奔跑物理《高三一轮》教材的优势

一、精选难度适中、必考常考的高考真题

绝大多数高三考生的物理成绩集中在 30 分左右，那些最常见的考点、最简单的考题都拿不到分数，我们真的需要去做那些难题、偏题吗！

奔跑物理《高三一轮》教材精选历年高考真题中最常考的、难度中等和简单的考题，能够搞定这些真题，985 绝对没有问题！

二、设置“公式检测”部分，先理论后实战

绝大多数考生进入高三之后，高一高二知识早忘得干干净净，甚至很多同学在高一高二就没有认真学过物理。以这样的状态直接做题，当然无从下手。

奔跑物理《高三一轮》教材在每节真题之前，设置“公式检测”环节（从《高中物理公式模型检测卡（高三版）》中提取基础内容），将本节涉及的公式和模型总结提炼，并且挖成填空题的形式。搞定理论知识，做题有章可循。

三、题量合适，建立自信

市面上的高三一轮教材动辄三、四百页，而且文字密密麻麻，加之又偏又难，没有重点，别说考生了，老师都无法完成。学生做上两页就疲惫胆怯、缴械投降了。

奔跑物理《高三一轮》教材上下两册一共才一百多页，而且“字大行疏”，保证绝大多数考生都能够顺利且认真地完成。对于那些脍炙人口的经典考题，更是应该反复练习，加深印象！

目录

专题十 电场 1

第 1 节 电场强度、电势、电势能 1
第 2 节 电容器、带电粒子在电场中的运动 8

专题十一 电路 13

第 1 节 电路基础知识、闭合电路欧姆定律及应用 13
第 2 节 电学实验（1） 17
第 3 节 电学实验（2） 24

专题十二 磁场 29

第 1 节 磁感应强度和安培力 29
第 2 节 带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动 33

专题十三 电磁感应 39

第 1 节 楞次定律 39
第 2 节 法拉第电磁感应定律 44
第 3 节 导体棒切割模型 51

专题十四 交变电流 57

第 1 节 正弦式交流电 57
第 2 节 变压器 61

专题十五 热学 65

第 1 节 分子动理论 65
第 2 节 气体实验定律 72
第 3 节 固体、液体和热力学定律 79

专题十六 近代物理 88

第 1 节 光电效应 88
第 2 节 原子结构和玻尔理论 94
第 3 节 原子核 98

专题十 电场

第 1 节 电场强度、电势、电势能

♦ 公式检测 ♦

1、库仑定律

F_c =_____ 式中，静电力常量 k =_____

2、电场强度

- 电场强度 E 的定义式_____ 单位_____ 量性_____
- 规定：电场强度方向与_____试探电荷的受力方向相同。
- 电场力的计算公式_____
- 点电荷电场中某位置电场强度的决定式_____

3、电场力做功和电势能

- 匀强电场中电场力做功公式（含电场强度 E） _____

  式中，d 表示沿_____方向的距离
- 电场力做功的功能关系 _____

  _____
- 电势能 E_p 量性_____，常规定_____或_____电势能为零。

4、电势

- 电势 φ 的定义式_____ 单位_____ 量性_____
- 电势能的计算公式_____ （注意：三个量均涉及正负）
- 电势的变化规律：沿电场线方向，电势_____；逆电场线方向，电势_____
- 沿等势面移动电荷，电场力_____
- 电场线和等势面处处_____
- 电场线的疏密程度与等势面的疏密程度_____

5、电势差

·电势差定义式 $U_{AB}=$_____

·电场力做功公式（含电势差） $W_{AB}=$_____

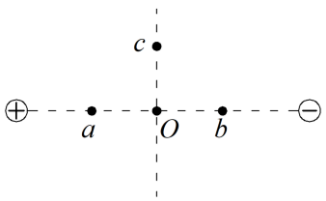
·匀强电场中电场强度和电势差的关系式 $E=$_____，电场强度的另一单位_____

6、分别画出正点电荷和负点电荷的电场线和等势面分布图

⊕ ⊖

7、等量双电荷模型

（1）正—负



（定性画出电场线和等势面）

①电场强度

·各点电场强度大小排序：_____=_____>_____>_____

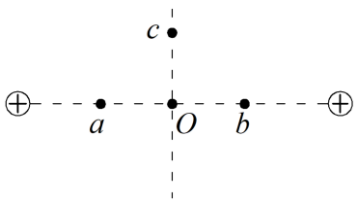
·在图中分别画出 a、b、c、O 四个点处的电场强度的方向。

②电势

·各点电势高低排序：_____>_____=_____>_____

（注意：连线的中垂线是_____；其左侧任意位置电势均为_____值，其右侧任意位置电势均为_____值。）

（2）正—正



（定性画出电场线和等势面）

①电场强度

·各点电场强度大小排序　连线：_____=_____>_____=0

中垂线：O 点→无穷远处，先_____后_____。

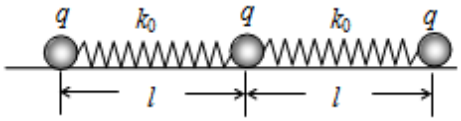
·在图中分别画出 a、b、c 三个点处的电场强度的方向。

②电势

·各点电势高低排序：____=____>____>____（注意：任意位置电势均为____值。）

♦ 实战演练 ♦

1.（2009·浙江）在光滑绝缘水平面上放置 3 个电荷量均为 q（$q>0$）的相同小球，小球之间用劲度系数均为 k_0 的轻质弹簧绝缘连接。当 3 个小球处在静止状态时，每根弹簧长度为 l。已知静电力常量为 k，若不考虑弹簧的静电感应，则每根弹簧的原长为（　　）



A．$l+\dfrac{5kq^2}{2k_0l^2}$　　B．$l-\dfrac{kq^2}{k_0l^2}$　　C．$l-\dfrac{5kq^2}{4k_0l^2}$　　D．$l-\dfrac{5kq^2}{2k_0l^2}$

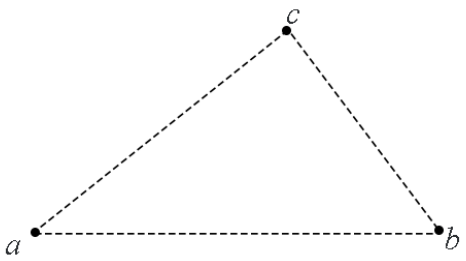
2.（2018·新课标Ⅰ卷）三个固定的带电小球 a、b 和 c，相互间的距离分别为 ab＝5 cm，bc＝3 cm，ca＝4 cm。小球 c 所受库仑力的合力的方向平行于 a、b 的连线。设小球 a、b 所带电荷量的比值的绝对值为 k，则（　　）

A．a、b 的电荷同号，$k=\dfrac{16}{9}$

B．a、b 的电荷异号，$k=\dfrac{16}{9}$

C．a、b 的电荷同号，$k=\dfrac{64}{27}$

D．a、b 的电荷异号，$k=\dfrac{64}{27}$



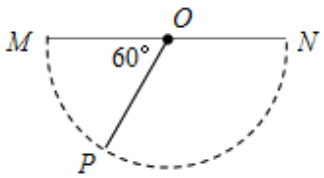
3.（2010·海南）如图所示，M、N 和 P 是以 MN 为直径的半圆弧上的三点，O 点为半圆弧的圆心，$\angle MOP=60^\circ$。电荷量相等、符号相反的两个点电荷分别置于 M、N 两点，这时 O 点电场强度的大小为 E_1；若将 N 点处的点电荷移至 P 点，则 O 点的场强大小变为 E_2，E_1 与 E_2 之比为（　　）

A．2∶1

B．1∶2

C．$2:\sqrt{3}$

D．$4:\sqrt{3}$



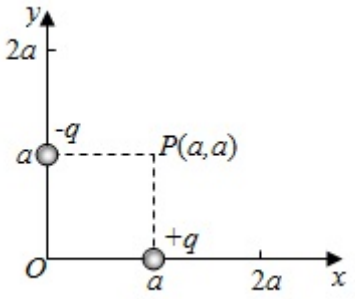
4.（2021·湖南）如图，在（a，0）位置放置电荷量为 q 的正点电荷，在（0，a）位置放置电荷量为 q 的负点电荷，在距 P（a，a）为 $\sqrt{2}a$ 的某点处放置正点电荷 Q，使得 P 点的电场强度为零。则 Q 的位置及电荷量分别为（　　）

A．（0，$2a$），$\sqrt{2}q$

B．（0，2a），$2\sqrt{2}q$

C．（2a，0），$\sqrt{2}q$

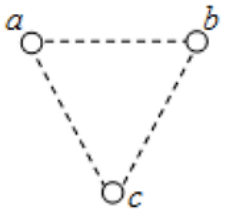
D．（2a，0），$2\sqrt{2}q$



5．（2013·新课标 II 卷）如图，在光滑绝缘水平面上，三个带电小球 a、b 和 c 分别位于边长为 L 的正三角形的三个顶点上；a、b 带正电，电荷量均为 q，c 带负电。整个系统置于方向水平的匀强电场中。已知静电力常量为 k，若三个小球均处于静止状态，则匀强电场场强的大小为（　　）

A．$\dfrac{\sqrt{3}kq}{3L^2}$　　B．$\dfrac{\sqrt{3}kq}{L^2}$

C．$\dfrac{3kq}{L^2}$　　D．$\dfrac{2\sqrt{3}kq}{L^2}$



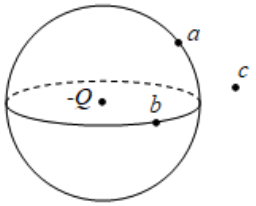
6．（2019·北京）如图所示，a、b 两点位于以负点电荷-Q（Q>0）为球心的球面上，c 点在球面外，则（　　）

A．a 点场强的大小比 b 点大

B．b 点场强的大小比 c 点小

C．a 点电势比 b 点高

D．b 点电势比 c 点低



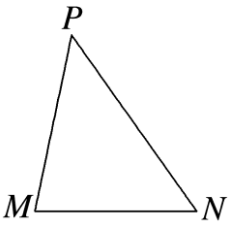
7．（多选）（2020·新课标 III 卷）如图，$\angle M$ 是锐角三角形 PMN 最大的内角，电荷量为 q（q>0）的点电荷固定在 P 点．下列说法正确的是（　　）

A．沿 MN 边，从 M 点到 N 点，电场强度的大小逐渐增大

B．沿 MN 边，从 M 点到 N 点，电势先增大后减小

C．正电荷在 M 点的电势能比其在 N 点的电势能大

D．将正电荷从 M 点移动到 N 点，电场力所做的总功为负



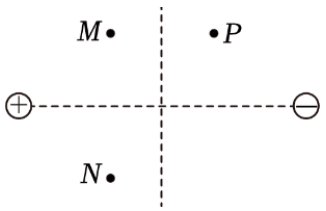
8．（2021•北京）如图所示的平面内，有静止的等量异号点电荷，M、N 两点关于两电荷连线对称，M、P 两点关于两电荷连线的中垂线对称。下列说法正确的是（　　）

A．M 点的场强比 P 点的场强大

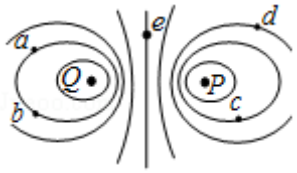
B．M 点的电势比 N 点的电势高

C．N 点的场强与 P 点的场强相同

D．电子在 M 点的电势能比在 P 点的电势能大



9．（2020•浙江）空间 P、Q 两点处固定电荷量绝对值相等的点电荷，其中 Q 点处为正电荷，P、Q 两点附近电场的等势线分布如图所示，a、b、c、d、e 为电场中的 5 个点，设无穷远处电势为 0，则（　　）



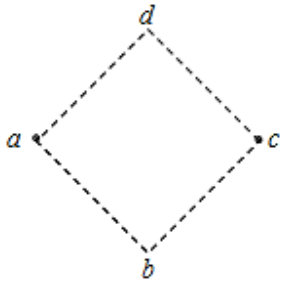
A．e 点的电势大于 0

B．a 点和 b 点的电场强度相同

C．b 点的电势低于 d 点的电势

D．负电荷从 a 点移动到 c 点时电势能增加

10．（多选）（2018•海南）如图，a、b、c、d 为一边长为 L 的正方形的顶点。电荷量均为 q（$q>0$）的两个点电荷分别固定在 a、c 两点，静电力常量为 k。不计重力。下列说法正确的是（　　）



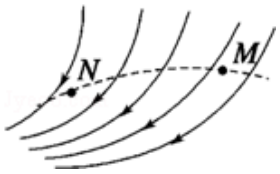
A．b 点的电场强度大小为 $\frac{\sqrt{2}kq}{L^2}$

B．过 b、d 点的直线位于同一等势面上

C．在两点电荷产生的电场中，ac 中点的电势最低

D．在 b 点从静止释放的电子，到达 d 点时速度为零

11．（多选）（2008•广东）如图所示中的实线表示电场线，虚线表示只受电场力作用的带电粒子的运动轨迹，粒子先经过 M 点，再经过 N 点，可以判定（　　）



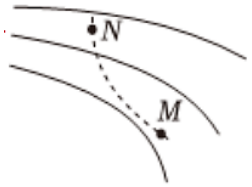
A．M 点的电势能大于 N 点的电势能

B．M 点的电势小于 N 点的电势

C．粒子在 M 的速度大于在 N 点的速度

D．粒子在 M 点受到的电场力小于在 N 点受到的电场力

12．（2018•天津）如图所示，实线表示某电场的电场线（方向未标出），虚线是一带负电的粒子只在电场力作用下的运动轨迹，设 M 点和 N 点的电势分别为 φ_M、φ_N，粒子在 M 和 N 时加速度大小分别为 a_M、a_N，速度大小分别为 v_M、v_N，电势能分别为 E_{PM}、E_{PN}。下列判断正确的是（　　）



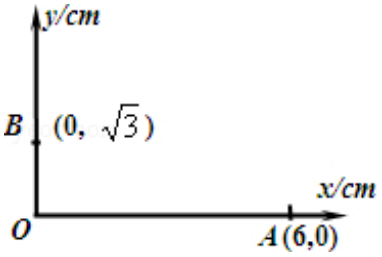
A．$v_M<v_N$，$a_M<a_N$

B．$v_M<v_N$，$\varphi_M<\varphi_N$

C．$\varphi_M<\varphi_N$，$E_{PM}<E_{PN}$

D．$a_M<a_N$，$E_{PM}<E_{PN}$

13.（2012·安徽）如图所示，在平面直角坐标系中，有方向平行于坐标平面的匀强电场，其中坐标原点 O 处的电势为 0，点 A 处的电势为 6 V，点 B 处的电势为 3 V，则电场强度的大小为（　　）



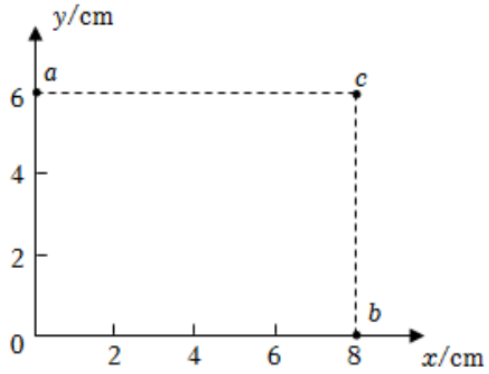
A．200 V/m

B．$200\sqrt{3}$ V/m

C．100 V/m

D．$100\sqrt{3}$ V/m

14.（多选）（2017·新课标 III 卷）一匀强电场的方向平行于 xOy 平面，平面内 a、b、c 三点的位置如图所示，三点的电势分别为 10 V、17 V、26 V。下列说法正确的是（　　）



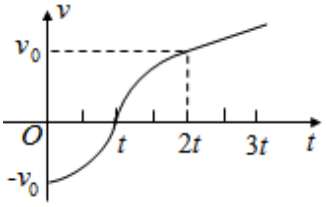
A．电场强度的大小为 2. 5 V/cm

B．坐标原点处的电势为 1 V

C．电子在 a 点的电势能比在 b 点的低 7 eV

D．电子从 b 点运动到 c 点，电场力做功为 9 eV

15.（2018·浙江）一带电粒子仅在电场力作用下从 A 点开始以 $-v_0$ 做直线运动，其 v-t 图象如图所示。粒子在 t 时刻运动到 B 点，$3t$ 时刻运动到 C 点，以下判断正确的是（　　）



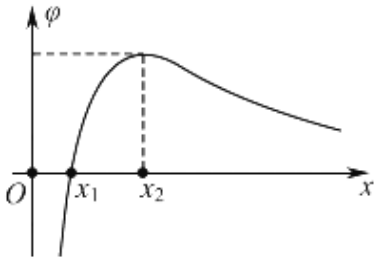
A．A、B、C 三点的电势关系为 $\varphi_B > \varphi_A > \varphi_C$

B．A、B、C 三点的场强大小关系为 $E_C > E_B > E_A$

C．粒子从 A 点经 B 点运动到 C 点，电势能先增加后减少

D．粒子从 A 点经 B 点运动到 C 点，电场力先做正功后做负功

16.（多选）（2017·江苏）在 x 轴上有两个点电荷 q_1、q_2，其静电场的电势 φ 在 x 轴上分布如图所示。下列说法正确的有（　　）



A．q_1 和 q_2 带有异种电荷

B．x_1 处的电场强度为零

C．负电荷从 x_1 移到 x_2，电势能减小

D．负电荷从 x_1 移到 x_2，受到的电场力增大

第 2 节 电容器、带电粒子在电场中的运动

♦ 公式检测 ♦

1、电容器

①电容 C 的定义式：_____

单位：_____ 1 F = _____ μF = _____ pF

②平行板电容器的电容决定式_____

• ε_r 叫做_____，描述两板间_____的性质，

对于真空（或空气），ε_r _____1，对于其他绝缘体，ε_r _____1。

• S 表示_____

• d 表示_____

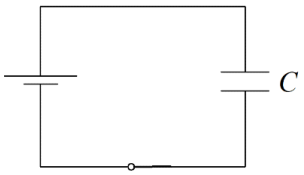
③分类

• 有源电容

▫ _____不变

▫ Q =_____

▫ E=_____ E 只与_____有关

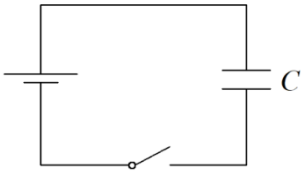


• 无源电容

▫ _____不变

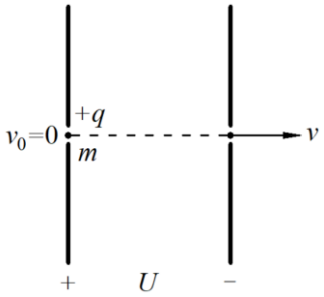
▫ U =_____

▫ E=_____ E 与_____无关



2、带电粒子在电场中的运动（不计重力）

（1）直线加速



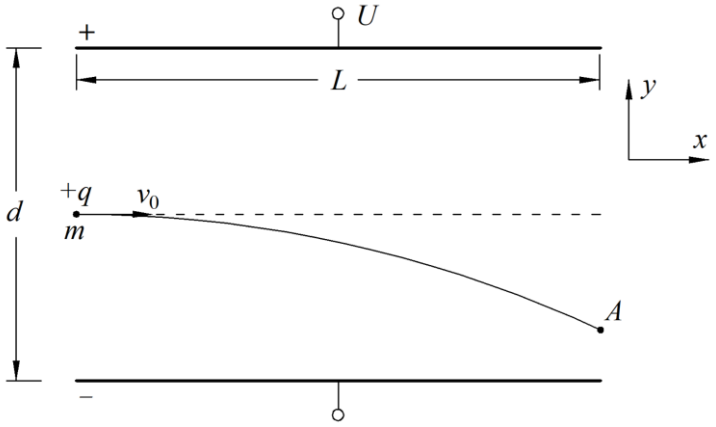
• 动能定理_____，得 $v=$_____

• 牛顿第二定律

$E=$_____ $a=$_____

• 匀变速直线运动三个基本公式：略

（2）偏转



• 如图建立直角坐标系，在图中标出两个位移 x 和 y，在 A 点画出实际速度 v，并对速度 v 进行正交分解，标出两个分速度 v_0 和 v_y，以及速度偏转角 α。

• 两个位移方程

$L=$_____ $y=$_____（偏移量）

• 牛顿第二定律

$E=$_____ $a=$_____

• 速度方程

$v_y=$_____ $v=$_____ $\tan\alpha=$_____

♦ 实战演练 ♦

1.（2006·新课标 I 卷）一平行电容器两极板之间充满云母介质，接在恒压直流电源上，若将云母介质移出，则电容器（　　）

A．极板上的电荷量变大，极板间的电场强度变大

B．极板上的电荷量变小，极板间的电场强度变大

C．极板上的电荷量变大，极板间的电场强度不变

D．极板上的电荷量变小，极板间的电场强度不变

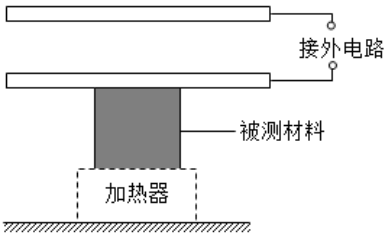
2.（2022·重庆）如图为某同学采用平行板电容器测量材料竖直方向尺度随温度变化的装置示意图，电容器上极板固定，下极板可随材料尺度的变化上下移动，两极板间电压不变。若材料温度降低时，极板上所带电荷量变少，则（　　）

A．材料竖直方向尺度减小

B．极板间电场强度不变

C．极板间电场强度变大

D．电容器电容变大



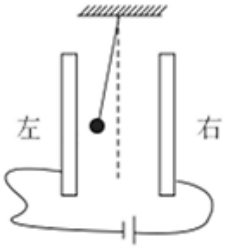
3.（2017·海南）如图，平行板电容器的两极板竖直放置并分别与电源的正负极相连，一带电小球经绝缘轻绳悬挂于两极板之间，处于静止状态。现保持左极板不动，将右极板向左缓慢移动。关于小球所受的电场力大小 F 和绳子的拉力大小 T，下列判断正确的是（　　）

A．F 逐渐减小，T 逐渐减小

B．F 逐渐增大，T 逐渐减小

C．F 逐渐减小，T 逐渐增大

D．F 逐渐增大，T 逐渐增大



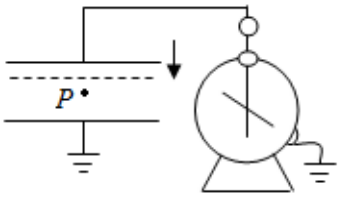
4.（2016·天津）如图所示，平行板电容器带有等量异种电荷，与静电计相连，静电计金属外壳和电容器下极板都接地。在两极板间有一个固定在 P 点的点电荷，以 E 表示两板间的电场强度，E_p 表示点电荷在 P 点的电势能，θ 表示静电计指针的偏角。若保持下极板不动，将上极板向下移动一小段距离至图中虚线位置，则（　　）

A．θ 增大，E 增大

B．θ 增大，E_p 不变

C．θ 减小，E_p 增大

D．θ 减小，E 不变



5.（2019·浙江）当今医学上对某些肿瘤采用质子疗法进行治疗，该疗法用一定能量的质子束照射肿瘤杀死癌细胞。现用一直线加速器来加速质子，使其从静止开始被加速到1.0×10^{7} m/s。已知加速电场的场强为1.3×10^{5} N/C，质子的质量为1.67×10^{-27} kg，电荷量为1.6×10^{-19} C，则下列说法正确的是（　　）

A．加速过程中质子电势能增加

B．质子所受到的电场力约为2×10^{-15} N

C．质子加速需要的时间约为8×10^{-6} s

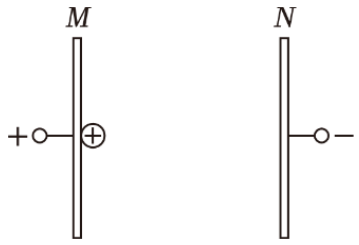
D．加速器加速的直线长度约为 4 m

6.（2022•北京）如图，真空中平行金属板 M、N 之间距离为 d，两板所加的电压为 U。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子从 M 板由静止释放。不计带电粒子的重力。

（1）求带电粒子所受的静电力的大小 F；

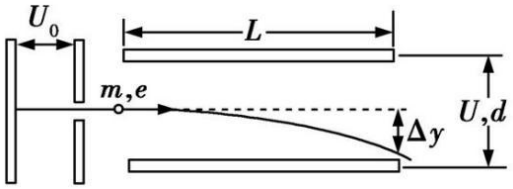
（2）求带电粒子到达 N 板时的速度大小 v；

（3）若在带电粒子运动 $\frac{d}{2}$ 距离时撤去所加电压，求该粒子从 M 板运动到 N 板经历的时间 t。



7.（2016•北京）如图所示，电子由静止开始经加速电场加速后，沿平行于板面的方向射入偏转电场，并从另一侧射出。已知电子质量为 m，电荷量为 e，加速电场电压为U_0。偏转电场可看做匀强电场，极板间电压为 U，极板长度为 L，板间距为 d。

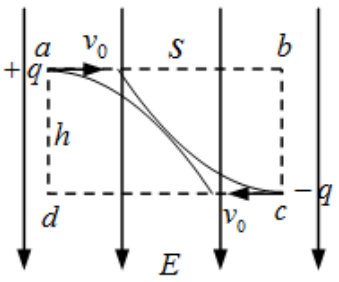
（1）忽略电子所受重力，求电子射入偏转电场时的初速度v_0和从电场射出时沿垂直板面方向的偏转距离Δy；



8.（2014•山东）如图，场强大小为 E、方向竖直向下的匀强电场中有一矩形区域 $abcd$，水平边 ab 长为 s，竖直边 ad 长为 h，质量均为 m、带电量分别为$+q$ 和$-q$ 的两粒子，由 a、c 两点先后沿 ab 和 cd 方向以速率v_0进入矩形区域（两粒子不同时出现在电场中），不计重力，若两粒子轨迹恰好相切，则v_0等于（　　）

A．$\frac{s}{2}\sqrt{\frac{2qE}{mh}}$　　B．$\frac{s}{2}\sqrt{\frac{qE}{mh}}$

C．$\frac{s}{4}\sqrt{\frac{2qE}{mh}}$　　D．$\frac{s}{4}\sqrt{\frac{qE}{mh}}$



专题十一 电路

第 1 节 电路基础知识、闭合电路欧姆定律及应用

♦ 公式检测 ♦

1、电流

（1）定义式

$I=$——

·标量；单位：安培（A） 1A =_____mA =_____μA

·规定_____定向移动方向为电流方向。

·在金属中，电流方向与自由电子定向移动方向_____。

（2）（局部电路）欧姆定律

$I=$——

2、电阻定律

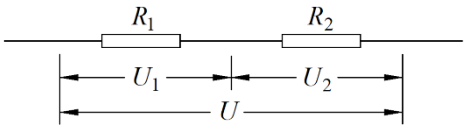
$R=$_____

·ρ表示材料的_____，是材料自身的特性，单位_____。

金属的电阻率随温度的升高而_____。

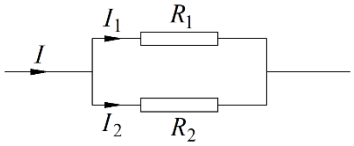
3、串联电路和并联电路

①串联电路



- 两个电阻的_____相等
- 串联分_____：$U=U_1+U_2$，$\frac{U_1}{U_2}=$_____
- $R_{总}=$_____

②并联电路



- 两个电阻的_____相等
- 并联分_____：$I=I_1+I_2$，$\frac{I_1}{I_2}=$_____
- $R_{总}=$_____

4、电（热）功率（纯电阻）

$P=UI=$_____$=$_____

5、闭合电路欧姆定律

$I=\frac{\text{\_\_\_\_\_}}{R_{外}+}$ 或 $E=U_{外}+$_____

♦ 实战演练 ♦

1.（2015·上海）重离子肿瘤治疗装置中的回旋加速器可以发射+5 价重离子束，它的束流强度为1.2×10^{-5} A，则在 1 s 内发射的重离子个数为（$e=1.6\times10^{-19}$ C）（　　）

