高中物理必背知识及二级结论大全

（一）运动的描述　直线运动

1．一元二次方程 $ax^2+bx+c=0$ **（*a*≠0）**

根的判别式 $\Delta=b^2-4ac$；求根公式 $x=\dfrac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$；韦达定理 $x_1+x_2=-\dfrac{b}{a}$，$x_1x_2=\dfrac{c}{a}$

2．一元二次函数 $y=ax^2+bx+c$ **（*a*≠0）**

对称轴方程 $x=-\dfrac{b}{2a}$，顶点坐标（$-\dfrac{b}{2a}$，$\dfrac{4ac-b^2}{4a}$），最值

***a*>0：函数图象为开口向上的抛物线，** $x=-\dfrac{b}{2a}$ **时函数有最小值** $y_{min}=\dfrac{4ac-b^2}{4a}$

***a*<0：函数图象为开口向下的抛物线，** $x=-\dfrac{b}{2a}$ **时函数有最大值** $y_{max}=\dfrac{4ac-b^2}{4a}$

3．匀变速直线运动

（1）中时速度，等于初末速度的算术平均值： $v_{\frac{t}{2}}=\dfrac{v_1+v_2}{2}=v_1+\dfrac{1}{2}at=v_2-\dfrac{1}{2}at=\bar{v}$

（2）中位速度，等于初末速度的方均根平均值： $v_{\frac{x}{2}}=\sqrt{\dfrac{v_1^{\,2}+v_2^{\,2}}{2}}$

▲数学知识：方均根平均值大于或等于算术平均值。所以，中点速度必大于平均速度，即**中位速度必大于中时速度**。

4．初速为 0 的匀加速直线运动，比例规律在 *n* 不为整数时也成立

（1）时间等分，位移之比： $x_1:x_2:x_3:\cdots:x_n=1:3:5:\cdots:(2n-1)$（即连续奇数之比）

（2）位移等分，时间之比： $t_1:t_2:t_3:\cdots:t_n=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):\cdots:(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})$

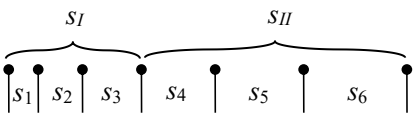
5．逐差规律：匀变速直线运动时间等分，则后一段与前一段位移之差Δs 为定值，且$\Delta s=aT^2$

（1）逐差规律在实验中的作用：①判断是否为匀变速运动；②求加速度 $a=\dfrac{\Delta s}{T^2}$

（2）连续逐差： $a=\dfrac{s_2-s_1}{T^2}=\dfrac{s_3-s_2}{T^2}=\dfrac{s_4-s_3}{T^2}=\cdots$

（3）间隔逐差： $a=\dfrac{s_n-s_{n-k}}{kT^2}$，如 $a=\dfrac{s_4-s_1}{3T^2}=\dfrac{s_5-s_2}{3T^2}=\dfrac{s_6-s_3}{3T^2}=\cdots$

（4）“两大段法”：将 *k* 段和后面相邻的 *k* 段各自合成为一大段，



则 $a=\dfrac{s_{II}-s_I}{(kT)^2}$

6．熟知自由落体运动与竖直上抛运动的一些重要数据：

（1）自由落体运动，**取 *g*＝10*m*/*s*² 时：**

1s、2s、3s、4s、…分别下落 5*m*、20*m*、45*m*、80*m*、…

第 1s、第 2s、第 3s、第 4s、…分别下落 5*m*、15*m*、25*m*、35*m*、…

若取 *g*＝9.8*m*/*s*²：

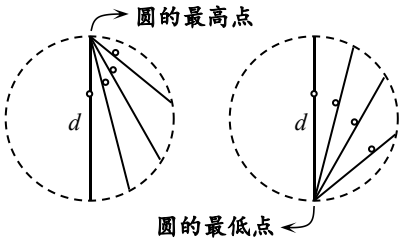
1s、2s、3s、4s、…分别下落 4.9*m*、19.6*m*、44.1*m*、78.4*m*、…

第 1s、第 2s、第 3s、第 4s、…分别下落 4.9*m*、14.7*m*、24.5*m*、34.3*m*、…

（2）竖直上抛运动，**取 *g*＝10*m*/*s*² 时，**无论是上升过程，还是下落过程，1s 内运动的位移最少为

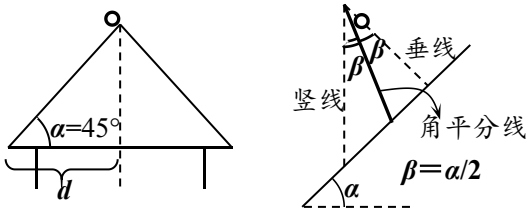
5*m*。若 1s 内的位移小于 5*m*，则这 1s 内必然是先上升到最高点再下落

7．等时圆模型：（竖直平面内的光滑斜面轨道）



按如图所示两种方式在竖直平面内的圆中设置不同倾斜程度的光滑斜面轨道，质点从轨道的最高点由静止开始自由下滑到轨道的最低点所用时间相等，且时间 $t=\sqrt{\frac{2d}{g}}$（沿直径做自由落体运动的时间，*d* 为圆的直径）。

8．两类（光滑斜面）最速线：



①45°最速线：光滑斜面底边长度 *d* 一定，倾角为 45°时，由静止从斜面顶端运动到底端的时间最短

②角平分最速线：从斜面外一点 *A* 引出一光滑斜轨道到达斜面，当轨道沿竖线和垂线的角平分线时，由静止从轨道顶端运动到底端的时间最短

9．共线运动等速最距规律：

等速最近： $\left.\begin{matrix} v_{后}>v_{前}：d\downarrow \\ v_{后}<v_{前}：d\uparrow \end{matrix}\right\}$ $\Rightarrow v_{后}=v_{前}$时 *d* 最小

等速最远： $\left.\begin{matrix} v_{后}<v_{前}：d\uparrow \\ v_{后}>v_{前}：d\downarrow \end{matrix}\right\}$ $\Rightarrow v_{后}=v_{前}$时 *d* 最大

10．两个物体只受重力在空中飞行时，无论做什么形式的运动（自由落体运动、竖直上抛运动、竖直下抛运动、平抛运动、斜抛运动），相对总是做匀速直线运动；如果两物体在空中相遇，则只能相遇一次

11．伽利略对自由落体运动的研究：

（1）亚里士多德的观点：重的物体比轻的物体下落快

（2）逻辑推理：设想将轻重不同的物体捆绑在一起，通过逻辑推理，否定了亚里士多德的观点

设想一个物体重为 8，另一个物体重为 4，捆绑在一起后，按两条思路推理：

①整体更重，应该比重为 8 的物体下落得更快

②重为 4 的物体下落慢，对重为 8 的物体起阻碍作用，整体下落比原来重为 8 的物体更慢

两种正确推理，得到相互矛盾的两个结论，说明亚里士多德的观点是错误的，而且轻重不同的物体，只能是下落快慢相同

（3）提出假设：猜想自由落体运动的速度随时间均匀变化

（4）实验验证：用“斜面·铜球”实验，验证了铜球沿斜面运动速度随时间均匀增大，且运动规律与铜球质量无关（注意：*a*．这个实验**不是**通常所说的理想斜面实验；*b*．用斜面做实验只是为了延长运动时间）

（5）合理外推：将斜面的倾斜角逐渐增大到 90°，铜球沿斜面的运动就变成了自由落体运动

（二）相互作用　物体的平衡

1．地球表面的重力加速度：赤道上最小 $g_{赤}=9.780m/s^2$，两极上最大 $g_{极}=9.832m/s^2$

影响地表重力加速度 g 的大小的主要因素：

①地球自转：万有引力的一小部分用来提供物体随地球自转而做圆周运动的向心力

②地球形状：两极稍扁，赤道略鼓，赤道半径略大于极半径

③离地高度：低空→高空 *g* 变小（万有引力变小）

④地层密度：附近地层物质密度影响引力，从而影响 g 的大小。根据 *g* 的微小变化，可用来探矿

2．重力与物体的运动状态（如超重失重）、放置方式（如放在斜面上、放在水中）无关

3．月球半径约为地球的 $\frac{1}{4}$（0.273 倍），月球质量约为地球的 $\frac{1}{81}$，月面重力加速度约为地面的 $\frac{1}{6}$；

月球 $T_{公转}=T_{自转}\approx 27.32$**天，月球自转很慢，对重力影响很小；**

月地距离约为 38 万 ***km*****，约为地球半径的 60 倍，月球因受地球引力的向心加速度约为** $\frac{1}{3600}g$

4．四种基本相互作用：

①万有引力相互作用：有质量的物体之间都有万有引力，重力属于万有引力；大小与介质无关

②电磁相互作用：常说的弹力、张力、摩擦力、分子力、库仑力、电场力、磁场力、洛伦兹力、安培力，等等，都属于电磁相互作用

③强相互作用：一般指核力，发生在原子核内，是一种短程力，也可表现为引力和斥力

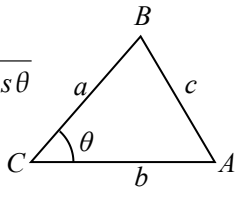
④弱相互作用：发生在电子、夸克、中微子等微粒之间的作用力，中学阶段不要求掌握

5．几组常用的勾股数及其倍数

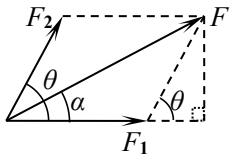
①$3^2+4^2=5^2$，$6^2+8^2=10^2$，$1.5^2+2.0^2=2.5^2$；**②**$5^2+12^2=13^2$；**③**$7^2+24^2=25^2$；**④**$8^2+15^2=17^2$

6．余弦定理与二力合成

①余弦定理：已知三角形两边夹角求对边 $c=\sqrt{a^2+b^2-2ab\cos\theta}$



②二力合成： $F=\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos\theta}$，$\tan\alpha=\frac{F_2\sin\theta}{F_1+F_2\cos\theta}$



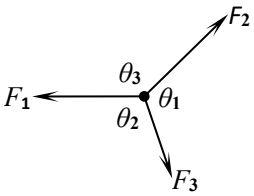
7．确定力的合成总是唯一的，力的分解有无数种（需要条件才能分解）；一个力可以分解为多个力

8．正弦定理与拉密定理

①正弦定理：三角形中，对边与对角正弦之比相等 $\frac{a}{\sin A}=\frac{b}{\sin B}=\frac{c}{\sin C}$

②拉密定理：物体受三共点力作用而平衡，则这三力必共面，且

各力与对角正弦之比相等 $\frac{F_1}{\sin\theta_1}=\frac{F_2}{\sin\theta_2}=\frac{F_3}{\sin\theta_3}$



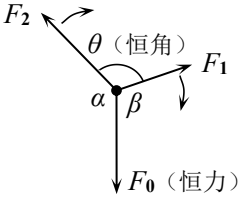
9．几组常用的角度及特殊图形

①30°与 60°：$\sin30°=\cos60°=\frac{1}{2}$，$\cos30°=\sin60°=\frac{\sqrt{3}}{2}$，$\tan30°=\frac{\sqrt{3}}{3}$，$\tan60°=\sqrt{3}$

②37°与 53°：$\sin37°=\cos53°=\frac{3}{5}=0.6$，$\cos37°=\sin53°=\frac{4}{5}=0.8$，$\tan37°=\frac{3}{4}=0.75$，$\tan53°=\frac{4}{3}$

③45°：$\sin45°=\cos45°=\frac{\sqrt{2}}{2}$，$\tan45°=1$

④60°与 120°角的菱形：短对角线等于边长，长对角线等于边长的$\sqrt{3}$倍



10．恒力对恒角动态分析**秒杀技法：对角垂直力最大**

物体受三个共点力作用而平衡，其中一个力 F_0 恒定，另两个力 F_1、F_2 保持夹角恒定一起转动（定角双转），则这两个力（F_1 或 F_2）的变化规律是：所对的角越接近 90°，这个力就越大；越远离 90°，这个力就越小。

11．定杆可产生各种方向的弹力（径向力、横向力、斜向力）；**动杆**只能产生径向力（沿杆方向）

死结三段绳子不一定有对称性；**活结**具有对称性，两边两股绳子中拉力等大，另一个力沿它们角平分线反方向

12．关于物理作图

（1）最基本要求：必须使用工具作图（除非是任意曲线无法使用作图工具）

（2）手工作图四种基本线条：

①粗实线：图形的主体。运笔要有力度，线条要粗，墨色要浓

②细实线：一般作标注线、法线、次要的线，等等。运笔轻，线条细而淡

③虚线：一般作辅助线、被挡线。画线时一段一空连贯而行，线条清晰，不可反复涂抹含糊不清

④**点划线**：一般作转动轴、对称轴、主光轴、中心线。一点一划间隔画线

（3）坐标系建立要完整准确、科学美观

①**完整**：坐标轴上要有箭头号、名称符号、单位符号、刻度线、刻度值，特别注意别漏了原点符号

②**准确**：平面直角坐标系两坐标轴一定要垂直，同一坐标轴上刻度值要与线段长短成正比

③**科学**：坐标刻度要与取值范围协调，作出的图象尽量占据坐标系内较大范围

④**美观**：坐标系不一定要画成十字架形，没有负值就只画正半轴，只要第一象限就只画第一象限

（三）牛顿运动定律

1．关于惯性及其产生的效果

（1）惯性是物体具有的保持原有运动状态（保持原有速度）、反抗运动状态发生变化的性质，是任何物体在任何情况中都具有的属性

（2）惯性的大小，不是看物体速度改变的时间长短，而是看速度改变的难易程度（等力下看加速度大小，加速度越大则运动状态越易改变，惯性越小）

物体的质量，是物体惯性大小的唯一决定因素，惯性大小与物体的速度无关

（3）由于任何物体都具在惯性，由此可得到如下结论：

①速度不突变：速度大小和方向都不突变（要改变速度必须经历一段时间），物体运动中只能平滑转弯（打击碰撞除外），运动轨迹上不会出现尖角（转弯时只能走弧线，不能走折线）

