CONTENTS

目录

第一章 静电场

1 电荷 电荷守恒定律 …… 1
2 库仑定律 …… 7
3 静电场 电场强度和电场线 …… 14
单元活动构建 …… 22
4 电场力的功 电势能 …… 26
5 电势 电势差 …… 32
6 电势差与电场强度的关系 …… 39
7 静电的利用和防护 …… 46
8 电容器 电容 …… 51
9 带电粒子在电场中的运动 …… 57
单元活动构建 …… 65
章末质量评估(一) …… 69
章末质量评估(二) …… 73

第二章 电路及其应用

1 电流 电压 电阻 …… 77
2 实验:练习使用多用电表 …… 86
3 电阻定律 电阻率 …… 91
4 实验:测量金属的电阻率 …… 99
5 实验:描绘 I-U 特性曲线 …… 106
单元活动构建 …… 112
6 电源的电动势和内阻 闭合电路欧姆定律 …… 117
7 实验:测量电池的电动势和内阻 …… 124
8 焦耳定律 电路中的能量转化 …… 132
9 家庭电路 …… 132
单元活动构建 …… 139
章末质量评估(三) …… 142
章末质量评估(四) …… 147

第三章　电磁场与电磁波初步

1　磁场　磁感线 …… 152

2　磁感应强度　磁通量 …… 159

3　电磁感应现象及其应用 …… 166

4　电磁波的发现及其应用 …… 172

5　微观世界的量子化 …… 175

单元活动构建 …… 179

第四章　能源与可持续发展

1　能量　能量守恒定律 …… 182

2　能源 …… 188

3　环境保护与可持续发展 …… 188

章末质量评估(五) …… 192

综合质量评估 …… 196

第一章　静电场

1　电荷　电荷守恒定律

学习任务目标

1.掌握起电的三种方式及其实质。（物理观念）
2.能用原子结构和电荷守恒的知识分析静电感应现象。（科学思维）

问题式预习

知识点一　两种电荷、摩擦起电及其解释

1.电荷的分类

自然界只存在两种电荷：正电荷、负电荷。

2.电荷间的相互作用规律：同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引，且带电体有吸引轻小物体的性质。

3.电荷量

(1)电荷的多少叫作电荷量。在国际单位制中，它的单位是库仑，简称库，符号是C。正电荷的电荷量用正数表示，负电荷的电荷量用负数表示。常用单位：微库(μC)和纳库(nC)。1 μC＝10^{-6} C，1 nC＝10^{-9} C。

(2)电荷的最小单元叫作元电荷，用 e 表示。任何带电体所带电荷量都是元电荷 e 的整数倍，$e=1.6\times10^{-19}$ C。

4.原子的微观结构

原子 $\begin{cases}\text{原子核}\begin{cases}\text{质子：带正电}\\\text{中子：不带电}\end{cases}\\\text{核外电子：带负电}\end{cases}$

5.摩擦起电及其原因

(1)摩擦起电：由于摩擦而使物体带电的方式。

(2)原因：当不同种类的两个不带电的物体相互摩擦时，一个物体的原子中有一些外层电子挣脱原子核的束缚并转移到另一个物体上。

6.金属导电而绝缘体不导电的原因

(1)自由电子：金属导体原子的外层电子很容易脱离原子核的束缚而在导体内部自由地运动，成为自由电子。

(2)金属中存在自由电子。

(3)绝缘体中几乎不存在自由电子。

[科学思维]

摩擦起电适用于绝缘体还是导体？

提示：摩擦起电适用于绝缘体。

知识点二　电荷守恒定律

1.电荷守恒定律的两种表述

(1)电荷既不能被创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分。

(2)在任何自然过程中，电荷的代数和是守恒的。

2.电荷守恒定律是自然界的基本规律之一。

[科学思维]

某次实验中，甲、乙两同学各使用一带电小球做实验时，不小心使两小球接触了一下，结果两小球都没电了。小球上的电荷到哪里去了？

提示：两小球上的异种电荷中和了，即正、负电荷的代数和为零，对外不显示电性。

[判一判]

1.近代物理实验发现，在一定条件下，带电粒子可以产生和湮灭，故在一定条件下，电荷守恒定律不成立。　(×)

2.元电荷实质上是指电子和质子本身。　(×)

3.所有带电体的电荷量一定等于元电荷的整数倍。　(√)

知识点三　静电感应

1.静电感应：当带电体靠近不带电的导体时，由于电荷的相互作用，使导体靠近带电体的一端带上与带电体电性相反的电荷，远离带电体的一端带上与带电体电性相同的电荷的现象。

2.感应起电：利用静电感应使金属导体带电的过程。

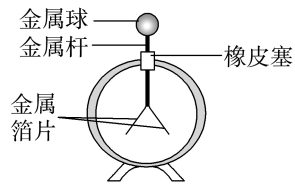
3.感应起电的适用条件

感应起电只适用于导体。绝缘体的电子因不能自由移动而不能感应起电。

4.接触起电：当一个带电体接触导体时，电荷会发生转移，使导体也带电。

5.验电器的构造、原理及用途

(1)构造(如图所示)

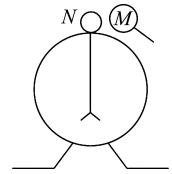


(2)原理:金属箔片带同种电荷后,由于同种电荷相互排斥而张开。

(3)用途:①检验物体是否带电。②检验物体带电的种类。

[科学思维]

某同学用一带电金属棒逐渐靠近一验电器并最终接触验电器,验电器的金属箔片的夹角逐渐增大,试分析此过程中验电器带电属性的变化。



提示:先感应起电,后接触起电。

任务型课堂

任务一　摩擦起电、接触起电、元电荷及电荷守恒定律

[探究活动]

观察以下两个情境,回答下列问题。

用棉布摩擦聚乙烯板	用带电棒接触不带电的验电器
聚乙烯板　棉布	

(1)在摩擦起电过程中,一个物体带上了正电荷,另一个物体带上了负电荷,该过程是否创造了电荷?在一个封闭的系统中,电荷的总量会增多或减少吗?用带电棒接触不带电的验电器时,为什么不带电的验电器也带上了同种电荷?

(2)物体所带的电荷量可以是任意的吗?电子和质子就是元电荷吗?

提示:(1)摩擦起电的过程并没有创造电荷。在一个封闭的系统中,电荷的总量保持不变。不带电的验电器也带上了同种电荷,其原因是带电棒与验电器之间发生了电荷转移。

(2)物体所带的电荷量不是任意的,它只能是 1.6×10^{-19} C 的整数倍。元电荷是电荷的最小单元,不是实物粒子,而电子和质子是实物粒子,不是元电荷。

[评价活动]

1.许多女士喜欢穿柔软的丝绸衣服,戴琥珀做的首饰。人们发现,不管将琥珀首饰擦得多干净,它很快就会吸上一层灰尘,这主要是因为　　(C)

A. 琥珀是一种树脂化石,树脂具有黏性,容易吸附灰尘

B. 室外的灰尘比较多,在琥珀上积聚的速度比较快

C. 经丝绸摩擦过的琥珀带电,能吸引灰尘

D. 琥珀本身带电,能吸引灰尘

2.完全相同的两个金属小球 A、B 带有等量电荷,相隔一定的距离,现让第三个完全相同的不带电的金属小球 C 先后与 A、B 两球接触后再移开。

(1)若 A、B 两球带同种电荷,完成接触后两球的电荷量大小之比为多少?

(2)若 A、B 两球带异种电荷,完成接触后两球的电荷量大小之比为多少?

解析:(1)若 A、B 两球带同种电荷,设电荷量均为 Q,不带电的 C 球与 A 球接触后,二者平分 A 球的电荷量,A、C 两球所带的电荷量均为 $\frac{1}{2}Q$;C 球再与 B 球接触后,平分二者的总电荷量,则 B、C 两球所带的电荷量均为 $\frac{1}{2}\times\left(\frac{1}{2}Q+Q\right)=\frac{3}{4}Q$,$A$、$B$ 两球最终的电荷量之比为 $\left(\frac{1}{2}Q\right):\left(\frac{3}{4}Q\right)=2:3$。

(2)若 A、B 两球带异种电荷,设电荷量分别为 Q、$-Q$,A、C 两球接触后,平分电荷量 Q,A、C 两球所带的电荷量均变为 $\frac{1}{2}Q$;C 球再与 B 球接触后,平分二者的总电荷量,C、B 两球所带的电荷量均为 $\frac{1}{2}\times\left(\frac{1}{2}Q-Q\right)=-\frac{1}{4}Q$,则 A、B 两球最终的电荷量大小之比为 2∶1。

答案:(1)2∶3　(2)2∶1

3.在干燥的天气里,一个人穿着橡胶底的鞋子在木质地板上走动,身上因失去电子而带了 3.2×10^{-6} C 的正电荷。已知电子的电荷量 $q=1.6\times10^{-19}$ C。

(1)多少个电子的电荷量等于 1.6×10^{-6} C?

(2)此人身上失去了多少个电子?

(3)若这些电子全部集中在一个半径为 1×10^{-15} m 的球体上,求这个球体的电荷体密度(电荷体密度 $\rho=\frac{Q}{V}$,球体体积 $V=\frac{4}{3}\pi r^3$)。

解析:(1)由题意可知 $n=\frac{1.6\times10^{-6}}{1.6\times10^{-19}}=1.0\times10^{13}$ 个。

(2)此人身上失去电子的个数 $N=\frac{3.2\times10^{-6}}{1.6\times10^{-19}}=2.0\times10^{13}$ 个。

(3)这个球体的电荷体密度为 $\rho=\frac{Q}{V}=\frac{3Q}{4\pi r^3}=\frac{3\times3.2\times10^{-6}}{4\times3.14\times(1\times10^{-15})^3}$ C/m$^3\approx7.6\times10^{38}$ C/m^3。

答案:(1)1.0×10^{13} 个　(2)2.0×10^{13} 个

(3)7.6×10^{38} C/m^3

任务总结

1.起电过程中电荷的变化

不论哪一种起电方式，过程中都没有创造电荷，也没有消灭电荷。本质都是电荷发生了转移，也就是物体所带电荷重新分配了。

2.完全相同的金属球接触起电时电荷量的分配情况

在接触起电过程中，电荷的分配与导体的形状、大小有关，两个完全相同的小球接触后再分开，电荷量将平分。若有两相同金属小球，用电荷量为 Q_1 的金属球与电荷量为 Q_2 的金属球接触，则接触后每个小球所带的电荷量 $Q_1'=Q_2'=\dfrac{Q_1+Q_2}{2}$。

3.元电荷

(1)元电荷是电荷的最小单元，而不是实物粒子，元电荷无正、负之分。

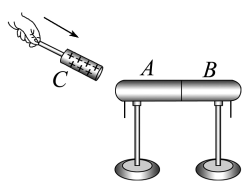
(2)虽然质子、电子的电荷量等于元电荷，但不能说质子、电子是元电荷。

(3)电荷量不能连续变化，自然界中带电体的电荷量都是元电荷 e 的整数倍。

任务二　感应起电

[探究活动]

如图所示，取一对用绝缘柱支撑的导体 A 和 B，使它们彼此接触。起初它们不带电，贴在下部的金属箔片是闭合的。



(1)把带正电荷的物体 C 移近导体 A，金属箔片有什么变化？

(2)这时把 A 和 B 分开，然后移去 C，金属箔片又有什么变化？

(3)再让 A 和 B 接触，又会看到什么现象？

(4)感应起电能发生在绝缘体上吗？原因是什么？

提示：(1)物体 C 移近导体 A，A、B 下部的金属箔片都张开。

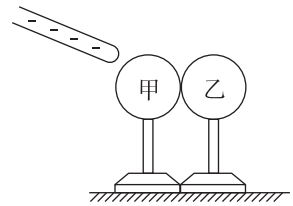
(2)金属箔片仍张开，但张角变小。

(3)A、B 接触，金属箔片都闭合。

(4)感应起电不能发生在绝缘体上，因为绝缘体中的电子不能自由移动。

[评价活动]

1.(多选)如图所示，将带有负电的绝缘棒移近两个不带电的导体球，两个导体球开始时互相接触且对地绝缘。下列方法能使两球都带电的是　　(ACD)



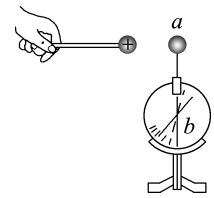
A. 先把两球分开，再移走棒

B. 先移走棒，再把两球分开

C. 先使棒与甲球瞬时接触，再移走棒

D. 先用导线使乙球瞬时接地后再断开，再移走棒

2.(2025·海南卷)如图所示，带正电的金属球靠近不带电的验电器上的金属小球 a，则关于验电器上的金属小球 a 和金属箔 b，下列说法正确的是(　　)

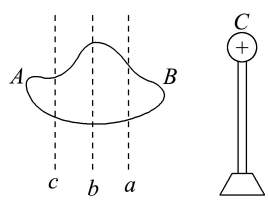


A. a、b 都带正电　　B. a、b 都带负电

C. a 带负电，b 带正电　　D. a 带正电，b 带负电

C　**解析**：由题意可知，验电器的正、负电荷数相等，不显示电性；当带正电的金属球靠近不带电的验电器上的金属小球时，在带电金属球产生的静电场的作用下，验电器金属箔 b 上的电子向金属小球 a 转移，使得金属小球 a 带负电，金属箔 b 带正电，故A、B、D错误，C正确。

3.如图所示，左边的是一个原先不带电的导体，右边 C 是后来靠近导体的带正电金属球。若用绝缘工具沿图示某条虚线将导体切开，分为 A、B 两部分，则下列结论正确的是　　(　　)



A. 沿虚线 c 切开，A 带负电，B 带正电

B. 只有沿虚线 b 切开，才会使 A 带正电、B 带负电

C. 只有沿虚线 a 切开，才会使 A 带正电、B 带负电

D. 沿任意一条虚线切开，A 都带正电，B 都带负电

D **解析**：由题意可知，静电感应现象使得 A 端带正电，B 端带负电，这与沿哪条虚线切开无关，故 D 正确，A、B、C 错误。

任务总结

1.感应起电的操作步骤

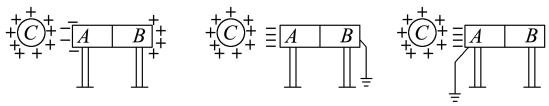
(1)两导体彼此接触；

(2)带电体移近两导体；

(3)先分开两导体，再移走带电体。

2.感应起电的判断方法

(1)当带电体靠近不带电的导体时，导体靠近带电体的一端聚集与带电体电性相反的电荷，远离带电体的一端聚集与带电体电性相同的电荷，如图甲所示。



甲　　乙　　丙

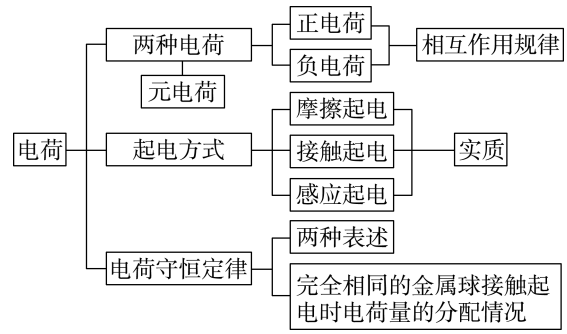
(2)导体接地时，该导体与地球可视为一个导体，而且该导体可视为近端导体，聚集与带电体电性相反的电荷，地球就成为远端导体，聚集与带电体电性相同的电荷，如图乙、丙所示。

说明：用手摸一下导体，再移开手，相当于先把导体接地，然后再与大地断开。

3.三种起电方式的比较

项目	摩擦起电	感应起电	接触起电
产生条件	两个不同的绝缘体摩擦	导体靠近带电体	导体与带电体接触
现象	两物体带上等量异种电荷	导体两端出现等量异种电荷，且电性与原带电体“近异远同”	导体带上与带电体相同电性的电荷
原因	不同物质的原子核对核外电子的束缚能力不同而发生电子得失	导体中的自由电子受带正(负)电物体吸引(排斥)而靠近(远离)	同种电荷之间相互排斥
实质	电荷在物体之间或物体内部的转移		

提质归纳



课后素养评价(一)

基础性·能力运用

知识点 1　摩擦起电和元电荷

1.(多选)关于元电荷，下列说法正确的是　　(　　)

A. 元电荷实质上是指电子和质子本身

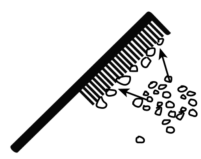
B. 所有带电体的电荷量一定等于元电荷的整数倍

C. 元电荷的值通常取 $e=1.60\times10^{-19}$ C

D. 元电荷 e 的数值最早是由美国物理学家密立根用实验测得的

BCD **解析**：元电荷是指电子或质子所带的电荷量，数值为 $e=1.60\times10^{-19}$ C，故 A 错误，C 正确；所有带电体的电荷量都等于元电荷的整数倍，故 B 正确；元电荷 e 的数值最早是由美国物理学家密立根用实验测得的，故 D 正确。

2.如图所示，梳过头发的梳子，常能吸引轻小物体，这属于摩擦起电。关于摩擦起电现象，下列说法正确的是　　(B)



摩擦起电 带电体可以吸引轻小物体

A. 摩擦起电现象使本来没有电子和质子的物体中产生电子和质子

B. 头发和梳子互相摩擦后，彼此带上了等量异种电荷

C. 如果梳子带正电，可能是因为摩擦导致头发的质子转移到梳子上而形成的

D. 头发和梳子互相摩擦后带的电荷量可以是任意数

知识点 2　电荷守恒定律

3.（多选）关于物体带电现象的叙述，下列说法正确的是（　　）

A. 一个不带电的物体内部一定没有电荷

B. 物体带电一定具有多余的电子

C. 物体带电的过程就是电荷转移的过程

D. 电荷发生中和的现象是等量异种电荷完全相互抵消的结果

CD　**解析**：一个物体不带电并不是内部没有电荷，而是由于正、负电荷一样多，从而对外显示电中性，故 A 错误；当物体内正电荷多于负电荷时，对外显示带正电，当物体内负电荷多于正电荷时，对外显示带负电，故 B 错误；物体带电的实质就是得失电子，即电荷的转移，故 C 正确；带等量异种电荷的物体相接触时，带负电的物体中的多余电子全部转移到带正电的物体上与正电荷相互抵消，从而使两物体都呈电中性，故 D 正确。

4. 对于一个已经带电的物体，下列说法正确的是（　　）

A. 物体上一定有多余的电子

B. 物体上一定缺少电子

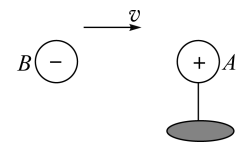
C. 物体所带电荷量一定是 1.60×10^{-19} C 的整数倍

D. 物体所带电荷量可以是一个任意的值

C　**解析**：带电物体若带正电，则物体上缺少电子，若带负电，则物体上有多余的电子，A、B 错误；物体所带电荷量一定等于元电荷的整数倍，C 正确，D 错误。

知识点 3　静电感应和验电器

5. 如图所示，导体 A 带正电，当带负电的导体 B 靠近 A 时，A 带的（　　）



A. 正电荷增加

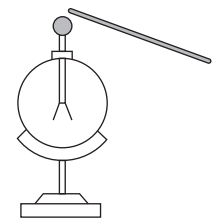
B. 负电荷增加

C. 正、负电荷均增加

D. 电荷量不变

D　**解析**：当带负电的导体 B 靠近导体 A 时，两导体之间无接触，由电荷守恒定律可知，A 带的电荷量不变，只是电荷在导体表面上发生了重新分布（电荷重新分布是由电荷之间的相互作用产生的），故 D 正确。

6.（多选）如图所示，某验电器金属小球和金属箔片均带负电，金属箔片处于张开状态。现用绝缘柄将带有少量负电荷的硬橡胶棒向验电器的金属小球移近少许（不接触），则验电器金属箔片（　　）



A. 张角增大少许

B. 张角减小少许

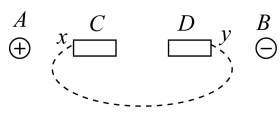
C. 硬橡胶棒靠近少许，将致使金属小球上的电子向金属箔片移动

D. 硬橡胶棒靠近少许，将致使金属箔片上的质子向金属小球移动

AC　**解析**：硬橡胶棒靠近金属小球少许时，负电荷间相互排斥，致使金属小球上的电子向金属箔片移动，金属箔片上的负电荷增多，金属箔片间的排斥力增大，使金属箔片间的张角增大，故 A、C 正确，B、D 错误。

综合性·创新提升

7. 如图所示，A、B 为带异种电荷的小球，将两根不带电的导体棒 C、D 放在两球之间，在用导线将 C 棒左端点 x 和 D 棒右端点 y 连接起来的瞬间（图中虚线），导线中自由电子移动的方向是（　　）



A. $x\rightarrow y$

B. $y\rightarrow x$

C. 没有电流

D. 先是 $y\rightarrow x$，然后是 $x\rightarrow y$

B　**解析**：由于同种电荷相斥，异种电荷相吸，在 C、D 由导线连接起来组成的导体中，自由电子沿 y 向 x 运动，在 C 中聚集负电荷，在 D 中聚集正电荷，B 正确。

8. 干燥的天气用梳子梳理头发时，常常发出啪啪的响声。若某次将头发梳理完成后，梳子带上了 $q=-4.8\times10^{-8}$ C 的电荷。已知电子的电荷量为 $e=$

-1.6×10^{-19} C，则下列说法正确的是　　（　　）

A. 该过程有 4.8×10^{-8} C 的正电荷从梳子转移到头发

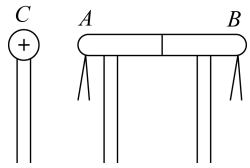
B. 该过程有 4.8×10^{-8} C 的负电荷从头发转移到梳子

C. 该过程有 4.8×10^{11} 个电子从头发转移到梳子

D. 该过程有 3×10^{11} 个质子从梳子转移到头发

B　**解析**：摩擦起电的本质是电子转移，某次将头发梳理完成后，梳子带上了 $q=-4.8\times10^{-8}$ C 的电荷，则该过程有 4.8×10^{-8} C 的负电荷从头发转移到梳子，转移的电子数量为 $n=\dfrac{-4.8\times10^{-8}}{-1.6\times10^{-19}}=3\times10^{11}$ 个，故选 B。

9.（多选）如图所示，A、B 为相互接触的用绝缘支柱支持的金属导体，开始它们不带电，在它们的下部贴有金属箔片，其附近有一带正电的小球 C。下列说法不正确的是　　（　　）



A. 把 C 移近导体 A 时，A 带负电，B 带正电

B. 先把 C 移近导体 A 后，再把 A、B 分开，然后移去 C，A、B 上的金属箔片仍张开

C. 先把 C 移走，再把 A、B 分开，A 上的金属箔片仍张开

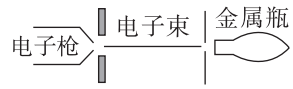
D. 先把 A、B 分开，再把 C 移走，然后重新让 A、B 接触，则 A 上的金属箔片仍张开，B 上的金属箔片闭合

CD　**解析**：根据电荷间的相互作用规律可知，把 C 移近导体 A 时，导体 B 要感应出正电荷，导体 A 会感应出负电荷，所以导体两端的金属箔片都张开，且 A 带负电，B 带正电，此时把 A 和 B 分开，A 带负电，B 带正电，金属箔片仍张开，故选项 A、B 正确；先把 C 移走，A、B 不再带电，再把 A、B 分开，A、B 上的金属箔片不会张开，故选项 C 错误；先把 A、B 分开，再把 C 移走，A、B 仍带电，但重新让 A、B 接触后，A、B 上的感应电荷完全中和，金属箔片都不会张开，故选项 D 错误。

10. 如图所示，通过调节电子枪产生的电子束，使每秒有 10^4 个电子到达收集电子的金属瓶，经过一段时间后，金属瓶带有 -8×10^{-12} C 的电荷。

(1) 金属瓶收集到多少个电子？

(2) 实验的时间有多长？



解析：(1) 金属瓶收集到的电子数目为

$N=\dfrac{Q}{e}=\dfrac{-8\times10^{-12}}{-1.6\times10^{-19}}=5\times10^7$（个）。

(2) 实验的时间 $t=\dfrac{N}{10^4\text{ 个/s}}=\dfrac{5\times10^7}{10^4}$ s$=5\,000$ s。

答案：(1) 5×10^7 个　(2) 5 000 s

2　库仑定律

学习任务目标

1.知道点电荷模型。（物理观念）
2.通过演示实验，定性了解电荷之间的作用力大小与电荷量以及电荷之间距离的关系。（科学探究）
3.了解库仑扭秤实验。（科学探究）
4.理解库仑定律的含义及其表达式，会用库仑定律进行有关计算。（科学思维）

问题式预习

知识点一　探究影响点电荷之间相互作用力的因素

1.点电荷

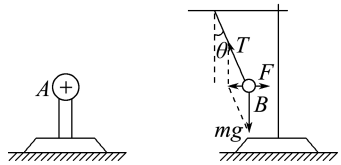
(1)定义：在研究带电体与其他带电体的相互作用力时，若该带电体的形状、大小以及电荷在其上的分布状况均可忽略，可将它看作一个带电的点，这样的电荷称为点电荷。

(2)点电荷是一个理想化的物理模型。

(3)带电体看成点电荷的条件

如果带电体间的距离比它们自身的大小大得多，以至于带电体的形状和大小及电荷分布状况对相互作用力的影响很小，就可以忽略形状、大小等次要因素，只保留对问题有关键作用的电荷量，这时带电体就能看成点电荷。

2.实验：探究影响点电荷之间相互作用力的因素

实验原理	 如图所示，$F=mg\tan\theta$。θ 变大，F 变大；θ 变小，F 变小	
实验方法（控制变量法）	保持电荷量不变，探究电荷间作用力与距离的关系	保持两带电小球间的距离不变，探究电荷间作用力与电荷量的关系
实验操作	小球 A 向右移动，从而改变小球间距 r，观察夹角 θ 的变化情况	保持两小球之间距离不变，改变小球 A 的电荷量 q，观察夹角 θ 的变化情况
实验现象	r 变大，θ 变小；r 变小，θ 变大	q 变大，θ 变大；q 变小，θ 变小
实验结论	带电体之间的相互作用力随电荷量的增大而增大，随它们之间距离的增大而减小	