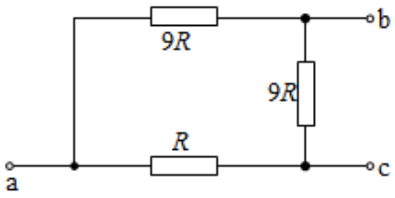
A．3.0×10^{12}　　B．1.5×10^{13}　　C．7.5×10^{13}　　D．3.75×10^{14}

2.（2020·浙江）小明在一根细橡胶管中灌满食盐水，两端用粗铜丝塞住管口，形成一段封闭的盐水柱。他将此盐水柱接到电源两端，电源电动势和内阻恒定。握住盐水柱两端将它水平均匀拉伸到原长的 1.2 倍,若忽略温度对电阻率的影响，则此盐水柱（　　）

A．通过的电流增大　　B．两端的电压增大

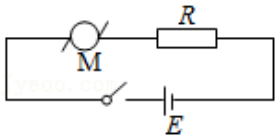
C．阻值增大为原来的 1.2 倍　　D．电功率增大为原来的 1.44 倍

3.（2020•海南）一车载加热器（额定电压为 24 V）发热部分的电路如图所示，a、b、c 是三个接线端点，设 ab、ac、bc 间的功率分别为 P_{ab}、P_{ac}、P_{bc}，则（　　）



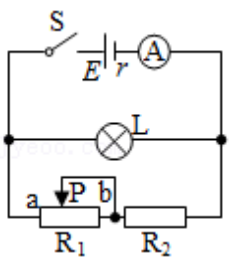
A．$P_{ab}>P_{bc}$　　B．$P_{ab}=P_{ac}$　　C．$P_{ac}=P_{bc}$　　D．$P_{ab}<P_{ac}$

4.（2020•全国）如图，M 为一直流电动机，电动机的线圈绕组的电阻为1.50 Ω，电阻 R 为8.50 Ω，电源的电动势 E 为12.0 V（电源的内阻忽略不计）。当电动机正常运转时，直流电动机两端的电压为8.60 V，此时通过电动机的电流为（　　）



A．0.20 A　　B．0.40 A　　C．0.80 A　　D．1.20 A

5.（2018•全国）如图所示的电路中，电源的电动势 E 和内电阻 r 恒定不变。闭合开关 S，滑动变阻器的滑片 P 处于某一位置时，小灯泡 L 能发光。将滑片 P 从该位置向 b 端滑动，则（　　）



A．小灯泡 L 变亮，电流表的示数变小

B．小灯泡 L 变亮，电流表的示数增大

C．小灯泡 L 变暗，电流表的示数变小

D．小灯泡 L 变暗，电流表的示数增大

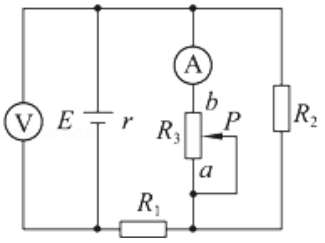
6.（2002·上海）在如图所示电路中，当变阻器 R_3 的滑动头 P 向 b 端移动时（　　）

A．电压表示数变大，电流表示数变小

B．电压表示数变小，电流表示数变大

C．电压表示数变大，电流表示数变大

D．电压表示数变小，电流表示数变小



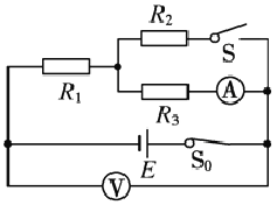
7.（2011·海南）如图，E 为内阻不能忽略的电池，R_1、R_2、R_3 为定值电阻，S_0、S 为开关，V 与 A 分别为电压表与电流表。初始时 S_0 与 S 均闭合，现将 S 断开，则（　　）

A．V 的读数变大，A 的读数变小

B．V 的读数变大，A 的读数变大

C．V 的读数变小，A 的读数变小

D．V 的读数变小，A 的读数变大



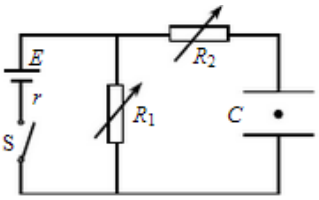
8.（2014·天津）如图所示，电路中 R_1、R_2 均为可变电阻，电源内阻不能忽略，平行板电容器 C 的极板水平放置，闭合电键 S，电路达到稳定时，带电油滴悬浮在两板之间静止不动，如果仅改变下列某一个条件，油滴仍能静止不动的是（　　）

A．增大 R_1 的阻值

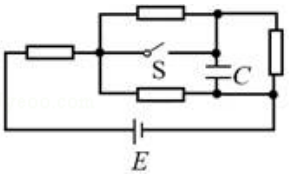
B．增大 R_2 的阻值

C．增大两板间的距离

D．断开电键 S



9.（2016·新课标 II 卷）阻值相等的四个电阻、电容器 C 及电池 E（内阻可忽略）连接成如图所示电路。开关 S 断开且电流稳定时，C 所带的电荷量为 Q_1，闭合开关 S，电流再次稳定后，C 所带的电荷量为 Q_2。Q_1 与 Q_2 的比值为（　　）



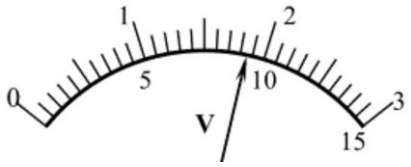
A．$\frac{2}{5}$　　B．$\frac{1}{2}$　　C．$\frac{3}{5}$　　D．$\frac{2}{3}$

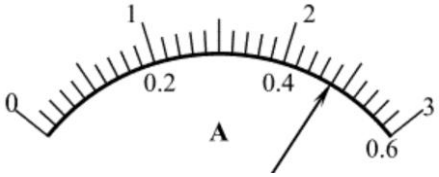
第 2 节 电学实验（1）

♦ 公式检测 ♦

1、测量工具的读数

（1）电压表、电流表





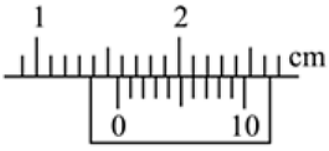
• 0~3 V：精度 $d=$ _____，读数 =_____，保留到小数点后第_____位；

• 0~15 V：精度 $d=$ _____，读数 =_____，保留到小数点后第_____位；

• 0~3 A：精度 $d=$ _____，读数 =_____，保留到小数点后第_____位；

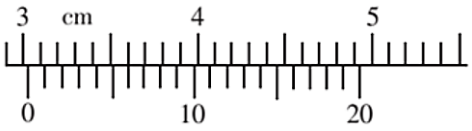
• 0~0.6 A：精度 $d=$ _____，读数 =_____，保留到小数点后第_____位。

（2）游标卡尺



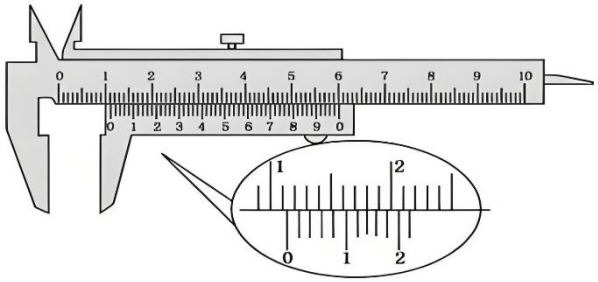
• 精度 $d=$ _____

• 读数 =_____mm



• 精度 $d=$ _____

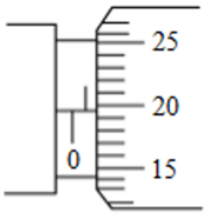
• 读数 =_____mm



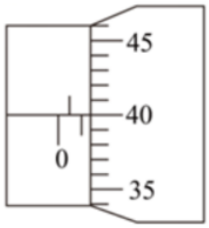
• 精度 $d=$ _____

• 读数 =_____cm

（3）螺旋测微器（千分尺）



图（a）



图（b）

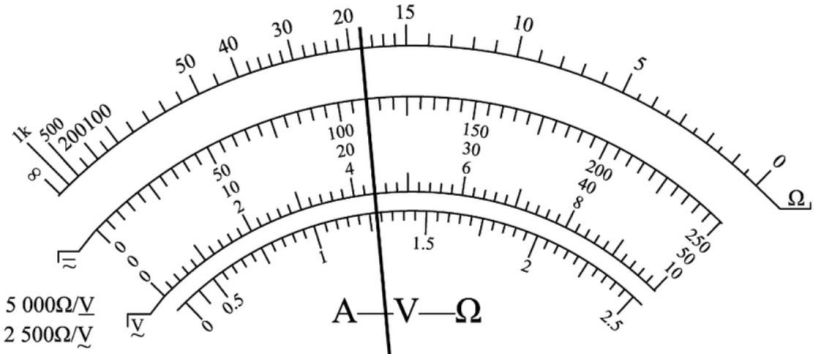
• 精度 d = _____

• 图（a）读数 = _____

• 图（b）读数 = _____

• 保留到小数点后第_____位

（4）多用电表



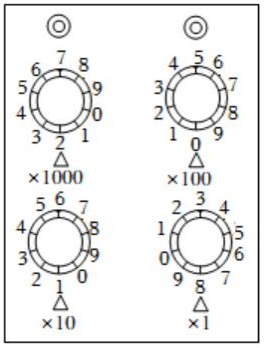
• 欧姆档（倍率×100）：读数 = _____（欧姆表不估读）；

• 直流电压档（量程 50 V）：精度 d = _____，读数 = _____；

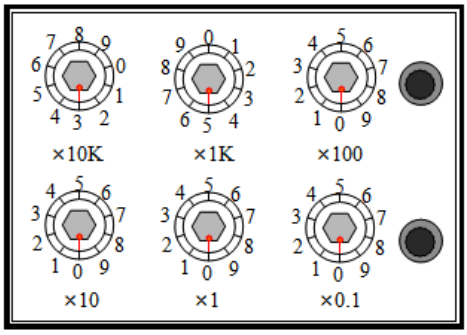
• 直流电压档（量程 250 V）：精度 d = _____，读数 = _____；

• 直流电流档（量程 10 mA）：精度 d = _____，读数 = _____。

（5）电阻箱



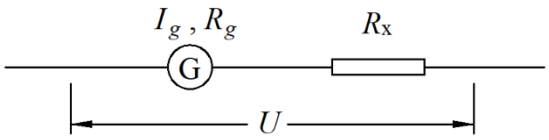
读数 = _____Ω



读数 = _____Ω

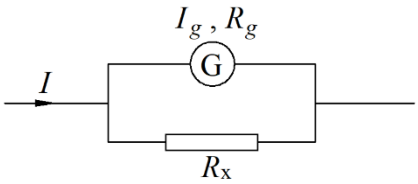
2、电表改装

（1）灵敏电流计 → 电压表



电流相等 $I_g = \dfrac{U}{R_x}$

（2）灵敏电流计 → 电流表

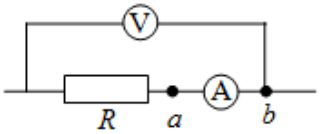


电压相等 $I_g R_g =$ _____

3、电流表的内/外接法

①误差分析

• 内接法

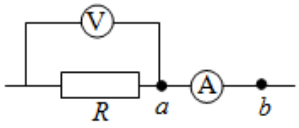


▫ Ⓐ准确，电压表Ⓥ偏_____（_____分压）；

▫ 根据 $R = \dfrac{U}{I}$，得 $R_{测}$_____$R_{真}$；

▫ 消除系统误差：已知Ⓐ内阻 R_A，则 $R =$ _____。

• 外接法



▫ Ⓥ准确，Ⓐ偏_____（_____分流）；

▫ 根据 $R = \dfrac{U}{I}$，得 $R_{测}$_____$R_{真}$。

②“八字诀”

_____ _____ _____ _____ ， _____ _____ _____ _____

③ R_x：大电阻？小电阻？

比较 $R_{x大约值}$ 和_____

4、测量金属丝的电阻率

·用伏安法测量金属丝的电阻 R；

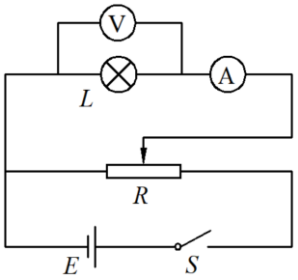
·用刻度尺或游标卡尺测量接入电路中的金属丝长度 L；

·用螺旋测微器测量金属丝的直径 D，则金属丝的横截面积 $S=$ ————；

·根据电阻定律 $R=\rho\dfrac{L}{S}$，得 $\rho=$ ————；

·测量时，电流不宜过大，时间不宜太长，以免金属丝温度过高，电阻率增大。

5、描绘小灯泡的伏安特性曲线



①滑动变阻器必须采用_____接法

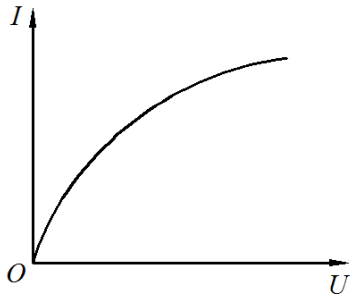
·原因：绘制 I-U 图像，要求测出一组 $U=0, I=0$ 的数据；

·注意：为方便调节，应选用较_____阻值的滑动变阻器。

②必须采用电流表的_____接法

·原因：小灯泡电阻较_____。

③数据处理



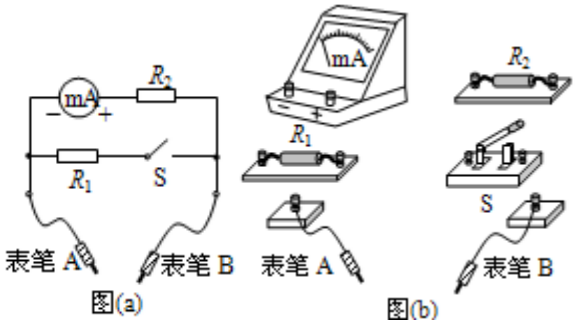
·随电压升高（或电流增大，或温度升高），小灯泡的阻值_____。

·原因：温度升高，_____。

·注意：在某状态下，小灯泡电阻 $R=$ ———，功率 $P=$ _____。

♦ 实战演练 ♦

1.（2013·新课标 II 卷）某同学用量程为 1 mA、内阻为 120 Ω 的表头按图（a）所示电路改装成量程分别为 1 V 和 1 A 的多用电表。图中 R_1 和 R_2 为定值电阻，S 为开关。



回答下列问题：

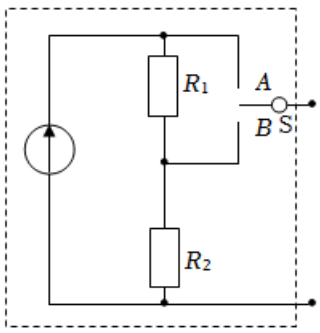
（1）根据图（a）所示的电路，在图（b）所示的实物图上连线。

（2）开关 S 闭合时，多用电表用于测量_____（填“电流”、“电压”或“电阻”）；开关 S 断开时，多用电表用于测量_____（填“电流”、“电压”或“电阻”）。

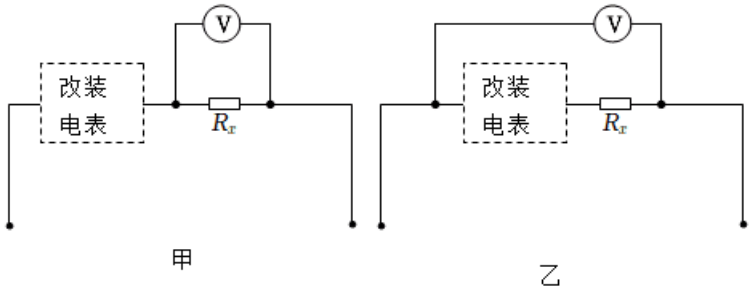
（3）表笔 A 应为 _____色（填“红”或“黑”）。

（4）定值电阻的阻值 R_1= _____Ω，R_2= _____Ω。（结果取 3 位有效数字）

2.（2022•辽宁）某同学要将一小量程电流表（满偏电流为250μA，内阻为1.2kΩ改装成有两个量程的电流表，设计电路如图（a）所示，其中定值电阻 $R_1=40\Omega$，$R_2=360\Omega$。



（图a）



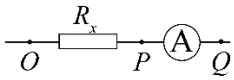
（图b）

（1）当开关 S 接 A 端时，该电流表的量程为 0～_____mA；

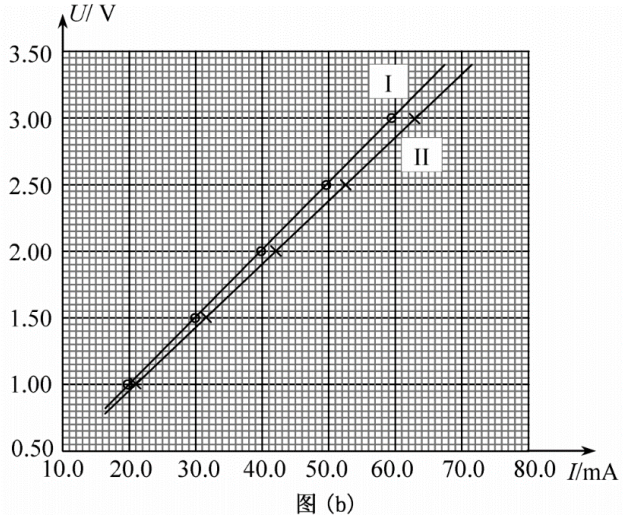
（2）当开关 S 接 B 端时，该电流表的量程比接在 A 端时_____（填“大”或“小”）；

（3）该同学选用量程合适的电压表（内阻未知）和此改装电流表测量未知电阻 R_x 的阻值，设计了图（b）中两个电路。不考虑实验操作中的偶然误差，则使用_____（填“甲”或“乙”）电路可修正由电表内阻引起的实验误差。

3．（2020•新课标 I 卷）某同学用伏安法测量一阻值为几十欧姆的电阻 R_x，所用电压表的内阻为 1 kΩ，电流表内阻为 0.5 Ω。该同学采用两种测量方案，一种是将电压表跨接在图（a）所示电路的 O、P 两点之间，另一种是跨接在 O、Q 两点之间。测量得到如图（b）所示的两条 U–I 图线，其中 U 与 I 分别为电压表和电流表的示数。



图（a）



图（b）

回答下列问题：

（1）图（b）中标记为 II 的图线是采用电压表跨接在_____（填“O、P”或“O、Q”）两点的方案测量得到的。

（2）根据所用实验器材和图（b）可判断，由图线_____（填“I”或“II”）得到的结果更接近待测电阻的真实值，结果为_____Ω（保留 1 位小数）。

（3）考虑到实验中电表内阻的影响，需对（2）中得到的结果进行修正，修正后待测电阻的阻值为_____Ω（保留 1 位小数）。

4．（2017•海南）某同学用伏安法测量待测电阻的阻值。现有器材为：

待测电阻 R（阻值约为 5 Ω）

电源（电动势 3 V）

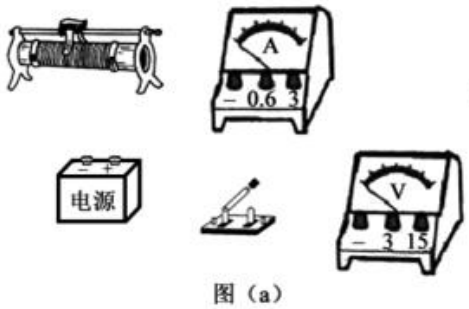
滑动变阻器（阻值范围 0～10 Ω）

电流表（量程 0.6 A，3 A）

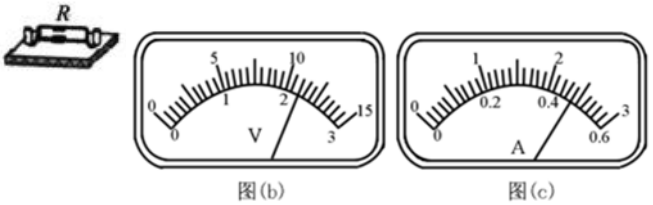
电压表（量程 3 V，15 V）

开关，导线若干。

实验要求在测量电路中将电流表外接，滑动变阻器起限流作用。



图（a）



图(b) 图(c)

回答下列问题：

（1）按照实验要求在图（a）中画出实物连线图。

（2）若已按实验要求接线，闭合开关后移动滑动变阻器的滑片，电压表的示数始终约为3 V，电流表的示数始终接近0。写出产生这种现象的一个原因：_____

_____。

（3）在连线正确后，闭合开关。电压表和电流表的示数分别如图（b）和图（c）所示。由图可知，电压表读数为_____V，电流表读数为_____A。由此可得待测电阻的阻值为_____Ω（结果保留3位有效数字）。

5.（2017•浙江）小明用电学方法测量电线的长度，首先，小明测得电线铜芯的直径为1.00 mm，估计其长度不超过50 m（已知铜的电阻率为$1.75\times10^{-8}\Omega\cdot m$）。

现有实验器材：①量程为3V、内阻为3 kΩ的电压表；②量程为0.6 A，内阻约为0.1 Ω的电流表；③阻值为0~20 Ω的滑动变阻器；④内阻可以忽略，输出电压为3 V的电源；⑤阻值为R_0=4.30 Ω的定值电阻，开关和导线若干。

小明采用伏安法测量电线电阻，正确连接电路后，调节滑动变阻器，电流表示数从0开始增加，当示数为0.50时，电压表示数如图1所示，读数为_____V，根据小明测量的信息，图2中P点应该_____（选填“接a”、“接b”、“接c”或“不接”），Q点应该_____（选填“接a”、“接b”、“接c”或“不接”），小明测得的电线长度为_____m。

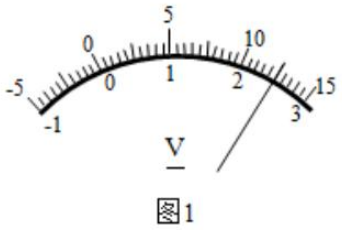


图1

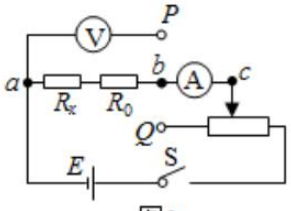


图2

6.（2016•天津）某同学想要描绘标有“3.8 V 0.3 A”字样小灯泡L的伏安特性曲线，要求测量数据尽量精确、绘制曲线完整。可供该同学选用的器材除开关、导线外，还有：

电压表V_1（0～3 V，内阻等于3 kΩ）

电压表V_2（0～15 V，内阻等于15 kΩ）

电流表A_1（0～200 mA，内阻等于10 Ω）

电流表A_2（0～3 A，内阻等于0.1 Ω）

滑动变阻器R_1（0～10 Ω，额定电流2 A）

滑动变阻器R_2（0～1k Ω，额定电流0.5 A）

定值电阻R_3（阻值等于1 Ω）

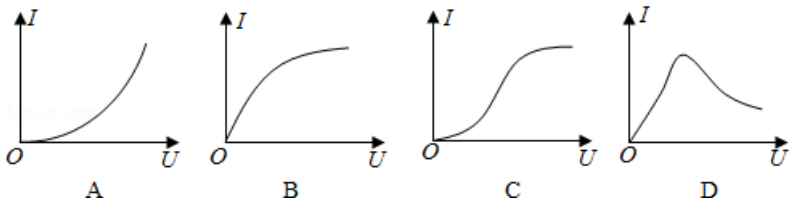
定值电阻R_4（阻值等于10 Ω）

定值电阻R_5（阻值等于1 kΩ）

电源E（E=6 V，内阻不计）

①请在方框中画出实验电路图，并将各元件字母代码标在元件的符号旁；

②该同学描绘出的I-U图象应是图中的_____。



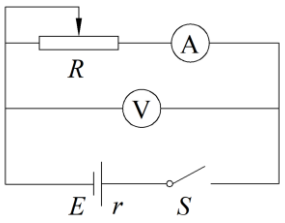
A B C D

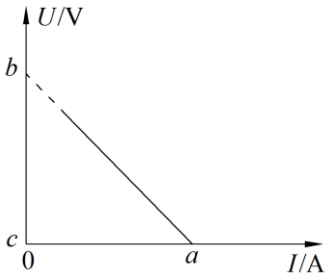
第 3 节 电学实验（2）

♦ 公式检测 ♦

6、测定电源的电动势和内阻

（1）电路图和电源的伏安特性曲线





• 如左图，Ⓥ测量路端电压，Ⓐ_____（选填“在”或“不在”）Ⓥ测量范围之内；

• 闭合电路欧姆定律：$E=U_{外}+Ir$，转化为$U_{外}-I$的线性方程：_____；

• 如右图，图像纵轴截距 b 表示_____，斜率绝对值$|k|$表示_____；

• 注意：若电压轴的起点坐标不从 0 开始，如右图所示，电源内阻 r =_____。

（2）电源内阻 r 较小（即电压变化较小）的解决方法

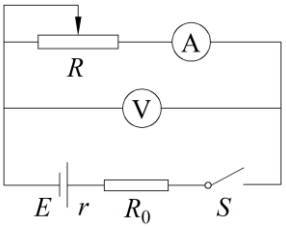
①方法一

• 选用_____的干电池；

• 选用这样的干电池，为避免 E、r 变化太大 ，实验时间不宜过_____，电流不宜过_____；• 为此，通常电流表选择量程_____（选填“0～3 A”或“0～0.6 A”）。

②方法二

• 给干电池“串联”一个定值电阻R_0，如下图所示，则r =_____（使用上图中的字母和R_0表示）。



7、多用电表

（1）测量前

·机械调零：检查指针是否停在表盘_____端的电压/电流零刻线位置。

·为了保证电流“____进____出”，____表笔插“+”插孔，____表笔插“-”插孔。

（2）欧姆表测定值电阻

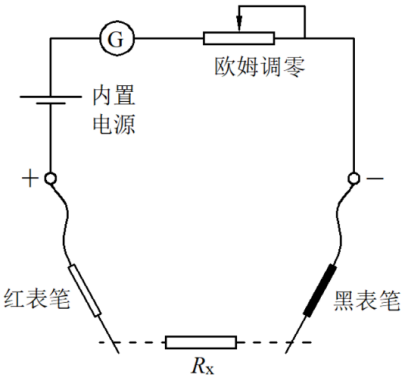
·欧姆表有内置电池，_____（选填“允许”或“不允许”）外部带电测量。

·_____后，必须欧姆调零。欧姆调零：红、黑表笔_____，使指针指到_____侧_____零刻线。

·读数 = 刻度示数×_____。

·读数时，指针应指在中央刻线附近。若指针太偏左（偏角过小），说明待测电阻 R_x 太_____，应调至更_____倍率。反之亦然。

（3）灵敏电流计改装欧姆表



·欧姆表内部电路简化图中，滑动变阻器起_____作用。

·中值电阻：即 $R_{内}$，指欧姆表内部所有元件电阻之和，可从分度盘读出，

中值电阻 $R_{内}$ = 分度盘_____刻线数字×_____。

·将电流刻度转化为电阻刻度：在两表笔间接已知电阻 $R_{外}$，指针偏转，根据闭合电路欧姆定律 $I=\dfrac{E}{+R_{外}}$，将指针对应电流刻度涂改为 $R_{外}$ 数值（特殊情况：红黑表笔短接，____ $=\dfrac{E}{\quad}$）。