②位置不突变：实物在同一时刻不可能从一个位置突然跳到另一个位置（要发生位移必须经历一段时间）

③弹簧、橡皮筋的长度不突变，因而其弹力不突变（弹簧与橡皮筋的缓冲作用）

2．关于牛顿第二定律

（1）无论平衡还是变速，物体的运动状态都只由所受的外力决定，而与物体的施力、内力无关。

（2）各种矢量规律（如位移公式 $x=vt$、受力平衡条件、牛顿第二定律、动量定理）在任何一个方向上都能够独立成立，处理矢量问题常用正交分解法。

牛顿第二定律的正交分解式：$\begin{cases} F_x=ma_x\ (\Sigma F_x=ma_x) \\ F_y=ma_y\ (\Sigma F_y=ma_y) \end{cases}$

（3）物理中的任何规律（如牛顿第二定律、动能定理、动量定理、机械能守恒定律）对多物体构成的物体系都成立，这是众多物理问题都可用整体法分析的理论依据。整体法解题，是高中物理贯穿始终的三大技巧（整体法解题、图像法解题、比例法解题）之一。

物体系的牛顿第二定律：$\Sigma F=m_1a_1+m_2a_2+m_3a_3+\cdots$（矢量式）

物体系牛顿第二定律的正交分解式：$\begin{cases} \Sigma F_x=m_1a_{1x}+m_2a_{2x}+m_3a_{3x}+\cdots \\ \Sigma F_y=m_1a_{1y}+m_2a_{2y}+m_3a_{3y}+\cdots \end{cases}$

（4）牛顿当初发表牛顿第二定律，其实是现在的动量定理：$F=\dfrac{mv_2-mv_1}{t}$

牛顿第二定律，描述的是加速度 a 与力 F 和质量 m 的比例关系 $F\propto ma$，将比例式变成等式需要加一个比例系数：$F=kma$。注意：比例系数 k 与单位制有关，在同一单位制中才有 $k=1$，因而应用牛顿第二定律 $F=ma$ 处理问题，一定要统一使用国际制单位。

（5）解题中，$F=ma$ 和 $a=\dfrac{F}{m}$ 都可直接作公式使用，没必要相互间变来变去。

3．关于超重与失重

（1）产生条件：是否产生超重与失重现象，只与物体的加速有关，而与物体的速度无关

超重：物体具有向上或斜向上的加速度 $a_{上}$

失重：物体具有向下或斜向下的加速度 $a_{下}$（完全失重：$a_{下}=g$）

（2）本质：超重与失重，并不是物体所受的重力变了，而只是测量出来（或感觉起来）的压力、拉力，或支持力与物体的真实重力不一致了，物体所受的真实重力并未变化。

（3）月球上的物体感觉轻飘飘的，这不是失重现象，而是物体在月球上重力本来就比在地球上小。

（4）引入“视重”概念（在此用 G'表示）处理与超重或失重相关的问题，往往会比较方便（特别要会结合整体法分析）。视重就是测量出来（或感觉起来）物体的重力，实质是竖直方向的压力、支持力或拉力（测力计的示数，实质是物体对测力计在竖直方向的压力或拉力）

超重：$G'=mg+ma_{上}=m(g+a_{上})=G+ma_{上}>G$

失重：$G'=mg-ma_{下}=m(g-a_{下})=G-ma_{下}<G$（完全失重：$G'=0$）

（5）在超重与失重状态下，深度（或高度）为 h 的液体柱产生的压强 $p=\rho(g+a_{上})h$、$p=\rho(g-a_{下})h$

在完全失重状态下，平常所见的一切由于重力而产生的现象都将消失，如：空中的物体不下落、水中的物体不受浮力、单摆停摆、竖直的液体柱不产生压强液体压强计不能使用、天平不能使用…

4．关于连接体问题

（1）分析连接体问题的关键，是如何选取研究对象。

根据对研究对象的选取方法不同，可分为隔离法、整体法、总分法。

隔离法是基础，整体法是技巧，总分法最常用。

（2）很多人及资料书都认为，连接体问题，只有各物体运动状态完全相同物体相对静止时才能用整体法，这是不对的。整体法在任何情况下都正确，这正是整体法的强大生命力，这正是整体法能够成为高中物理最重要的解题技巧的原因。熟练掌握整体法解题，能大幅提高解题的速度和正确度。

（3）连接体间相互作用力的定比模型及**“四个无关”（动力定比模型）**

条件：两物体 m_1、m_2 与接触面间阻力系数相同；外加的总动力及物体之间的力都与运动方向平行

$$F_{相}=\frac{m_1}{m_1+m_2}F \text{ 或 } F_{相}=\frac{m_2}{m_1+m_2}F$$

①与动摩擦因数无关（不论光滑还是粗糙，不论动摩擦因数大小）

②与运动情况无关（不论匀速还是变速运动，不论速度大小及加速度大小）

③与物体之间的连接方式无关（不论接触，还是用绳子或弹簧连接，或者通过引力斥力联系）

④与运动倾角无关（不论沿水平面、斜面运动，还是竖直运动，结论都对）

5．关于单位制

（1）基本量与导出量，基本单位与导出单位

选取七个物理量作为基本量；其他物理量可由基本量推导出来，称为导出量。

基本量的单位叫做基本单位；其他单位可由基本的单位推导出来，称为导出单位。

（2）国际制单位（SI）与非国际制单位

对七个基本量各选取一个单位作为国际通用的单位，并由这七个单位推导出其他导出量的单位，由这些单位共同构成一个单位制，称为国际单位制（SI 制），国际单位制中的单位称为国际制单位。

除了国际单位制，还有众多的其他单位制，常用的如“厘米・克・秒”制。

（3）七个基本量及相应的国际单位制中的七个基本单位：

基本物理量	质量 m	长度 l	时间 t	热力学温度 T	物质的量 n（v）	电流强度 I	发光强度 I（I_v）
基本单位	千克（kg）	米（m）	秒（s）	开（尔文）（K）	摩（尔）（mol）	安（培）（A）	坎（德拉）cd

▲牛顿第二定律的表达式为：$F=kma$，比例系数 k 的大小与单位制有关。

只有在同一单位制中才有 $k=1$，牛顿第二定律表达式才能写成 $F=ma$，应用中统一使用国际单位。

（4）物理公式确定了物理量之间的数量关系，同时也就确定了物理量的单位之间的关系。在处理物理问题时，若所有量都统一使用同一单位制中的单位，为了简便，运算过程中可以省略单位。

在有单位的情况下，关于单位的书写，特别要注意以下两点：

①只有运算过程中才能省单位，而列举物理量及最终得到的每一个结果不能省单位，必须写出单位。

②运算过程中省掉单位，最后结果添出的单位必须加括号（括号起说明作用），否则等式不成立。

（四）曲线运动　万有引力与航天

1．太阳系八大行星从内到外排列顺序：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星
太阳系的八大行星与太阳几乎共面，沿同一方向（从北往南看为逆时针方向）绕太阳公转

2．质量

（1）太阳质量 $M_{日}=1.99\times10^{30}kg\approx2\times10^{30}kg$

（2）地球质量 $M_{地}=5.98\times10^{24}kg\approx6\times10^{24}kg$

（3）月球质量 $M_{月}=7.34\times10^{22}kg$（约为地球质量的 1/81 倍）

（4）只要测得某星球的表面卫星的环绕周期 T，即可求得该星球的平均密度 $\rho=\dfrac{3\pi}{GT^2}$

另一密度计算式（用星球表面的重力加速度）：$G\dfrac{Mm}{R^2}=mg\Rightarrow M=\dfrac{gR^2}{G}\Rightarrow\rho=\dfrac{3g}{4\pi GR}$

3．长度

（1）地球平均半径 $R_{地}=6370km$，赤道周长 $l=40075km\approx4$ 万 km（坐地日行八万里）

（2）月球平均半径 $R_{月}=1737km$（约为地球半径的 1/3.67，通常近似取作 1/4）

（3）日地平均距离 $r_{日地}=1.5\times10^{11}m=1.5$ 亿 km（称为 1 天文单位。太阳光传到地球约需 500s）

（4）地月平均距离 $r_{地月}=3.8\times10^{8}m=38$ 万 km（约为地球半径的 60 倍）

（5）地球同步卫星：轨道半径约 42200km；离地高度约 35800km（一般取作 36000km）

（6）1 天文单位$\approx1.5\times10^{11}m\approx1.5$ 亿 km，1 光年$\approx9.467\times10^{15}m\approx9.5\times10^{12}km$

（7）离太阳系最近的恒星，半人马座南门二丙星（比邻星），离太阳系距离约为 4.22 光年

4．时间

（1）地球自转周期：24h（86400s）；地球绕太阳的公转周期（1 年）：365.24d（400 年 99 闰）

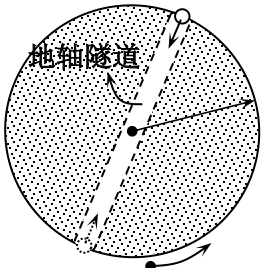
（2）月球自转周期等于月球绕地球的公转周期，约 27.32d；
阴历一个月：约 29.5d（月相变化周期）；阳历一个月：约 30.5d（阳历一年的 1/12）

（3）最内轨道的水星公转周期：约 88d；最外轨道的海王星公转周期：约 185 年；
哈雷彗星回归周期：约 76 年

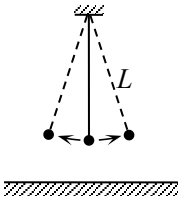
（4）地表卫星绕地球运行周期（地球卫星的最小周期）：约 84.5 分钟（每一昼夜绕地球 17 圈）
多数人造地球卫星（包括我国的载人飞船、空间站）离地高 200～400km，绕行周期约 90 分钟，每一昼夜绕地球约 16 圈

（5）奇妙的 4 个相同周期：$T=2\pi\sqrt{\dfrac{R}{g}}$

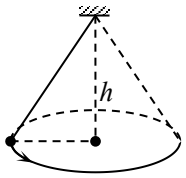
（R 为地球半径，g 为地表重力加速度）
①地表卫星（$r=R$）的运行周期
②物体沿地轴隧道做简谐振动的周期
③以 R 为摆长的单摆做简谐振动的周期
④以地球半径 R 为高的圆锥摆的周期



地表卫星



单摆摆长 $L=R$



圆锥摆高 $h=R$

5．速度

（1）真空中的光速（电磁波速度）：$c\approx3.0\times10^{8}m/s=30$ 万 km/s

（2）地球的第一宇宙速度 $v_{\mathrm{I}}=7.9km/s$；第二宇宙速度 $v_{\mathrm{II}}=11.2km/s$；第三宇宙速度 $v_{\mathrm{III}}=16.7km/s$

（3）月球的第一宇宙速度 $v_{\mathrm{I}}=1.68km/s$（约为地球的 1/5，登月飞船的返回舱可自行从月面起飞）

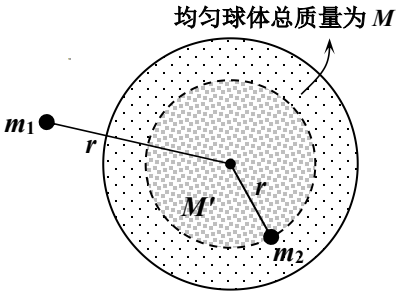
（4）计算天体第一宇宙速度的两种基本方法：$v_1=\sqrt{gR}=\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$；第二宇宙速度 $v_2=\sqrt{2}v_1$

（5）地面赤道上的点因地球自转的线速度：约 0.465km/s（远小于第一宇宙速度，所以飞不起来）；
地表卫星速度（第一宇宙速度）：7.9km/s；同步卫星速度：3.08km/s；月球公转速度：1.02km/s

6．引力与加速度

（1）万有引力常量 $G=6.67\times10^{-11}N\cdot m^2/kg^2$（1798 年，卡文迪许首测）

（2）球体内外引力规律



球外（包括表面）:距离平方反比律 $F=G\frac{Mm_1}{r^2}\propto\frac{1}{r^2}$

球内：距离正比律 $F=G\frac{M'm_2}{r^2}=G\frac{\rho\cdot\frac{4}{3}\pi r^3\cdot m_2}{r^2}\propto r$

（3）月球表面重力加速度 $g_{月}=1.63m/s^2$（约为地球表面 g 的 1/6） 外面的球壳对壳内的物质 m_2 引力为 0

月球绕地球公转的向心加速度 $a_{n月}\approx g/3600$（约为地球表面 g 的 1/3600）

（4）高空中的重力加速度 $g'=\left(\frac{R}{R+h}\right)^2 g$（$R$：星球半径；$h$：离地面高度；$g$：地面重力加速度）

（5）因地球自转，赤道上物体的线速度 $v\approx 465m/s$（远小于地表卫星的第一宇宙速度）；

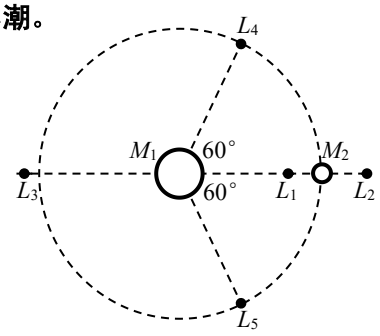
向心加速度 $a_n\approx 3.4\times10^{-2}m/s^2$（约为重力加速度 g 的 3.4‰）（向心力仅为重力或引力的 3.4‰）

7．其他知识

（1）潮汐现象：是地球上的海水受月球和太阳的万有引力作用而引起的周期性的涨落现象。白天涨落称为**潮**，晚上涨落称为**汐**。

人们把吸引海水涨潮的力称为**引潮力**。月球的引潮力起主要作用，约为太阳引潮力的 2.2 倍。

潮汐现象月变化：农历每月初一与十五，地球、月球、太阳共线，月球与太阳产生的引潮力相互加强，使得初一与十五之后的两三天时出现**大潮**；农历每月初八与廿三，月球与太阳产生的引潮力垂直而最大程度地相互削弱，使得初八与廿三之后的两三天出现潮差最小的**小潮**。