［科学思维］

某次物理课上，甲、乙两位同学探讨点电荷的对话如下：

甲："由于带电体 A 的体积很小，故它一定是点电荷。"

乙："由于带电体 B 的电荷量很小，故它一定是点电荷。"

甲、乙两位同学的观点，你认为谁的正确？为什么？

提示：甲、乙两位同学的观点都不正确。当带电体的大小和形状相对于研究的问题可以忽略不计时，该带电体就可以看成点电荷，一个带电体能否看成点电荷，不能只看它的体积大小，也不能只看它的电荷量是多少。

知识点二　库仑定律

1.库仑定律

(1)内容：真空中两个静止的点电荷之间的作用力与这两个电荷所带电荷量的乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比，作用力的方向沿着这两个点电荷的连线。

(2)公式：$F=k\dfrac{Q_1Q_2}{r^2}$。

(3)静电力常量：$k=9.0\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$。

(4)适用条件：真空中的点电荷，对空气中的点电荷近似适用。

2.库仑力：电荷间的相互作用力，也叫作静电力。

［科学思维］

根据公式 $F=k\dfrac{Q_1Q_2}{r^2}$，有的同学认为当 $r\to0$ 时，F 为无穷大，这种说法对吗？为什么？

提示：不对。当 $r\to0$ 时，电荷就不能看成点电荷了，库仑定律不再适用。

知识点三　库仑定律的初步应用

1.两个点电荷之间的作用力不会因第三个点电荷的存在而有所改变。

2.静电力的叠加：两个或两个以上的点电荷对某一个点电荷的作用力，等于各点电荷单独对这个点电荷的作用力的矢量和。

3.带电体间的静电力在合成和分解时遵循平行四边形定则。

［科学思维］

真空中有静止的两点电荷 A、B，其中 A 对 B 的静电力为 F，某时刻引入点电荷 C。

(1)A 对 B 的库仑力是否发生变化？

(2)B 受到的库仑力是否发生变化？

提示：(1)不发生变化，两点电荷之间的库仑力不会因为第三个点电荷的出现而发生变化。

(2)发生变化，B 受到的库仑力由一个力变为两个力的矢量和。

任务型课堂

任务一　对库仑定律的理解和应用

1.下列关于点电荷的说法正确的是　　(　　)

A. 任何带电球体，都可看成电荷全部集中于球心的点电荷

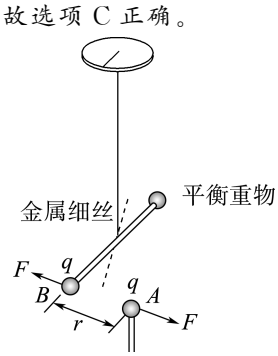
B. 体积很大的带电体一定不能看成点电荷

C. 当两个带电体的大小远小于它们之间的距离时，可将这两个带电体看成点电荷

D. 一切带电体都可以看成点电荷

C　**解析**：能否把一个带电体看成点电荷，关键在于分析问题时是否考虑它的大小和形状，而不能以它的大小而论，应该根据具体情况而定。若它的体积和形状可不予考虑，就可以将其看成点电荷，若带电球体电荷分布不均匀，则带电球体不能看成电荷全部集中于球心的点电荷。故选项 C 正确。

2.如图所示，在库仑扭秤实验中，两个完全相同的小球 A 和 B 分别带等量同种电荷，小球 A 固定在绝缘支架上，小球 B 通过金属细丝悬挂在扭秤上。当系统平衡时，金属细丝的扭转角度为 θ。已知细丝处于弹性限度内且 θ 较小，库仑力与扭转角度成正比，即 $F\propto\theta$。实验中，得到下表中数据。下列说法正确的是　　(　　)



距离变化	电荷量变化	扭转角变化
$r\to 2r$	不变	$\theta\to\frac{\theta}{4}$
不变	$q\to 2q$(两球)	$\theta\to 4\theta$
$r\to\frac{r}{2}$	$q\to\frac{q}{2}$(两球)	θ 不变

A. 库仑力 F 与距离 r 成反比，与电荷量 q 成正比

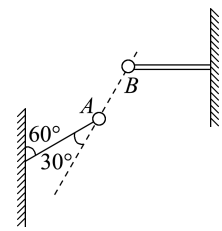
B. 库仑力 F 与距离的二次方 r^2 成反比，与电荷量 q 成反比

C. 若小球间的距离减小为原来的一半，两小球的电荷量也减半，则库仑力保持不变

D. 若小球间的距离减小为原来的一半，两小球的电荷量也减半，则库仑力变为原来的 2 倍

C　**解析**：由题表中数据可知，库仑力 F 与 r^2 成反比，与两小球所带电荷量的乘积成正比，故 A、B、D 错误，C 正确。

3.(2025·湖南卷)如图所示，两带电小球的质量均为 m，小球 A 用一端固定在墙上的绝缘轻绳连接，小球 B 用固定的绝缘轻杆连接。A 球静止时，轻绳与竖直方向的夹角为 60°，两球连线与轻绳的夹角为 30°，整个系统在同一竖直平面内，重力加速度大小为 g。下列说法正确的是　　(　　)



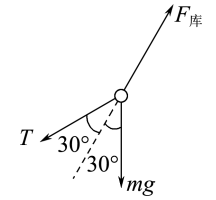
A. A 球静止时，轻绳上的拉力大小为 $2mg$

B. A 球静止时，A 球与 B 球间的库仑力大小为 $2mg$

C. 若将轻绳剪断，则剪断瞬间 A 球的加速度大小为 g

D. 若将轻绳剪断，则剪断瞬间轻杆对 B 球的作用力变小

C　**解析**：如图所示，对 A 球受力分析，根据平行四边形定则可得，轻绳上的拉力大小为 $T=mg$，AB 两球间的库仑力大小为 $F_{库}=2mg\cos 30°=\sqrt{3}mg$，故 A、B 错误；若将轻绳剪断，则 A 球受到轻绳的拉力消失，其他两力保持不变，根据三力平衡知识，此时 A 球的合力大小为 mg，则加速度大小为 g，故 C 正确；若将轻绳剪断，剪断瞬间 B 球受到的库仑力、重力不变，小球 B 仍然处于静止状态，则轻杆对 B 球的作用力不变，故 D 错误。



4.(多选)两个完全相同的金属小球(皆可视为点电荷)，它们的电荷量大小之比为 5∶1，它们在相距一定距离时相互作用力的大小为 F_1。如果让它们接触后再放回各自原来的位置上，此时相互作用力的大小变为 F_2，则 $F_1∶F_2$ 可能为　　(　　)

A. 5∶2　　B. 5∶4

C. 5∶6　　D. 5∶9

BD　**解析**：在接触前，设两个金属小球的电荷量的

绝对值分别为 $5q$、q，距离为 r，两个金属小球之间的相互作用力大小为 $F_1=k\frac{5q^2}{r^2}$。若两金属小球带异种电荷，接触后再分开，两小球各自的电荷量的绝对值均为 $2q$，此时两小球间的相互作用力大小为 $F_2=k\frac{4q^2}{r^2}=\frac{4}{5}F_1$，则 $F_1:F_2=5:4$；若两金属小球带同种电荷，接触后再分开，两小球各自的电荷量的绝对值均为 $3q$，此时两小球间的相互作用力大小为 $F_2=k\frac{9q^2}{r^2}=\frac{9}{5}F_1$，则 $F_1:F_2=5:9$，故 B、D 正确。

任务总结

1.对点电荷的理解

点电荷是物理模型，即只有电荷量，没有大小、形状的理想化的模型，类似于力学中的质点，实际中并不存在。

2.对库仑定律的理解

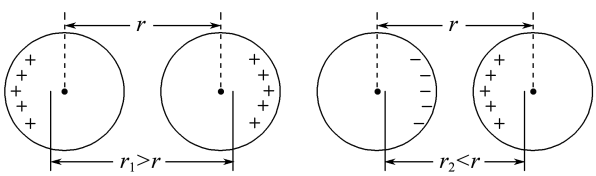
(1)库仑定律仅适用于真空中的两个点电荷相互作用的理想情况。当 $r\to 0$ 时，两带电体已不能看作点电荷，库仑定律及其公式也就不再适用了。

(2)库仑定律除了用于计算库仑力的大小外，还可以用来判断库仑力的方向。

(3)如果一个点电荷同时受到两个或更多的点电荷的作用，可以根据力的合成法则求合力。

3.两个带电导体球间的库仑力

两带电导体球之间的作用距离会随所带电荷的改变而改变，即电荷的分布会发生改变。带同种电荷时，如图甲所示，由于排斥而使作用距离变大，此时 $F<k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$；带异种电荷时，如图乙所示，由于吸引而使作用距离变小，此时 $F>k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$。



甲　　乙

4.库仑定律与万有引力定律的比较

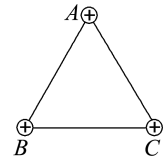
(1)库仑定律和万有引力定律都遵从与距离的二次方成反比的规律。

(2)对于微观的带电粒子，它们之间的库仑力要比万有引力大得多。比如电子和质子间的库仑力 F_1 是它们间万有引力 F_2 的 2.3×10^{39} 倍，正因如此，在研究带电微粒间的相互作用时，可以忽略万有引力。

任务二　库仑力的叠加及其与力学知识的综合

[探究活动]

如图所示，真空中有三个点电荷 A、B、C，它们固定在边长为 a 的等边三角形的三个顶点上，电荷量都是 Q。



(1)电荷 C 所受的 A、B 对它的静电力各为多少？方向如何？

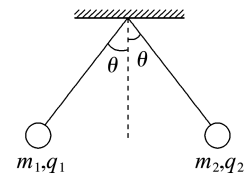
(2)电荷 C 所受的总静电力为多少？方向如何？

提示：(1)A 对 C 的静电力为 $\frac{kQ^2}{a^2}$，方向沿 AC 方向；B 对 C 的静电力为 $\frac{kQ^2}{a^2}$，方向沿 BC 方向。

(2)根据平行四边形定则，电荷 C 所受静电力的合力为 $\frac{\sqrt{3}kQ^2}{a^2}$，方向沿 AB 连线的中垂线斜向下。

[评价活动]

1.如图所示，质量分别为 m_1 和 m_2 的两小球，分别带电荷量 q_1 和 q_2。用绝缘线悬于同一点，由于静电斥力使两绝缘线与竖直方向张开相同的角度(两小球在同一水平线上)，则　　(　　)



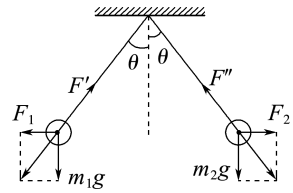
A. q_1 必等于 q_2

B. m_1 必等于 m_2

C. $\frac{q_1}{m_1}$ 必等于 $\frac{q_2}{m_2}$

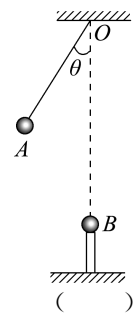
D. $q_1=q_2$ 和 $m_1=m_2$ 必须同时满足

B　**解析**：依据题意对两个带电小球进行受力分析，如图所示：



根据平衡条件得 $F_1=m_1g\tan\theta$、$F_2=m_2g\tan\theta$，因为 $F_1=F_2=k\frac{q_1q_2}{r^2}$，所以有 $m_1=m_2$。故 B 正确。

2.如图所示，质量为 m、电荷量为 q 的带电小球 A 用绝缘细线悬挂于 O 点，带有电荷量也为 q 的小球 B 固定在 O 点正下方的绝缘柱上。绝缘细线长为 l，O 点与小球 B 的间距为 $\sqrt{3}l$，当小球 A 平衡时，绝缘线与竖直方向夹角 $\theta=30°$。带电小球 A、B 均可视为点电荷，静电力常量为 k。则　　(　　)



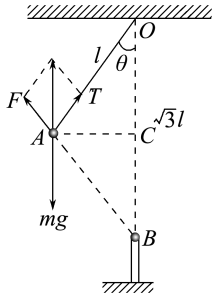
A. A、B 间库仑力大小为 $F=\frac{kq^2}{2l^2}$

B. A、B 间库仑力大小为 $F=\dfrac{\sqrt{3}mg}{3}$

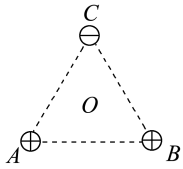
C. 绝缘线拉力大小为 $T=\dfrac{kq^2}{3l^2}$

D. 绝缘线拉力大小为 $T=\sqrt{3}mg$

B　**解析**：带电小球 A 受力如图所示，根据几何关系知，$OC=\dfrac{\sqrt{3}}{2}l$，即 C 点为 OB 中点，根据对称性知 $AB=l$。由库仑定律知 A、B 间库仑力大小 $F=\dfrac{kq^2}{l^2}$，绝缘线拉力 $T=F=\dfrac{kq^2}{l^2}$，选项 A、C 错误；根据平衡条件得 $2F\cos 30°=mg$，得 $F=\dfrac{\sqrt{3}mg}{3}$，绝缘线拉力 $T=\dfrac{\sqrt{3}mg}{3}$，选项 B 正确，D 错误。



3. 真空中有三个点电荷，它们固定在边长为 L 的正三角形的三个顶点上如图所示，其中 $q_A=q_B=q$，$q_C=-3q$，O 点为三角形的中心，在 O 点固定一点电荷 Q。已知 q_B 对 Q 的库仑力为 F，则 Q 受到的合力为　（　　）



A. $2F$　　B. $\sqrt{2}F$

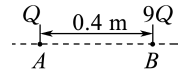
C. $3F$　　D. $4F$

D　**解析**：O 点为三角形的中心，则 A、B、C 到 O 点的间距相等，令为 r，由于 q_B 对 Q 的库仑力为 F，则有 $F=k\dfrac{qQ}{r^2}$，q_A 对 Q 的库仑力为 $F_A=k\dfrac{qQ}{r^2}$，q_C 对 Q 的库仑力为 $F_C=k\dfrac{3qQ}{r^2}$，根据力的合成可知，Q 受到的合力为 $F_{合}=F_C+2F\cos 60°=4F$，故选 D。

4. 如图所示，有两个带正电的小球 A、B，所带电荷量分别为 Q 和 $9Q$，在真空中相距0.4 m。如果引入第 3 个小球 C，恰好使 3 个小球在它们相互的静电力作用下处于平衡状态。问：

(1)第 3 个小球应带何种电荷？

(2)第 3 个小球应放在何处？电荷量的大小又是多少？



解析：(1)3 个点电荷要想平衡，应处在同一条直线上，具有“两同夹一异”的特点。第 3 个小球 C 应放置在小球 A 和 B 的连线上并带负电。

(2)设第 3 个小球 C 所带电荷量为 q(取绝对值)，到 A 球的距离为 x m，则对小球 C，由平衡条件可得

$$k\frac{Qq}{x^2}=k\frac{9Qq}{(l-x)^2}$$

可解得 $x=0.1$ m

即小球 C 放在 A、B 连线上距 A 球 0.1 m 处

对小球 A，由平衡条件可得 $k\dfrac{Qq}{x^2}=k\dfrac{9Q^2}{l^2}$

解得 $q=\dfrac{9}{16}Q$。

答案：(1)带负电　(2)在 A、B 两个小球连线之间，距 A 球 0.1 m 处　$\dfrac{9}{16}Q$

任务总结

1. 静电力具有力的一切性质，静电力可以与静电力叠加，也可以与其他力叠加。静电力叠加原理实际就是力的叠加原理的一种具体表现。

2. 当多个带电体同时存在时，任意一带电体同时受到多个静电力的作用，可以利用平行四边形定则求其所受合力。

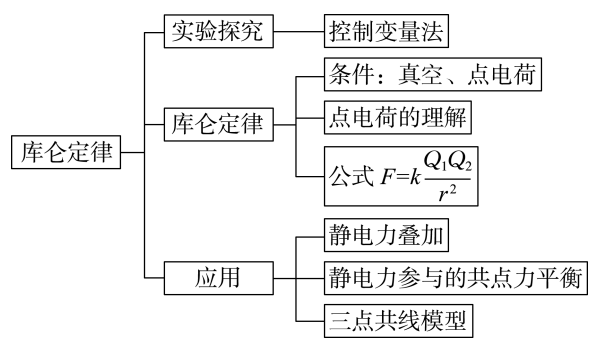
3.静电力作用下的平衡问题的处理思路

(1)静电力作用下的平衡问题的处理思路与之前的平衡问题的处理思路是一样的，只是在受力分析时要特别注意分析库仑力。

(2)两带电体间的静电力遵循牛顿第三定律，即无论两个带电体的电荷量是否相等，它们之间的静电力总是等大反向的。

4. 三个自由点电荷都处于平衡状态时，三个点电荷满足：三点共线、两同夹一异、两大夹一小、近小远大的特点。

提质归纳



课后素养评价(二)

基础性·能力运用

知识点 1　点电荷和库仑定律

1.物理学中引入“质点”“点电荷”等概念,从科学方法上来说属于　(　　)

A. 控制变量法

B. 建立理想模型的方法

C. 假设与猜想的方法

D. 极限法

B　**解析**:物理学中引入“质点”“点电荷”等概念,从科学方法上来说属于建立理想模型的方法,故选 B。

2.关于库仑定律,下列说法正确的是　(　　)

A. 库仑定律适用于点电荷,点电荷其实就是体积很小的球体

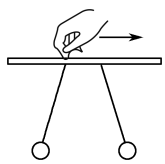
B. 根据 $F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$,当两电荷的距离趋近于零时,静电力将趋向无穷大

C. 若点电荷 Q_1 的电荷量大于 Q_2 的电荷量,则 Q_1 对 Q_2 的静电力大于 Q_2 对 Q_1 的静电力

D. 库仑定律和万有引力定律的表达式相似,都是平方反比定律

D　**解析**:点电荷是实际带电体的近似,只有带电体的大小和形状对电荷的作用力影响很小时,实际带电体才能视为点电荷,故 A 错误;当两个电荷之间的距离趋近于零时,不能再视为点电荷,公式 $F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$ 就不能用于计算此时的静电力,故 B 错误;Q_1 和 Q_2 之间的静电力是一对相互作用力,它们的大小相等,故 C 错误;库仑定律的表达式为 $F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$,万有引力定律的表达式为 $F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$,两表达式相似,研究和运用的方法也很相似,都是平方反比定律,D 正确。

3.如图所示,绝缘细线悬挂着的两小球带同种电荷。将它们相互靠近,观察到两小球向两侧偏离的角度增大,由此可以推断　(　　)



A. 同种电荷相互吸引,距离越近,电荷间的作用力越大

B. 同种电荷相互吸引,距离越近,电荷间的作用力越小

C. 同种电荷相互排斥,距离越近,电荷间的作用力越大

D. 同种电荷相互排斥,距离越近,电荷间的作用力越小

C　**解析**:同种电荷一定相互排斥,故选项 A、B 错误;由题意知距离越近,两小球向两侧偏离的角度越大,说明电荷间的作用力越大,故选项 C 正确,D 错误。

4.两个相同的金属小球(可看成点电荷)带有同种电荷,且电荷量之比为 1∶7,在真空中相距 r,两者相互接触后再放回原来的位置上,则它们之间的库仑力是原来的　(　　)

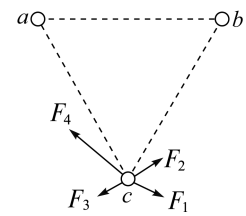
A. 7 倍　　B. $\frac{3}{7}$

C. $\frac{9}{7}$ 倍　　D. $\frac{16}{7}$ 倍

D　**解析**:设两球原来所带电荷量分别为 Q 和 $7Q$,先接触再分开后电荷量均为 $4Q$,根据库仑定律的公式 $F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$ 可知,它们之间的库仑力是原来的 $\frac{16}{7}$,故 D 正确。

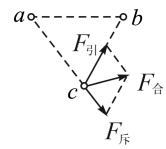
知识点 2　库仑力的叠加和平衡

5.如图所示,三个完全相同的金属小球 a、b、c 位于等边三角形的三个顶点上。a 和 c 带正电,b 带负电,a 所带电荷量的大小比 b 的小。已知 c 受到 a 和 b 的静电力的合力可用图中四条有向线段中的一条来表示,则此有向线段应是　(　　)

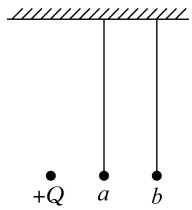


A. F_1　　B. F_2　　C. F_3　　D. F_4

B　**解析**:以小球 c 为研究对象进行受力分析,由于 b 球所带电荷量的大小比 a 球的大,故 b 球对 c 球的静电引力较大,根据平行四边形定则,合力的方向应向右上偏,如图所示,故 B 正确。



6. 如图所示是水平天花板下用长度相同的绝缘细线悬挂起来的两个相同的带电介质小球 a、b，左边放一个带电荷量为 $+Q$ 的固定球时，两细线都保持竖直方向。下列说法正确的是　（　）



A. a 球带正电，b 球带正电，并且 a 球带电荷量较大

B. a 球带负电，b 球带正电，并且 a 球带电荷量较小

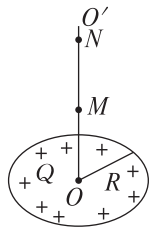
C. a 球带负电，b 球带正电，并且 a 球带电荷量较大

D. a 球带正电，b 球带负电，并且 a 球带电荷量较小

B　**解析**：对 a、b 两球受力分析，由于细线都沿竖直方向，说明水平方向各自所受合力为零，由同种电荷相互排斥、异种电荷相互吸引，可得 a 球带负电，b 球带正电。以 a、b 作为整体受力分析，得 $+Q$ 对 a 和 $+Q$ 对 b 的水平方向的库仑力大小相等、方向相反，a 离 $+Q$ 近，根据 $F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$ 可知 a 球所带电荷量较小，b 球所带电荷量较大，故 B 正确。

综合性·创新提升

7. 如图所示，一个半径为 R 的圆盘，带电荷量为 Q，OO' 为过圆盘圆心 O 的直线，且 OO' 与圆盘面垂直，在 OO' 上的 M 点放电荷量为 q 的另一个点电荷，此时圆盘与 q 的库仑力为 F，若将 q 移至 N 点，圆盘与 q 的库仑力为 F'。已知 $OM=MN=R$，则 F' 等于　（　）

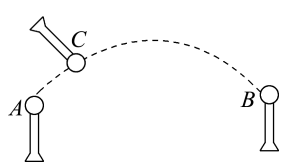


A. $2F$　　B. $\frac{1}{2}F$

C. $\frac{F}{4}$　　D. 以上答案都不对

D　**解析**：由于点电荷 q 和圆盘间距离为 R，而圆盘的半径也为 R，因而圆盘的大小和形状不能忽略，即不能看成点电荷，所以点电荷 q 和圆盘间的库仑力不能用库仑定律计算，故选 D。

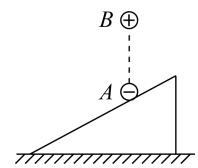
8. (2025·河北卷)(多选)如图所示，真空中固定在绝缘台上的两个相同的金属小球 A 和 B 带有等量同种电荷，电荷量为 q，两者间距远大于小球直径，两者之间的静电力大小为 F。用一个电荷量为 Q 的同样的金属小球 C 先跟 A 接触，再跟 B 接触，移走 C 后，A 和 B 之间的静电力大小仍为 F，则 $Q:q$ 的绝对值可能是　（　）



A. 1　　B. 2　　C. 3　　D. 5

AD　**解析**：设 A、B 间的距离为 r，原来 A、B 间的静电力 $F=\frac{kq^2}{r^2}$，小球 C 先跟 A 接触，此时 A、C 的电荷量都变为 $q_1=\frac{Q+q}{2}$，C 再跟 B 接触，C、B 的电荷量都变为 $q_2=\frac{q_1+q}{2}$，移走 C 后，A 和 B 之间的静电力 $F=\frac{kq_1q_2}{r^2}$，整理得 $Q^2+4Qq-5q^2=0$，即 $(Q+5q)(Q-q)=0$，解得 $Q=-5q$ 或 $Q=q$，所以 $|\frac{Q}{q}|=5$ 或 $|\frac{Q}{q}|=1$，故 A、D 正确，B、C 错误。

9. (多选)如图所示，可视为点电荷的小物体 A、B 分别带负电和正电，B 固定，其正下方的 A 静止在绝缘斜面上，则 A 的受力个数可能为　（　）

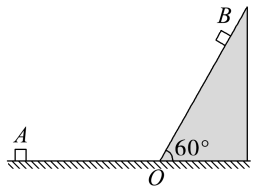


A. 2 个　　B. 3 个　　C. 4 个　　D. 5 个

AC　**解析**：小物体 A 至少受到两个力的作用，即重力和 B 对它的静电力，这 2 个力方向相反，若两者恰好大小相等，则 A 只受这 2 个力的作用；若向上的静电力小于 A 的重力，则 A 还将受到斜面的支持力，这 3 个力不能平衡，用假设法可得 A 必定也受到了斜面的静摩擦力。所以 A 受到的力可能是 2 个，也可能是 4 个，故选 A、C。

10. 如图所示，粗糙水平面上放置一带正电的小物块 A，光滑固定的斜面上放有一电荷量为 $+q$ 的小物块 B，当 A、B 与斜面底端 O 点的距离均为 L 时，

A、B 均能保持静止。已知斜面倾角为 60°，A、B 的质量均为 m，静电力常量为 k，重力加速度为 g。下列说法正确的是　　（　　）



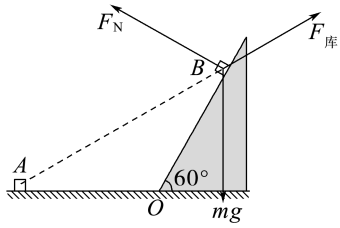
A. B 的电荷量比 A 的大

B. A 的电荷量 $Q=\dfrac{3mgL^2}{kq}$

C. 水平面对 A 的支持力大小为 $2mg$

D. A、B 间静电力的大小为 $\sqrt{3}mg$

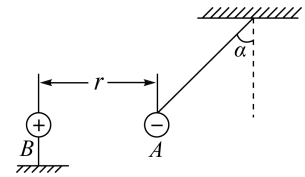
B　**解析**：对 B 受力分析，如图所示，根据共点力平衡条件有 $mg\sin 60°=F_{库}\cos 30°$，$mg\cos 60°+F_{库}\sin 30°=F_N$，其中 $F_{库}=k\dfrac{Qq}{(\sqrt{3}L)^2}$，解得 $F_{库}=F_N=mg$，$Q=\dfrac{3mgL^2}{kq}$，无法比较 A、B 的电荷量大小，故 B 正确，A、D 错误；对 A 受力分析可知 $F_{库}\sin 30°+mg=F'_N$，解得 $F'_N=\dfrac{3}{2}mg$，故 C 错误。