（4）测量后

将选择开关旋至_____或_____。

♦ 实战演练 ♦

1.（2020•天津）某实验小组选用以下器材测定电池组的电动势和内阻，要求测量结果尽量准确。

电压表（量程 0～3 V，内阻约为 3 kΩ）

电流表（量程 0～0.6 A，内阻约为 1 Ω）

滑动变阻器（0～20 Ω，额定电流 1 A）

待测电池组（电动势约为 3 V，内阻约为 1 Ω）

开关、导线若干

①该小组连接的实物电路如图 1 所示，经仔细检查，发现电路中有一条导线连接不当，这条导线对应的编号是_____。

②改正这条导线的连接后开始实验，闭合开关前，滑动变阻器的滑片 *P* 应置于滑动变阻器的_____端（填“*a*”或者“*b*”）

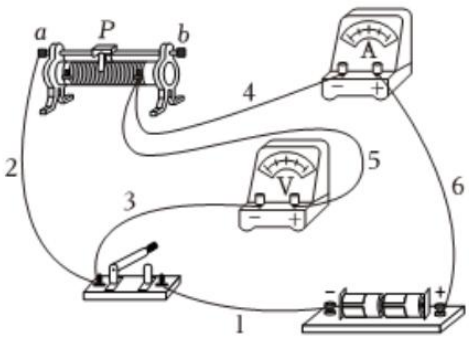


图 1

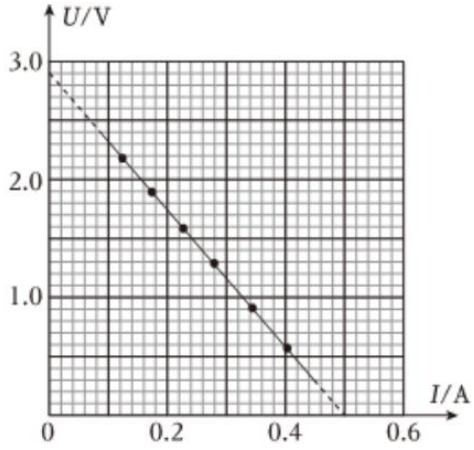


图 2

③实验中发现调节滑动变阻器时，电流表读数变化明显但电压表读数变化不明显。为了解决这个问题，在电池组负极和开关之间串联一个阻值为5 Ω的电阻，之后该小组得到了几组电压表读数 *U* 和对应的电流表读数 *I*，并作出 *U*-*I* 图像，如图 2 所示。根据图像可知，电池组的电动势为_____V，内阻为_____Ω。（结果均保留两位有效数字）

2.（2018•江苏）一同学测量某干电池的电动势和内阻。

（1）图 1 所示是该同学正准备接入最后一根导线（图中虚线所示）时的实验电路。请指出图 1 中在器材操作上存在的两个不妥之处。

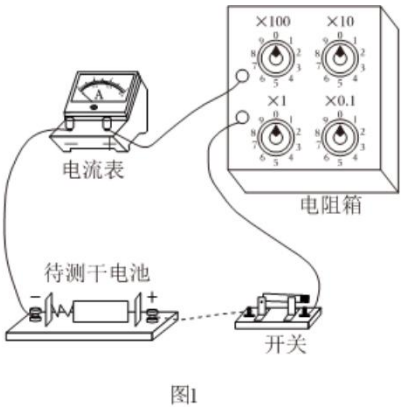
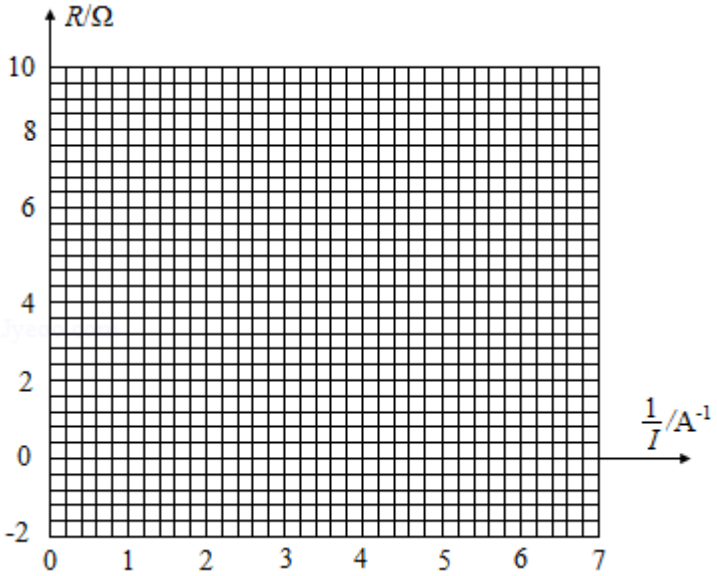


图1

（2）实验测得的电阻箱阻值 R 和电流表示数 I，以及计算的 $\frac{1}{I}$ 数据见下表：

R/Ω	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0
I/A	0.15	0.17	0.19	0.22	0.26
$\frac{1}{I}/\mathrm{A}^{-1}$	6.7	5.9	5.3	4.5	3.8



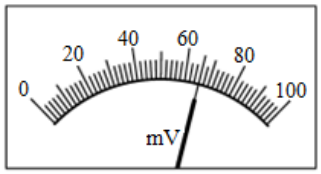


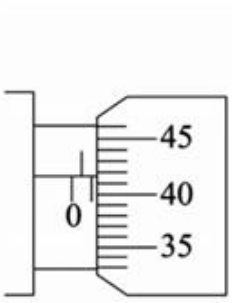
图2

根据表中数据，在答题卡的方格纸上作出 $R-\frac{1}{I}$ 关系图像。

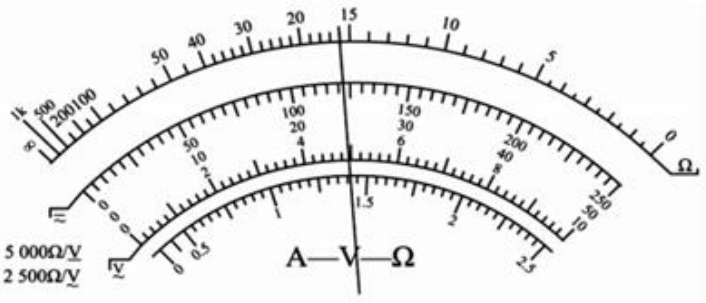
由图像可计算出该干电池的电动势为_____V；内阻为_____Ω。

（3）为了得到更准确的测量结果，在测出上述数据后，该同学将一只量程为 100 mV 的电压表并联在电流表的两端。调节电阻箱，当电流表的示数为 0.33 A 时，电压表的指针位置如图 2 所示，则该干电池的电动势应为_____V；内阻应为_____Ω。

3.（2021•福建）某实验小组使用多用电表和螺旋测微器测量一长度为 80.00 cm 电阻丝的电阻率，该电阻丝的电阻值约为100～200Ω，材料未知。实验过程如下：



图（a）



图（b）

（1）用螺旋测微器测量该电阻丝的直径，示数如图（a）所示。该电阻丝的直径为_____mm。

（2）对多用电表进行机械调零。

（3）将多用电表的选择开关旋至倍率的电阻挡_____（填“×1”“×10”“×100”或“×1k”）。

（4）将黑、红表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使指针指在电阻挡零刻度线。

（5）将黑、红表笔并接在待测电阻丝两端，多用电表的示数如图（b）所示。该电阻丝的电阻为_____Ω。

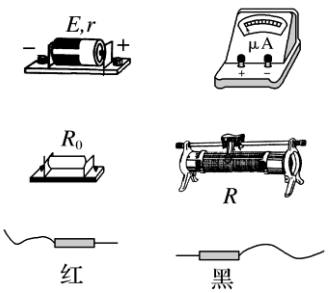
（6）测量完成之后，将表笔从插孔拔出，并将选择开关旋到“OFF”位置。

（7）实验测得的该电阻丝电阻率为_____Ω·m（结果保留 3 位有效数字）。

4.（2019·新课标 III 卷）某同学欲将内阻为 98.5 Ω、量程为 100 μA 的电流表改装成欧姆表并进行刻度和校准，要求改装后欧姆表的 15 kΩ 刻度正好对应电流表表盘的 50 μA 刻度。可选用的器材还有：定值电阻 R_0（阻值 14 kΩ），滑动变阻器 R_1（最大阻值 1500 Ω），滑动变阻器 R_2（最大阻值 500 Ω），电阻箱（0～99999.9 Ω），干电池（E＝1.5 V，r＝1.5 Ω），红、黑表笔和导线若干。

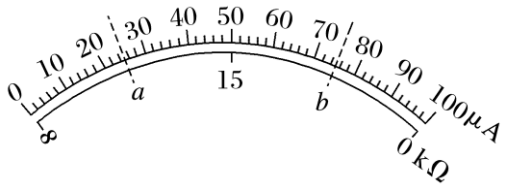
（1）欧姆表设计

将图中的实物连线组成欧姆表。欧姆表改装好后，滑动变阻器 R 接入电路的电阻应为_____Ω；滑动变阻器选_____（填“R_1”或“R_2”）。



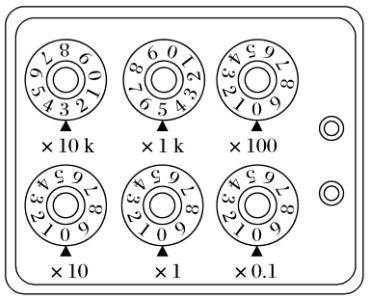
（2）刻度欧姆表表盘

通过计算，对整个表盘进行电阻刻度，如图所示，表盘上 a、b 处的电流刻度分别为 25 和 75，则 a、b 处的电阻刻度分别为_____、_____。



（3）校准

红、黑表笔短接，调节滑动变阻器，使欧姆表指针指向____kΩ 处；将红、黑表笔与电阻箱连接，记录多组电阻箱接入电路的电阻值及欧姆表上对应的测量值，完成校准数据测量。若校准某刻度时，电阻箱旋钮位置如图所示，则电阻箱接入的阻值为_____Ω。



专题十二 磁场

第 1 节 磁感应强度和安培力

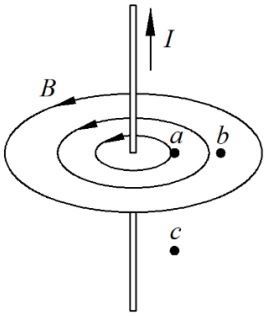
♦ 公式检测 ♦

1、磁感应强度的定义和磁感线

- 单位_____ 量性_____
- 方向：小磁针静止时_____极的指向。
- 磁感线疏密程度：磁感应强度的_____；
- 磁感线切线方向：磁感应强度的_____。

2、通电直导线产生磁场及磁感应强度的合成

（1）磁场分布

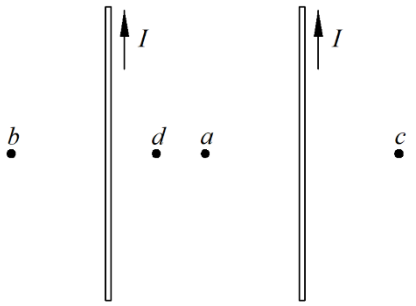


- 从上向下看，环形磁场沿_____时针方向
- 某位置 B 大小的公式 $B=k$ ——
- 与导线距离 $r_b=2r_a=2r_c$，则 $B_a=$____ $B_c=$____ B_b
- 电流 $I \rightarrow 2I$，B_a、B_b、B_c 均变为_____倍

（2）磁感应强度的合成

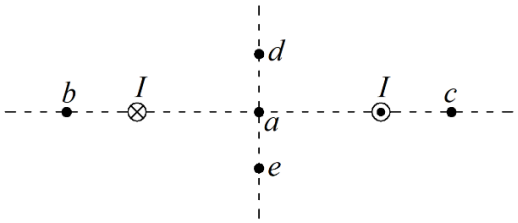
▫ 例 1

两平行直导线通等大、同向电流，a 为中点



- ▫ B_a 大小为_____
- ▫ B_b 方向为_____
- ▫ B_c 方向为_____
- ▫ B_d 方向为_____

▫ 例 2



▫ B_a 方向为_____

▫ B_b 方向为_____

▫ B_c 方向为_____

▫ B_d 方向为_____

▫ B_e 方向为_____

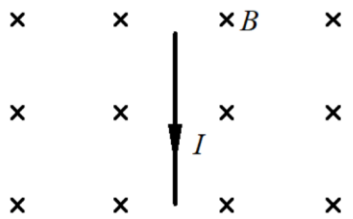
3、安培力和洛伦兹力

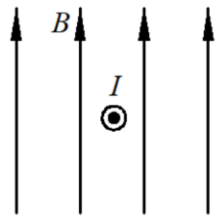
（1）安培力（通电直导线在匀强磁场中受力）

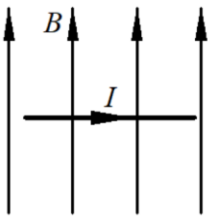
①公式：F_A = _____；

②方向：符合_____定则；

练习：描述安培力的方向







_____ _____ _____

③两通电平行直导线的作用力

同向相_____，异向相_____。

（2）洛伦兹力（运动电荷在匀强磁场中受力）

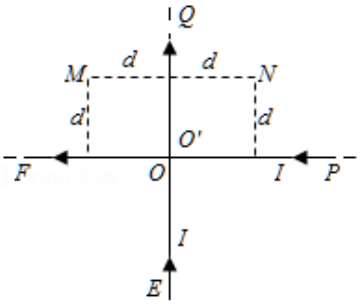
①公式：$F_{洛}$ = _____

②方向：符合_____定则

• $F_{洛}$_____功（因为 $F_{洛}$ 永远垂直于速度方向）

♦ 实战演练 ♦

1.（2021•全国甲卷）两足够长直导线均折成直角，按图示方式放置在同一平面内，EO 与 $O'Q$ 在一条直线上，PO' 与 OF 在一条直线上，两导线相互绝缘，通有相等的电流 I，电流方向如图所示。若一根无限长直导线通过电流 I 时，所产生的磁场在距离导线 d 处的磁感应强度大小为 B，则图中与导线距离均为 d 的 M、N 两点处的磁感应强度大小分别为（　　）



A．B、0　　B．0、$2B$　　C．$2B$、$2B$　　D．B、B

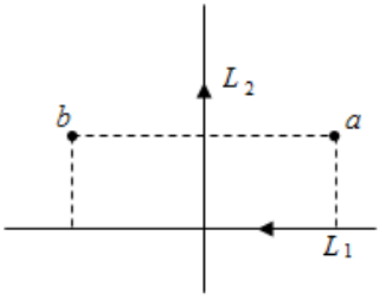
2.（多选）（2018 • 新课标 II 卷）纸面内有两条互相垂直的长直绝缘导线 L_1、L_2，L_1 中的电流方向向左，L_2 中的电流方向向上，L_1 的正上方有 a、b 两点，它们相对于 L_2 对称。整个系统处于匀强外磁场中，外磁场的磁感应强度大小为 B_0，方向垂直于纸面向外，已知 a、b 两点的磁感应强度大小分别为 $\frac{1}{3}B_0$ 和 $\frac{1}{2}B_0$，方向也垂于纸面向外，则（　　）

A．流经 L_1 的电流在 b 点产生的磁感应强度大小为 $\frac{7}{12}B_0$

B．流经 L_1 的电流在 a 点产生的磁感应强度大小为 $\frac{1}{12}B_0$

C．流经 L_2 的电流在 b 点产生的磁感应强度大小为 $\frac{1}{12}B_0$

D．流经 L_2 的电流在 a 点产生的磁感应强度大小为 $\frac{7}{12}B_0$



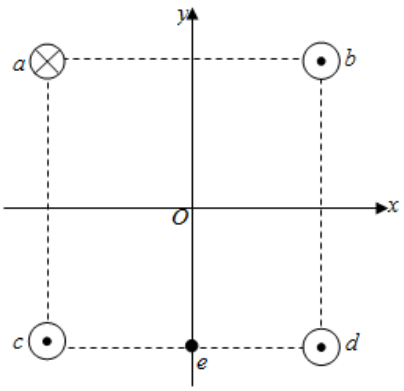
3.（多选）（2021•福建）四条相互平行的细长直导线垂直坐标系 xOy 平面，导线与坐标平面的交点为 a、b、c、d 四点。已知 a、b、c、d 为正方形的四个顶点，正方形中心位于坐标原点 O，e 为 cd 的中点且在 y 轴上；四条导线中的电流大小相等，其中过 a 点的导线的电流方向垂直坐标平面向里，其余导线电流方向垂直坐标平面向外。则（　　）

A．O 点的磁感应强度为 0

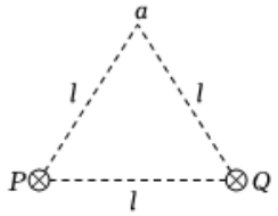
B．O 点的磁感应强度方向由 O 指向 c

C．e 点的磁感应强度方向沿 y 轴正方向

D．e 点的磁感应强度方向沿 y 轴负方向



4.（2017·新课标 III 卷）如图，在磁感应强度大小为 B_0 的匀强磁场中，两长直导线 P 和 Q 垂直于纸面固定放置，两者之间的距离为 l。在两导线中均通有方向垂直于纸面向里的电流 I 时，纸面内与两导线距离均为 l 的 a 点处的磁感应强度为零。如果让 P 中的电流反向、其他条件不变，则 a 点处磁感应强度的大小为（　　）



A．0　　B．$\frac{\sqrt{3}}{3}B_0$　　C．$\frac{2\sqrt{3}}{3}B_0$　　D．$2B_0$

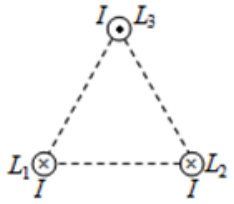
5.（多选）（2017·新课标 I 卷）三根相互平行的固定长直导线 L_1、L_2 和 L_3 两两等距，均通有电流 I，L_1 中电流方向与 L_2 中的相同，与 L_3 中的相反。下列说法正确的是（　　）

A．L_1 所受磁场作用力的方向与 L_2、L_3 所在平面垂直

B．L_3 所受磁场作用力的方向与 L_1、L_2 所在平面垂直

C．L_1、L_2 和 L_3 单位长度所受的磁场作用力大小之比为 $1:1:\sqrt{3}$

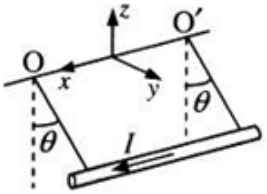
D．L_1、L_2 和 L_3 单位长度所受的磁场作用力大小之比为 $\sqrt{3}:\sqrt{3}:1$



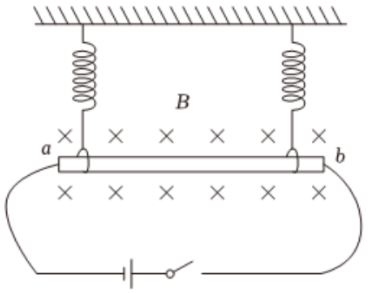
6.（多选）（2011·上海）如图，质量为 m、长为 L 的直导线用两绝缘细线悬挂于 O、O'，并处于匀强磁场中。当导线中通以沿 x 正方向的电流 I，且导线保持静止时，悬线与竖直方向夹角为 θ。则磁感应强度方向和大小可能为（　　）

A．z 正向，$\frac{mg}{IL}\tan\theta$　　B．y 正向，$\frac{mg}{IL}$

C．z 负向，$\frac{mg}{IL}\tan\theta$　　D．沿悬线向上，$\frac{mg}{IL}\sin\theta$



7.（2015·新课标 I 卷）如图，一长为 10 cm 的金属棒 ab 用两个完全相同的弹簧水平地悬挂在匀强磁场中；磁场的磁感应强度大小为 0.1 T，方向垂直于纸面向里；弹簧上端固定，下端与金属棒绝缘，金属棒通过开关与一电动势为 12 V 的电池相连，电路总电阻为 2 Ω。已知开关断开时两弹簧的伸长量均为 0.5 cm；闭合开关，系统重新平衡后，两弹簧的伸长量与开关断开时相比均改变了 0.3 cm，重力加速度大小取 10 m/s^2。判断开关闭合后金属棒所受安培力的方向，并求出金属棒的质量。



第 2 节 带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动

♦ 公式检测 ♦

1、基本公式

• 半径公式 $r=$————

（推导方程：_____）

• 周期公式 $T=$————

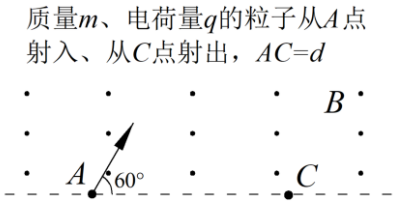
（推导方程：_____）

• 在有界磁场中运动时间 $t=\dfrac{\theta}{360°}T$

（θ表示圆弧对应的_____或粒子的速度偏转角）

2、常见磁场边界和考查形式

例 1 直线边界磁场



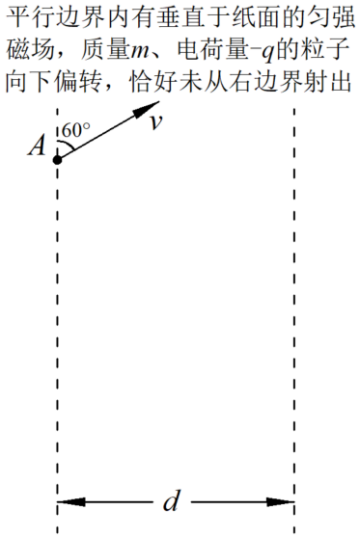
• 粒子带_____电；

• 画图：定圆心、画轨迹、找直角三角形、标出圆心角；

• 几何关系：_____，得 $r=$_____d，将 r 代入公式_____，得粒子速度 $v=$_____；

• 磁场中运动时间 $t=\dfrac{\quad}{360°}T=$_____。

例 2 粒子轨迹与磁场边界相切



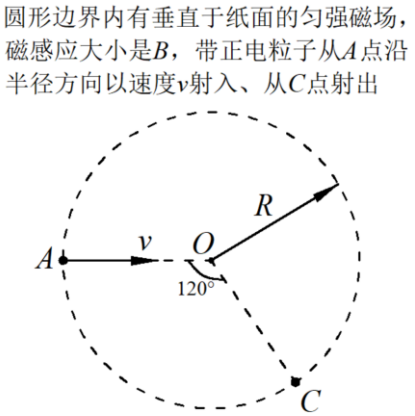
• 磁场方向：_____；

• 画图：定圆心、画轨迹、找直角三角形、标出圆心角；

• 几何关系：_____，得 $r=$_____d，得磁感应强度 $B=$_____；

• 磁场中运动时间 $t=\frac{\text{____}}{360°}T=$_____。

例 3 圆形边界磁场



• 磁场方向：_____；

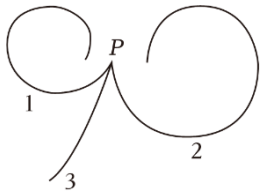
• 画图：定圆心、画轨迹、找直角三角形、标出圆心角；

• 几何关系：_____，得 $r=$_____R，得粒子比荷 $\frac{q}{m}=$_____；

• 磁场中运动时间 $t=\frac{\text{____}}{360°}T=$_____。

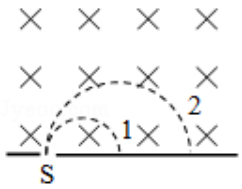
♦ 实战演练 ♦

1.（2022•北京）正电子是电子的反粒子，与电子质量相同、带等量正电荷。在云室中有垂直于纸面的匀强磁场，从 P 点发出两个电子和一个正电子，三个粒子运动轨迹如图中 1、2、3 所示。下列说法正确的是（　　）



A．磁场方向垂直于纸面向里
B．轨迹 1 对应的粒子运动速度越来越大
C．轨迹 2 对应的粒子初速度比轨迹 3 的大
D．轨迹 3 对应的粒子是正电子

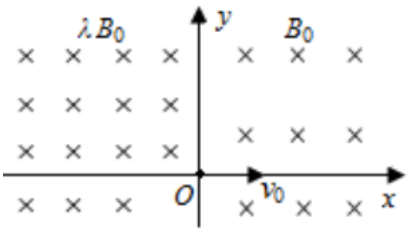
2.（2019•全国）带电粒子 1 和 2 先后在纸面内经小孔 S 垂直于磁场边界射入匀强磁场，磁场方向垂直于纸面向里，粒子运行的轨迹如图中虚线所示。若两粒子（　　）



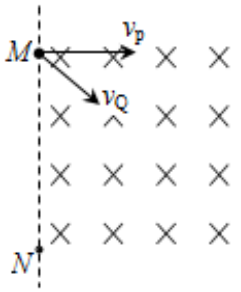
A．质量相等，则粒子 1 的速率一定小于粒子 2 的速率
B．速率相等，则粒子 1 的质量一定大于粒子 2 的质量
C．电量相等，则粒子 1 的速率一定大于粒子 2 的速率
D．比荷相等，则两粒子在磁场中的运动时间一定相等

3.（2017 • 新课标 III 卷）如图，空间存在方向垂直于纸面（xOy 平面）向里的磁场。在 $x \geqslant 0$ 区域，磁感应强度的大小为 B_0；$x<0$ 区域，磁感应强度的大小为 λB_0（常数 $\lambda>1$）。一质量为 m、电荷量为 q（q>0）的带电粒子以速度 v_0 从坐标原点 O 沿 x 轴正向射入磁场，此时开始计时，当粒子的速度方向再次沿 x 轴正向时，求（不计重力）

（1）粒子运动的时间；
（2）粒子与 O 点间的距离。



4.（多选）（2019•海南）如图，虚线 MN 的右侧有方向垂直于纸面向里的匀强磁场，两电荷量相同的粒子 P、Q 从磁场边界的 M 点先后射入磁场，在纸面内运动。射入磁场时，P 的速度 v_{P} 垂直于磁场边界，Q 的速度 v_{Q} 与磁场边界的夹角为 45°。已知两粒子均从 N 点射出磁场，且在磁场中运动的时间相同，则（　　）



A．P 和 Q 的质量之比为 $1:2$

B．P 和 Q 的质量之比为 $\sqrt{2}:1$

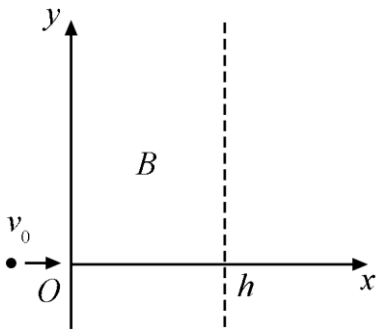
C．P 和 Q 速度大小之比为 $\sqrt{2}:1$

D．P 和 Q 速度大小之比为 $2:1$

5.（2020•新课标 II 卷）如图，在 $0\le x\le h$，$-\infty<y<+\infty$ 区域中存在方向垂直于纸面的匀强磁场，磁感应强度 B 的大小可调，方向不变。一质量为 m，电荷量为 q（q>0）的粒子以速度 v_0 从磁场区域左侧沿 x 轴进入磁场，不计重力。

（1）若粒子经磁场偏转后穿过 y 轴正半轴离开磁场，分析说明磁场的方向，并求在这种情况下磁感应强度的最小值 B_{m}；

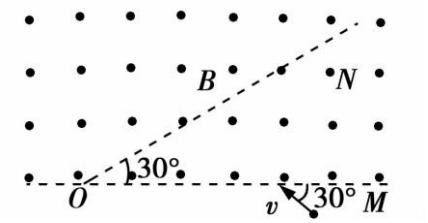
（2）如果磁感应强度大小为 $\frac{B_{\mathrm{m}}}{2}$，粒子将通过虚线所示边界上的一点离开磁场。求粒子在该点的运动方向与 x 轴正方向的夹角及该点到 x 轴的距离。



6.（2016·新课标 III 卷）平面 OM 和平面 ON 之间的夹角为 30°，其横截面（纸面）如图所示，平面 OM 上方存在匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面向外。一带电粒子的质量为 m，电荷量为 q（$q>0$）。粒子沿纸面以大小为 v 的速度从 OM 的某点向左上方射入磁场，速度与 OM 成 30° 角。已知粒子在磁场中的运动轨迹与 ON 只有一个交点，并从 OM 上另一点射出磁场。不计重力。粒子离开磁场的出射点到两平面交线 O 的距离为（　　）

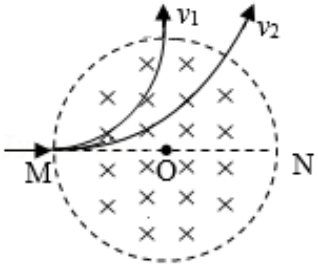
A．$\dfrac{mv}{2qB}$　　B．$\dfrac{\sqrt{3}mv}{qB}$