（2）洛希极限：源于潮汐力作用效果，指一个大质量天体对一个小质量天体的强大引力能够将小天体撕裂的最大距离。当一颗小行星进入另一颗大行星的洛希极限范围内时，大行星对小行星上物质的引力，大于小行星自身的引力，小行星即被瓦解。

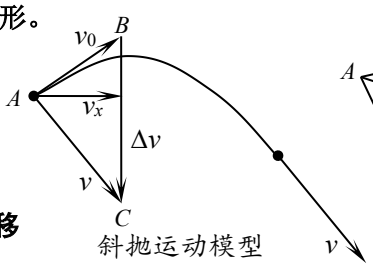
（3）拉格朗日点（平动点）：一个物体处于空间中的某一点，在两个天体的引力作用下，与两个天体基本保持相对静止的点。

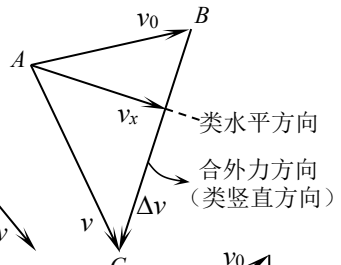
两个天体 M_1 与 M_2 构成的系统，共有五个拉拉格朗日点。

L_4 与两天体、L_5 与两天体分别构成等边三角形。

8．抛物线运动的水平（类水平）射程

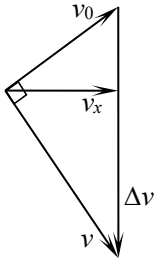
物体受恒力作用而做匀变速曲线运动，运动轨迹为抛物线，作初速度 v_0、末速度 v 及速度变化 Δv 的矢量三角形 ABC。





（1）三角形面积 $S_{\triangle ABC}$ 反映水平（类水平）位移

如图的斜抛运动，运动时间 $t=\frac{\Delta v}{g}$，水平射程 $x=v_x t=v_x\cdot\frac{\Delta v}{g}=\frac{2}{g}\cdot S_{\triangle ABC}$



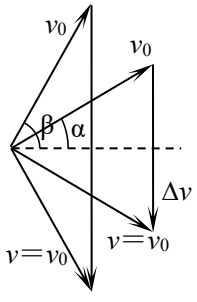
（2）若初、末速度大小确定，当它们方向垂直时三角形面积最大，则水平射程最大。

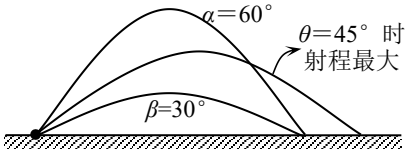
从同一高度处，以**大小确定**的速度 v_0 向不同方向抛出物体，落到**另外**同一水平面上，则落地速度 v 大小确定。当 v 与 v_0 垂直时，水平射程最大。

特例：落地点与抛出点等高时，$v=v_0$

①v 与 v_0 垂直时抛射角为 45°，水平射程最大。

②抛射角 α＋抛射角 β＝90°时，矢量三角形面积 $\frac{1}{2}v_0^{\,2}\sin 2\alpha=\frac{1}{2}v_0^{\,2}\sin 2\beta$，水平射程相等。





（五）机 械 能

1．功和能的单位 eV（电子伏特，电子伏）：1 个电子的电量（即 1 个元电荷）通过 1V 的电压（电

势差），电场力所做的功（或所获得的能量），称为 $1eV$。$1eV=1.6\times10^{-19}J$。

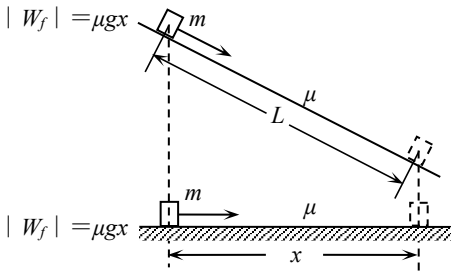
2．一对作用力与反作用力的总冲量一定为零，但总功不一定为零

一对作用力与反作用力中的两个力，可以同时做正功，可以同时做负功，也可以做功一正一负，或者一个做功另一个不做功。

两个物体相对静止时，它们间的一对作用力与反作用力做的总功为零。

滑动摩擦生热 $Q=F_f x_{相}$，静摩擦不生热 $Q=F_f x_{相}=0$（一对静摩擦力的总功为零）

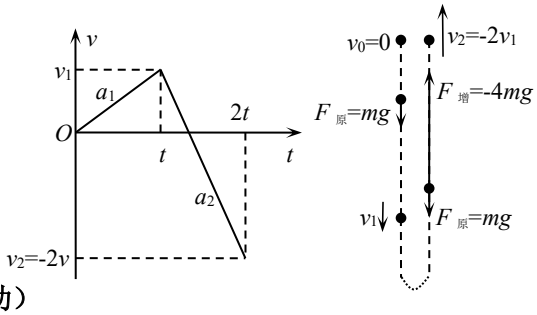
3．斜面上摩擦力做功的水平投影模型



物体沿斜面滑动克服摩擦力做的功，等效为沿斜面的水平投影滑动时克服摩擦力做的功（动摩擦因数相同）。

即：物体沿斜面滑动发生位移 L，L 的水平投影长度为 x，则沿斜面滑动过程中克服摩擦力做的功 $|W_f|=\mu mgx$，与斜面的倾斜角无关。（注意：将斜面变成曲面，结论不成立）

4．等时复位模型：2 倍、3 倍、4 倍



一物体从静止开始，先以加速度 a_1 做匀加速直线运动，经时间 t，加速度变为 a_2（方向反转），再经相同的时间 t，物体回到出发点（如右图像所示），则存在下列关系：

（1）2 倍：速度 $v_2=-2v_1$

（2）3 倍：加速度 $a_2=-3a_1$，合外力 $\Sigma F_2=-3\Sigma F_1$，

（3）3 倍：合外力的功 $W_2=3W_1$（前后两段都是做正功）

（4）4 倍：原力不变，新增加的力 $F_{增}=-4F_{原}$（如：带电粒子先受重力作用从静止开始自由下落，再受向上的电场力作用经相同时间回到出发点，则新增加的电场力 $F_{电}=-4mg$）

5．竖直平面内圆周运动弹力的三个重要倍数：3 倍、5 倍、6 倍

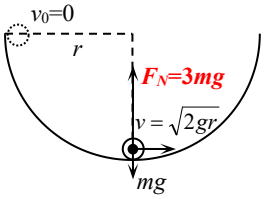
小球（视为质点）在竖直平面内的光滑圆形（圆弧）轨道内运动

（1）3 倍：从与圆心等高处由静止滚下，运动到最低点时 $F_N=3mg$

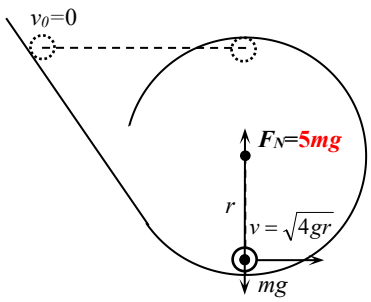
（2）5 倍：从与圆的顶点等高处由静止滚下，运动到最低点时 $F_N=5mg$

（3）6 倍：以速度 $v_0=\sqrt{gr}$ 刚能绕过最高点，运动到最低点时 $F_N=6mg$

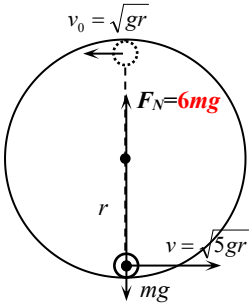
（4）6 倍：以任意速度在圆内转圈，经最低点与最高点时弹力之差 $F_{下}-F_{上}=6mg$



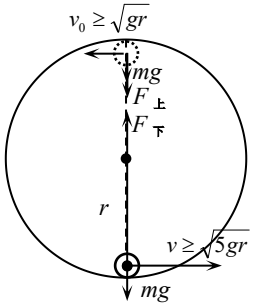
（1）



（2）



（3）



（4）

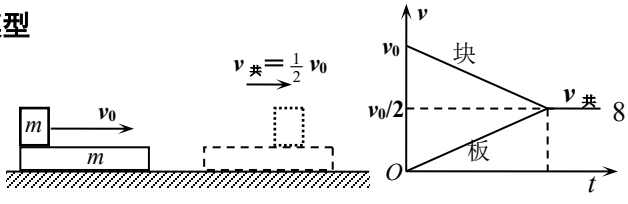
6．功和能的类矢量处理法（标矢法，标量运算矢量化）

虽然功和能是标量，但在正交分解的情况下，可以像矢量一样，沿两个垂直方向分别应用功能关系。（原因：勾股定理）

7．相对运动折半模型

（1）等质量板-块（或子弹打物块）合二为一模型

水平地面光滑，板原来静止，物块以速度 v_0

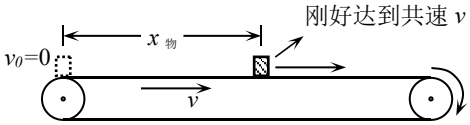


滑上，最终达到共同速度

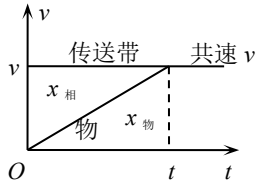
①速度折半：最终达到的共同速度 $v_{共}=\frac{1}{2}v_0$

②能量折半：原有动能 $E_{k0}=\frac{1}{2}mv_0^{\ 2}$ 损失一半（因摩擦生热转化为热能） $\Delta E_k=Q=\frac{1}{4}mv_0^{\ 2}$，剩下一半（剩下的一半动能，两个物体又各占一半），$E_k=\frac{1}{4}mv_0^{\ 2}=E_{k块}+E_{k板}$，$E_{k块}=E_{k板}=\frac{1}{8}mv_0^{\ 2}$

（2）传送带模型



水平传送带以速度 v 匀速传动，质量为 m 的物块由静止放上传送带，物块与传送带之间动摩擦因数为μ。经时间 t，物块与传送带达到共速 v。该过程中，传送带的位移为 $x_{带}$，物块对地的位移为 $x_{物}$，物块对传送带的相对位移为 $x_{相}$。



①位移折半：$x_{物}=x_{相}=\frac{1}{2}x_{带}$，$x_{带}=vt$，$x_{物}=x_{相}=\frac{1}{2}vt$

②能量折半：传送带提供的能量（主动轮需要多做的功），一半用来提供物块的动能，另一半用来摩擦生热。

对传送带多做的功 $W_{总}=\mu mgx=mv^2$，

物块获得的动能 $\Delta E_k=\mu mgx_{物}=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}W_{总}$，摩擦生热 $Q=\mu mgx_{相}=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}W_{总}=\Delta E_k$

8．区分平均功率与瞬时功率

①平均功率：$P=\frac{W}{t}(\text{通用})=\frac{Fx\cos\theta}{t}(\text{恒力做功})$

②瞬时功率：$P=Fv\cos\theta$

9．势能最低原理

原理：一个系统势能最低时，系统最稳定

推论：在解除约束之后，一个系统总有向着势能变小的方向变化的趋势

10．与势能相关的力做功与过程（路径及变化方式）无关，只由初末状态的势能决定（如：重力与重力势能相关，电场力与电势能相关，重力与电场力做功都与路径及变化方式无关）

与势能无关的力做功与过程有关（如：摩擦力做功、牵引力做功，都与具体的运动路径有关）

11．机车（交通工具）运动的四种基本类型（所受阻力 $F_{阻}$视为恒力）

①以恒定牵引力 $F_{牵}$匀加速启动：$F_{牵}$恒定⇒a 恒定⇒v 随 t 均匀增大⇒$P_{实}=vt$ 随 t 均匀增大，当 $P_{实}$ 增大到 $P_{额}$时匀加速过程结束。这种启动方式不能达到机车的允许最大速度。

②以恒定功率 P 启动：$P_{实}=P_{额}=F_{牵}v$ 恒定，v 增大⇒$F_{牵}$减小⇒a 减小，当 $F_{牵}=F_{阻}$后 $a=0$，机车达到其允许的最大速度 v_m 不再加速。$v=\frac{P}{F_{牵}}$

③以最大速度 v_m 匀速运动：$v=v_m$，$P_{实}=P_{额}$，$F_{牵}=F_{阻}$，$v_m=\frac{P}{F_{牵}}=\frac{P_{额}}{F_{阻}}$

④关闭油门后或刹车时匀减速运动：滑行距离正比于初速度 2 次方，即 $v^2-0=2ax\Rightarrow x=\frac{v^2}{2a}$。

注意在所给定的时间内机车是否已经停下。

（六）冲量与动量

1. 力的冲量只与作用时间有关，与受力物体是否运动无关

2. 动能 E_k 与动量大小 p 的关系： $E_k=\frac{p^2}{2m}=\frac{1}{2}pv$，$P=\sqrt{2mE_k}=\frac{2E_k}{v}$

3. 碰撞可能性判断依据

①动量守恒（不论是弹性还是非弹性碰撞，都可认为总动量守恒）

②动能不增（弹性碰撞总动能不变，非弹性碰撞总动能减小，所以总动能不可能增大）

③增减合理（速度或动量的增减，符合力及冲量的作用规律）

④速度大小与方向符合物体的位置分布及运动规律（比如**碰前追得上，碰时穿不透，碰后分得开**）

4. 等质量弹性正碰：速度交换规律（动量、动能都符合交换规律）

质量分别为 m_1、m_2 的两个物体，碰前的速度分别为 v_1、v_2，它们发生弹性正碰，碰后速度分别为 v_1'、v_2'。若 $m_1=m_2$，则 $v_1'=v_2$，$v_2'=v_1$（**速度交换**）