11. 如图所示，把一电荷量为 $Q=-5\times10^{-8}$ C 的小球 A 用绝缘细绳悬挂起来，若将电荷量为 $q=+4\times10^{-6}$ C 的带电小球 B 靠近 A，当两个带电小球在同一高度且相距 30 cm 时，细绳与竖直方向的夹角 $\alpha=45°$，取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$，$k=9.0\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$，且 A、B 两小球均可视为点电荷。求：

(1)A、B 两小球间的库仑力大小；

(2)小球 A 的质量。

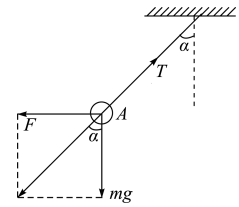


解析：(1)由库仑定律得 $F=k\dfrac{|Q|q}{r^2}$

代入数据得 $F=0.02$ N

故 A、B 两小球间的库仑力大小为 0.02 N。

(2)对小球 A 受力分析如图所示：



根据平衡条件得 $F=mg\tan\alpha$

代入数据可得小球 A 的质量为 $m=2\times10^{-3}$ kg。

答案：(1)0.02 N　(2)2×10^{-3} kg

3　静电场　电场强度和电场线

学习任务目标

1.知道电场是一种物质，学会利用检验电荷探究电场性质的方法。（物理观念）
2.知道点电荷的电场和匀强电场的区别，知道电场的叠加原理，能应用该原理进行简单计算。（科学思维）
3.了解利用实验来模拟电场线的分布。（科学探究）

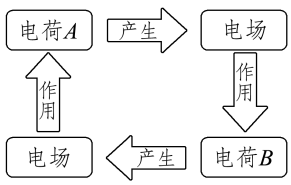
问题式预习

知识点一　静电场

1.电场的产生：电荷在它周围产生电场，电场是电荷周围存在的一种特殊物质。
2.电场力：电场对放入其中的电荷产生的作用力。
3.静电场：静止电荷周围产生的电场。

［科学思维］

电荷之间通过电场产生相互作用。



［判一判］

1.电场是人们为了解释电荷间的作用力，人为创造的，并不是真实存在的。（×）
2.电场看不见、摸不着，因此电场不是物质。（×）
3.电场对放入其中的任何电荷都有力的作用。（√）

知识点二　电场强度

1.两种电荷

(1)检验电荷：为研究电场的性质而引入的电荷量和体积都很小的点电荷。

(2)场源电荷：如果电场是由某个带电体产生的，那么该带电体所带的电荷称为场源电荷或源电荷。

2.电场强度

(1)定义：放入电场中某处的检验电荷受到的电场力跟它的电荷量的比值。

(2)公式：$E=\frac{F}{q}$。

(3)单位：牛每库；符号：N/C。

(4)方向：电场强度是矢量，规定某点电场强度的方向跟正电荷在该点所受静电力的方向相同。负电荷在电场中某点所受静电力的方向跟该点电场强度的方向相反。

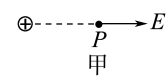
(5)物理意义：电场强度是描述电场的力的性质的物理量，与检验电荷受到的静电力大小无关。

3.真空中点电荷的场强

(1)大小：$E=k\frac{Q}{r^2}$。

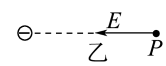
(2)方向

①正场源电荷：某点 P 的场强方向沿着二者连线背离正电荷，如图甲所示。



甲

②负场源电荷：某点 P 的场强方向沿着二者连线指向负电荷，如图乙所示。



乙

4.电场强度的叠加

当空间存在多个电荷时，空间中某一点的场强为各个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和。

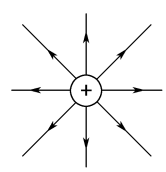
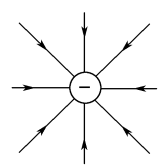
［科学思维］

真空中点电荷的场强 $E=k\frac{Q}{r^2}$，其中 k 是静电力常量，Q 是场源电荷的电荷量，r 是电场中该点到场源电荷的距离。

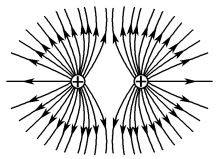
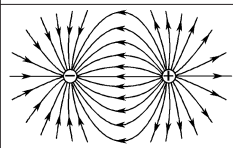
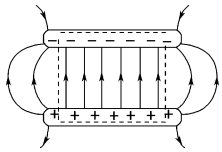
知识点三　电场线

1.电场线：电场线是画在电场中的一条条有方向的曲线，曲线上每点的切线方向表示该点的电场强度方向，电场线不是实际存在的线，而是为了形象描述电场而假想的线。

2.几种典型电场的电场线分布

电场	图像	记忆口诀
正点电荷		“光芒四射”
负点电荷		“万箭穿心”

续表

电场	图像	记忆口诀
等量同种点电荷		“比翼双飞”
等量异种点电荷		“大红灯笼”
带等量异种电荷的两金属板内部形成的匀强电场		互相平行且等间距的直线

3.电场线的特点

(1)电场线从正电荷或无穷远处出发,终止于无穷远处或负电荷,是不闭合曲线。

(2)电场线在电场中不相交,因为电场中同一个位置电场强度的方向只能有一个。

(3)在同一电场中,电场强度较大的地方电场线较密集,电场强度较小的地方电场线较稀疏。

4.匀强电场

(1)定义:如果电场中各点场强大小和方向都相同,这样的电场就叫作匀强电场。

(2)特点:匀强电场的电场线是间隔相等的平行线。

[**科学思维**]

一带电粒子在匀强电场里,仅在电场力的作用下,处于怎样的运动状态?

提示:做匀变速运动。

任务型课堂

任务一　对电场强度的理解

1.(多选)有关电场强度的理解,下列说法正确的是(　　)

A. 由 $E=\frac{F}{q}$ 可知,电场强度 E 跟放入的检验电荷 q 所受的电场力成正比

B. 当电场中存在检验电荷时,电荷周围才出现电场这种特殊的物质,才存在电场强度

C. 由 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 可知,在离点电荷很远时,r 趋近于无穷大,电场强度为零

D. 电场强度是反映电场本身特性的物理量,与是否存在检验电荷无关

CD　**解析**:电场强度的大小由场源电荷及其位置决定,与检验电荷及其所受电场力无关,A 错误,D 正确;电场及电场强度的有无与检验电荷的有无无关,B 错误;根据 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 可知,r 趋近于无穷大时,电场强度为零,C 正确。

2.(多选)在正点电荷 Q 的电场中的 P 点放一检验电荷,其电荷量为 $+q$,P 点与 Q 的距离为 r,$+q$ 所受的静电力为 F。则 P 点的电场强度的大小为(　　)

A. $\frac{F}{Q}$　　B. $\frac{F}{q}$

C. $\frac{kq}{r^2}$　　D. $\frac{kQ}{r^2}$

BD　**解析**:电场强度的定义式为 $E=\frac{F}{q}$,q 为检验电荷的电荷量,由此可判断选项 B 正确;根据点电荷的场强公式,可知选项 D 正确。

3.一检验电荷 $q=+4\times10^{-9}$ C,在电场中某点 P 受到的静电力大小为 $F=6\times10^{-7}$ N,方向水平向右。

(1)求 P 点的电场强度。

(2)求没有检验电荷时 P 点的电场强度。

(3)若将检验电荷换为 $q'=-1.2\times10^{-6}$ C,再放于 P 点,求此检验电荷所受的静电力 F'。

解析:(1)根据电场强度的定义式 $E=\frac{F}{q}$,得 P 点的电场强度大小为 $E=\frac{F}{q}=\frac{6\times10^{-7}}{4\times10^{-9}}$ N/C $=1.5\times10^{2}$ N/C。

由于检验电荷的电性为正,则 P 点电场强度的方向与其所受静电力的方向相同,为水平向右。

(2)电场强度是描述电场性质的物理量,跟有无检验电荷无关,所以没有检验电荷时,P 点的电场强度大小仍为 1.5×10^{2} N/C,方向为水平向右。

(3)由 $E=\frac{F}{q}$ 得 $F=qE$,故 $F'=q'E=1.2\times10^{-6}\times1.5\times10^{2}$ N $=1.8\times10^{-4}$ N,负电荷所受静电力的方向与该点场强的方向相反,所以 F' 方向为水平向左。

答案:(1)1.5×10^{2} N/C,方向水平向右

(2)1.5×10^{2} N/C,方向水平向右

(3)1.8×10^{-4} N,方向水平向左

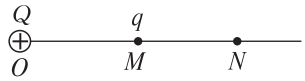
4.在真空中 O 点放有一个点电荷，电荷量 $Q=+1.0\times10^{-9}$ C，直线 MN 通过 O 点，O、M 的距离 $r=30$ cm，在 M 点放一个电荷量 $q=-1.0\times10^{-10}$ C 的点电荷，如图所示（$k=9.0\times10^{9}$ N·m²/C²）。

(1)求 q 在 M 点受到的作用力。

(2)求 M 点的电场强度。

(3)求拿走 q 后 M 点的电场强度。

(4)M、N 两点的电场强度哪点大？



解析：(1)根据库仑定律，q 在 M 点受到的库仑力大小为 $F_M=k\dfrac{|Qq|}{r^2}=1.0\times10^{-8}$ N。

因为 Q 为正电荷，q 为负电荷，则库仑力是吸引力，所以力的方向沿 MO 指向 Q。

(2)根据电场强度定义式得 M 点的电场强度 $E_M=\dfrac{F_M}{|q|}=\dfrac{1.0\times10^{-8}}{1.0\times10^{-10}}$ N/C=100 N/C，其方向沿 OM 背离 Q，因为它的方向跟负电荷所受电场力的方向相反。

(3)电场强度是反映电场性质的物理量，它是由形成电场的电荷 Q 及场中位置决定的，与检验电荷 q 是否存在无关，故 M 点的电场强度仍为 100 N/C，方向沿 OM 背离 Q。

(4)由 $E=\dfrac{kQ}{r^2}$，且 O、M 的距离小于 O、N 的距离可知，M 点的电场强度大。

答案：(1)1.0×10^{-8} N，方向沿 MO 指向 Q

(2)100 N/C，方向沿 OM 背离 Q

(3)100 N/C，方向沿 OM 背离 Q

(4)M 点

任务总结

1.电场的性质

(1)唯一性：电场中某点的电场强度 E 是唯一的，是由电场本身的特性（形成电场的电荷及空间位置）决定的，与是否放入检验电荷、放入检验电荷的电性及电荷量的多少均无关。电场中不同的地方，电场强度一般是不同的。

(2)矢量性：电场强度描述了电场的强弱，是矢量，其方向与在该点的正电荷所受电场力的方向相同，与在该点的负电荷所受电场力的方向相反。

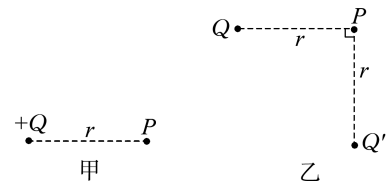
2.$E=\dfrac{F}{q}$ 与 $E=k\dfrac{Q}{r^2}$ 的比较

公式	$E=\dfrac{F}{q}$	$E=k\dfrac{Q}{r^2}$
本质区别	定义式	决定式
适用范围	一切电场	真空中点电荷的电场
Q 或 q 的意义	q 表示引入电场的（检验）电荷的电荷量	Q 表示产生电场的点电荷（场源电荷）的电荷量
关系	E 用 F 与 q 的比值来表示，但 E 的大小与 F、q 的大小无关	E 不仅用 Q、r 来表示，且 $E\propto Q$，$E\propto\dfrac{1}{r^2}$

任务二　电场强度的叠加

[探究活动]

如图甲所示，在正点电荷 $+Q$ 的电场中，P 点到 $+Q$ 的距离为 r。



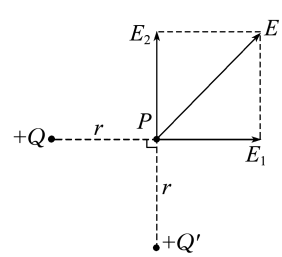
(1)Q 产生的电场在 P 点的电场强度是多大？方向如何？

(2)如果再有一正点电荷 $+Q'$，$Q'=Q$，放在如图乙所示的位置，P 点的电场强度多大？

提示：(1)$+Q$ 产生的电场在 P 点的电场强度大小为 $E=k\dfrac{Q}{r^2}$，方向沿 $+Q$、P 点的连线由 $+Q$ 指向 P 点。

(2)如图所示，P 点的电场强度为 $+Q$、$+Q'$ 单独在 P 点产生的电场强度的矢量和，则

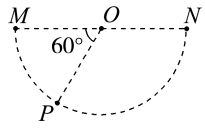
$$E=\sqrt{E_1^2+E_2^2}=\frac{\sqrt{2}kQ}{r^2}。$$



[评价活动]

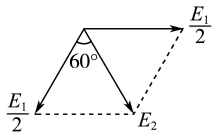
1.如图所示，M、N 和 P 是以 MN 为直径的半圆弧上的三点，O 点为半圆弧的圆心，$\angle MOP=60°$。电荷量相等、符号相反的两个点电荷分别置于 M、N 两

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 点的电场强度大小变为 E_2，那么 E_1 与 E_2 之比为　　（　　）

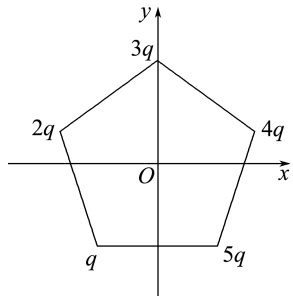


A. 1∶2　　B. 2∶1　　C. $2:\sqrt{3}$　　D. $4:\sqrt{3}$

B　**解析**：依题意，每个点电荷在 O 点产生的电场强度大小为 $\frac{E_1}{2}$，则当 N 点处的点电荷移至 P 点时，O 点的电场强度如图所示，合电场强度大小为 $E_2=\frac{E_1}{2}$，则 $\frac{E_1}{E_2}=\frac{2}{1}$，B 正确。



2.（2025·湖北卷）（多选）如图所示，在 xOy 平面内有一以 O 点为中心的正五边形，顶点到 O 点的距离为 R。在正五边形的顶点上顺时针方向依次固定电荷量为 q、$2q$、$3q$、$4q$、$5q$ 的正点电荷，且电荷量为 $3q$ 的电荷在 y 轴正半轴上。静电力常量为 k，则 O 点处的电场强度　　（　　）



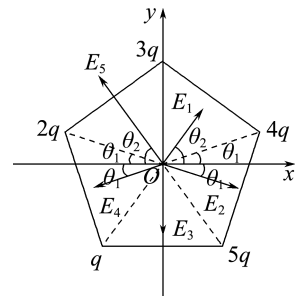
A. 方向沿 x 轴负方向

B. 方向与 x 轴负方向成 18°夹角斜向下

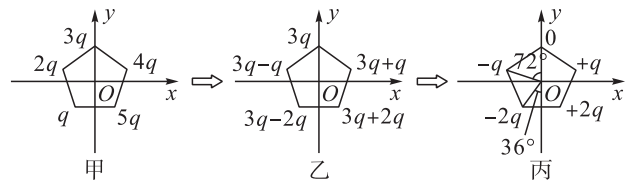
C. 大小为 $\frac{2kq}{R^2}(\cos 54°+\cos 18°)$

D. 大小为 $\frac{2kq}{R^2}(2\cos 54°+\cos 18°)$

AD　**解析**：方法一，点电荷在 O 点产生的场强方向如图所示，由几何关系可知 $\theta_1=18°$，$\theta_2=54°$，将 5 个场强沿 x、y 轴分解可得 $E_x=E_1\cos 54°+E_2\cos 18°-E_4\cos 18°-E_5\cos 54°=-\frac{2kq}{R^2}(2\cos 54°+\cos 18°)$，$E_y=E_1\sin 54°+E_5\sin 54°-E_4\sin 18°-E_2\sin 18°-E_3=\frac{6kq}{R^2}(\sin 54°-\sin 18°-\frac{1}{2})=0$，根据电场强度叠加原理可知 O 点电场强度方向沿 x 轴负方向，大小为 $\frac{2kq}{R^2}(2\cos 54°+\cos 18°)$，故 A、D 正确，B、C 错误。

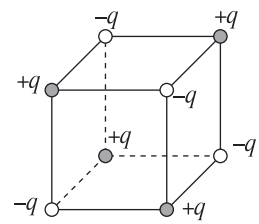


方法二，将各处电荷进行等效，如图所示：



根据均匀带电圆环在其内部中点的合场强为零，则五个点中 $3q$ 的电荷在 O 点产生的合场强为零。根据等量异种电荷中垂线上电场线和电场强度的分布特点可知，O 点的电场强度方向沿 x 轴负方向，故 A 正确，B 错误；根据图丙可知，$-q$ 的电荷与 y 轴正方向的夹角为 $\theta=\frac{360°}{5}=72°$，$-2q$ 的电荷与 y 轴负方向夹角为 $\alpha=\frac{72°}{2}=36°$，根据电场强度的叠加可知，O 点场强大小为 $E=\frac{2kq}{R^2}\cos 18°+\frac{2\times 2kq}{R^2}\cos 54°=\frac{2kq}{R^2}(2\cos 54°+\cos 18°)$，故 C 错误，D 正确。

3. 如图所示，电荷量为 $+q$ 和 $-q$ 的点电荷分别位于正方体的各顶点，正方体范围内电场强度为零的点有　　（　　）



A. 正方体中心、各面中心和各棱中点

B. 正方体中心和各边中点

C. 各面中心和各边中点

D. 正方体中心和各面中心

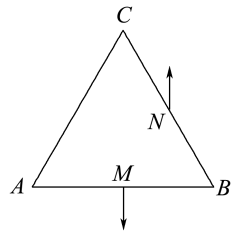
D　**解析**：根据点电荷的电场强度公式 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 及正方体的对称性可知，两个等量同种电荷在其连线的中点处的合电场强度为零，两个等量正电荷在其连线的中垂线上的合电场强度沿中垂线指向远离正电荷的方向，两个等量负电荷在其连线的中垂线上的合电场强度沿中垂线指向负电荷的方向。在正方体的上表面中心，上表面的四个电荷按电性分成两组，产生的电场强度都是零，下表面的四个电荷按电性分成两组，产生的电场强度等大反向，所以

正方体的上表面中心处的合电场强度为零，同理，所有各表面中心处的合电场强度都为零。在正方体中心，可以将八个电荷分成四组，产生的合电场强度为零。在各棱中点，电场强度无法抵消，合电场强度不为零。故 D 正确。

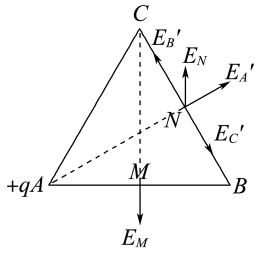
4.(2023·全国乙卷)如图所示，等边三角形 ABC 位于竖直平面内，AB 边水平，顶点 C 在 AB 边上方，3 个点电荷分别固定在三角形的三个顶点上。已知 AB 边中点 M 处的电场强度方向竖直向下，BC 边中点 N 处的电场强度方向竖直向上，A 点处点电荷的电荷量的绝对值为 q。

(1)求 B 点处点电荷的电荷量的绝对值，并判断 3 个点电荷的正负。

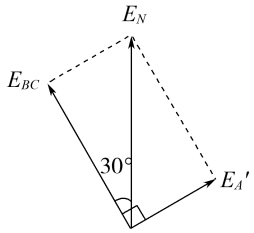
(2)求 C 点处点电荷的电荷量。



解析：(1)因为 M 点电场强度竖直向下，则 C 为正点电荷，根据电场强度的叠加原理，可知 A、B 两点的电荷在 M 点的电场强度大小相等、方向相反，则 B 点处点电荷带电荷量为 q，电性与 A 相同，又 N 点电场强度竖直向上，可得 A 点处电荷在 N 点的电场强度垂直 BC 沿 AN 连线向右上，如图所示，可知 A 点处点电荷为正电荷，所以 A、B、C 均为正点电荷。



(2)对 N 点处的电场强度进行分析，如图所示：



由几何关系得 $E_A'=E_{BC}\cdot\tan 30°$

即 $\dfrac{kq}{AN^2}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\left(\dfrac{kq}{BN^2}-\dfrac{kq_C}{CN^2}\right)$

其中 $AN=\sqrt{3}BN=\sqrt{3}CN$

解得 $q_C=\dfrac{3-\sqrt{3}}{3}q$。

答案：(1)q，A、B、C 均为正电荷　(2)$\dfrac{3-\sqrt{3}}{3}q$

任务总结

1. 电场强度是矢量，如果场源是多个点电荷，则电场中某点的电场强度为各个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和。

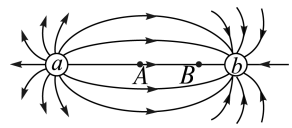
2. 电场强度的叠加本质是矢量叠加，合成时遵循矢量运算法则(平行四边形定则或三角形定则)，常用的方法有图解法、解析法、正交分解法等。

3. 对于比较大的带电体的电场，可把带电体分为若干小块，每一小块看成一个点电荷，用点电荷电场强度叠加的方法计算整个带电体的电场。

任务三　对电场线的理解和应用

[探究活动]

如图所示，A、B 是点电荷 a、b 连线上的两点，实线是它们产生的电场的电场线。



(1)点电荷 a、b 各带什么性质的电荷？

(2)A、B 两点的电场强度大小相同吗？方向相同吗？

(3)为什么电场中的电场线不相交？

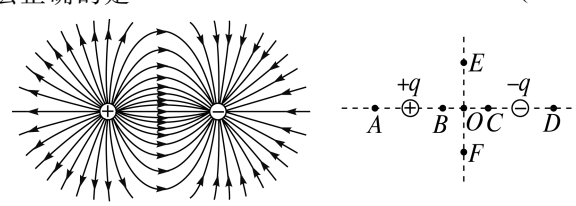
提示：(1)由于电场线起始于正电荷或无穷远处，终止于无穷远处或负电荷，因此 a 带正电，b 带负电。

(2)电场线的疏密表示电场强度的强弱，电场线上某点的切线方向表示该点的电场强度方向，故 A、B 两点电场强度大小不同，B 点较大。电场强度方向相同，均向右。

(3)电场中某点的电场强度的大小和方向是唯一确定的。若电场线相交，由于交点的切线不唯一，交点处的电场强度失去了上述的唯一性，所以电场中的电场线不相交。

[评价活动]

1.(多选)用电场线能直观方便地描绘电场。图甲表示等量异种点电荷形成电场的电场线；图乙表示电场中的一些点：O 点是两点电荷连线的中点，E、F 是连线中垂线上关于 O 点对称的两点，B、C 和 A、D 是两点电荷连线上关于 O 点对称的点。下列说法正确的是　(　　)



甲　　乙

A. B、C 两点电场强度大小和方向都相同

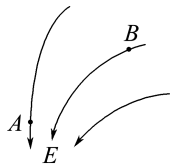
B. A、D 两点电场强度大小相等，方向相反

C. E、F 两点电场强度大小和方向都相同

D. E、F 两点连线上，从 E 点到 F 点，电场强度先增大后减小

ACD　**解析**：根据对称性可以看出，B、C 两点的电场线疏密程度相同，则 B、C 两点的电场强度大小相同，这两点电场强度的方向均由 $B\rightarrow C$，方向相同；同理，A、D 两点的电场强度大小、方向也都相同，E、F 两点的电场强度大小和方向都相同，故 A、C 正确，B 错误。在 E、F 两点连线上，从 E 点到 F 点，电场线先变密后变疏，故从 E 点到 F 点电场强度先增大后减小，故 D 正确。

2.（多选）如图所示是某静电场的一部分电场线分布情况，下列说法正确的是　（　　）



A. 这个电场可能是负点电荷的电场

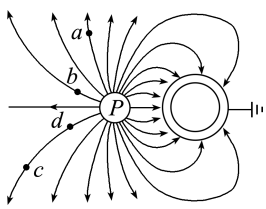
B. A 点的电场强度大于 B 点的电场强度

C. A、B 两点的电场强度方向不相同

D. 负电荷在 B 点处受到的电场力的方向沿 B 点切线方向

BC　**解析**：负点电荷的电场线是自四周无穷远处从不同方向指向负点电荷的直线，故 A 错误；电场线越密的地方电场强度越大，由题图可知 $E_A>E_B$，故 B 正确；某点电场强度的方向沿该点切线方向，故 C 正确；B 点的切线方向即为 B 点的电场强度方向，而负电荷所受电场力方向与其相反，故 D 错误。

3.（多选）将金属圆环接地后，把点电荷 P 放置在金属圆环附近，点电荷和金属圆环间的电场线分布如图所示，a、b、c、d 均为电场中的点。下列说法正确的是　（　　）



A. a 点的电场强度大于 b 点的电场强度

B. c 点的电场强度小于 d 点的电场强度

C. 点电荷 P 带正电

D. 若将一带正电的检验电荷从 d 点由静止释放，该电荷将沿着电场线运动到 c 点

BC　**解析**：根据电场线的疏密程度可知，a 点的电场强度小于 b 点的电场强度，c 点的电场强度小于 d 点的电场强度，故 A 错误，B 正确；由题图可知，电场线从点电荷 P“发出”，所以 P 带正电，故 C 正确；由于题图中电场线不是直线，所以检验电荷在运动过程中所受静电力方向会时刻变化，检验电荷将做曲线运动，其所受静电力将指向轨迹的凹侧，且沿电场线切线方向，所以检验电荷不可能沿着电场线运动到 c 点，故 D 错误。

