压强大。

### 【考点 67】浮力产生的原因

浮力是由于周围液体对物体上下表面存在的压力差而产生的。浮力的方向总是竖直向上的，即  $F_{\text{浮}} = F_{\text{向上}} - F_{\text{向下}}$ 。

**【考点 68】阿基米德原理**

1. 阿基米德原理的内容

没入液体中的物体所受浮力的大小等于被物体排开的液体所受的重力，即

$$F_{\text{浮}} = G_{\text{排}} = \rho_{\text{液}} g v_{\text{排}}。$$

**【考点 69】物体的沉浮**

上浮	下沉	悬浮	漂浮	沉底
$F_{\text{浮}} > G$	$F_{\text{浮}} < G$	$F_{\text{浮}} = G$	$F_{\text{浮}} = G$	$F_{\text{浮}} + N = G$
$\rho_{\text{液}} > \rho_{\text{物}}$	$\rho_{\text{液}} < \rho_{\text{物}}$	$\rho_{\text{液}} = \rho_{\text{物}}$	$\rho_{\text{液}} > \rho_{\text{物}}$	$\rho_{\text{液}} < \rho_{\text{物}}$

**【考点 70】功的概念**

1. 一个物体受到力的作用，如果在力的方向上发生一段位移，这个力就对物体做了功。

2. 功的两个不可缺少的要素

一是要有作用在物体上的力，二是物体必须在力的方向上有位移。两个条件缺一不可，而且必须注意力是在位移方向上的力：位移是力的方向上的位移。

3. 功的定义公式  $W = Fs \cos \theta$

(1) 该公式只能用来直接求解恒力对物体做的功，变力对物体做的功不能直接用该式计算。

(2) 公式中指的是物体的对地位移，如果给定的位移不是对地的，需要转化为对地位移再来计算。

(3) 公式中  $\theta$  指的是物体受到的恒力  $F$  与物体的对地位移  $s$  正向间的夹角。

(4) 做功与物体的运动形式无关，也就是说当  $F$ 、 $S$ 、 $\theta$  确定后，功  $W$  就有确定的值。

(5) 功是过程量，是力对空间的积累量。

(6) 公式中力  $F$  的单位是  $N$ ；位移  $s$  的单位是  $m$ ，功的单位是焦耳 ( $J$ )。

### 【考点 71】功的正负

夹角	功的正负	物理意义
$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$	$W > 0$	力对物体做正功
$\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$	$W < 0$	力对物体做负功，或者说物体克服这个力做了功
$\alpha = \frac{\pi}{2}$	$W = 0$	力对物体不做功

### 【考点 72】计算功的常用方法

#### (1) 恒力做功

对恒力作用下物体的运动，力对物体做的功用  $W = Fs \cos \theta$  求解。该公式可写成  $W = F(s \cos \theta) = (F \cos \theta)s$ 。即功等于力与力方向上位移的乘积或功等于位移与位移方向上力的乘积。恒力做功的特点是：与实际路径无关，而是由始、末位置决定。

#### (2) 变力做功

A. 用动能定理  $W = \Delta E_k$ ，即用动能的增量等效代换变力所做的功。

B. 当变力的功率  $P$  一定时，可用  $W = Pt$  求功，如机车以恒定功率启动时。

C. 将变力做功转化为恒力做功。

a. 当力的大小不变，而方向始终与运动方向相同或相反时，这类力所做的功等于力和路程（不是位移）的乘积。如滑动摩擦力做功、空气阻力做功等。

b. 当力的方向不变，大小随位移作线性变化时，可先求出力对位移的平均值  $\bar{F} = \frac{F_1 + F_2}{2}$ ，再由  $W = \bar{F}s \cos \theta$  计算，如弹簧弹力做功。

D. 作出力  $F$  随位移  $s$  变化的图像，图像与位移轴所围的“面积”即为变力做的功。

#### (3) 总功的求法

A. 总功等于合外力的功

先求出物体所受的合力  $F_{\text{合}}$ ，再根据  $W = F_{\text{合}} s \cos \theta$  计算总功，但应注意  $\theta$  应是合力与位移时夹角。

B. 总功等于各力做功的代数和

先分别求出每一个力所做的功： $W_1 = F_1 s_1 \cos \theta_1$ ， $W_2 = F_2 s_2 \cos \theta_2$ ，……再把各个外力所做的功求代数和，即： $W_n = W_1 + W_2 + W_3 + \dots$

### 【考点 73】功率

(1) 定义：功  $W$  跟完成这些功所用时间的比值，叫作功率。

(2) 公式： $P = W/t$

(3) 功率是一个标量，只有大小而无方向，其单位为瓦特 (W)， $1W = 1J/s$ 。

(4) 此公式适用于任何情况下功率的计算。

### 【考点 74】瞬时功率和机车功率

把  $W = Fs$  代入  $P = \frac{W}{t}$  可得  $P = \frac{Fs}{t} = Fv$  则  $P = Fv$  常用计算物体的瞬时速率。

(1) 在物体做匀速运动时， $P = Fv$  与  $P = \frac{W}{t}$  计算得到的功率相同，即平均功率与瞬时功率相同。

(2) 计算瞬时功率时  $P = Fv$  中的  $v$  应该是物体的瞬时速度，若  $v$  为平均速度，该式也可以计算平均功率。

(3) 在利用公式  $P = Fv$  计算功率时，速度  $v$  应该是物体在力的方向上的分量，如果力与速度之间的夹角为  $\theta$ ，则计算公式为  $P = Fv \cos \theta$ 。

### 【考点 75】机动车的启动问题

运用公式	两种情况	运动规律	重要特征	图象
------	------	------	------	----

$F_{\text{牵}} - f_{\text{阻}} = ma$ $P_{\text{额}} = F_{\text{牵}} v_t$ $P_{\text{额}} = f_{\text{阻}} v_{\text{max}}$	恒定功率启动	加速度减小的加速 → 匀速	加速度先减小后为零	末速度： $v_m = \frac{P}{f}$	
	恒定加速度启动	匀加速 → 加速度减小的加速 → 匀速	加速度先一定，后减小，最后为零		

### 【考点 76】动能

1. 定义：物体由于运动而具有的能量叫作动能，用符号  $E_k$  来表示。

2. 公式：动能的大小  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

3. 动能的特点

(1) 动能是一个标量，只有大小没有方向，其单位为焦耳 (J)

(2) 动能是状态量，对应物体运动的一个时刻。

(3) 动能具有相对性，对不同的参考系，物体的速度具有不同的瞬时值，也就有不同的动能。在研究物体的动能时，一般以地面为参考系。

### 【考点 77】动能定理

1. 动能定理的内容：合外力对物体做的总功等于物体动能的改变量。

2. 动能定理的物理意义：提出了做功与物体动能改变量之间的定量关系。

3. 动能定理的表达式： $W = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 。

### 【考点 78】重力势能

1. 定义：物体由于被举高而具有的能量叫做重力势能，用符号  $E_p$  表示，单位是焦耳 (J)。

2. 定义式： $E_p = mgh$ ，即物体的重力势能  $E_p$ ，等于物体的重量  $mg$  和它的高度  $h$  的乘积。

**【考点 79】重力做功与重力势能变化的关系**

(1) 定性关系：重力对物体做正功，重力势能就减小；重力对物体做负功，重力势能就增大。

(2) 定量关系：重力对物体做的功等于物体重力势能的减少量，即  $W_G = -(E_{p2} - E_{p1}) = E_{p1} - E_{p2}$ 。重力势能的变化是绝对的，与参考面的选取无关。

**【考点 80】弹性势能**

1. 弹力做功与弹性势能变化的关系类似于重力做功与重力势能变化的关系，用公式表示： $W = -\Delta E_p$ 。

2. 对于弹性势能，一般物体的弹性形变量越大，弹性势能越大。

内容	重力势能	弹性势能
概念	物体由于被举高而具有的能	物体由于发生弹性形变而具有的能
大小	$E_p = mgh$	与形变量及劲度系数有关
矢标性	标量	标量
相对性	大小与所选取的参考平面有关	一般选弹簧形变为零的状态为弹性势能零点

**【考点 81】机械能守恒定律内容**

在只有重力或弹力做功的物体系统，动能与势能可以相互转化，而总的机械能保持不变。

**【考点 82】机械能守恒定律表达式**

观点	表达式
守恒观点	$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$

转化观点	$\Delta E_k = -\Delta E_p$
转移观点	$\Delta E_A = -\Delta E_B$

只有重力及系统内的弹力做功，可以从以下三方面理解：

1. 只受重力作用，例如在不考虑空气阻力的情况下的各种抛体运动，物体的机械能守恒。
2. 受其他力，但其他力不做功，只有重力或系统内的弹力做功。
3. 弹力做功伴随着弹性势能的变化，并且弹力做的功等于弹性势能的减少量。

对机械能守恒定律三种表达式的理解

1. 守恒观点：

- a. 意义：系统初状态的机械能等于末状态的机械能。
- b. 注意问题：要先选取零势能参考平面，并且在整个过程中必须选取同一个零势能参考平面。

2. 转化观点：

- (1) 意义：系统（或物体）的机械能守恒时，系统增加（或减少）的动能等于系统减少（或增加）的势能。
- (2) 注意问题：要明确势能的增加量或减少量，即势能的变化，可以不选取零势能参考平面。

3. 转移观点：

- (1) 意义：若系统由 A、B 两部分组成，当系统的机械能守恒时，则 A 部分物体机械能的增加量等于 B 部分物体机械能的减少量。
- (2) 注意问题：A 部分机械能的增加量等于 A 末状态的机械能减初状态的机械能，而 B 部分机械能的减少量等于 B 初状态的机械能减末状态的机械能。

### 【考点 83】动量概念

- (1) 定义：物体的质量及其运动速度的乘积称为该物体的动量  $p = mv$ 。
- (2) 特征：①动量是状态量，对应物体某时刻的运动情况；

②动量是矢量，其方向与物体运动速度的方向一致。

(3) 意义：速度从运动学角度量化了机械运动的状态；动量则从动力学角度量化了机械运动的状态。

#### 【考点 84】冲量概念及其理解

(1) 定义：某个力与其作用时间的乘积称为该力的冲量  $I = F\Delta t$ 。

(2) 特征：①冲量是过程量，它与某一段时间相关；

②冲量是矢量，对于恒力的冲量来说，其方向就是该力的方向。

(3) 意义：冲量是力对时间的累积效应。对于质量确定的物体来说，合外力决定其速度将变多快；合外力的冲量将决定着其速度将变多少。对于质量不确定的物体来说，合外力决定其动量将变多快；合外力的冲量将决定动量将变多少。

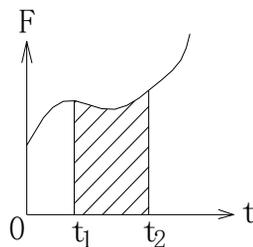
#### 【考点 85】关于冲量的计算

(1) 恒力的冲量计算

恒力的冲量可直接根据定义式来计算，即用恒力  $F$  乘以其作用时间  $\Delta t$  而得。

(2) 方向恒定的变力的冲量计算

如力  $F$  的方向恒定，而大小随时间变化的情况如图所示，则该力在时间  $\Delta t = t_2 - t_1$  内的冲量大小在数值上就等于图中阴影部分的“面积”。



(3) 一般变力的冲量计算

一般变力的冲量通常是借助于动量定理来计算的。

(4) 合力的冲量计算

几个力的合力的冲量计算，既可以先算出各个分力的冲量后再求矢量和，又可以先算各个分力的合力再算合力的冲量。

#### 【考点 86】动量定理

1. **表述**：物体所受合外力的冲量等于其动量的变化  $I = \Delta p$ ，也即  $F\Delta t = mv_1 - mv_0$ 。

2. **导出**：动量定理实际上是在牛顿第二定律的基础上导出的，由牛顿第二定律  $F = ma$

两端同乘合外力  $F$  的作用时间, 即可得:  $F\Delta t = ma\Delta t = m(v_t - v_0) = mv_t - mv_0$ 。

### 【考点 87】动量守恒定律的适用条件

1. 标准条件: 系统不受外力或系统所受外力之和为零。
2. 近似条件: 系统所受外力之和虽不为零, 但比系统的内力小得多(如碰撞问题中的摩擦力、爆炸问题中的重力等外力与相互作用的内力相比小得多), 可以忽略不计。
3. 分量条件: 系统所受外力之和虽不为零, 但在某个方向上的分量为零, 则在该方向上系统总动量的分量保持不变。

动量守恒定律的数学表达式

1.  $p = p'$  (系统相互作用前总动量等于相互作用后总动量  $p'$ )。
2.  $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$  (相互作用的两个物体组成的系统, 作用前动量和等于作用后动量和)。
3.  $\Delta p_1 = -\Delta p_2$  (相互作用的两个物体组成的系统, 两物体动量增量大小相等、方向相反)。
4.  $\Delta p = 0$  (系统总动量前后差为零)。

### 【考点 88】碰撞

两个物体在极短时间内发生相互作用, 这种情况称为碰撞。由于作用时间极短, 一般都满足内力远大于外力、所以可以认为系统的动量守恒。碰撞又分弹性碰撞、非弹性碰撞、完全非弹性碰撞三种。

1. 弹性碰撞: 碰撞过程中不但系统的总动量守恒, 而且碰撞前后动能也守恒。一般地两个硬质小球的碰撞, 都很接近弹性碰撞。
2. 非弹性碰撞: 碰撞过程中只有动量守恒, 动能并不守恒。
3. 完全非弹性碰撞: 两个物体碰撞后粘在一起。  $m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$ 。

### 【考点 89】反冲、爆炸现象

反冲指在系统内力作用下, 系统内一部分物体向某方向发生动量变化时, 系统内其余

部分物体向相反的方向发生动量变化的现象。喷气式飞机、火箭等都是利用反冲运动的实例。在反冲现象里系统的动量是守恒的。内力远大于外力，过程持续时间很短，即使系统所受合外力不为零，但合外力的冲量很小，可以忽略不计，可认为动量守恒。

爆炸过程中虽然动量守恒，但由于其他形式的能转化为机械能，所以爆炸前后机械能并不守恒，其动能要增加。

### 【考点 90】描述简谐运动的物理量

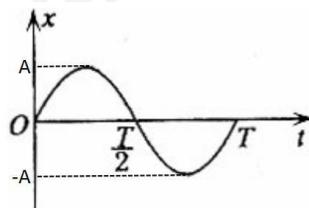
a. 全振动：振动质点从运动到某一位置开始到再一次以相同的运动速度经过同一位置的振动过程。

b. 位移  $x$ ：由平衡位置指向振动质点所在位置的有向线段，位移是矢量。

c. 振幅  $A$ ：振子偏离平衡位置的最大距离。振幅是标量，单位是米。

d. 周期和频率：物体完成一次全振动所需的时间叫周期，频率等于单位时间内完成全振动的次数，他们是表示振动快慢的物理量，二者互为倒数关系： $T = \frac{1}{f}$ 。

e. 简谐运动的表达式  $x = A \sin(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0)$



### 【考点 91】简谐运动的特征

(1) 受力特征： $F = -kx$ 。从动力学角度看，简谐运动的特征表现在所受到的回复力的形式上。简谐运动的质点所受到的回复力  $F$  的方向总与质点偏离平衡位置的位移方向相反，从而总指向平衡位置；其大小则总与质点偏离平衡位置的位移  $x$  的大小成正比，即动力学特征也是判断某机械运动是否为简谐运动的依据。

(2) 运动学特征： $a = \frac{F_{回}}{m} = -\frac{k}{m}x$ ，此式表明加速度也跟位移大小成正比，并总指

向平衡位置。由此可见，简谐运动是一变加速运动，加速度和速度都在做周期性的变化。

简谐振动是一种周期性运动，经过  $t = nT$  ( $n$  为正整数)，质点回到出发点，所有的运动描述量完全相同。经过  $t = (2n+1)\frac{T}{2}$  ( $n$  为正整数)，质点所处位置必定与原来的位置关于平衡位置对称，所有的运动描述量大小相等，如果为矢量则方向相反。

(3) 能量特征：振幅确定振动物体的能量，在振动的过程中只发生动能和势能的转化，总的机械能守恒。

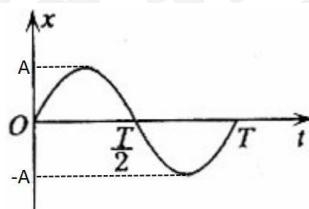
(4) 对称特征：

A. 瞬时量的对称性：做简谐运动的物体，在关于平衡位置对称的两点，其回复力、位移、加速度具有等大反向的关系。另外速度的大小和动能具有对称性，速度的方向可能相同或相反。

B. 过程量的对称性：振动质点来回通过相同的两点间的时间相等；质点经过关于平衡位置对称的等长的两线段的时间相等。

### 【考点 92】简谐运动的图像

如图所示为一弹簧振子做简谐运动的图像。它反映了振子的位移随时间变化的规律（其图像为正弦曲线）。



根据简谐运动的规律，利用该图像可以得出以下判定

- 振幅 A、周期 T 以及各时刻振子的位置。
- 各时刻回复力、加速度、速度、位移的方向。
- 某段时间内位移、回复力、加速度、速度、动能、势能的变化情况。
- 某段时间内弹簧振子经过的路程。

### 【考点 93】单摆与弹簧振子

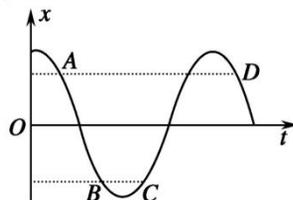
两类 振动	回复力	加速度	周期公式	特点			
单摆	$F = -\frac{mg}{L}x$	$a = -\frac{g}{L}x$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$	都做简 谐运动	是变 加速 运动	机械能 守恒	a=0 时 即平衡位 置速度最 大
弹簧 振子	$F = -kx$	$a = -\frac{k}{m}x$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$				

### 【考点 94】波的图象（以简谐波为例）

- 形状：波的图象的形状是如图所示的正弦曲线。

2. 意义：波的图象反映的是波的传播过程中某一时刻各个质点相对于各自的平衡位置的位移情况：

3. 作用：利用波的图象通常可以解决如下问题：



①从图象中可以看出波长  $\lambda$ ；

②从图象中可以看出各质点振动的振幅  $A$ ；

③从图象中可以看出该时刻各质点偏离平衡位置的位移情况；

④从图象中可以间接地比较各质点在该时刻的振动速度、动能、势能、回复力、加速度等量的大小；

⑤如波的传播方向已知，则还可以由图象判断各质点该时刻的振动方向以及下一时刻的波形；

⑥如波的传播速度大小已知，更可利用图象所得的相关信息进一步求得各质点振动的周期和频率；

**【考点 95】振动图象与波动图象的比较；**

		简谐运动的振图象	机械波的波动图象
图象			
函数关系		一个质点做简谐运动时，它的位置 $x$ 随时间 $t$ 变化的关系	在某一时刻某一直线上各个质点的位置所形成的图象（横波）
坐标	横轴	一个质点振动的时间	各质点平衡位置距坐标原点的位置（距离）
	纵轴	一个质点不同时刻相对平衡位置的位移	各质点相对各自平衡位置的位移
形状		正弦函数或余弦函数的图象	
由图象可直		周期 $T$	波长 $\lambda$ 振幅 $A$

观得到的数据	振幅 A	波峰及波谷的位置
图象上某一点的意义	在某时刻（横轴坐标）做简谐运动的物体相对平衡位置的位移（纵轴坐标）	在某时刻，距坐标原点的距离一定（横轴坐标）的该质点的位移（纵坐标）

### 【考点 96】波的特有现象

#### 1. 波的叠加原理（独立传播原理）

几列波相遇时能够保持各自的状态而不互相干扰，在几列波重叠的区域里，任何一个质点的总位移，都等于这几列波分别引起的位移的矢量和。

#### 2. 波的衍射：波绕过障碍物的现象

能够发生明显衍射的条件是：障碍物或孔的尺寸比波长小，或者跟波长相差不多。

3. 波的干涉：频率相同的两列波叠加发生干涉现象，则介质中某点 P 的振动是加强或是减弱，取决于该点到达两波源的距离之差：若距离之差恰等于半波长的偶（奇）数倍，则 P 处的质点振动必然是加强（减弱）的。

### 【考点 97】多普勒效应

由于波源和观察者之间有相对运动，使观察者感到频率发生变化的现象，叫做多普勒效应。频率为  $f$  的波源向着观察者运动时，观察者感受到的频率  $f_1 > f_2$ ；频率为  $f$  的波源远离观察者运动时，观察者感受到的频率  $f_2 < f_1$ 。

## 第三章 热学

### 【考点 98】分子的大小、质量和数量的估算

设微观量分子体积为  $V_0$ 、分子直径为  $d$ 、分子质量为  $m_0$ ；宏观量物质体积为  $V$ 、摩尔体积为  $V_m$ 、物质质量为  $M$ 、摩尔质量为  $\mu$ 、物质密度为  $\rho$ 。

(1) 分子质量:  $m_0 = \frac{\mu}{N_A} = \frac{\rho V_m}{N_A}$ , 一般分子质量的数量级是  $10^{-26} \text{ kg}$ ;

(2) 分子体积:  $V_0 = \frac{V_m}{N_A} = \frac{\mu}{\rho N_A}$  (对气体,  $V_0$  应为气体分子占据的空间大小);