5. 任意质量弹性正碰：相对速度交换规律

质量分别为 m_1、m_2 的两个物体，碰前的速度分别为 v_1、v_2，它们发生弹性正碰，碰后速度分别为 v_1'、v_2'。不论 m_1 与 m_2 大小关系如何，都有 $v_1+v_1'=v_2+v_2'$，即 $v_1-v_2=v_2'-v_1'$（碰前 m_1 对 m_2 的速度＝碰后 m_2 对 m_1 的速度）（**相对速度交换**）

6. 等质量完全非弹性正碰：动碰静折半规律

两物体质量 $m_1=m_2=m$，碰前 m_1 的速度 $v_1=v_0$，m_2 的速度 $v_2=0$，它们发生完全非弹性碰撞。

①速度折半规律：达到的共同速度 $v=\frac{1}{2}v_0$

②能量折半规律：总动能损失一半（$\frac{1}{4}mv_0^{\ 2}$），剩下一半（$\frac{1}{4}mv_0^{\ 2}$）

7. 最好能记住动碰静弹性碰撞结果

碰前：m_1：v_1；m_2：$v_2=0$。碰后：m_1：v_1'；m_2：v_2'。

$$\left.\begin{array}{l}\text{动量守恒：}m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2'\\ \text{动能不变：}\frac{1}{2}m_1v_1^{\ 2}=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2\end{array}\right\}\Rightarrow\begin{cases}v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1\\ v_2'=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1\end{cases}$$

记忆方法：

碰后的两个速度的系数，分母都是两质量之和，分子一个是两质量之差，一个是 m_1 的 2 倍。

由于 m_1 有可能反弹（即 v_1'有可能为负），所以 v_1'的分子是两质量之差；m_2 的速度 v_2'一定与 v_1 同向，所以 v_2'的分子不可能是差值。

（七）机械振动与机械波

1．简谐运动统一的周期公式： $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

k：回复力大小与位移大小的比例系数，$F_{回}=-kx \Rightarrow k=\left|\frac{F_{回}}{x}\right|$

对弹簧振子而言，k 就是弹簧的劲度系数；对单摆而言，$k=\left|\frac{F_{回}}{x}\right|=\frac{mg}{l}$

对于任意简谐振动系统，可以这样求 k：设定一个位移 x，求得此时的回复力 $F_{回}$，则 $k=\left|\frac{F_{回}}{x}\right|$

▲各种简谐运动都具有等时性，振动周期与振幅无关

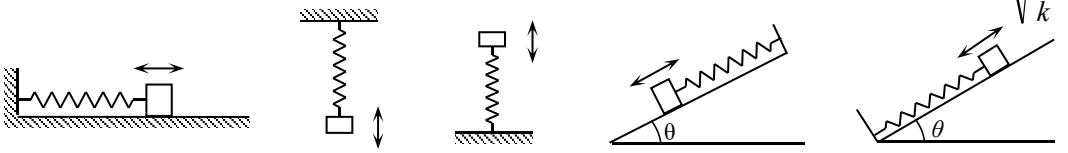
2．简谐运动的回复力：$F_{回}=-kx$

简谐运动的机械能：$E=\frac{1}{2}kA^2$（取平衡位置总势能为零）

3．弹簧振子模型：周期公式$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

（1）振动方向的无关性

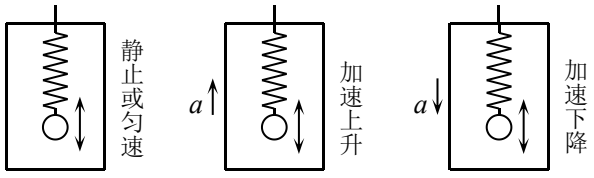
无论振子在水平方向、竖直方向还是在斜面上振动，都为简谐运动，且周期都为$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$；



A　　B　　C　　D　　E

（2）非惯性系统影响的无关性

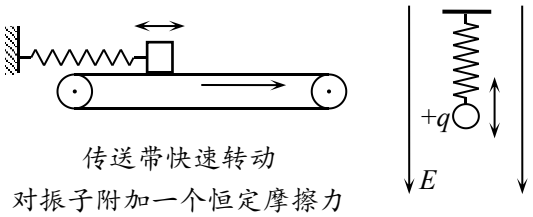
无论系统处在惯性参照系还是非惯性参照系中振动，都为简谐运动，且周期都为$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$。



（3）恒定附加力的无关性

振子受到沿振动所在直线的恒定附加力，在弹性限度内仍做简谐运动，且周期仍为$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$。

▲以上各种情况下，在弹性限度内，振子仍做简谐运动，且周期不受影响，相对于在光滑水平面上振动，只是平衡位置变了。



传送带快速转动

对振子附加一个恒定摩擦力

4．单摆模型：做简谐运动时的周期公式$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$（能被认为做简谐运动的条件：摆角很小）

（1）单摆变换模型周期：等效重力（加速度）求解法$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}$

让摆动物体处于振动的平衡位置，求得等效拉力等于等效重力 G′，等效重力加速度 $g'=\frac{G'}{m}$

（2）非惯性系中单摆周期$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g+a_{上}}}$（超重）或$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g-a_{下}}}$（失重）

5．振动图像与波的图像

（1）如何确定质点振动方向

振动图像：①切线斜率法；②位移变动法；③对照振动过程法

波的图像（或波形图）：①平移法；②带动法（跟随法）

（2）图像随时间的变形

振动图像：沿时间轴延伸（随着时间往后推移，原来已经形成的振动图像不会改变）

波的图像：沿传播方向平移（随着时间往后推移，原来已经形成的波动图像会改变，整体往后平移）

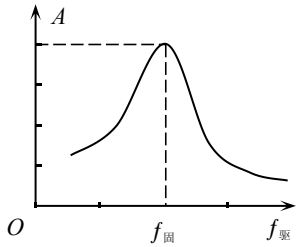
6．自由振动与受迫振动

（1）自由振动：在振动系统固有的一些力（如单摆摆球重力、弹簧振子弹簧弹力）作用下的振动

自由振动的快慢由自身的力和质量决定，称为固有周期（固有频率）（前面的周期公式即为固有周期）

（2）受迫振动：在外加的周期性驱动力作用下的振动

受迫振动的快慢由驱动力的变化快慢决定（$T=T_{驱}$）。介质中形成波时，各质点终究是由波源提供驱动力的，所以波的频率由波源决定，在传播过程中频率不变。



波速由介质种类及疏密决定。机械波的波速与频率无关。

7．波的叠加原理

（1）传播的独立性：各列波能保持各自原有的性质继续传播，好象其他波不存在一样

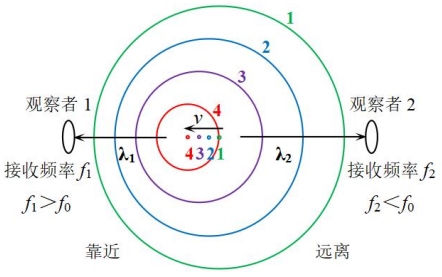
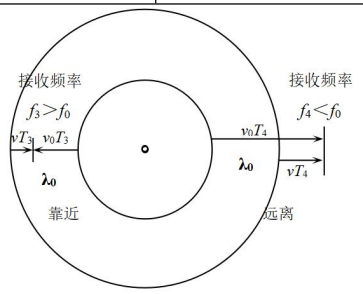
（2）相遇的叠加性：在叠加区域内，质点的振动情况（位移、速度、加速度）由各列波共同决定

8．干涉现象中的空间分布规律

相遇区域内某点振动加强还是减弱，一看两波源振动步调，二看该点到两波源的波程差δ

某质点到两波源的波程差δ	两波源**同相**振动		两波源**反相**振动	
半波长偶数倍$\delta=2n\cdot\frac{\lambda}{2}$（$n$=1、2、3、…）	加强	$A=A_1+A_2$	减弱	$A=\lvert A_1-A_2\rvert$
半波长奇数倍$\delta=(2n-1)\cdot\frac{\lambda}{2}$（$n$=1、2、3、…）	减弱	$A=\lvert A_1-A_2\rvert$	加强	$A=A_1+A_2$

9．多普勒效应接收到的频率变换关系（4 类基本情况）

相对运动情况	（1）观察者不动，波源以速度 v 运动		（2）波源不动，观察者以速度 v 运动	
	①波源靠近观察者	②波源远离观察者	①观察者靠近波源	②观察者远离波源
推导数量关系的原理示意图				
接收频率f与发射频率f_0关系	$f_1=\frac{v_0}{v_0-v}f_0>f_0$	$f_2=\frac{v_0}{v_0+v}f_0<f_0$	$f_3=\frac{v_0+v}{v_0}f_0>f_0$	$f_4=\frac{v_0-v}{v_0}f_0<f_0$
接收频率f变化	靠近　变大	远离　变小	靠近　变大	远离　变小

10．超声波与次声波

频率大于 20000*Hz* 的声波，一般不能引起人的听觉，称为**超声波**

频率小于 20*Hz* 的声波，一般不能引起人的听觉，称为**次声波**

注意：超声波与次声波的波速与普通声波相同

B 超（黑白超声）：利用超声波**反射**形成灰黑图像，显示器官结构是否异常

彩超（彩色多普勒超声）：在 B 超基础上利用血流**多普勒效应**，用颜色显示血流方向和快慢

（八）静 电 场

1．单位

（1）元电荷 e：构成电荷的最小单元，任何物体带电量都是元电荷的整数倍。$1e\approx1.6\times10^{-19}C$。

注意：元电荷是指电荷量的多少（绝对值），是一个数量，不是指一个微粒（元电荷和电子都可用 e 表示，但两者意思不同），一个电子和一个质子所带电荷量都是一个元电荷。

（2）库仑 C：电荷量的国际制单位，$1C=1A\cdot s$。$1C$ 约相当于 6.25×10^{18} 个电子（质子）所带电荷。

（3）电子伏特（电子伏）eV：功和能的单位，指一个电子的电量通过 $1V$ 的电压电场力所做的功（所获得的能量）。

$1eV\approx1.6\times10^{-19}J$。$eV$ 这个单位很小，高能物理中常用 MeV 作单位，$1MeV=10^6eV$

（4）法拉（法）F：电容的国际制单位，$1F=1C/V$。

F 这个单位很大，常用 μF（微法）、nF（纳法）、pF（皮法）作单位

$1F=10^6\mu F=10^9nF=10^{12}pF$

（5）N/C 与 V/m：同为电场强度 E 的国际制单位，其实是同一个单位，即 $1N/C=1V/m$。

由电场强度的定义式 $E=\dfrac{F}{q}$ 得到单位 N/C

由匀强电场中沿电场方向电势升降快慢 $E=\dfrac{U}{d}$ 得到单位 V/m（**电场强度**也叫**电势梯度**）

2．微粒

（1）电子：包括负电子与正电子（$-e$、$+e$），没特别说明时，一般指负电子。

负电子与正电子，电荷量分别为 $-1e$ 和 $+1e$，质量均为 $m_e\approx9.1\times10^{-31}kg$，质量数均为 0（$0.00055u$）

（2）质子 p（${}_1^1p$）（也就是氢核，氕）${}_1^1H$：电荷量为 $+1e$，质量为 $m_p\approx1.6726\times10^{-27}kg$（约为电子质量 1836 倍），质量数为 1（$1.0073u$）

氢的同位素原子核：氘 ${}_1^2H$（1 个质子+1 个中子），氚 ${}_1^3H$（1 个质子+2 个中子）

（3）中子 n（${}_0^1n$）：不带电，质量为 $m_n\approx1.6749\times10^{-27}kg$（中子质量略大于质子质量，约为电子质量 1839 倍），质量数为 1（$1.0087u$）

（4）α 粒子 ${}_2^4He$（也就是氦核）：由 2 个质子和 2 个中子构成，电荷量为 $+2e$，质量为 $m_\alpha\approx6.68\times10^{-27}kg$，质量数为 4（$4.0026u$）。注意：${}_2^3He$ 原子核不是 α 粒子。

3．事件

（1）密立根油滴实验：美国密立根，1909 年将油滴喷入电场中带电平衡，首次测量出电子电量

（2）库仑扭秤实验：法国库仑，①发现电荷间的作用力规律；②首次测量出静电力常量

（3）法拉第圆筒实验：验证导体静电平衡时，内部和内表面没有净余电荷。应用：静电屏蔽

（4）富兰克林风筝实验：证明“天电”（雷电）与“地电”是同样的电荷，发明避雷针

4．起电方式

（1）摩擦起电；（2）感应起电；（3）接触起电；（4）附着起电；（5）光电效应

5．规律

（1）电荷分配规律：两个等大的导体球接触后再分开，总是总电量平均分配

（2）电荷分布规律：导体达到静电平衡后

①净余电荷只分布在导体的外表面，内部和内表面没有净余电荷

②导体表面越是尖锐处电荷分布越密，凹陷部分几乎无电荷分布

（3）电势分布规律：导体达到静电平衡后

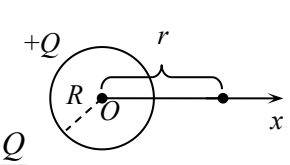
①整个导体是等势体，导体表面是等势面

②在导体外部，越接近导体表面，等势面的形状越与导体表面相似

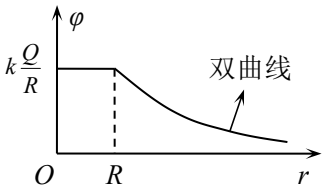
越远离导体表面，等势面越接近于球面

③在电场线越密（即电场强度越大）处，等差等势面分布也越密

④带电导体球达到静电平衡时的电势分布规律：



球内各点等势，电势 $\varphi = k\dfrac{Q}{R}$



球外电势与到球心的距离成反比，电势 $\varphi = k\dfrac{Q}{r}$

（4）电势能正负及大小规律

①正电荷在电势为正处电势能为正，在电势为负处电势能为负

负电荷在电势为正处电势能为负，在电势为负处电势能为正

②正电荷在电势越高处电势能越大，在电势越低处电势能越小

负电荷在电势越高处电势能越小，在电势越低处电势能越大

6．作用力大小公式（库仑力公式与万有引力公式对比）

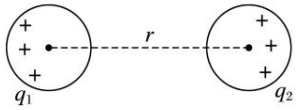
（1）库仑力 $F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$（静电力常量 $k=9.0\times10^9 N\cdot m^2/C^2$，很大）（真空中）