任务总结

1.电场线的特点

(1)不闭合：电场线起始于正电荷或无穷远处，终止于无穷远处或负电荷。

(2)不相交：在电场中两条电场线不会相交。

(3)在同一电场中，电场线越密集的地方，电场强度越大。

(4)电场线上某线的切线方向表示该点的电场强度方向。

2.等量异种点电荷与等量同种点电荷形成的电场的电场强度分布特点的比较

(1)连线上的电场强度大小

①等量异种点电荷：中点 O 处最小，从 O 点沿连线向两边逐渐变大。

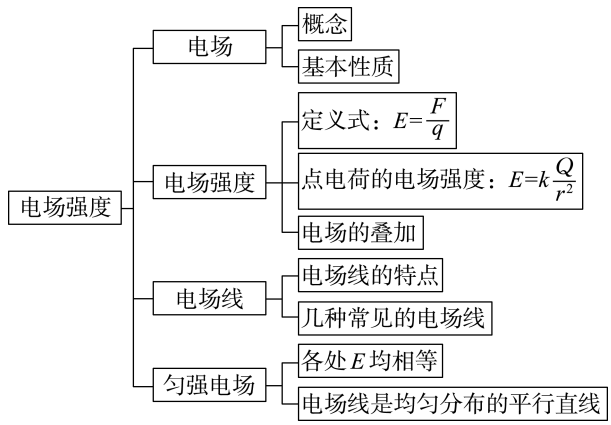
②等量同种点电荷：中点 O 处为零，从 O 点沿连线向两边逐渐变大。

(2)中垂线上的电场强度大小

①等量异种点电荷：中点 O 处最大，从中点 O 沿中垂线向两边逐渐变小。

②等量同种点电荷：中点 O 处为零，从中点 O 沿中垂线向两边先变大后变小。

提质归纳



课后素养评价(三)

基础性·能力运用

知识点 1 电场强度的概念

1.(多选)在电场中的某点 A 放一电荷量为 $+q$ 的检验电荷,它所受的电场力大小为 F,方向水平向右,则 A 点的电场强度大小为 $E_A=\frac{F}{q}$,方向水平向右。下列说法正确的是 ( )

A. 在 A 点放置一个电荷量为 $-q$ 的检验电荷,A 点的电场强度方向变为水平向左

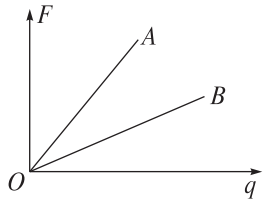
B. 在 A 点放置一个电荷量为 $+2q$ 的检验电荷,则 A 点的电场强度变为 $2E_A$

C. 在 A 点放置一个电荷量为 $-q$ 的检验电荷,它所受的电场力方向水平向左

D. 在 A 点放置一个电荷量为 $+2q$ 的检验电荷,它所受电场力大小为 $2F$

CD **解析**:$E=\frac{F}{q}$ 是电场强度的定义式,某点的电场强度大小和方向与场源电荷有关,而与放入的检验电荷没有任何关系,故 A、B 错误;负电荷受到的电场力的方向与电场强度方向相反,故 C 正确;A 点电场强度 E_A 一定,放入的检验电荷所受电场力大小为 $F=qE_A$,所以当放入电荷量为 $+2q$ 的检验电荷时,检验电荷所受电场力大小应为 $2F$,故 D 正确。

2.在电场中的 A、B 两处分别引入不同的检验电荷 q,得到检验电荷所受的电场力随电荷量变化的关系,如图所示,则 A、B 两处电场强度 E_A、E_B 的大小关系是 ( )



A. $E_A>E_B$

B. $E_A<E_B$

C. $E_A=E_B$

D. 不能判定 E_A、E_B 的大小

A **解析**:根据电场强度的定义式 $E=\frac{F}{q}$ 可知,$F=qE$,电场强度与题图中图线的斜率相对应,故 $E_A>E_B$,A 正确。

知识点 2 点电荷的电场强度及叠加

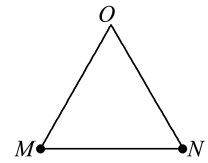
3.在 x 轴的原点 O 和 x 轴上的 P 点,分别固定带同种电荷电荷量为 Q_1 和 Q_2 的点电荷。已知 $Q_1<Q_2$,O、P 间距离为 $2l$,则电场强度为零的坐标 x 所在区间为 ( )

A. $x<0$　　B. $0<x<l$

C. $l<x<2l$　　D. $x>2l$

B **解析**:题中空间存在着两个点电荷,因此空间里任何一点的电场强度,都是两点电荷分别在该点产生的电场强度 E_1 和 E_2 的矢量和。又因两电荷为同种电荷,故只有在 O、P 之间某处两电场强度才能大小相等、方向相反,矢量和为零。设在 $x=a$ 处 $E=0$,则有 $k\frac{Q_1}{a^2}=k\frac{Q_2}{(2l-a)^2}$,所以 $\frac{a^2}{(2l-a)^2}=\frac{Q_1}{Q_2}<1$,可知 $a<l$,即在 $0<x<l$ 的区间内某处 $E=0$,故选 B。

4.如图所示,真空中等边三角形 OMN 的边长为 $l=2.0\ \text{m}$,在 M、N 两点分别固定电荷量均为 $q=+2.0\times10^{-6}\ \text{C}$ 的点电荷。已知静电力常量 $k=9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$,则两点电荷间的库仑力的大小和 O 点的电场强度的大小分别为 ( )



A. $9.0\times10^{-3}\ \text{N}$,$7.8\times10^3\ \text{N/C}$

B. $9.0\times10^{-3}\ \text{N}$,$9.0\times10^3\ \text{N/C}$

C. $1.8\times10^{-2}\ \text{N}$,$7.8\times10^3\ \text{N/C}$

D. $1.8\times10^{-2}\ \text{N}$,$9.0\times10^3\ \text{N/C}$

A **解析**:根据库仑定律,M、N 两点电荷间的库仑力大小为 $F=k\frac{q^2}{l^2}$,代入数据得 $F=9.0\times10^{-3}\ \text{N}$,两点电荷在 O 点产生的电场强度大小相等,均为 $E_1=k\frac{q}{l^2}$,M、N 两点电荷形成的电场在 O 点的合电场强度大小为 $E=2E_1\cos30°$,联立并代入数据解得 $E=7.8\times10^3\ \text{N/C}$,故选 A。

知识点 3 电场线及其应用

5.(2026·河北卷)河北雄安新区融合静电探测技术构建起“天空之网”,实现了对低空飞行器的全天候实时监测。当飞行器靠近时,固定在地面上的静电探测器探头感应出了正电荷,在感应电荷产生的静电场中,电场线 ( )

A. 是闭合曲线

B. 从感应正电荷出发

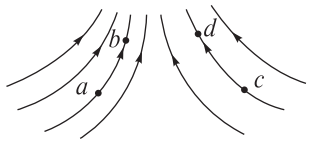
C. 在无电荷区域相交

D. 终止于感应正电荷

B **解析**:静电场的电场线起始于正电荷,终止于负电荷或无穷远,不形成闭合曲线,故 A 错误;感应正电荷作为场源电荷,其产生的静电场中电场线从正电荷出发向外辐射,故 B 正确;电场线的切线方向表示电场强度的方向,若在无电荷区域相交,则同一点会有两个电场方向,违反电场强度的唯一性,故 C 错误;电场线从正电荷出发,终止于负电荷或

无穷远处，而非终止于正电荷，故 D 错误。

6.（多选）某电场中的电场线分布如图所示，则下列说法错误的是　　（　　）



A. c 点的电场强度大于 b 点的电场强度

B. 若将一电荷量为 $+q$ 的检验电荷由 a 点释放，它将沿电场线运动到 b 点

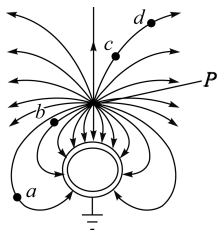
C. b 点的电场强度大于 d 点的电场强度

D. a 点和 b 点电场强度的方向相同

ABD　**解析**：电场线的疏密表示电场强度的大小，由题图可知 $E_a<E_b$，$E_d>E_c$，$E_b>E_d$，$E_a>E_c$，故 C 正确，A 错误；由于电场线是曲线，由 a 点释放的正电荷不可能沿电场线运动，故 B 错误；电场线的切线方向为该点电场强度的方向，a 点和 b 点的切线不在同一条直线上，故 D 错误。

综合性·创新提升

7.（多选）某电场的电场线分布如图所示，则　　（　　）



A. 电荷 P 带正电

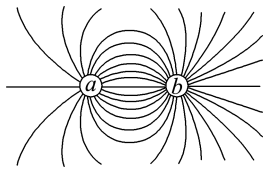
B. 电荷 P 带负电

C. a 点的电场强度大于 b 点的电场强度

D. 正检验电荷在 c 点受到的电场力大于在 d 点受到的电场力

AD　**解析**：电场线从正电荷或无穷远处出发，终止于无穷远处或负电荷，故 A 正确，B 错误；由电场线的疏密程度可知，b 点的电场强度大于 a 点的电场强度，故 C 错误；c 点的电场强度大于 d 点的电场强度，所以正检验电荷在 c 点受到的电场力大于在 d 点受到的电场力，故 D 正确。

8.电场线可形象生动地描绘电场，如图所示为点电荷 a、b 所形成电场的电场线分布图，以下几种说法正确的是　　（　　）



A. a、b 为异种电荷，a 所带电荷量大于 b 所带电荷量

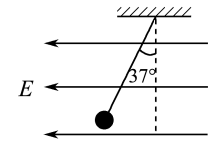
B. a、b 为同种电荷，a 所带电荷量大于 b 所带电荷量

C. a、b 为异种电荷，a 所带电荷量小于 b 所带电荷量

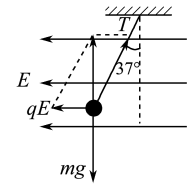
D. a、b 为同种电荷，a 所带电荷量小于 b 所带电荷量

C　**解析**：因为题图中电场线从一个电荷出发，到另一个电荷终止，所以 a、b 是异种电荷；b 电荷处电场线密集，电荷量大，所以 a 所带电荷量小于 b 所带电荷量，故 C 正确，A、B、D 错误。

9.质量为 m 的带电小球带电荷量为 $+q$，用绝缘细线悬挂在水平向左的匀强电场中，平衡时绝缘细线与竖直方向成 37°角，取重力加速度为 g，$\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$。求电场强度的大小。



解析：对小球受力分析，受到重力、电场力和细线的拉力，如图所示：



结合平衡条件得 $mg\tan 37°=qE$

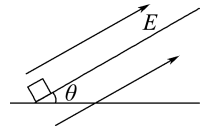
解得 $E=\dfrac{3mg}{4q}$。

答案：$\dfrac{3mg}{4q}$

10.如图所示，足够长的粗糙绝缘斜面倾角为 $\theta=37°$，整个斜面处在一个方向平行于斜面向上的匀强电场中，电场强度大小为 $E=50$ N/C，一质量为 $m=0.1$ kg、电荷量为 $q=+0.03$ C 的小物块从斜面底端由静止释放，小物块与斜面间的动摩擦因数为 0.5，小物块向上运动 $t=2$ s 后撤去电场。若最大静摩擦力等于滑动摩擦力，取 $g=10$ m/s^2，$\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$。求：

(1)撤去电场时小物块的速度；

(2)小物块从释放到运动至最高点的位移。



解析：(1)由牛顿第二定律得

$qE-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$

解得 $a=5$ m/s^2

运动 $t=2$ s 后小物块的速度为 $v_1=at=10$ m/s。

(2)设小物块从释放到运动至最高点的位移为 x，由动能定理得

$$qE\times\frac{1}{2}at^2-(mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta)\cdot x=0$$

解得 $x=15$ m。

答案：(1)10 m/s　(2)15 m

单元活动构建

单元活动 1　从力学的角度理解电场

「单元任务」

任务内容	
任务一	求解电场强度的特殊方法
任务二	电场力与力学知识的综合应用
任务三	电场线与带电粒子运动轨迹的综合分析

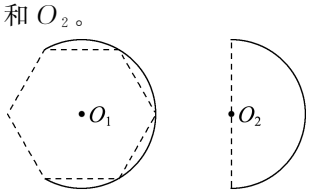
「任务引导」

资料 1：场是指某种空间区域，其中具有某些性质的物体能对与之不接触的物体施加一种力。例如，一个有质量的物体由于引力场的作用能对所有其他有质量的物体产生引力。同样，一个带电物体也能对其他带电物体施加一种力（吸引力或排斥力，取决于电性）。电场强度是理解电场力学特点的核心知识点，求解电场强度的公式有两种，一是定义式 $E=\frac{F}{q}$，二是决定式 $E=k\frac{Q}{r^2}$。决定式的应用条件比较苛刻，即只能适用于真空中的点电荷。但在实际问题中更多的是各种各样的带电体，那么如何利用决定式求电场强度呢？这就会用到在力学中常用的方法，比如等效法、极值法、微元法等。

资料 2：电场力的应用广泛，常被应用到粒子加速器、航天事业中的导航修正、对新物质的加工、改变物质内部粒子的排列等方面，在未来甚至可能成为工程与技术发展的主要动力之一。那么我们就从研究带电粒子在电场中的运动开始了解电场。其实静电场问题和力学问题联系紧密，可以说电场问题本质就是力学问题，我们在力学中经常用到的整体法、隔离法、正交分解法、矢量合成、平衡条件、牛顿第二定律等在学习静电场相关知识时都会经常用到。

任务一　求解电场强度的特殊方法

图甲和图乙分别是半径为 R、带电均匀的 $\frac{2}{3}$ 圆环和半圆环（两圆环的材料和横截面积均相同），带有同种电荷，且两圆环单位长度上所带电荷量相等，它们的圆心分别是 O_1 和 O_2。



甲　　乙

活动 1　电场中某点的电场强度可以根据公式 $E=\frac{F}{q}$ 求得，请问该方法适用于什么电场？

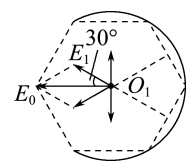
提示：公式 $E=\frac{F}{q}$ 适用于任何电场。

活动 2　求电场中某点的电场强度还可以根据公式 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 求得，请问该方法适用于什么电场？

提示：公式 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 适用于真空中的点电荷产生的电场。

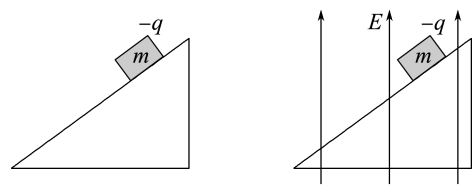
活动 3　若已知 O_1 点的电场强度大小为 E_0，则 O_2 点的电场强度大小为多大？

提示：在题图甲中，设 $\frac{1}{6}$ 圆环在 O_1 点产生的电场强度大小为 E_1，缺少的两个 $\frac{1}{6}$ 圆环在 O_1 点产生的电场强度与题图甲中的其中两个 $\frac{1}{6}$ 圆环在 O_1 点产生的合电场强度等大反向，设圆环带正电，如图所示，则有 $E_0=2E_1\cos 30°=\sqrt{3}E_1$，解得 $E_1=\frac{\sqrt{3}}{3}E_0$；在题图乙中，半圆环可分成三个 $\frac{1}{6}$ 圆环，设这三个 $\frac{1}{6}$ 圆环在 O_2 点产生的合电场强度大小为 E，则有 $E=E_1+2E_1\cos 60°=\frac{\sqrt{3}}{3}E_0+2\times\frac{\sqrt{3}}{3}E_0\times\frac{1}{2}=\frac{2\sqrt{3}}{3}E_0$。



任务二　电场力与力学知识的综合应用

未加外电场时，电荷量为 $-q$、质量为 m 的滑块（可视为质点）能静止在绝缘斜面上，如图甲所示。现加一竖直向上的匀强电场，如图乙所示。



甲　　乙

活动 1　图甲是我们在学习物体平衡时常遇到的情境，如何求滑块所受支持力和摩擦力？还可以得到什么隐含条件？

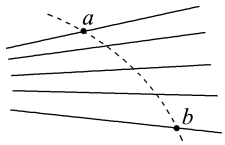
提示：对滑块受力分析，根据平衡条件可以求出 $N=mg\cos\theta$，$f=mg\sin\theta$。由于滑块静止在斜面上，故还有隐含条件 $mg\sin\theta\leqslant f_m=\mu mg\cos\theta$。

活动 2　对于图乙所示情境，如何判断此时滑块的运动状态？

提示：对滑块进行受力分析，垂直斜面方向有 $N'=(mg+qE)\cos\theta$，由活动 1 知沿斜面方向仍满足 $(mg+qE)\sin\theta\leqslant f'_m=\mu(mg+qE)\cos\theta$，可知加电场后，滑块仍然静止。

任务三　电场线与带电粒子运动轨迹的综合分析

图中实线是一簇未标明方向的电场线，虚线是某一带电粒子通过该电场区域时的运动轨迹，a、b 是轨迹上的两点。



活动 1　若只受电场力，在什么条件下带电粒子的运动轨迹与电场线重合？

提示：若电场线为直线，带电粒子的初速度为零或者初速度的方向与电场线的方向在同一直线上时，则其运动轨迹与电场线重合。若电场线为曲线，则其运动轨迹不可能与电场线重合，因为粒子做曲线运动时静电力指向轨迹内侧，而静电力与电场线相切。

活动 2　如何确定带电粒子的速度方向和所受合力的方向？

提示：轨迹上某点切线的方向即为带电粒子在该点的速度方向，若运动轨迹的方向未知，则速度方向有相反的两种可能。合力方向指向轨迹曲线弯曲的内侧。

活动 3　如何确定电荷的正负？怎样判断带电粒子做加速运动还是减速运动？

提示：根据静电力和电场线的方向关系可判断电荷的正负。根据力与速度间的夹角判断带电粒子做加速运动还是减速运动。若二者夹角为锐角，则带电粒子做加速运动；若二者夹角为钝角，则带电粒子做减速运动。

「知识链接」

1.求解电场强度的特殊方法

电场强度一般可用定义式 $E=\dfrac{F}{q}$ 求解。对真空中点电荷产生的电场，还可用 $E=\dfrac{kQ}{r^2}$ 求解。若已知某点的几个分电场强度，可利用矢量叠加法求解该点的合电场强度。此外，在高中阶段，往往还需要运用一些特殊的思维方法求解电场强度。

(1)等效法：在保证效果相同的前提下，将复杂的电场情境变换为简单的或熟悉的电场情境进行分析求解。

(2)对称法：利用电荷形成的电场在空间上具有对称性的特点，将复杂的电场叠加问题简化处理。

(3)补偿法：若由题中所给条件建立的模型不是一个完整的模型，这时需要给原来的问题补充一些条件，组成一个完整的新模型。这样，求解原模型的问题就变为求解新模型与补充条件的差值问题。如采用补偿法将有缺口的带电圆环补全为圆环，或将半球面补全为球面，从而将问题化难为易。

(4)极值法：把某个物理量推向极端，如极大或极小、极左或极右，并依此进行科学的推理分析，从而作出判断或推导出结论。

(5)微元法：当一个带电体的体积较大，不能视为点电荷时，求这个带电体产生的电场在某处的电场强度时，可用微元法的思想把带电体分成很多小块，只要每块足够小，就可以看成点电荷，再利用点电荷电场可矢量叠加的方法计算整体的电场强度。

2.静电场中的平衡问题

(1)带电粒子在电场中的平衡问题，实际上属于力学问题，其中仅多了一个电场力。

(2)求解平衡类问题时，需应用有关力的平衡的知识，在正确进行受力分析的基础上，运用平行四边形定则、三角形定则或建立平面直角坐标系等方法，根据共点力作用下物体的平衡条件列方程组求解。解题时常用隔离法、整体法，也可将两种方法结合使用。

3.电场线与带电粒子运动轨迹的综合分析

(1)几个矢量的方向

①合力方向：做曲线运动的带电粒子所受合力方向指向运动轨迹的凹侧。

②速度方向：速度方向沿运动轨迹的切线方向。

③电场力方向：正电荷的受力方向沿电场线的切线方向，负电荷的受力方向则相反。

(2)分析方法

①根据带电粒子运动轨迹的弯曲方向，判断出带电粒子所受合力的方向，进而判断出电场力的方向。

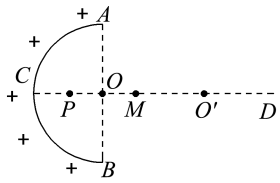
②把电场线方向、电场力方向与电性相联系来分析问题。

③把电场线的疏密和电场力的大小、加速度的大小相联系来分析问题。

「活动达标」

1.如图所示，正电荷 q 均匀分布在半球面 ACB 上，球面半径为 R，CD 为通过半球面顶点 C 和球心 O 的轴线。P、M 为轴线上的两点，距球心 O 的距离均为 $\dfrac{R}{2}$。在 M 点右侧轴线上 O' 点固定一带正电的点电荷 Q，O'、M 两点间的距离为 R。已知 P 点的电

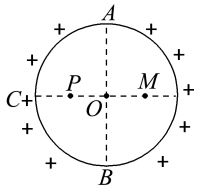
场强度为零，若均匀带电的封闭球壳内部电场强度处处为零，则 M 点的电场强度大小为（k 为静电力常量）　　（　　）



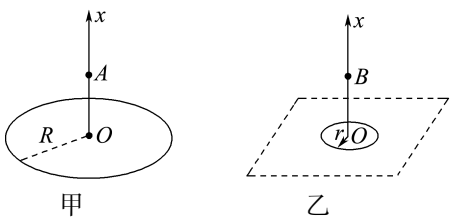
A. 0　　B. $\dfrac{3kq}{4R^2}$

C. $\dfrac{3kQ}{4R^2}$　　D. $\dfrac{kQ}{R^2}-\dfrac{kq}{4R^2}$

C　**解析**：因 P 点的电场强度为零，所以半球面在 P 点的电场强度和点电荷 Q 在 P 点的电场强度等大反向，即半球面在 P 点的电场强度大小为 $E_1=\dfrac{kQ}{4R^2}$，方向沿轴线向右。现补全右半球面，如图所示，根据均匀带电的封闭球壳内部电场强度处处为零可知，球面在 M 点产生的电场强度为零，即左半球面在 M 点的电场强度和右半球面在 M 点的电场强度等大反向，又由对称性知左半球面在 P 点的电场强度和右半球面在 M 点的电场强度等大反向，即左半球面在 M 点的电场强度为 $E_2=\dfrac{kQ}{4R^2}$，方向向右。点电荷 Q 在 M 点的电场强度为 $E_3=\dfrac{kQ}{R^2}$，方向向左，故 M 点的合电场强度为 $E_M=\dfrac{kQ}{R^2}-\dfrac{kQ}{4R^2}=\dfrac{3kQ}{4R^2}$，方向向左，选项 C 正确。



2. 如图甲所示是半径为 R 的均匀带电圆形平板，单位面积所带电荷量为 q，过圆心的竖直轴线上距离圆心为 x 的任意一点 A 的电场强度 $E=2\pi kq\cdot\left(1-\dfrac{x}{\sqrt{R^2+x^2}}\right)$，方向沿 x 轴正方向（其中 k 为静电力常量）。如图乙所示，现有一块单位面积带电荷量为 q_0 的无限大的均匀带电平板，其周围电场可以看作匀强电场，若从平板的中间挖去一半径为 r 的圆板，则圆孔轴线上距离圆心为 x 的 B 点的电场强度大小为　　（　　）

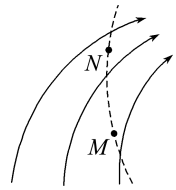


A. $2\pi kq_0\dfrac{x}{\sqrt{r^2+x^2}}$　　B. $2\pi kq_0\dfrac{r}{\sqrt{r^2+x^2}}$

C. $2\pi kq_0\dfrac{x}{r}$　　D. $2\pi kq_0\dfrac{r}{x}$

A　**解析**：单位面积带电荷量为 q_0 的无限大均匀带电平板的半径 R 取无限大时，在 B 点产生的电场强度大小 $E_1=2\pi kq_0\left(1-\dfrac{x}{\sqrt{R^2+x^2}}\right)\approx 2\pi kq_0$；单位面积带电荷量为 q_0、半径为 r 的均匀带电圆板在 B 点产生的电场强度大小 $E_2=2\pi kq_0\left(1-\dfrac{x}{\sqrt{r^2+x^2}}\right)$；从无限大均匀带电平板中间挖去一半径为 r 的圆板后，其在 B 点的电场强度 E 是以上两个电场强度的差，所以 $E=E_1-E_2=2\pi kq_0\cdot\dfrac{x}{\sqrt{r^2+x^2}}$，故 A 正确。

3. 某静电场的电场线如图中实线所示，虚线是某个带电粒子仅在电场力作用下的运动轨迹。下列说法正确的是　　（　　）



A. 粒子一定带负电

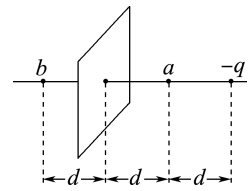
B. 粒子在 M 点的加速度小于在 N 点的加速度

C. 粒子在 M 点的动能大于在 N 点的动能

D. 粒子一定从 M 点运动到 N 点

B　**解析**：由粒子的运动轨迹可知，粒子的受力方向沿着电场线的方向，所以粒子带正电，故 A 错误；电场线密的地方电场强度大，电场线疏的地方电场强度小，由题图可知，N 点的电场强度大于 M 点的电场强度，故粒子在 N 点受到的静电力大于在 M 点受到的静电力，所以粒子在 M 点的加速度小于在 N 点的加速度，故 B 正确；因粒子带正电，假设粒子从 M 点运动到 N 点，这个过程中静电力做正功，动能增大，粒子在 M 点的动能小于在 N 点的动能，故 C 错误；根据粒子的运动轨迹可以判断其受力方向，但不能判断出粒子一定是从 M 点运动到 N 点，故 D 错误。

4. 如图所示，电荷量为 $-q$ 的点电荷与均匀带电薄板相距 $2d$，点电荷到带电薄板的垂线通过薄板的几何中心。若图中 a 点处的电场强度为 0，则图中 b 点处电场强度大小和方向分别是（静电力常量为 k）　　（　　）