### 【考点 99】分子直径:

球体模型:  $V_0 = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3$ ,  $d = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}}$  (固体、液体一般用此模型)。

立方体模型:  $d = \sqrt[3]{V_0}$ ; (气体一般用此模型, 对气体,  $d$  理解为相邻分子间的平均距离)。

一般分子直径的数量级是  $10^{-10} \text{ m}$ 。

### 【考点 100】阿伏伽德罗常数

分子的数量:  $n = \frac{V}{V_m} N_A = \frac{M}{\rho V_m} N_A$  或  $n = \frac{M}{\mu} N_A = \frac{\rho V}{\mu} N_A$

$N_A$  为阿伏伽德罗常数, 指  $1 \text{ mol}$  任何物质所含有的粒子数,  $N = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。

$1 \text{ mol}$  任何气体在标准状况下的体积都是  $22.4 \text{ L}$ 。阿伏伽德罗常数是联系微观世界和宏观世界的桥梁。

### 【考点 101】扩散

相互接触的不同物质彼此进入对方的现象。温度越高, 扩散越快; 可在固体、液体、气体中进行。

**【考点 102】布朗运动**

- (1) 对象：布朗运动的研究对象是小颗粒，而不是分子，是属于宏观颗粒的运动。
- (2) 特点：永不停息、运动无规则，其激烈程度与颗粒大小和环境温度有关。颗粒越小、温度越高，布朗运动越显著。
- (3) 实质：布朗运动不是分子的运动，而是悬浮在液体（或气体）中颗粒的运动，是宏观现象。但布朗运动间接传递了液体（或气体）分子无规则运动的信息。
- (4) 产生原因：当颗粒足够小时，各个方向的液体分子对颗粒撞击的不平衡所引起的；导致布朗运动的本质原因是液体分子的热运动。
- (5) 影响激烈程度的有关因素：微粒的质量、微粒的体积和液体的温度；而影响分子热运动剧烈程度的因素是温度。

**【考点 103】分子间存在着相互作用的分子力**

1. 分子间的引力  $f_{引}$  与斥力  $f_{斥}$  同时存在，表现出的分子力是其合力。
2. 分子间的引力  $f_{引}$  与斥力  $f_{斥}$  均随分子间距  $r$  的增大而减小，但斥力  $f_{斥}$  随间距  $r$  衰减得更快些。

3. 分子间距存在着某一个值  $r_0$ （数量级为  $10^{-10}\text{m}$ ）

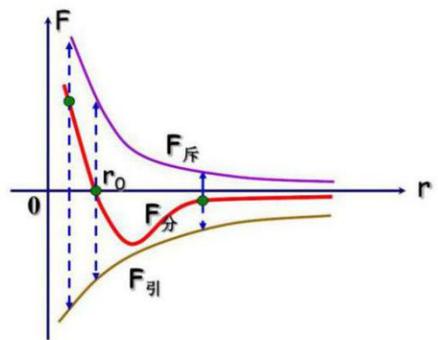
当  $r > r_0$  时， $f_{引} > f_{斥}$ ，分子力表现为引力；

当  $r = r_0$  时， $f_{引} = f_{斥}$ ，分子力为零；

当  $r < r_0$  时， $f_{引} < f_{斥}$ ，分子力表现为斥力；

4. 当分子间距当  $r > 10r_0$  时，分子间引力、斥力均可忽略。

5. 分子间引力  $f_{引}$ ，斥力  $f_{斥}$  及分子力  $f$  随分子间距  $r$  的变化情况如图所示。



**【考点 104】物体的内能**

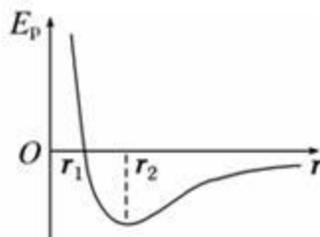
物体所有分子热运动动能和与分子力相对应的分子势能之总和叫做物体的内能。

**【考点 105】分子平均动能与温度的关系**

由于分子热运动的无规则性，所以各个分子热运动动能不同，但所有分子热运动动能的平均值只与温度相关，温度是分子平均动能的标志，温度相同，则分子热运动的平均动能相同，对确定的物体来说，总的分子动能随温度单调增加。

**【考点 106】分子势能与距离的关系**

分子势能与分子力相关：分子力做正功，分子势能减小；分子力做负功，分子势能增加。而分子力与分子间距有关，分子间距的变化则又影响着大量分子所组成的宏观物体的体积。这就在分子势能与物体体积间建立起某种联系。考虑到分子力在  $r < r_0$  时表现为斥力，此时体积膨胀时，表现为斥力的分子力做正功。因此分子势能随物体体积呈非单调变化的特征。



**【考点 107】改变内能的两种方式**

改变物体的内能通常有两种方式：做功和热传递。做功涉及到的是内能与其它能间的转化；而热传递则只涉及到内能在不同物体间的转移。

**【考点 108】温度、内能、热量之间的区别和联系**

物理量	区别	联系
温度	表示物体的冷热程度，不能被传递或转移，单位是摄氏度。温度是物体内部分子热运动快慢程度的标志。	热传递可以改变物体的内能，使其内能增加或减少，但温度不一定改变（晶体的熔化、凝固）。即物体吸热，内能会增加；物体放热，内能会减少，但是物体的温度不一定改变。
内能	是一种形式的能，可以被转化为转移，单位是焦耳，一切物体都具有内能，它是物体中所有分子动能和势能的总和，它的大小取决于分子的热运动和分子间的相互作用。	
热量	热传递过程中传递能量的多少，单位是焦耳，它是内能转移多少的量度，是一个过程量，不是物体所具有或含有的。它用“放出”或“吸收”来表示。	

**【考点 109】比热容与热量的计算**

1kg 的某物质温度升高（降低）1℃所吸收（或放出）的热量，叫作这种物质的比热容，用符号  $c$  表示。

比热容的单位是  $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ，读作“焦每千克摄氏度”，如水的比热容是  $4.2 \times 10^3 J/(kg \cdot ^\circ C)$ ，其物理意义是：1 千克的水温度升高（降低）1℃吸收（放出）的热量是  $4.2 \times 10^3 J$ 。

物体在热传递过程中吸收或放出热量的多少与物体的质量、比热容及温度变化的多少有关。可以用公式来表示： $Q = cm\Delta t$ ，用  $Q$  表示吸收或放出的热量， $c$  表示物质的比热容， $m$  表示物体的质量， $t_0$  表示物体的初温， $t$  表示物体的末温，则物体吸收的热量为  $Q_{吸} = cm(t - t_0)$ ；物体放出的热量为  $Q_{放} = cm(t_0 - t)$

**【考点 110】晶体与非晶体**

分类	晶体		非晶体
比较	单晶体	多晶体	
外形	规则	不规则	不规则
熔点	确定		不确定
物理性质	各向异性	各向同性	
原子排列	有规则，但多晶体每个单晶体间的排列无规则		无规则
形成与转化	有的物质在不同条件下能够形成不同的晶体。同一物质可能以晶体和非晶体两种不同的形态出现，有些晶体在一定条件下也可以转化为非晶体		
典型物质	石英、云母、食盐、硫酸铜		玻璃、蜂蜡、松香

**【考点 111】液体的表面层**

跟气体接触的液面薄层叫作表面层。液体的表面层好像是绷紧的橡皮膜一样，具有收缩的趋势。荷叶上的小水滴、草上的露珠成球形，都是液体表面层收缩的结果。

**【考点 112】浸润**

在洁净的玻璃片上放一滴水，水能扩展形成薄层，附着在玻璃板上。这种液体附着在

固体表面上的现象叫作浸润。

### 【考点 113】毛细现象

浸润液体在细管内液面升高的现象和不浸润液体在细管内液面降低的现象，叫作毛细现象。

### 【考点 114】饱和蒸汽、未饱和蒸汽和饱和蒸汽压

液体蒸发时，液体内部平均动能较大的分子不断逸出液面成为蒸汽，但同时蒸汽中也有分子回到液体内部。当在同一时间内，逸出液面的分子数和回入液体的分子数相等时，液面上方的蒸汽密度不再增大，此时的蒸汽即为饱和蒸汽。固体升华时，与同种物质的固态处于动态平衡的蒸汽，也称饱和蒸汽。而没有达到饱和程度的蒸汽叫未饱和蒸汽。

在一定温度下，与液体或固体处于相平衡的蒸汽所具有的压力称为饱和蒸汽压，同一物质在不同温度下有不同的蒸汽压，并随着温度的升高而增大。

### 【考点 115】相对湿度

空气有吸收水分的特征，湿度的概念是空气中含有水蒸汽的多少。

相对湿度用  $RH$  表示。相对湿度的定义是单位体积空气内实际所含的水气密度（用  $d_1$  表示）和同温度下饱和水气密度（用  $d_2$  表示）的百分比，即  $RH(\%) = \frac{d_1}{d_2} \times 100\%$ ；另一种计算方法是：实际的空气水气压强（用  $p_1$  表示）和同温度下饱和水气压强（用  $p_2$  表示）的百分比，即  $RH(\%) = \frac{p_1}{p_2} \times 100\%$ 。

### 【考点 116】液体的表面张力

作用：液体的表面张力使液面具有收缩的趋势。

方向：表面张力跟液面相切，跟这部分液面的分界线垂直。

### 【考点 117】气体的状态参量

1. 温度：宏观上表示物体的冷热程度，微观上是分子平均动能的标志。

热力学温标和摄氏温标的换算关系  $T = (t + 273.15)K$ 。绝对零度为  $-273.15^\circ C$ ，它是低温的极限，只能接近不能达到。

2. 气体的体积：气体的体积不是气体分子自身体积的总和，而是指大量气体分子所能达到的整个空间的体积。封闭在容器内的气体，其体积等于容器的容积。

3. 气体的压强：气体作用在器壁单位面积上的压力，同一容器内气体的压强处处相等。数值上等于单位时间内器壁单位面积上受到气体分子的总冲量。国际单位为帕，符号为  $Pa$ ，且  $1atm = 1.013 \times 10^5 Pa$ 。

(1) 产生原因：大量气体分子无规则运动碰撞器壁，形成对器壁各处均匀的持续的压力。

(2) 决定因素：一定气体的压强大小，微观上决定于分子的运动速率和分子密度；宏观上决定于气体的温度和体积。

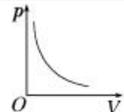
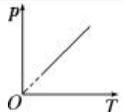
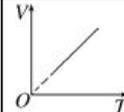
4. 对于一定质量的理想气体， $pV/T = \text{恒量}$ 。

**【考点 118】理想气体：**

1. 宏观上讲，理想气体是指在任何条件下始终遵守气体实验定律的气体，实际气体在压强不太大、温度不太低的条件下，可视为理想气体。

2. 微观上看：a. 分子可看作质点；b. 除分子与分子间、分子与器壁间的碰撞外，分子间没有相互作用，因此理想气体没有分子势能，其内能仅由气体质量及温度决定，与体积无关；c. 分子与分子、分子与器壁间的碰撞是弹性碰撞。

**【考点 119】气体实验定律**

	玻意耳定律	查理定律	盖-吕萨克定律
内容	一定质量的气体，在温度不变的情况下，压强与体积成反比	一定质量的气体，在体积不变的情况下，压强与热力学温度成正比	一定质量的某种气体，在压强不变的情况下，其体积与热力学温度成正比
表达式	$p_1V_1 = p_2V_2$ 或 $pV = \text{恒量}$	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ 或 $\frac{P}{T} = \text{恒量}$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 或 $\frac{V}{T} = \text{恒量}$
图象			

微观解释	一定质量的气体，温度保持不变时，分子的平均动能一定。在这种情况下，体积减小时，分子的密集程度增大，气体的压强就增大。	一定质量的气体，体积保持不变时，分子的密集程度保持不变。在这种情况下，温度升高时，分子的平均动能增大，气体的压强就增大。	一定质量的气体，温度升高时，分子的平均动能增大。只有气体的体积同时增大，使分子的密集程度减小，才能保持压强不变。
------	--	--	--

### 【考点 120】理想气体的状态方程

1. 内容：一定质量的某种理想气体发生状态变化时，压强跟体积的乘积与热力学温度的比值保持不变。

2. 公式： $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$  或  $\frac{PV}{T} = C$  (C 是与 p、V、T 无关的常量)。

### 【考点 121】理想气体状态方程与气体实验定律

1. 理想气体状态方程与气体实验定律的关系：温度不变： $p_1V_1 = p_2V_2$  (玻意耳定律)；

体积不变： $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$  (查理定律)，压强不变： $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$  (盖-吕萨克定律)。

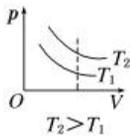
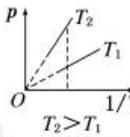
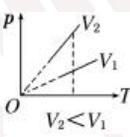
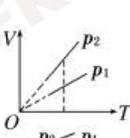
2. 几个重要的推论：

A. 查理定律的推论： $\Delta p = \frac{p_1}{T_1} \Delta T$

B. 盖-吕萨克定律的推论： $\Delta V = \frac{V_1}{T_1} \Delta T$

C. 理想气体状态方程的推论： $\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{p_1V_1}{T_1} + \frac{p_2V_2}{T_2} + \dots$

**【考点 122】一定质量的气体不同图象的比较**

过程	类别 图线	特点	举例
等温过程	$p-V$	$pV=CT$ (其中 $C$ 为恒量), 即 $pV$ 之积越大的等温线温度越高, 线离原点越远	
	$p-\frac{1}{V}$	$p=CT$ , 斜率 $k=CT$ , 即斜率越大, 温度越高	
等容过程	$p-T$	$p=\frac{C}{V}T$ , 斜率 $k=\frac{C}{V}$ , 即斜率越大, 体积越小	
等压过程	$V-T$	$V=\frac{C}{p}T$ , 斜率 $k=\frac{C}{p}$ , 即斜率越大, 压强越小	

**【考点 123】物态变化**

1. 熔化与凝固

熔化指的是物质从固态变成液态的过程。凝固指的是物质从液态变成固态的过程。

2. 汽化与液化

汽化指的是物质从液态变成气态的过程。汽化有两种方式：蒸发和沸腾。蒸发只发生在液体表面，而且在任何温度下都能发生。沸腾是在液体表面和液体内部同时发生的剧烈的汽化现象，沸腾只在一定的温度下才会发生，就是液体的沸点。

液化指的是物质从气态变成液态。

3. 升华和凝华

升华指的是物质从固态不经过液态直接转变成气态的现象。凝华指的是物质从气态不经过液态直接转变成固态的现象。

**【考点 124】热力学第一定律**

1. 内容：物体内能的增量 $\Delta E$ 等于外界对物体做的功 $W$ 和物体吸收的热量 $Q$ 的总和。
2. 表达式： $W+Q=\Delta E$
3. 符号法则：外界对物体做功， $W$ 取正值，物体对外界做功， $W$ 取负值；物体吸收热量 $Q$ 取正值，物体放出热量 $Q$ 取负值；物体内能增加 $\Delta E$ 取正值，物体内能减少 $\Delta E$ 取负值。

**【考点 125】热力学第二定律**

## 1. 表述形式：

- (1) 不可能使热量由低温物体传递到高温物体，而不引起其他变化。
- (2) 不可能从单一热源吸收热量并把它全部用来做功，而不引起其他变化。

两种表述是等价的，并可从一种表述导出另一种表述。

## 2. 对热力学第二定律的理解

热力学第二定律的两种表述都有“而不引起其他变化”，这是理解这一定律的关键。表述(1)说明热传导的过程是有方向性的。这个过程可以向一个方向自发地进行，但是向相反的方向不会自发进行。要实现相反方向的过程，必须借助外界帮助，因而产生了其他影响或引起其他变化。也就是说在引起了其他变化的情况下，热量可以从低温物体传到高温物体。

**【考点 126】热力学第三定律**

1. 内容：热力学零度不可能达到。
2. 热力学温度 $T$ 与摄氏温度 $t$ 的关系： $T=t+273.15K$ 。

**【考点 127】能的转化和守恒定律**

能量既不能凭空产生，也不能凭空消失，它只能从一种形式转化为别的形式，或从一个物体转移到另一个物体。

**【考点 128】永动机与能量耗散**

## 1. 第一类永动机

概念：不消耗能量而能对外做功的机器。

结果：无一例外地归于失败。

原因：违背了能量守恒定律。

## 2. 第二类永动机

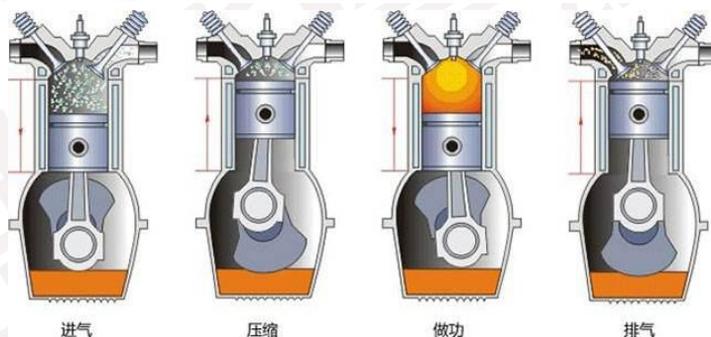
定义：只是从单一热源吸收热量并把它全部用来做功，而不引起其他变化的热机。

第二类永动机不可能制成，因为热机的效率不可能达到 100%。

### 【考点 129】内燃机每一个工作循环分为四个冲程：

吸气冲程、压缩冲程、做功冲程、排气冲程。做功冲程是将内能转化为机械能，压缩冲程将机械能转化为内能。

工作过程 (四冲程) 14221	每一个工作循环分为四个冲程： <u>吸气</u> 冲程、 <u>压缩</u> 冲程、 <u>做功</u> 冲程、 <u>排气</u> 冲程；曲轴和飞轮转动2周，活塞往复2次，对外做功1次
	吸气、压缩和排气冲程是依靠飞轮的 <u>惯性</u> 来完成的， <u>做功</u> 冲程是内燃机中唯一对外做功的冲程
	做功冲程中将 <u>内能</u> 转化为 <u>机械能</u> ；压缩冲程中将 <u>机械能</u> 转化为 <u>内能</u>



### 【考点 130】热机效率：

1. 定义：用来做有用功的那部分能量与燃料完全燃烧放出的能量之比。

2. 公式：  $\eta = W/Q$ .

## 第四章 电磁学

### 【考点 131】电荷：

自然界只存在两种电荷，即正电荷和负电荷。用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷是正电荷；用毛皮摩擦过的橡胶棒所带的电荷是负电荷。同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

电荷量：物体所带电荷的多少，单位是库仑。

### 【考点 132】元电荷、点电荷、场源电荷和试探电荷。

①元电荷  $e$ ：一个物体所带电量的最小单元。

a.  $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$

b. 质子或电子所带的电量就是元电荷。

c. 元电荷是世界上最小的电量。

d. 任何带电体的电量都是元电荷的整数倍。

②点电荷：形状和大小对研究问题的影响可忽略不计的带电体称为点电荷。

③场源电荷：电场是由电荷产生的，我们把产生电场的电荷叫作场源电荷。

④试探电荷（检验电荷）：研究电场的基本方法之一是放入一带电荷量很小的点电荷，考察其受力情况及能量情况，这样的电荷称为试探电荷或检验电荷。

### 【考点 133】电荷守恒定律

电荷既不能创造，也不能消灭，只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移另一部分，在转移的过程中，电荷的总量不变。

### 【考点 134】起电方式

①摩擦起电：两个不同的物体相互摩擦，带上等量的异种电荷。

②接触带电：不带电物体接触另一个带电物体，使电荷从带电体转移一部分到不带电的物体上。

③感应起电：导体接近（不接触）带电体，使导体靠近带电体一端带有与带电体相异的电荷，而另一端带上与带电体电荷相同的电荷。

### 【考点 135】带电实质

物体带电的实质是电子转移。

### 【考点 136】电荷分配原则

若两个同种电荷的带电体接触，二者总电荷平均分配；若两个异种电荷的带电体接触，电荷先中和，多余的电荷再平均分配。

### 【考点 137】库仑定律

真空中两个点电荷之间相互作用力，跟它们的电荷量的乘积成正比，跟它们的距离的二次方成反比，作用力的方向在它们的连线上。公式为：

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

适用条件：真空中；点电荷。

### 【考点 138】静电现象

孤立的带电体和处于电场中的感应导体处于静止平衡的特征

- (1) 导体内部场强处为零，没有电场线（叠加后的）
- (2) 整个导体是个等势体，导体表面是个等势面；
- (3) 导体外表面处场强方向必跟该点的表面垂直，表面场强不一定为零；
- (4) 对孤立导体，静电荷分布在外表面，且表面曲率越大，电荷密度越大，电场越强。

### 【考点 139】电场

1. 定义：电场是电荷及变化磁场周围空间里存在的一种特殊物质。能传递电荷间相互作用的物质。

2. 基本性质：对放入其中的电荷有力的作用。

### 【考点 140】电场强度

1. 定义：放入电场中某点的电荷受到的电场力  $F$  与它的电荷量  $q$  的比值。

2. 定义式： $E = \frac{F}{q}$ 。

3. 单位：N/C 或 V/m。
4. 矢量性：规定正电荷在电场中某点所受电场力的方向为该点电场强度的方向。
5. 点电荷的场强： $E = k \frac{q}{r^2}$ ，适用于计算真空中的点电荷产生的电场。

### 【考点 141】电场强度的几种求法

a. 用定义式求解：由于定义式  $E = \frac{F}{q}$  适用于任何电场，故都可用测得的放入某点的

电荷  $q$  受到的电场力  $F$  与试探电荷电量  $q$  的比值求出该点的电场强度。

b. 用  $E = k \frac{q}{r^2}$  求解：库仑力的实质是电场力。

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \Rightarrow \mathbf{F} = \left( \frac{Kq_1}{r^2} \right) \cdot \mathbf{q}_2 = \mathbf{E} \cdot \mathbf{q}_2$$

式中  $E$  表示点电荷  $q_1$  在  $q_2$  处产生的场强。

此式适用于求真空中点电荷产生的电场，其方向由场源电荷  $Q$  的电性决定。若场源电荷带正电，则  $E$  的方向沿半径  $r$  向外；若场源电荷带负电，则  $E$  的方向沿半径方向指向场源电荷。

c. 用场强与电势差的关系求解：在匀强电场中，场强在数值上等于沿场强方向每单位距离上的电势差  $U$ ，即  $E = \frac{U}{d}$ ，式中  $d$  为沿电场线方向的距离， $U$  为这个距离的两个点（或称为等势面）的电势差。

d. 矢量叠加法求解：已知某点的几个分场强求合场强，或已知合场强求某一分场强，则用矢量叠加法求解。

### 【考点 142】电场线

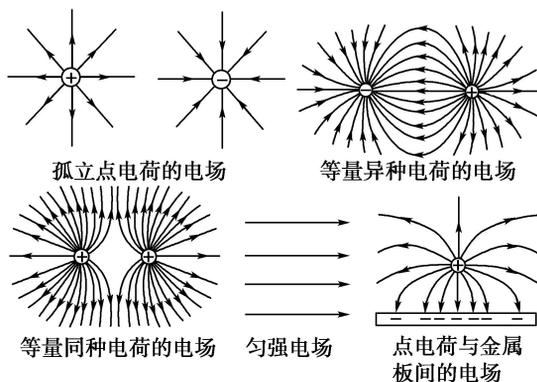
1. 定义：为了形象地描述电场中各点场强的强弱及方向，在电场中画出一些曲线，曲线上每一点的切线方向都跟该点的场强方向一致，曲线的疏密表示电场的强弱。

2. 特点

a. 电场线从正电荷或无限远处出发，终止于负电荷或无限远处；

- b. 电场线在电场中不相交，不中断，不闭合；
- c. 在同一电场里，电场线越密的地方场强越大；
- d. 电场线上某点的切线方向表示该点的场强方向；
- e. 沿电场线方向电势逐渐降低；
- f. 电场线和等势面在相交处互相垂直.