万有引力 $F = G\dfrac{m_1 m_2}{r^2}$（引力常量 $G=6.67\times10^{-11} N\cdot m^2/kg^2$，很小）

（2）相似点：

①库仑力公式适用于点电荷，万有引力公式适用于质点

②都是跟距离的二次方成反比（平方反比律）



同种电荷：$F < k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

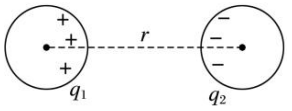
（3）不同点：

①库仑力与周围介质有关，万有引力与周围介质无关

②万有引力公式对于两个均匀球体可直接应用，r 表示两球心间的距离

两个导体球带电，r 表示两球心间的距离，不能直接代入库仑力公式求力

（原因：万有引力不会影响质量分布，而库仑力会影响电荷分布）



异种电荷：$F > k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

7．尖端放电现象的本质：不是尖端上的电荷直接飞出去

（1）导体的尖端处电荷分布密，尖端附近的空间中电场强

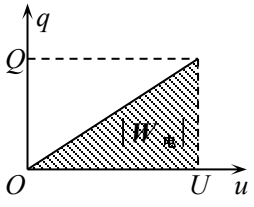
（2）尖端附近的强电场使周围的空气分子电离，产生大量的带正、负电荷的粒子

（3）空气中电离出来的，与尖端相异性的电荷向尖端运动，与尖端上的电荷中和，好像尖端上的电荷放掉了

8．四条重要结论

（1）电容器动态变化：保持带电量 Q 不变，改变极板间距 d，两板间电压 U 正比于间距 d，内部场强 E 不变（$E = \dfrac{U}{d} = \dfrac{Q}{Cd} = \dfrac{Q}{\dfrac{S}{4\pi kd}d} = \dfrac{4\pi kQ}{S}$，与 d 无关）

（2）电容器储能公式：电容器充入电荷 Q 时两极板间电压为 U，则储存的电势能（充电过程中克服电场力做的功，或放电过程中电场力做的功）$E = \dfrac{1}{2}QU$



（3）速度选择器只选粒子的速度（包括速度大小和速度方向），不选粒子的质量、电性、电量

（4）不同的带电粒子从静止开始经过同一电场加速后，再垂直进入同一匀强偏转电场，在偏转电场中的运动轨迹相同

（九）恒 定 电 流

1．电子电路五大元件

（1）电阻（电阻器）R：

①作用：控制电路（如限流、分流、限压、分压）；产生热量（电热元件）

②纯电阻：在电路中工作时，只是其阻值起作用，将电能只转化为热能

③性能参数：电阻值 R（简称为电阻），国际制单位：欧姆（欧）Ω

（2）电容（电容器）C

①作用：容纳电荷（通过反复充放电实现其作用）（电容器内部实际没有电流）

②理想电容器工作时，实现能量的转化（电流能与电场能的转化）与传递，本身并不消耗能量

③性能参数：电容 C，国际制单位：法拉（法）F

（3）电感（线圈）L

①作用：一般用在电流有波动的电路中，通过自感实现对电流变化的**缓冲作用**

②纯电感工作时，实现能量的转化（电流能与磁场能的转化）与传递，本身并不消耗能量

③性能参数：电感（自感系数）L，国际制单位：亨利（亨）H

（4）二极管 D

①基本性质：单向导电性，即正向电阻很小（但不为 0），反向电阻很大（但不为无穷大）

②理想二极管：认为 $R_{正}=0$，$R_{反}\to\infty$。正向导通（等效为短路），反向截止（等效为断路）

（5）三极管 T

在电路中的基本作用：放大作用（将电流的变化信息成比例放大）（现行高考对三极管不作要求）

2．电流强度的微观表达式

（1）公式：$I=nqSv$（n：单位体积内的自由电荷数；q：每个自由电荷的电荷量；S：导体的横截面积；v：自由电荷定向移动形成电流的平均速率）

（2）载流子（定向移动形成电流的带电微粒）：

①金属：自由电子（原子的最外层电子）；　　②电解液：电解质电离出来的正、负离子；

③电离气体：正、负离子及电子；　　④半导体：电子－空穴对

3．恒定电流四定律

（1）电阻定律：$R=\rho\dfrac{l}{S}$（**决定式**）（**适用**：①金属、电解液；②细长导体）

（2）焦耳定律：$Q=I^2Rt$（**适用**：任何导体，包括电源内阻发热）（**热功率**：$P_{热}=I^2R$）

（3）欧姆定律：$I=\dfrac{U}{R}$（**适用**：①外电路，即用电器；②纯电阻）

（4）闭合电路的欧姆定律：$I=\dfrac{E}{R+r}$（**适用**：①全电路，即闭合电路；②外电路为纯电阻）

4．电阻率与导电性能

（1）电阻率大小，是导体与绝缘体的决定因素

纯金属的电阻率一般为 10^{-8}～$10^{-7}\Omega\cdot m$，绝缘体的电阻率一般为 10^{10}～$10^{22}\Omega\cdot m$。

导体与绝缘体的电阻率相差非常大，所以导电性能有着明显差异。

（2）记住几种材料的电阻率大小关系

常见的金属材料中，银（1.6×10^{-8}）铜（1.7×10^{-8}）铝（2.9×10^{-8}）的电阻率相对较小，适合做导电线材（金的电阻率 2.4×10^{-8} 也很小，但因价格昂贵，只在特殊需要时用来导电），铁的电阻率（1.0×10^{-7}）较大，不能随便作导线使用。

（3）超导：有些导体降低到某一很低的温度时，电阻率变为 0 的现象

（4）半导体：导电性能随条件（如电压大小及极性、温度高低、光照强弱等）变化而变化

5．电路检测五仪表

（1）表头：通电线圈处在永磁体两磁极之间，因受安培力而带动指针偏转。内电阻一般为几百殴，灵敏度高，能够检测 μA 级电流。用途：①检测电流有无及方向；②测微小电流；③用来改装其他表。

（2）电流表：由表头并联小电阻改装而成，$R_{并}=\dfrac{1}{n-1}R_g$，$R_{总}=\dfrac{1}{n}R_g$（***n*** 为量程扩大到的倍数）

（3）电压表：由表头串联大电阻改装而成，$R_{串}=(n-1)R_g$，$R_{总}=nR_g$（***n*** 为量程扩大到的倍数）

（4）欧姆表：由表头串联一个电源、一个调零电阻（再加保护电阻）改装而成

四大特点：①任一档位量程都为 **0**～∞；②从右向左反向刻度；③刻度不均匀；④$R_{中}=R_{\Omega}$

（5）多用电表：电流表、电压表、欧姆表等等的组合表，每一种往往又有多个量程或档位

6．线性元件与非线性元件

（1）温度对金属导体电阻（率）的影响

温度升高，金属的电阻率增大。温度变化范围不太大（如只有几十度）时，电阻率变化比较小，一般可忽略；但变化范围很大（如几百几千度）时，电阻率变化就很明显了，甚至可变到十倍以上。

（2）线性元件（定值电阻）：*U*－*I*（*I*－*U*）图像为过原点的直线（对应的函数称为线性函数）。

非线性元件（电阻随条件变化而变化）：*U*－*I*（*I*－*U*）图像为曲线（对应的函数称为非线性函数）。

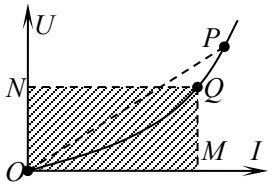
金属导体，在温度变化范围不太大时，电阻可认为不变，为线性元件；温度变化很大时，电阻会有明显变化，为非线性元件。二极管是典型的非线性元件。

（3）金属热电阻：利用金属的电阻率随温度升高而增大的性质来工作，如制成电阻温度计测高温。

热敏电阻：温度发生微小变化时，电阻即发生明显变化，温度升高电阻一般急剧变小。

光敏电阻：光照强度发生变化时，电阻即发生明显变化，光照增强电阻一般急剧变小。

7．*U*－*I* 图像的斜率与面积



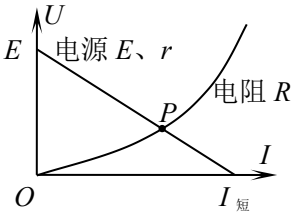
（1）径线斜率（与原点连线斜率）（而不是切线斜率）**表示电阻**

（2）矩形面积（而不是与横轴所夹面积）表示功率（是乘积，而不是累积）

8．电阻的 *U*－*I* 线与电源的 *U*－*I* 线

电阻的 ***U*－*I*** 线（伏安特性曲线），径线（与原点连线）斜率表示阻值

电源的 ***U*－*I*** 线，纵轴截距表示 ***E***，横轴截距表示 $I_{短}$，内阻 $r=\dfrac{E}{I_{短}}=-k$



将电阻接到电源上，两条 ***U*－*I*** 线的交点表示**工作点。**

应用技巧：①非线性元件，通过两条 ***U*－*I*** 线的交点读数得到工作时的参数

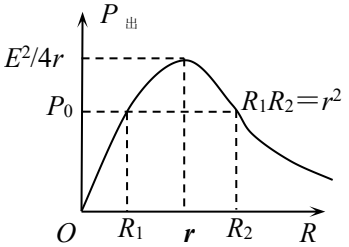
②将包含电源的固定电路作为新电源，用等效电源法分析

9．电源的输出功率

用电动势 ***E***、内电阻 ***r*** 恒定不变的电源给外电阻 ***R*** 供电

（1）最大输出功率：

当 ***R*＝*r*** 时，电源的输出功率最大，最大输出功率 $P_m=\dfrac{E^2}{4r}=\dfrac{E^2}{4R}$



（2）相等输出功率：

若外电阻分别为 R_1、R_2 时电源的输出功率相等，则 $R_1R_2=r^2$

10．等效电源法

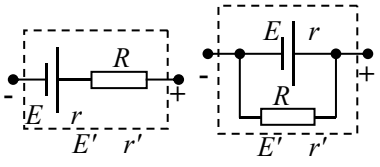
将电源及与电源相连的其他元件一起看成一个电源，这是处理电路问题最重要的**解题技巧。**

一点注意：能够合起来视为一个电源的所有部分，都应该是固定不可变的部分

两种基本类型：

①将串联电阻放入电源：$\boxed{E'=E\ 、\ r'=r+R}$

②将并联电阻放入电源：$\boxed{E'=\dfrac{R}{R+r}E\ 、\ r'=\dfrac{rR}{r+R}}$



（十）磁 场

1．电磁学中的两只手、三条定则、四个名称、一条定律

（1）判定方法解释

①右手螺旋定则（安培定则）：判定电流（通电导体）及运动电荷产生的磁场方向

判定对象：电流磁效应（通电导体或运动电荷产生的磁场方向）

判定方法：右手四指握成螺旋形状（只有这一条定则手是握成空心拳头的，另两条定则手掌是伸平的）。直线电流：拇指指电流，四指指磁场；环形电流：四指指电流，拇指指磁场（内部）

②左手定则：判断磁场对运动电荷、电流的作用力的方向

判定对象：磁场力方向（通电导线受到的安培力，运动电荷受到的洛伦兹力）

判定方法：左手手掌伸平，大拇指与四指垂直，磁感线垂直穿过手心，四指指电流方向（负电荷运动的反方向），拇指指受力方向

③右手定则：判断闭合电路中部分导体切割磁感线产生的感应电流的方向

判定对象：动生型电磁感应

判定方法：右手手掌伸平，大拇指与四指垂直，磁感线垂直穿过手心，拇指指切割磁感线的运动方向（导体相对于磁场的运动方向），四指指感应电流方向

④楞次定律：判断电磁感应中的感应电流方向

判定对象：各种电磁感应现象（动生型，感生型，自感型）都可用楞次定律进行判定。

判定方法：用楞次定律比较麻烦，动生型和自感型一般没必要用楞次定律。动生型用右手定则或“来拒去留”（“相见时难别亦难”）、自感型用“增反减同”比较方便。楞次定律应用中，有可能要两次用到右手螺旋定则。

（2）记忆技巧

①字形记忆法

“左力右电”记忆法：“力”字一勾往左勾，用左手定则；“电”字一勾往右勾，用右手定则

“感”字记忆法：“感”字下面可以看成一个“右”字、一个“心”字

电磁感应，让磁感线穿过右手心进行判定，很好记

（手掌必须伸平，磁感线才能穿过右手心，所以不是右手螺旋定则）



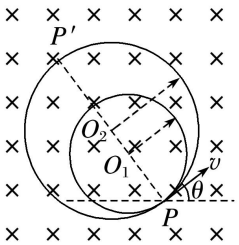
②关联记忆法：环形电流能够产生磁场，安培据此提出分子电流假说来解释磁性起源，判定电流产生磁场的右手螺旋定则也称为安培定则。

2．带电粒子运动的动态轨迹：放缩圆、旋转圆、平移圆

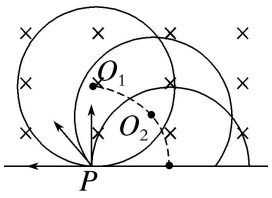
（1）放缩圆：同种带电粒子从磁场中或磁场边界上的同一点，以方向相同、大小不同的速度在磁场中开始运动，做轨道半径不同的匀速圆周运动

（2）旋转圆：同种带电粒子从磁场中或磁场边界上的同一点，以大小相同、方向不同的速度在磁场中开始运动，做轨道半径相同的匀速圆周运动

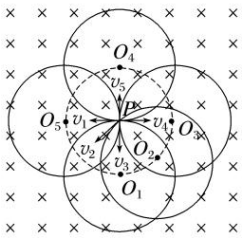
（3）平移圆：同种带电粒子进入磁场的速度大小、方向相同，但入射点在同一直线上的不同位置，它们做匀速圆周运动的轨道半径相同，在磁场中的轨迹向一边平移