A. $\frac{10kq}{9d^2}$，水平向左

B. $\frac{10kq}{9d^2}$，水平向右

C. $\frac{8kq}{9d^2}$，水平向左

D. $\frac{8kq}{9d^2}$，水平向右

B　**解析**：因 a 点电场强度为 0，故带电薄板在 a 点产生的电场强度与 $-q$ 在 a 点产生的电场强度等大反向，则带电薄板在 a 点产生的电场强度为 $E=\frac{kq}{d^2}$，方向向左，因为 b 点和 a 点到带电薄板的距离相等，由对称性可知，带电薄板在 b 点产生的电场强度为 $E'=\frac{kq}{d^2}$，方向向右，则 b 点的合电场强度为 $E_b=\frac{kq}{d^2}+\frac{kq}{(3d)^2}=\frac{10kq}{9d^2}$，方向向右，故选 B。

5. 如图所示，3 个点电荷 q_1、q_2、q_3 在一条直线上，q_2 和 q_3 间的距离为 q_1 和 q_2 间距离的 2 倍，每个点电荷所受电场力的合力为零，由此可以判定，3 个点电荷的电荷量之比 $q_1:q_2:q_3$ 为　　（　　）



A. $(-9):4:(-36)$

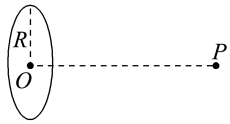
B. $9:4:36$

C. $(-3):2:(-6)$

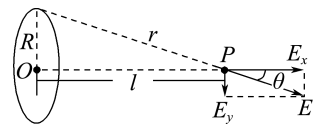
D. $3:2:6$

A　**解析**：由三个点电荷平衡模型的特点“两同夹异”可知，q_1 和 q_3 为同种电荷，它们与 q_2 互为异种电荷，设 q_1 和 q_2 间的距离为 r，则 q_2 和 q_3 间的距离为 $2r$。对于 q_1，有 $\left|\frac{kq_2q_1}{r^2}\right|=\left|\frac{kq_3q_1}{(3r)^2}\right|$，则有 $\left|\frac{q_2}{q_3}\right|=\frac{1}{9}$；对于 q_3，有 $\left|\frac{kq_1q_3}{(3r)^2}\right|=\left|\frac{kq_2q_3}{(2r)^2}\right|$，所以 $\left|\frac{q_1}{q_2}\right|=\frac{9}{4}$。考虑到各电荷的电性，故 A 正确。

6. 如图所示，均匀带电圆环所带电荷量为 Q，半径为 R，圆心为 O，P 为过圆心且垂直于圆环平面的直线上的一点，$OP=l$。求 P 点的电场强度大小和方向。



解析：若将圆环分成 n 小段，当 n 相当大时，则每一小段可视为点电荷，其电荷量为 $q=\frac{Q}{n}$，每一个点电荷在 P 点处产生的电场强度大小为 $E=\frac{kQ}{nr^2}=\frac{kQ}{n(R^2+l^2)}$。如图所示，根据对称性可知，每一个点电荷在 P 点处的电场强度在垂直于 OP 方向上的分量 E_y 互相抵消，$E_x=E\cos\theta=\frac{kQ}{n(R^2+l^2)}\cdot\frac{l}{\sqrt{R^2+l^2}}=\frac{kQl}{n(R^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}$，所以 $E_P=nE_x=\frac{kQl}{(R^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}$，方向由 O 指向 P。



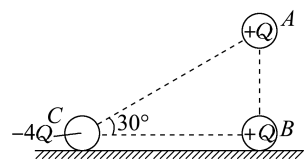
答案：$\frac{kQl}{(R^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}$　方向由 O 指向 P

7. 如图所示，在绝缘粗糙的水平地面上有水平方向的匀强电场，两个质量相同且均可看成点电荷的带电小球 B、C 分别位于竖直平面内的直角三角形的两个顶点上。小球 B、C 在地面上，可视为点电荷的带电小球 A 在小球 B 的正上方，A、B 间距为 L，A、C 连线与水平方向夹角为 30°，三球恰好都可以静止不动。已知小球 A、B 带正电，电荷量均为 Q，小球 C 带负电，电荷量为 $-4Q$，重力加速度为 g，静电力常量为 k。

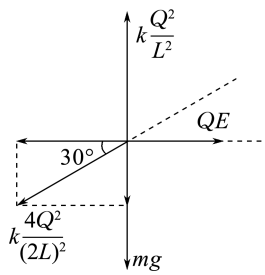
(1)判断匀强电场的方向。

(2)求匀强电场的电场强度 E 的大小。

(3)求地面对小球 C 的摩擦力大小和方向。



解析：(1)对小球 A 分析受力，由于其处于平衡状态，故其受力示意图如图所示：



根据正电荷在匀强电场中所受静电力方向与电场方向相同，故电场方向水平向右。

(2)由于小球 A 处于静止状态，所以在水平方向上有

$QE=k\frac{4Q^2}{(2L)^2}\cos 30°$，解得 $E=\frac{\sqrt{3}kQ}{2L^2}$。

(3)设水平向左为正方向，对小球 C 受力分析，在水平方向上根据平衡条件可得

$f-k\frac{4Q^2}{(L\tan 60°)^2}+4QE-k\frac{4Q^2}{(2L)^2}\cos 30°=0$

解得 $f=\frac{kQ^2}{6L^2}(8-9\sqrt{3})$

则摩擦力大小为$\frac{kQ^2}{6L^2}(9\sqrt{3}-8)$，方向水平向右。

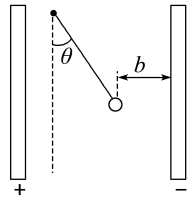
答案：(1)水平向右　(2)$\frac{\sqrt{3}kQ}{2L^2}$

(3)$\frac{kQ^2}{6L^2}(9\sqrt{3}-8)$　水平向右

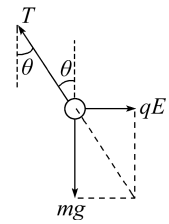
8. 竖直放置的两块足够长的平行金属板间有匀强电场，其电场强度大小为 E。在该匀强电场中，用丝线悬挂质量为 m 的带电小球。丝线跟竖直方向成 θ 角时小球恰好平衡，小球与右侧金属板相距为 b，如图所示。问：

(1)小球所带电荷量 q 是多少？

(2)若剪断丝线，小球碰到金属板需多长时间？



解析：(1)由于小球处于平衡状态，对小球进行受力分析，如图所示：



$T\sin\theta=qE$，$T\cos\theta=mg$

解得 $q=\frac{mg\tan\theta}{E}$。

(2)因带电小球受力平衡，重力与静电力的合力与丝线的拉力大小相等，故剪断丝线后小球所受重力与静电力的合力为 $F_{合}=T=\frac{mg}{\cos\theta}$，小球的加速度为 $a=\frac{F_{合}}{m}=\frac{g}{\cos\theta}$，小球由静止开始沿丝线拉力的反方向做匀加速直线运动，当碰到金属板时，它的位移为 $l=\frac{b}{\sin\theta}$，又有 $l=\frac{1}{2}at^2$，可得 $t=\sqrt{\frac{2l}{a}}=\sqrt{\frac{2b\cos\theta}{g\sin\theta}}=\sqrt{\frac{2b}{g\tan\theta}}$。

答案：(1)$\frac{mg\tan\theta}{E}$　(2)$\sqrt{\frac{2b}{g\tan\theta}}$

4　电场力的功　电势能

学习任务目标

1. 通过对重力做功与电场力做功的类比，探究电场力做功的特点。(科学思维)
2. 通过类比方法，理解电势能的概念。(物理观念)
3. 知道电场力做功与电势能变化之间的关系。(科学思维)

问题式预习

知识点一　电场力做功特点

1. 在匀强电场中，电场力做的功为 $W=\underline{qEd}$，其中 d 为沿电场线方向的位移。

2. 在电场中移动电荷时，电场力做的功与<u>路径</u>无关，只与<u>始末位置</u>有关。

[**科学思维**]

电场力做功与<u>重力</u>做功情况相似，均与路径无关。

[**判一判**]

1. 只要电荷在电场中移动，电场力就一定做功。(×)

2. 电荷从电场中的 A 点运动到 B 点，路径不同，电场力做功不同。(×)

知识点二　对电势能的理解和应用

1. 电势能：电荷在<u>电场</u>中具有的势能，用 E_p 表示。

2. 电场力做功与电势能变化的关系：电场力做的功等于电势能的<u>减少量</u>。表达式：$W_{AB}=\underline{E_{pA}-E_{pB}}$。即电场力做正功，电势能<u>减少</u>，电场力做负功，电势能<u>增加</u>。

3. 电势能的大小：电荷在电场中某点的电势能的大小等于把电荷从这点移到<u>零电势能位置</u>电场力所做的功。

4. 电势能具有相对性

电势能零点的规定：通常把电荷在离场源电荷<u>无穷远</u>处或把电荷在大地表面上时的电势能规定为零。

[**科学思维**]

某点场强为零，电荷在该点的电势能一定为零吗？电荷在电场中由某一位置移到另一位置时，如何判断电势能的变化？

提示：不一定。可以通过电场力做功来判断。

任务型课堂

任务一　电场力做功的特点

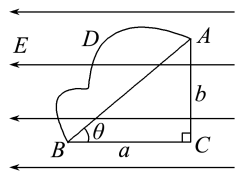
［探究活动］

情境一：如图甲所示，两辆完全相同的小汽车从山脚下的同一地点沿不同的路径到山顶。



甲

情境二：如图乙所示，一带电荷量为 q 的正电荷在匀强电场中沿不同路径从 A 点运动到 B 点，已知直角边 BC、AC 的长度分别为 a、b。



乙

(1)若图乙中电荷沿直线 AB 运动，电场力做了多少功？是正功还是负功？若图乙中电荷沿折线 ACB 运动，电场力做了多少功？是正功还是负功？

(2)图甲中两辆小汽车的重力做功一样吗？电场力做功有何特点？试猜想电荷沿曲线 ADB 运动，电场力做了多少功？是正功还是负功？

提示：(1)qEa，做正功；qEa，做正功。

(2)一样。电场力做功与路径无关，只与始末位置有关。若电荷沿曲线 ADB 运动，电场力做的功为 qEa，做正功。

［评价活动］

1.(多选)下列说法正确的是　　(　　)

A. 电荷从电场中的 A 点运动到了 B 点，路径不同，电场力做功的大小就可能不同

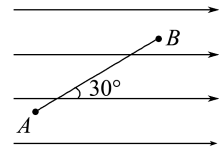
B. 若电荷从电场中的某点开始出发，运动一段时间后，又回到了该点，则电场力做功为零

C. 正电荷沿着电场线方向运动，电场力对正电荷做正功；负电荷逆着电场线方向运动，电场力对负电荷做正功

D. 电荷在电场中运动，因为电场力可能对电荷做功，所以能量守恒定律在电场中并不成立

BC　**解析**：电场力做功与电荷的运动路径无关，A 错误；电场力做功与电荷的初、末位置有关，若其他条件不变，则电荷从某点出发又回到了该点，电场力做功为零，B 正确；正电荷沿电场线的方向运动，则正电荷受到的电场力和电荷的位移方向相同，故电场力对正电荷做正功，同理，负电荷逆着电场线的方向运动，电场力对负电荷做正功，C 正确；电荷在电场中运动，电场力可能对电荷做功，但是电荷的电势能与其他形式的能之间的转化满足能量守恒定律，D 错误。

2.在场强为 4×10^5 V/m(1 V/m= N/C)的匀强电场中，一质子从 A 点移动到 B 点，如图所示。已知 A、B 两点间距离为 20 cm，A、B 连线与电场线成 30°角，求电场力做的功。



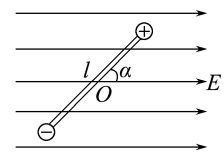
解析：质子在匀强电场中受到的电场力为 $F=qE$

质子沿电场线方向的位移为 $l\cos\theta$

电场力对质子做的功为 $W=qEl\cos\theta=1.6\times10^{-19}\times4\times10^5\times0.2\times\frac{\sqrt{3}}{2}$ J$\approx1.1\times10^{-14}$ J。

答案：1.1×10^{-14} J

3.如图所示，一根绝缘杆长 l，两端分别带有等量异种电荷，电荷量均为 Q，杆处于纸面内时，匀强电场的方向与杆的夹角为 $\alpha=60°$。若场强为 E，使杆绕其中点 O 沿顺时针方向转过 60°角，电场力一共做了多少功？



解析：正电荷受到的电场力沿场强方向，负电荷受到的电场力沿场强反方向，因此杆顺时针转动，电场力对正、负电荷都做正功，所以电场力一共做的功为

$$W=2QE\cdot\frac{1}{2}l\cdot(1-\cos60°)=\frac{1}{2}QEl。$$

答案：$\frac{1}{2}QEl$

任务总结

对电场力做功特点的理解

(1)电场力对电荷所做的功，与电荷的初、末位置有关，与电荷经过的路径无关。该结论适用于任何静电场。

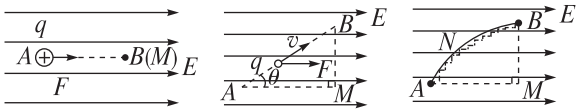
(2)无论带电体在电场中做直线运动还是做曲线运动，无论带电体只受电场力作用还是受多个力作用，无论电场力做正功还是做负功，电场力做功的特点不变。

(3)电场力和瞬时速度方向的夹角为锐角时做正功，夹角为钝角时做负功。

任务二　电场力做功与电势能变化的关系

［探究活动］

如图甲、乙、丙所示，让检验电荷 q 在电场强度为 E 的匀强电场中，沿几条不同路径［直线 $AB(M)$、直线 AB、曲线 ANB］从 A 点运动到 B 点。



甲　　乙　　丙

(1)结合图甲，类比重力做功与重力势能变化的关系，思考电场力做功与电势能的变化有什么关系。

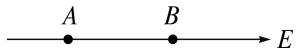
(2)类比重力势能，如何求电荷在某点的电势能？以求图甲中 A 点处电荷的电势能为例进行说明。

提示：(1)在题图甲中，正电荷从 A 点移动到 B 点，电场力做正功，电势能减少；正电荷从 B 点移动到 A 点，电场力做负功，电势能增加。重力做的功等于重力势能的减少量，即 $W_G=E_{pA}-E_{pB}$。类比重力做功与重力势能变化的关系，电场力做的功等于电势能的减少量，即 $W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}$。

(2)重力势能具有相对性，求重力势能时，首先要选取零势能面，电势能也具有相对性，故求电势能时也要首先确定零势能面，然后根据 $W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}$ 求得。例如，在题图甲中，若规定电荷在 B 点的电势能为零，则电荷在 A 点的电势能等于 W_{AB}，即电荷在某点的电势能等于电场力把它从该点移动到零势能位置时电场力所做的功。

［评价活动］

1.某电场的一条电场线如图所示，在正电荷从 A 点移到 B 点的过程中　　(　　)



A. 电场力对电荷做正功

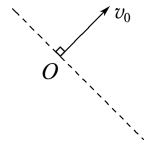
B. 电场力对电荷不做功

C. 电荷克服电场力做功

D. 电荷的电势能增加

A　**解析**：正电荷从 A 点移到 B 点时，所受电场力的方向与电场线的方向相同，即向右，又电荷向右运动，与电场力方向相同，所以电场力做正功，电荷的电势能减少，故 A 正确，B、C、D 错误。

2.(2024·吉林卷)在水平方向的匀强电场中，一带电小球仅在重力和电场力作用下在竖直面(纸面)内运动。如图所示，若小球的初速度方向沿虚线，则其运动轨迹为直线；若小球的初速度方向垂直于虚线，则其从 O 点出发运动到与 O 点等高处的过程中　　(D)



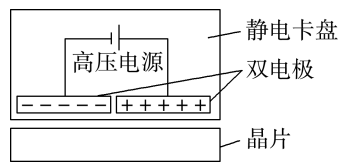
A. 动能减小，电势能增大

B. 动能增大，电势能增大

C. 动能减小，电势能减小

D. 动能增大，电势能减小

3.(2026·广东卷)静电卡盘是芯片制造中的重要设备，如图所示为双极型静电卡盘吸附原理简图，双电极接高压电源后，晶片靠近卡盘的一侧带上与电极极性相反的电荷，在电场力作用下向卡盘运动并被吸附。在晶片运动过程中，下列说法正确的是　　(　　)



A. 电场力对晶片做负功

B. 晶片在电场中的电势能逐渐减少

C. 晶片与卡盘电极之间表现为斥力

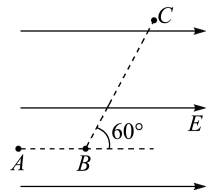
D. 晶片与卡盘电极之间的电场强度处处相同

B　**解析**：晶片带上与电极极性相反的电荷后向卡盘运动，说明电场力方向与位移方向的夹角小于 90°，由功的公式 $W=Fs\cos\theta$ 可知，电场力做正功，故 A 错误；电场力对晶片做正功，由电场力做功与电势能变化的关系 $W=-\Delta E_p$ 可知，电场力做正功时电势能减少，因此晶片的电势能逐渐减少，故 B 正确；晶片与卡盘电极带异种电荷，根据库仑定律 $F=k\dfrac{Q_1Q_2}{r^2}$，异种电荷相互吸引，因此晶片与卡盘电极之间表现为吸引力而非斥力，故 C 错误；晶片与卡盘电极之间的电场为非匀强电场，由电场线分布可知各点场强大小和方向不尽相同，电场强度 E 并非处处相同，故 D 错误。

4.如图所示的匀强电场中，有 A、B、C 三点，$AB=5\ \text{cm}$，$BC=12\ \text{cm}$，其中 AB 沿电场方向，BC 和电场方向成 60°角。一个电荷量为 $q=4\times10^{-8}\ \text{C}$ 的正电荷从 A 点移到 B 点，电场力做功为 $W=1.2\times10^{-7}\ \text{J}$。求：

(1)匀强电场的电场强度 E 的大小；

(2)电荷从 B 点移到 C 点的过程中电势能的改变量。



解析：(1)由 $W=qE\cdot AB$ 得，该电场的电场强度大小为 $E=\dfrac{W}{q|AB|}=\dfrac{1.2\times10^{-7}}{4\times10^{-8}\times5\times10^{-2}}$ N/C=60 N/C。

(2)电荷从 B 点移到 C 点的过程中，电场力做的功为

$W'=qE\cdot BC\cdot\cos 60°=4\times10^{-8}\times60\times12\times10^{-2}\times0.5$ J$=1.44\times10^{-7}$ J

所以，该过程中电势能减少 1.44×10^{-7} J。

答案：(1)60 N/C　(2)减少 1.44×10^{-7} J

任务总结

1.电势能的性质

性质	理解
系统性	电势能是由电场和电荷共同决定的，是电荷和电场所共有的，我们习惯上说成电荷的电势能
相对性	电势能是相对的，其大小与选定的电势能为零的参考点有关。确定电荷的电势能，首先应确定零势能位置
标量性	电势能是标量，有正负之分，但没有方向

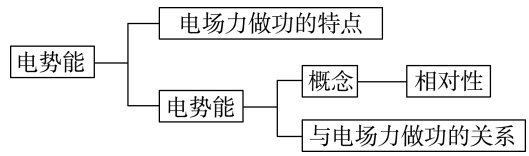
2.电场力做功与电势能变化的关系

(1)电场力做的功等于电势能的减少量。表达式：$W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}$。

(2)电场力做正功，电势能减少；电场力做负功，电势能增加。

(3)电势能的大小：电荷在某点的电势能等于把它从这点移动到零势能位置时电场力做的功。

提质归纳

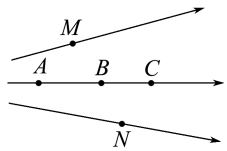


课后素养评价(四)

基础性·能力运用

知识点 1　电场力做功的特点

1.如图所示，将正电荷从 A 点移动到 C 点的过程中，下列说法正确的是　(　　)



A. 从 A 点经 B 点到 C 点，电场力对电荷做功最多

B. 从 A 点经 M 点到 C 点，电场力对电荷做功最多

C. 从 A 点经 N 点到 C 点，电场力对电荷做功最多

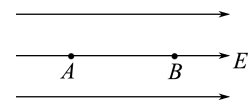
D. 不管将正电荷沿哪条路径从 A 点移动到 C 点，电场力对其都做正功且相等

D　**解析**：电场力做功只与移动电荷的电荷量以及起点和终点的位置有关，而与路径无关，无论将正电荷沿哪条路径从 A 点移动到 C 点，电场力都做正功且相等，故选 D。

2.在电场强度为 $E=1.0\times10^{4}$ N/C 的匀强电场中，同一条电场线上 A、B 两点之间的距离为 $d=0.20$ m，如图所示，将电荷量为 $q=+1.0\times10^{-8}$ C 的点电荷放在电场中的 A 点。

(1)求电场力 F 的大小。

(2)若将该点电荷从 A 点移到 B 点，求在此过程中点电荷所受电场力做的功 W。



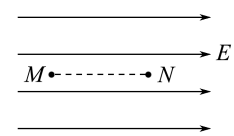
解析：(1)根据公式 $E=\dfrac{F}{q}$，可得电场力 F 的大小为 $F=qE=1.0\times10^{-8}\times1.0\times10^{4}$ N$=1.0\times10^{-4}$ N。

(2)电荷从 A 到 B 的过程中，电场力做功为 $W=qEd=1.0\times10^{-8}\times1.0\times10^{4}\times0.20$ J$=2.0\times10^{-5}$ J。

答案：(1)1.0×10^{-4} N　(2)2.0×10^{-5} J

知识点 2　电场力做功与电势能变化的关系

3.如图所示，M、N 是匀强电场中的两个点，将某正电荷从 M 点沿图示虚线移动到 N 点的过程中(　　)



A. 电场力做负功，电势能减少

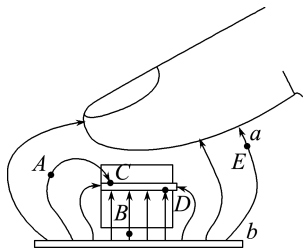
B. 电场力做负功，电势能增加

C. 电场力做正功，电势能减少

D. 电场力做正功，电势能增加

C　**解析**：正电荷所受电场力方向向右，将某正电荷从 M 点沿图示虚线移动到 N 点的过程中，电场力方向与位移方向相同，电场力做正功，电势能减小，故 C 正确，A、B、D 错误。

4.（2026·浙江卷 1 月选考）手机电容式触摸屏的核心部件可简化为平行板电容器。当手靠近触摸屏时，电容器两极板和手指间的电场线分布如图所示。下列说法正确的是　（　）



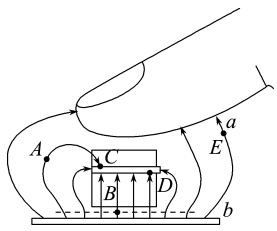
A. A 点的电场强度大于 B 点的电场强度

B. 将一电子从 A 点移到 B 点，电子的电势能增大

C. 极板上表面 C 点的电势等于下表面 D 点的电势

D. 若电子在 E 点释放，仅受静电力作用，将沿电场线 ab 运动

C　**解析**：由题图可知，A 处电场线比 B 处电场线更稀疏，因此 A 点的电场强度小于 B 点的电场强度，故 A 错误；过 B 点平行于下极板的平面近似为等势面，如图所示：



沿电场线电势降低，有 $\varphi_B>\varphi_A$，$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B<0$，将一电子从 A 点移到 B 点，电场力做功 $W=-eU_{AB}>0$，电场力做正功，电势能减小，故 B 错误；静电平衡下的上极板为等势体，表面为等势面，因此极板上表面 C 点的电势等于下表面 D 点的电势，故 C 正确；若电子在 E 点释放，仅受静电力作用，将沿电场线的切线方向运动，故 D 错误。

5.（2025·八省联考·四川卷）（多选）X、Y、Z 为大小相同的导体小球，X、Y 所带电荷量均为 $+q$，Z 所带电荷量为 $-5q$。X、Y 均放置在光滑绝缘水平面上，Y 固定在 P 点，X 与绝缘轻质弹簧一端相连，弹簧另一端固定，此时 X 静止在平衡位置 O 点，如图所示。现将较远处的 Z 移近，先与 X 接触，然后与 Y 接触，再移回较远处，在此过程中，一直保持不变的是　（　）



A. X 的平衡位置

B. Z 所带的电荷种类

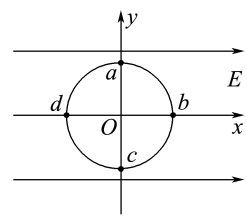
C. Y 对 X 的库仑力方向

D. X、Y 系统的电势能

B　**解析**：设 X、Y 两带电小球相距为 r，开始时，X、Y 间的库仑斥力大小为 $F=\dfrac{kq^2}{r^2}$，X 受到的库仑力方向水平向左，由于 X 静止在平衡位置 O 点，则弹簧的弹力大小为 $F=k\dfrac{q^2}{r^2}$，方向水平向右，将 Z 与 X 接触时，根据电荷量分配原理可知，此时 $q_X'=q_Z'=-2q$，此时 X、Y 间的库仑力大小为 $F'=k\dfrac{2q^2}{r^2}$，大小发生了变化，X 受到的库仑力方向为水平向右，X 的平衡位置发生了变化，X、Y 系统的电势能发生了变化；当 Z 再与 Y 接触时，根据电荷分配原理可知，此时 $q_Y'=q_Z''=-\dfrac{q}{2}$，整个过程中 Z 始终带负电荷，故选 B。

综合性·创新提升

6.（多选）如图所示，以坐标原点 O 为圆心、r 为半径的圆与坐标轴交于 a、b、c、d 四点。在 O 点固定一个正电荷 Q，另外还有一方向与 x 轴正方向相同、场强大小为 E 的匀强电场。现把一电荷量为 $+q$ 的点电荷 N 在圆上移动，则　（　）



A. 从 a 移到 c，电场力对点电荷 N 做功为 $2qEr$

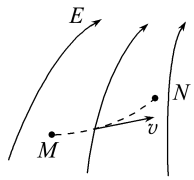
B. 从 a 移到 c，电场力对点电荷 N 不做功

C. 从 d 移到 b，电场力对点电荷 N 做功为 $2qEr$

D. 从 d 移到 b，电场力对点电荷 N 不做功

BC　**解析**：把点电荷 N 从 a 移到 c，点电荷 Q 产生的电场对点电荷 N 不做功，在匀强电场中，电场力对点电荷 N 也不做功，故 A 错误，B 正确；从 d 移到 b，点电荷 Q 产生的电场对点电荷 N 不做功，匀强电场对点电荷 N 做功为 $W=qE\cdot 2r=2qEr$，所以电场力做功为 $2qEr$，故 C 正确，D 错误。