**【考点 143】几种典型电场的电场线**



**【考点 144】电势**

如果在电场中选一个参考点（零电势点），那么电场中某点跟参考点间的电势差，就叫作该点的电势。电场中某点的电势在数值上等于把单位正电荷由该点移动到参考点（零电势点）时，电场力所做的功。电势的单位：伏特（V）。

**【考点 145】对电势的理解：**

- (1) 电势是标量，有正负，无方向，只表示相对零电势点比较的结果。
- (2) 电势是电场本身具有的属性，与试探电荷无关。
- (3) 沿着电场线的方向，电势越来越低（最快）；逆着电场线的方向，电势越来越高。电势降低的方向不一定就是电场线的方向。
- (4) 电势与场强没有直接关系：电势高的地方，场强不一定大；场强大的地方，电势不一定高。
- (5) 电势是标量，没有方向，但有正负之分，比零电势点高为正，比零电势点低为负。

(6) 电势的值与零电势的选取有关。零电势点可以自由选取，通常取离电场无穷远处的电势为零，实际应用中常取大地电势为零。

(7) 如果取无穷远处的电势为零，正电荷形成的电场中各点的电势均为正值，负电荷形成的电场中各点的电势均为负值。

(8) 当存在几个“场源”时，某处合电场的电势等于各“场源”的电场在此处的电势的代数和。

(9) 点电荷电场的电势。在一个点电荷  $q$  所形成的电场中，若取无限远处的电势为零，则在距此点电荷距离为  $r$  的地方的电势为  $\varphi = k \frac{q}{r}$ 。

(10) 均匀带电球电场的电势。对于一个均匀带电球面所形成的电场，若球半径为  $R$ ，带电量为  $q$ ，则在球外的任意与球心相距为  $r$  的点的电势为  $U = k \frac{q}{r}$ ，而其球面上和球面

内任一点的电势都是  $U = k \frac{q}{R}$ 。

### 【考点 146】电势差

电荷  $q$  在电场中由一点  $A$  移到另一点  $B$  时，电场力所做的功  $W_{AB}$  跟它的电荷量  $q$  的比值，叫作  $A$ 、 $B$  两点间的电势差。定义式为：

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

单位：伏特  $V = J/C$

电势差是标量，有正负，无方向。 $A$ 、 $B$  间电势差  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ ，显然  $U_{AB} = -U_{BA}$ ，电势差的值与零电势的选取无关。

### 【考点 147】电势能

由电荷在电场中的相对位置决定的能量叫作电势能。

① 电荷在电场中每一个位置都有一定的电势能，电势能的大小与电荷所在的位置有关。

② 电势能的大小具有相对性，电荷在电场中电势能的数值与选定的零电势能位置有关，

通常取无穷远处或大地为电势能的零点。而电势能的变化是绝对的，与零电势能位置的选择无关。

③电势能有正负，电势能为正时表示该点电势能比参考点的电势能高，反之则低

④电势能是电荷和电场所共有，没有电场的存在，就没有电势能，仅有电场的存在，而没有电荷时也没有电势能

⑤电荷在电场中某点的电势能在数值上等于把电荷从这点移到电势能为零处（电势为零处）电场力所做的功，则有  $E_p = W = Uq = q\phi$ 。

⑥电荷电势能的变化仅由电场力对电荷做功引起，与其他力对电荷做功无关。

⑦电势能的单位为焦耳（J），还可以是电子伏（eV）。定义为在真空中1个电子通过1伏电位差的空间所能获得的能量。1电子伏 =  $1.602 \times 10^{-19}$  焦。常用单位有千电子伏及兆电子伏。

### 【考点 148】电势能的变化

当运动方向与电场力方向的夹角为锐角时，电场力做正功，电势能减少；当电荷运动方向与电场力方向夹角为钝角时，电场力做负功，电势能增加。电势能变化的数值等于电场力对电荷做功的数值，这是判断电荷电势能如何变化的依据。

### 【考点 149】电势能变化的判断方法

通过电场力做功判断：由电荷的正负和移动的方向判断（4种情况） $\langle \Rightarrow \rangle$ 功的正负 $\langle \Rightarrow \rangle$ 电势能的变化。

### 【考点 150】等势面

一般来说，电场中各点的电势不同，但电场中也有许多点的电势相等，把电场中电势相等的点构成的面叫作等势面。等势面具有以下特点：

（1）在同一等势面上的任意两点间移动电荷，电场力不做功。

因为等势面上各点电势相等，电荷在同一等势面上各点具有相同的电势能，所以在同一等势面上移动电荷电势能不变，即电场力不做功。

（2）等势面一定跟电场线垂直，即跟场强的方向垂直

假如不是这样，场强就有一个沿着等势面的分量，这样在等势面上移动电荷时电场力

就要做功但这是不可能的，因为在等势面上各点电势相等，沿着等势面移动电荷时电场力是不做功的，所以场强一定跟等势面垂直。

(3) 沿着电场线方向电势越来越低。

电场线不但与等势面垂直，而且由电势较高的等势面指向电势较低的等势面

(4) 导体处于静电平衡时，整个导体是一个等势体，导体表面是一个等势面

(5) 不同的等势面是不会相交的，也不能相切。

(6) 等差等势面的疏密表示电场的强弱

等差等势面密的地方场强大，等差等势面疏的地方场强小

### 【考点 151】电容器

两个彼此绝缘又互相靠近的导体可构成一个电容器。电容器是储存电荷（电能）的元件。

### 【考点 152】电容器的充放电

1. 把电容的一个极板接电池正极，另一个极板接电池负极，两个极板就分别带上了等量的异种电荷，这个过程叫作充电。电容器充电时会在电路中形成随时间变化的充电电流。电流从电源正极流向电容器的正极板，从电容器的负极板流向电源的负极。

2. 用一根导线把充电后的两极接通，两极上的电荷互相中和，电容器就不带电，这个过程叫作放电。

电容器放电时，电流从电容器正极板流出，通过电路流向电容器的负极板。

### 【考点 153】电容

电容器所带的电荷量  $Q$ （任一个极板所带电量的绝对值）与两个极板间的电势差  $U$  的比值叫作电容器的电容。电容表示电容器的带电本领的高低。定义式为  $C = \frac{Q}{U}$

电容单位：法拉（F），微法（ $\mu\text{F}$ ），皮法（pF）， $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12}\text{pF}$ 。

电容的大小与  $Q$ 、 $U$  无关，与电容器是否带电及带电多少无关， $C$  由电容器本身的物理条件（导体大小、形状、相对位置及电介质）决定。

### 【考点 154】平行板电容器

1. 影响因素：平行板电容器的电容与正对面积成正比，与介质的介电常数成正比，与两板间的距离成反比。

2. 决定式： $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$ ，k 为静电力常量。

特别提醒  $C = \frac{Q}{U}$  适用于任何电容器，但  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$  仅适用于平行板电容器。

**【考点 155】电容器两类问题的比较**

分类	充电后与电池两极相连	充电后与电池两极断开
不变量	U	Q
d 变大	C 变小 → Q 变小、E 变小	C 变小 → U 变大、E 不变
S 变大	C 变大 → Q 变大、E 不变	C 变大 → U 变小、E 变小
$\epsilon_r$ 变大	C 变大 → Q 变大、E 不变	C 变大 → U 变小、E 变小

**【考点 156】电加速**

带电粒子质量为 m，带电量为 q，在静电场中静止开始仅在电场力作用下做加速运动，经过电势差 U 后所获得的速度  $v_0$  可由动能定理来求得。即

$$qU = \frac{1}{2}mv_0^2$$

1. 在匀强电场中： $W = Eqd = Uq = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$  或  $F = Eq = q\frac{U}{d} = ma$

2. 在非匀强电场中： $W = Uq = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 。

**【考点 157】电偏转**

带电粒子质量为 m，带电量为 q，以初速度  $v_0$  沿垂直于电场方向射入匀强电场，仅在电场力作用下做电偏转运动。其运动类型为类平抛运动，若偏转电场的极板长度为 L，极板间距为 d，偏转电压为 U。则相应的偏转距离 y 和偏转角度  $\theta$  可由如下所示的类平抛运

动的规律。

1. 条件分析：带电粒子垂直于电场线方向进入匀强电场。
2. 运动性质：匀变速曲线运动。
3. 处理方法：分解成相互垂直的两个方向上的直线运动，类似于平抛运动。
4. 运动规律：

(1) 沿初速度方向做匀速直线运动，运动时间

$$\left\{ \begin{array}{l} a. \text{能飞出电容器: } t = \frac{l}{v_0} \\ b. \text{不能飞出电容器: } y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qU}{2md}t^2, t = \sqrt{\frac{2m dy}{qU}} \end{array} \right.$$

(2) 沿电场力方向，做匀加速直线运动

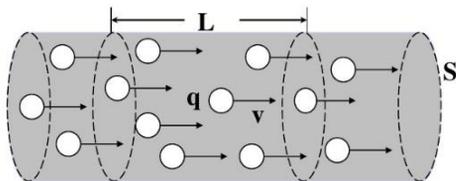
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{加速度: } a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md} \\ \text{离开电场时的偏移量: } y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qU}{2md} \left(\frac{l}{v_0}\right)^2 \\ \text{离开电场时的偏移角: } \tan \theta = \frac{V_y}{v_0} = \frac{qUl}{mdv_0^2} \end{array} \right.$$

### 【考点 158】电流

1. 产生持续电流的条件：(1) 导体中有自由电荷；(2) 导体两端存在电压。
2. 电流是标量但有方向，规定正电荷定向移动的方向为电流的方向（或与负电荷定向移动的方向相反）。单位：安培（A）。

### 【考点 159】电流的微观表达式。

如下图表示粗细均匀的一段导体 1，两端加一定的电压，导体中的自由电荷沿导体定向移动的速率为  $v$ ，设导体的横截面积为  $S$ ，导体每单位体积内的自由电荷数为  $n$ ，每个自由电荷所带的电荷量为  $q$ 。



导体中的自由电荷总数： $N=n1S$ ，总电荷量  $Q=Nq=n1Sq$

所有这些电荷都通过横截面 D 所需要的时间： $t = \frac{l}{v}$

所以导体上的电流： $I = \frac{Q}{t} = \frac{n1Sq}{\frac{l}{v}} = nqSv$

### 【考点 160】电压

1. 电压的作用：电压是使自由电荷定向移动形成电流的原因，常用字母 U 表示。

2. 单位：

(1) 在国际单位制中，电压的单位是“伏特”，简称“伏”，用符号“V”表示。

1V 的规定：在某段导体上，每通过 1C 的电荷量时，电流所做的功如果是 1J，那么这段导体两端的电压就是 1V。

(2) 常用单位：千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 ( $\mu V$ )。

(3) 单位间换算关系： $1kV=10^3V$ ， $1V=10^3mV$ ， $1mV=10^3\mu V$

### 【考点 161】电阻

1. 定义：导体对电流的阻碍作用叫作电阻。

1. 定义式： $R = \frac{U}{I}$ 。

2. 物理意义：导体的电阻反映了导体对电流阻碍作用的大小。

4. 电阻的单位：

(1) 在国际单位制中，电阻的单位是“欧姆”，简称“欧”，用符号“ $\Omega$ ”表示。

(2) 其他单位还有：千欧 ( $k\Omega$ )、兆欧 ( $M\Omega$ )

(3) 单位间的换算关系： $1k\Omega=10^3\Omega$ ， $1M\Omega=10^3k\Omega=10^6\Omega$

5. 影响电阻大小的因素

(1) 电阻是导体的属性，它的大小只与材料、长度和横截面积有关；与导体两端的电压和通过的电流无关。在材料相同时，长度越长，横截面积越小，电阻越大。

(2) 导体的电阻还与温度有关。一般来说，导体的电阻随温度的升高而增大；也有少数导体的电阻随温度的升高而减小。

**【考点 162】电阻定律与电阻率：**

同种材料的导体，其电阻与它的长度成正比，与它的横截面积成反比，导体的还与构成它的材料及温度有关。公式为： $R = \rho \frac{L}{S}$

1. 电阻率： $\rho = \frac{RS}{L}$

1. 物理意义：反映导体导电性能的物理量，是导体材料本身的属性。

2. 电阻率与温度的关系

a. 金属的电阻率随温度升高而增大；

b. 半导体的电阻率随温度升高而减小；

c. 超导体：当温度降低到绝对零度附近时，某些材料的电阻率突然减小为零，成为超导体。

**【考点 163】电阻的串联和并联**

电路	电流、电压	功率	特点	电阻及特点		
串联	$I=I_1=I_2=I_3$	$P=P_1+P_2+P_3$	$U \propto R$	$R=R_1+R_2+R_3$	串联越多总电阻越大	不管串联、并联、混联，某一电阻增大总电阻一定增大
	$U=U_1+U_2+U_3$		$P \propto R$			
并联	$I=I_1+I_2+I_3$		$I \propto \frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	并联支路越多总电阻越小	
	$U=U_1=U_2=U_3$					

混联	当某电阻 R 变化时，与它并联的定电阻 (I. U. P) 变化情况与 R 变化情况相同 当某电阻 R 变化时，与它串联的定电阻 (I. U. P) 变化情况与 R 变化情况相反	并同串反
----	--	------

### 【考点 164】短路和断路

(1) 短路是指电源两极或用电器两 endpoint 由导线直接连通。电源短路时其电流很大，往往会烧坏电源。某个用电器短路，该用电器中无电流，但与它串联的其他用电器的电流将增大。画等效电路图时，可用导线取代。

(2) 断路是指电路中某两点间不通电即电阻无穷大，这时与断路部分串联的用电器中无电流、无电压降落，画等效电路时可把它们摘除。

### 【考点 165】欧姆定律

1. 内容：导体中的电流 I 跟导体两端的电压 U 成正比，跟导体的电阻 R 成反比。公式：

$$I = \frac{U}{R}。$$

2. 适用条件：适用于金属导体和电解质溶液导电，适用于纯电阻电路。

知识点	内容
欧姆定律的内容	导体中的电路跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻成反比
欧姆定律的表达式及单位	$I = \frac{U}{R}$ ，其中 U 为电压，单位：V；I 为电流，单位：A；R 为电阻，单位：。 公式中三个物理量，必须使用国际单位制中的主单位。
适用范围	欧姆定律所研究的电路不包括电源，是电源外部的一部分或全部电路，并且是纯电阻电路
物理量的同一性	公式中的 U、I、R 必须都是同一个导体或同一段电路对应的物理量，不同导体的电流、电压、电阻间不存在公式中的关系

物理量的同时性	在同一部分电路上,由于开关的闭合或断开以及滑动变阻器滑片位置的改变,都将引起电路的变化,从而导致电路中的电流、电压、电阻的变化,所以公式中的三个量必须是同一时间的值。值得注意的是,在不同电路状态下,电源电压和定值电阻可以认为是不变的
公式的变形	$R=U/I$ 是由欧姆定律公式变形得到的,它表示某段导体的电阻在数值上等于这段导体两端的电压与通过导体的电流的比值。由于导体是导体本身的属性,不随其两端的电压和通过它的电流的变化而变化,所以“ $R$ 与 $U$ 成正比, $R$ 与 $I$ 成反比”是不成立的。

**【考点 166】电功**

1. 实质: 电流做功的实质是电场力对电荷做功。电场力对电荷做正功, 电荷的电势能减小, 电势能转化为其他形式的能。

2. 公式:  $W=qU=UI t$  (适用于任何电路)。

**【考点 167】焦耳定律**

1. 电热: 电流通过一段导体时产生的热量。

2. 焦耳定律: 电流通过导体产生的热量跟电流的二次方成正比, 跟导体的电阻及通电时间成正比。

3. 公式:  $Q=I^2 R t$  (适用于任何电路)。对于纯电阻电路可推导出:  $Q=W=P t$ ;  $Q=UI t$ ;

$$Q=\frac{U^2}{R} t。$$

4. 本质: 电热是电流做功的过程中电能转化为内能多少的量度。

**【考点 168】电功率**

1. 定义: 单位时间内电流做的功, 表示电流做功的快慢。

2. 公式:  $P=W/t=IU$  (适用于任何电路)。

**【考点 169】对电功与电热的理解**

1.  $W=UI t$  适用于计算任何一段电路上的电功。 $P=UI$  适用于计算任何一段电路上消耗

的电功率。

2.  $Q=I^2Rt$  只用于计算电热。

3. 对纯电阻电路来说, 由于电能全部转化为内能, 所以有关电功、电功率的所有公式和形式都适用, 即  $W=UIt=I^2Rt=\frac{U^2}{R}t$

4. 在非纯电阻电路中, 总电能中的一部分转化为热能, 另一部分转化为其他形式的能, 电热仍用  $Q=I^2Rt$  计算。这时,  $W_{\text{总}}=UIt>Q=I^2Rt$ , 同理  $P_{\text{总}}>P_{\text{热}}$ 。

从能量的转化和守恒可以看出, 电功等于电路中电能转化为其他各种形式能量的总和, 而电热仅是转化为内能的电能, 二者不同。

### 【考点 170】电源的电动势、内阻、闭合电路的欧姆定律

为了维持恒定电流, 需要借助于“非静电力”的作用, 它能将其他形式的能量(如化学能、机械能、太阳能等)转化为电势能, 从而将正电荷由低电势导体转移到高电势导体, 以此维持电容器两极板间电势差不变。因此, 电源的电动势指在电源内部非静电力移送单位正电荷所做的功, 即非静电力在电源内部将正电荷从电源的负极移至正极所做的功  $W$  与被移送电荷量  $q$  的比值

$$E = \frac{W_{\text{非}}}{q}$$

电动势反映电源中非静电力做功的本领, 是表征电源本身特性的物理量, 与外电路的性质和是否接通无关; 电动势是标量, 在数值上等于非静电力把单位正电荷从电源负极移到正极所做的功。电源内部的总电阻叫内电阻。规定电动势方向为电源内部电流方向, 即由电源负极指向正极方向。

### 【考点 171】电源的电动势

1. 电源的作用

将正电荷经电源的内部从负极移到正极, 维持电源两极间的电压。

2. 对电动势的理解

(1) 电动势只是由电源本身的性质(材料结构、工作方式)决定, 是表示电源特征

的量，与电路特征无关。

(2) 电动势表征把电源的其他形式能转化为电能的本领。

(3) 它的大小等于电源没有接入电路时两极间电压，在闭合电路中  $E=U_{\text{外}}+U_{\text{内}}$ 。

### 【考点 172】闭合电路的欧姆定律

四种达式

研究闭合电路，主要物理量有  $E$ 、 $r$ 、 $R$ 、 $I$ 、 $U$ ，前两个是常量，后三个是变量。闭合电路欧姆定律的表达形式有：

$$E=U_{\text{外}}+U_{\text{内}} \quad (\text{适用于外电路为非纯电阻的电路})$$

$$I = \frac{E}{R+r} \quad (I、R \text{ 间关系})$$

$$U=E-Ir \quad (U、I \text{ 间关系})$$

$$U = \frac{R}{R+r} E \quad (U、R \text{ 间关系})$$

从  $U=E-Ir$  看出：当外电路断开时 ( $I=0$ )，路端电压等于电动势。而这时用电压表去测量时，读数却应该略小于电动势 (有微弱电流)。当外电路短路时 ( $R=0$ ，因而  $U=0$ )，电流最大为  $I_{\text{m}}=E/r$  (一般不允许出现这种情况，会把电源烧坏)