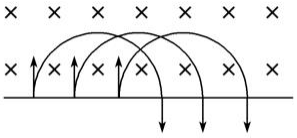


放缩圆



旋转圆





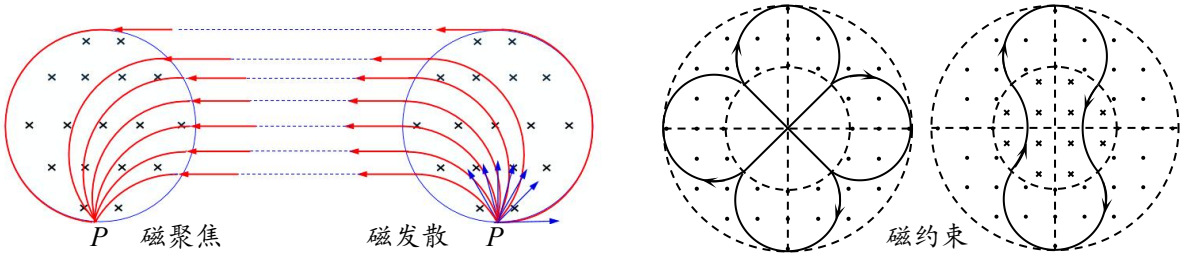
平移圆

3．磁场控制带电粒子的运动：磁聚焦、磁发散、磁约束

（1）磁聚焦：相同的带电粒子，以大小相等方向平行的速度垂直射入圆形匀强磁场，若粒子运动的轨迹圆半径**等于**磁场圆半径，则粒子将汇聚于磁场边界圆上的同一点。**（等大聚焦圆）**

（2）磁发散：相同的带电粒子，以大小相等方向各异的速度，从圆形磁场边界上的同一点垂直射入磁场，若粒子运动的轨迹圆半径**等于**磁场圆半径，则粒子将从磁场边界上的不同点平行射出。**（等大发散圆）**

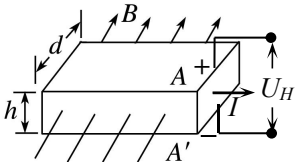
（3）磁约束：利用磁场，将带电粒子约束在空间中某一范围内。带电粒子在磁场中向外运动时，由于受洛伦兹力作用做圆周运动而向磁场区域的中心返回，使带电粒子只在某个特定的空间中运动。



4．霍尔效应

霍尔效应：通电导体置于磁场中，导体表面出现正负电荷产生电压的现象

霍尔电压：A、A′间的电压 $U_H=\dfrac{BI}{naq}=k\dfrac{BI}{d}$，$k=\dfrac{1}{nq}$ 称为**霍尔系数**



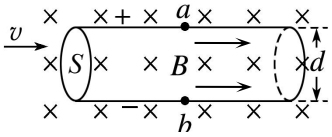
5．需要熟知的磁电设备

（1）示波管（电偏转）：用匀强电场使带电粒子偏转，偏转角度小于 90°（精确偏转一般用电场）

（2）显像管（磁偏转）：用磁场使带电粒子偏转，可以偏转任意角度（大角度偏转一般用磁场）

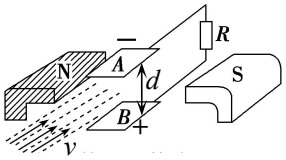
（3）电流天平：根据安培力大小测电流大小

（4）电磁流量计：根据侧壁电压测流量（单位时间内流过的体积 V_0）



$U_{ab}=Bdv\Rightarrow v=\dfrac{U_{ab}}{Bd}\Rightarrow V_0=vS=\dfrac{U_{ab}S}{Bd}$（$S$ 为管道横截面积）

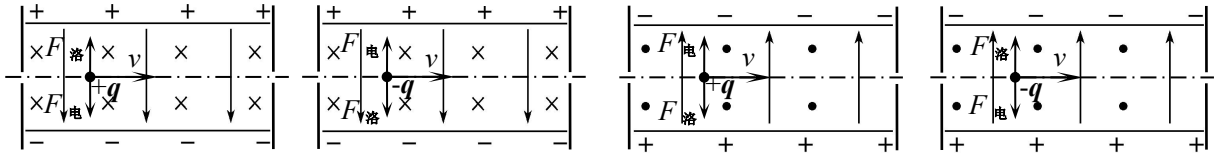
（5）磁流体发电机（等粒子体发电机）：正负带电粒子受洛伦兹力偏转到 A、B 两极板产生感应电动势 $E=Bdv$



（6）速度选择器

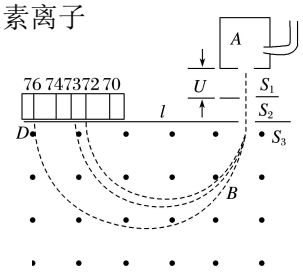
①电场方向、磁场方向、粒子速度方向，必须按特定组合，才能选出粒子

②在电场、磁场方向确定的情况下，只选速度（包括速度大小和方向），不选质量、不选电性电量



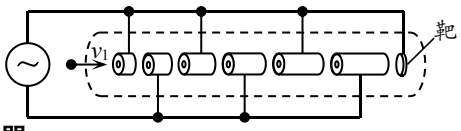
（7）质谱仪：主要用来检测、分离电荷量相等而质量存在微小差别的同位素离子

从静止加速后经同一偏转磁场运行半圈：$r=\dfrac{1}{B}\sqrt{\dfrac{2mU}{q}}$，$m=\dfrac{qr^2B^2}{2U}$

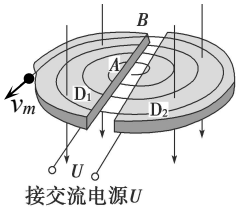


经速度选择器选出的等速粒子再经同一偏转磁场运行半圈：$r=\dfrac{mv}{qB}\propto m$

（8）直线加速度器



（9）回旋加速度器：



①两 D 形盒加交变电压，其变化周期等于带电粒子在磁场中的回旋周期（与速度无关）$T=\dfrac{2\pi m}{qB}$

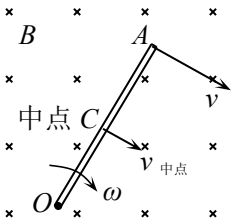
②粒子被加速后的终极速度 $v_m=\dfrac{qBR}{m}$，终极动能 $E_{km}=\dfrac{(qBR)^2}{2m}$，与加速电压大小无关

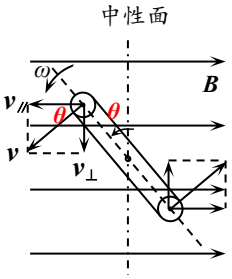
（十一）电磁感应

1．大小问题

▲通用型：法拉第电磁感应定律 $\overline{E}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{\Phi_2-\Phi_1}{\Delta t}$ **（磁通量的变化率）**

(1)动生型： $E=BLv$，$\overline{E}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{B\cdot\Delta S}{\Delta t}$





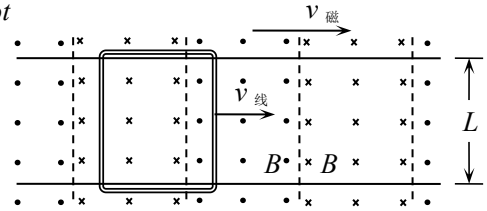
①平动型： $E=BLv$

②转动型：

直杆转动型 $E=BL\overline{v}=BLv_{中点}=\frac{1}{2}BLv=\frac{1}{2}BL^2\omega$

线圈转动型 $E=2nBl_1v_\perp=2nBl_1v\sin\theta=nBS\omega\sin\omega t=E_m\sin\omega t$

③相对切割型： 如右图 $E=2BLv_{相对}=2BL(v_{磁}-v_{线})$



(2)感生型： $\overline{E}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{\Delta B\cdot S}{\Delta t}$

$E=nkS$（k 为磁感应强度 B 的变化率）

(3)自感型： $\overline{E}=L\frac{\Delta I}{\Delta t}$

(4)复合型：（动生感生复合型） $\overline{E}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{\Phi_2-\Phi_1}{\Delta t}=n\frac{B_2S_2-B_1S_1}{\Delta t}\neq n\frac{\Delta B\cdot\Delta S}{\Delta t}$

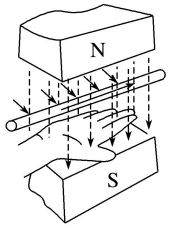
▲既有导体切割磁感线，又有磁场变化，求瞬时感应电动势，也可分两步：

①假设磁场不变，只考虑切割磁感线，求得感应电动势 E_1

②假设不切割磁感线，只考虑磁场变化，求得感应电动势 E_2

则瞬时感应电动势 $E=E_1+E_2$

2．方向问题



▲通用方法：楞次定律（感应电流产生的磁场，阻碍原磁通量的变化）

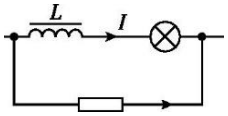
（1）动生型：楞次定律、右手定则、“来拒去留”（阻碍相对运动，使速度趋同）

（2）感生型：楞次定律、“增反减同”（阻碍原磁通量的变化）

（3）自感型：楞次定律、“增反减同”（阻碍原电流的变化）（自感线圈通过这种阻碍作用，对其中的电流的变化起缓冲作用，使电流不突变，类似于弹簧的效果）

3．两种电路的通、断电自感

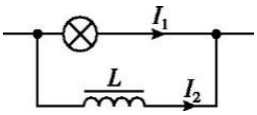
（1）小灯泡与自感线圈 *L* 串联



通电自感：灯泡慢慢变亮，直至正常发光

断电自感：灯泡不会闪亮，逐渐熄灭，断电后灯泡中的电流不反向

（2）小灯泡与自感线圈 *L* 并联



通电自感：灯泡立即点亮正常发光

断电自感：若原来 $I_2>I_1$：灯泡闪亮后再熄灭，断电后灯泡中的电流反向

若原来 $I_2<I_1$：灯泡不闪亮逐渐熄灭，断电后灯泡中的电流反向

在断电自感中，小灯泡是否会出现闪亮一下的现象，取决于断电前、后通过小灯泡的电流大小。为观察到闪亮一下的现象，与小灯泡并联的支路中应接有大电感 L、小电阻 R_L 的自感线圈。

4．电量问题

$$q=\bar{I}\cdot t=\frac{BL\overline{v}}{R}t=\frac{BLx}{R}=\frac{B\cdot\Delta S}{R}=\frac{\Delta\Phi}{R}$$（R 为电路的总电阻）

通过电路的磁通量无论以何种方式变化 $\Delta\Phi$，**感应电量**均为 $q=\frac{\Delta\Phi}{R}$（若为 n 匝线圈：$q=n\frac{\Delta\Phi}{R}$）

$q=\bar{I}\cdot t=\frac{BL\overline{v}}{R}t=\frac{BL}{R}x$，这样容易找到**感应电量**与**位移**的关系

5．安培力的冲量

在安培力作用下导体棒一般做变加速运动，根据安培力的冲量，利用动量定理容易找到速度变化与感应电荷量及位移、时间等关系

（1）安培力的冲量 $I_{冲}=\overline{F}_{安}\cdot\Delta t=\bar{I}LB\cdot\Delta t=qLB=m\cdot\Delta v$

这样容易找到**感应电量**与**速度变化**的关系 $q=\dfrac{m\cdot\Delta v}{BL}=\dfrac{m(v_2-v_1)}{BL}$

（2）安培力的冲量 $I_{冲}=\overline{F}_{安}\cdot\Delta t=\bar{I}LB\cdot\Delta t=\dfrac{BL\bar{v}}{R}LB\cdot\Delta t=\dfrac{B^2L^2}{R}x=m\cdot\Delta v$

这样容易找到**位移**与**速度变化**的关系

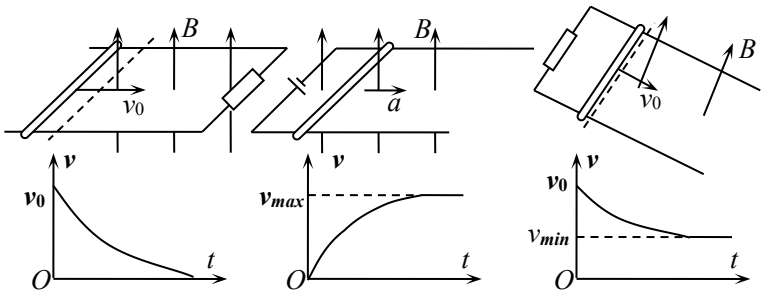
6．滑杆的终极状态

滑轨与滑杆类电磁感应类型非常多，可能的终极状态种类也非常多。下面列举几种作为引导：

（1）单杆类终极状态

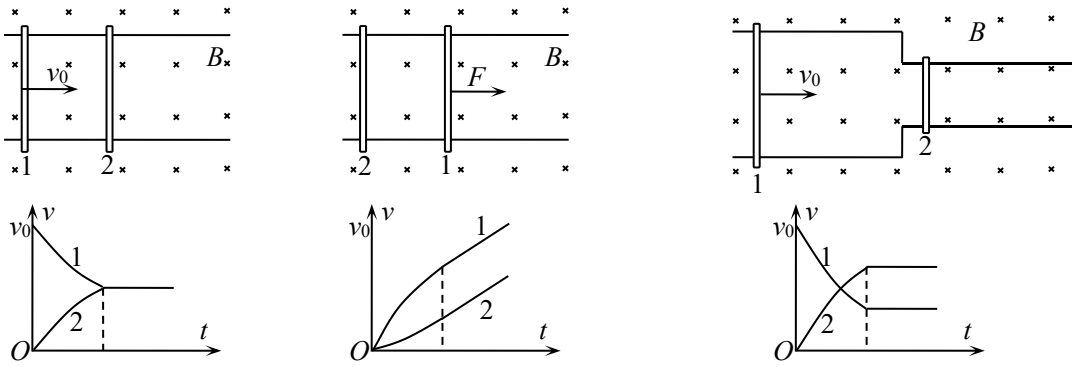
①最终静止：$v=0$

②最终匀速：$v=v_{max}$，或 $v=v_{min}$



（2）双杆类终极状态

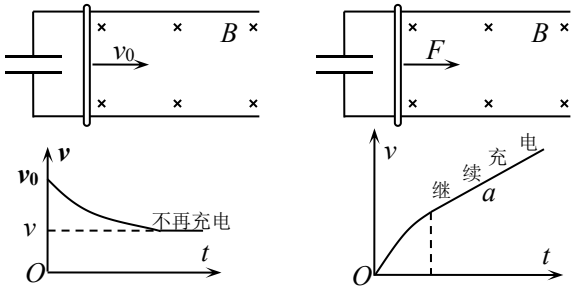
①等距双杆，最终共速　**②等距双杆，最终共加速**　**③不等距双杆，最终匀速，速度不等**