7.（多选）如图所示，实线表示电场线，虚线表示带电粒子在电场中运动的轨迹。若带电粒子仅受电场力作用，运动方向由 M 到 N，以下说法正确的是（　　）



A. 粒子带负电

B. 粒子带正电

C. 粒子的电势能增加

D. 粒子的电势能减少

BD　**解析**：根据运动轨迹与受力关系，带电粒子受到的电场力与电场方向一致，故粒子带正电，A 错误，B 正确；粒子运动过程中，电场力方向与速度方向的夹角小于 90°，所以电场力做正功，粒子的电势能减少，C 错误，D 正确。

8.质量为 m 的带电小球射入匀强电场后，以方向竖直向上、大小为 $2g$ 的加速度向下运动，在小球下落 h 的过程中（　　）

A. 小球的电势能增加了 mgh

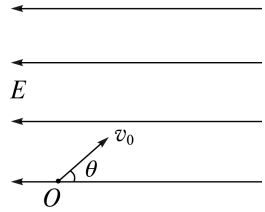
B. 小球的动能减少了 $2mgh$

C. 电场力做负功为 $2mgh$

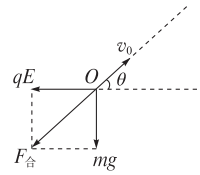
D. 小球的重力势能减少了 $2mgh$

B　**解析**：小球的加速度方向竖直向上，大小是 $2g$，由牛顿第二定律可得 $F-mg=2mg$，所以电场力 $F=3mg$，方向竖直向上，电场力做功 $-3mgh$，电势能增加 $3mgh$，故 A、C 错误；根据动能定理 $\Delta E_k=-F_{合}h=-2mgh$，小球的动能减少了 $2mgh$，故 B 正确；小球下落 h 的过程中，重力势能减少 mgh，故 D 错误。

9.如图所示，一匀强电场的电场强度方向水平向左，一个质量为 m 的带正电的小球以初速度 v_0 从 O 点出发，在电场力与重力的作用下，恰能与电场强度的反方向成 θ 角做直线运动。求小球运动到最高点时，其电势能与在 O 点时的电势能之差。



解析：设电场强度为 E，小球带电荷量为 q，因小球做直线运动，则它所受的电场力 qE 和重力 mg 的合力必和速度在一条直线上，如图所示：



有 $qE=\dfrac{mg}{\tan\theta}$，$F_{合}=\dfrac{mg}{\sin\theta}$

小球做匀减速运动的加速度大小为 $a=\dfrac{g}{\sin\theta}$

设从 O 点到最高点的位移为 x，由速度和位移的关系得 $0-v_0^2=-2ax$，则 $v_0^2=2ax$

运动的水平距离为 $l=x\cos\theta$

小球在两点的电势能之差 $\Delta E_p=qEl$

由以上各式得 $\Delta E_p=\dfrac{1}{2}mv_0^2\cos^2\theta$。

答案：$\dfrac{1}{2}mv_0^2\cos^2\theta$

5　电势　电势差

学习任务目标

1.体会用物理量之比定义新物理量的方法，理解电势的概念。（物理观念）
2.理解电势差与电场力做功的关系，并能用其解决实际问题。（科学思维）
3.利用类比法理解等势面。（科学思维）

问题式预习

知识点一　电势

1.定义：电荷在电场中某一点的电势能与它的电荷量的比。

2.公式：$\varphi=\frac{E_p}{q}$。

3.单位：国际单位制中，电势的单位是伏特，简称伏，符号是 V，1 V=1 J/C。

4.特点

(1)相对性：电场中各点电势的高低，与零电势点的选取有关，一般情况下选取无穷远处或大地的电势为零。

(2)标矢性：电势是标量，只有大小，没有方向，但有正负，电势为正表示比零电势高，电势为负表示比零电势低。

5.与电场线的关系：沿电场线方向，电势逐渐降低。

[科学思维]

$\varphi=\frac{E_p}{q}$是电势的定义式，电场中某点处 φ 的大小是由什么决定的？与在该点处是否放入检验电荷、电荷的电性、电荷量的大小有关吗？

提示：由电场本身决定。均无关。

知识点二　电势差的理解和应用

1.电势差的计算公式：$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，$U_{BA}=\varphi_B-\varphi_A$，$U_{AB}=-U_{BA}$。

2.电场力做功与电势差的关系：$W_{AB}=qU_{AB}$ 或 $U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$。

3.电场中两点间的电势差与零电势点的选择无关（选填“有关”或“无关”）。

4.电势差是标量，若 U_{AB} 为正值，则 A 点的电势比 B 点的电势高；若 U_{AB} 为负值，则 A 点的电势比 B 点的电势低。

5.电势差的单位和电势的单位相同，均为伏特，符号是V。

[科学思维]

$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$公式推导：

由电场力做功与电势能变化的关系可得 $W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}$，又因 $E_{pA}=q\varphi_A$，$E_{pB}=q\varphi_B$，可得 $W_{AB}=q\varphi_A-q\varphi_B=q(\varphi_A-\varphi_B)=qU_{AB}$，所以有 $U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$。

[判一判]

1.电势差是标量，但是有正值和负值之分。　(√)

2.由于静电力做功跟移动电荷的路径无关，电势差也跟移动电荷的路径无关，只跟这两点的位置有关。　(√)

3.$W_{AB}>0$ 说明电荷从 A 点移到 B 点的过程中，静电力做正功。　(√)

4.W_{AB} 越大，U_{AB} 越大，所以 U_{AB} 与 W_{AB} 成正比。　(×)

知识点三　等势面

1.等势面：电场中电势相等的各点构成的曲面。

2.等势面的特点

(1)同一等势面上任何两点之间的电势差为零。在同一个等势面上的任何两点之间移动电荷时，电场力不做功。

(2)等势面与电场线一定处处垂直，并且电场线由电势高的等势面指向电势低的等势面。

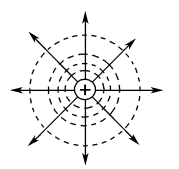
(3)不同的等势面不能相交。

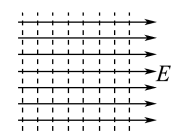
(4)在电场线密集的地方，等差等势面密集；在电场线稀疏的地方，等差等势面稀疏。

(5)等势面是虚拟的、为描述电场的性质而假想的面。

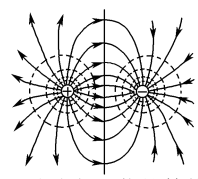
[科学思维]

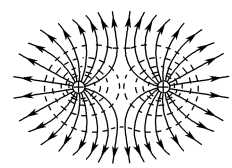
几种常见电场的等势面（图中用虚线表示）。


点电荷的等势面



匀强电场的等势面

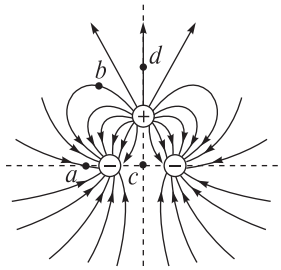

等量异种点电荷的等势面


等量同种点电荷的等势面

任务型课堂

任务一　对电势的理解和电势高低的判断

1.（多选）两个相同的负电荷和一个正电荷附近的电场线分布如图所示。c 点是两负电荷连线的中点，d 点在正电荷的正上方，c、d 点到正电荷的距离相等，则（　　）



A. a 点的电场强度比 b 点的大

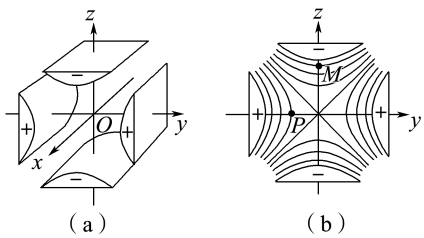
B. a 点的电势比 b 点的高

C. c 点的电场强度比 d 点的大

D. c 点的电势比 d 点的低

ACD　**解析**：从题图中可以看出，a 点的电场线比 b 点的电场线密，所以 a 点的电场强度比 b 点的大，故 A 正确；沿电场线的方向电势降低，所以 a 点的电势比 b 点的低，故 B 错误；两个负电荷在 c 点的合电场强度为零，正电荷在 c 点的电场强度方向竖直向下，两个负电荷在 d 点产生的电场强度叠加后方向竖直向下，正电荷在 d 点产生的电场强度方向竖直向上，因为正电荷到 c、d 距离相等，所以，叠加后的合电场强度肯定是 c 点大，故 C 正确；正电荷在 c、d 两点激发的电势相等，分析负电荷对 c、d 两点的影响，由于无穷远处电势为零，越靠近负电荷电势越低，则 c 点的电势比 d 点的低，故 D 正确。

2.（2023·辽宁卷）（多选）图（a）为金属四极杆带电粒子质量分析器的局部结构示意图，图（b）为四极杆内垂直于 x 轴的任意截面内的等势面分布图，相邻两等势面间电势差相等，则（CD）



（a）　（b）

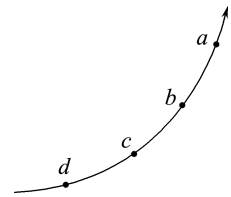
A. P 点电势比 M 点的低

B. P 点电场强度的大小比 M 点的大

C. M 点电场强度方向沿 z 轴正方向

D. 沿 x 轴运动的带电粒子，电势能不变

3.（2025·河北卷）《汉书》记载“姑句家矛端生火”表明古人很早就发现了尖端放电现象。若一带电长矛尖端附近某条电场线如图，则 a、b、c、d 四点中电势最高的是（　　）



A. a 点　　B. b 点

C. c 点　　D. d 点

D　**解析**：题图中为一条电场线，根据沿电场线方向电势逐渐降低的特点，则电势最高的是 d 点，最低的是 a 点，故 D 正确，A、B、C 错误。

4.将一个电荷量为 1.0×10^{-8} C 的负电荷，从无穷远处移到电场中的 A 点，克服电场力做功 2.0×10^{-8} J，又将该电荷从 A 点移到 B 点，电场力做功 1.0×10^{-8} J。试求电场中 A、B 两点的电势（取无穷远处为零电势点）。

解析：因无穷远处电势为零，故 $E_{pA}=2.0\times10^{-8}$ J

$\varphi_A=\dfrac{E_{pA}}{q}=-2$ V

又 $W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}=1.0\times10^{-8}$ J

故 $E_{pB}=E_{pA}-W_{AB}=1.0\times10^{-8}$ J

$\varphi_B=\dfrac{E_{pB}}{q}=-1$ V。

答案：-2 V　-1 V

任务总结

1.对电势的理解

特点	理解
相对性	电势是相对的，电场中某点的电势高低与零电势点的选取有关。通常将离场源电荷无穷远处或大地表面选为零电势点
固有性	电场中某点的电势大小是由电场本身的性质决定的，与在该点是否放有电荷及所放电荷的电荷量和电势能均无关
标量性	电势是标量，电势的正负只表示大小，不表示方向

2.电势高低的判断方法

(1)电场线法:沿电场线方向,电势越来越低。

(2)场源电荷判断法:离正场源电荷越近的点,电势越高;离负场源电荷越近的点,电势越低。

(3)公式法:由 $\varphi=\frac{E_p}{q}$ 进行计算比较,E_p、q 均带各自的正、负号。

(4)电势能判断法:对于正电荷,电势能越大,所在位置的电势越高;对于负电荷,电势能越小,所在位置的电势越高。

任务二　对电势差的理解

1.(多选)下列关于电势差 U_{AB} 和电势 φ_A、φ_B 的理解,正确的是　(　　)

A. U_{AB} 表示 B 点相对 A 点的电势差,即 $U_{AB}=\varphi_B-\varphi_A$

B. U_{AB} 和 U_{BA} 是不同的,它们的关系是 $U_{AB}=-U_{BA}$

C. φ_A、φ_B 都可以有正、负,所以电势是矢量

D. 零电势点的规定是任意的,但人们通常规定大地或无穷远处为零电势点

BD　**解析**:U_{AB} 表示 A 点相对于 B 点的电势差,即 $U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$,故 A 错误;$U_{AB}$ 和 U_{BA} 是不同的,它们的关系是 $U_{AB}=-U_{BA}$,故 B 正确;电势虽有正负之分,但电势是标量,故 C 错误;零电势点的规定虽然是任意的,但通常规定大地或无穷远处为零电势点,故 D 正确。

2.(多选)下列说法正确的是　(　　)

A. 电势差与电势一样,是相对量,与零电势点的选取有关

B. 电势差是一个标量,但是有正值和负值之分

C. 由于电场力做功跟电荷移动的路径无关,所以电势差也跟电荷移动的路径无关,只跟这两点的位置有关

D. A、B 两点间的电势差是恒定的,不随零电势点的不同而改变,所以 $U_{AB}=U_{BA}$

BC　**解析**:电势具有相对性,与零电势点的选取有关,而电势差是标量,虽有正、负之分,但大小与零电势点的选取无关,故 A 错误,B 正确;电势差为电场中两点的电势之差,与电荷移动的路径无关,故 C 正确;由于 $U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$,$U_{BA}=\varphi_B-\varphi_A$,故 $U_{AB}=-U_{BA}$,故 D 错误。

3.在电场中,A、B 两点间的电势差 $U_{AB}=75\ \text{V}$,B、C 两点间的电势差 $U_{BC}=-200\ \text{V}$,则 A、B、C 三点的电势高低关系为　(　　)

A. $\varphi_A>\varphi_B>\varphi_C$　　B. $\varphi_A<\varphi_C<\varphi_B$

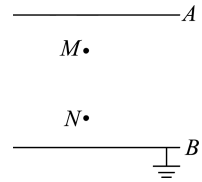
C. $\varphi_C>\varphi_A>\varphi_B$　　D. $\varphi_C>\varphi_B>\varphi_A$

C　**解析**:$U_{AB}=75\ \text{V}$ 表示 φ_A 比 φ_B 高 75 V,$U_{BC}=-200\ \text{V}$ 表示 φ_C 比 φ_B 高 200 V,所以三点电势高低关系为 $\varphi_C>\varphi_A>\varphi_B$,故选 C。

4.如图所示,若 B 板接地(取大地的电势为零,则与大地相连的导体的电势也为零),则 A 板电势为 8 V,M 点电势为 6 V,N 点电势为 2 V。

(1)求 M、N 两点间的电势差。

(2)如果改为 A 板接地,则 B 板的电势是多大?M、N 两点的电势各是多大?M、N 两点间的电势差又是多大?



解析:(1)M、N 两点间的电势差

$U_{MN}=\varphi_M-\varphi_N=4\ \text{V}$。

(2)B 板接地时,$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B=8\ \text{V}$

若 A 板接地时,则 B 点的电势

$\varphi_B=\varphi_A-U_{AB}=-8\ \text{V}$

同理 $\varphi_M=U_{MA}=-2\ \text{V}$

$\varphi_N=U_{NA}=-6\ \text{V}$

$U_{MN}=\varphi_M-\varphi_N=4\ \text{V}$。

答案:(1)4 V　(2)−8 V　−2 V　−6 V　4 V

任务总结

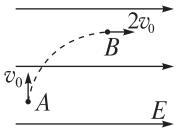
电势与电势差的比较

比较		电势 φ	电势差 U
区别	定义	电荷在电场中某一点的电势能与它的电荷量的比值,即 $\varphi=\frac{E_p}{q}$	电场中两点之间电势的差值
	决定因素	由电场和在电场中的位置决定	由电场和场内两点的位置决定
	相对性	有,与零电势点的选取有关	无,与零电势点的选取无关
联系	数值关系	$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$,当 $\varphi_B=0$ 时,$U_{AB}=\varphi_A$	
	单位	相同,均为伏特(V),常用的还有 kV、mV 等	
	标矢性	都是标量,但均有正、负之分	
	物理意义	均是描述电场的能量性质的物理量	

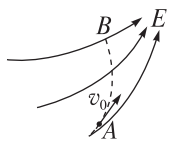
任务三　电势差与电场力做功的关系

[探究活动]

带电粒子可能在匀强电场中运动,也可能在非匀强电场中运动;可能只在静电力作用下运动,也可能在多个力的作用下运动;可能做直线运动,也可能做曲线运动,如图甲、乙所示。



甲



乙

(1)若图甲中电荷在匀强电场中运动，图乙中电荷在非匀强电场中运动，则公式 $W_{AB}=qU_{AB}$ 在哪种电场中成立？

(2)电荷在电场中运动，除受电场力外，若还受到多个其他力的作用，则公式 $W_{AB}=qU_{AB}$ 是否还成立？

(3)电荷在电场中运动时，若电场力做负功，即 $W_{AB}<0$，那么 U_{AB} 是否为负值，即 $U_{AB}<0$？

提示：(1)公式 $W_{AB}=qU_{AB}$ 适用于任何电场，故在两种电场中都成立。

(2)成立。只要 W_{AB} 是电荷在电场中运动时电场力做的功，$W_{AB}=qU_{AB}$ 就成立。

(3)不一定。根据 $U_{AB}=\dfrac{W_{AB}}{q}$，$W_{AB}<0$，若 q 为正电荷，则 $U_{AB}<0$，若 q 为负电荷，则 $U_{AB}>0$。

[评价活动]

1.如图所示，a、b 是电场线上的两点，将一电荷量为 q 的点电荷从 a 点移到 b 点，电场力做功为 W。已知 a、b 间的距离为 d，则以下说法正确的是　　(A)



A. a、b 两点间的电势差为 $\dfrac{W}{q}$

B. a 点的电场强度为 $E=\dfrac{W}{qd}$

C. b 点的电场强度为 $E=\dfrac{W}{qd}$

D. a 点的电势为 $\dfrac{W}{q}$

2.把带电荷量为 2×10^{-8} C 的正点电荷从无限远处移到电场中 A 点，要克服电场力做功 8×10^{-6} J；若把该点电荷从无限远处移动到电场中 B 点，需克服电场力做功 2×10^{-6} J。求：

(1)A 点的电势；

(2)A、B 两点间的电势差；

(3)把 2×10^{-8} C 的负点电荷由 A 点移到 B 点电场力做的功。

解析：(1)无限远处与 A 点间的电势差

$U_{\infty A}=\dfrac{W_1}{q}=\dfrac{-8\times10^{-6}}{2\times10^{-8}}$ V$=-400$ V

而 $U_{\infty A}=\varphi_\infty-\varphi_A$

又 $\varphi_\infty=0$，所以 $\varphi_A=400$ V。

(2)无限远处与 B 点间的电势差

$U_{\infty B}=\dfrac{W_2}{q}=\dfrac{-2\times10^{-6}}{2\times10^{-8}}$ V$=-100$ V

而 $U_{\infty B}=\varphi_\infty-\varphi_B$

又 $\varphi_\infty=0$，所以 $\varphi_B=100$ V

则 A、B 两点的电势差为 $U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B=300$ V。

(3)电场力做的功

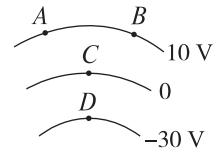
$W=q'U_{AB}=-2\times10^{-8}\times300$ J$=-6\times10^{-6}$ J。

答案：(1)400 V　(2)300 V　(3)-6×10^{-6} J

3.如图所示，三条曲线表示三条等势线，A、B、C、D 四点处电势分别为 $\varphi_A=\varphi_B=10$ V、$\varphi_C=0$、$\varphi_D=-30$ V。现使电荷量为 $q=1.2\times10^{-6}$ C 的正电荷在电场中移动。问：

(1)把这个电荷从 C 点移到 D 点，电场力做了多少功？

(2)把这个电荷从 D 点移到 B 点，再移到 A 点，电势能变化了多少？



解析：(1)由于 $U_{CD}=\varphi_C-\varphi_D=0-(-30\ \text{V})=30$ V

则电荷从 C 点移到 D 点，电场力做功

$W_{CD}=qU_{CD}=1.2\times10^{-6}\times30$ J$=3.6\times10^{-5}$ J。

(2)由于 $U_{DA}=\varphi_D-\varphi_A=-30$ V-10 V$=-40$ V

则电荷从 D 点移到 B 点再移到 A 点，电场力做功

$W_{DA}=qU_{DA}=1.2\times10^{-6}\times(-40)$ J$=-4.8\times10^{-5}$ J

故电势能的变化量 $\Delta E_p=-W_{DA}=4.8\times10^{-5}$ J，电荷的电势能增加。

答案：(1)3.6×10^{-5} J　(2)增加了 4.8×10^{-5} J

任务总结

1.电场力做功的求解方法

求解方法	表达式	适用范围
功的定义	$W=Fd=qEd$	适用于匀强电场
功能关系	$W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}=-\Delta E_p$	既适用于匀强电场，也适用于非匀强电场
电势差法	$W_{AB}=qU_{AB}$	
动能定理	$W_{电场力}+W_{其他力}=\Delta E_k$	

2.应用公式 $W_{AB}=qU_{AB}$ 时的两点注意

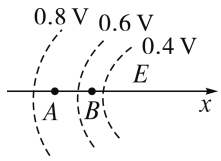
(1)公式 $W_{AB}=qU_{AB}$ 适用于任何静电场。其中 U_{AB} 为电场中 A、B 两点间的电势差，W_{AB} 仅是电场力做的功，不包括电荷从 A 点移动到 B 点时，其他力所做的功。

(2)W_{AB}、U_{AB}、q 均可正可负，W_{AB} 取负号表示电荷从 A 点移动到 B 点时电场力对电荷做负功，U_{AB} 取负号表示 $\varphi_A<\varphi_B$，q 取负号表示电荷带负电。

任务四　对等势面的理解和应用

[探究活动]

如图所示，虚线为一电场的等势面，A、B 为电场中的两点。



(1)A、B 两点哪点电势高？正电荷从 A 点移动到 B 点，电场力做正功还是负功？

(2)由等势面的分布能否大致确定电场的分布？能否比较 A、B 两点哪点的电场较强？

提示：(1)由等势面的电势高低可以判断电场中 A 点电势较高。由等势面的电势高低可以判断正电荷在电场中从 A 点移动到 B 点时电场力做正功。

(2)由于等势面和电场线垂直，若已知等势面的形状分布，可以绘制出电场线，从而确定电场的大致分布。等差等势面越密，电场越强，因此 B 点电场较强。

[评价活动]

1.下列关于等势面的说法，正确的是　　(　　)

A. 电荷在等势面上移动时，由于不受电场力的作用，所以电场力不做功

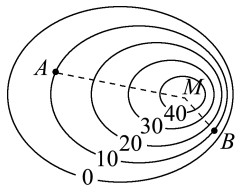
B. 同一个等势面上各点的电场强度大小相等

C. 两个电势不相等的等势面可能相交

D. 若相邻两等势面间的电势差相等，则等势面的疏密程度能反映场强的大小

D　**解析**：等势面由电势相等的点组成，电场线垂直于等势面，因此电荷在等势面上移动时，电场力不做功，但仍受电场力的作用，A 错误；等势面上各点的电场强度大小不一定相等，等势面不可能相交，B、C 错误；等差等势面的疏密程度能反映电场强度的大小，D 正确。

2.(2025·北京卷)某小山坡的等高线如图所示，M 表示山顶，A、B 是同一等高线上两点，MA、MB 分别是沿左、右坡面的直滑道。将小球从山顶沿滑道由静止滑下，不考虑阻力，则　　(　　)



A. 小球沿 MA 运动的加速度比沿 MB 的大

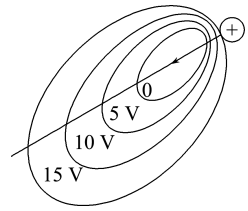
B. 小球分别运动到 A、B 点时速度大小不同

C. 若把等高线看成某静电场的等势线，则 A 点的电场强度比 B 点的大

D. 若把等高线看成某静电场的等势线，则右侧电势比左侧降低得快

D　**解析**：等高线越密集，坡面越陡，根据牛顿第二定律 $ma=mg\sin\theta$，可得加速度 $a=g\sin\theta$(θ 为坡面与水平面夹角)，MB 对应的等高线较密集，坡面较陡，即 θ 较大，可得小球沿着 MB 运动时的加速度比沿着 MA 运动时的加速度大，故 A 错误；A、B 在同一等高线上，小球沿 MA 和 MB 下落的高度相同，根据机械能守恒定律可知运动到 A、B 点时的速度大小相同，故 B 错误；等差等势线越密集，电场强度越大，B 点等势线较密集，故 A 点电场强度比 B 点小，故 C 错误；等势线越密集，电势降低越快，右侧等势线较密集，右侧电势比左侧降低得快，故 D 正确。

3.(2026·江苏卷)一带正电的粒子沿直线穿越如图所示的等势面，则下列说法正确的是　　(　　)



A. 粒子的电势能先增大后减小

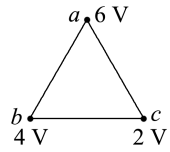
B. 粒子的电势能先减小后增大

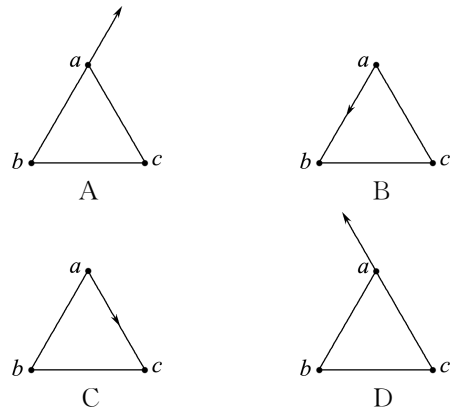
C. 粒子所受电场力先做负功后做正功

D. 粒子所受电场力不变

B　**解析**：粒子带正电，$q>0$，由电势能定义式 $E_p=q\varphi$ 可知，粒子沿题图所示方向运动，电势能先减小后增大，则电场力先做正功后做负功，故 B 正确，A、C 错误；由 $U=Ed$ 可知，等差等势面间距越小的位置电场强度越大，题图中沿着运动轨迹等差等势面间距不均匀，所以电场分布不均匀，即粒子所受电场力不是恒力，故 D 错误。