### 【考点 173】电源的功率和效率

功率：电源的功率 (电源的总功率)  $P_E=EI$ ；

电源的输出功率  $P_{\text{出}}=UI$ ；

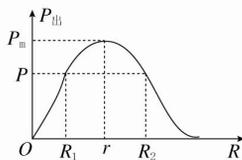
电源内部消耗的功率  $P_r=I^2r$ 。

### 【考点 174】电源的效率

$\eta = \frac{P}{P_E} = \frac{U}{E} = \frac{R}{R+r}$  (最后一个等号只适用于纯电阻电路)。当  $R=r$  时，电源有最

大输出功率时，效率仅为 50%。

电源的输出功率  $P = \frac{E^2 R}{(R+r)^2} = \frac{4Rr}{(R+r)^2} \frac{E^2}{4r} \leq \frac{E^2}{4r}$  可见电



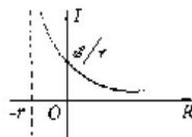
源输出功率随外电阻变化的图线如图所示，而当内外电阻相等时，电源的输出率最大，为

$$P_m = \frac{E^2}{4r}$$

**【考点 175】干路电流强度 I 随电阻 R 的变化关系。**

干路电流强度 I 可由闭合电路的欧姆定律给出，为

$$I = \frac{E}{r + R}$$

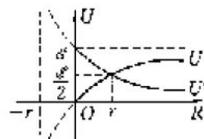


随着外电阻 R 的增大，I 将单调减小，在“ $I-R$ ”坐标平面内，其关系曲线为：以  $I=0$  和  $R=-r$  为渐近线的双曲线的一支的一部分，如图所示。

**【考点 176】内电路电压  $U'$  和外电路电压  $U$  随外电阻 R 的变化关系。**

对上述所示的闭合电路，内电路电压  $U'$  和外电路电压  $U$  可从欧姆定律分别求得，为

$$U' = \frac{r}{r + R} \varepsilon, \quad U = \frac{R}{r + R} \varepsilon$$



随着外电阻 R 的增大， $U'$  将单调减小而  $U$  将单调增大，

在“ $U-R$ ”曲线则为：以  $U = \varepsilon$  和  $R = -r$  为渐近线的双曲线的一支的一部分，如图所示。

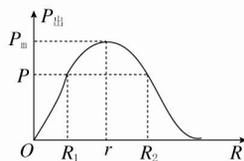
**【考点 177】总功率 P、内功率  $P_{内}$ 、外功率  $P_{出}$  随外电阻 R 的变化关系。**

在此闭合电路中， $P$ 、 $P_{内}$ 、 $P_{出}$  分别可由相应规律表示为

$$P_{总} = I^2(R + r) = \frac{E^2}{R + r}$$

$$P_{内} = I^2 r = U_{内} I = P_{总} - P_{出}$$

$$P_{出} = UI = EI - I^2 r = P_{总} - P_{内} = I^2 R = \frac{E^2 R}{(R + r)^2} = \frac{E^2}{\frac{(R - r)^2}{R} + 4r}$$

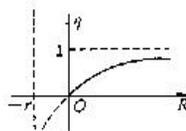


随着外电阻 R 的增大， $P$  或  $P_{内}$  均将单调减小，而  $P_{出}$  则呈非单调变化，在  $R=r$  处取得

极大值  $P_{外m} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$ ，在“ $P-R$ ”坐标平面内，相应的变化曲线如图所示。

**【考点 178】电源的效率  $\eta$  随外电阻 R 的变化关系。**

电源的效率  $\eta$  可表示为  $\eta = \frac{P_{\text{外}}}{P} = \frac{R}{r+R}$ ，随着外电阻  $R$  的增大， $\eta$  将单调增大，在“ $\eta - R$ ”坐标平面内，其关系曲线为：以  $\eta=1$  和  $R=-r$  为渐近线的双曲线的一支的一部分，如右图所示。



### 【考点 179】电路动态分析的方法

#### (一) 程序法

电路结构的变化  $\rightarrow R$  的变化  $\rightarrow R_{\text{总}}$  的变化 (与  $R$  变化趋势相同)

$\rightarrow I_{\text{总}}$  的变化  $\rightarrow U_{\text{端}}$  的变化  $\rightarrow$  固定支路  $\rightarrow$  变化支路。

#### (二) “串反并同”结论法

1. 所谓“串反”，即某一电阻增大时，与它串联或间接串联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将减小，反之则增大。

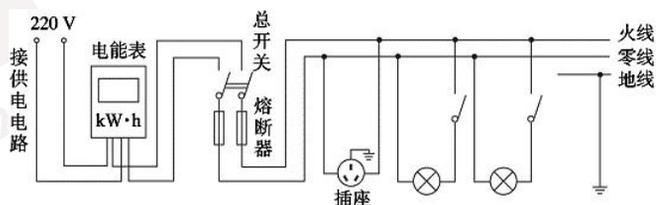
2. 所谓“并同”，即某一电阻增大时，与它并联或间接并联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将增大，反之则减小。

### 【考点 180】家庭电路

家庭电路是指安装在室内，给家庭生活用电设备 (多是家用电器) 供电的电路。

#### 1. 家庭电路的组成与连接

(1) 组成：家庭电路是由低压供电线路、电能表、闸刀开关、保险丝、用电器、插座、开关等部分组成，如图所示



(2) 连接：控制用电器的开关和用电器是串联的，各用电器之间是并联的，这样保证了家庭电路中各种用电器的通断都不影响其他用电器的正常工作。

#### 2. 火线和零线

我国家庭电压是 220V 的交流电，家庭电路的两根电线中，一根是火线，一根是零线，它们之间的电压是 220V。正常情况下，零线与大地相连，零线跟大地之间无电压，零线

有时也叫地线，火线跟大地之间的电压是 220V。

### 【考点 181】家庭电路中的设备及相关概念

#### 1. 保险丝

(1) 作用：电路中的电线有规定的最大电流，只能允许这个值以下的电流通过，若通过的电流超过此值，就会使电线过热，有可能引发火灾。在火线和零线上分别串入两根保险丝，就可以在电流超过进户线的允许值时，保险丝自动熔断，切断干路电流，使所有用电器停止工作，避免发生火灾。

(2) 保险丝的材料：由电阻率较大而熔点较低的铅锑合金制成。

(3) 保险丝的选择：在选择保险丝时，应使保险丝的额定电流等于或稍大于电路中最大正常工作电流。

#### 2. 插座和插头

(1) 插座：可给移动的用电器供电，插座也应并联在电路中，插座又可分为两孔插座和三孔插座。两孔插座：一孔接火线，一孔接零线。三孔插座：一孔接火线，一孔接零线，还有一孔把用电器外壳与大地相连，以防用电器外壳带电造成触电。

(2) 三线插头：洗衣机、电冰箱等用电器的电源插头有三根，其中一根接火线（通常标有 L 字样）根接零线（标有 N）；第三根（标有 E）和用电器的金属外壳相连。插座上相应的导线和室外的大地相连，万一用电器的外壳和电源的火线之间的绝缘层损坏，使外壳带上电，电流就会流入大地，不致对人造成伤害。

#### 3. 过载

过载是指电路中同时工作的用电器过多，导致线路总电流超过线路额定值的现象。过载容易引起导线、开关、插座等发热，会加速导线绝缘材料老化或烧坏熔丝，甚至引发事故。

#### (三) 家庭电路中电流过大的原因

1. 发生短路：短路就是指电流没有经过用电器而直接构成通路，发生短路时，电路的电阻很小，因此，电路中电流很大，导线大量放热，极易引发火灾。

造成家庭电路短路的三个原因：

- (1) 电线或用电器使用时间过长，绝缘皮破损或老化，使火线和零线直接接通。
- (2) 接线时没仔细查看造成短路
- (3) 在用电器两端的接线柱上，有一根线没接牢而脱落和另一根接触连通，造成短路

2. 用电器的总功率过大：当电路中所使用的电器总功率过大时，根据公式  $P=UI$  得  $U=220V$  一定， $I$  越大  $P$  就越大。

### 【考点 182】触电

#### 1. 触电的类型

触电都是人体直接或间接接触火线造成的。

##### (1) 低压触电

①单线触电：站在地上的人触到火线上，有电流通过人体。如图乙所示。



②双线触电：站在绝缘体上的人同时触碰火线和零线，有电流通过人体。如图甲所示。

##### (2) 高压触电

高压触电分为两类，一类是高压电弧触电，另一类是跨步电压触电

①高压电弧触电当人体靠近高压带电体到一定距离时，高压带电体和人体之间会发生放电现象。这时有电流通过人体，造成高压电弧触电。

②跨步电压触电高压输电线落在地面上，地面上与电线断头距离不同的各点间存在着电压，当人走近断头时，两脚位于离断头远近不同的位置上，因而两脚之间有了电压（步电压），这时电流通过人体，造成跨步电压触电。因此，为了安全，不要靠近高压带电体。

#### 2. 安全用电常识

安装和使用用电器时，必须注意防止发生触电或引起火灾。

(1) 当人体中通过的电流超过 30mA 时，便会使人感到剧痛甚至神经麻痹、呼吸困难，

有生命危险；达到 100mA，会使人在很短的时间内造成窒息、心跳停止。实验证明，只有不高于 36V 的电压才是安全的。

(2) 安全用电原则：不接触低压带电体，不靠近高压带电体。例如，在日常生活中，首先不要私自打乱接电线和用电器；另外，在日常生活中换灯泡、擦灯泡的时候，先将开关断开，不要用湿手、湿布灯泡，要站在木凳或桌子上，不要站在地上去擦，防止开关失灵漏电。

### 【考点 183】电现象与磁现象的比较

电现象	磁现象
带电体能吸引轻小物体	磁体能吸引铁等磁性物体
电荷有两种：正电荷和负电荷	磁极有两种：北（N）极和南（S）极
同种电荷相互排斥、异种电荷相互吸引	同名磁极相互排斥、异名磁极相互吸引
电荷不接触就能相互作用（电场）	磁极不接触就能相互作用（磁场）
摩擦可以使物体带电	摩擦可以使物体磁化

### 【考点 184】磁场

(1) 基本性质：磁场对处于其中的磁体、电流和运动电荷有力的作用。

(2) 磁场的方向：规定在磁场中任意一点小磁针北极的受力方向（小磁针静止时 N 极的指向）为该点处磁场方向。对磁体：外部（N—S），内部（S—N）组成闭合曲线。电流产生的磁场方向用右手定则判断。

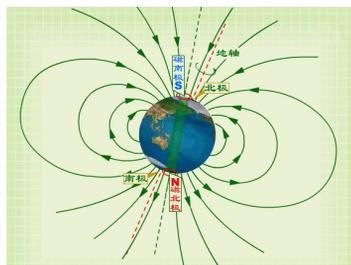
### 【考点 185】磁感线

(1) 用来形象地描述磁场中各点的磁场方向和强弱的曲线。磁感线上每一点的切线方向就是该点的磁场方向，也就是在该点小磁针静止时 N 极的指向。磁感线的疏密表示磁场的强弱。

(2) 磁感线是封闭曲线（和静电场的电场线不同）。

### 【考点 186】地磁场

①地球是一个巨大的磁体，磁场的 N 极在地球的南极



附近，S极在地球的北极附近，磁感线分布和条形磁体磁场分布近似。

②地磁场B的水平分量( $B_x$ )总是从地球南极指向北极，而竖直分量( $B_y$ )则南北相反，在南半球垂直地面向上，在北半球垂直地面向下。

③在赤道平面上，距离地球表面高度相等的各点，磁感应强度相等，且方向水平向北。

### 【考点 187】磁感应强度

在磁场中垂直于磁场方向的通电直导线，所受的安培力F跟电流I和导线长度L之积的比值叫作磁感应强度，定义式为

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

磁感应强度是矢量，其方向为磁场方向

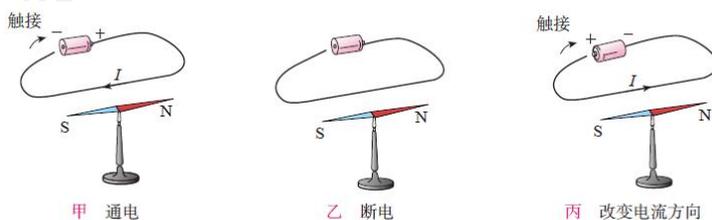
单位为特斯拉，符号为“T”， $1\text{T} = 1\text{N}/(\text{A} \cdot \text{m}) = 1\text{kg}/(\text{A} \cdot \text{s}^2)$ 。

1. 定义式反映的F、B、I的方向关系为： $B \perp I$ ， $F \perp B$ ， $F \perp I$ ，则F垂直于B和I所构成的平面。

2. 如果空间某处磁场是由几个磁场共同激发的，则该点处合磁场（实际磁场）是几个分磁场的矢量和；该点处合磁场可以依据问题求解的需要分解为两个分磁场；磁场的分解与合成必须遵循矢量运算法则。

### 【考点 188】奥斯特实验

(1) 实验过程：如图所示，将一根导线平行地拿到静止小磁针上方，观察导线通电时小磁针是否偏转，改变电流方向，再观察一次。



(2) 实验现象：导线通电时小磁针发生偏转，切断电流时小磁针又回到原来位置，当电流方向改变时，磁针的偏转方向也相反。

(3) 结论：①比较甲、乙两图说明通电导体周围存在磁场。②比较甲、丙两图说明

磁场方向与电流方向有关。

**【考点 189】通电螺线管**

1. 螺线管：把导线绕在圆筒上就做成了螺线管。

2. 通电螺线管的磁场

(1) 通电螺线管的两端跟条形磁体两端的 N、S 极相似，具有磁体的特性。

(2) 通电螺线管磁性的有无取决于导体中电流的通断，而磁极的极性取决于电流的方向，磁性的强弱取决于电流的大小。

(3) 通电螺线管的磁感线方向：在其外部从 N 极指向 S 极；在其内部从 S 极指向 N 极。

3. 通电螺线管和条形磁体的异同

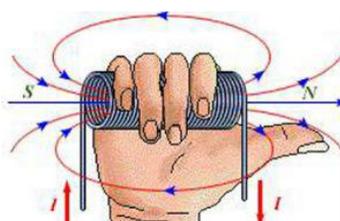
		条形磁体	通电螺线管
不同点	磁性	磁性不变	磁性可有可无
	磁极	磁极不变	南、北极随电流方向改变
相同点		1 具有吸铁性；2 有两极且两极磁性强；3 有指向性； 4 同名磁极相斥，异名磁极相吸；5 能使磁性材料磁化	

**【考点 190】安培定则**

(1) 内容：用右手握住螺线管，让四指弯向螺线管中的电流方向，则大拇指所指的那端就是螺线管的北极，如右图所示。

(2) 使用安培定则应注意的问题

A. 决定通电螺线管磁极极性的根本因素是通电螺线管上电流的环绕方向，而不是通过螺线管上的导线的绕法和电源正、负极的接法。当两个螺线管上的电流的环绕方向一致时，它们两端的磁极极性就相同。



B. 四指的指向必须是螺线管上电流的环绕方向。

C. N 极和 S 极必须在通电螺线管的两端。

**【考点 191】左手定则**

伸开左手，使大拇指跟其余四个手指垂直，并且都跟手掌在同一个平面内，把手放入磁场中，让磁感线垂直穿过手心，并使伸开的四指指向电流的方向，那么，大拇指所指的方向，就是通电导线在磁场中的受力方向。

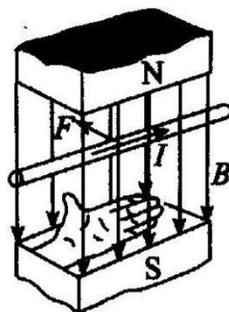
	左手定则	安培定则
拇指方向	大拇指所指方向是通电导体的受力方向	大拇指所指方向是通电螺线管的 N 极方向
适用范围	判定通电导体在磁场中的受力方向	判定通电螺线管的磁极
已知条件	磁场方向和电流方向	电流方向
能量转化	电能转化为机械能	电能转化为磁场能

**【考点 192】安培力的大小**

- (1) 安培力的计算公式： $F=BIL$ ，条件为磁场  $B$  与直导体  $L$  垂直。
- (2) 当导体与磁场垂直时，安培力最大；当导体与磁场平行时，安培力为零。
- (3)  $F=BIL$  要求  $L$  上各点处磁感应强度相等，故该公式一般适用于匀强磁场。

**【考点 193】安培力的方向**

(1) 安培力的方向用左手定则判定：伸开左手，使大拇指与其余四指垂直，并且都在同一个平面内，把手放入磁场中，让磁感线垂直穿入手心，并使伸开的四指指向电流方向，那么大拇指所指的方向就是通电导体在磁场中的受力方向，如图所示。



(2)  $F$ 、 $B$ 、 $I$  间的方向关系：已知  $B$ 、 $I$  的方向 ( $B$ 、 $I$  不平行时)，可用左手定则确定  $F$  的唯一方向： $F \perp B$ ， $F \perp I$ ，则  $F$  垂直于  $B$  和  $I$  所构成的平面，但已知  $F$  和  $B$  的方向，不能唯一确定  $I$  的方向。由于  $I$  可在平面  $a$  内与  $B$  成任意不为零的夹角。同理，已知  $F$  和  $I$  的方向也不能唯一确定  $B$  的方向。

**【考点 194】安培力的做功情况**

安培力做功的实质：能量的转化。

(1) 安培力做正功：将电源的能量传递给通电导线或转化为导线的动能或转化为其他形式的能

(2) 安培力做负功：将其他形式的能转化为电能后或储存或转化为其他形式的能。

### 【考点 195】洛伦兹力的大小

(1) 洛伦兹力计算式为  $F=qvB$ ，条件为磁场  $B$  与带电粒子运动的速度垂直。

(2) 当  $v \parallel B$  时， $F=0$ ；当  $v \perp B$  时， $F$  最大。

### 【考点 196】洛伦兹力的方向

(1) 洛伦兹力的方向用左手定则判定：伸开左手，使大拇指和其余四指垂直，并且都跟手掌在同一平面内，把手放入磁场中，让磁感线垂直穿过掌心，四指指向正电荷的运动方向，那么，大拇指所指的方向就是正电荷所受洛伦力的方向；如果运动电荷为负电荷，则四指指向负电荷运动的反方向。

(2)  $F$ 、 $v$ 、 $B$  间的方向关系。已知  $v$ 、 $B$  的方向，可以由左手定则确定  $F$  的唯一方向： $F \perp v$ 、 $F \perp B$ 、则  $F$  垂直于  $v$  和  $B$  所构成的平面；但已知  $F$  和  $B$  的方向，不能唯一确定  $v$  的方向，由于  $v$  可以在  $v$  和  $B$  所确定的平面内与  $B$  成不为零的任意夹角。同理，已知  $F$  和  $v$  的方向，也不能唯一确定  $B$  的方向。

### 【考点 197】电场力和洛伦兹力的比较

内容项目	洛伦兹力 $F$	电场力 $F$
性质	磁场对在其中运动电荷的作用力	电场对放入其中电荷的作用力
产生条件	$v \neq 0$ ，且 $v$ 不与 $B$ 平行	电场中的电荷一定受到电场力作用
大小	$F = qvB (v \perp B)$	$F = Eq$
力的方向 与场方向 的关系	一定是 $F \perp B, F \perp v$ ，与电荷电性 无关	正电荷与电场方向相同，负电荷与电 场方向相反
做功情况	任何情况下都不做功	可能做正功、负功，也可能不做功
力 $F$ 为零时	$F$ 为零， $B$ 不一定为零	$F$ 为零， $E$ 一定为零

场的情况		
作用效果	只改变电荷运动的速度方向，不改变速度大小	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

### 【考点 198】粒子在磁场中运动的半径和周期

带电粒子在匀强磁场中仅受洛伦兹力而做匀速圆周运动时，洛伦兹力充当向心力，由此可以推导出该圆周运动的半径公式和周期公式： $r = \frac{mv}{Bq}$ ， $T = \frac{2\pi m}{Bq}$ 。

### 【考点 199】电荷的匀强磁场中的三种运动形式

如果运动电荷在匀强磁场中除洛伦兹力外其他力均忽略不计（或均被平衡），则其运动有如下三种形式：

1. 当  $v \parallel B$  时，所受洛伦兹力为零，做匀速直线运动；

2. 当  $v \perp B$  时，所受洛伦兹力充当向心力，做半径和周期分别为  $r = \frac{mv}{Bq}$ ， $T = \frac{2\pi m}{Bq}$  的

匀速圆周运动；

3. 当  $v$  与  $B$  夹一般角度时，由于可以将  $v$  正交分解为  $v_{\parallel}$  和  $v_{\perp}$ （分别平行于和垂直于） $B$ ，因此电荷一方向以  $v_{\parallel}$  的速度在平行于  $B$  的方向上做匀速直线运动，另一方向以  $v_{\perp}$  的速度在垂直于  $B$  的平面内做匀速圆周运动。