C．$\dfrac{2mv}{qB}$　　D．$\dfrac{4mv}{qB}$



7.（2020•全国乙卷）如图，圆形区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，质量为 m、电荷量为 q（$q>0$）的带电粒子从圆周上的 M 点沿直径 MON 方向射入磁场。若粒子射入磁场时的速度大小为 v_1，离开磁场时速度方向偏转 90°；若射入磁场时的速度大小为 v_2，离开磁场时速度方向偏转 60°。不计重力。则 $\dfrac{v_1}{v_2}$ 为（　　）

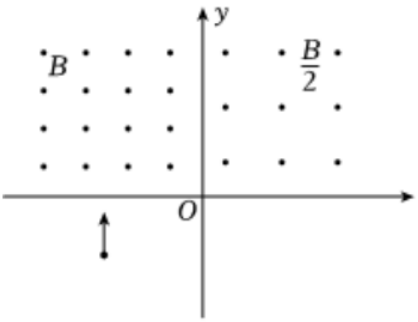
A．$\dfrac{1}{2}$　　B．$\dfrac{\sqrt{3}}{3}$　　C．$\dfrac{\sqrt{3}}{2}$　　D．$\sqrt{3}$



8.（2019•新课标 III 卷）如图，在坐标系的第一和第二象限内存在磁感应强度大小分别为 $\dfrac{1}{2}B$ 和 B、方向均垂直于纸面向外的匀强磁场。一质量为 m、电荷量为 q（$q>0$）的粒子垂直于 x 轴射入第二象限，随后垂直于 y 轴进入第一象限，最后经过 x 轴离开第一象限。若不计粒子重力，则粒子在磁场中运动的时间为（　　）

A．$\dfrac{5\pi m}{6qB}$　　B．$\dfrac{7\pi m}{6qB}$

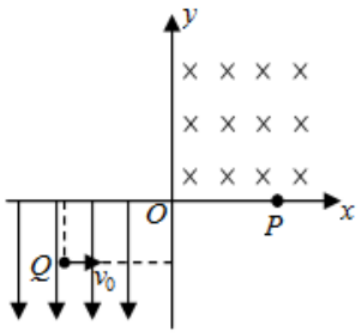
C．$\dfrac{11\pi m}{6qB}$　　D．$\dfrac{13\pi m}{6qB}$



9.（2017•天津）平面直角坐标系 xOy 中，第Ⅰ象限存在垂直于平面向里的匀强磁场，第Ⅲ象限存在沿 y 轴负方向的匀强电场，如图所示。一带负电的粒子从电场中的 Q 点以速度 v_0 沿 x 轴正方向开始运动，Q 点到 y 轴的距离为到 x 轴距离的 2 倍。粒子从坐标原点 O 离开电场进入磁场，最终从 x 轴上的 P 点射出磁场，P 点到 y 轴距离与 Q 点到 y 轴距离相等。不计粒子重力，求：

（1）粒子到达 O 点时速度的大小和方向；

（2）电场强度和磁感应强度的大小之比。



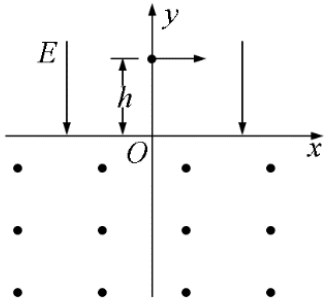
10.（2018•新课标Ⅰ卷）如图，在 $y>0$ 的区域存在方向沿 y 轴负方向的匀强电场，场强大小为 E，在 $y<0$ 的区域存在方向垂直于 xOy 平面向外的匀强磁场。一个氕核 ${}_1^1\mathrm{H}$ 和一个氘核 ${}_1^2\mathrm{H}$ 先后从 y 轴上 $y=h$ 点以相同的动能射出，速度方向沿 x 轴正方向。已知 ${}_1^1\mathrm{H}$ 进入磁场时，速度方向与 x 轴正方向的夹角为 60°，并从坐标原点 O 处第一次射出磁场。${}_1^1\mathrm{H}$ 的质量为 m，电荷量为 q。不计重力。求：

（1）${}_1^1\mathrm{H}$ 第一次进入磁场的位置到原点 O 的距离；

（2）磁场的磁感应强度大小；

（3）${}_1^2\mathrm{H}$ 第一次离开磁场的位置到原点 O 的距离。

（第（3）小问可以不做）



专题十三 电磁感应

第 1 节 楞次定律

♦ 公式检测 ♦

1、磁通量和感应电流的产生条件

（1）定义式

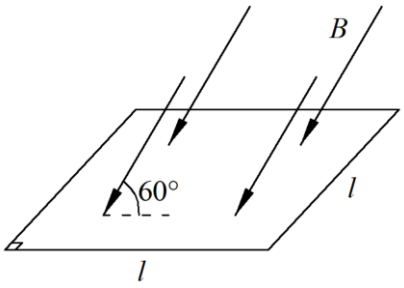
$\Phi=$_____

• 要求：在_____磁场中，B 和 S_____。

• 单位：_____（Wb）；标量。

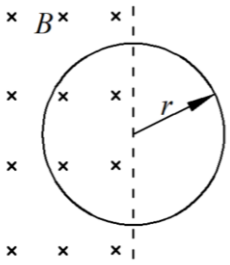
（2）面积 S 的含义

• 投影面积（B 和 S 不垂直）



$\Phi=$_____

• 有效面积（B 没有充满 S）



$\Phi=$_____

（3）注意

• 线圈匝数变多，磁通量_____；

• 若磁感线方向反向，其它条件不变，则 $\Delta\Phi=$_____ BS （最初磁通量为 BS ）；

• 若一个线圈中有多个匀强磁场穿过，Φ 指_____磁通量。

（4）感应电流产生条件

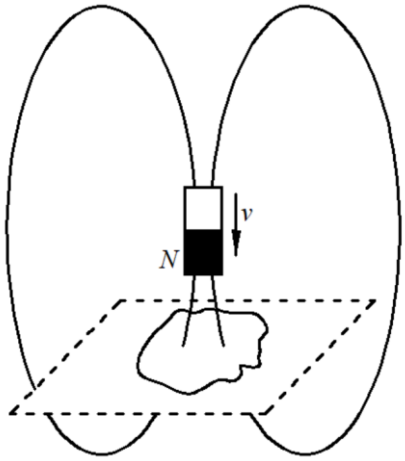
_____

2、楞次定律

（1）内容

感应电流具有这样的方向：感应电流的_____总要_____引起感应电流的_____的_____。

（2）感应电流方向的判断步骤



如图，在太空无重力环境中，悬浮着一个柔软细导线制成的闭合线圈，虚线框表示其所处的平面。一条形磁铁 N 极向下，缓慢靠近线圈。

a）填空

b）在图中画出感应磁场和感应电流的方向。

感应电流方向的判断步骤如下：

①穿过线圈的磁场由_____产生；

②该磁通量方向：_____；

③该磁通量大小正在_____；

④所以，感应磁场方向：_____；

⑤所以，感应电流的方向：_____（从上向下看）。

（3）阻碍磁通量变化的三个手段

在上例中，为阻碍磁通量的变化，一共有三种手段：

• 增反减同：产生感应电流；

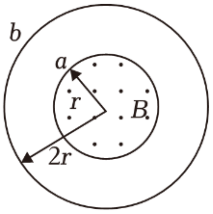
• 来拒去留：线圈向_____移动，使穿过线圈的磁感线变得稀疏，以此阻碍磁通量增大；

• 增缩减扩：线圈面积_____，以此阻碍磁通量增大。

♦ 实战演练 ♦

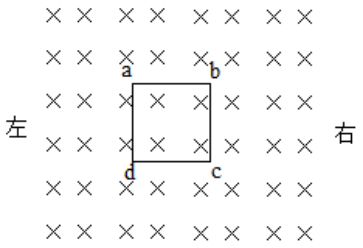
1.（2017•江苏）如图所示，两个单匝线圈 a、b 的半径分别为 r 和 $2r$。圆形匀强磁场 B 的边缘恰好与 a 线圈重合，则穿过 a、b 两线圈的磁通量之比为（　　）

A．1:1
B．1:2
C．1:4
D．4:1



2.（2005•全国）如图所示，$abcd$ 为一处于匀强磁场的方形线圈，磁场方向垂直于纸面向里，线圈位于纸面内。如果线圈做下列几种运动：

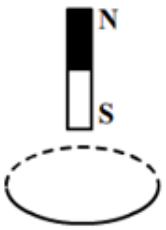
①在纸面内向右平移
②沿垂直于纸面方向平移
③绕 ab 边转动
④绕通过线圈中心、垂直于纸面的轴转动
在上述几种运动中（　　）



A．①、②都不能产生感应电流，③、④都能产生感应电流
B．②、③都不能产生感应电流，①、④都能产生感应电流
C．②、④都不能产生感应电流，①、③都能产生感应电流
D．①、②、④都不能产生感应电流，③能产生感应电流

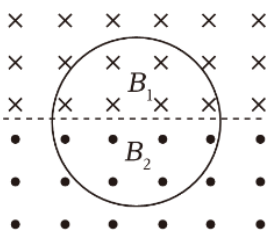
3.（2014 • 海南）如图，在一水平、固定的闭合导体圆环上方。有一条形磁铁（N 极朝上，S 极朝下）由静止开始下落，磁铁从圆环中穿过且不与圆环接触，关于圆环中感应电流的方向（从上向下看），下列说法正确的是（　　）

A．总是顺时针
B．总是逆时针
C．先顺时针后逆时针
D．先逆时针后顺时针

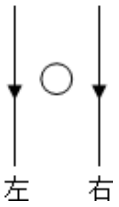


4.（2020•江苏）如图所示，两匀强磁场的磁感应强度 B_1 和 B_2 大小相等、方向相反。金属圆环的直径与两磁场的边界重合。下列变化会在环中产生顺时针方向感应电流的是（　　）

A．同时增大 B_1 减小 B_2
B．同时减小 B_1 增大 B_2
C．同时以相同的变化率增大 B_1 和 B_2
D．同时以相同的变化率减小 B_1 和 B_2

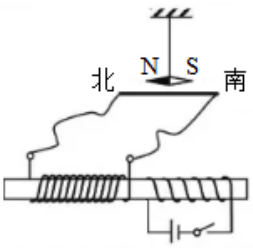


5.（2016•海南）如图，一圆形金属环与两固定的平行长直导线在同一竖直平面内，环的圆心与两导线距离相等，环的直径小于两导线间距。两导线中通有大小相等、方向向下的恒定电流。以下说法正确的是（　　）



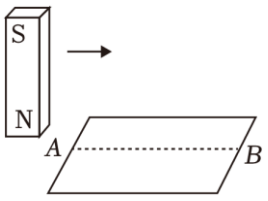
A．金属环向上运动，则环上的感应电流方向为顺时针方向
B．金属环向下运动，则环上的感应电流方向为顺时针方向
C．金属环向左侧直导线靠近，则环上的感应电流方向为逆时针
D．金属环向右侧直导线靠近，则环上的感应电流方向为逆时针

6.（多选）（2018•全国1卷）如图，两个线圈绕在同一根铁芯上，其中一线圈通过开关与电源连接，另一线圈与远处沿南北方向水平放置在纸面内的直导线连接成回路。将一小磁针悬挂在直导线正上方，开关未闭合时小磁针处于静止状态，下列说法正确的是（　　）



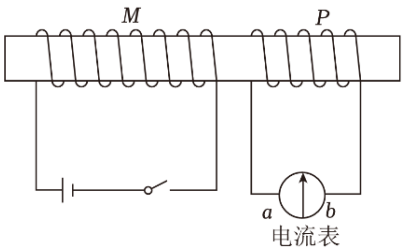
A．开关闭合后的瞬间，小磁的 N 极朝垂直纸面向里的方向转动
B．开关闭合并保持一段时间后，小磁针 N 极指向垂直纸面向里的方向
C．开关闭合并保持一段时间后，小磁针 N 极指向垂直纸面向外的方向
D．开关闭合并保持一段时间再断开后的瞬间，小磁针 N 极朝垂直纸面向外的方向转动

7.（2008•重庆）如图，粗糙水平桌面上有一质量为 m 的铜质矩形线圈。当一竖直放置的条形磁铁从线圈中线 AB 正上方等高快速经过时，若线圈始终不动，则关于线圈受到的支持力 F_N 及在水平方向运动趋势的正确判断是（　　）



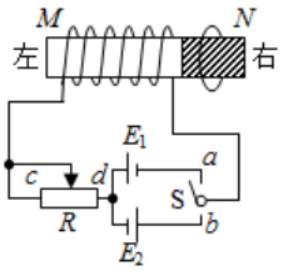
A．F_N 先小于 mg 后大于 mg，运动趋势向左
B．F_N 先大于 mg 后小于 mg，运动趋势向左
C．F_N 先小于 mg 后大于 mg，运动趋势向右
D．F_N 先大于 mg 后小于 mg，运动趋势向右

8.（2024•北京）如图，线圈 M 和线圈 P 绕在同一个铁芯上，下列说法正确的是（　　）



A．闭合开关瞬间，线圈 M 和线圈 P 相互吸引
B．闭合开关，达到稳定后，电流表的示数为0
C．断开开关瞬间，流过电流表的电流方向由 a 到 b
D．断开开关瞬间，线圈 P 中感应电流的磁场方向向左

9.（2009·海南）一长直铁芯上绕有一固定线圈 M，铁芯右端与一木质圆柱密接，木质圆柱上套有一闭合金属环 N，N 可在木质圆柱上无摩擦移动。M 连接在如图所示的电路中，其中 R 为滑动变阻器，E_1 和 E_2 为直流电源，S 为单刀双掷开关。下列情况中，可观测到 N 向左运动的是（　　）



A．在 S 断开的情况下，S 向 a 闭合的瞬间

B．在 S 断开的情况下，S 向 b 闭合的瞬间

C．在 S 已向 a 闭合的情况下，将 R 的滑动头向 c 端移动时

D．在 S 已向 a 闭合的情况下，将 R 的滑动头向 d 端移动时

10.（多选）（2014·上海）如图，匀强磁场垂直于软导线回路平面，由于磁场发生变化，回路变为圆形。则该磁场（　　）



A．逐渐增强，方向向外

B．逐渐增强，方向向里

C．逐渐减弱，方向向外

D．逐渐减弱，方向向里

第 2 节 法拉第电磁感应定律

♦ 公式检测 ♦

1、法拉第电磁感应定律的表达式

感应电动势的大小 $E=$ _____

- 产生感应电动势的部分相当于电路的_____。
- 通过闭合电路横截面的电量 $q=\bar{I}t=$ ——— $t=$ _____。

2、感生电动势（B 变、S 不变）

（1）表达式

$E=$ _____

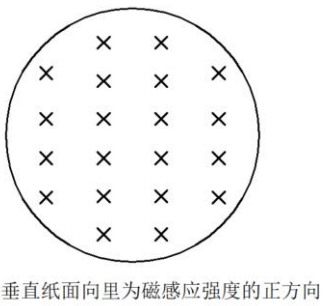
（2）$\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$ 的三种考查形式

①直接给出 $B_{初}$、$B_{末}$ 和 t：以 B 随 t 均匀增大为例，则 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=$ _____

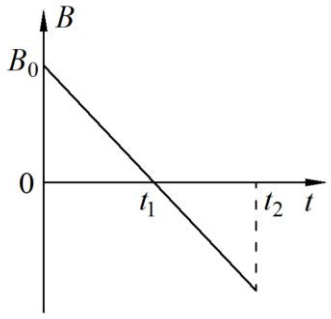
②给出 B-t 函数：例 $B=0.6-0.2t$ (SI)，则 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=$ _____

③B-t 图像

- 特征
  - $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$ 的大小对应 _____大小；
  - $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$ 的正负对应_____的方向。
- 举例



规定垂直纸面向里为磁感应强度的正方向



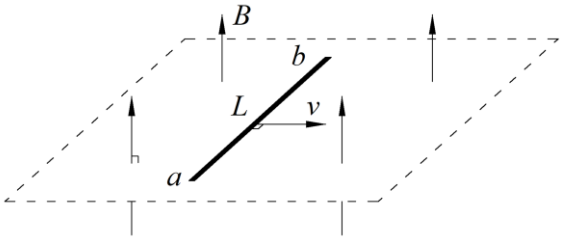
▫ $\frac{\Delta B}{\Delta t}=$ _____；

▫ 0 ~t_1感应电流沿____时针方向；t_1时刻，感应电流方向_____（选填“改变”或“不变”）。

3、动生电动势（导体棒切割磁感线）

（1）平动切割

$E=$ _____



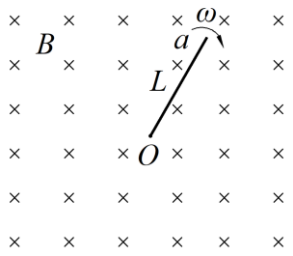
• 适用于 B，l，v 两两_____的情况。

• 感应电动势（或感应电流）的方向符合_____定则；

如图，感应电动势方向：_____端 → _____端；电势高低：φ_a____φ_b。

（2）转动切割（以导体棒一个端点 O 为圆心）

$E=$ _____

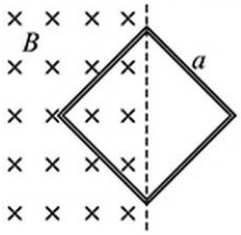


• 若匀速转动，电动势大小_____（选填“增大”、“减小”或“不变”）。

• 如图，感应电动势方向：_____端 → _____端。

♦ 实战演练 ♦

1.（2014·江苏）如图所示，一正方形线圈的匝数为 n，边长为 a，线圈平面与匀强磁场垂直，且一半处在磁场中，在 Δt 时间内，磁感应强度的方向不变，大小由 B 均匀地增大到 $2B$，在此过程中，线圈中产生的感应电动势为（　　）



A．$\dfrac{Ba^2}{2\Delta t}$　　B．$\dfrac{nBa^2}{2\Delta t}$

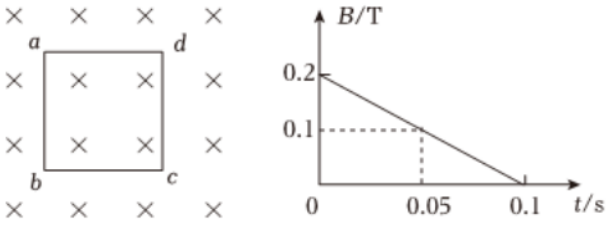
C．$\dfrac{nBa^2}{\Delta t}$　　D．$\dfrac{2nBa^2}{\Delta t}$

2.（2020·天津）如图，垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度 B 随时间 t 均匀变化。正方形硬质金属框 $abcd$ 放置在磁场中，金属框平面与磁场方向垂直，电阻 $R = 0.1\ \Omega$，边长 $l = 0.2\ \text{m}$。求

（1）在 $t = 0$ 到 $t = 0.1\ \text{s}$ 时间内，金属框中的感应电动势 E；

（2）$t = 0.05\ \text{s}$ 时，金属框 ab 边受到的安培力 F 的大小和方向；

（3）在 $t = 0$ 到 $t = 0.1\ \text{s}$ 时间内，金属框中电流的电功率 P。



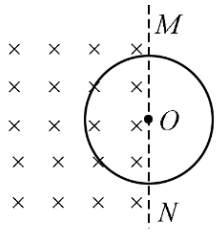
3.（多选）（2019·全国1卷）空间存在一方向与纸面垂直、大小随时间变化的匀强磁场，其边界如图（a）中虚线 MN 所示，一硬质细导线的电阻率为 ρ、横截面积为 S，将该导线做成半径为 r 的圆环固定在纸面内，圆心 O 在 MN 上。$t=0$ 时磁感应强度的方向如图（a）所示，磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图（b）所示，则在 $t=0$ 到 $t=t_1$ 的时间间隔内（　　）

A．圆环所受安培力的方向始终不变

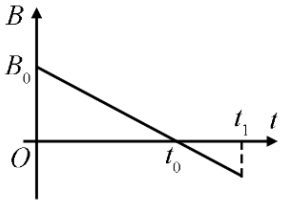
B．圆环中的感应电流始终沿顺时针方向

C．圆环中的感应电流大小为 $\dfrac{B_0rS}{4t_0\rho}$

D．圆环中的感应电动势大小为 $\dfrac{B_0\pi r^2}{4t_0}$



图（a）

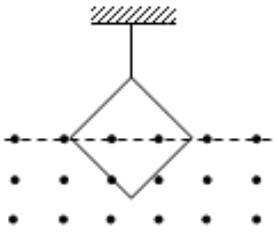


图（b）

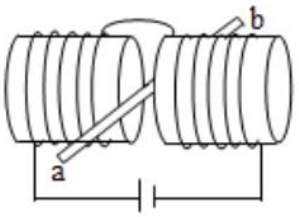
4.（2022·全国乙卷）如图，一不可伸长的细绳的上端固定，下端系在边长为 $l=0.40$ m 的正方形金属框的一个顶点上。金属框的一条对角线水平，其下方有方向垂直于金属框所在平面的匀强磁场。已知构成金属框的导线单位长度的阻值为 $\lambda=5.0\times10^{-3}$ Ω/m；在 $t=0$ 到 $t=3.0$ s 时间内，磁感应强度大小随时间 t 的变化关系为 $B(t)=0.3-0.1t$ (SI)。求

（1）$t=2.0$ s 时金属框所受安培力的大小；

（2）在 $t=0$ 到 $t=2.0$ s 时间内金属框产生的焦耳热。



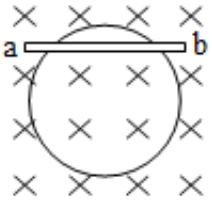
5.（2010•全国）如图所示，两个端面半径同为R的圆柱形铁芯同轴水平放置，相对的端面之间有一缝隙，铁芯上绕导线并与电源连接，在缝隙中形成一匀强磁场。一铜质细直棒ab水平置于缝隙中，且与圆柱轴线等高、垂直。让铜棒从静止开始自由下落，铜棒下落距离为$0.2R$时铜棒中电动势大小为E_1，下落距离为$0.8R$时电动势大小为E_2。忽略涡流损耗和边缘效应。关于E_1、E_2的大小和铜棒离开磁场前两端的极性，下列判断正确的是（　　）



A．$E_1>E_2$，a端为正　　B．$E_1>E_2$，b端为正

C．$E_1<E_2$，a端为正　　D．$E_1<E_2$，b端为正

6.（2020•全国）一直径为d、电阻为r的均匀光滑金属圆环水平放置在方向竖直向下的匀强磁场中，磁场的磁感应强度大小为B，如图所示。一根长为d、电阻为$\frac{r}{2}$的金属棒ab始终在圆环上以速度v（方向与棒垂直）匀速平动，与圆环接触良好。当ab棒运动到圆环的直径位置时，ab棒中的电流为（　　）



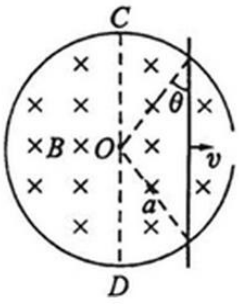
A．$\frac{2Bdv}{3r}$　　B．$\frac{4Bdv}{3r}$

C．$\frac{Bdv}{r}$　　D．$\frac{2Bdv}{r}$

7.（多选）（2012•四川）半径为a右端开小口的导体圆环和长为$2a$的导体直杆，单位长度电阻均为R_0。圆环水平固定放置，整个内部区域分布着竖直向下的匀强磁场，磁感应强度为B，杆在圆环上以速度v平行于直径CD向右做匀速直线运动，杆始终有两点与圆环良好接触，从圆环中心O开始，杆的位置由θ确定，如图所示。则（　　）

A．$\theta=0$时，杆产生的电动势为$2Bav$

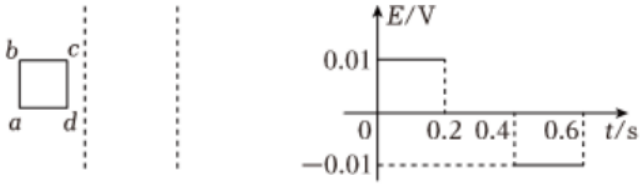
B．$\theta=\frac{\pi}{3}$时，杆产生的电动势为$\sqrt{3}Bav$



C．$\theta=0$时，杆受的安培力大小为$\frac{2B^2av}{(\pi+2)R_0}$

D．$\theta=\frac{\pi}{3}$时，杆受的安培力大小为$\frac{3B^2av}{(5\pi+3)R_0}$

8.（多选）（2017·全国 2 卷）两条平行虚线间存在一匀强磁场，磁感应强度方向与纸面垂直。边长为 0.1 m、总电阻为 0.005 Ω 的正方形导线框 *abcd* 位于纸面内，*cd* 边与磁场边界平行，如图（a）所示。已知导线框一直向右做匀速直线运动，*cd* 边于 $t=0$ 时刻进入磁场。线框中感应电动势随时间变化的图线如图（b）所示（感应电流的方向为顺时针时，感应电动势取正）。下列说法正确的是（　　）



图(a)　　图(b)

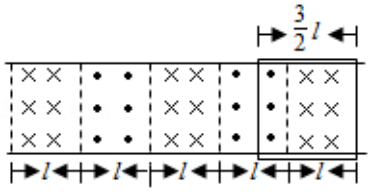
A．磁感应强度的大小为 0.5 T

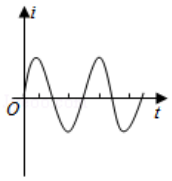
B．导线框运动速度的大小为 0.5 m/s

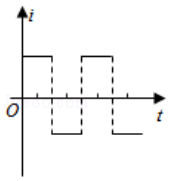
C．磁感应强度的方向垂直于纸面向外

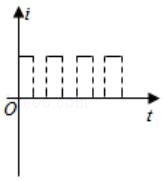
D．在 $t=0.4$ s 至 $t=0.6$ s 这段时间内，导线框所受的安培力大小为 0.1 N

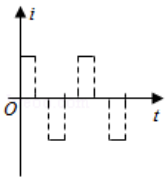
9.（2018·全国 2 卷）如图，在同一水平面内有两根平行长导轨，导轨间存在依次相邻的矩形匀强磁场区域，区域宽度均为 L，磁感应强度大小相等、方向交替向上向下，一边长为 $\frac{3}{2}L$ 的正方形金属线框在导轨上向左匀速运动，线框中感应电流 i 随时间变化的正确图线可能是（　　）



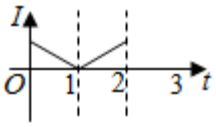
A. 

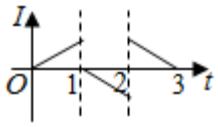
B. 

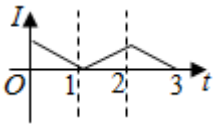
C. 

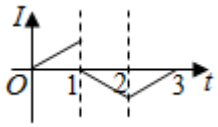
D. 

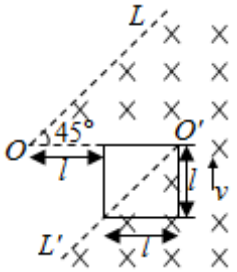
10.（2007·全国 1 卷）如图所示，$LOO'L'$为一折线，它所形成的两个角$\angle LOO'$和$\angle OO'L'$均为 45°。折线的右边有一匀强磁场，其方向垂直于纸面向里。一边长为 l 的正方形导线框沿垂直于 OO'的方向以速度 v 做匀速直线运动，在 $t=0$ 时刻恰好位于图中所示位置。以逆时针方向为导线框中电流的正方向，在下面四幅图中能够正确表示电流-时间（I-t）关系的是（时间以 l/v 为单位）（　　）

A. 

B. 

C. 

D. 