（3）单杆电容类终极状态

①最终匀速： $Blv=U_C=\dfrac{Q}{C}$

②最终匀加速： $a=\dfrac{F}{m+CB^2L^2}$



（十二）交变电流　传感器　电磁波

1．交变电流

（1）最大电动势：$E_m=nBS\omega$。两个无关：①与线圈形状无关；②与转轴位置无关

（2）我国电网中的交流电（市电），周期 $T=0.02s$，频率 $f=50Hz$，电流方向每秒改变 100 次

我国照明电路电压有效值 $220V$（最大值约 $311V$），动力电路电压有效值 $380V$（最大值约 $537V$）

（3）最大值（峰值）与有效值

①正弦交流电，最大值才等于有效值的 $\sqrt{2}$ 倍；

②半波有效值：为全波的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 倍

正半周与负半周变化规律相同的交流电，半波交流电的有效值，为全波有效值的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 倍

③分段有效值：为各段有效值的方均根平均值

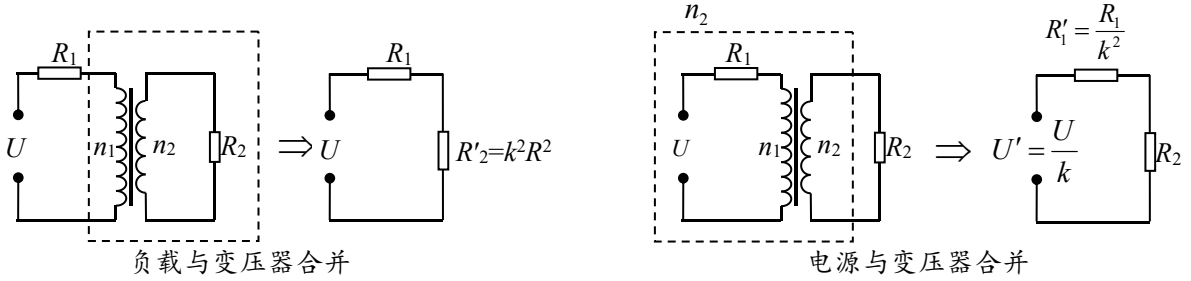
若交流电的每个周期等分为 n 段，各段时间内的有效值依次为 I_1、I_2、…、I_n，则总的有效值 $I=\sqrt{\frac{I_1^2+I_2^2+\cdots I_n^2}{n}}$（方均根平均值）（电压、电动势类似）

2．变压器

（1）理想变压器 14 字口诀：变压变流不变频，变阻变相不变能。指对正弦交流电进行变压时，不改变频率，改变等效电阻，改变相位（原、副线圈中的交流电存在 1/4 周期的相位差）

（2）变压器**高压线圈匝数多，电流小，导线细；低压线圈匝数少，电流大，导线粗。**

（3）变压器的等效变换：理想变压器原、副线圈匝数比 $\frac{n_1}{n_2}=k$，两边电路中电阻分别为 R_1、R_2



①负载与变压器合并（等效电阻法）：负载 R_2 的等效阻值 $R_2'=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2R_2=k^2R_2$

②电源与变压器合并（等效电源法）：等效电压 $U'=\frac{U}{k}$，电阻 R_1 的等效阻值 $R_1'=\frac{R_1}{k^2}$

（4）远距离输电，线路功率损耗与输送电压为**平方反比**关系

3．电磁振荡与电磁波

（1）LC 振荡电路：电磁振荡的周期 $T=2\pi\sqrt{LC}$；频率 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$。

电场能、磁场能变化周期 $T'=\frac{T}{2}=\pi\sqrt{LC}$

（2）LC 电磁振荡过程中的电量、电流、能量变化规律

①电容器开始放电时：电容器带电量最多，电场能最大；放电电流为 0，线圈中的磁场能为 0

②电容器放电完毕时：电容器中电场能为 0；放电电流最大，线圈中的磁场能最大

注意：开始放电时，电容器带电最多，电压最高，但电流反而是 0！原因：线圈因自感阻碍了电流增大。而放电完毕，电容器带电为 0，电压为 0，但电流反而最大。

（3）LC 电磁振荡过程中的能量转化

①电容器放电过程中，带电量减少，电流增大，电场能转化为磁场能

②电容器充电过程中，带电量增多，电流减小，磁场能转化为电场能

若不考虑电路中的能量损失及电磁波发射，则电容器中的电场能加线圈中的磁场能总能量守恒

（4）电磁波与机械波的三大区别

①电磁波的传播不需要介质，机械波的传播需要介质（特别注意声波不能在真空中传播）

②电磁波是横波，机械波有横波、纵波和其他类型的波

③同一种介质中，电磁波的速度与频率有关，机械波的速度与频率无关

（5）波的频率由波源决定，**波在传播过程中频率总是不变的**（波长随波速的变化而变化）

（6）区分调制与调谐：

调制：把低频**信号**加载到高频**载波**上去的过程（接收装置中，将信号从载波上取下来，叫**解调**）

调谐：从众多的无线电信号中选出所需要的信号的过程，通常叫做**选台**

（7）麦克斯韦：建立电磁场理论，预言电磁波存在，指出光是电磁波，为光的电磁理论奠定了基础

赫兹：用实验证实了电磁波的存在并测定了电磁波的传播速度等于光速

（8）电磁波谱：

①排列顺序：频率从低到高（波长从大到小）的排列顺序：

无线电波、光波（红外线、可见光、紫外线）、伦琴射线（*X*射线）、γ射线

可见光不同色光排列顺序：红橙黄绿青蓝紫（或：红橙黄绿靛蓝紫）

说明：不同种类的电磁波，其实不是按频率（波长）来命名的，按频率（波长），不同种类的电磁波有重叠现象；不同种类的电磁波，其实是按产生机理来命名的

②产生机理：

无线电波——电路中的电磁振荡

光波——原子外层电子受激发后向低能级跃迁

伦琴射线（*X*射线）——原子内层电子受激发后向低能级跃迁

γ射线——原子核反应

③性质和作用：

无线电波——波长大，易衍射，用于无线电通讯

红外线——热效应，红外线加热；衍射明显，红外遥感遥控

可见光——引起视觉，用于观察；化学作用，用于照相感光；光纤通讯（激光）

紫外线——光子能量大，用于杀菌消毒；使荧光物质发光，可用于防伪

*X*射线——穿透能力强，用于透视、检测工件内部、安检

γ射线——光子能量很大，穿透能力很强，可用于放疗（杀癌细胞），探测金属内部

4．传感器：了解一些常用的传感器种类、敏感元件、工作原理、应用

（1）温度（热）传感器

①热敏电阻：负温度系数热敏电阻：温度升高电阻变小（热敏温度计）

正温度系数热敏电阻：温度升高电阻变大

②金属热电阻：温度升高电阻变大（金属温度计，不敏感，可用于测高温）

③感温铁氧体：居里点约 103℃（电饭锅）

④双金属片：利用两种金属热胀冷缩程度不同控制电路通断（电熨斗）

（2）力传感器

①电阻应变片：压力使应变片的长度和横截面积发生变化从而改变电阻（电子秤）

②压敏电阻：

（3）声传感器：声控开关

（4）光传感器：光敏电阻（光控开关、光电计数器、火灾报警器）

（5）磁传感器

①干簧管：簧片磁化相吸控制电路通断（如：门窗磁控防盗报警器）

②霍尔元件：利用洛伦兹力使载流子偏转，异性电荷集中在两侧面，产生霍尔电压

（6）电容传感器：电容式位移传感器（如水位控制器）、电容式话筒

（十三）光的传播与光的波动性

1．光在**同一种均匀**介质中沿**直线匀速**传播。

真空中的光速 $c=3.0\times10^8 m/s$，即每秒 30 万 km。

按现代理论，真空中的光速为**极限最大速度（只可达到，不可超越）**。（与此类似，绝对 0 度即 $0K$ 为低温极限，只可接近，不可达到。）

日地距离约 1.5 亿 km（称为 1 天文单位，$1AU$），太阳光传到地球约需 500s（8.3 分钟）；

月地距离约 38 万 km，月亮光传到地球约需 $1.3s$。

2．紧靠点光源向对面竖直墙平抛的物体，在对面墙上的影子**匀速下落**

3．日食、月食现象是光的直线传播产生的天文现象。

（1）日食：发生在阴历的朔日（农历初一），月球处在地球和太阳中间。日食有偏食、全食和环食。全食和环食的条件极为苛刻，三颗星球几乎要严格共线，在地面上很难观察到。

（2）月食：发生在阴历的望日（农历小月的十五，或大月的十六），地球处在月球和太阳的中间。月食有偏食、全食和半影月食。由于地球身后的影区拉得很长，而且范围很大，所以月食现象经常发生，甚至在一年内地面上的同一位置可观察到两三次，而且每一次持续的时间很长（可达三个多小时。2025 年 3 月 14 日的月全食可持续 3 小时 38 分钟）。

4．平面镜反射成等大、正立（上下不倒转）的虚像，物像关于镜面对称。

特别易错点：平面镜成像，左右也不反转！

在平面镜中看到物体的像是反的（专业上称为**“镜像”**），不是成像左右反转了（左边物体成的像还是在左边），而是要在镜子中观察物体的像，先要**把物体反过来**。

5．一光线经**正交**的两平面镜各反射一次后**平行返回**

6．记住几种折射率（空气一般按真空处理）

①人们规定真空折射率 $n_{真空}=1$；空气折射率 $n_{空气}=1.00028$，与 $n_{真空}$非常接近，一般按真空处理

②$n_{水}\approx\dfrac{4}{3}$，水对真空的全反向临界角 $C_{水}\approx48.8°\approx49°$

③玻璃的折射率不是定值，与玻璃的种类及成分有关

普通玻璃 $n_{玻}\approx1.5$，对真空的全反向临界角约 $C_{玻}\approx42°$，所以全反射棱镜截面为等腰 $Rt\triangle$

光学玻璃折射率一般为 1.6～1.8

④在所有已知材料中，**钻石的折射率最大**，$n_{钻}\approx2.42$（对钠黄光），光在加工好的钻石中易发生全反射，所以看起来光彩夺目

7．光的折射与全反射问题中，若出现 $\sqrt{7}$，则折射率往往为 $n=\dfrac{4}{3}$（因 $\sqrt{4^2-3^2}=\sqrt{7}$）

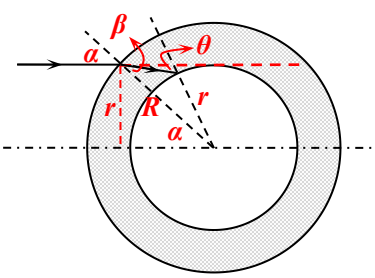
8．光线由真空射入折射率为 n 的介质时，若入射角 θ 满足 $\tan\theta=n$，则**反射光线与折射光线垂直**

9．**垂直视深公式**：①$d'=\dfrac{d}{n}$，$d'=nd$；②$d'=\dfrac{n_1d}{n_2}$；③$d'=\dfrac{d}{n_1}+\dfrac{d}{n_2}$

10．由空中看水中物体，**视深** $d'=d/n$；由水中看空中物体，**视高** $d'=nd$

11．**重要的二级结论：空心球壳全反射规律**

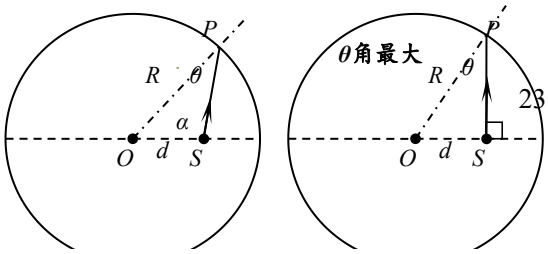
光线从空心球壳之外沿内表面的切线方向射入，则刚好在内表面上发生全反射，而与内外半径的大小及介质折射率无关。



12．**重要的二级结论：球内光线最大入射角规律**

球内过定点光线，垂直于半径时投射球面，入射角最大

若是从光密介质射向光疏介质，则最易发生全反射。



13．光线穿过平行板玻璃砖的两平行表面，结果是**平行侧移**，**侧移距离** $d=\dfrac{h\sin i(1-\cos i)}{\sqrt{n^2-\sin^2 i}}$

14．大气光现象

（1）虹与霓

①虹：太阳光照射到空气中小水珠的上半部分，经折射→反射→折射，不同色光发生色散后传到眼睛中，眼睛感觉在天空背景上出现的彩色光带

②霓：太阳光照射到空气中小水珠的下半部分，经折射→反射→反射→折射，不同色光发生色散后传到眼睛中，眼睛感觉在天空背景上出现的弧形彩色光带

一般情况下只能看到虹（大多发生在雨后的早晨和傍晚），但在特殊天气条件和观察视角下，可同时观察到虹和霓。虹和霓中颜色的排列顺序是相反的。由于形成霓时光线在水珠内多反射了一次，而在反射时有折射损失，所以霓看起来亮度暗、颜色淡（所以难以观察到）。