### 【考点 200】电荷垂直进入匀强磁场和匀强电场时运动的比较

由于和电场相比，磁场的基本特征以及对运动电荷的作用特征存在着较大的差异，因此电荷垂直进入匀强磁场和匀强电场时所做的所谓“磁偏转”和“电偏转”运动，有着如下诸方面的差异：

1. “电偏转”中偏转力  $f_e = qE$  与运动速度无关，“磁偏转”中偏转力  $f_B = qvB$  随运动速度变化。

2. “电偏转”时做的是类平抛运动，其运动规律为  $x = v_0 t$ ， $y = \frac{Eq}{2m} t^2$ ；“磁偏转”时做的是匀速圆周运动，其运动规律是从时、空两个角度反映了运动的特征： $T = \frac{2\pi m}{Bq}$ ，

$$B = \frac{mv}{rq}$$

3. “电偏转”中偏转角度受到  $\theta_e < \frac{1}{2}\pi$  的限制；“磁偏转”中偏转角度  $\theta_B = \frac{qB}{m}t$ ，则

可取任意值。

4. “电偏转”中偏转的快慢程度越来越慢（单位长时间内偏转角越来越小），“磁偏转”中偏转的快慢程度则保持恒定（任意相等的时间内偏转的角度均相等）。

5. “电偏转”中由于偏转力  $f_e$  做功，因而兼有加速功能，动能将增加；“磁偏转”中由于偏转力  $f_B$  总不做功，动能保护定值。

6. “电偏转”最常见的是应用于示波管中，“磁偏转”则常被应用于回旋加速器中。

### 【考点 201】磁通量概述

磁通量是磁感应强度  $B$  与面积  $S$  的乘积。它是判断是否产生电磁感应，计算感应电动势大小、感应电流通过导体截面的电量等物理量的基础。计算公式为

$$\Phi = BS$$

单位：韦伯（Wb）， $1\text{Wb} = 1\text{T} \cdot \text{m}^2$

适用条件：①匀强磁场；② $S$  是指垂直磁场并在磁场中的有效面积。

物理意义：磁通量表示穿过某一面积的磁感线的条数。磁通量是标量，但有正、负，其正负表示是正穿还是反穿。

$\Phi = B \cdot S$  的含义

$\Phi = BS$  只适用于磁感应强度  $B$  与面积  $S$  垂直的情况。当  $S$  与垂直于  $B$  的平面间的夹角为  $\theta$  时，则有  $\Phi = BS\cos\theta$ ，可理解为  $\Phi = B(S\cos\theta)$ ，即  $\Phi$  等于  $B$  与  $S$  在垂直于  $B$  方向上分量的乘积；也可理解为  $\Phi = (B\cos\theta)S$ ，即等于  $B$  在垂直于  $S$  方向上的分量与  $S$  的乘积。

### 【考点 202】磁通量、磁通量的变化量、磁通量的变化率的区别

	磁通量	磁通量的变化量	磁通量的变化率
物理意义	某时刻穿过某个面的	某段时间内穿过某个面的磁	穿过某个面的磁通量

	磁感线的条数	通量变化	变化的快慢
大小	$\phi = BS_n$ , 其中 $S_n$ 是与 B 垂直的面的面积	$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ $\Delta\phi = B \cdot \Delta S$ $\Delta\phi = \Delta B \cdot S$	$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = B \frac{\Delta S}{\Delta t}$ 或 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t}$
注意	若穿过某个面有方向相反的磁场, 则不能直接用 $\phi = BS$ 求解, 应为相反方向的磁通量抵消后所剩余的磁通量	开始时和转过 $180^\circ$ 时平面都与磁场垂直, 穿过平面的磁通量是一正一负, $\Delta\phi = 2BS$ , 而不是零	既不表示磁通量的大小, 也不表示变化的多少。实际上, 它就是单匝线圈上产生的电动势, 即 $E = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$
附注	对在匀强磁场中绕处于线圈平面内且垂直于磁场方向的轴匀速转动的线圈: 1. 线圈平面与磁感线平行时, $\phi = 0$ , 但 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 最大 2. 线圈平面与磁感线垂直时, $\phi$ 最大, 但 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = 0$ 3. $\phi$ 大或 $\Delta\phi$ 大, 都不能保证 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 就大; 反之, $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 大时, $\phi$ 大和 $\Delta\phi$ 也不一定大		

**【考点 203】电磁感应现象的两种基本方式及其理论解释**

1. 导体在磁场中做切割磁感线的相对运动而发生电磁感应现象: 当导体在磁场中做切割磁感线的相对运动时, 就将在导体中激发感应电动势。这种发生电磁感应现象的方式可以用运动电荷在磁场中受到洛仑兹力的作用来解释。

2. 磁场变化使穿过磁场中闭合回路的磁通量改变而发生电磁感应现象: 当磁场的强弱改变而使穿过磁场中的闭合回路磁通量发生变化时, 就将在闭合回路里激起感应电流。这种发生电磁感应现象的方式可以用麦克斯韦的电磁场理论来解释。

**【考点 204】楞次定律的内容**

感应电流的磁场总阻碍引起感应电流的原磁场的磁通量的变化。

对楞次定律的正确理解

第一，楞次定律的核心内容是“阻碍”二字，这恰恰表明楞次定律实质上就是能的转化和守恒定律在电磁感应现象中的特殊表达形式；第二，这里的“阻碍”，并非是阻碍引起感应电流的原磁场，而是阻碍原磁场磁通量的变化；第三，正因阻碍的是“变化”，所以，当原磁场的磁通量增加（或减少）而引起感应电流时，则感应电流的磁场必与原磁场反向（或同向）而阻碍其磁通量的增加（或减少），概括起来就是：

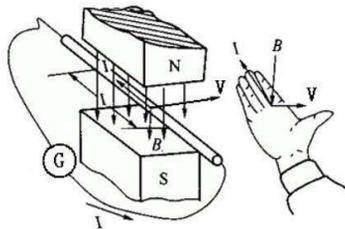
1. 感应电流的磁场总是阻碍原磁场或原磁通量的变化——“增反减同”
2. 感应电流所受原磁场的安培力总是阻碍（导体的）相对运动——“来拒去留”
3. 磁通量增加，线圈面积“缩小”；磁通量减小，线圈面积“扩张”——“增缩减扩”
4. 感应电流总是阻碍原电流的变化（自感现象）

#### 【考点 205】楞次定律的应用步骤

1. 明确引起感应电流的原磁场在被感应的回路上的方向；
2. 理清原磁场穿过被感应的回路中的磁通量增减情况；
3. 根据楞次定律确定感应电流的磁场的方向；
4. 运用安培定则判断出感生电流的方向。

#### 【考点 206】右手定则

伸开右手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内，让磁感线从掌心进入，并使拇指指向导线运动的方向，这时四指所指的方向就是感应电流的方向。



#### 【考点 207】法拉第电磁感应定律

1. 内容：闭合电路中感应电动势的大小，跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。

$$2. \text{公式： } E = n \frac{\Delta\phi}{\Delta t}。$$

#### 【考点 208】法拉第电磁感应定律应用

1. 感应电动势大小的决定因素

(1) 感应电动势的大小由穿过闭合电路的磁通量的变化率 和线圈的匝数共同决定，

而与磁通量  $\Phi$ 、磁通量的变化量  $\Delta \Phi$  的大小没有必然联系。

(2) 当  $\Delta \Phi$  仅由  $B$  引起时, 则  $E = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S$ ; 当  $\Delta \Phi$  仅由  $S$  引起时, 则  $E = n \frac{\Delta S}{\Delta t} B$ 。

2. 磁通量的变化率 是  $\Phi-t$  图象上某点切线的斜率。

### 【考点 209】感应电动势

1. 感应电动势: 在电磁感应现象中产生的电动势。产生感应电动势的那部分导体就相当于电源, 导体的电阻相当于电源内阻。

2. 感应电流与感应电动势的关系: 遵循闭合电路欧姆定律, 即  $I = \frac{E}{R+r}$ 。

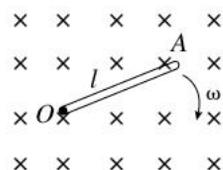
### 【考点 210】导体切割磁感线的情形

1. 一般情况: 运动速度  $v$  和磁感线方向夹角为  $\theta$ , 则  $E = Blv \sin \theta$ 。

2. 常用情况: 运动速度  $v$  和磁感线方向垂直, 则  $E = Blv$ 。

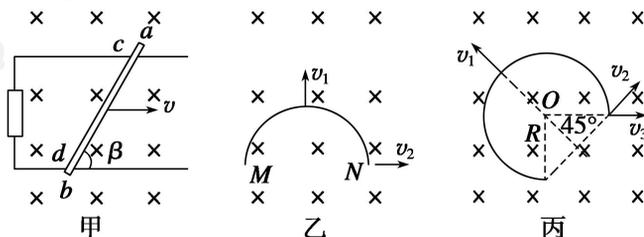
3. 导体棒在磁场中转动

导体棒以端点为轴, 在匀强磁场中垂直于磁感线方向匀速转动产生感应电动势  $E = BL\bar{v} = \frac{1}{2} BL^2 \omega$ 。



### 【考点 211】切割的“有效长度”

公式中的  $l$  为有效切割长度, 即导体与  $v$  垂直的方向上的投影长度. 图中有效长度分别为:



甲图:  $L = cd \sin \beta$ ;

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

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

**【考点 212】电动势的两种求法**

1.  $E = n \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$  求的是回路中  $\Delta t$  时间内的平均电动势。

2.  $E = BLv$  既能求导体做切割磁感线运动的平均电动势，也能求瞬时电动势。 $v$  为平均速度时， $E$  为平均电动势； $v$  为瞬时速度时， $E$  为瞬时电动势，其中  $L$  为有效长度。

(1)  $E = BLv$  的适用条件：导体棒平动垂直切割磁感线，当速度  $v$  与磁感线  $B$  不垂直时，需求出垂直于磁感线的速度分量。

(2)  $E = \frac{1}{2}BL^2\omega$  的适用条件：导体棒绕一个端点匀速转动垂直于切割磁感线，而不是绕导体棒上中间的某点。

(3)  $E = nBS\omega \sin \omega t$  的适用条件：线框绕垂直于匀强磁场方向的一条轴从中性面开始转动，与轴的位置无关，与线框的形状无关。当从与中性面垂直的位置开始计时时，公式变为  $E = nBS\omega \cos \omega t$ 。

**【考点 213】自感现象**

1. 概念：由于导体本身的电流变化而产生的电磁感应现象称为自感，由于自感而产生的感应电动势叫做自感电动势。

2. 表达式： $E = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ 。

3. 自感系数  $L$  的影响因素：与线圈的大小、形状、匝数以及是否有铁芯有关。

4. 单位：亨利 (H)。1H=10<sup>3</sup>mH, 1mH=10<sup>3</sup>μH

**【考点 214】通电自感和断电自感的对比**

	通电自感	断电自感
电路图		

器材要求	$A_1$ 、 $A_2$ 同规格, $R=R_L$ , $L$ 较大	$L$ 很大 (有铁芯), $R_L \ll R_A$
现象	在 $S$ 闭合瞬间, $A_2$ 灯立即亮起来, $A_1$ 灯逐渐变亮, 最终一样亮	在开关 $S$ 断开时, 灯 $A$ 突然闪亮一下后再渐渐熄灭
原因	由于开关闭合时, 流过电感线圈的电流迅速增大, 使线圈产生自感电动势, 阻碍了电流的增大, 使流过灯 $A_1$ 的电流比流过灯 $A_2$ 的电流增加得慢	$S$ 断开时, 线圈 $L$ 产生自感电动势, 阻碍了电流的减小, 使电流继续存在一段时间, 灯 $A$ 中电流反向, 不会立即熄灭。若 $R_L < R_A$ , 原来的 $I_L > I_A$ , 则 $A$ 灯熄灭前要闪亮一下。若 $R_L \geq R_A$ , 原来的电流 $I_L \leq I_A$ , 则灯 $A$ 逐渐熄灭不再闪亮一下
能量转化情况	电能转化为磁场能	磁场能转化为电能

### 【考点 215】涡流

当线圈中的电流发生变化时, 在它附近的任何导体中都会产生感应电流, 这种电流像水中的旋涡, 所以叫涡流。

1. 电磁阻尼: 当导体在磁场中运动时, 感应电流会使导体受到安培力, 安培力的方向总是阻碍导体的相对运动。

2. 电磁驱动: 如果磁场相对于导体转动, 在导体中会产生感应电流使导体受到安培力的作用, 安培力使导体运动起来。

3. 电磁阻尼和电磁驱动的原理体现了楞次定律的推广应用。

### 【考点 216】正弦交流电的产生和图象

1. 产生: 在匀强磁场里, 线圈绕垂直于磁场方向的轴匀速转动。

2. 中性面

(1) 定义: 与磁场方向垂直的平面。

(2) 特点

a. 线圈位于中性面时，穿过线圈的磁通量最大，磁通量的变化率为零，感应电动势为零。

b. 线圈转动一周，两次经过中性面。线圈每经过中性面一次，电流的方向就改变一次。

3. 图象：用以描述交流电随时间变化的规律，如果线圈从中性面位置开始计时，其图象为正弦函数曲线。

### 【考点 217】描述交变电流的物理量

#### (一) 周期和频率

1. 周期 (T)：交变电流完成一次周期性变化 (线圈转一周) 所需的时间，单位是秒 (s)，

$$\text{公式 } T = \frac{2\pi}{\omega}。$$

2. 频率 (f)：交变电流在 1s 内完成周期性变化的次数。单位是赫兹 (Hz)。

3. 周期和频率的关系： $T = \frac{1}{f}$  或  $f = \frac{1}{T}$ 。

#### (二) 正弦式交变电流的函数表达式 (线圈在中性面位置开始计时)

1. 电动势  $e$  随时间变化的规律： $e = E_m \sin \omega t$ 。

2. 负载两端的电压  $u$  随时间变化的规律： $u = U_m \sin \omega t$ 。

3. 电流  $i$  随时间变化的规律： $i = I_m \sin \omega t$ 。其中  $\omega$  等于线圈转动的角速度， $E_m = nBS\omega$ 。

#### (三) 交变电流的瞬时值、峰值、有效值

1. 瞬时值：交变电流某一时刻的值，是时间的函数  $e = E_m \sin \omega t$ 。

2. 峰值：交变电流的电流或电压所能达到的最大值，也叫最大值  $E_m = nBS\omega$ 。

3. 有效值：跟交变电流的热效应等效的恒定电流的值叫做交变电流的有效值。对正弦

交流电，其有效值和峰值的关系为： $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 。

4. 平均值：是交变电流图象中波形与横轴所围面积跟时间的比值  $\bar{E} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 。

**【考点 218】正弦式交变电流的变化规律（线圈在中性面位置开始计时）**

规律 物理量	函数	图象
磁通量	$\Phi = \Phi_m \cos \omega t = BS \cos \omega t$	
电动势	$e = E_m \sin \omega t = nBS \omega \sin \omega t$	
电压	$u = U_m \sin \omega t = \sin \omega t$	
电流	$i = I_m \sin \omega t = \sin \omega t$	

**【考点 219】两个特殊位置的特点**

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

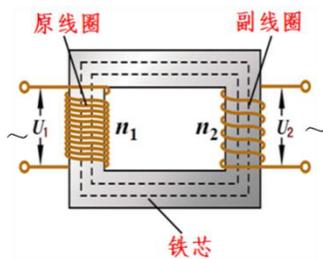
**【考点 220】理想变压器**

如图所示，在理想变压器的原线圈两端加交流电压后，由于电磁感应的原因，原、副线圈中都将产生感应电动势。忽略原、副线圈内阻，有

$$U_1 = \varepsilon_1, \quad U_2 = \varepsilon_2$$

另外，考虑到铁心的导磁作用而且忽略漏磁，即认为任意时刻穿过原、副线圈的磁感线条数都相同，于是又有

$$\Delta\phi_1 = \Delta\phi_2。$$



由此便可得理想变压器的电压变化规律为  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 。

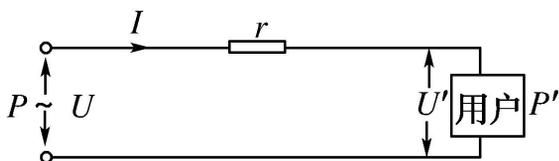
在此基础上再忽略变压器自身的能量损失(一般包括了线圈内能量损失和铁心内能量损失这两部分,分别俗称为“铜损”和“铁损”),有  $P_1=P_2$ , 而  $P_1=I_1U_1$ ,  $P_2=I_2U_2$ 。

于是又得理想变压器的电流变化规律为  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 。

### 【考点 221】电能的输送

(一) 输电线路及其电压、电能损失

1. 输电线路(如图所示)



2. 电压和电能损失

输电电流:  $I = \frac{P}{U}$ ;

电压损失:  $\Delta U = U - U' = Ir = \frac{P}{U}r$ ;

功率损失:  $\Delta P = P - P' = I^2r = \left(\frac{P}{U}\right)^2r$ ;

(二) 减少电能损失的方法

根据  $P_{\text{损}} = I^2R$ , 减小输电电能损失有两种方法:

1. 减小输电线的电阻: 根据电阻定律  $R = \rho \frac{L}{S}$ , 要减小输电线的电阻  $R$ , 在输电距离一定的情况下, 可采用的方法有选用电阻率小的金属材料, 尽可能增大导线的横截面积等。

2. 减小输电导线中的电流: 在输电功率一定的情况下, 根据  $P=UI$ , 要减小电流, 必须提高输电电压。

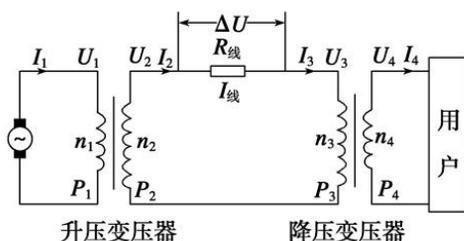
3. 远距离输电

(1) 远距离输电导线上损失的电功率：输送功率一定时，线路电流  $I = \frac{P}{U}$ ，输电线上

损失功率  $P_{\text{损}} = I^2 R_{\text{线}} = \frac{P^2}{U^2} R_{\text{线}}$ ，可知  $P_{\text{损}} \propto \frac{1}{U^2}$ 。

远距离输电线路中的功率关系： $P_{\text{输}} = P_{\text{损}} + P_{\text{用}}$ 。

(2) 远距离输电的基本电路：由于发电机组本身的输出电压不可能很高，所以采用高压输电时，在发电站内需要升压变压器升压到几百千伏后再向远距离送电，到达用电区再用降压变压器降到所需的电压，基本电路如图所示。



a. 功率关系： $P_1 = P_2$ ， $P_3 = P_4$ ， $P_2 = P_{\text{损}} + P_3$ 。

b. 电压、电流关系： $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$ ， $\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4} = \frac{I_4}{I_3}$ ， $U_2 = \Delta U + U_3$ ， $I_2 = I_3 = I_{\text{线}}$ 。

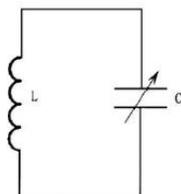
c. 输电电流： $I_{\text{线}} = \frac{P_2}{U_2} = \frac{P_3}{U_3} = \frac{U_2 - U_3}{R_{\text{线}}}$

d. 输电线上损耗的电功率： $P_{\text{损}} = I_{\text{线}} \Delta U = I_{\text{线}}^2 R_{\text{线}} = \left(\frac{P_2}{U_2}\right)^2 R_{\text{线}}$

当输送功率一定时，输电电压增大到原来的  $n$  倍，输电线上损耗的功率就减小到原来的  $\frac{1}{n^2}$

### 【考点 222】振荡电路

在电磁振荡过程中所产生的强度和方向周期性变化的电流称为振荡电流。能产生振荡电流的电路叫振荡电路。最简单的振荡电路是由一个电感线圈和一个电容器组成的 LC 电路，如图所示。



在电磁振荡中，如果没有能量损失，振荡会永远持续下去，电路中振荡电流的振幅会永远保持不变，这种振荡叫作自由振荡或等幅振荡。但是，由于任何电路都有电阻，有一部分能量要转变成热，还有一部分能量要辐射到周围空间中去，这样振荡电路中的能量逐渐减小，直到最后振荡停止，这种振荡叫作阻尼振荡或减幅振荡。

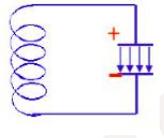
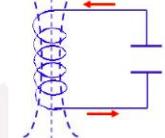
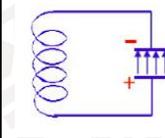
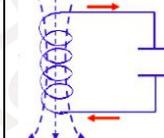
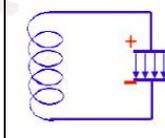
**【考点 223】电磁振荡的周期和频率**

电磁振荡完成一次周期性变化时需要的时间叫作周期。一秒钟内完成的周期性变化的次数叫作频率。

振荡电路中发生电磁振荡时，如果没有能量损失，也不受其他外界条件的影响，即电路中发生自由振荡时的周期和频率，叫作振荡电路的固有周期和固有频率。

LC 回路的周期  $T$  和频率  $f$  跟自感系数  $L$  和电容  $C$  的关系是：
$$T = 2\pi\sqrt{LC}, f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