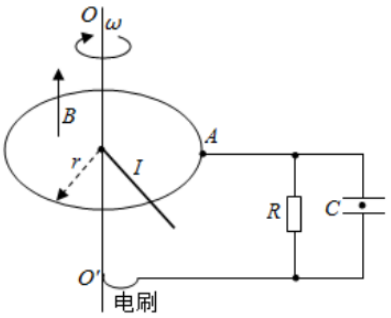
11.（2020·浙江）如图所示，固定在水平面上的半径为 r 的金属圆环内存在方向竖直向上、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。长为 l 的金属棒，一端与圆环接触良好，另一端固定在竖直导电转轴OO'上，随轴以角速度 ω 匀速转动。在圆环的 A 点和电刷间接有阻值为 R 的电阻和电容为 C、板间距为 d 的平行板电容器，有一带电微粒在电容器极板间处于静止状态。已知重力加速度为 g，不计其它电阻和摩擦，下列说法正确的是（　　）

A．棒产生的电动势为$\frac{1}{2}Bl^2\omega$

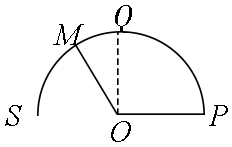
B．微粒的电荷量与质量之比为$\frac{2gd}{Br^2\omega}$

C．电阻消耗的电功率为$\frac{\pi B^2r^4\omega}{2R}$

D．电容器所带的电荷量为$CBr^2\omega$



12.（2018·全国 1 卷）如图，导体轨道 $OPQS$ 固定，其中 PQS 是半圆弧，Q 为半圆弧的中点，O 为圆心。轨道的电阻忽略不计。OM 是有一定电阻。可绕 O 转动的金属杆。M 端位于 PQS 上，OM 与轨道接触良好。空间存在与半圆所在平面垂直的匀强磁场，磁感应强度的大小为 B，现使 OM 从 OQ 位置以恒定的角速度逆时针转到 OS 位置并固定（过程Ⅰ）；再使磁感应强度的大小以一定的变化率从 B 增加到 B'（过程Ⅱ）。在过程Ⅰ、Ⅱ中，流过 OM 的电荷量相等，则$\frac{B'}{B}$等于（　　）

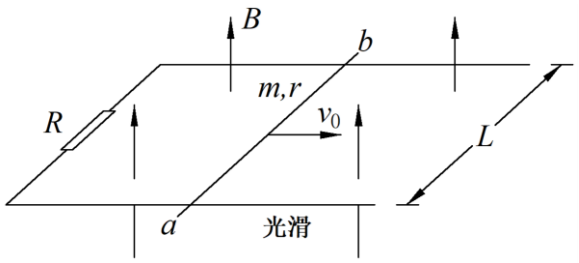


A．$\frac{5}{4}$　　B．$\frac{3}{2}$　　C．$\frac{7}{4}$　　D．2

第 3 节 导体棒切割模型

♦ 公式检测 ♦

1、模型一（单棒水平切割（有v_0））



• 导体棒中感应电流方向：_____→_____；

安培力方向：与导体棒运动方向_____。

• 推导安培力大小表达式

$E=$_____

$I=$_____ 联立得 $F_A=$_____

$F_A=$_____

• 根据牛二律 $a=\frac{\quad}{m}$，导体棒做_____运动，最终_____。

• 动能定理：_____

• 能量守恒：_____

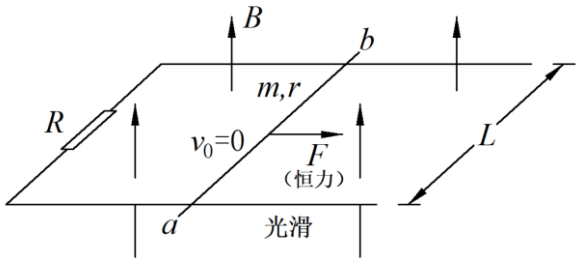
具体的，$Q_R=$_____Q，$Q_r=$_____Q

• 动量定理：_____

其中，$\bar{I}t=q$，结合 $q=n\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}=\frac{B\cdot Lx}{R+r}$，可求出导体棒的移动距离 x。

（请同学们自己思考：若导轨粗糙，牛二律、动能定理和能量守恒应如何书写？）

2、模型二（单棒水平切割（有恒力 F））



• 导体棒中感应电流方向：_____→_____；

安培力方向：与导体棒运动方向_____。

• 推导安培力大小表达式

$E=$_____

$I=$_____ } 联立得 $F_A=$_____

$F_A=$_____

• 根据牛二律 $a=\dfrac{\qquad}{m}$，导体棒做_____运动，最终做_____运动。

• 导体棒最大速度：根据二力平衡_____，得 $v_{max}=$_____。

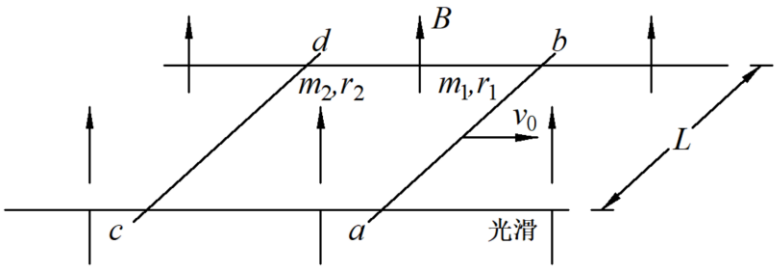
• 动能定理：_____

• 能量守恒：_____

具体的，$Q_R=$_____Q，$Q_r=$_____Q

（请同学们自己思考：若导轨粗糙，牛二律、动能定理和能量守恒应如何书写？）

3、模型三（双棒切割（动量守恒））



- 回路中感应电流方向：_____→_____→_____→_____→_____

  导体棒 ab 安培力方向：向_____

  导体棒 cd 安培力方向：向_____

- 二者安培力_____大_____向

- 推导安培力大小表达式

  $E_1=$_____，$E_2=$_____，$E_{合}=$_____

  $I=$_____

  $F_A=$_____

  } 联立得 $F_A=$_____

- 牛二律 $a_1=\dfrac{\text{\_\_\_\_\_}}{m_1}$，导体棒 ab 做_____运动；

  牛二律 $a_2=\dfrac{\text{\_\_\_\_\_}}{m_2}$，导体棒 cd 做_____运动；

  最终，二者以_____速度做_____运动。

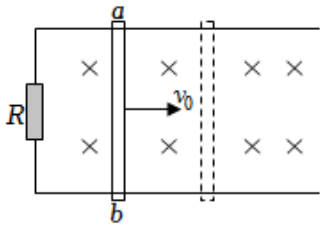
- 动量守恒定律：_____，得 $v_{共}=$_____

- 能量守恒：_____

  具体的，$Q_1=$_____Q，$Q_2=$_____Q

♦ 实战演练 ♦

1.（2021·北京）如图所示，在竖直向下的匀强磁场中，水平 U 形导体框左端连接一阻值为 R 的电阻，质量为 m、电阻为 r 的导体棒 ab 置于导体框上。不计导体框的电阻、导体棒与框间的摩擦。ab 以水平向右的初速度 v_0 开始运动，最终停在导体框上。在此过程中（　　）



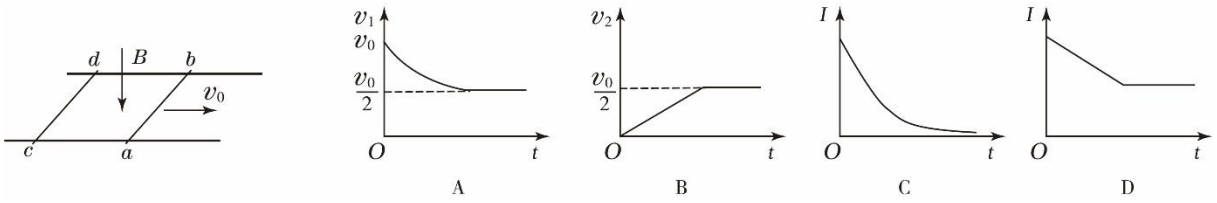
A．导体棒做匀减速直线运动

B．导体棒中感应电流的方向为 $a\to b$

C．电阻 R 消耗的总电能为 $\dfrac{mv_0^2R}{2(R+r)}$

D．导体棒克服安培力做的总功小于 $\dfrac{1}{2}mv_0^2$

2.（多选）（2019·全国 3 卷）如图，方向竖直向下的匀强磁场中有两根位于同一水平面内的足够长的平行金属导轨，两相同的光滑导体棒 ab、cd 静止在导轨上。$t=0$ 时，棒 ab 以初速度 v_0 向右滑动。运动过程中，ab、cd 始终与导轨垂直并接触良好，两者速度分别用 v_1、v_2 表示，回路中的电流用 I 表示。下列图像中可能正确的是（　　）

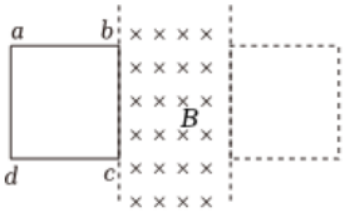


3.（2020·江苏）如图所示，电阻为0.1 Ω的正方形单匝线圈 $abcd$ 的边长为0.2 m，bc 边与匀强磁场边缘重合。磁场的宽度等于线圈的边长，磁感应强度大小为0.5 T。在水平拉力作用下，线圈以8 m/s 的速度向右穿过磁场区域。求线圈在上述过程中

（1）感应电动势的大小 E；

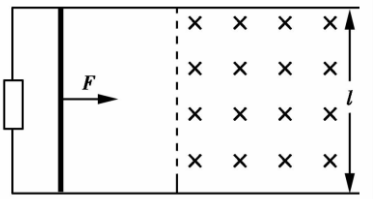
（2）所受拉力的大小 F；

（3）感应电流产生的热量 Q。



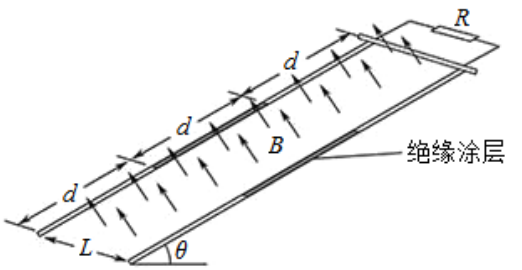
4.（2016·全国 2 卷）如图，水平面（纸面）内间距为l的平行金属导轨间接一电阻，质量为m、长度为l的金属杆置于导轨上，$t=0$时，金属杆在水平向右、大小为F的恒定拉力作用下由静止开始运动，t_0时刻，金属杆进入磁感应强度大小为B、方向垂直于纸面向里的匀强磁场区域，且在磁场中恰好能保持匀速运动。杆与导轨的电阻均忽略不计，两者始终保持垂直且接触良好，两者之间的动摩擦因数为μ。重力加速度大小为g。求

（1）金属杆在磁场中运动时产生的电动势的大小；
（2）电阻的阻值。



5.（2014·江苏）如图所示，在匀强磁场中有一倾斜的平行金属导轨，导轨间距为L，长为$3d$，导轨平面与水平面的夹角为θ，在导轨的中部刷有一段长为d的薄绝缘涂层，匀强磁场的磁感应强度大小为B，方向与导轨平面垂直，质量为m的导体棒从导轨的顶端由静止释放，在滑上涂层之前已经做匀速运动，并一直匀速滑到导轨底端。导体棒始终与导轨垂直，且仅与涂层间有摩擦，接在两导轨间的电阻为R，其它部分的电阻均不计，重力加速度为g，求：

（1）导体棒与涂层间的动摩擦因数μ；
（2）导体棒匀速运动的速度大小v；
（3）整个运动过程中，电阻产生的焦耳热Q。

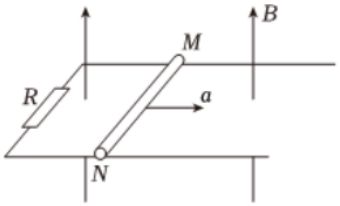


6.（2012•天津）如图所示，一对光滑的平行金属导轨固定在同一水平面内，导轨间距 l = 0.5 m，左端接有阻值 R = 0.3 Ω 的电阻，一质量 m = 0.1 kg，电阻 r = 0.1 Ω 的金属棒 MN 放置在导轨上，整个装置置于竖直向上的匀强磁场中，磁场的磁感应强度 B = 0.4 T。棒在水平向右的外力作用下，由静止开始以 a = 2 m/s^2 的加速度做匀加速运动，当棒的位移 x = 9 m 时撤去外力，棒继续运动一段距离后停下来，已知撤去外力前后回路中产生的焦耳热之比 Q_1 : Q_2 = 2:1。导轨足够长且电阻不计，棒在运动过程中始终与导轨垂直且两端与导轨保持良好接触。求：

（1）棒在匀加速运动过程中，通过电阻 R 的电荷量 q；

（2）撤去外力后回路中产生的焦耳热 Q_2；

（3）外力做的功 W_F。

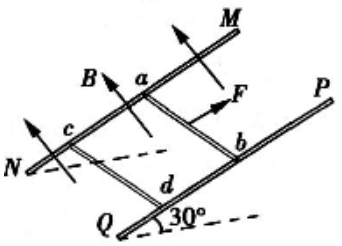


7.（2011•天津）如图所示，两根足够长的光滑金属导轨 MN、PQ 间距为 L = 0.5 m，其电阻不计，两导轨及其构成的平面均与水平面成 30° 角。完全相同的两金属棒 ab、cd 分别垂直导轨放置，每根棒两端都与导轨始终有良好接触，已知两棒的质量均为 0.02 kg，电阻均为 R = 0.1 Ω，整个装置处在垂直于导轨平面向上的匀强磁场中，磁感应强度为 B = 0.1 T，棒 ab 在平行于导轨向上的力 F 作用下，沿导轨向上匀速运动，而棒 cd 恰好能保持静止。取 g = 10 m/s^2，问：

（1）通过 cd 棒的电流 I 是多少，方向如何？

（2）棒 ab 受到的力 F 多大？

（3）棒 cd 每产生 Q = 0.1 J 的热量，力 F 做的功 W 是多少？

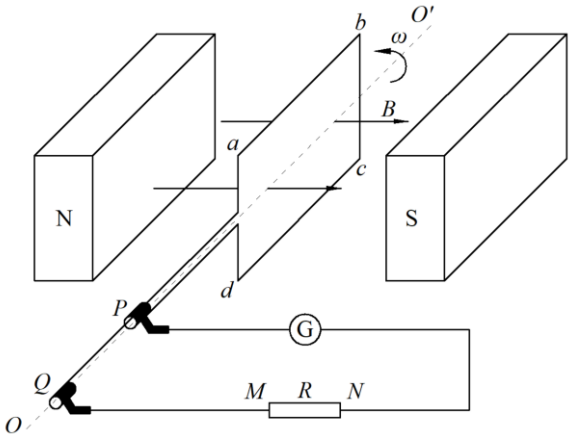


专题十四 交变电流

第 1 节 正弦式交流电

♦ 公式检测 ♦

1、中性面和平行面



• 中性面：B_____S，磁通量最_____，感应电动势最_____，电流方向_____；

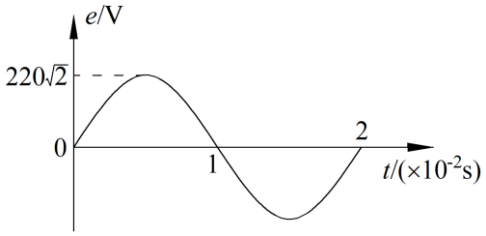
平行面：B_____S，磁通量最_____，感应电动势最_____，电流方向_____。

• 如图所示时刻之后的$\frac{1}{4}T$ 内，电阻 R 上电流的方向：_____端 → _____端。

• 相关公式：$\omega=\frac{\quad}{T}$，$f=\frac{\quad}{T}$，$\Phi_m=$_____，$E_m=$_____，有效值$=\frac{\text{最大值}}{\quad}$。

2、常见图像和考点

① *e-t* 图像



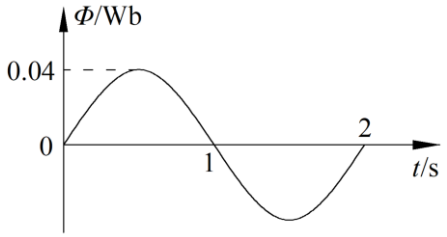
• 周期$T=$_____，则角速度$\omega=$_____，频率 $f=$_____，1 s 内电流方向改变_____次。

• 感应电动势最大值$E_m=$_____，则有效值$E=$_____，一个周期时间内回路产生热量$Q=$_____（回路总电阻$R=10\ \Omega$）。

·$t=0$ 时刻，线框平面与磁感线_____（选填“垂直”或“平行”）；$t=0.015$ s 时刻，感应电动势最_____，磁通量最_____。

·*e-t* 图像对应方程：_____

② *Φ-t* 图像



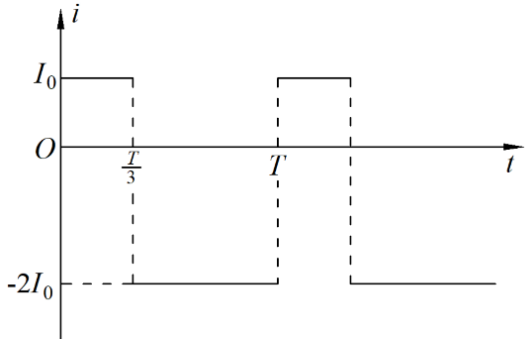
·周期$T=$_____，则角速度$\omega=$_____，频率 $f=$_____。

·磁通量最大值$\Phi_m=$_____，感应电动势最大值$E_m=$_____（线框匝数$n=100$ 匝），有效值$E=$_____，一个周期内回路产生热量$Q=$_____（回路总电阻$R=10\ \Omega$）。

·$t=0$ 时刻，线框平面与磁感线_____（选填“垂直”或“平行”）；$t=1$ s 时刻，感应电动势最_____，磁通量最_____。

·*Φ-t* 图像对应方程：_____。

3、方形波交变电流的有效值



·一个 *T* 内交变电流通过电阻 *R* 的热量

$Q_{交}=$_____

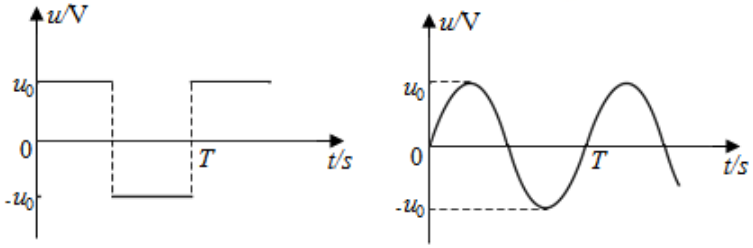
·令恒定电流在相同时间通过相同电阻的热量$Q_{恒}=Q_{交}$，

即_____

得 该交流电的电流有效值 $I=$_____

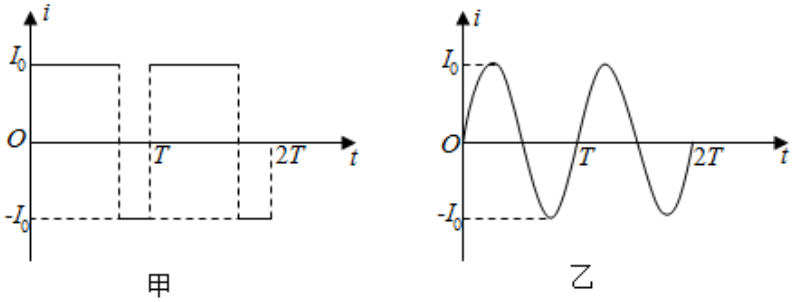
♦ 实战演练 ♦

1.（2018·全国3卷）一电阻接到方波交流电源上，在一个周期内产生的热量为$Q_{方}$；若该电阻接到正弦交流电源上，在一个周期内产生的热量为$Q_{正}$。该电阻上电压的峰值均为u_0，周期均为T，如图所示。则$Q_{方}:Q_{正}$等于（　　）



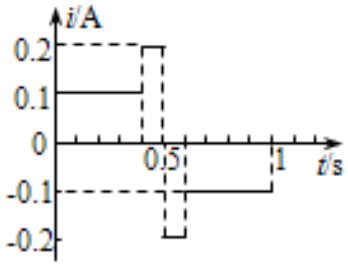
A．$1:\sqrt{2}$　　B．$\sqrt{2}:1$　　C．1:2　　D．2:1

2.（2020•海南）图甲、乙分别表示两种电流的波形，其中图乙所示电流按正弦规律变化，分别用I_1和I_2表示甲和乙两电流的有效值，则（　　）



A．$I_1:I_2=2:1$　　B．$I_1:I_2=1:2$　　C．$I_1:I_2=1:\sqrt{2}$　　D．$I_1:I_2=\sqrt{2}:1$

3.（2013·海南）通过一阻值$R=100\,\Omega$的电阻的交变电流如图所示，其周期为1 s。电阻两端电压的有效值为（　　）



A．12 V　　B．$4\sqrt{10}$ V　　C．15 V　　D．$8\sqrt{5}$ V

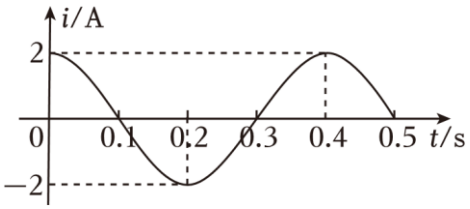
4.（2021•北京）一正弦式交变电流的 i - t 图像如图所示。下列说法正确的是（　　）

A．在 $t=0.4$ s 时电流改变方向

B．该交变电流的周期为 0.5 s

C．该交变电流的表达式为 $i=2\cos 5\pi t$ A

D．该交变电流的有效值为 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ A



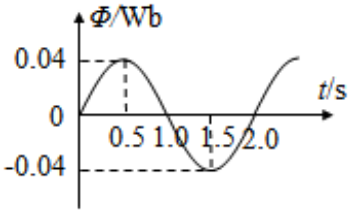
5.（多选）（2017 • 天津）在匀强磁场中，一个 100 匝的闭合矩形金属线圈，绕与磁感线垂直的固定轴匀速转动，穿过该线圈的磁通量随时间按正弦规律变化。设线圈总电阻为 2 Ω，则（　　）

A．$t=0$ 时，线圈平面平行于磁感线

B．$t=1$ s 时，线圈中的电流改变方向

C．$t=1.5$ s 时，线圈中的感应电动势最大

D．一个周期内，线圈产生的热量为 $8\pi^2$ J



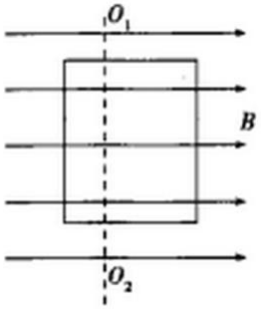
6.（多选）（2011 •四川）如图所示，在匀强磁场中匀速转动的单匝矩形线圈的周期为 T，转轴 O_1O_2 垂直于磁场方向，线圈电阻为 2 Ω。从线圈平面与磁场方向平行时开始计时，线圈转过 60°时的感应电流为 1 A。那么（　　）

A．线圈消耗的电功率为 4 W

B．线圈中感应电流的有效值为 2 A

C．任意时刻线圈中的感应电动势为 $e=4\cos\frac{2\pi}{T}t$

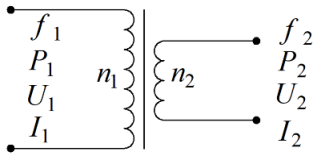
D．任意时刻穿过线圈的磁通量为 $\Phi=\frac{T}{\pi}\sin\frac{2\pi}{T}t$



第 2 节 变压器

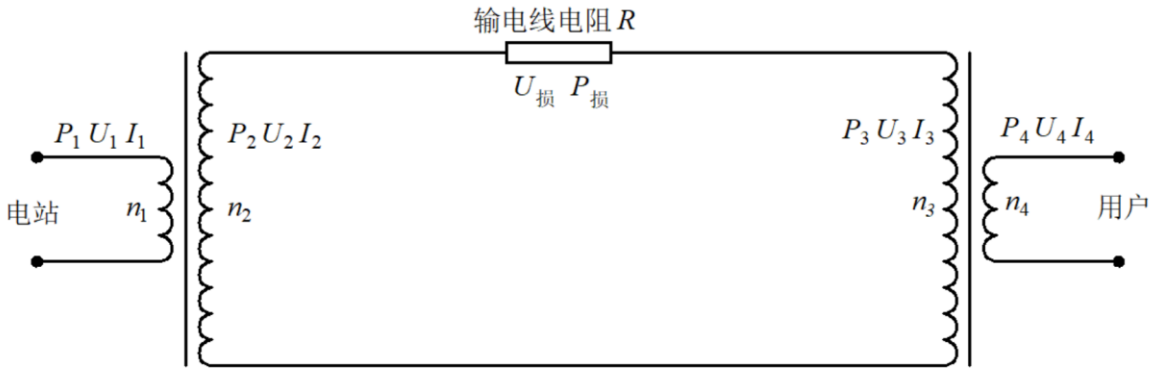
♦ 公式检测 ♦

1、变压器基本关系（一组副线圈）



	公式	决定关系
频率	f_1_____ f_2	_____决定_____
功率	P_1_____ P_2	_____决定_____
电压	$\frac{U_1}{U_2}=$_____	_____决定_____
电流	$\frac{I_1}{I_2}=$_____	_____决定_____

2、远距离高压输电



（1）前提

• 输送功率一定，即_____和_____为定值。

• 输电线电阻一定，即_____为定值。

（2）重要关系

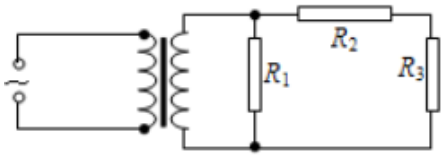
• $U_{损}=$_____=_____

• $P_{损}=$_____=_____

故，采用_____输电，可以降低$U_{损}$和$P_{损}$。

♦ 实战演练 ♦

1.（多选）（2019·海南）如图，一理想变压器输入端接交流恒压源，输出端电路由 R_1、R_2、R_3 三个电阻构成。将该变压器原、副线圈的匝数比由 5:1 改为 10:1 后（　　）



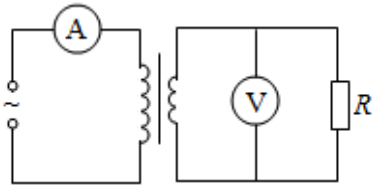
A．流经 R_1 的电流减小到原来的 $\frac{1}{4}$

B．R_2 两端的电压增加到原来的 2 倍

C．R_3 端的电压减小到原来的 $\frac{1}{2}$

D．电阻上总的热功率减小到原来的 $\frac{1}{4}$

2.（2018·天津）教学用发电机能够产生正弦式交变电流。利用该发电机（内阻可忽略）通过理想变压器向定值电阻 R 供电，电路如图，理想交流电流表 A、理想交流电压表 V 的读数分别为 I、U，R 消耗的功率为 P。若发电机线圈的转速变为原来的 $\frac{1}{2}$，则（　　）



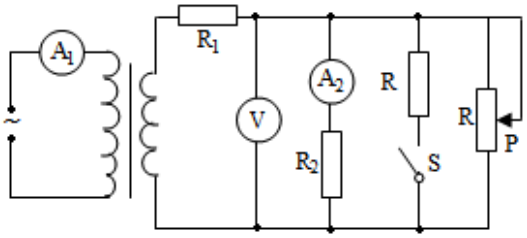
A．R 消耗的功率变为 $\frac{1}{2}P$

B．电压表 V 的读数变为 $\frac{1}{2}U$

C．电流表 A 的读数变为 $2I$

D．通过 R 的交变电流频率不变

3.（2016·天津）如图所示，理想变压器原线圈接在交流电源上，图中各电表均为理想电表，下列说法正确的是（　　）



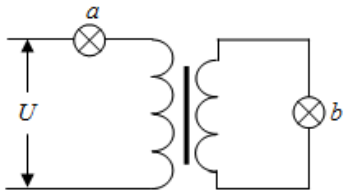
A．当滑动变阻器的滑动触头 P 向上滑动时，R_1 消耗的功率变大

B．当滑动变阻器的滑动触头 P 向上滑动时，电压表 V 示数变大

C．当滑动变阻器的滑动触头 P 向上滑动时，电流表 A_1 示数变大

D．若闭合开关 S，则电流表 A_1 示数变大，A_2 示数变大

4.（多选）（2016·全国 3 卷）理想变压器原、副线圈分别接有额定电压相同的灯泡 a 和 b。当输入电压 U 为灯泡额定电压的 10 倍时，两灯泡均能正常发光。下列说法正确的是（　　）