（2）海市蜃楼

①海面上的海市蜃楼：上方空气稀疏，光线向上传播时逐渐折射直至向下全反射，在高空中形成正立的虚像。

②沙漠中的海市蜃楼：下方空气稀疏，光线向下传播时逐渐折射直至向上全反射，在地面下形成倒立的虚像。

（3）“蒙气差”

①由于大气对太阳光的折射，使得地面上日出时刻提前，日落时刻延后，使得白天总体长于黑夜

②由于地球大气对星光的折射，使得从地面上看到的星体位置比实际位置高

15．光的颜色，是人眼对光的频率的一种感觉；物体的颜色，决定于从物体上传入人眼的光的频率

不同颜色可见光的排列顺序：**红橙黄绿蓝靛紫**（或：**红橙黄绿青蓝紫**），$\lambda_{红}>\lambda_{紫}$，$f_{红}<f_{紫}$

可见光的**波长范围**：7.6×10^{-7}～$4.0\times10^{-7}m$（760～400nm），**频率范围**：3.9×10^{14}～$7.5\times10^{14}Hz$

可见光（白光、太阳光）包含**无数种颜色**，一般按颜色相近分为以上七类，不能认为只有七种

16．同一种介质，对频率越大的光，折射率越大，其中的光速越小，越容易发生全反射

17．一般物体中的原子振动发光具有随机性，发出的光往往包含众多频率，两个普通光源发出的光很难成为相干光。

做光的干涉实验、观察光的干涉现象，基本的操作方法，都是采取“分光束”的方法，即：首先得到一细束光，然后将这一细束光分为两束，再让这两束光相遇而产生干涉

如果用激光做干涉实验，因为激光单色性好（也就是相干性好），所以不需要从中取出一细束光

18．增透膜的最小厚度，为光在**膜中**波长的$\dfrac{1}{4}$，即 $d_{min}=\dfrac{\lambda}{4}$（$d=\dfrac{\lambda}{4}+k\cdot\dfrac{\lambda}{2}$，k 为非负整数）

增反膜的最小厚度，为光在**膜中**波长的$\dfrac{1}{2}$，即 $d_{min}=\dfrac{\lambda}{2}$（$d=\dfrac{\lambda}{2}+k\cdot\dfrac{\lambda}{2}$，k 为非负整数）

19．双缝干涉：**条纹间隔公式** $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$，**光波波长公式** $\lambda=\dfrac{d}{L}\Delta x$

20．科学观测发现宇宙中的恒星发光存在“红移”现象（接收到的频率变小），这是**光的多普勒效应**，为宇宙大爆炸理论提供了事实依据

（十四）热 学

1．尺度

①分子（原子）直径数量级：$10^{-10}m$（原子核直径数量级：$10^{-15}m$）

②固体、液体分子间距数量级：$10^{-10}m$（忽略分子间的空隙，认为分子是紧挨着排列的）

气体分子间距数量级：$10^{-9}m$（若气体特别稀薄，数量级可能更大）

（气体分子间距为分子直径的 10 倍以上，由固体液体变成气体，体积一般要扩大 1000 倍以上）

③分子（原子）体积数量级：$10^{-30}m^3$～$10^{-28}m^3$（极少数有机高分子体积可能更大）

2．质量

①原子质量单位 u（C-12 原子核质量的 1/12）：$1u\approx1.66054\times10^{-27}kg$

②质子（氢核）质量：$m_p\approx1.007277u\approx1.6726\times10^{-27}kg$（**质量数为 1**）

中子质量：$m_n\approx1.008665u\approx1.6749\times10^{-27}kg$（**质量数为 1**）（**中子质量略大于质子质量**）

电子质量：$m_e\approx0.0005487u\approx9.1094\times10^{-31}kg$（**质量数为 0**）

3．气体摩尔体积：标准状态（$1atm$，0℃）下，$1mol$ 任何气体的体积都约为 $22.4L$

4．密度（标准状态下）（必须记住空气密度和水银密度）

①$\rho_{氢气}\approx0.09kg/m^3$，$\rho_{氧气}\approx1.43kg/m^3$，$\rho_{空气}\approx1.29kg/m^3$，$\rho_{水蒸气}\approx0.8kg/m^3$（即 $\frac{18g/mol}{22.4L/mol}$）

②$\rho_{水}\approx1.00\times10^3kg/m^3$，$\rho_{汞}\approx13.6\times10^3kg/m^3$

5．压强（会用液体柱产生的压强 $p=\rho gh$ 进行压强计算和单位换算）

①$1atm\approx76cmHg\approx760mmHg\approx1.013\times10^5Pa\approx10.337m$ 水柱

（记住：1 大气压约相当于 $10m$ 高的水柱产生的压强，若将大气层液化成水样液体，厚度约 $10m$）

②$1mmHg\approx133Pa$；地表附近每上升 $10m$，大气压强约减小 $1mmHg$（$\rho_{汞}$ 约为地表 $\rho_{空气}$ 1 万倍）

6．速率

①常温下，空气分子热运动速率以 300～500m/s 范围占比比较大，但低于 100m/s 高于 1000m/s 的分子也有

②地球第一宇宙速度约为 7.9km/s，地球大气分子速率一般达不到这个数值，所以不能脱离地球，地球不存在大气蒸发，地球大气层能够保存下来

月球第一宇宙速度约为 1.68km/s，月面白天温度可达 130℃左右，如果月球存在大气层，分子最大速率也很容易达到第一宇宙速度，因而易脱离月球，这种现象称为**大气蒸发**。所以，即使月球上产生了气体，也会因为**大气蒸发**而扩散到太空中去，月球上几乎为真空

7．常数常量　高中物理中四个大小为 6 点多的常数常量

①万有引力常量：$G\approx6.67\times10^{-11}N\cdot m^2/kg^2$

②阿伏加德罗常数：$N_A\approx6.02\times10^{23}mol^{-1}$（每 $1mol$ 物质所含微粒个数）

③α粒子（${}_2^4He$ 核）质量：$m_\alpha\approx6.64\times10^{-27}kg$（约 $4.001506u$）

④普朗克常量：$h\approx6.63\times10^{-34}J\cdot s$

8．克拉珀龙方程与道尔顿分压原理

①克拉珀龙方程：$pV=nRT=\frac{m}{M}RT$（主要用来分析气体变质量问题）

n：气体的摩尔数；R：普适气体常量，$R\approx8.31J/(mol\cdot K)\approx0.082atm\cdot L/(mol\cdot K)$

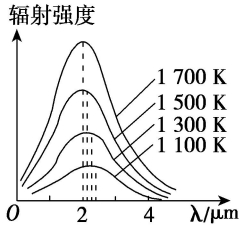
②道尔顿分压原理：混合气体（可以是同种气体）的压强，等于各种气体分别产生的压强之和

9．二级结论：$p-V$ 图象等温点连线（直线段）中点温度最高

（十五）波粒二象性　原子结构　原子核

1．四大规律

（1）黑体辐射规律：黑体辐射的电磁波强度及波长分布情况只与温度有关



①随着温度的升高，各种波长的辐射强度都有增加；

②随着温度的升高，辐射强度的极大值向波长较短的方向移动。

▲**普朗克**提出**量子理论：**一个**能量子**（简称为**量子**）的能量 $\varepsilon = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$

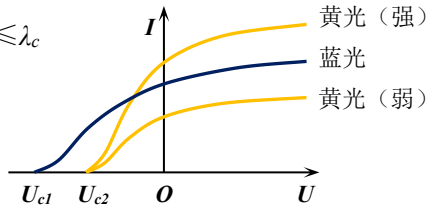
（2）光电效应规律

①存在着**饱和光电流**，且照射光越强，饱和光电流越大

②存在着**遏止电压**（反向截止电压）U_c，说明光电子存在着最大初动能 $E_k = eU_c$

③存在着**截止频率**（**极限频率**）ν_c

发生光电效应的条件：照射光的频率 $\nu \geqslant \nu_c$，或照射光的波长 $\lambda \leqslant \lambda_c$

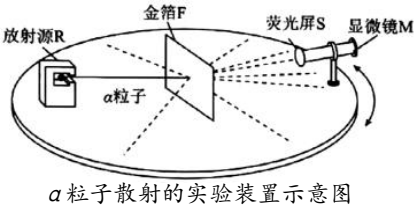


④光电效应的发生具有**瞬时性**（延迟时间不超过 $10^{-9}s$）

▲**爱因斯坦**提出**光子说：**一个**光子**能量 $\varepsilon = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$

▲**康普顿效应**（光在发生散射时，有些光子的波长变长的现象），说明光子不仅具有能量，还具有动量（ $p = \dfrac{h}{\lambda}$ ）

（3）散射实验规律：1909 年卢瑟福α粒子散射实验



α 粒子散射的实验装置示意图

①绝大多数α粒子穿过金箔，仍沿原方向前进，好象金箔不存在一

②少数α粒子发生了较大角度偏转；

③极少数α粒子发生了大角度偏转（超过 90°），有的甚至被弹回

▲**卢瑟福**提出**原子的核式结构模型**

（4）原子光谱规律

①原子的发射光谱为特定频率（波长）的**线状谱**，吸收光谱为相应频率（波长）的**暗线**（**原子的特征谱线**）

②氢原子发光的巴耳末公式 $\dfrac{1}{\lambda} = R_\infty(\dfrac{1}{2^2} - \dfrac{1}{n^2})$（$n$=3、4、5、6、…）

▲**玻尔**提出原子结构的**量子化模型**

2．四大发现

（1）电子的发现（说明原子可分）：1897 年，**汤姆孙**通过对阴极射线的研究发现**电子**

（2）天然放射现象的发现（说明原子核可分）：1896 年，**贝克勒耳**发现**天然放射现象**

（3）质子的发现（第一次实现原子核的人工转变）：卢瑟福用**α粒子轰击氮核**（ ${}^{14}_{7}N$ ）发现**质子**

（4）中子的发现（完善原子核的组成）：一些科学家用**α粒子轰击铍核**，从中放出中性射线，1932 年**查德威克**证明放出的是**中子**

3．原子结构四方面

（1）组成部分：带负电的电子、带正电的原子核（原子尺度 $10^{-10}m$，原子核尺度 $10^{-15}m$）

（2）结构模型

①汤姆生的电子镶嵌模型（枣糕模型、西瓜模型）

②卢瑟福的核式结构模型

③玻尔的量子化模型（4 个方面）

（3）能级与能级跃迁：频率条件（辐射条件） $h\nu = E_m - E_n$

熟悉氢原子能级图，最好记住几个能级数值：-13.6*eV*、-3.4*eV*、-1.51*eV*、-0.85*eV*、-0.54*eV*、…

（4）氢光谱：熟悉巴耳末系四种可见光对应的跃迁情况

4．原子核结构四方面

（1）核子（组成部分）：质子、中子。

（2）核力（结合原因）：①**强相互作用力（强力）**；②**短程力**（作用范围在 $1.5\times10^{-15}m$ 以内）；③具有**饱和性**

（3）比结合能（牢固程度）：比结合能越大，核子结合越牢固，原子核越稳定。

质量数为 56 的**铁原子核**比结合能最大，原子核最稳定。

（4）质量亏损与核能释放（质能联系）：$\Delta E=mc^2$

5．四类核反应

（1）衰变（自发进行）（如 $^{238}_{92}U$ ）

①**种类：*α*衰变**（放出α粒子 $^{4}_{2}He$ ）；***β*衰变**（放出β粒子 $^{0}_{-1}e$ 电子）；③***β*⁺衰变**（放出正电子 $^{0}_{+1}e$ ）

②**半衰期：统计数据**（对少数原子核不讲半衰期），不受物理及化学状态影响

记住几种原子核的半衰期：镭 226→氡 222：1620 年；氡 222→钋 218：3.8 天；

碳 14→氮 14：5730 年；铀 238→钍 234：约 45 亿年

（2）人工转变（粒子轰击）

发现质子：$^{14}_{7}N+^{4}_{2}He\rightarrow^{17}_{8}O+^{1}_{1}H$ ；发现中子：$^{9}_{4}Be+^{4}_{2}He\rightarrow^{12}_{6}C+^{1}_{0}n$ ；

人工得到放射性同位素磷 30：$^{27}_{13}Al+^{4}_{2}He\rightarrow^{30}_{15}P+^{1}_{0}n$ ，$^{30}_{15}P\rightarrow^{30}_{14}Si+^{0}_{1}e$（$\beta^{+}$衰变）

（3）裂变（俘获慢中子）（如 $^{235}_{92}U$ ） $^{235}_{92}U+^{1}_{0}n\rightarrow^{141}_{56}Ba+^{92}_{36}Kr+3^{1}_{0}n$ 、$^{235}_{92}U+^{1}_{0}n\rightarrow^{90}_{38}Sr+^{136}_{54}Xe+10^{1}_{0}n$

链式反应能够进行的条件：

a．铀核裂变放出的中子要多于被铀核俘获的中子；*b*．浓缩铀的体积要超过临界体积

（4）聚变（热核反应）：极为苛刻的反应条件——**热核反应**

6．四组方程（公式）

（1）光电效应方程：逸出光电子的最大初动能 $E_k=h\nu-W_0$

（2）量子化公式： $\varepsilon=h\nu$ ，$r_n=n^2r_1$ ，$E_n=\dfrac{1}{n^2}E_1$

（3）频率条件（辐射条件）： $h\nu=E_{末}-E_{初}$

（4）质能方程：$E=mc^2$，$\Delta E=\Delta mc^2$，质能当量 $1u\approx931.5MeV$（u 为原子质量单位，$1u\approx1.66\times10^{-27}kg$）

7．四大应用

（1）光谱分析（利用原子的特征谱线）

（2）碳钟测年代（利用半衰期）

（3）示踪原子、放疗、γ射线测控、诱变育种等（利用放射线）

（4）核武器与核电站（利用核能）