**【考点 224】LC 振荡过程一个周期内的几个特别状态**

振荡电路的状态					
时刻 (t)	0	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{3}{4} T$	T
电容器极板上的电量	最大	零	最大	零	最大
振荡电流 i	i=0	正向最大	i=0	反向最大	I=0
电场能	最大	零	最大	零	最大
磁场能	零	最大	零	最大	零

**【考点 225】麦克斯韦电磁场理论**

- 变化的磁（电）场将产生电（磁）场。
- 变化的磁（电）场所产生的电（磁）场取决于磁（电）场的变化率。具体地说，均匀变化的磁（电）场将产生恒定的电（磁）场，非均匀变化的磁（电）场将产生变化的电

(磁)场, 周期性变化的磁(电)场将产生周期相同的周期性变化的电(磁)场。

3. 变化的磁场和变化的电场互相联系着, 形成一个不可分离的统一体——电磁场。

**【考点 226】电磁波传播规律**

电磁波在真空中传播速度为  $c = 3 \times 10^8 m/s$ ; 其波长  $\lambda$  频率  $f$  与波速  $c$  间的关系为  $c = \lambda f$ 。

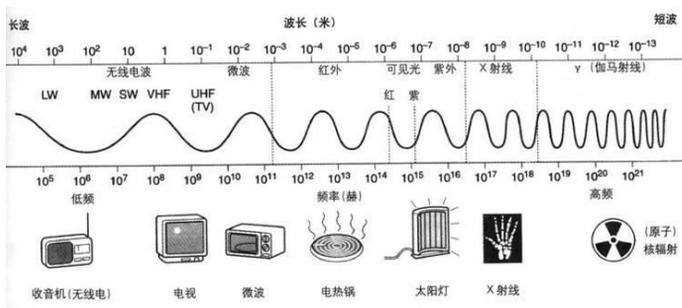
**【考点 227】电磁波与机械波的区别**

名称	电磁波	机械波
研究对象	电磁现象	力学现象
产生	由周期性变化的电场、磁场产生	由质点(波源)的振动产生
波的特点	横波	纵波或横波
波速	在真空中等于光速(很大) $c = 3 \times 10^8 m/s$	在空气中不大(如声波波速一般为 340m/s)
介质需要	不需要介质(在真空中仍可传播)	必须有介质(真空中不能传播)
能量传播	电磁能	机械能

**【考点 228】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。电磁波谱如图。



各种电磁波的产生机理分别是：无线电波是振荡电路中自由电子的周期性运动产生的；红外线、可见光、紫外线是原子的外层电子受到激发后产生的；伦琴射线是原子的内层电子受到激发后产生的； $\gamma$ 射线是原子核受到激发后产生的。

电磁波谱从左至右频率越来越大，波长越来越短，因此就越不容易发生干涉和衍射现象，但穿透本领却越来越强。

## 第五章 光学

### 【考点 229】光沿直线传播的条件及光速

1. 光在同种均匀介质中，总是沿着直线传播。光在真空中的传播速度  $c = 3 \times 10^8 m/s$ 。光在其他任何介质中的传播速度都小于  $c$ 。

2. 若  $n$  为介质的折射率，则光在此介质中的传播速度为  $v = \frac{c}{n}$

### 【考点 230】光的直线传播的应用

#### 1. 小孔成像

原理：光的直线传播。

成像特点：倒立的实像，像与孔的形状无关。

#### 2. 影子

原理：影子是自光源发出并与投影物体表面相切的光线在背光面后方所围成的区域，可分为本影和半影。

应用：日食和月食现象的解释。在地球上观察到的日食现象。

(1) 日全食：当人位于月球的本影区时，因看不到太阳光而发生的；

(2) 日偏食：当人位于月球的半影区时，因只能看到太阳发出的部分光而发生的；

(3) 日环食：当人位于月球本影的延伸区域（伪本影）时，因只能看到太阳边缘发出的光线而发生的；

(4) 月全食：当月球全部进入地球的本影区域时，因地球上的人不能看到月球反射

太阳光而发生的；

(5) 月偏食：月球部分进入地球的本影区时，因地球上的人能看到月球另一部分反射的太阳光而发生的。

当月球全部在地球的半影区域时不会发生月偏食，只是月球的亮度减弱。无论发生日食还是月食，太阳、月球、地球都在一条直线上，日食时月球在中间位置，月食时地球在中间位置。

### 【考点 231】光的反射

#### 1. 光的反射定律

反射光线跟入射光线和法线在同一平面内；反射光线和入射光线分别位于法线的两侧；反射角等于入射角。

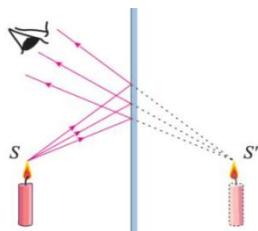
#### 2. 光的反射的分类

可分为镜面反射和漫反射。无论哪种反射，每条反射光线都遵守反射定律。

### 【考点 232】平面镜成像

#### 1. 平面镜成像原理

平面镜成像的原理是光的反射，如图所示，物体上的点  $S$  发出的光有一部分射向平面镜，经平面镜反射后，反射的光束还是发散的，这些反射光线的反向延长线交于点  $S'$ ，反射光线进入人眼、人感觉光好像是从  $S'$  点射来的，点  $S'$  叫点  $S$  的虚像。



#### 2. 实像与虚像的异同

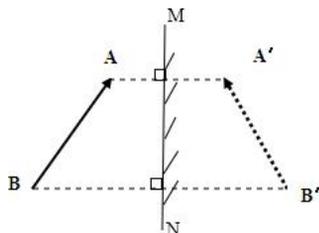
		实像	虚像
不同点	是否由实际光线会聚形成	是	不是
	能否用光屏承接到	能	不能
	倒立还是正立	倒立	正立
相同点	都能用肉眼看到，都可以是放大、缩小或等大的		

### 3. 平面镜的成像规律

(1) 物体在平面镜里成的是虚像；(2) 像与物体大小相等；(3) 像与物体的连线与镜面垂直；(4) 像与物体到镜面的距离相等，可概括为像与物体关于镜面对称。如图所示。

#### 【考点 233】平面镜成像作图

平面镜成像作图有两种方法：第一种方法是根据反射，第二种方法是根据平面镜成像特点。



(1) 根据光的反射定律作图，如下图左所示

步骤：①从发光点 S 引出任意两条光线，射到平面镜上；

②作两条入射光线的法线；

③根据光的反射定律，反射角等于入射角，作反射光线；

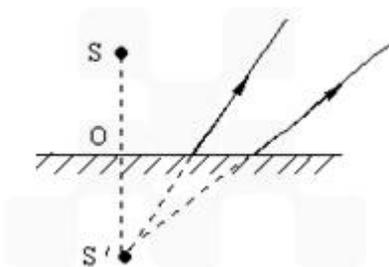
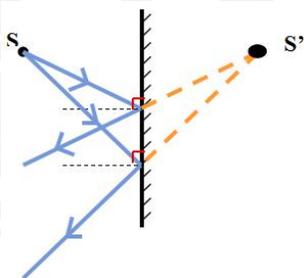
④作反射光线的反向延长线，反向延长线的交点即为发光点 S 的像点 S'。

(2) 根据平面镜成像特点作图，如下图右所示

步骤：①过点 S 作平面镜的垂线（像与物的连线跟镜面垂直）；

②在垂线上作 S' 点，让 S' 到镜面的距离等于 S 到镜面的距离（像与物到镜面的距离相等）

③画出像点 S'（像与物大小相等）。



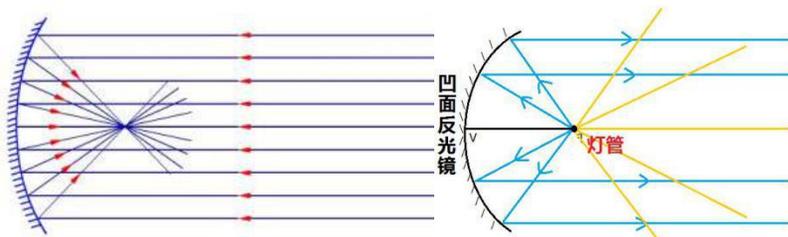
#### 【考点 234】凹面镜和凸面镜

(1) 凹面镜

①球面的内表面为反射面的镜子，叫作凹面镜，简称凹镜。

②凹面镜对光线有会聚作用：使凹面镜正对着阳光，拿一小纸片，纸片要小，以免挡住入射光线，前后移动纸片，我们会观察到纸片上出现最小最亮的光斑。如左下图所示。

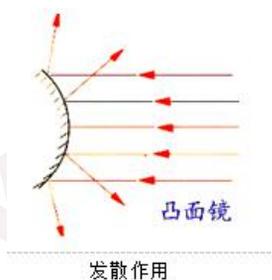
③射向四面镜的平行光线经凹面镜反射后会聚于一点，这一点叫作凹面镜的焦点。由于光路是可逆的，从凹面镜的焦点发出的光经凹面镜反射后平行射出。如右下图所示。



(2) 凸面镜

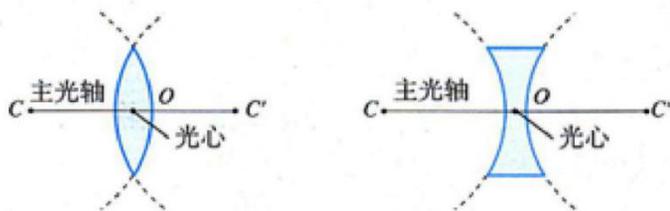
①球面的外表面为反射面的镜子，叫作凸面镜，简称凸镜。

②凸面镜对光线有发散作用：让一张纸屏垂直于凸面镜，用两个激光手电沿纸屏射出两条平行的激光，射向凸面镜，我们将从纸屏上看到反射后的光线向周围发散。

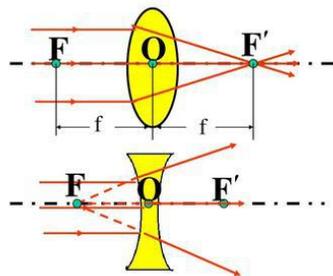


【考点 235】透镜

透镜由两个折射曲面组成，折射曲面一般是球面或平面。其中，边缘薄、中间厚的叫凸透镜；边缘厚、中间薄的叫凹透镜。有实验表明，在透镜的中部有一个特殊点，当光线透过该点时，传播方向不发生改变。这个点叫作光心，以  $O$  表示。通过光心  $O$  的任意直线叫作透镜的光轴。通过透镜两个球面的球心  $C$  和  $C'$  的光轴，叫作主光轴，简称主轴。



如右图所示，平行于主光轴的光通过凸透镜后，会聚于主轴上的一点 ( $F'$  点)，这个点叫作凸透镜的焦点。从焦点  $F'$  到光心  $O$  的距离  $OF'$  叫作凸透镜的焦距。平行于主光轴的光通过凹透镜后，变得发散，这些发散的光线看起来好像是从它们的反向延长线的焦点  $F$  发出来的，点  $F$



也在主轴上，叫作凹透镜的焦点。同样，从焦点 F 到光心 O 的距离 OF 叫作凹透镜的焦距。

说明：(1) 由于凹透镜的焦点不是实际光线会聚的，我们把凹透镜的焦点称为虚焦点。

相应地凸透镜的焦点称为实焦点

(2) 在其他条件相同时，凸透镜球面越凸，焦距就越短，对光线的会聚作用就越明显；凸透镜的折射率越大，焦距也越短，对光线的会聚作用也越明显

### 【考点 236】凸镜成像规律

凸透镜成像规律							
物距 (u)	像距 (v)	正倒	大小	虚实	应用	特点	物、像的位置关系
$u > 2f$	$2f > v > f$	倒立	缩小	实像	照相机、摄像机	-	物像异侧
$u = 2f$	$v = 2f$	倒立	等大	实像	精确测焦仪	成像大小的分界点	物像异侧
$2f > u > f$	$v > 2f$	倒立	放大	实像	幻灯机、电影放映机、投影仪	-	物像异侧
$u = f$	-	-	-	不成像	强光聚焦手电筒	成像虚实的分界点	-
$f > u$	$v > u$	正立	放大	虚像	放大镜	虚像在物体同侧 虚像在物体之后	物像同侧

### 【考点 237】透镜成像公式

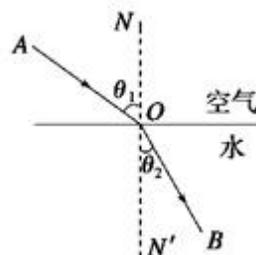
透镜成像中，物距  $u$ 、像距  $v$  和焦距  $f$  三者之间的关系可用公式  $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$  表示。

说明：(1) 该公式既适用于凸透镜，也适用于凹透镜。

(2) 在运用公式时，物距始终取正值；凸透镜的焦距取正值，凹透镜的焦距取负值；实像的像距取正值，虚像的像距取负值，即所谓“实正虚负”。

### 【考点 238】折射定律

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



2. 表达式：
$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}。$$

3. 在光的折射现象中，光路是可逆的。

### 【考点 239】折射率

1. 折射率是一个反映介质的光学性质的物理量。

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

3. 计算公式：
$$n = \frac{c}{v}$$
，因为  $v < c$ ，所以任何介质的折射率都大于 1。

4. 当光从真空（或空气）射入某种介质时，入射角大于折射角；当光由介质射入真空（或空气）时，入射角小于折射角。

5. 对定义式的理解

（1）折射率是表示光线从一种介质进入另一种介质时，发生偏折程度的物理量，与入射角及折射角的大小无关。

（2）折射率和光在介质中传播的速度有关，当  $c$  为真空中光速， $v$  为介质中光速时 
$$n = \frac{c}{v}$$
。式中  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ， $n$  为介质的折射率，总大于 1，故光在介质中的传播速度必小于真空中的光速。

（3）折射率是用光线从真空斜射入介质，入射角正弦与折射角正弦之比定义的，由于光路可逆，入射角、折射角随光路可逆而“换位”。因此，在应用时折射率可记忆为

$$n = \frac{\sin(\text{真空角})}{\sin(\text{介质角})}$$
。（真空角为真空中光线与法线的夹角，介质角为介质中光线与法线的夹角）

(4) 折射率大小不仅反映了介质对光的折射本领，也反映了光在介质中传播速度的

$$\text{大小 } v = \frac{c}{n}。$$

(5) 折射率的大小不仅与介质本身有关，还与折射光的频率有关。同一种介质，对频率大的光折射率大，对频率小的光折射率小。

(6) 同一种色光，在不同介质中，波速、波长不同，但频率不变。

### 【考点 240】全反射现象

1. 现象：光从光密介质入射到光疏介质的分界面上时，光全部反射回光密介质的现象。

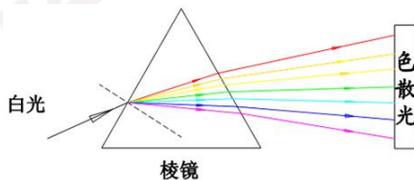
2. 临界角：折射角等于  $90^\circ$  时的入射角，用  $C$  表示， $\sin C = \frac{1}{n}$ 。

3. 条件：a. 光从光密介质射入光疏介质。

b. 入射角大于或等于临界角。

### 【考点 241】光的色散

白光通过三棱镜后，在光屏上形成一条彩色光带—光谱，这就是光的色散，如图所示，光谱中红光在最上端，紫光在最下端，中间是橙、黄、绿、蓝、靛等色光。



1. 光的色散现象说明白光是复色光，是由红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫 7 种单色光组成的。

2. 光的色散现象表明，复色光通过棱镜，红光偏折最小，紫光偏折最大。

3. 同一种介质对不同色光的折射率  $n$  不同，对红光的折射率最小，对紫光的折射率最大。

(1) 由  $n = \frac{c}{v}$  可知，在同一种介质中，红光的光速最大，紫光的光速最小，但各种

颜色的光在真空中的光速都是  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

(2) 由  $\sin C = \frac{1}{n}$  可知，在同一种介质中，红光发生全反射的临界角最大，紫光发生

全反射的临界角最小。

### 【考点 242】光的干涉现象

①定义：两列频率相同、振动情况相同的光波相叠加，某些区域出现振动加强，某些区域出现振动减弱，并且加强区域和减弱区域总是相互间隔的现象叫光的干涉现象。

②相干条件：只有相干光源发出的光叠加，才会发生干涉现象。相干光源是指频率相同、相位相同（振动情况相同）的两列光波。

### 【考点 243】双缝干涉：

由同一光源发出的光经双缝后，在屏上出现明暗相间的条纹。白光的双缝干涉的条纹是中央为白色条纹，两边为彩色条纹，单色光的双缝干涉中相邻亮条纹间距离为  $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$ 。

中间为亮条纹；亮条纹位置： $S = n \lambda$ ；暗条纹位置： $S = (2n+1) \lambda / 2$  ( $n=0, 1, 2, 3, \dots$ )；条纹间距 {S：路程差（光程差）； $\lambda$ ：光的波长； $\lambda / 2$ ：光的半波长；d 两条狭缝间的距离；l：挡板与屏间的距离} 光的颜色由光的频率决定，光的频率由光源决定，与介质无关，光的传播速度与介质有关，光的颜色按频率从低到高的排列顺序是：红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫（助记：紫光的频率大，波长小）双缝干涉。

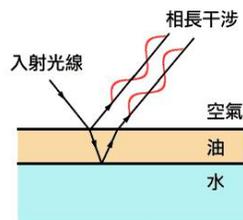
### 【考点 244】薄膜干涉：

定义：光照射在薄膜上，从膜的前表面和后表面反射回来的光再次相遇，而产生的干涉现象。

说明：

1. 若单色光照在上述薄膜上，将形成明暗相间的条纹
2. 若白光照在上述薄膜上，将形成彩色条纹
3. 水面上的油膜、肥皂泡等在白光的照射下，出现灿烂的

彩色，都是薄膜干涉现象



### 【考点 245】光发生明显衍射现象的条件：

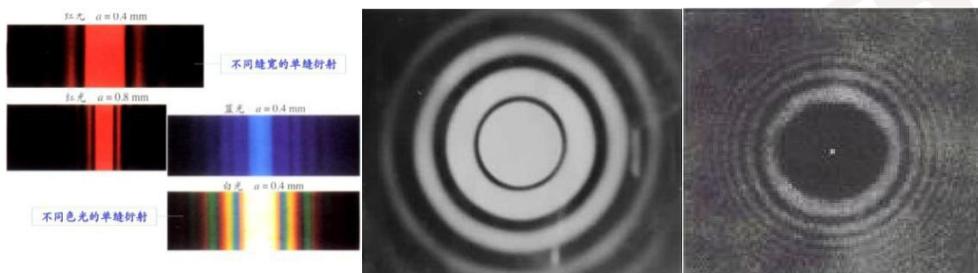
当孔或障碍物的尺寸比光波波长小，或者跟波长差不多时，光才能发生明显的衍射现象。

**【考点 246】常见的光的衍射现象**

1. 单缝衍射现象：单色光通过狭缝时，在屏幕上出现明暗相间的条纹，中央为明纹。中央条纹较宽较亮，往两边条纹渐窄渐暗。白光通过狭缝时，在屏上出现彩色条纹。中央为白条纹。

2. 圆孔衍射现象：光通过小孔时（孔很小）在屏上会出现明暗相间的不等距圆环，中间亮斑很亮。

3. 泊松亮斑：当光照到不透明的小圆板上，在屏上圆板的阴影中心，出现亮斑. 这是光能发生衍射现象的有力证据之一。



**【考点 247】干涉和衍射的对比**

		单缝衍射	双缝干涉
不同点	条纹宽度	条纹宽度不等，中央最宽	条纹宽度相等
	条纹间距	各相邻条纹间距不等	各相邻条纹等间距
	亮度	中央条纹最亮，两边变暗	清晰条纹，亮度基本相等
相同点	干涉、衍射都是波特有的现象，属于波的叠加； 干涉、衍射都有明暗相间的条纹		

**【考点 248】激光**

(一) 激光产生的机理

处于激发态的原子，如果在入射光子的电磁场的影响下，由高能态向低能态跃迁，同时在两个状态之间的能量差以辐射光子的形式发射出去，这种辐射叫作受激辐射。原子发生受激辐射时，发出的光子的频率、发射方向等，都跟入射光子完全一样，这样使光得到

加强，这就是激光产生的机理。

### （二）激光的特点

1. 激光是一种人工产生的相干光。根据此特点，它能像无线电波那样进行调制，应用于光纤通信，也可以用于全息照相。

2. 激光的平行度非常好。根据此特点，它可以应用于精确测距，还可应用于 VCD 光盘的解读。

3. 激光的亮度高，温度高，可以利用激光束来切割各种物质，焊接金属以及在硬质材料上打孔

### 【考点 249】光的偏振

#### （一）光的偏振

1. 只有横波才能发生偏振现象，光的偏振现象表明光是一种横波。
2. 偏振：横波只沿某一特定的方向振动，称为波的偏振。
3. 偏振光：在垂直于光波传播方向的平面内，只沿某一个特定方向上振动的光。

#### （二）自然光与偏振光

1. 自然光：在任意一个垂直于光传播方向振动的光波的强度都相同。
2. 偏振光：在垂直于光传播方向的平面内，只沿某一个特定方向振动的光。除了直接从光源发出的光外，日常生活中遇到的光大都是偏振光。