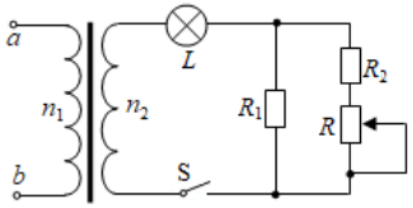


A．原、副线圈匝数之比为 9:1
B．原、副线圈匝数之比为 1:9
C．此时 a 和 b 的电功率之比为 9:1
D．此时 a 和 b 的电功率之比为 1:9

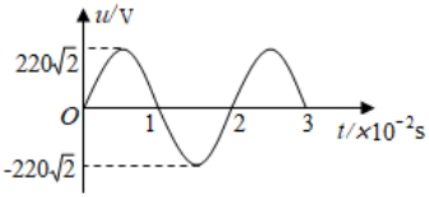
5.（2014·海南）理想变压器上接有三个完全相同的灯泡，其中一个与该变压器的原线圈串联后接入交流电源，另外两个并联后接在副线圈两端。已知三个灯泡均正常发光。该变压器原、副线圈的匝数之比为（　　）

A．1:2　　B．2:1　　C．2:3　　D．3:2

6.（2020·山东）图甲中的理想变压器原、副线圈匝数比 $n_1:n_2=22:3$，输入端 a、b 所接电压 u 随时间 t 的变化关系如图乙所示。灯泡 L 的电阻恒为 15 Ω，额定电压为 24 V。定值电阻 $R_1=10\ \Omega$、$R_2=5\ \Omega$，滑动变阻器 R 的最大阻值为 10 Ω。为使灯泡正常工作，滑动变阻器接入电路的电阻应调节为（　　）



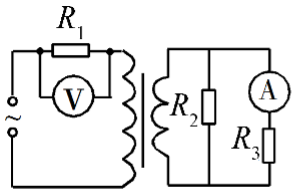
图甲



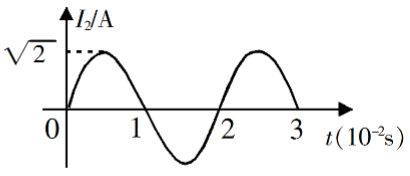
图乙

A.1 Ω　　B.5 Ω　　C．6 Ω　　D.8 Ω

7.（多选）（2020·全国 3 卷）图（a）所示的交流电路中，电源电压的有效值为 220 V，理想变压器原、副线圈的匝数比为 10:1，R_1、R_2、R_3 均为固定电阻，$R_2=10\ \Omega$，$R_3=20\ \Omega$，各电表均为理想电表。已知电阻 R_2 中电流 i_2 随时间 t 变化的正弦曲线如图（b）所示。下列说法正确的是（　　）



图(a)



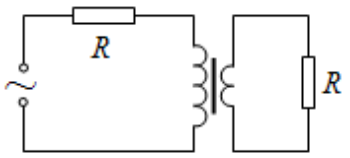
图(b)

A．所用交流电的频率为 50 Hz
B．电压表的示数为 100 V
C．电流表的示数为 1.0 A
D．变压器传输的电功率为 15.0 W

8.（2015•全国 1 卷）一理想变压器的原、副线圈的匝数比为 3:1，在原、副线圈的回路中分别接有阻值相同的电阻，原线圈一侧接在电压为 220V 的正弦交流电源上，如图所示，设副线圈回路中电阻两端的电压为 U，原、副线圈回路中电阻消耗的功率的比值为 K，则（　　）

A．$U=66\text{ V}$，$K=\frac{1}{9}$　　B．$U=22\text{ V}$，$K=\frac{1}{9}$

C．$U=66\text{ V}$，$K=\frac{1}{3}$　　D．$U=22\text{ V}$，$K=\frac{1}{3}$



9.（2018•江苏）采用 220 kV 高压向远方的城市输电。当输送功率一定时，为使输电线上损耗的功率减小为原来的$\frac{1}{4}$，输电电压应变为（　　）

A．55 kV　　B．110 kV　　C．440 kV　　D．880 kV

10.（多选）（2020•全国 2 卷）特高压输电可使输送中的电能损耗和电压损失大幅降低。我国已成功掌握并实际应用了特高压输电技术。假设从 A 处采用 550 kV 的超高压向 B 处输电，输电线上损耗的电功率为ΔP，到达 B 处时电压下降了ΔU。在保持 A 处输送的电功率和输电线电阻都不变的条件下，改用 1100 kV 特高压输电，输电线上损耗的电功率变为$\Delta P'$，到达 B 处时电压下降了$\Delta U'$。不考虑其它因素的影响，则（　　）

A．$\Delta P'=\frac{1}{4}\Delta P$　　B．$\Delta P'=\frac{1}{2}\Delta P$　　C．$\Delta U'=\frac{1}{4}\Delta U$　　B．$\Delta U'=\frac{1}{2}\Delta U$

专题十五 热学

第 1 节 分子动理论

♦ 公式检测 ♦

1、实验：油膜法估测分子大小

①配置油酸—酒精溶液（举例：1 ml 油酸 + 499 ml 酒精 = 500 ml 溶液）

·按该比例，任何体积的油酸—酒精溶液中纯油酸的体积密度为$\frac{1}{\quad\quad}$。

·酒精起_____作用，且在滴入水面后会挥发掉。

②计算一滴油酸—酒精溶液中纯油酸的体积 V

·计算一滴油酸—酒精溶液的体积V_0

$V_0=$_____ 式中，V_N 表示 N 滴油酸—酒精溶液的体积。

·计算一滴油酸—酒精溶液中纯油酸的体积 V

$V=\frac{1}{\quad\quad}V_0$

③在水面上均匀铺洒_____。滴一滴油酸—酒精溶液，等待油酸薄膜形状_____。

④测定油酸薄膜的面积 S

·覆盖玻璃板和半透明的坐标纸，描画油膜_____；

·数出轮廓内小正方形的格数（不足半格_____，多于半格_____）；

·油膜面积 $S=$ 小格面积×格数。

⑤计算油酸薄膜的厚度（即分子大小）

$d=$_____ 注意：分子大小尺度为10^{-10} m。

⑥多次实验求平均值。

2、分子热运动

①分子热运动

·一切物质的分子都在_____地做_____的运动，称为分子的热运动。

·影响因素：_____，分子热运动越剧烈。

②扩散现象

·扩散现象是指彼此接触的物体互相进入对方的现象。

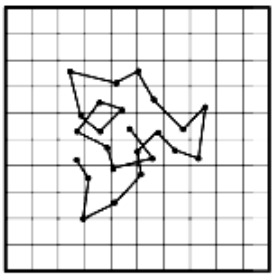
·固体和固体之间_____（选填“能”或“不能”）发生扩散现象。

·_____，扩散越快。

③布朗运动

·液体（或气体）中的_____，按_____间隔记录其位置，把这些位置用_____依次连接起来。可以观察到，微粒_____地做着_____的运动，把微粒的这种运动称为布朗运动。

·图中折线_____（选填“是”或“不是”）微粒的实际轨迹。



·产生原因：固体小颗粒受到周围各个方向的液体分子（或气体分子）热运动的撞击力，这些撞击力_____而导致小颗粒做永不停息地无规则的机械运动。

·影响因素：_____，_____，布朗运动越剧烈。

·布朗颗粒的大小约为10^{-6}m，肉眼看不到，_____能看到。

·阳光下灰尘微粒的胡乱飘荡运动_____（选填“是”或“不是”）布朗运动。

3、温度和气体压强的微观解释

①温度

·微观解释

▫ 温度是系统内所有分子热运动的平均动能的_____。

▫ 温度降低，分子平均动能_____，_____（选填“是”或“不是”）每个分子的速率都减小。

▫ 分子总动能=_____×_____。

·热力学温标（T）

▫ 单位：_____。

▫ 换算关系：0 K=_____℃，即 $T = t +$_____（K）。

▫ 绝对零度（即 0 K）只能_____不能_____，因为分子平均动能_____。

②气体压强

·微观解释

由于大量分子无规则的运动而碰撞器壁，形成对器壁各处_____、_____的压力，作用在器壁_____面积上的压力叫做气体的压强。

·决定因素

▫ 微观：_____和_____

▫ 宏观：_____和_____

注意：对于一定量的气体，体积与分子密度成_____。

·压强单位

1 atm = 76 _____ = 760 _____= 1.012×10^5 _____

4、分子力和分子势能

（1）分子力

①概念

分子间_____存在相互作用的引力和斥力。引力和斥力的_____称为分子力。

②规律

·在左图中填空并定性画出分子力图线。

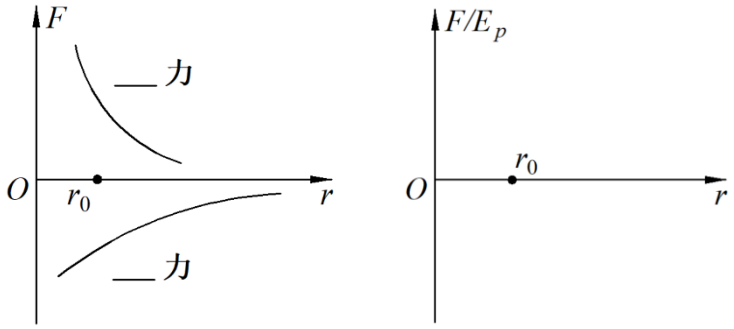
·$F_{引}$和$F_{斥}$都随分子间距离的增大而_____，_____变化更快。

·规律

▫ $r=r_0$时，$F_{引}$____$F_{斥}$，分子力$F=$_____；

▫ $r<r_0$时，$F_{引}$____$F_{斥}$，分子力F表现为_____；

▫ $r>r_0$时，$F_{引}$____$F_{斥}$，分子力F表现为_____。



（2）分子势能

①在右图中同时定性画出分子力图线和分子势能图线，并标出名称。

②分子力做功、动能、势能变化规律

（原点处固定一分子，另一分子在分子力作用下，从无穷远处由静止开始靠近）

·$\infty \to r_0$：分子力做_____，分子动能_____，分子势能_____；

·$r_0 \to$更近：分子力做_____，分子动能_____，分子势能_____；

·$r=r_0$：分子动能最_____，分子势能最_____，且分子势能为_____值。

5、物体的内能

·物体的内能=_____+_____

·改变物体内能的两种方式：_____、_____

♦ 实战演练 ♦

1.（2011·全国）在“油膜法估测油酸分子的大小”实验中，有下列实验步骤：
①往边长约为 40 cm 的浅盘里倒入约 2 cm 深的水。待水面稳定后将适量的痱子粉均匀地撒在水面上。
②用注射器将事先配好的油酸酒精溶液滴一滴在水面上，待薄膜形状稳定。
③将画有油膜形状的玻璃板平放在坐标纸上，计算出油膜的面积，根据油酸的体积和面积计算出油酸分子直径的大小。
④用注射器将事先配好的油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒中，记下量筒内每增加一定体积时的滴数，由此计算出一滴油酸酒精溶液的体积。
⑤将玻璃板放在浅盘上，然后将油膜的形状用彩笔描绘在玻璃板上。
完成下列填空：
（1）上述步骤中，正确的顺序是_____。（填写步骤前面的数字）
（2）将 1 cm^3 的油酸溶于酒精，制成 300 cm^3 的油酸酒精溶液；测得 1 cm^3 的油酸酒精溶液有 50 滴。现取一滴该油酸酒精溶液滴在水面上，测得所形成油膜的面积是 0.13 m^2。由此估算出油酸分子的直径为_____m。（结果保留 1 位有效数字）

2.（2011·上海）在“用单分子油膜估测分子大小”实验中，
（1）某同学操作步骤如下：
①取一定量的无水酒精和油酸，制成一定浓度的油酸酒精溶液；
②在量筒中滴入一滴该溶液，测出它的体积；
③在蒸发皿内盛一定量的水，再滴入一滴油酸酒精溶液，待其散开稳定；
④在蒸发皿上覆盖透明玻璃，描出油膜形状，用透明方格纸测量油膜的面积。
改正其中的错误：_____

_____

（2）若油酸酒精溶液体积浓度为 0.10 %，一滴溶液的体积为 4.8×10^{-3} ml，其形成的油膜面积为 40 cm^2，则估测出油酸分子的直径为_____m。

3.（多选）（2015·全国 2 卷）关于扩散现象，下列说法正确的是（　　）
A．温度越高，扩散进行得越快
B．扩散现象是不同物质间的一种化学反应
C．扩散现象是由物质分子无规则运动产生的
D．扩散现象在气体、液体和固体中都能发生
E．液体中的扩散现象是由于液体的对流形成的

4.（多选）（2017·海南）关于布朗运动，下列说法正确的是（　　）
A．布朗运动是液体中悬浮微粒的无规则运动
B．液体温度越高，液体中悬浮微粒的布朗运动越剧烈
C．在液体中的悬浮颗粒只要大于某一尺寸，都会发生布朗运动
D．液体中悬浮微粒的布朗运动是液体分子永不停息地做无规则运动
E．液体中悬浮微粒的布朗运动是液体分子对它的撞击作用不平衡所引起的

5.（多选）（2015·山东）墨滴入水，扩而散之，徐徐混匀。关于该现象的分析正确的是（　　）

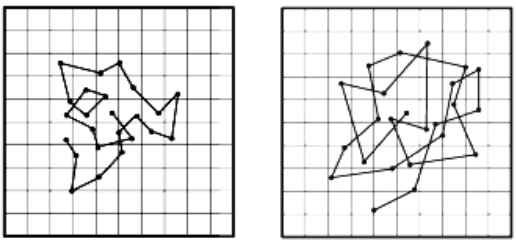
A．混合均匀主要是由于碳粒受重力作用

B．混合均匀的过程中，水分子和碳粒都做无规则运动

C．使用碳粒更小的墨汁，混合均匀的过程进行得更迅速

D．墨汁的扩散运动是由于碳粒和水分子发生化学反应引起的

6.（2017·江苏）（甲）和（乙）图中是某同学从资料中查到的两张记录水中炭粒运动位置连线的图片，记录炭粒位置的时间间隔均为 30 s，两方格纸每格表示的长度相同。比较两张图片可知：若水温相同，_____（选填“甲”或“乙”）中炭粒的颗粒较大；若炭粒大小相同，_____（选填“甲”或“乙”）中水分子的热运动较剧烈。



（甲）　　（乙）

7.（2017·北京）以下关于热运动的说法正确的是（　　）

A．水流速度越大，水分子的热运动越剧烈

B．水凝结成冰后，水分子的热运动停止

C．水的温度越高，水分子的热运动越剧烈

D．水的温度升高，每一个水分子的运动速率都会增大

8.（2019·上海）将相同质量，相同温度的理想气体放入相同容器，体积不同，则这两部分气体（　　）

A．平均动能相同，压强相同　　B．平均动能不同，压强相同

C．平均动能相同，压强不同　　D．平均动能不同，压强不同

9.（2006·全国 1 卷）下列说法中正确的是（　　）

A．气体的温度升高时，分子的热运动变得剧烈，分子的平均动能增大，撞击器壁时对器壁的作用力增大，从而气体的压强一定增大

B．气体体积变小时，单位体积的分子数增多，单位时间内打到器壁单位面积上的分子数增多，从而气体的压强一定增大

C．压缩一定量的气体，气体的内能一定增加

D．分子 *a* 从远处趋近固定不动的分子 *b*，当 *a* 到达受 *b* 的作用力为零处时，*a* 的动能一定最大

10.（2010·四川）下列现象中不能说明分子间存在分子力的是（　　）

A．两铅块能被压合在一起　　B．钢绳不易被拉断

C．水不容易被压缩　　D．空气容易被压缩

11.（2021·重庆）图 1 和图 2 中曲线Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ分别描述了某物理量随分子之间的距离变化的规律，r_0 为平衡位置。现有如下物理量：①分子势能，②分子间引力，③分子间斥力，④分子间引力和斥力的合力，则曲线Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ对应的物理量分别是（　　）

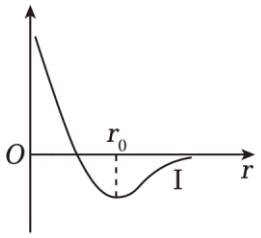


图1

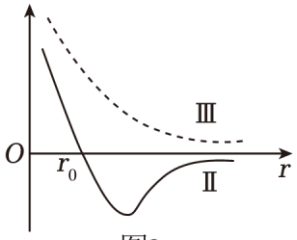
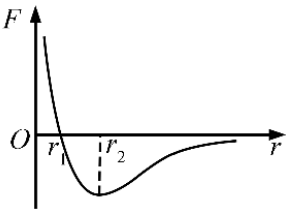


图2

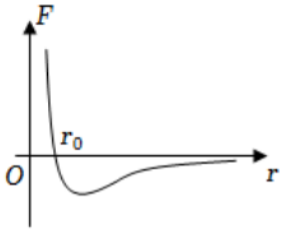
A．①③②　　B．②④③　　C．④①③　　D．①④③

12.（2020·全国 1 卷）分子间作用力 F 与分子间距 r 的关系如图，$r=r_1$ 时，$F=0$。分子间势能由 r 决定，规定两分子相距无穷远时分子间的势能为零。若一分子固定于原点 O，另一分子从距 O 点很远处向 O 点运动，在两分子间距减小到 r_2 的过程中，势能_____（填“减小”“不变”或“增大”）；在间距由 r_2 减小到 r_1 的过程中，势能_____（填“减小”“不变”或“增大”）；在间距等于 r_1 处，势能_____（填“大于”“等于”或“小于”）零。



13.（多选）（2012·海南）两分子间的斥力和引力的合力 F 与分子间距离 r 的关系如图中曲线所示，曲线与 r 轴交点的横坐标为 r_0。相距很远的两分子在分子力作用下，由静止开始相互接近。若两分子相距无穷远时分子势能为零，下列说法正确的是（　　）

A．在 $r>r_0$ 阶段，F 做正功，分子动能增加，势能减小
B．在 $r<r_0$ 阶段，F 做负功，分子动能减小，势能也减小
C．在 $r=r_0$ 时，分子势能最小，动能最大
D．在 $r=r_0$ 时，分子势能为零
E．分子动能和势能之和在整个过程中不变



14.（2004·全国）分子间有相互作用势能，规定两分子相距无穷远时两分子间的势能为零。设分子 a 固定不动，分子 b 以某一初速度从无穷远处向 a 运动，直到它们之间的距离最小。在此过程中，a、b 之间的势能（　　）

A．先减小，后增大，最后小于零
B．先减小，后增大，最后大于零
C．先增大，后减小，最后小于零
D．先增大，后减小，最后大于零

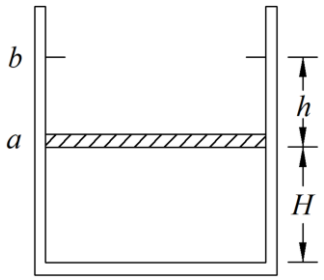
第 2 节 气体实验定律

♦ 公式检测 ♦

1、基本方程

- 玻意耳定律：_____不变，表达式：_____=_____；
- 查理定律：_____不变，表达式：_____=_____；
- 盖—吕萨克定律：_____不变，表达式：_____=_____；
- 理想气体状态方程：_____=_____。

2、活塞—气缸问题



已知：气缸导热良好，活塞质量为 m，面积为 S，静止于 a 处，与缸底距离为 H，与 b 处销子距离为 h。大气压强为 p_0，环境温度为 T_0，不计一切摩擦。

①情境一：活塞上放置质量为 m_0 的砝码，求重新稳定后活塞与缸底的距离 H'。

- 初态，活塞受力平衡

_____ 得气体初态压强 $p_1=$_____

- 末态，活塞和砝码受力平衡

_____ 得气体末态压强 $p_2=$_____

- 气体经历_____过程

_____ 得 $H'=$_____

②情境二：放置砝码前，缓慢加热气体，当活塞刚好到达 b 处时，求此时气体温度 T'。以及该过程中，气体对活塞做功多少？

·气体经历_____过程

_____ 得$T'=$_____

·气体对活塞做功

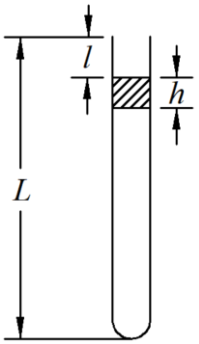
$W=$_____ =_____

③情境三：在②基础上，继续加热气体，当温度升至T''时，求此时气体压强p''。

·气体经历_____过程

_____ 得$p''=$_____

3、水银柱—玻璃直管问题



已知：竖直放置的玻璃管长度$L=54\ \text{cm}$，水银柱长度$h=4\ \text{cm}$，水银柱上表面与管口距离$l=5\ \text{cm}$。大气压强为$p_0=76\ \text{cmHg}$，环境温度为$T_0=270\ \text{K}$。

①情境一：缓慢加热气体，当水银柱上表面刚好与管口平齐时，求此时气体温度T'。

·气体经历_____过程

_____ 得$T'=$_____

②情境二：保持环境温度$T_0=270\ \text{K}$不变，向管内缓慢加注水银，当水银柱上表面刚好与管口平齐时，求加入的水银柱的高度h'。

·初态，水银柱压强平衡

_____ 得气体初态压强$p_1=$_____

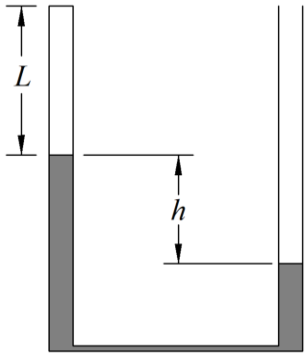
·末态，水银柱压强平衡

_____

·气体经历_____过程

_____ 联立解得$h'=$_____

4、水银柱—U 形管问题



已知：用水银将一段气体封闭在竖直放置的 U 形玻璃管中。当温度为 280 K 时，被封闭的气柱长 $L = 22$ cm，两边水银柱高度差 $h = 16$ cm，大气压强 $p_0 = 76$ cmHg。

①情境一：为使左端水银面下降 3 cm，封闭气体温度应变为多少?

• 初态，水银柱压强平衡

_____ 得气体初态压强 $p_1 =$ _____

• 末态，水银柱压强平衡

_____ 得气体末态压强 $p_2 =$ _____

• 书写_____方程

_____ 得 $T_2 =$ _____

②情境二：封闭气体的温度重新回到 280 K 并保持不变，为使封闭气柱的长度变为 20 cm，需向开口端注入的水银柱长度为多少?。

• 初态，水银柱压强平衡

略，见情境一

• 气体经历_____过程

_____ 得气体末态压强 $p_3 =$ _____

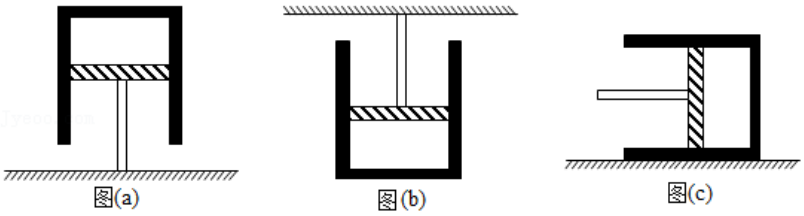
• 末态，水银柱压强平衡

_____ 解得当前两边水银柱高度差 $h' =$ _____

所以，注入的水银柱长度为_____

♦ 实战演练 ♦

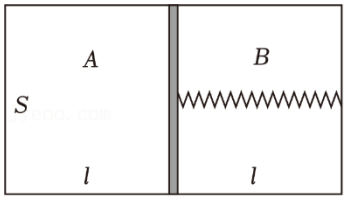
1.（2021•湖北）质量为 m 的薄壁导热柱形气缸，内壁光滑，用横截面积为 S 的活塞封闭一定量的理想气体。在下述所有过程中，气缸不漏气且与活塞不脱离。当气缸如图（a）竖直倒立静置时，缸内气体体积为V_1，温度为T_1。已知重力加速度大小为 g，大气压强为 p_0。



（1）将气缸如图（b）竖直悬挂，缸内气体温度仍为T_1，求此时缸内气体体积V_2；

（2）如图（c）所示，将气缸水平放置，稳定后对气缸缓慢加热，当缸内气体体积为V_3时，求此时缸内气体的温度。

2.（2024 • 甘肃）如图，刚性容器内壁光滑，盛有一定量的气体，被隔板分成 A、B 两部分，隔板与容器右侧用一根轻质弹簧相连（忽略隔板厚度和弹簧体积）。容器横截面积为 S，长为 $2l$。开始时系统处于平衡态，A、B 体积均为 Sl，压强均为 p_0，弹簧为原长。现将 B 中气体抽出一半，B 的体积变为原来的$\frac{3}{4}$。整个过程系统温度保持不变，气体视为理想气体。求：



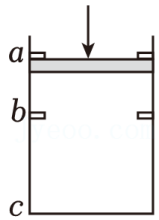
（1）抽气之后 A、B 的压强 p_A、 p_B；

（2）弹簧的劲度系数 k。

3.（2024·全国甲卷）如图，一竖直放置的汽缸内密封有一定量的气体，一不计厚度的轻质活塞可在汽缸内无摩擦滑动，移动范围被限制在卡销 a、b 之间，b 与汽缸底部的距离 $bc = 10ab$，活塞的面积为 $1.0\times10^{-2}\ \mathrm{m}^2$。初始时，活塞在卡销 a 处，汽缸内气体的压强、温度与活塞外大气的压强、温度相同，分别为 $1.0\times10^5\ \mathrm{Pa}$ 和 $300\ \mathrm{K}$。在活塞上施加竖直向下的外力，逐渐增大外力使活塞缓慢到达卡销 b 处（过程中气体温度视为不变），外力增加到 $200\ \mathrm{N}$ 并保持不变。

（1）求外力增加到 $200\ \mathrm{N}$ 时，卡销 b 对活塞支持力的大小；

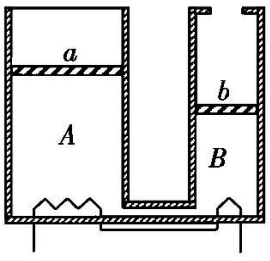
（2）再将汽缸内气体加热使气体温度缓慢升高，求当活塞刚好能离开卡销 b 时气体的温度。



4.（2014·全国 2 卷）如图，两气缸 A、B 粗细均匀，等高且内壁光滑，其下部由体积可忽略的细管连通；A 的直径是 B 的 2 倍，A 上端封闭，B 上端与大气连通；两气缸除 A 顶部导热外，其余部分均绝热。两气缸中各有一厚度可忽略的绝热轻活塞 a、b，活塞下方充有氮气，活塞 a 上方充有氧气。当大气压为 p_0、外界和气缸内气体温度均为 7℃ 且平衡时，活塞 a 离气缸顶的距离是气缸高度的 $\frac{1}{4}$，活塞 b 在气缸的正中央。

（i）现通过电阻丝缓慢加热氮气，当活塞 b 恰好升至顶部时，求氮气的温度；

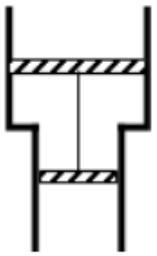
（ii）继续缓慢加热，使活塞 a 上升，当活塞 a 上升的距离是气缸高度的 $\frac{1}{16}$ 时，求氧气的压强。



5.（2015·全国 1 卷）如图，一固定的竖直汽缸由一大一小两个同轴圆筒组成，两圆筒中各有一个活塞，已知大活塞的质量为 $m_1=2.50\ \text{kg}$，横截面积为 $S_1=80.0\ \text{cm}^2$，小活塞的质量为 $m_2=1.50\ \text{kg}$，横截面积为 $S_2=40.0\ \text{cm}^2$，两活塞用刚性轻杆连接，间距保持为 $l=40.0\ \text{cm}$，汽缸外大气的压强为 $p=1.00\times10^5\ \text{Pa}$，温度为 $T=303\ \text{K}$，初始时大活塞与大圆筒底部相距 $\frac{l}{2}$，两活塞间封闭气体的温度为 $T_1=495\ \text{K}$，现汽缸内气体温度缓慢下降，活塞缓慢下移，忽略两活塞与汽缸壁之间的摩擦，重力加速度大小 g 取 $10\ \text{m/s}^2$，求：

（1）在大活塞与大圆筒底部接触前的瞬间，缸内封闭气体的温度；

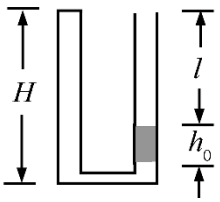
（2）缸内封闭的气体与缸外大气达到热平衡时，缸内封闭气体的压强。



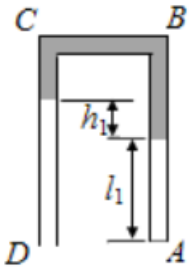
6.（2020·全国 3 卷）如图，两侧粗细均匀、横截面积相等、高度均为 $H=18\ \text{cm}$ 的 U 型管，左管上端封闭，右管上端开口。右管中有高 $h_0=4\ \text{cm}$ 的水银柱，水银柱上表面离管口的距离 $l=12\ \text{cm}$。管底水平段的体积可忽略。环境温度为 $T_1=283\ \text{K}$。大气压强 $P_0=76\ \text{cmHg}$。

（i）现从右侧端口缓慢注入水银（与原水银柱之间无气隙），恰好使水银柱下端到达右管底部。此时水银柱的高度为多少?