4.(2025·河南卷)如图所示，在与纸面平行的匀强电场中有 a、b、c 三点，其电势分别为 6 V、4 V、2 V；a、b、c 分别位于纸面内一等边三角形的顶点上。下列选项中箭头表示 a 点电场的方向，其中正确的是　　(　　)





C　**解析**：根据题意可知，a、c 连线的中点即为 b 点的等电势点，则 ac 的中垂线为匀强电场的等势线，又 $\varphi_a>\varphi_c$，故 a 点电场强度的方向为 $a\to c$，故 C 正确，A、B、D 错误。

任务总结

1.等势面的特点

(1)在等势面上移动电荷时，电场力不做功。

(2)电场线跟等势面垂直，并且由电势高的等势面指向电势低的等势面。

(3)若相邻等势面间的电势差相等，则等势面密集的地方，电场强度较大；等势面稀疏的地方，电场强度较小。

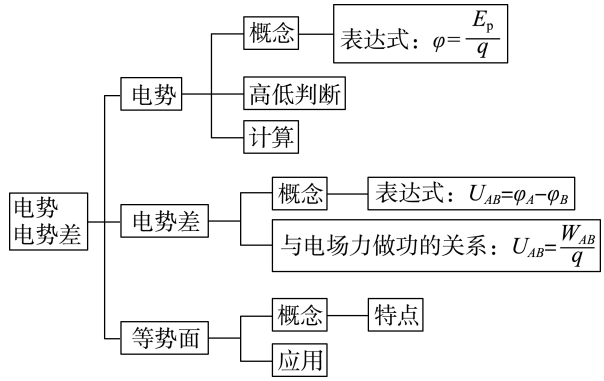
(4)任意两个等势面都不相交。

(5)等势面实际上并不存在，是为描述电场的性质而假想的面。

2.电场线与等势面的区别与联系

项目	电场线	等势面
物理意义	形象描述电场强度的大小和方向	形象描述电场中各点电势的高低
图线特点	带箭头的不闭合的曲线，两电场线不相交	可以闭合，也可以不闭合，不同等势面不相交
描述电场	曲线上某一点的切线方向为电场强度方向，疏密表示电场强度大小	等势面的垂线方向为电场强度方向，等差等势面的疏密表示电场强度大小
做功情况	电荷沿电场线移动时，电场力必做功	电荷沿等势面移动时，电场力不做功
联系	(1)沿电场线方向电势逐渐降低； (2)电场线与等势面垂直	

▶提质归纳



课后素养评价(五)

基础性·能力运用

知识点 1　对电势的理解

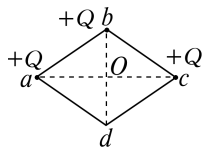
1.将一正电荷从无穷远处移至电场中的 M 点，电场力做功为 6.0×10^{-9} J；若将一个等量的负电荷从电场中的 N 点移向无穷远处，电场力做功为 7.0×10^{-9} J。取无穷远处电势为零，则 M、N 两点的电势 φ_M、φ_N 满足的关系是　(　　)

A. $\varphi_M<\varphi_N<0$　　B. $\varphi_N>\varphi_M>0$

C. $\varphi_N<\varphi_M<0$　　D. $\varphi_M>\varphi_N>0$

C　**解析**：取无穷远处电势 $\varphi_\infty=0$，对正电荷有 $W_{\infty M}=0-E_{pM}=-q\varphi_M$，$\varphi_M=-\frac{W_{\infty M}}{q}=-\frac{6.0\times10^{-9}\text{ J}}{q}$；对负电荷有 $W_{N\infty}=E_{pN}-0=-q\varphi_N$，$\varphi_N=-\frac{W_{N\infty}}{q}=-\frac{7.0\times10^{-9}\text{ J}}{q}$，所以 $\varphi_N<\varphi_M<0$，故 C 正确。

2.如图所示，a、b、c、d 分别是一个菱形的四个顶点，$\angle abc=120°$。现将三个电荷量为 $+Q$ 的正点电荷分别固定在 a、b、c 三个顶点上，形成一电场，将一个电荷量为 $+q$ 的检验电荷依次放在菱形中心点 O 和另一顶点 d 处，则下列说法正确的是　(　　)



A. d 点电场强度的方向由 d 点指向 O 点

B. $+q$ 在 d 点所具有的电势能较大

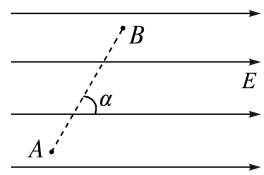
C. d 点的电势小于 O 点的电势

D. d 点的电场强度大于 O 点的电场强度

C　**解析**：由电场强度的叠加可知，d 点电场强度的方向由 O 点指向 d 点，故 A 错误；由 O 点到 d 点合电场强度方向均沿 Od，故 d 点电势小于 O 点电势，$+q$ 在 O 点具有的电势能较大，故 B 错误，C 正确；设菱形的边长为 r，三个点电荷在 d 点产生的电场强度大小相等，叠加后 $E_d=\frac{2kQ}{r^2}$，O 点电场强度 $E_O=\frac{4kQ}{r^2}$，$E_d<E_O$，故 D 错误。

知识点 2　对电势差的理解与应用

3.如图所示，匀强电场的电场强度大小为 $E=30\,000$ V/m，A、B 两点相距 0.2 m，两点连线与电场的夹角 α 为 60°。下列说法正确的是　(　　)



A. A、B 两点间的电势差是 $U_{AB}=1\,500$ V

B. 若取 A 点的电势为 $\varphi_A=0$，则 B 点的电势为 $\varphi_B=-3\,000$ V

C. 电荷量为 $q=+2\times10^{-4}$ C 的点电荷从 A 点运动到 B 点，电势能增加了 0.6 J

D. 电荷量为 $q=-2\times10^{-4}$ C 的点电荷从 A 点运动到 B 点，电场力做功为 0.6 J

B　**解析**：$q=2\times10^{-4}$ C的电荷由A点到B点电场力做功$W=qEl_{AB}\cos\alpha=0.6$ J，故电势能减少0.6 J，C错误；同理可知，D错误；$U_{AB}=\dfrac{W}{q}=\dfrac{0.6}{2\times10^{-4}}$ V$=3\ 000$ V，A错误；由$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，$\varphi_A=0$，得$\varphi_B=\varphi_A-U_{AB}=-3\ 000$ V，B正确。

4.（多选）一电子飞经电场中A、B两点，电子在A点时电势能为4.8×10^{-17} J，动能为3.2×10^{-17} J，电子经过B点时电势能为3.2×10^{-17} J，如果电子只受电场力作用，则　（　）

A. 电子在B点时动能为4.8×10^{-17} J

B. 电子由A点到B点电场力做功为100 eV

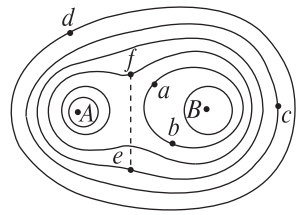
C. 电子在B点时动能为1.6×10^{-17} J

D. A、B两点间电势差为100 V

AB　**解析**：电子从A点运动到B点，只有电场力做功，故$E_{pA}+E_{kA}=E_{pB}+E_{kB}$，代入数据解得电子在$B$点时动能为$4.8\times10^{-17}$ J，故A正确，C错误；电子减少的电势能为$\Delta E_p=E_{pA}-E_{pB}=1.6\times10^{-17}$ J$=100$ eV，故由A点到B点电场力做功为100 eV，B正确；由于电子带负电，故A、B两点之间的电势差$U_{AB}=-100$ V，D错误。

知识点3　等势面的应用

5.位于A、B处的两个带有不等量负电荷的点电荷形成的电场在平面内的电势分布如图所示，图中实线表示等势线，则　（　）



A. a点和b点的电场强度相同

B. 将正电荷从c点移到d点，电场力做正功

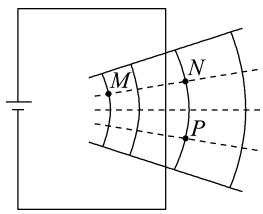
C. 将负电荷从a点移到c点，电场力做正功

D. 将正电荷从e点沿图中虚线移到f点，电势能不变

C　**解析**：同一检验电荷在a、b两点的受力方向不同，故a、b两点的电场强度方向不同，A错误；因为A、B两处有负电荷，所以等势线由外向内表示的电势越来越低，将正电荷从c点移到d点，正电荷的电势能增加，电场力做负功，B错误；将负电荷从a点移到c点，电势能减少，电场力做正功，C正确；将正电荷沿虚线从e点移到f点，电势是降低的，电势能是减少的，D错误。

综合性·创新提升

6.（2025·甘肃卷）如图所示，两极板不平行的电容器与直流电源相连，极板间形成非匀强电场，实线为电场线，虚线表示等势面。M、N点在同一等势面上，N、P点在同一电场线上。下列说法正确的是　（　）



A. M点的电势比P点的低

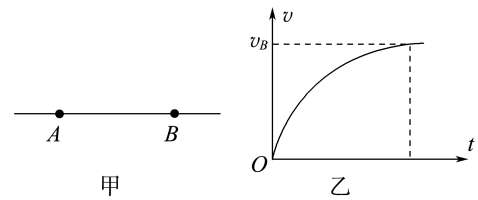
B. M点的电场强度比N点的小

C. 负电荷从M点运动到P点，速度增大

D. 负电荷从M点运动到P点，电场力做负功

D　**解析**：根据题图可知，上极板带正电，电场线方向从上到下，根据沿着电场线方向电势逐渐降低可知，N点电势高于P点电势，又因为M、N两点在同一等势面上，所以M点的电势比P点的高，故A错误；电场线密的地方电场强度大，所以M点的电场强度比N点的大，故B错误；负电荷受力方向与电场线方向相反，一负电荷从M点运动到P点，电场力做负功，动能减小，速度减小，故C错误，D正确。

7.如图甲所示，在一条电场线上有A、B两点，若从A点由静止释放一电子，假设电子仅受静电力作用，电子从A点运动到B点的速度－时间图像如图乙所示，则下列说法正确的是　（　）



A. 电子在A、B两点受的静电力：$F_A<F_B$

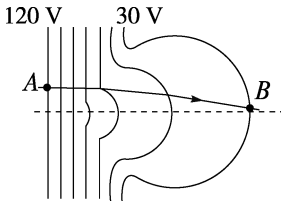
B. A、B两点的电场强度：$E_A<E_B$

C. A、B两点的电势：$\varphi_A<\varphi_B$

D. 电子在A、B两点具有的电势能：$E_{pA}<E_{pB}$

C　**解析**：从速度－时间图像看出，电子从A点运动到B点的过程中速度增大，加速度变小，即静电力减小，则$F_A>F_B$，电场强度变小，则B点的电场强度小于A点的电场强度，即$E_A>E_B$，故A、B错误；根据题意，电子从静止释放后从A点运动到B点，则电子受到的静电力方向为$A\to B$，而电子带负电，电场线方向为$B\to A$，则B点的电势大于A点的电势，即$\varphi_A<\varphi_B$，故C正确；因静电力做正功，则电势能减小，$E_{pA}>E_{pB}$，故D错误。

8.（多选）一个电子以速度 8×10^6 m/s 从 A 点射入电场，从 B 点射出，电场的等差等势面和电子的运动轨迹如图所示，图中左侧前三个等势面彼此平行。下列说法正确的有（已知电子质量为 $m=9.1\times10^{-31}$ kg）（　　）



A. 电子的加速度先不变后变小

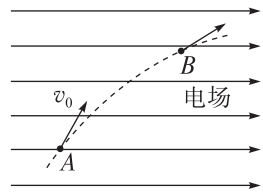
B. 电子射出电场时的速度为 5.7×10^6 m/s

C. 电子射出电场时的速度为 9.8×10^6 m/s

D. 电子的电势能先减小，后增大

AB　**解析**：由 A 到 B 电场强度先不变后减小，所以电子的加速度先不变后变小，A 正确；沿着电子的轨迹，电势一直降低，故电子的电势能一直增大，D 错误；电子由 A 点到 B 点电场力做的功为 $W_{AB}=eU_{AB}=-1.6\times10^{-19}\times(120-30)$ J $=-1.44\times10^{-17}$ J，根据动能定理得 $W_{AB}=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，解得 $v_B=5.7\times10^6$ m/s，故 B 正确，C 错误。

9.如图所示，一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子在匀强电场中运动，A、B 为其运动轨迹上的两点。已知该粒子在 A 点的速度大小为 v_0，方向与电场方向的夹角为 60°；它运动到 B 点时速度方向与电场方向的夹角为 30°。不计重力，求 A、B 两点间的电势差。



解析：设带电粒子在 B 点的速度大小为 v_B，粒子在垂直于电场方向上的速度分量不变，即

$v_B\sin30°=v_0\sin60°$

解得 $v_B=\sqrt{3}v_0$

设 A、B 两点间的电势差为 U_{AB}，由动能定理有

$qU_{AB}=\frac{1}{2}m(v_B^2-v_0^2)$，解得 $U_{AB}=\frac{mv_0^2}{q}$。

答案：$\frac{mv_0^2}{q}$

6　电势差与电场强度的关系

学习任务目标

1.理解电场强度的另一种表述，能应用 $U=Ed$ 或 $E=\frac{U}{d}$ 解决有关问题。（科学思维）

2.会用等分法确定等势面和电场线。（科学思维）

问题式预习

知识点　电势差与电场强度的关系

1.关系式：$U=Ed$ 或 $E=\frac{U}{d}$。

2.物理意义：在匀强电场中，两点间的电势差等于场强与这两点间沿电场线方向的距离的乘积。

3.适用条件

(1)匀强电场。

(2)d 为两点沿电场方向的距离。

4.对公式 $E=\frac{U}{d}$ 的理解

(1)意义：在匀强电场中，场强的大小在数值上等于沿场强方向单位距离上的电势差。

(2)电场强度的另一个单位：由 $E=\frac{U}{d}$ 可导出电场强度的另一个单位，即伏特每米，符号为 V/m。1 V/m=1 N/C。

5.等势面的疏密与电场强度大小的关系：等差等势面越密的地方场强越大。该结论适用于各种电场。

[科学思维]

公式 $U=Ed$ 是在匀强电场中得到的，在非匀强电场中能不能应用？

提示：在非匀强电场中不能进行定量计算，但可以定性地分析有关问题。

[判一判]

1.公式 $U_{AB}=Ed$ 中的 d 为电场中两点间的距离。（×）

2.电场强度公式 $E=\frac{U_{AB}}{d}$ 和 $E=\frac{F}{q}$ 适用范围不同。（√）

3.电场强度 E 与电势差 U_{AB} 成正比，与两点沿电场方向的距离 d 成反比。（×）

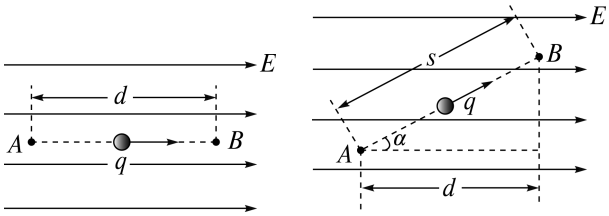
4.电场强度的两个单位 N/C 与 V/m 是相同的。（√）

任务型课堂

任务一　对公式 $U=Ed$、$E=\dfrac{U}{d}$ 的理解和应用

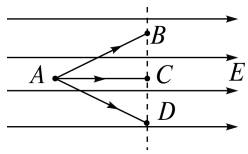
［探究活动］

情境一：在如图甲所示的匀强电场中，正电荷 q 在电场力的作用下从 A 点沿电场线方向移动到 B 点，已知 A、B 两点之间的距离为 d。



情境二：如图乙所示，A、B 两点不在同一电场线上。

情境三：如图丙所示，沿 $A\to B$、$A\to C$、$A\to D$ 三个方向电势都是降低的。



丙

(1)情境一中，电场强度 E 与电势差 U_{AB} 之间有什么关系？

(2)情境二中，电场强度 E 与电势差 U_{AB} 之间又有什么关系？

(3)情境三中，三个电势降低的方向中，沿哪个方向电势降低得最快？电势降低最快的方向与电场方向具有怎样的关系？

提示：(1)A、B 两点间距离为 d，电势差为 U_{AB}，电场强度为 E。把正电荷 q 从 A 点移到 B 点时，电场力 qE 所做的功为 $W=qEd$；利用电势差和功的关系，所做的功又可以表示为 $W=qU_{AB}$，比较这两个式子，可得 $W=qEd=qU_{AB}$，即 $U_{AB}=Ed$。

(2)正电荷从 A 点移动到 B 点，所受电场力方向水平向右，与位移间的夹角为 α，故电场力做功为 $W=qEs\cos\alpha$，$s\cos\alpha=d$，所以 $W=qEd$，由电势差和功的关系有 $W=qU_{AB}$，比较这两个式子可得 $U_{AB}=Es\cos\alpha=Ed$。d 为 AB 沿电场线方向的距离，也是 A、B 两点所在等势面间的距离，或者说是 A、B 两点间距离 s 在电场强度方向上的投影。

(3)三个电势降低的方向中，沿 $A\to C$ 方向电势降低得最快。电势降低最快的方向与电场强度的方向相同。

［评价活动］

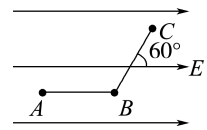
1.(多选)场强为 $E=1.0\times10^2$ V/m 的匀强电场中，有相距 $d=2.0\times10^{-2}$ m 的 a、b 两点，则 a、b 两点间的电势差可能为　(　　)

A. 1.0 V　　B. 2.0 V

C. 3.0 V　　D. 4.0 V

AB　**解析**：a、b 两点间的最大电势差 $U_{ab}=Ed=2$ V，最小电势差 $U_{ab}=0$，故 $0\leqslant U_{ab}\leqslant2$ V，A、B 可能，C、D 不可能。

2.如图所示，A、B、C 是电场强度为 E 的匀强电场中的三点，且 $AB=BC=d$，则　(D)



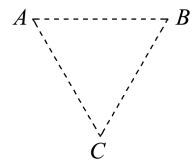
A. $U_{AB}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}U_{BC}$　　B. $U_{AB}=\dfrac{1}{2}U_{BC}$

C. $U_{AC}=\sqrt{3}U_{AB}$　　D. $U_{AC}=3U_{BC}$

3.如图所示，A、B、C 为一等边三角形的三个顶点，某匀强电场的电场线平行于该三角形所在的平面。现将电荷量为 1×10^{-8} C 的正点电荷从 A 点移到 B 点，电场力做功为 3×10^{-6} J；将另一电荷量为 1×10^{-8} C 的负点电荷从 A 点移到 C 点，克服电场力做功为 3×10^{-6} J。

(1)U_{AB}、U_{AC} 各为多大？

(2)若 AB 边长为 $2\sqrt{3}$ cm，则电场强度为多大？



解析：(1)正点电荷从 A 点移到 B 点时，电场力做正功，故 A 点电势高于 B 点，可以求得

$$U_{AB}=\frac{W_1}{q_1}=\frac{3\times10^{-6}}{1\times10^{-8}}\ \text{V}=300\ \text{V}$$

同理可判断 A 点电势高于 C 点，可求得

$$U_{AC}=\frac{W_2}{q_2}=300\ \text{V}。$$

(2)由(1)可知 $U_{BC}=0$，即 B、C 两点电势相等，BC 为一等势线，因此电场线方向垂直 BC。设 D 为 BC 的中点，则电场线方向由 A 指向 D。AB 沿电场强度方向的距离 d 等于线段 AD 的长度，故 $d=3$ cm。

由匀强电场中电势差与电场强度的关系式 $E=\dfrac{U}{d}$

可得 $E=\dfrac{300}{3\times10^{-2}}\ \text{V/m}=1\times10^4\ \text{V/m}$。

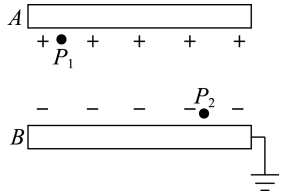
答案：(1)300 V　300 V　(2)1×10^4 V/m

4.平行的带电金属板 A、B 间存在匀强电场，如图所示，两板间距离是 5 cm，两板间的电压是 60 V。问：

(1)两板间的电场强度是多大？

(2)电场中有 P_1 和 P_2 两点，P_1 点离 A 板 0.5 cm，P_2 点离 B 板也是 0.5 cm，P_1 和 P_2 两点间的电势差为多大？

(3)若 B 板接地，P_1 和 P_2 两点的电势各是多少？



解析：(1)两板间是匀强电场，由 $U=Ed$ 可得两板间的电场强度 $E=\dfrac{U}{d}=\dfrac{60}{5\times10^{-2}}$ V/m$=1.2\times10^{3}$ V/m。

(2)P_1、P_2 两点沿电场强度方向的距离 $d'=4$ cm

所以 $U_{P_1P_2}=Ed'=1.2\times10^{3}\times4\times10^{-2}$ V$=48$ V。

(3)B 板接地，即 B 板电势为零，电场中某点的电势就等于这点与 B 板的电势差，即

$\varphi_{P_1}=Ed_1=1.2\times10^{3}\times4.5\times10^{-2}$ V$=54$ V

$\varphi_{P_2}=Ed_2=1.2\times10^{3}\times0.5\times10^{-2}$ V$=6$ V。

答案：(1)1.2×10^{3} V/m　(2)48 V　(3)54 V　6 V

任务总结

1.由关系式 $E=\dfrac{U_{AB}}{d}$ 表明的电场强度与电势差的关系

(1)大小关系：电场强度在数值上等于沿电场方向每单位距离上降低的电势，电场强度是电势对空间位置的变化率，电势随空间位置变化的快慢反映了电场强度的大小。

(2)方向关系：电场中电场强度的方向就是电势降低最快的方向。

2.公式 $U_{AB}=Ed$ $\left(\text{或 }E=\dfrac{U_{AB}}{d}\right)$ 的适用范围

(1)公式 $U_{AB}=Ed$ 或 $E=\dfrac{U_{AB}}{d}$ 只适用于计算匀强电场的电势差和电场强度，不能用于计算非匀强电场的电势差和电场强度。

(2)在非匀强电场中，电场强度整体较强的区域，沿电场线方向相同的距离的电势差必然较大，电势变化较快，所以根据这个公式可以定性比较非匀强电场中电势差的大小。

3.匀强电场中两点间电势差的三种求法

(1)应用定义式 $U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$ 来求解。

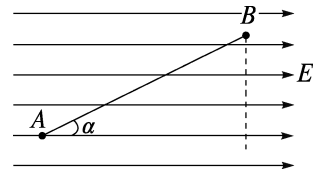
(2)应用关系式 $U_{AB}=\dfrac{W_{AB}}{q}$ 来求解。

(3)应用关系式 $U_{AB}=Ed$(匀强电场)来求解。

任务二　从电势差的角度理解电场强度

[探究活动]

如图所示，匀强电场中 A、B 两点之间的距离为 x，AB 与电场线方向的夹角为 α，A、B 两点之间的电势差为 U_{AB}。



(1)上述情境中，能否根据 $E=\dfrac{U_{AB}}{x}$ 计算电场强度？

(2)上述情境中，电场强度 E 和 U_{AB} 之间的关系是什么？

(3)在点电荷形成的电场中，能否用 $E=\dfrac{U}{d}$ 计算电场强度？

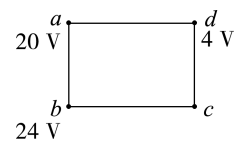
提示：(1)不能。因为 x 不是沿电场线方向的距离。

(2)$E=\dfrac{U_{AB}}{x\cos\alpha}$。

(3)不能。因为点电荷周围的电场不是匀强电场。

[评价活动]

1.如图所示，a、b、c、d 是匀强电场中的四个点，它们正好是一个矩形的四个顶点。电场线与矩形所在平面平行，已知 a 点的电势为 20 V，b 点的电势为 24 V，d 点的电势为 4 V，由此可知 c 点的电势为　(　　)

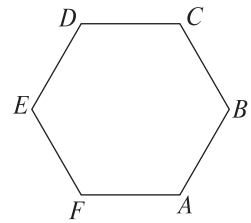


A. 4 V　　B. 8 V

C. 12 V　　D. 24 V

B　**解析**：因为 bc 与 ad 平行且相等，由匀强电场特点可得 $\varphi_b-\varphi_c=\varphi_a-\varphi_d$，解得 $\varphi_c=8$ V。

2.(多选)如图所示，A、B、C、D、E、F 为匀强电场中一个边长为 10 cm 的正六边形的六个顶点，A、B、C 三点电势分别为 1 V、2 V、3 V，正六边形所在平面与电场线平行。下列说法正确的是　(　　)



A. 通过 CD 和 AF 的直线应为电场中的两条等势线

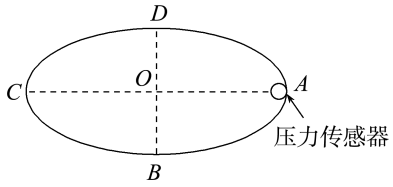
B. 匀强电场的电场强度大小为 10 V/m

C. 匀强电场的电场强度方向由 C 点指向 A 点

D. 将一个电子由 E 点移到 D 点，电子的电势能将减少 1.6×10^{-19} J

ACD **解析**：AC 的中点电势为 2 V，根据几何关系可知 BE 为等势线，CD、AF 同为等势线，故 A 正确；CA 为电场线方向，电场强度大小 $E=\dfrac{U}{d}=\dfrac{2}{2\times10\times\cos30^\circ\times10^{-2}}\text{ V/m}=\dfrac{20}{3}\sqrt{3}\text{ V/m}$，故 B 错误，C 正确；$U_{ED}=U_{BC}=-1$ V，$\Delta E_p=-W_{ED}=-eU_{ED}=-1.6\times10^{-19}$ J，故 D 正确。

3.（2026·山东卷）（多选）融合新型功能材料的传感器在智能感知领域得到广泛应用。如图所示，光滑、绝缘椭圆轨道竖直放置，长轴 $AC=2a$，短轴 $BD=2b$，AC 与 BD 交于 O 点，B 为最低点，A 点处内置可感知轨道压力的传感器。空间内充满平行于轨道平面、斜向上的匀强电场（图中未画出）。质量为 m、电荷量为 $+q$ 的小球置于 A 点时恰好静止，此时传感器示数等于 mg，g 为重力加速度的大小。下列说法正确的是 （ ）