#### （三）光的偏振的应用：

立体电影、照相机镜头、消除车灯眩光等。

### 【考点 250】光的电磁说

#### （一）光的电磁本性：

麦克斯韦认为光是一种电磁波，赫兹用实验证实了这一学说。

#### （二）电磁波谱

1. 电磁波按波长由大到小的顺序为：无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、 $\gamma$  射线。
2. 不同电磁波产生的机理不同：无线电波由振荡电路中自由电子的周期性运动产生；红外线、可见光、紫外线由原子的外层电子受激后产生；伦琴射线（X 射线）由原子的内层

电子受激后产生： $\gamma$ 射线是原子核受激发后产生的。

## 第六章 声现象

### 【考点 251】声音的产生

#### 1. 声音产生的条件

声音是由物件振动产生的，振动停止，发声也停止。

#### 2. 声源

一切发声体都在振动，像这样正在发声的物体是声源。

### 【考点 252】声音的传播

#### 1. 传声介质

能够传播声音的物质叫作声音的介质，任何固体、液体和气体都是声音的传播介质。

#### 2. 传播条件

声音的传播需要介质，真空不能传声。

### 【考点 253】音调

#### 1. 定义：声音的高低叫作音调。

#### 2. 音调与频率的关系

音调的高低由发声体振动的频率决定。频率越高，音调越高；频率越低，音调越低。

频率：物体每秒振动的次数叫作频率，频率是用来表示物体振动快慢的物理量。物体振动越快，频率越高；振动越慢，频率越低，频率的单位是赫兹(Hz)。

### 【考点 254】响度

#### 1. 定义：声音的大小，也是声音的强弱。

#### 2. 振幅：物体振动的幅度，也是物体离开原来位置的最大距离。

3. 响度与振幅的关系：响度由发声体的振幅决定。发声体的振幅越大，响度就越大；振幅越小，响度就越小

#### 4. 响度与距离的关系：同样大小的声音，我们距离发声体近时听到的声音比远时大，

可见响度还跟距离发声体的远近有关系。距离越远，听到的声音越弱。

### 【考点 255】音色

1. 定义：音色也叫音质或音品，它反映了每个物体发出声音的特有品质。不同发声体所发出声音的音色是不同的。“闻其声而知其人”，也就是因为每个人声音的音色不同，听到说话声便可辨别是谁。

2. 影响音色的因素：音色是由发声体的材料、结构和振动方式等因素决定的，因此音色的影响因素是发声体本身。

### 【考点 256】可听声、超声波、次声波

1. 可听声：人能感受到的声音频率有一定的范围，声源的振动频率在  $20\text{Hz}\sim 20000\text{Hz}$  的声波能引起大多数人的听觉，故称为可听声。

2. 超声波：频率高于  $20000\text{Hz}$  的声波称为超声波，超过正常人听觉所能接收到的频率上限，不能引起听觉的声波。但某些动物可以感受到，例如蝙蝠能发出和感受到十几万赫兹的超声波，用来在飞行中探测障碍物或捕食。

3. 次声波：频率低于  $20\text{Hz}$ ，不能引起人的听觉的声波。在很多大自然的变化中，如地震、台风海啸、火山爆发等过程都会有次声波产生；人类活动，如核爆炸、火箭起飞、喷气式飞机飞行、奔驰的车辆振动等都会产生次声波。

## 第七章 现代物理学基础

### 【考点 257】光电效应

光照使物体发射电子的现象叫作光电效应：所发射的电子叫作光电子；光电子定向移动所形成的电流叫作光电流。

物体在光照条件下发射电子而发生光电效应现象遵循以下规律：

1. 对于任何一种金属，入射光的频率必须大于某一极限频率才能产生光电效应，低于这个极限频率，无论强度如何，无论照射时间多长，也不能产生光电效应；

2. 在单位时间里从金属极板中发射出的光电子数跟入射光的强度成正比；
3. 发射出的光电子的最大初动能与入射光强度无关，只随入射光频率的增大而增大；
4. 只要入射光的频率高于金属极板的极限频率，无论其强度如何，光电子的产生都几乎是瞬时的，不超过  $10^{-9}$ s。

### 【考点 258】光子说

1. 光子：在空间传播的光是不连续的，而是一份一份的，每一份叫作一个光量子，简称光子。

2. 光子的能量： $\varepsilon = h\nu$ 。 $h$  为普朗克常量， $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J·s。

3. 光强同样频率的光，光的强弱的不同反映了单位时间内射到单位面积的光子数的多少。

### 【考点 259】光子说对光电效应的解释

1. 光子照射到金属上时，光子一次只能将其全部能量传递给一个电子，一个电子一次只能获取个光子的能量，它们之间存在着一对一的关系。电子吸收光子后，能量增加，如果能量足够大，就能摆脱金属中正电荷对其的束缚，从金属表面逸出，成为光电子。

2. 如果光子的能量较小（频率较低），电子吸收光子后的能量不足以克服金属中正电荷对其的束缚，则立即会将其转化为系统的内能，而不能从金属中逸出，这就是入射光的频率较低时，尽管照射时间足够长，也不能发生光电效应的原因。

3. 每一种金属，正电荷对电子的束缚能力都不同，因此，电子逸出所需做的最小功也不一样。光子频率小于该频率，无论如何都不会发生光电效应，这就是每一种金属都存在极限频率的原因。

4. 金属中的电子对于光子的吸收是十分迅捷的，电子一次性获得的能量足够时，逸出也是也是十分迅速的，这就是光电效应具有瞬时效应的原因。

### 【考点 260】康普顿效应

在研究电子对 X 射线的散射时发现：有些散射波的波长比入射波的波长略大。康普顿认为这是因为光子不仅有能量，也具有动量。实验结果证明这个设想是正确的。因此康普顿效应也证明了光具有粒子性。

康普顿效应是光子与自由电子之间的相互作用、光子被电子全部吸收后，又重新放出新光子（散射光子不是转移部分能量的入射光子）。

### 【考点 261】爱因斯坦光电效应方程

根据爱因斯坦的光量子理论，射向金属表面的光，实质上就是具有能量  $\varepsilon = h\nu$  的光子流。如果照射光的频率过低，即光子流中每个光子能量较小，当它照射到金属表面时，电子吸收了这一光子，它所增加的  $\varepsilon = h\nu$  的能量仍然小于电子脱离金属表面所需要的逸出功电子就不能脱离金属表面，因而不能产生光电效应。如果照射光的频率高到能使电子吸收后其能量足以克服逸出功而脱离金属表面，就会产生光电效应。此时逸出电子的动能、光子能量和逸出功之间的关系可以表示成：

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + I + W$$

式中， $\frac{1}{2}mv^2$  是脱离物体的光电子的初动能。金属内部有大量的自由电子，这是金属的特征，因而对于金属来说， $I$  项可以略去，爱因斯坦方程为：

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W \text{ 或 } E_{km} = h\nu - W$$

假如  $h\nu < W$ ，电子不能脱离金属的表面。对于一定的金属，产生光电效应的最小光频率（极限频率） $\nu_0$  由  $h\nu_0 = W$  确定，相应的极限波长为  $\lambda = \frac{c}{\nu_0} = \frac{hc}{W}$ 。发光强度增加使照射到物体上的光子的数量增加，因而发射的光电子数和照射光的强度成正比。

### 【考点 262】光的波粒二象性

干涉、衍射和偏振以无可辩驳的事实表明光是一种波；光电效应和康普顿效应又用无可辩驳的事实表明光是一种粒子；因此现代物理学认为：光具有波粒二象性。

#### （一）正确理解波粒二象性

1. 个别光子的作用效果往往表现为粒子性；大量光子的作用效果往往表现为波动性。
2. 频率高的光子容易表现出粒子性；频率低的光子容易表现出波动性。
3. 光在传播过程中往往表现出波动性；在与物质发生作用时往往表现为粒子性。

4. 由光子的能量  $E = h\nu$ ，光子的动量  $p = \frac{h}{\lambda}$  表示式也可以看出，光的波动性和粒子性并不矛盾：表示粒子性的粒子能量和动量的计算式中都含有表示波的特征的物理量——频率  $\nu$  和波长  $\lambda$ 。

由以上两式和波速公式  $c = \lambda\nu$  还可以得出： $E = pc$ 。

### 【考点 263】波动性与粒子性的比较

项目	内容	说明
光的粒子性	(1) 当光同物质发生作用时, 这种作用是“一份一份”进行的, 表现出粒子的性质 (2) 少量或个别光子容易显示出光的粒子性	粒子的含义是“不连续”“一份一份”的, 光粒子即光子, 不同于宏观概念的粒子
光的波动性	(1) 足够能量的光在传播时, 表现出波的性质 (2) 光是一种概率波, 即光子在空间各点出现的可能性大小(概率)可用波动规律来描述	光的波动性是光子本身的一种属性, 不是光子之间相互作用产生的, 光的波动性不同于宏观的波
波和粒子的对立、统一	宏观世界: 波和粒子是相互对立的概念 微观世界: 波和粒子是统一的	光子说并未否定波动性, $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ 中 $\nu$ 和 $\lambda$ , 就是描述波的特性的物理量

### 【考点 264】物质波(德布罗意波)

由光的波粒二象性的思想推广到微观粒子和任何运动着的物体上去, 得出物质波(德布罗意波)的概念: 任何一个运动着的物体都有一种波与它对应, 该波的波长  $\lambda = \frac{h}{p}$ 。

### 【考点 265】汤姆生模型

#### 1. 电子的发现

1987 年英国物理学家汤姆生, 对阴极射线进行了一系列的研究, 从而发现了电子。

电子的发现表明：原存在精细结构，从而打破了原子不可再分的观念。

## 2. 汤姆生的原子模型（枣糕模型）

1903年汤姆生设想原子是一个带电小球，它的正电荷均匀分布在整个球体内，而带负电的电子镶嵌在正电荷中，电子在平衡位置附近振动发出一定频率的光，这就是汤姆生模型。

### 【考点 266】卢瑟福的核式结构模型

#### 1. $\alpha$ 粒子散射实验

##### (1) 实验装置

$\alpha$  粒子源：钋放在带小孔的铅盒中，放射出高能粒子（ $\alpha$  粒子）带正电， $m_{\alpha} \gg m_e$ 。

金属箔：厚度极小，可至 1 微米（金原子的质量大，且易延成很薄的箔）。

显微镜：能绕金箔在水平面内转动。

荧光屏：荧光屏装在显微镜上。

##### (2) 实验结果

①绝大多数  $\alpha$  粒子几乎不发生偏转；

②少数  $\alpha$  粒子则发生了较大的偏转；

③极少数  $\alpha$  粒子发生了大角度偏转（偏转角度超过  $90^\circ$  有的甚至几乎达到  $180^\circ$ ）。

#### 2. $\alpha$ 粒子散射的简单解释

首先，由于质量的悬殊便可判定， $\alpha$  粒子的偏转不会是因为电子的影响，而只能是因为原子中除电子外的带正电的物质的作用而引起的；其次，原子中除电子外的带正电的物质不应是均匀分布的（否则对所有的  $\alpha$  粒子来说散射情况应该是一样的），而“绝大多数”“少数”和“极少数” $\alpha$  粒子的行为的差异，充分地说明这部分带正电的物质只能高度地集中在一个很小的区域内；再次，从这三部分行为不同的  $\alpha$  粒子数量的差别的统计，不难理解卢瑟福为什么能估算出这个区域的直径约为  $10^{-14}\text{m}$

#### 3. 卢瑟福核式结构结论与意义

卢瑟福根据粒子散射实验提出：在原子的中心有一个很小的核，叫作原子核，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的空间运动。

原子核的发现具有重大意义，它开辟了原子核物理的新领域。因此人们尊称卢瑟福为原子核物理之父。

原子、原子核的大小：原子直径数量级  $10^{-10}\text{m}$ ，原子核直径数量级  $10^{-15}\text{m}$ ，原子核直径是原子直径的十万分之一。原子核由质子和中子组成，质子和中子统称为核子。

### 【考点 267】玻尔的原子理论——三条假设

1. 轨道假设：原子中的电子在库仑引力的作用下，绕原子核做圆周运动，电子绕核运动的轨道是量子化的。

2. 定态假设：电子在不同的轨道上运动时，原子处于不同的状态，因而具有不同的能量，即原子的能量是量子化的。这些不同的状态叫定态。在各个定态中，原子是稳定的，不向外辐射能量。

3. 跃迁假设：原子从一个能量状态向另一个能量状态跃迁时要吸收或放出一定频率的光子，该光子的能量等于两个状态的能量差，即  $h\nu = E_m - E_n$ 。

在玻尔理论中，原子的各个可能状态对应的量值叫能级。能量最低的状态叫基态；其他能量状态叫激发态。

现代物理学认为原子的可能状态是不连续的，各状态的标号 1、2、3...叫作量子数，一般用  $n$  表示。

与玻尔理论有关的分析与计算：在氢原子中，电子绕核运动，可将电子运动的轨道看做半径为  $r$  的圆周，则原子核与电子之间的库仑力为电子做匀速圆周运动所需的向心力。

$$\text{有： } k \frac{e^2}{r_n^2} = m \frac{v_n^2}{r_n}$$

$$(1) \text{ 电子速度 } v_n = \sqrt{\frac{ke^2}{mr_n}}$$

$$(2) \text{ 电子运动周期 } T_n = \frac{2\pi r_n}{v_n} = 2\pi \sqrt{\frac{mr_n^3}{ke^2}}$$

$$(3) \text{ 电子的动能 } E_{kn} = \frac{1}{2}mv_n^2 = \frac{ke^2}{2r_n}$$

$$(4) \text{ 电子的电势能 } E_{pn} = -\frac{ke^2}{r} (E_{p_\infty} = 0)$$

(5) 氢原子在各个不同的能量状态对应不同的电子轨道，电子绕核做圆周运动的动

能和系统的电势能之和即为原子的能量，即  $E_{pn} = E_k + E_p = -\frac{ke^2}{2r}$

(6) 系统的电势能变化根据库仑力做功来判断：靠近核，库仑力对电子做正功，系统电势能减小；远离核，库仑力对电子做负功，系统电势能增加。

### 【考点 268】氢原子能级

#### 1. 氢原子能级

对氢原子而言，核外的一个电子绕核运行时，若半径不同，则对应着的原子能量也不同，若使原子电离，外界必须对原子做功，使电子摆脱它与原子核之间的库仑力的束缚，所以原子电离后的能量比原子其他状态的能量都高。我们把原子电离后的能量记为 0，即选取电子离核无穷远处时氢原子的能量为零，则其他状态下的能量值都是负值。

$$(1) \text{ 能级公式: } E_n = \frac{1}{n^2}E_1 (E_1 = -13.6\text{eV});$$

$$(2) \text{ 半径公式: } r_n = n^2r_1 (r_1 = 0.53\text{A}).$$

#### 2. 能级图

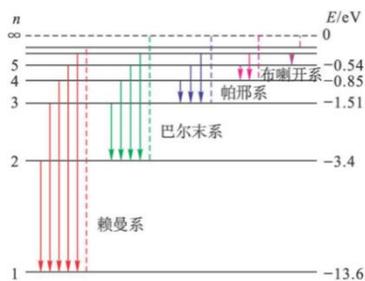
氢原子的能级图如右图所示。

### 【考点 269】氢光谱

#### 1. 对氢原子跃迁的理解

(1) 原子从低能级向高能级跃迁：吸收一定能量的光子，当一个光子的能量满足  $h\nu = E_{末} - E_{初}$  时，才

能被某一个原子吸收，使原子从低能级  $E_{初}$  向高能级  $E_{末}$  跃迁，而当光子能量  $h\nu$  大于或小于  $E_{末} - E_{初}$  时都不能被原子吸收。



(2) 原子从高能级向低能级跃迁时，以光子的形式向外辐射能量，所辐射的光子能量恰等于发生跃迁时的两能级间的能量差。

(3) 当光子能量大于或等于 13.6eV 时，也可以被氢原子吸收，使氢原子电离；当氢原子吸收的光子能量大于 13.6eV，氢原子电离后，电子具有一定的初动能。一群氢原子

处于量子数为  $n$  的激发态时，可能辐射出的光谱线条数为  $N = \frac{n(n-1)}{2} = C_n^2$

(4) 原子还可吸收外来实物粒子（例如自由电子）的能量而被激发。由于实物粒子的动能可全部或部分被原子吸收，所以只要入射粒子的能量大于或等于两能级的能量差值（ $E = E_m - E_n$ ），均可使原子发生能级跃迁。

(5) 跃迁时电子动能、原子势能与原子能量的变化。当轨道半径减小时，库仑引力做正功，原子的电势能  $E_p$  减小，电子动能增大，原子能量减小。反之，轨道半径增大时，原子电势能增大，电子动能减小，原子能量增大。

### 【考点 270】原子核

#### 1. 原子的组成和符号

原子核由质子和中子组成，两者统称为核子。原子核用  ${}_Z^A X$  表示， $X$  为元素符号，上角标  $A$  表示原子核的质量数，下角标  $Z$  表示原子核的电荷数（原子序数）。

#### 2. 天然放射现象

能够自发地放出射线（可穿透黑纸，使照相底片感光）的元素叫作放射性元素，这种现象叫作天然放射现象。天然放射现象的发现，说明原子核具有复杂的结构。

#### 3. 放射性和放射元素

物质发射某种看不见的射线的性质叫放射性，具有放射性的元素叫放射性元素。通过对放射现象的研究，人们发现原子序数大于 83 的所有天然存在的元素都有放射性，原子序数小于 83 的天然存在的元素有些也具有放射性，它们放射出的射线共有三种，分别是  $\alpha$  射线、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线。

(1)  $\alpha$  射线：它是高速的氦原子核 ( ${}^4_2\text{He}$ ) 粒子流。其速度约为光在真空中速度的 1/10，贯穿本领很小，电离作用和感光作用很强。

(2)  $\beta$  射线：它是高速的电子 ( ${}^0_{-1}\text{e}$ ) 流，速度接近光速，贯穿本领较强，电离作用较弱。

(3)  $\gamma$  射线：它是频率很高的  $\gamma$  光子流。贯穿本领最强，电离作用最弱。

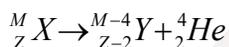
## (二) 放射性同位素

如果两个原子的质子数目相同，中子数目不同，则他们仍有相同的原子序数，在周期表中是同位置的元素，所以两者就叫同位素。有放射性的同位素称为放射性同位素，没有放射性的同位素则称为“稳定同位素”，并不是所有同位素都具有放射性。

### 【考点 271】放射性元素的衰变

原子序数大于 83 的天然存在的元素的原子核都不稳定，会自发地放出射线变为另一种元素的原子核，这种变化叫作原子核的衰变。

(1)  $\alpha$  衰变：原子核放出  $\alpha$  粒子的衰变。



(2)  $\beta$  衰变：原子核放出  $\beta$  粒子的衰变。  ${}^M_Z X \rightarrow {}^M_{Z+1} Y + {}^0_{-1} \text{e}$

(3)  $\gamma$  衰变：原子核放出光子，是伴随  $\alpha$  粒子或  $\beta$  粒子产生而向外辐射的。

天然放射现象中三种射线及其物质微粒的有关特性的比较

种类	$\alpha$ 射线	$\beta$ 射线	$\gamma$ 射线
组成	高速氦核流	高速电子流	光子流 (高频电磁波)
带电荷量	2e	-e	0
质量	$4m_p$ ( $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$ )		静止质量为零
符号	He	${}^0_{-1}\text{e}$	$\gamma$
速度	0.1c	0.99c	c

在电磁场中	偏转	与 $\alpha$ 射线反 向偏转	不偏转
贯穿本领	最弱, 用纸能挡住	较强, 穿透几 毫米的铝板	最强, 穿透几厘米的铅 板
对空气的电离 作用	很强	较弱	很弱

(4) 衰变规律。衰变前原子核的质量数和电荷数与衰变后生成的新核及放出的粒子的质量数与电荷数是守恒的。

### 【考点 272】半衰期

半衰期是放射性元素的原子核有半数发生衰变需要的时间。它是由这种元素的原子核内部本身的因素决定的, 与原子所处的物理状态或化学状态无关。不同元素具有不同的半衰期, 有的长达几十亿年, 有的短到几分之一秒。

#### (1) 放射性元素衰变的半衰期

半衰期是说某元素的大量原子核衰变的平均快慢程度。它是大量该元素的原子核内在的自发生的一种统计规律。半衰期只适用于大量放射性原子构成的样品。如果放射性元素的原子核数极少或者为个别的原子核, 就失去了统计规律存在的前提。

半衰期的定义是放射性元素的原子核有半数发生衰变需要的时间。设原来的原子核的数目为  $N_{\text{原}}$ , 放射后剩余的原子核的数目为  $N_{\text{余}}$ , 半衰期为  $T$ , 衰变的时间为  $t$ , 它们之间的关系

$$\text{式为: } N_{\text{余}} = N_{\text{原}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

又因为放射性元素的质量和它包含的原子核的数目成正比。因此可以假设原来的元素的质量  $m_0$ , 放射后剩余的元素的质量为  $m$ , 半衰期为  $T$ , 衰变的时间为  $t$ , 它们之间的关

$$\text{系式为 } m_{\text{余}} = m_{\text{原}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

注意: 半衰期不是放射性元素平均寿命的一半。放射性元素经过半衰期是其半数核发生

衰变，而该元素的样品的总质量并非减半。

### 【考点 273】人工转变

质子的核反应： ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{1}^{1}\text{H}$ ，卢瑟福用  $\alpha$  粒子轰击氮核，并预言中子的存在。