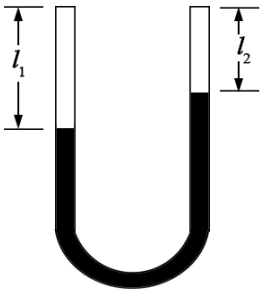
（ii）再将左管中密封气体缓慢加热，使水银柱上表面恰与右管口平齐，此时密封气体的温度为多少?



7.（2017 • 海南）一粗细均匀的 U 形管 *ABCD* 的 *A* 端封闭，*D* 端与大气相通。用水银将一定质量的理想气体封闭在 U 形管的 *AB* 一侧，并将两端向下竖直放置，如图所示。此时 *AB* 侧的气体柱长度 l_1=25 cm。管中 *AB*、*CD* 两侧的水银面高度差 h_1 = 5 cm。现将 U 形管缓慢旋转 180°，使 *A*、*D* 两端在上，在转动过程中没有水银漏出。已知大气压强 p_0 = 76 cmHg。求旋转后，*AB*、*CD* 两侧的水银面高度差。



8.（2018 • 全国 3 卷）在两端封闭、粗细均匀的 U 形细玻璃管内有一段水银柱，水银柱的两端各封闭有一段空气。当 U 形管两端竖直朝上时，左、右两边空气柱的长度分别为 l_1 = 18.0 cm 和 l_2 = 12.0 cm，左边气体的压强为 12.0 cmHg。现将 U 形管缓慢平放在水平桌面上，没有气体从管的一边通过水银逸入另一边。求 U 形管平放时两边空气柱的长度。在整个过程中，气体温度不变。



第 3 节 固体、液体和热力学定律

♦ 公式检测 ♦

1、固体、液体、新材料

（1）单晶体、多晶体和非晶体

①分类

固体分为_____和_____；

晶体又分为_____和_____。

②区分单晶体、多晶体和非晶体

分类 / 对比内容	单晶体	多晶体	非晶体
组成	许多晶粒规则排列	许多晶粒不规则排列	由原子、分子等组成
外形是否规则	_____	_____	_____
是否有确定熔点	_____	_____	_____
各向异性/各向同性	_____	_____	_____
举例	雪花、食盐小颗粒等	金属、食盐大疙瘩等	松香、石蜡、玻璃等

③补充：

• 单晶体、多晶体和非晶体之间_____（选填“可以”或“不可以”）相互转化。

• 组成晶体的微观粒子（分子或原子、离子）的空间格点不同，会形成形状和性质不同的晶体，比如碳原子可以形成_____和_____。

（2）液体

①液体的表面张力

·使液体表面具有_____趋势（绷紧）的力叫做表面张力。

·表面张力的方向总是沿着与液面_____的方向。

·产生原因：在液体表面层，分子比较稀疏，分子间距离____r_0，表现为_____。

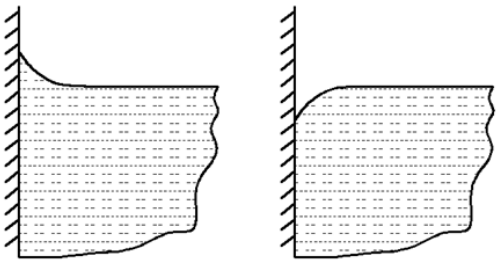
·举例：

▫ 叶面上的露珠、小的水银滴呈_____；

▫ 昆虫停在水面上；

▫ 系在圆环上的棉线小线圈，可在肥皂膜上自由移动和变形，若扎破棉线小线圈中的肥皂膜，小线圈被周围的肥皂膜拉成_____；

②浸润和不浸润



浸润　　不浸润

·一种液体会湿润某种固体并附着在固体表面上，这种现象叫做浸润。反之叫做不浸润。

·一种液体是否浸润某种固体，与这两种物质的_____有关。

·举例：

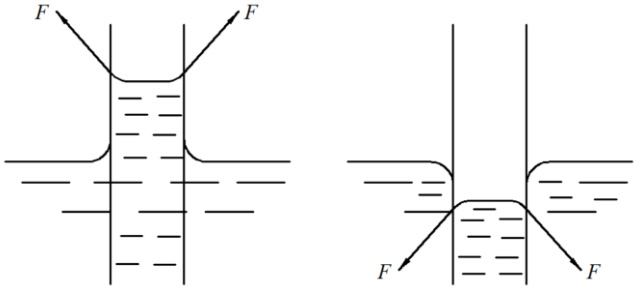
▫ 水_____浸润玻璃，水银_____浸润玻璃；水_____浸润蜂蜡或石蜡，水银_____浸润锌（选填“能”或“不能”）。

▫ 脱脂棉脱脂，从_____被水浸润变成_____被水浸润，以吸取药水（选填“能”或“不能”）。

▫ 用_____（选填“能”或“不能”）被水浸润的塑料制作酱油瓶，向外倒酱油时不易外洒。

▫ 游禽将油脂涂抹在羽毛上，使水不能粘到羽毛上，利用了水_____（选填“能”或“不能”）浸润油脂。

③毛细现象



·浸润液体在细管中_____的现象，以及不浸润液体在细管中_____的现象，称为毛细现象。

·毛细管越_____（选填“粗”或“细”），毛细现象越明显。

·毛细现象是_____和_____共同作用的结果。

·举例：

▫ 水在细玻璃管中_____；水银在细玻璃管中_____。

▫ 为将地下水引上来，用碾子压紧土壤，将已有的毛细管变得更_____；为保存地下水分，将土壤锄松，破坏土壤中的毛细管。

▫ 建造房屋时，地基上铺一层油毡或涂过沥青的厚纸，是为了防止水分沿着夯实的地基及砖墙的毛细管上升。

（3）液晶

·液晶是一种介于_____和_____之间中间态的物质。

·液晶既具有液体的_____，又具有晶体的_____。

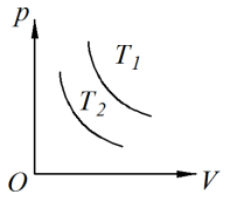
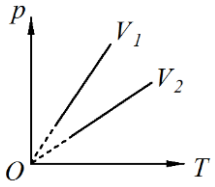
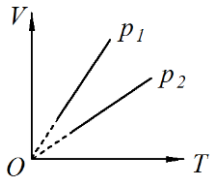
·举例：

▫ 液晶显示器。

▫ 利用液晶探测温度，探测毒气等。

2、热力学第一定律与气体实验定律图像的综合应用

（1）气体实验定律的三个图像

	p-V 图	*p-T* 图	*V-T* 图
公式	$pV=C$	$\frac{p}{T}=C$	$\frac{V}{T}=C$
图象			
特点	• 双曲线； • T_1____T_2	• 过原点的倾斜直线； • V_1____V_2	• 过原点的倾斜直线； • p_1____p_2

（2）热力学第一定律

①表达式

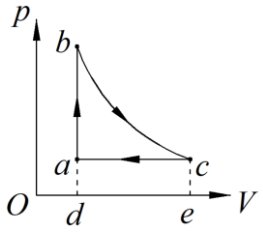
_____

②物理量的正负、含义和标志

物理量	正负	含义	标志
内能变化$\triangle U$	$\Delta U=0$	物体内能_____	温度 T_____
	$\Delta U>0$	物体内能_____	温度 T_____
	$\Delta U<0$	物体内能_____	温度 T_____
做功 W	$W=0$	不做功	体积 V_____
	$W>0$	_____对_____做功	体积 V_____
	$W<0$	_____对_____做功	体积 V_____
热传递 Q	$Q=0$	绝热	/
	$Q>0$	气体_____热量	
	$Q<0$	气体_____热量	

（3）实战演练（以 p-V 图像为例）

（“做功：_____”空格，选填“气体对外界做功”、“外界对气体做功”或“不做功”）



- $a \to b$：等_____变化

  体积 V_____→ 做功：_____ W____0

  温度 T_____→ 气体内能_____ ΔU___0

  气体_____热量 Q____0

- $b \to c$：等温变化

  体积 V_____→ 做功：_____ W____0

  温度 T_____→ 气体内能_____ ΔU___0

  气体_____热量 Q____0

- $c \to a$：等_____变化

  体积 V_____→ 做功：_____ W____0

  温度 T_____→ 气体内能_____ ΔU___0

  气体_____热量 Q____0

- 拓展：图线与横轴围成的面积表示_____多少。如，$W_{c\to a} = S_{acde}$。

若研究气体从 b 状态开始，经历 c 状态和 a 状态又回到 b 状态的全过程，则气体_____热量。

3、热力学第一/二定律的概念

（1）热力学第一定律

·热力学第一定律的实质：_____定律。

·热力学第一定律也可表达为：“_____是不可能制成的。”

·第一类永动机：不消耗任何能量，却源源不断地_____的机器。

（2）热力学第二定律

①表述一（克劳修斯表述）

·不可能使热量从_____物体传到_____物体，而不引起其它变化。

·举例：冰箱制冷。热量从低温的冷藏室传到高温的外部，这个过程不是_____进行的，而是由于压缩机做功了（即引起了其他变化）。

②表述二（开尔文表述）

·不可能从单一热库吸收热量，并使之完全变成_____，而不产生其它影响。

·举例：热机从高温热库吸收热量，一部分用来对外做功，一部分传递给_____。

·举例：理想气体等温膨胀，它可以从单一热库吸收热量全部用来对外做功，但是产生了其他影响——体积扩大了。

·热力学第二定律的开尔文表述，也可描述为：“_____是不可能制成的”。

·第二类永动机：从单一热库吸收热量使之完全变为功而不产生其他影响的热机。

③表述三（熵增原理）

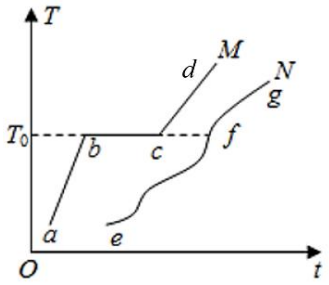
·由大量分子组成的一个孤立系统自发变化时，总是向着无序程度_____的方向进行，至少无序程度不会_____。

♦ 实战演练 ♦

1.（多选）（2015·全国 1 卷）下列说法正确的是（　　）
A．将一块晶体敲碎后，得到的小颗粒是非晶体
B．固体可以分为晶体和非晶体两类，有些晶体在不同的方向上有不同的光学性质
C．由同种元素构成的固体，可能会由于原子的排列方式不同而成为不同的晶体
D．在合适的条件下，某些晶体可以转变为非晶体，某些非晶体也可以转变为晶体
E．在熔化过程中，晶体要吸收热量，但温度保持不变，内能也保持不变

2.（多选）（2014·全国 2 卷）下列说法正确的是（　　）
A．悬浮在水中的花粉的布朗运动反映了花粉分子的热运动
B．空气中的小雨滴呈球形是水的表面张力作用的结果
C．彩色液晶显示器利用了液晶的光学性质具有各向异性的特点
D．把玻璃管的裂口放在火焰上烧熔，尖端会变钝是因为液体表面张力作用的结果
E．脱脂棉脱脂的目的，在于使它从不能被水浸润变为可以被水浸润，以便吸取药液

3.（2011·福建）如图所示，曲线 M、N 分别表示晶体和非晶体在一定压强下的熔化过程，图中横轴表示时间 t，纵轴表示温度 T。从图中可以确定的是（　　）
A．晶体和非晶体均存在固定的熔点 T_0
B．曲线 M 的 bc 段表示固液共存状态
C．曲线 M 的 ab 段、曲线 N 的 ef 段均表示固态
D．曲线 M 的 cd 段、曲线 N 的 fg 段均表示液态

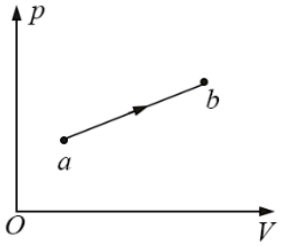


4.（多选）（2015·江苏）对下列几种固体物质的认识，正确的有（　　）
A．食盐熔化过程中，温度保持不变，说明食盐是晶体
B．烧热的针尖接触涂有蜂蜡薄层的云母片背面，熔化的蜂蜡呈椭圆形，说明蜂蜡是晶体
C．天然石英表现为各向异性，是由于该物质的微粒在空间的排列不规则
D．石墨和金刚石的物理性质不同，是由于组成它们的物质微粒排列结构不同

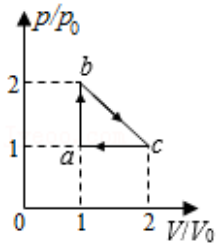
5.（多选）（2013·海南）下列说法正确的是（　　）
A．把一枚针轻放在水面上，它会浮在水面，这是由于水表面存在表面张力的缘故
B．水在涂有油脂的玻璃板上能形成水珠，而在干净的玻璃板上却不能，是因为油脂使水的表面张力增大的缘故
C．在围绕地球飞行的宇宙飞船中，自由飘浮的水滴呈球形，这是表面张力作用的结果
D．在毛细现象中，毛细管中的液面有的升高，有的降低，这与液体的种类和毛细管的材质有关
E．当两薄玻璃板间夹有一层水膜时，在垂直于玻璃板的方向很难将玻璃板拉开，这是由于水膜具有表面张力的缘故

6.（多选）（2014·海南）下列说法正确的是（　　）
A．液体表面张力的方向与液面垂直并指向液体内部
B．单晶体有固定的熔点，多晶体没有固定的熔点
C．单晶体中原子（或分子、离子）的排列具有空间周期性
D．通常金属在各个方向的物理性质都相同，所以金属是非晶体
E．液晶具有液体的流动性，同时具有晶体的各向异性特征

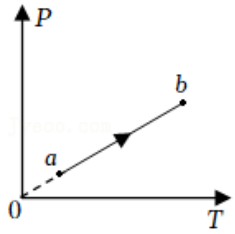
7.（多选）（2018·全国3卷）如图，一定量的理想气体从状态 a 变化到状态 b，其过程如 p-V 图中从 a 到 b 的直线所示。在此过程中（　　）
A．气体温度一直降低
B．气体内能一直增加
C．气体一直对外做功
D．气体一直从外界吸热
E．气体吸收的热量一直全部用于对外做功



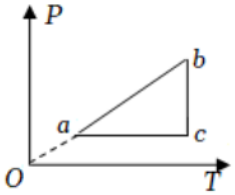
8.（多选）（2021·全国乙卷）如图，一定量的理想气体从状态 a（p_0，V_0，T_0）经热力学过程 ab、bc、ca 后又回到状态 a。对于 ab、bc、ca 三个过程，下列说法正确的是（　　）
A．ab 过程中，气体始终吸热
B．ca 过程中，气体始终放热
C．ca 过程中，气体对外界做功
D．bc 过程中，气体的温度先降低后升高
E．bc 过程中，气体的温度先升高后降低



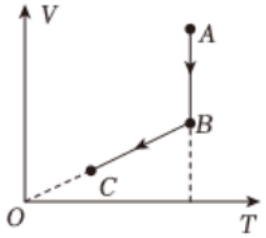
9.（多选）（2022·全国甲卷）一定量的理想气体从状态 a 变化到状态 b，其过程如 p-T 图上从 a 到 b 的线段所示。在此过程中（　　）
A．气体一直对外做功
B．气体的内能一直增加
C．气体一直从外界吸热
D．气体吸收的热量等于其对外做的功
E．气体吸收的热量等于其内能的增加量



10.（多选）（2014·全国1卷）一定量的理想气体从状态 a 开始，经历三个过程 ab、bc、ca 回到原状态，其 p-T 图像如图所示，下列判断正确的是（　　）
A．过程 ab 中气体一定吸热
B．过程 bc 中气体既不吸热也不放热
C．过程 ca 中外界对气体所做的功等于气体所放的热
D．a、b 和 c 三个状态中，状态 a 分子平均动能最小
E．b 和 c 两个状态中，容器壁单位面积单位时间内受到气体分子撞击的次数不同

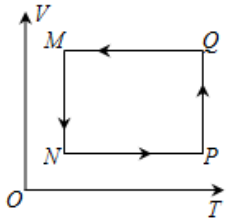


11.（多选）（2017·江苏）一定质量的理想气体从状态 A 经过状态 B 变化到状态 C，其 V–T 图象如图所示。下列说法正确的有（　　）



A．$A\to B$ 的过程中，气体对外界做功
B．$A\to B$ 的过程中，气体放出热量
C．$B\to C$ 的过程中，气体压强不变
D．$A\to B\to C$ 的过程中，气体内能增加

12.（多选）（2019·海南）一定量的理想气体从状态 M 出发，经状态 N、P、Q 回到状态 M，完成一个循环。从 M 到 N、从 P 到 Q 是等温过程；从 N 到 P、从 Q 到 M 是等容过程；其体积-温度图象（V-T 图）如图所示。下列说法正确的是（　　）



A．从 M 到 N 是吸热过程
B．从 N 到 P 是吸热过程
C．从 P 到 Q 气体对外界做功
D．从 Q 到 M 是气体对外界做功
E．从 Q 到 M 气体的内能减少

13.（2020·全国2卷）下列关于能量转换过程的叙述，违背热力学第一定律的有（　　），不违背热力学第一定律、但违背热力学第二定律的有（　　）
A．汽车通过燃烧汽油获得动力并向空气中散热
B．冷水倒入保温杯后，冷水和杯子的温度都变得更低
C．某新型热机工作时将从高温热源吸收的热量全部转化为功，而不产生其它影响
D．冰箱的制冷机工作时从箱内低温环境中提取热量散发到温度较高的室内

14.（2004·广东）下列说法正确的是（　　）
A．机械能全部变成内能是不可能的
B．第二类永动机不可能制造成功的原因是因为能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，只能从一个物体转移到另一个物体，或从一种形式转化成另一种形式
C．根据热力学第二定律可知，热量不可能从低温物体传到高温物体
D．从单一热源吸收的热量全部变成功是可能的

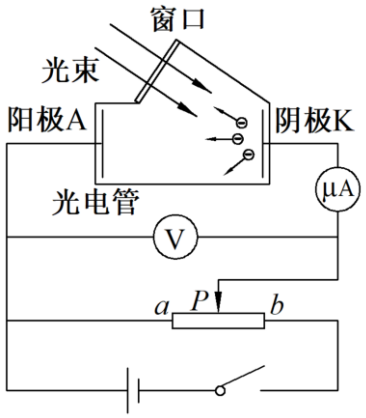
15.（2006·天津）下列说法正确的是（　　）
A．任何物体的内能就是组成物体的所有分子热运动动能的总和
B．只要对内燃机不断改进，就可以把内燃机得到的全部内能转化为机械能
C．做功和热传递在改变内能的方式上是不同的
D．满足能量守恒定律的物理过程都能自发进行

专题十六 近代物理

第 1 节 光电效应

♦ 公式检测 ♦

1、光电效应的实验规律



①当滑片 P 置于 a 点时，有_____的_____。

②滑片 P 由 a 端向 b 端滑动，光电流_____。

③当 AK 两极板间的电压增大到某一数值后，光电流不再增大，达到_____。

④接反向电压，光电流减小。当光电流减小到零时，该反向电压称为_____。

2、爱因斯坦的光子说

①光子说

- 光不是连续的，是一份一份的，每一份叫做一个光子。
- 光子的能量与其频率成正比，即 $E=$_____。
- 可见光（红橙黄绿蓝靛紫）中，频率最高的是_____。
- 光的频率和波长的关系式：_____，光子能量 $E=$_____。

②截止频率 ν_c（也叫极限频率）

- 光照射金属，满足_____条件，才能发生光电效应现象。
- 极限频率 ν_c 由_____决定。

③金属的逸出功W_0

·金属中_____的电子在逃逸过程中，克服金属束缚做的功。

·逸出功W_0由_____决定。

④逸出功W_0和极限频率ν_c的关系式：_____。

⑤光强

·在高中阶段，光强大小代表光子的_____。

·若入射光的频率$\nu<\nu_c$，无论光强多强，_____。

·光强增大，光电流（或饱和光电流）_____。

⑥爱因斯坦光电效应方程

·方程：_____ E_k表示光电子的_____。

·当不同频率光照射同一金属时：

_____为定值，E_k与_____成_____关系（____相关）。

·当同一频率光照射不同金属时：

_____为定值，E_k与_____成_____关系（____相关）。

·E_k与光照强度_____。

⑦遏止电压U_c

·遏止电压与最大初动能的关系式：_____ U_c与E_k成_____。

·遏止电压与入射光频率ν和逸出功W_0的关系式：$U_c=$_____

·当不同频率光照射同一金属时：

_____为定值，U_c与_____成_____关系（____相关）。

·当同一频率光照射不同金属时：

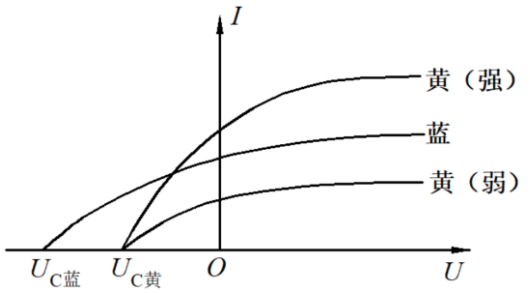
_____为定值，U_c与_____成_____关系（____相关）。

·遏止电压U_c与光照强度_____。

⑧光电效应具有_____性，不需要能量的累积过程。

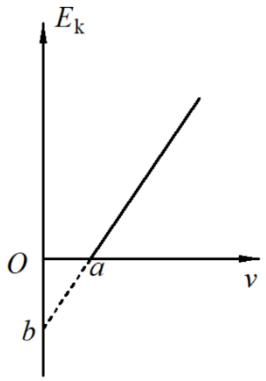
3、光电效应的图像

①光电流—电压图像（*I*-*U* 图）



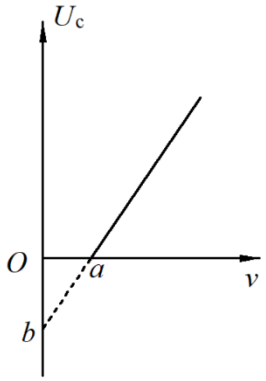
- 在一定的光照条件下，随电压增大，光电流_____，最终达到_____。
- 对于同色光（即频率相同），光照强度越大，饱和光电流_____。
- 图线与横轴交点的绝对值表示_____的大小。
- 频率更高的入射光对应的遏止电压_____，即$U_{c蓝}$___$U_{c黄}$。

②光电子最大初动能—入射光频率图像（$E_k-\nu$ 图）



- 对应方程：_____
- 横轴截距 *a* 表示：_____
- 纵轴截距 *b* 表示：_____
- 图线斜率 *k* 表示：_____
- 不同金属的实验图线相互_____

③遏止电压—入射光频率图像（$U_c-\nu$ 图）



- 对应方程：_____
- 横轴截距 *a* 表示：_____
- 纵轴截距 *b* 表示：_____
- 图线斜率 *k* 表示：_____
- 不同金属的实验图线相互_____

♦ 实战演练 ♦

1.（多选）（2014·广东）在光电效应实验中，用频率为ν的光照射光电管阴极，发生了光电效应，下列说法正确的是（　　）
A．增大入射光的强度，光电流增大
B．减小入射光的强度，光电效应现象消失
C．改变频率小于ν的光照射，一定不发生光电效应
D．改变频率大于ν的光照射，光电子的最大初动能变大

2.（多选）（2016·全国1卷）现用一光电管进行光电效应的实验，当用某一频率的光入射时，有光电流产生。下列说法正确的是（　　）
A．保持入射光的频率不变，入射光的光强变大，饱和光电流变大
B．入射光的频率变高，饱和光电流变大
C．入射光的频率变高，光电子的最大初动能变大
D．保持入射光的光强不变，不断减小入射光的频率，始终有光电流产生
E．遏止电压的大小与入射光的频率有关，与入射光的光强无关

3.（多选）（2012·海南）产生光电效应时，关于逸出光电子的最大初动能E_{k}，下列正确的是（　　）
A．对于同种金属，E_{k}与照射光的强度无关
B．对于同种金属，E_{k}与照射光的波长成正比
C．对于同种金属，E_{k}与照射光的时间成正比
D．对于同种金属，E_{k}与照射光的频率成线性关系
E．对于不同种金属，若照射光频率不变，E_{k}与金属的逸出功成线性关系

4.（多选）（2017·全国3卷）在光电效应实验中，分别用频率为ν_a、ν_b的单色光a、b照射到同种金属上，测得相应的遏止电压分别为U_a和U_b、光电子的最大初动能分别为$E_{\mathrm{k}a}$和$E_{\mathrm{k}b}$，h为普朗克常量。下列说法正确的是（　　）

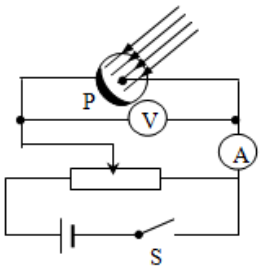
A．若$\nu_a>\nu_b$，则一定有$U_a<U_b$

B．若$\nu_a>\nu_b$，则一定有$E_{\mathrm{k}a}>E_{\mathrm{k}b}$

C．若$U_a<U_b$，则一定有$E_{\mathrm{k}a}<E_{\mathrm{k}b}$

D．若$\nu_a>\nu_b$，则一定有$h\nu_a-E_{\mathrm{k}a}>h\nu_b-E_{\mathrm{k}b}$

5.（2003·天津）如图所示，当电键 S 断开时，用光子能量为 2.5 eV 的一束光照射阴极 P，发现电流表读数不为零。合上电键，调节滑线变阻器，发现当电压表读数小于 0.60V 时，电流表读数仍不为零；当电压表读数大于或等于 0.60 V 时，电流表读数为零，由此可知阴极材料的逸出功为（　　）



A．1.9 eV　　B．0.6 eV　　C．2.5 eV　　D．3.1 eV

6.（2018·全国 2 卷）用波长为 300 nm 的光照射锌板，电子逸出锌板表面的最大初动能为1.28×10^{-19} J。已知普朗克常量为6.63×10^{-34} J·s，真空中的光速为3.00×10^{8} m·s^{-1}，能使锌产生光电效应的单色光的最低频率约为（　　）

A．1×10^{14} Hz　　B．8×10^{14} Hz　　C．2×10^{15} Hz　　D．8×10^{15} Hz

7.（2019·北京）光电管是一种利用光照射产生电流的装置，当入射光照在管中金属板上时，可能形成光电流。表中给出了 6 次实验的结果。

组	次	入射光子的能量/eV	相对光强	光电流大小/mA	逸出光电子的最大动能/eV
第一组	1	4.0	弱	29	0.9
	2	4.0	中	43	0.9
	3	4.0	强	60	0.9
第二组	4	6.0	弱	27	2.9
	5	6.0	中	40	2.9
	6	6.0	强	55	2.9

由表中数据得出的论断中不正确的是（　　）

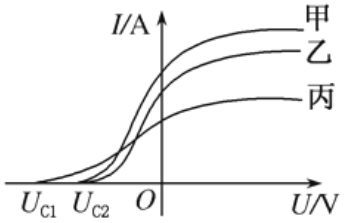
A．两组实验采用了不同频率的入射光

B．两组实验所用的金属板材质不同

C．若入射光子的能量为 5.0 eV，逸出光电子的最大动能为 1.9 eV

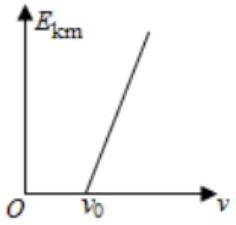
D．若入射光子的能量为 5.0 eV，相对光强越强，光电流越大

8.（2010·浙江）在光电效应实验中，飞飞同学用同一光电管在不同实验条件下得到了三条光电流与电压之间的关系曲线（甲光、乙光、丙光），如图所示。则可判断出（　　）



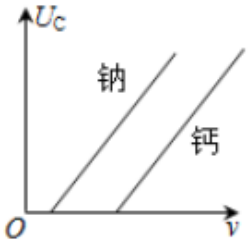
A．甲光的频率大于乙光的频率
B．乙光的波长大于丙光的波长
C．乙光对应的截止频率大于丙光的截止频率
D．甲光对应的光电子最大初动能大于丙光的光电子最大初动能

9.（2011·福建）爱因斯坦提出了光量子概念并成功地解释光电效应的规律而获得1921年的诺贝尔物理学奖。某种金属逸出光电子的最大初动能 E_{km} 与入射光频率 ν 的关系如图所示，其中 ν_0 为极限频率。从图中可以确定的是（　　）



A．逸出功与 ν 有关
B．E_{km} 与入射光强度成正比
C．$\nu<\nu_0$ 时，会逸出光电子
D．图中直线的斜率与普朗克常量有关

10.（多选）（2019·海南）对于钠和钙两种金属，其遏止电压 U_c 与入射光频率 ν 的关系如图所示。用 h、e 分别表示普朗克常量和电子电荷量，则（　　）



A．钠的逸出功小于钙的逸出功
B．图中直线的斜率为 $\frac{h}{e}$
C．在得到这两条直线时，必须保证入射光的光强相同
D．若这两种金属产生的光电子具有相同的最大初动能，则照射到钠的光频率较高

第 2 节 原子结构和玻尔理论

♦ 公式检测 ♦

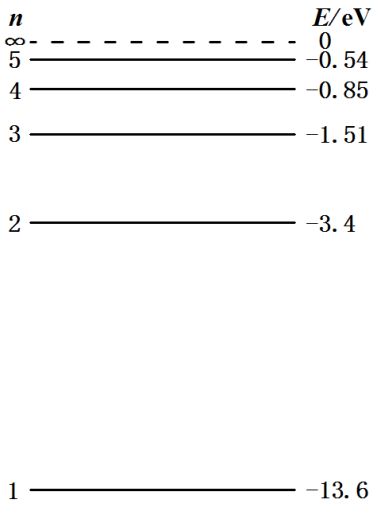
1、卢瑟福原子核式结构

• 在原子的中心有一个很小的核，叫_____。

• 原子的_____和_____都集中在原子核里。

• 带负电的电子在核外空间绕核旋转。

2、氢原子能级图



• $n=1$：第一能级（又叫_____）

$n=2$：第二能级（又叫_____）

• $E_n=$_____，$E_1=-13.6\ \text{eV}$

• n 越大，能级能量_____

• n 越大，相邻能级能量差_____

3、跃迁理论

①跃迁的两种形式

• 辐射：_____能级向_____能级跃迁，_____光子。

• 激发：_____能级向_____能级跃迁，_____光子。

• 每次跃迁，氢原子只能释放或吸收_____个光子，且光子能量恰好等于_____。

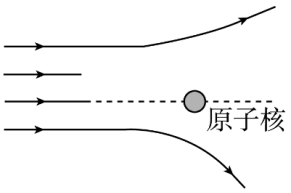
②大量氢原子从第 n 能级向基态辐射，放出_____种频率的光子。

③电离的条件：吸收光子能量 $h\nu\geq$_____。

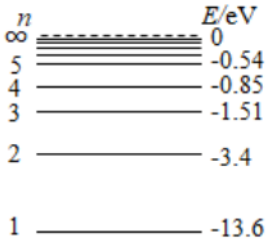
♦ 实战演练 ♦

1.（2014·上海）不能用卢瑟福原子核式结构模型得出的结论是（　　）
A．原子中心有一个很小的原子核
B．原子核是由质子和中子组成的
C．原子质量几乎全部集中在原子核内
D．原子的正电荷全部集中在原子核内

2.（2003·上海）卢瑟福通过_____实验，发现了原子中间有一个很小的核，并由此提出了原子的核式结构模型。下面平面示意图中的四条线表示 α 粒子运动的可能轨迹，在图中完成中间两条 α 粒子的运动轨迹。

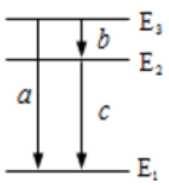


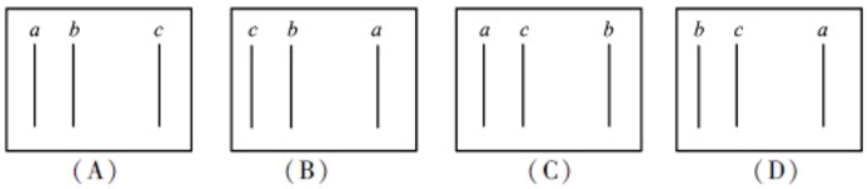
3.（2020·北京）氢原子能级示意如图。现有大量氢原子处于 $n=3$ 能级上，下列说法正确的是（　　）



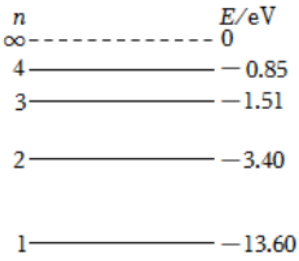
A．这些原子跃迁过程中最多可辐射出 2 种频率的光子
B．从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级比跃迁到 $n=2$ 能级辐射的光子频率低
C．从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=4$ 能级需吸收 0.66 eV 的能量
D．$n=3$ 能级的氢原子电离至少需要吸收 13.6 eV 的能量

4.（2002·江苏）如图所示是某原子的能级图，a、b、c 为原子跃迁所发出的三种波长的光。在下列该原子光谱的各选项中，谱线从左向右的波长依次增大，则正确的是（　　）



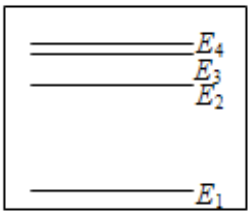


5.（2019·全国 1 卷）氢原子能级示意图如图所示。光子能量在 1.63 eV～3.10 eV 的光为可见光。要使处于基态（$n=1$）的氢原子被激发后可辐射出可见光光子，最少应给氢原子提供的能量为（　　）



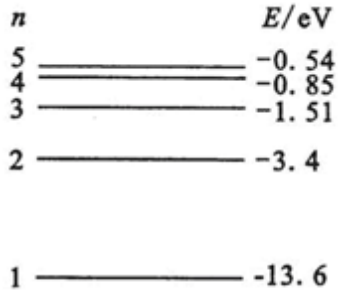
A．12.09 eV
B．10.20 eV
C．1.89 eV
D．1.51 eV

6.（2007·广东）如图所示为氢原子的四个能级，其中 E_1 为基态，若氢原子 A 处于激发态 E_2，大量氢原子 B 处于激发态 E_3，则下列说法正确的是（　　）



A．原子 A 可能辐射出 3 种频率的光子
B．原子 B 可能辐射出 3 种频率的光子
C．原子 A 能够吸收原子 B 发出的光子并跃迁到能级 E_4
D．原子 B 能够吸收原子 A 发出的光子并跃迁到能级 E_4

7.（2012·四川）如图为氢原子能级示意图的一部分，则氢原子（　　）



A．从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=3$ 能级比从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级辐射出电磁波波长长
B．从 $n=5$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级比从 $n=5$ 能级跃迁到 $n=4$ 能级辐射出电磁波速度大
C．处于不同能级时，核外电子在各处出现的概率是一样的
D．从高能级向低能级跃迁时，氢原子核一定向外放出能量

8.（2011·四川）氢原子从能级 m 跃迁到能级 n 时辐射红光的频率为 ν_1，从能级 n 跃迁到能级 k 时吸收紫光的频率为 ν_2，已知普朗克常量为 h，若氢原子从能级 k 跃迁到能级 m，则（　　）

A．吸收光子的能量为 $h\nu_1+h\nu_2$

B．辐射光子的能量为 $h\nu_1+h\nu_2$

C．吸收光子的能量为 $h\nu_2-h\nu_1$

D．辐射光子的能量为 $h\nu_2-h\nu_1$

9.（2010·全国卷）用频率为ν_0的光照射大量处于基态的氢原子，在所发射的光谱中仅能观测到频率分别为ν_1、ν_2、ν_3的三条谱线，且$\nu_3>\nu_2>\nu_1$，则（　　）。

A．$\nu_0<\nu_1$　　B．$\nu_3=\nu_2+\nu_1$　　C．$\nu_0=\nu_1+\nu_2+\nu_3$　　D．$\frac{1}{\nu_1}=\frac{1}{\nu_2}+\frac{1}{\nu_3}$

10.（2002·广东、广西、河南）处于基态的一群氢原子受某种单色光的照射时，只发射波长为λ_1、λ_2、λ_3的三种单色光，且$\lambda_1>\lambda_2>\lambda_3$，则照射光的波长为（　　）

A．λ_1　　B．$\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3$　　C．$\frac{\lambda_2\lambda_3}{\lambda_2+\lambda_3}$　　D．$\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1+\lambda_2}$

11.（2011·大纲）氢原子的基态能量为E_1，激发态能量$E_n=\frac{E_1}{n^2}$，$n=2$，3…。用h表示普朗克常量，c表示真空中的光速。能使氢原子从第一激发态电离的光子的最大波长为（　　）

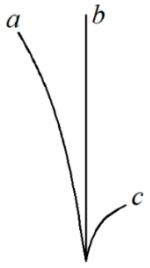
A．$-\frac{4hc}{3E_1}$　　B．$-\frac{2hc}{E_1}$　　C．$-\frac{4hc}{E_1}$　　D．$-\frac{9hc}{E_1}$

第 3 节 原子核

♦ 公式检测 ♦

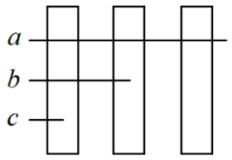
1、三种射线和原子核的组成

①根据偏转情况区分



a 是_____射线
b 是_____射线
c 是_____射线
（磁场和电场未画出）

②根据穿透能力区分



a 是_____射线
b 是_____射线
c 是_____射线

③α 射线的本质：_____，β 射线的本质：_____，γ 射线的本质：_____

④原子核由_____和_____组成。

_____ 或 _____
即 _____ + _____
_____ 或 _____ 或 _____

$^{235}_{92}\mathrm{U}$ — 元素符号

2、原子核的衰变

①概念

- 放射性元素的原子核放出_____或_____后，变成新的原子核。
- 一个原子核_____（选填“能”或“不能”）同时发生 α 衰变和 β 衰变。
- 当原子核发生 α 衰变或 β 衰变时，一定同时伴随着_____辐射。
- 衰变放出的光子来自于_____，原子跃迁放出的光子来自于_____。

②衰变规律和方程

- _____和_____守恒。
- α 衰变：$^{A}_{Z}\mathrm{X}\rightarrow{}^{A-4}_{Z-2}\mathrm{Y}+$_____　　β 衰变：$^{A}_{Z}\mathrm{X}\rightarrow{}^{A}_{Z+1}\mathrm{Y}+$_____
- 最常见的两个衰变方程：$^{238}_{92}\mathrm{U}\rightarrow$_____$+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$，$^{234}_{90}\mathrm{Th}\rightarrow$_____$+{}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

③半衰期

- 半衰期：放射性元素的原子核有_____发生衰变所需的时间。

• 公式：$m=\frac{m_0}{2^n}=\frac{m_0}{2^{\frac{t}{\tau}}}$ 或 $N=\frac{N_0}{2^n}=\frac{N_0}{2^{\frac{t}{\tau}}}$

式中，n 表示_____，τ 表示_____，t 表示总时间。

• 半衰期的影响因素

半衰期由_____决定，与_____、_____和_____均无关。

3、核力与结合能

• 四种基本相互作用力：_____，_____，_____，_____。

• 核力属于_____，存在于_____之间。

• 原子核分解成自由核子_____的能量，或自由核子结合成原子核_____的能量，就是原子核的结合能。

• 原子核的质量_____组成它的核子的质量之和，这个现象叫作质量亏损。

• 原子核越大，结合能越_____；比较结合能：$^{89}_{36}\mathrm{Kr}$ ___ $^{144}_{56}\mathrm{Ba}$。

• 比结合能 $=\frac{\text{结合能}}{\quad}$

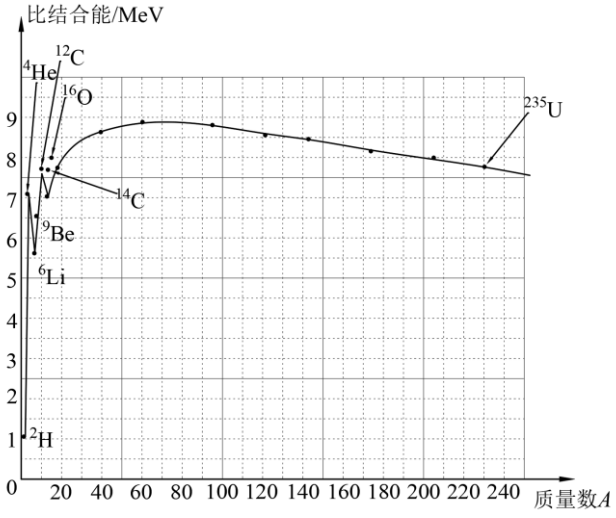
• 参见下图，比较比结合能：$^{2}_{1}\mathrm{H}$____$^{4}_{2}\mathrm{He}$，$^{89}_{36}\mathrm{Kr}$ ___ $^{144}_{56}\mathrm{Ba}$；

_____的核的比结合能最大（选填“较大”、“较小”或“中等大小”）。

• 参见下图，$^{4}_{2}\mathrm{He}$ 的比结合能大约等于_____，结合能大约等于_____。

• 比结合能越大，原子核越_____。

• 原子核衰变，衰变产物的结合能之和_____原来原子核的结合能。



·已知中子的质量m_n为$1.6749\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$，质子的质量$m_\mathrm{p}$为$1.6726\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$，氘核的质量$m_\mathrm{D}$为$3.3436\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$，求氘核的结合能和比结合能（结果单位用 MeV 表示，且保留 3 位有效数字）。

4、核裂变和核聚变

①核裂变

·使用_____轰击重核；配平：$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow{}^{(\ )}_{54}\mathrm{Xe}+^{90}_{(\ )}\mathrm{Sr}+10^{1}_{0}\mathrm{n}$。

·核裂变时产生_____，使核裂变一代接一代继续下去，叫作核裂变的_____反应。

·核裂变物质能够发生链式反应的最小体积叫作_____体积，最小质量叫作_____质量。

·核裂变的两个重要应用：_____和_____。

·常用的_____有石墨、重水和普通水，使快中子_____。

·镉棒叫作控制棒，可以_____中子，以控制反应速度。

②核聚变

·两个_____核结合成较大的核；配平：$^{2}_{1}\mathrm{H}+^{3}_{1}\mathrm{H}\rightarrow\_\_\_\_\_+^{1}_{0}\mathrm{n}$。

·核聚变平均每个核子放出的能量比核裂变平均每个核子放出的能量更_____。

·核聚变需要很_____的温度，因此又叫_____反应。

·核裂变的两个重要应用：太阳“燃烧”和_____。

·计算核聚变释放能量

题面：聚变反应 ${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^2\mathrm{H}\rightarrow{}_2^3\mathrm{He}+{}_0^1\mathrm{n}$，${}_1^2\mathrm{H}$ 质量为 2.0136u，${}_2^3\mathrm{He}$ 质量为 3.0150u，${}_0^1\mathrm{n}$ 质量为 1.0087u，1u = 931 MeV/c^2。计算氘核聚变反应中释放的核能（结果保留 3 位有效数字）。

▫ 计算质量亏损 Δm

$\Delta m=$ _____

▫ 计算释放的核能 ΔE

$\Delta E=$ _____ = _____MeV = _____MeV

▫ 已知 1 kg 海水中含有的氘核约为1.0×10^{22} 个，若全都发生上述聚变反应，其释放的能量与质量为 M 的标准煤燃烧时释放的热量相等；已知 1 kg 标准煤燃烧释放的热量约为2.9×10^{7} J，求 M。

_____

_____

5、核反应方程的分类

以下方程中，属于 α 衰变的是_____，属于 β 衰变的是_____，属于裂变的是_____，属于聚变的是_____，发现质子的是_____，发现中子的是_____，产生第一个人工放射性同位素的是_____。

A. ${}_{92}^{238}\mathrm{U}\rightarrow{}_{90}^{234}\mathrm{Th}+{}_2^4\mathrm{He}$

B. ${}_{92}^{235}\mathrm{U}+{}_0^1\mathrm{n}\rightarrow{}_{56}^{144}\mathrm{Ba}+{}_{36}^{89}\mathrm{Kr}+3{}_0^1\mathrm{n}$

C. ${}_7^{14}\mathrm{N}+{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow{}_8^{17}\mathrm{O}+{}_1^1\mathrm{H}$

D. ${}_4^9\mathrm{Be}+{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow{}_6^{12}\mathrm{C}+{}_0^1\mathrm{n}$

E. ${}_{90}^{234}\mathrm{Th}\rightarrow{}_{91}^{234}\mathrm{Pa}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$

F. ${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^3\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+{}_0^1\mathrm{n}$

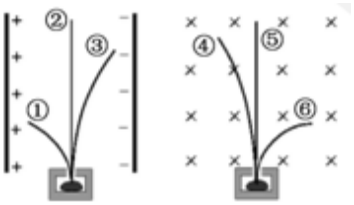
G. ${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^2\mathrm{H}\rightarrow{}_2^3\mathrm{He}+{}_0^1\mathrm{n}$

H. ${}_{92}^{235}\mathrm{U}+{}_0^1\mathrm{n}\rightarrow{}_{54}^{136}\mathrm{Xe}+{}_{38}^{90}\mathrm{Sr}+10{}_0^1\mathrm{n}$

I. ${}_{13}^{27}\mathrm{Al}+{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow{}_{15}^{30}\mathrm{P}+{}_0^1\mathrm{n}$

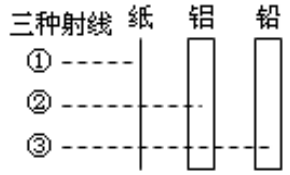
♦ 实战演练 ♦

1.（2014·福建）如图，放射性元素镭衰变过程中释放 α、β、γ 三种射线，分别进入匀强电场和匀强磁场中，下列说法中正确的是（　　）



A．①表示 γ 射线，③表示 α 射线
B．②表示 β 射线，③表示 α 射线
C．④表示 α 射线，⑤表示 γ 射线
D．⑤表示 β 射线，⑥表示 α 射线

2.（2011·上海）天然放射性元素放出的三种射线的穿透能力实验结果如图所示，由此可推知（　　）



A．②来自于原子核外的电子
B．①的电离作用最强，是一种电磁波
C．③的电离作用较强，是一种电磁波
D．③的电离作用最弱，属于原子核内释放的光子

3.（2021·河北）银河系中存在大量的铝同位素 $^{26}\mathrm{Al}$，$^{26}\mathrm{Al}$ 核 β 衰变的衰变方程为 $^{26}\mathrm{Al}\rightarrow{}^{26}\mathrm{Mg}+{}^{0}_{1}\mathrm{e}$，测得 $^{26}\mathrm{Al}$ 核的半衰期为 72 万年，下列说法正确的是（　　）

A．$^{26}\mathrm{Al}$ 核的质量等于 $^{26}\mathrm{Mg}$ 核的质量

B．$^{26}\mathrm{Al}$ 核的中子数大于 $^{26}\mathrm{Mg}$ 核的中子数

C．将铝同位素 $^{26}\mathrm{Al}$ 放置在低温低压的环境中，其半衰期不变

D．银河系中现有的铝同位素 $^{26}\mathrm{Al}$ 将在 144 万年后全部衰变为 $^{26}\mathrm{Mg}$

4.（2022·山东）碘 125 衰变时产生 γ 射线，医学上利用此特性可治疗某些疾病，碘 125 的半衰期为 60 天，若将一定质量的碘 125 植入患者病灶组织，经过 180 天剩余碘 125 的质量为刚植入时的（　　）

A．$\frac{1}{16}$　　B．$\frac{1}{8}$　　C．$\frac{1}{4}$　　D．$\frac{1}{2}$

5.（2022·全国甲卷）两种放射性元素的半衰期分别为 t_0 和 $2t_0$，在 $t=0$ 时刻这两种元素的原子核总数为 N，在 $t=2t_0$ 时刻，尚未衰变的原子核总数为 $\frac{N}{3}$，则在 $t=4t_0$ 时刻，尚未衰变的原子核总数为（　　）

A．$\frac{N}{12}$　　B．$\frac{N}{9}$　　C．$\frac{N}{8}$　　D．$\frac{N}{6}$

6.（2019•全国）天然放射性元素 $^{232}_{90}\mathrm{Th}$ 经过若干次 α 衰变和若干次 β 衰变后变成 $^{208}_{82}\mathrm{Pb}$，则（　　）

A．α 衰变的次数是 6 次

B．β 衰变的次数是 8 次

C．Th 核比 Pb 核多 24 个中子

D．Th 核比 Pb 核多 16 个质子

7.（2017 • 全国 1 卷）“人造太阳”主要是将氘核聚变反应释放的能量用来发电。氘核聚变反应方程是 $^{2}_{1}\mathrm{H}+^{2}_{1}\mathrm{H}\rightarrow{}^{3}_{2}\mathrm{He}+^{1}_{0}\mathrm{n}$。已知 $^{2}_{1}\mathrm{H}$ 的质量为 2.0136u，$^{3}_{2}\mathrm{He}$ 的质量为 3.0150u，$^{1}_{0}\mathrm{n}$ 的质量为 1.0087u，1u = 931 MeV/c^2。氘核聚变反应中释放的核能约为（　　）

A．3.7 MeV　　B．3.3 MeV　　C．2.7 MeV　　D．0.93 MeV

8.（2019 • 全国 2 卷）太阳内部核反应的主要模式之一是：$4^{1}_{1}\mathrm{H}\rightarrow{}^{4}_{2}\mathrm{He}+2^{0}_{1}\mathrm{e}+2\nu$，已知 $^{1}_{1}\mathrm{H}$ 和 $^{4}_{2}\mathrm{He}$ 的质量分别为 $m_{\mathrm{p}}=1.0078\mathrm{u}$ 和 $m_{\alpha}=4.0026\mathrm{u}$，1u = 931 MeV/$c^2$，$c$ 为光速。在 4 个 $^{1}_{1}\mathrm{H}$ 转变成 1 个 $^{4}_{2}\mathrm{He}$ 的过程中，释放的能量约为（　　）

A．8 MeV　　B．16 MeV　　C．26 MeV　　D．52 MeV

9.（2020 • 全国 2 卷）氘核 $^{2}_{1}\mathrm{H}$ 可通过一系列聚变反应释放能量，其总效果可用反应式 $6^{2}_{1}\mathrm{H}\rightarrow2^{4}_{2}\mathrm{He}+2^{1}_{1}\mathrm{H}+2^{1}_{0}\mathrm{n}+43.15\ \mathrm{MeV}$ 表示。海水中富含氘，已知 1kg 海水中含有的氘核约为 1.0×10^{22} 个，若全都发生聚变反应，其释放的能量与质量为 M 的标准煤燃烧时释放的热量相等；已知 1 kg 标准煤燃烧释放的热量约为 2.9×10^{7} J，1 MeV = 1.6×10^{-13} J，则 M 约为（　　）

A．40 kg　　B．100 kg　　C．400 kg　　D．1000 kg

10.（多选）（2019 • 天津）我国核聚变反应研究大科学装置“人造太阳”2018 年获得重大突破，等离子体中心电子温度首次达到 1 亿度，为人类开发利用核聚变能源奠定了重要的技术基础。下列关于聚变的说法正确的是（　　）

A．核聚变比核裂变更为安全、清洁

B．任何两个原子核都可以发生聚变

C．两个轻核结合成质量较大的核，总质量较聚变前增加

D．两个轻核结合成质量较大的核，核子的比结合能增加

11.（多选）（2013·全国2卷）关于原子核的结合能，下列说法正确的是（　　）
A．原子核的结合能等于使其完全分解成自由核子所需的最小能量
B．一重原子核衰变成α粒子和另一原子核，衰变产物的结合能之和一定大于原来重核的结合能
C．铯原子核（$^{133}_{55}\mathrm{Cs}$）的结合能小于铅原子核（$^{208}_{82}\mathrm{Pb}$）的结合能
D．比结合能越大，原子核越不稳定
E．自由核子组成原子核时，其质量亏损所对应的能量大于该原子核的结合能

12.（2023·全国甲卷）在下列两个核反应方程中$\mathrm{X}+{}^{14}_{7}\mathrm{N}\rightarrow\mathrm{Y}+{}^{17}_{8}\mathrm{O}$、$\mathrm{Y}+{}^{17}_{8}\mathrm{Li}\rightarrow 2\mathrm{X}$，X和Y代表两种不同的原子核，以Z和A分别表示X的电荷数和质量数，则（　　）
A．$Z=1$，$A=1$　　B．$Z=1$，$A=2$　　C．$Z=2$，$A=3$　　D．$Z=2$，$A=4$

13.（2018·天津）国家大科学工程--中国散裂中子源（CSNS）于2017年8月28日首次打靶成功，获得中子束流，可以为诸多领域的研究和工业应用提供先进的研究平台。下列核反应中放出的粒子为中子的是（　　）
A．$^{14}_{7}\mathrm{N}$俘获一个α粒子，产生$^{17}_{8}\mathrm{O}$并放出一个粒子
B．$^{27}_{13}\mathrm{Al}$俘获一个α粒子，产生$^{30}_{15}\mathrm{P}$并放出一个粒子
C．$^{11}_{5}\mathrm{B}$俘获一个质子，产生$^{8}_{4}\mathrm{Be}$并放出一个粒子
D．$^{6}_{3}\mathrm{Li}$俘获一个质子，产生$^{3}_{2}\mathrm{He}$并放出一个粒子

14.（2016·江苏）贝克勒尔在120年前首先发现了天然放射现象，如今原子核的放射性在众多领域中有着广泛应用。下列属于放射性衰变的是（　　）
A．$^{14}_{6}\mathrm{C}\rightarrow{}^{14}_{7}\mathrm{N}+{}^{0}_{-1}\mathrm{e}$　　B．$^{235}_{92}\mathrm{U}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow{}^{131}_{53}\mathrm{I}+{}^{103}_{39}\mathrm{Y}+2{}^{1}_{0}\mathrm{n}$
C．$^{2}_{1}\mathrm{H}+{}^{3}_{1}\mathrm{H}\rightarrow{}^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}$　　D．$^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{27}_{13}\mathrm{Al}\rightarrow{}^{30}_{15}\mathrm{P}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}$

15.（多选）（2020·全国3卷）1934年，约里奥—居里夫妇用α粒子轰击铝箔，首次产生了人工放射性同位素X，反应方程为：$^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{27}_{13}\mathrm{Al}\rightarrow\mathrm{X}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}$。X会衰变成原子核Y，衰变方程为$\mathrm{X}\rightarrow\mathrm{Y}+{}^{0}_{1}\mathrm{e}$，则（　　）
A．X的质量数与Y的质量数相等　　B．X的电荷数比Y的电荷数少1
C．X的电荷数比$^{27}_{13}\mathrm{Al}$的电荷数多2　　D．X的质量数与$^{27}_{13}\mathrm{Al}$的质量数相等