中子的核反应： ${}_{4}^{9}\text{Be} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{6}^{12}\text{C} + {}_{0}^{1}\text{n}$ ，查德威克用钋产生的  $\alpha$  射线轰击铍。

人工制造放射性同位素： ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_{0}^{1}\text{n}$ ， ${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_{1}^{0}\text{e}$  约里奥·居里和伊丽美·居里夫妇用  $\alpha$  粒子轰击铝箔发现了正电子。

### 【考点 274】裂变反应和聚变反应

#### 1. 重核裂变

(1) 定义：使重核分裂成质量较小的原子核的核反应。

(2) 铀核裂变：用中子轰击铀核时，铀核发生裂变，一种典型的反应是生成钡和氪，同时放出三个中子，核反应方程为  ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_{0}^{1}\text{n} \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_{0}^{1}\text{n}$ 。

(3) 链式反应：由重核裂变产生中子使裂变反应一代接一代继续下去的过程叫作核裂变的链式反应。

(4) 链式反应的条件：①要有足够浓度的  ${}^{235}\text{U}$ ；②铀块体积需大于临界体积，或铀块质量大于临界质量。

(5) 核反应堆

①核反应堆是人工控制链式反应的装置。

②  ${}^{235}\text{U}$  俘获慢中子发生链式反应，用来使中子减速的物体叫慢化剂，常见的有石墨、重水、普通水

③反应堆中的镉棒的作用是控制链式反应的速度

#### 2. 轻核聚变

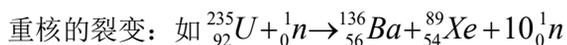
(1) 定义：两个轻核结合成较重的核，这样的核反应叫作聚变

(2) 聚变发生的条件：使物体达到几百万度的高温。

### 3. 核能的产生和计算

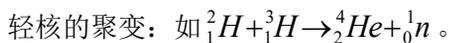
#### (1) 获得核能的途径

①重核裂变：某些重核分裂成中等质量的核的反应过程，同时释放大量的核能。要使铀-235 发生链式反应以持续地输出能量，铀块的体积应大于它的临界体积。



应用：原子弹、核反应堆。

②轻核聚变：某些轻核结合成质量较大的核的反应过程，同时释放出大量的核能，要想使氘核和氚核合成氦核，必须达到几百万度以上的高温，因此聚变反应又叫作热核反应。



应用：氢弹、可控热核反应。

#### 【考点 275】核能的计算方法

①根据爱因斯坦质能方程列式计算：即  $\Delta E = \Delta mc^2$  ( $\Delta m$  的单位：kg)。

②根据 1 原子质量单位 (u) 相当于 931.5 兆电子伏能量，则  $\Delta E = \Delta m \times 931.5 \text{ MeV}$  ( $\Delta m$  的单位：u,  $1\text{u} = 1.6606 \times 10^{-27} \text{ kg}$ )。

③核反应遵守却是守恒和能量守恒定律，因此我们可以结合动量和能量守恒定律来计算核能。

#### 【考点 276】核反应的四种类型及书写

类型		可控性	核反应方程典例
衰变	$\alpha$ 衰变	自发	${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$
	$\beta$ 衰变	自发	${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{234}\text{Pa} + {}_{-1}^0\text{e}$
		人工控制	${}_{7}^{14}\text{N} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + {}_1^1\text{H}$ (卢瑟福发现质子)
			${}_4^9\text{Be} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$ (查德威克发现中子)

人工转变		${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$	约里奥·居里夫妇发现放射性同位素，同时发现正电子
		${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_1^0\text{e}$	
重核裂变	比较容易进行人工控制	${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$	
		${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{54}^{136}\text{Xe} + {}_{38}^{90}\text{Sr} + 10{}_0^1\text{n}$	
轻核聚变	除氢弹外无法控制	${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$	

### 【考点 277】核能

1. 已经确定核力的主要特性有：(1) 是一种很强的力（相比于其他的力），(2) 是一种短程力。

2. 一定的质量  $m_{\text{总}}$  是跟一定的能量  $mc^2$  对应。核子在结合成原子核时的总质量减少了，相应的总能量也要减少，根据能量守恒定律，减少的这部分能量不会凭空消失，它要在核子结合过程中释放出去。反过来，把原子核分裂成核子，总质量要增加，总能量也要增加，增加的这部分能量也不会凭空产生，要由外部来供给。能量总是守恒的，在原子核反应伴随有巨大的放能和吸能现象。

3. 核反应中释放或吸收的能量，可以根据反应物和生成物间的质量差用质能关系方程来计算。

4. 核反应中能量的吸、放跟核力的作用有关。当核子结合成原子核时，核力要做功，所以放出能量。把原子核分裂成核子时，要克服核力做功，所以要由外界提供能量。

### 【考点 278】爱因斯坦假设

1905 年爱因斯坦发表一篇关于狭义相对论的假设的论文，提出了二个基本假设。

1、相对性原理：

物理学规律在所有惯性系中都是相同的，或物理学定律与惯性系的选择无关，所有的惯性系都是等价的。

此假设肯定了一切物理规律（包括力、电、光等）都应遵从同样的相对性原理，可以

看出，它是力学相对性原理的推广。它也间接地指明了，无论用什么物理实验方法都找不到绝对参照系。

## 2、光速不变原理：

在所有惯性系中，测得真空中光速均有相同的量值  $c$ 。它与经典结果恰恰相反，用它能解释迈克耳逊—莫雷实验。

### 【考点 279】洛伦兹变换

用相对性原理求出变换关系式

$$\begin{cases} x' = \frac{x + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} x' = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{cases}$$

### 【考点 280】狭义相对论的时空观

#### (一) 长度收缩

$$l = \frac{l_0}{\gamma} = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

相对观察者静止时物体的长度称为静止长度或固有长度（这里  $l_0$  为固有长度）。

相对于观察者运动的物体，在运动方向的长度比相对观察者静止时物体的长度短了。

#### (二) 时间膨胀（或钟慢）

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

相对观察者静止时测得的时间间隔为静时间间隔或固有时间。由上可知，相对于事件发生地点做相对运动的惯性系  $S$  中测得的时间比相对于事件发生地点为静止的惯性系  $S'$  中测得的时间要长。换句话说，一时钟由一个与它作相对运动的观察者来观察时，就比由与它相对静止的观察者观察时走得慢。

### 【考点 281】狭义相对论的动力学基础

#### (一) 质量与速度的关系

理论上可以证明，以速率  $v$  运动的物体，其质量为

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

式中  $m_0$  为相对观察者静止时测得的质量，称为静止质量， $m$  为物体以速率  $v$  运动时的质量。

#### (二) 相对论力学的基本方程

##### 1、动量

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}\vec{v}$$

##### 2、牛顿第二定律（相对论下力学基本方程）

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \frac{dm}{dt}\vec{v} + m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

当  $\vec{F} = 0$  时， $\vec{p} = \text{常矢}$ 。

讨论：系统  $\sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i = \sum_i \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} \vec{v}_i = \text{常矢}$ ，动量守恒表达式。

#### (三) 质量与能量关系

##### 1、相对论中动能

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2$$

即，物体动能=总能量-静止能量。

##### 2、质能关系式

$$E = mc^2$$

上式称为质能关系式。

#### (四) 动量与能量之间的关系

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

此式为能量与动量关系式。

(五) 光子情况

光子静止质量为零 (由  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$  可得出),  $E = h\nu$ ,

$$\Rightarrow \begin{cases} m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} \\ p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \end{cases}$$

## 第八章 实验

### 【考点 282】误差

测量值与真实值的差异叫做误差。误差可分为系统误差和偶然误差两种。

(1) 系统误差的特点是在多次重复同一实验时，误差总是同样地偏大或偏小。

(2) 偶然误差总是有时偏大，有时偏小，并且偏大和偏小的机会相同。减小偶然误差的方法，可以多进行几次测量，求出几次测量的数值的平均值。这个平均值比某一次测得的数值更接近于真实值。

### 【考点 283】有效数字

带有一位不可靠数字的近似数字，叫做有效数字。(1) 有效数字是指近似数字而言。

(2) 只能带有一位不可靠数字，不是位数越多越好。

凡是用测量仪器直接测量的结果，读数一般要求在读出仪器最小刻度所在位的数值(可靠数字)后，再向下估读一位(不可靠数字)，这里不受有效数字位数的限制。

间接测量的有效数字运算不作要求，运算结果一般可用 2~3 位有效数字表示。

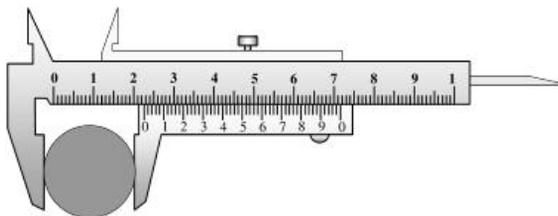
### 二、基本测量仪器及读数

#### 【考点 284】刻度尺、秒表、弹簧秤、温度表、电流表、电压表的读数

使用以上仪器时，凡是最小刻度是 10 分度的，要求读到最小刻度后再往下估读一位(估读的这位是不可靠数字，但是是有效数字的不可缺少的组成部分)。凡是最小刻度不是 10 分度的，只要求读到最小刻度所在的这一位，不再往下估读。

#### 【考点 285】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(不能估度)。其读数准确到 0.1mm。



2. 20 分度的游标卡尺。游标上相邻两

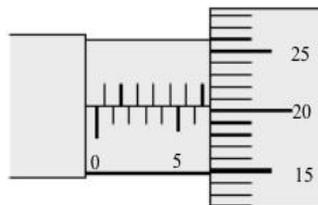
个刻度间的距离为 0.95mm，比主尺上相邻两个刻度间距离小 0.05mm。读数时先从主尺上读出厘米数和毫米数，然后用游标读出毫米以下的数值：游标的第几条刻线跟主尺上某一条刻线对齐，毫米以下的读数就是几乘 0.05 毫米。其读数准确到 0.05mm。

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。

### 【考点 286】螺旋测微器

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。

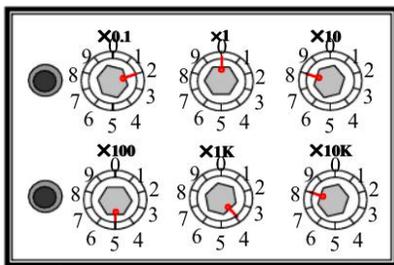
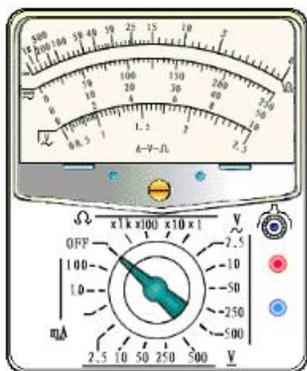
### 【考点 287】打点计时器

打点计时器是一种特殊的计时仪器，电源用 50Hz 的交流电，所以打相邻两个点的时间间隔是 0.02s。

电磁打点计时器工作电压为 6V；电火花工作电压为 220V

### 【考点 288】多用电表

使用多用电表时首先应该根据被测物理量将选择开关旋到相应的位置。使用前应先进行机械调零，用小螺丝刀轻旋调零螺丝，使指针指左端零刻线。使用欧姆挡时，还应进行欧姆调零，即将红、黑表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使指针指右端零刻线处。欧姆挡的使用：(1)选挡。一般比被测电阻的估计值低一个数量级，如估计值为 200 Ω 就应该选  $\times 10$  的倍率。(2)调零。(3)将红黑表笔接被测电阻两端进行测量。(4)将指针示数乘以倍率，得测量值。(5)将选择开关扳到 OFF 或交流电压最高挡。用欧姆挡测电阻，如果指针偏转角度太小，应增大倍率；如果指针偏转角度太大，应减小倍率。

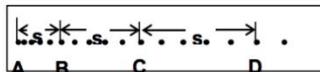


**【考点 289】电阻箱**

右图中的电阻箱有 6 个旋钮，每个旋钮上方都标有倍率，将每个旋钮上指针所指的数值（都为整数）乘以各自的倍率，从最高位依次往下读，即可得到这时电阻箱的实际阻值。图中最左边的两个黑点是接线柱。若指针所示如图，则阻值为 84580.2 Ω。

**【考点 290】研究匀变速直线运动**

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 0，然后每 5 个点取一个计数点 A、B、C、D…。测出相邻计数点间的距离  $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$ …



利用打下的纸带可以：

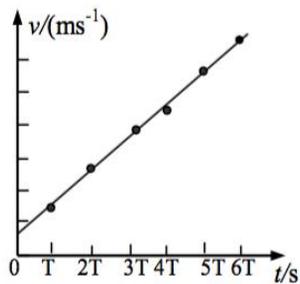
(1)求任一计数点对应的即时速度  $v$ ：如  $v_c = \frac{s_2 + s_3}{2T}$

(其中  $T=5 \times 0.02s=0.1s$ )

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

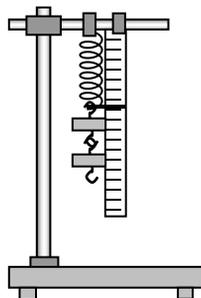
(3)利用上图中任意相邻的两段位移求  $a$ ：如  $a = \frac{s_3 - s_2}{T^2}$

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



**【考点 291】探究弹力和弹簧伸长的关系（胡克定律）**

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，要根据描出的点的走向，尝试判定函数关系。（这一点和验证性实验不同。）

### 【考点 292】研究平抛物体的运动（用描迹法）

实验原理：平抛运动可以看成是两个分运动的合成：一个是水平方向的匀速直线运动，其速度等于平抛物体的初速度；另一个是竖直方向的自由落体运动。利用有孔的卡片确定做平抛运动的小球运动时的若干不同位置，然后描出运动轨迹，测出曲线任一点的坐标  $x$  和  $y$ ，利用

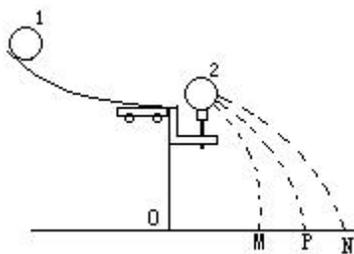
$$x = vt, \quad y = \frac{1}{2}gt^2 \quad \text{就可求出小球的水平分速度，即平抛物体的初速度。}$$

注意事项：

- (1)斜槽末端的切线必须水平。
- (2)用重锤线检验坐标纸上的竖直线是否竖直。
- (3)以斜槽末端所在的点为坐标原点。
- (4)如果是用白纸，则应以斜槽末端所在的点为坐标原点，在斜槽末端悬挂重锤线，先以重锤线方向确定  $y$  轴方向，再用直角三角板画出水平线作为  $x$  轴，建立直角坐标系。
- (5)每次小球应从斜槽上的同一位置由静止开始下滑。

### 【考点 293】四、验证动量守恒定律

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  $ON$  表示。因此只需验证： $m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$  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）。

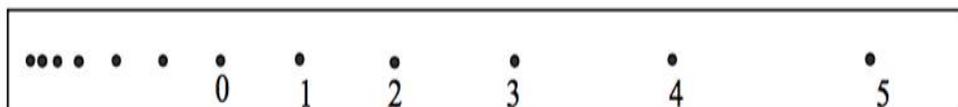
(2)小球落地点的平均位置要用圆规来确定：用尽可能小的圆把所有落点都圈在里面，圆心就是落点的平均位置。

(3)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。

(4)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。

### 【考点 294】验证机械能守恒定律

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。



(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。

### 【考点 295】用单摆测定重力加速度

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）；不要使摆动成为圆锥摆。

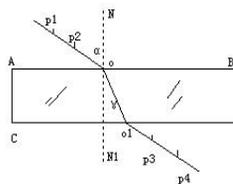
必须从摆球通过最低点时开始计时，测出单摆做 50 次全振动所用的时间，算出周期的平均值  $T$ 。

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。

### 【考点 296】测定玻璃折射率

实验原理：如图所示，入射光线 AO 由空气射入玻璃砖，经  $O_1$  后由  $O_2B$  方向射出。作出法线  $NN_1$ ，则折射率

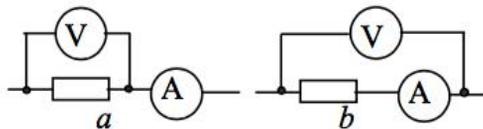
$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$$



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

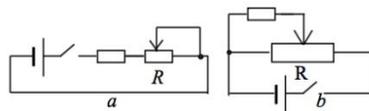
### 【考点 297】伏安法测电阻

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。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。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  $\frac{\Delta I}{I}$  和  $\frac{\Delta U}{U}$ ）。



（一）滑动变阻器的连接

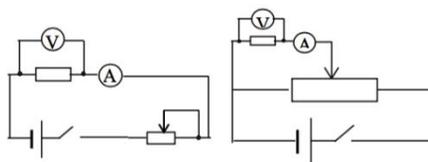
滑动变阻器在电路中也有 a、b 两种常用的接法：a 叫限流接法，b 叫分压接法。分压接法被测电阻上电压的调节范围大。当要求电压从零开始调节，或要求电压调节范围尽量大时应该用分压接法。用分压接法时，滑动变阻器应该选用阻值小的；用限流接法时，滑动变阻器应该选用阻值



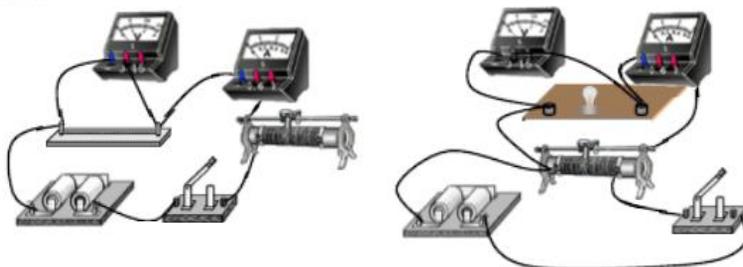
和被测电阻接近的。

### (二) 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。



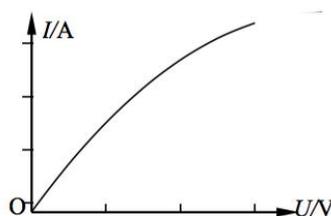
阻器、伏安法四部分依次串联起来即可（注意电表的正负接线柱和量程，滑动变阻器应调到阻值最大处）。对分压电路，应该先把电源、电键和滑动变阻器的全部电阻丝三部分用导线连接起来，然后在滑动变阻器电阻丝两端之中任选一个接头，比较该接头和滑动触头两点的电势高低，根据伏安法部分电表正负接线柱的情况，将伏安法部分接入该两点间。



### (三) 描绘小电珠的伏安特性曲线

因为小电珠（即小灯泡）的电阻较小（ $10\Omega$  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。

### 【考点 298】测定金属的电阻率

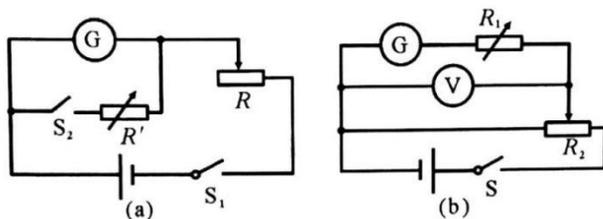
被测电阻丝的电阻较小，所以选用电流表外接法；本实验不要求电压调节范围，可选用限流电路。因此选用上面左图的电路。开始时滑动变阻器的滑动触头应该在右端。本实验通过的电流不宜太大，通电时间不能太长，以免电阻丝发热后电阻率发生明显变化。

### 【考点 299】把电流表改装为电压表

1. 用下图 (a) 测定电流表内阻  $r_g$ ，方法是：先断开  $S_2$ ，闭合  $S_1$ ，调节  $R$ ，使电流表满偏；然后闭合  $S_2$ ，调节  $R'$ ，使电流表达到半满偏。当  $R$  比  $R'$  大很多时，可以认为  $r_g = R'$ 。（当  $R$  比  $R'$  大很多时，调节  $R'$  基本上不改变电路的总电阻，可认为总电流不变，因此当电流表半满偏时，通过  $R'$  的电流也是满偏电流的一半，两个分路的电阻相等）。实际上， $S_2$  闭合后，总电阻略有减小，总电流略有增大，当电流表半满偏时，通过  $R'$  的电流比通过电流表的电流稍大，即  $R'$  比  $r_g$  稍小，因此此步测量的系统误差，总是使  $r_g$  的测量值偏小。其中  $R$  不必读数，可以用电位器； $R'$  需要读数，必须用电阻箱。

根据  $r_g$ 、 $I_g$  和扩大后的量程，计算出需要给电流表串联的电阻  $R$  的值。

2. 用图 (b) 把改装的电压表和标准电压表进行校对。校对要每 0.5V 校对一次，所以电压要从零开始逐渐增大，因此必须选用分压电路。



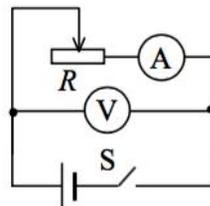
百分误差的计算：

当改装电压表示数为  $U$ ，标准电压表示数为  $U'$  时，则百分误差为  $\frac{|U - U'|}{U'}$

如果校对时发现改装电压表的示数总是偏大，则应该适当增大  $R_1$  的阻值（使表头的分压减小一些），然后再次重新进行校对。

**【考点 300】用电流表和电压表测电池的电动势和内电阻**

根据闭合电路欧姆定律： $E = U + Ir$ ，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  $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$ ）。

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）