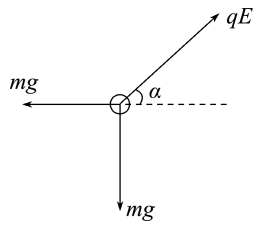
A. 电场强度的大小为 $\dfrac{mg}{q}$

B. 电场强度的方向与 OA 的夹角为 45°

C. A、B 两点间的电势差 $U_{AB}=-\dfrac{(a+b)mg}{q}$

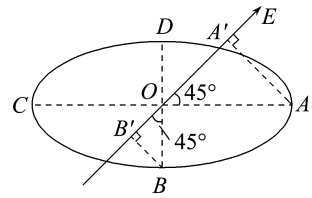
D. 若小球在 B 点的速度水平向右、大小为 v_0，则其到达 D 点时的速度大小仍为 v_0

BCD **解析**：作出小球在 A 点时的受力分析图，如图甲所示：



甲

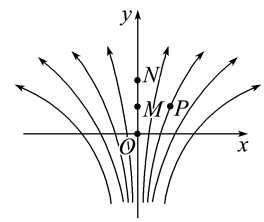
由力的平衡条件结合几何关系有 $qE=\sqrt{(mg)^2+(mg)^2}=\sqrt{2}\,mg$，所以电场强度的大小 $E=\dfrac{\sqrt{2}mg}{q}$，且其方向与 OA 的夹角 α 满足 $\tan\alpha=1$，则 $\alpha=45^\circ$，故 A 错误，B 正确；分别作出 A、B 两点在经过 O 点的电场线上的两等势点 A'、B'，如图乙所示：



乙

则由几何关系可知，A、B 两点间沿电场方向的距离为 $d=A'O+OB'=a\cos45^\circ+b\cos45^\circ=(a+b)\cos45^\circ$，所以 A、B 两点间的电势差为 $U_{AB}=-Ed=-\dfrac{(a+b)mg}{q}$，故 C 正确；小球所受支持力对其始终不做功，根据题意可知，小球所受电场力与重力的合力水平向右，BD 连线沿竖直方向，所以从 B 到 D 的过程，小球所受合外力做的总功为 0，由动能定理可知其动能变化量为 0，故小球在 B、D 两点的速度大小均为 v_0，故 D 正确。

4. 如图所示，一电场的电场线分布关于 y 轴（沿竖直方向）对称，O、M、N 是 y 轴上的三个点，且 $OM=MN$。P 点在 y 轴右侧，$MP\perp ON$。下列说法正确的是 （ ）



A. M 点的电势与 P 点的电势相同

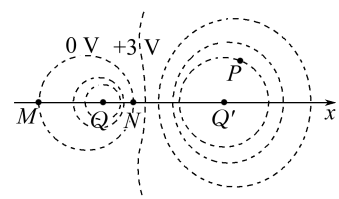
B. 将负点电荷由 O 点移动到 P 点，电场力做正功

C. M、N 两点间的电势差大于 O、M 两点间的电势差

D. M、N 两点间的电势差小于 O、M 两点间的电势差

D **解析**：根据电场线和等势面的关系画出等势面，可以判断出 M 点的电势比 P 点的电势高，A 错误；将负点电荷由 O 点移动到 P 点，电场力做负功，B 错误；根据 $U=Ed$ 进行定性分析可知 $U_{MN}<U_{OM}$，C 错误，D 正确。

5.（多选）如图所示为两点电荷 Q、Q' 的电场等势面分布示意图，Q、Q' 位于 x 轴上，相邻等势面的电势差为 3 V。若 x 轴上的 M 点和 N 点位于 0 V 等势面上，P 为某等势面上一点，则 （ ）



A. N 点的电场强度大小比 M 点的大

B. Q 为正电荷

C. M 点的电场方向沿 x 轴负方向

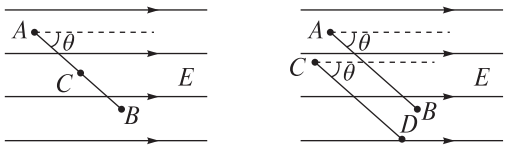
D. P 点与 M 点的电势差为 12 V

AD　**解析**：等差等势面的疏密程度体现电场强度的大小，由题图可知，N 点的等差等势面比 M 点更密，则 N 点的电场强度大小比 M 点的大，选项 A 正确；沿着电场线方向电势逐渐降低，由题图可知电场线由 N 指向 Q，则 Q 为负电荷，选项 B 错误；沿着电场线方向电势逐渐降低，结合各等势面的电势高低关系可知 M 点的电场方向沿 x 轴正方向，选项 C 错误；M 点与 N 点在同一等势面上，电势均为 0 V，P 点与 N 点的等势面间隔 4 个，而相邻等势面间的电势差为 3 V，则 P 点与 M 点的电势差为 12 V，选项 D 正确。

任务总结

1.由 $E=\frac{U}{d}$ 可推出的两个重要推论

推论 1：如图甲所示，匀强电场中任意一线段 AB 的中点 C 的电势，等于两端点电势的平均值，即 $\varphi_C=\frac{\varphi_A+\varphi_B}{2}$。

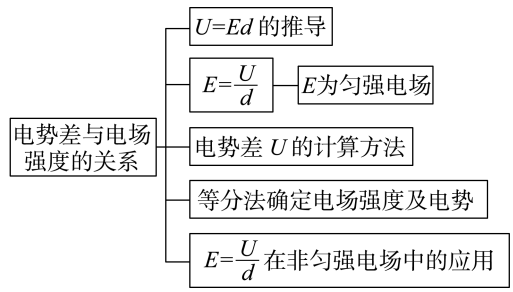


推论 2：如图乙所示，若匀强电场中两线段 $AB=CD$ 且 $AB\parallel CD$，则 $U_{AB}=U_{CD}$（或 $\varphi_A-\varphi_B=\varphi_C-\varphi_D$）；同理有 $U_{AC}=U_{BD}$（或 $\varphi_A-\varphi_C=\varphi_B-\varphi_D$）。

2.$E=\frac{U}{d}$ 在非匀强电场中的三点妙用

判断电势差大小及电势高低	距离相等的两点间，E 越大，U 越大，进而判断电势的高低
判断电场强度变化	φ-x 图像的斜率 $k=\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}=\frac{U}{d}=E$，斜率的大小表示电场强度的大小，正负表示电场强度的方向
判断电场强度大小	距离相等的两点间的电势差越大，电场强度越大

提质归纳

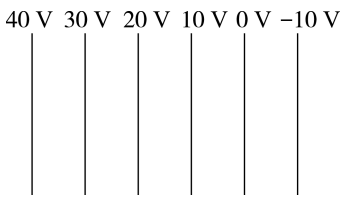


课后素养评价（六）

基础性·能力运用

知识点 1　对公式 $U_{AB}=Ed$、$E=\frac{U_{AB}}{d}$ 的理解和应用

1.如图所示是匀强电场中的一组等势面，每两个相邻等势面间的距离是 25 cm，由此可确定电场强度的方向及大小为　（　）



A. 竖直向下，$E=0.4$ N/C

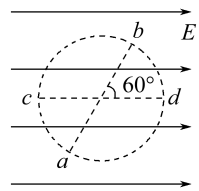
B. 水平向右，$E=0.4$ N/C

C. 水平向左，$E=40$ N/C

D. 水平向右，$E=40$ V/m

D　**解析**：由电场线垂直于等势面及电场线方向指向电势降低的方向可知，电场强度的方向水平向右，电场强度的大小为 $E=\frac{|U|}{d}=\frac{10}{0.25}$ V/m$=40$ V/m，故选 D。

2.（多选）如图所示，在匀强电场中有一虚线圆，ab 和 cd 是圆的两条直径，其中 ab 与电场方向的夹角为 60°，$ab=0.2$ m，cd 与电场方向平行，a、b 两点的电势差 $U_{ab}=20$ V，则　（　）



A. 电场强度的大小为 $E=200$ V/m

B. b 点的电势比 d 点的低 5 V

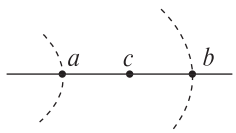
C. 将电子从 c 点移到 d 点，静电力做正功

D. 电子在 a 点的电势能大于在 c 点的电势能

AD　**解析**：根据 $U_{ab}=E\cdot ab\cdot\cos 60°$，可得电场强度的大小 $E=\dfrac{U_{ab}}{ab\cdot\cos 60°}=\dfrac{20}{0.2\times 0.5}$ V/m = 200 V/m，选项 A 正确；沿电场线方向电势逐渐降低，可知 b 点的电势比 d 点的电势高，选项 B 错误；将电子从 c 点移到 d 点，因电子所受静电力与位移反向，可知静电力做负功，选项 C 错误；因 a 点电势低于 c 点电势，则电子在 a 点的电势能大于在 c 点的电势能，选项 D 正确。

知识点 2　由电势差确定电场强度

3.（多选）某电场中等势面的分布如图所示，图中虚线表示等势面，过 a、b 两点的等势面电势分别为 40 V 和 10 V，c 点是 a、b 两点连线的中点，则下列关于 a、b 两点的电场强度 E_a、E_b 及 c 点的电势 φ_c 判断正确的是　（　）

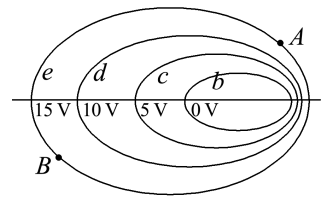


A. $E_a>E_b$　　B. $\varphi_c>25$ V

C. $\varphi_c<25$ V　　D. $E_a<E_b$

AC　**解析**：因为电场线与等势面垂直，根据等势面的形状和电势高低可知，电场线从左向右由密变疏，即从 a 点到 b 点电场强度逐渐变弱，则 $E_a>E_b$；电势为 25 V 的等势面应在 c 点的左边，所以 c 点的电势小于 25 V，故 A、C 正确。

4.如图所示为某电场等势面的分布情况，则下列说法正确的是　（　）



A. A 点的电场强度大于 B 点的电场强度

B. 放在 A、B 两点的所有电荷的电势能均相等

C. 质子在 A、B 两点的电势能相等且为负值

D. 若把电子从 b 等势面移动到 e 等势面，则电场力做功为 −15 eV

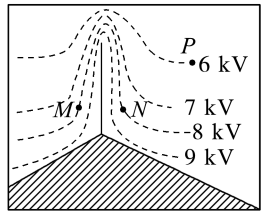
A　**解析**：A 点处等势面分布较密，所以电场强度较大，A 正确；A、B 两点的电势相等，但是电荷量不同的电荷，在 A、B 两点时电势能不相等，B 错误；根据电势能公式 $E_p=q\varphi$ 可知，正电荷在正电势处电势能为正，所以质子在 A、B 两点的电势能相等且为正值，C 错误；把电子从 b 等势面移动到 e 等势面，则电场力做功 $W_{be}=U_{be}q=-15\cdot(-e)$ V = 15 eV，D 错误。

综合性·创新提升

5.图甲为城市高层建筑避雷针的引雷工作场景，图乙所示为避雷针周围的等势面分布情况，电场中有 M、N、P 三点。下列说法不正确的是　（　）



甲



乙

A. P、M 两点间的电势差 $U_{PM}=-2$ kV

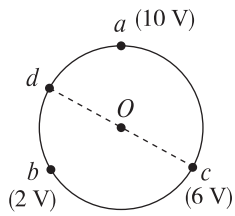
B. P 点的电场强度小于 M 点的电场强度

C. 电子从 M 点运动到 N 点，静电力不做功

D. 电子在 P 点的电势能小于其在 N 点的电势能

D　**解析**：由题图可知，P、M 两点间的电势差 $U_{PM}=\varphi_P-\varphi_M=-2$ kV，故 A 正确，不符合题意；因 M 点的等势面比 P 点密集，可知 M 点的电场线密集，则 P 点的电场强度大小比 M 点的小，故 B 正确，不符合题意；M、N 两点在同一条等势线上，所以电子从 M 点到 N 点，静电力不做功，故 C 正确，不符合题意；因 P 点的电势比 N 点的低，可知电子在 P 点的电势能大于其在 N 点的电势能，故 D 错误，符合题意。

6.如图所示，图中五点均在同一匀强电场中，a、b、c 刚好是一个圆的三个等分点（电势已在图中标注），O 是圆心，c、O、d 三点在同一条直线上，已知电场线与圆所在平面平行。下列有关 d 点的电势、电场强度的相关描述正确的是　（　）



A. d 点的电势为 4 V

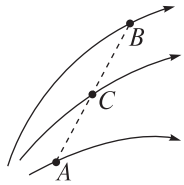
B. d 点的电势为 6 V

C. 电场强度方向由 c 点指向 a 点

D. 电场强度方向由 c 点指向 b 点

B　**解析**：ab 中点 e 的电势为 $\varphi_e=\frac{10+2}{2}$ V=6 V=φ_c，可知 dc 是电势为 6 V 的等势线，即 d 点的电势为 6 V，故 B 正确，A 错误；电场线与等势面垂直，且由高电势点指向低电势点，则电场强度的方向由 a 点指向 b 点，故 C、D 错误。

7. 如图所示，在某电场中画出了三条电场线，C 点是 A、B 连线的中点。已知 A 点的电势 $\varphi_A=30$ V，B 点的电势 $\varphi_B=-10$ V，则 C 点的电势　（　）

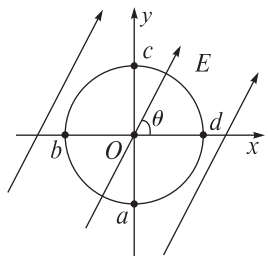


A. $\varphi_C=10$ V　　B. $\varphi_C>10$ V

C. $\varphi_C<10$ V　　D. 上述都不对

C　**解析**：由于 A、C 两点之间的电场线比 C、B 两点之间的电场线密，相等距离之间的电势差较大，即 $U_{AC}>U_{CB}$，所以 $\varphi_C<10$ V，故 C 正确。

8. 如图所示，以 O 点为圆心、$R=0.20$ m 为半径的圆与坐标轴交点分别为 a、b、c、d，该圆所在平面内有一匀强电场，电场强度方向与 x 轴正方向成 $\theta=60°$ 角，已知 a、b、c 三点的电势分别为 $4\sqrt{3}$ V、4 V、$-4\sqrt{3}$ V，则下列说法正确的是　（　）



A. 该匀强电场的电场强度为 $E=40\sqrt{3}$ V/m

B. 该匀强电场的电场强度为 $E=80$ V/m

C. d 点的电势为 -4 V

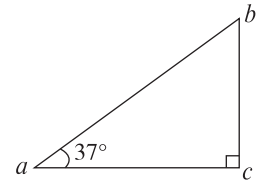
D. d 点的电势为 $-2\sqrt{3}$ V

C　**解析**：由题意得，a、c 两点间的电势差为 $U_{ac}=\varphi_a-\varphi_c=4\sqrt{3}$ V$-(-4\sqrt{3}$ V$)=8\sqrt{3}$ V，a、c 两点沿电场强度方向的距离为 $d=2R\sin\theta=2\times0.2\times\frac{\sqrt{3}}{2}$ m=$\frac{\sqrt{3}}{5}$ m，则该匀强电场的电场强度 $E=\frac{U_{ac}}{d}=\frac{8\sqrt{3}}{\frac{\sqrt{3}}{5}}$ V/m=40 V/m，故 A、B 错误；根据匀强电场中电势差与电场强度的关系式 $U=Ed$，同一方向上，相等距离的两点电势差相等，因为 $\varphi_a=4\sqrt{3}$ V，$\varphi_c=-4\sqrt{3}$ V，可知 O 点电势为零，而 $bO=Od$，则 b、O 两点间的电势差等于 O、d 两点间的电势差，可知 d 点的电势为 -4 V，故 C 正确，D 错误。

9. 如图所示，在匀强电场中一个电荷量为 $q=5.0\times10^{-10}$ C 的正电荷，分别由 a 点移动到 b 点和由 a 点移动到 c 点，电场力做功都是 3.0×10^{-8} J。已知 a、b、c 三点的连线组成一个直角三角形，$ab=20$ cm，$\angle a=37°$，$\angle c=90°$，取 $\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$。求：

(1) a、b 两点间的电势差 U_{ab}；

(2) 匀强电场的电场强度大小和方向。



解析：(1) 在匀强电场中，电荷量为 $q=5.0\times10^{-10}$ C 的正电荷由 a 点移到 b 点电场力做功是 3.0×10^{-8} J，故 a、b 两点间的电势差为

$$U_{ab}=\frac{W_{ab}}{q}=\frac{3.0\times10^{-8}}{5.0\times10^{-10}}\text{ V}=60\text{ V}。$$

(2) 正电荷 q 分别从 a 点到 b 点和从 a 点到 c 点，电场力做功相等，由 $W=qU$ 知，$U_{ab}=U_{ac}$，所以 b、c 两点处在同一个等势面上，根据电场线与等势面垂直知，电场强度沿 ac 方向由 a 点指向 c 点。

由 $E=\frac{U}{d}$ 和 $d=ac=ab\cdot\cos37°$ 得

$$E=\frac{U_{ab}}{ab\cdot\cos37°}=\frac{60}{20\times10^{-2}\times0.8}\text{ V/m}=375\text{ V/m}。$$

答案：(1) 60 V　(2) 375 V/m　方向沿 ac 由 a 点指向 c 点

7　静电的利用和防护

学习任务目标

1.会根据静电平衡条件求解感应电荷产生的电场强度。(科学思维)
2.了解生产生活中静电的利用与防护。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一　静电及静电的利用

1.静止的电荷称为静电。
2.物体带电后,其周围会产生电场,电场中电势不同的两点间存在电压。带电体的绝缘性能越好,电荷越容易积累,产生的电压就会越高。同时,绝缘性能越好的物体一旦带上静电,电荷的泄漏速度越慢,其危害性就越大。
3.静电的利用
(1)静电吸附的原理
在电场中,带电粒子受到静电力的作用,向着电极运动,最后吸附在电极上,这个原理在生产技术上被广泛应用。
(2)①静电喷涂:利用静电在物体上喷涂液体或固体涂料。
②激光打印机:利用正、负电荷互相吸引的原理。

[科学思维]

静电虽然会有危害,但也可以利用。请列举静电在生产生活中的应用实例。

提示:静电除尘、静电喷漆、静电复印、静电植绒、静电屏蔽等。

知识点二　静电的危害及防治

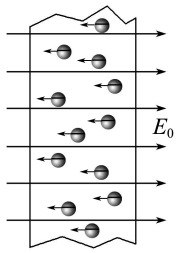
1.静电的危害
(1)雷雨云的雷鸣闪电给人类造成巨大损失。
(2)静电火花点燃易燃物质引起爆炸和火灾。
(3)静电放电引起电子设备的故障,造成电磁干扰。
(4)静电放电击穿集成电路和精密的电子元件。
(5)静电在工业中如电子工业、塑料工业、造纸印刷工业、纺织工业、煤炭工业中都会产生危害。
2.静电危害的防治
(1)尽快导走多余电荷,避免静电积累。
(2)调节空气的湿度。
(3)在易燃易爆气体和粉尘聚集的场所保持良好的通风、消除静电火花的引爆条件。
(4)利用尖端放电,如避雷针。

任务型课堂

任务一　静电平衡

[探究活动]

如图所示,将不带电的金属导体放到电场中,导体内的自由电子将发生定向移动,使导体两端出现等量异种电荷。

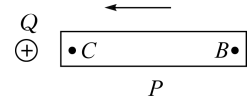


(1)自由电子定向移动的原因是什么?定向移动的方向如何?
(2)自由电子能否一直定向移动?为什么?

提示:(1)自由电子受外加电场的电场力作用而定向移动;向着与电场相反的方向定向移动。
(2)不能。感应电荷产生的电场与外加电场反向,阻碍电子的定向移动,当这两个电场大小相等时,电子的定向移动终止。

[评价活动]

1.如图所示,一个不带电的表面绝缘的导体 P 正在向带正电的小球 Q 缓慢靠近,但不接触,也没有发生放电现象,则下列说法正确的是　(　)

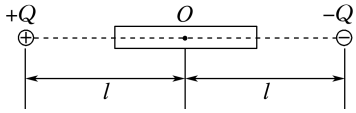


A. B 端的感应电荷为负电荷
B. 导体内电场强度越来越大
C. 导体上的感应电荷在 C 点产生的电场强度始终大于在 B 点产生的电场强度
D. 导体内电场强度越来越小

C　**解析:**根据"近异远同"的特点,导体 B 端的感应电荷为正电荷,A 错误;导体处于静电平衡状态,内部电场强度处处为零,B、D 错误;导体处于静电平衡状态,感应电荷产生的电场强度和带电小球产生的电场强度等大、反向、共线,相对于 B 点,由于

带电小球在 C 点产生的电场强度大，故感应电荷在 C 点产生的电场强度也大，C 正确。

2. 如图所示，一导体棒原来不带电，现将等量异种点电荷对称放在棒的水平轴线上，距离棒中点 O 均为 l，两点电荷所带电荷量分别为 $+Q$ 和 $-Q$。当棒达到静电平衡后，棒上感应电荷在 O 点产生的电场强度大小和方向分别为　　（　　）



A. 0

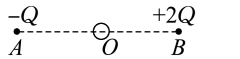
B. $\frac{kQ}{l^2}$，水平向右

C. $\frac{2kQ}{l^2}$，水平向左

D. $\frac{4kQ}{l^2}$，水平向左

C　**解析**：水平导体棒达到静电平衡后，棒上感应电荷在 O 点产生的电场强度与等量异种电荷在 O 点产生的合电场强度等大反向，等量异种电荷在 O 点产生的电场强度大小为 $E=\frac{2kQ}{l^2}$，方向水平向右，所以棒上感应电荷在 O 点产生的电场强度大小为 $E'=\frac{2kQ}{l^2}$，方向水平向左，故选 C。

3. 在真空中有两个点电荷 A 和 B，电荷量分别为 $-Q$ 和 $+2Q$，相距 $2l$，如果在两个点电荷连线的中点 O 处有一个半径为 $r(r\ll l)$ 的空心金属球，且球心位于 O 点，如图所示，则球壳上的感应电荷在 O 处的场强的大小为多少？方向如何？



解析：根据电场的叠加和静电平衡，球心 O 处的合场强为零，即感应电荷的电场强度与 A、B 两点电荷在 O 处所产生的合场强等大、反向，即 $E_{感}=E_A+E_B=k\frac{Q}{l^2}+k\frac{2Q}{l^2}=\frac{3kQ}{l^2}$，$A$、$B$ 在 O 处产生的场强方向向左，所以 $E_{感}$ 方向水平向右。

答案：$\frac{3kQ}{l^2}$　方向向右

任务总结

1.对静电平衡的三点理解

(1)静电平衡是自由电荷发生定向移动的结果，达到静电平衡时，自由电荷不再发生定向移动。

(2)金属导体达到静电平衡的时间是非常短的。

(3)导体达到静电平衡后内部电场强度处处为零是指外电场 E 与感应电荷产生的附加电场 E' 的合电场强度为零，故 $E'=-E$。

2.处于静电平衡的导体上的电荷分布特点

(1)净电荷只分布在导体表面，内部没有净电荷。

(2)感应电荷分布于导体两端，电性相反，电荷量相等。

(3)净电荷在导体表面的分布不均匀，一般越尖锐的地方电荷分布越密集。

3.感应电荷的电场强度的求解思路

(1)先求解外电场在该处电场强度的大小和方向。

(2)再根据导体内部电场强度(矢量和)处处为零和电场的叠加原理，求解感应电荷在该处产生的电场强度，感应电荷的电场强度与外电场的电场强度大小相等，方向相反。

任务二　静电的利用与防治

［探究活动］

(1)在医疗手术中，为防止麻醉剂乙醚爆炸，地砖要用导电材料制造，医生、护士要穿由导电材料制成的鞋子和棉布外套，一切设备都要良好接地，甚至病人身体也要良好接地。这样做是为了什么？

(2)某同学在学习了电学知识后，对电工穿的高压作业服进行了研究，发现高压作业服是用铜丝编织的。你能告诉他其中的原理吗？

提示：(1)消除静电。

(2)电工被铜丝编织的衣服所包裹，使人体内的电场强度保持为零，对人体起保护作用。

［评价活动］

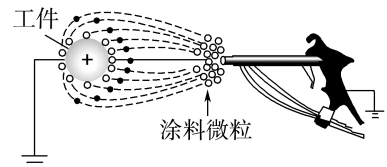
1. 我国古建筑上的屋脊中央常装有铜葫芦，其主要作用是　　（　　）

A. 美观　　B. 作风铃

C. 作避雷针　　D. 接水的器皿

C　**解析**：古建筑上的屋脊中央常装有的铜葫芦是利用尖端放电来引雷的，相当于避雷针，美观是其次的，故选 C。

2.(多选)静电的应用有多种，如静电除尘、静电喷涂、静电植绒、静电复印等，它们依据的原理都是让带电的物质粒子在电场力作用下奔向并吸附到电极上。静电喷漆的原理如图所示，则以下说法正确的是　　(AC)



A. 在喷枪喷嘴与被喷涂工件之间有一强电场

B. 涂料微粒一定带正电

C. 涂料微粒一定带负电

D. 涂料微粒可以带正电，也可以带负电

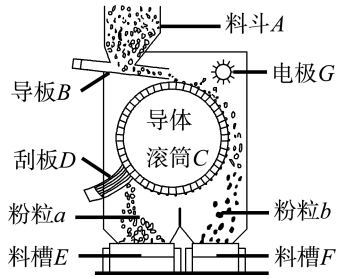
3.夏季，一群游客在新疆吐鲁番某沙漠景区自驾游。兴致正浓时天色突变，眼见雷雨将至，随后沙丘高处的一名游客头发直立如同刺猬一般，如图所示。此时为了保障人身安全，下列最为有效合理的一种避险方式是　　（　　）



A. 蹲下并用手触摸地面
B. 往沙漠低处跑
C. 用水将头发淋湿
D. 躲进汽车里

D　**解析**：雷雨将至，几名游客头发直立如同刺猬一般，说明空气中有很多带电的自由电荷，此时最有效且合理的一种避险方式是找个静电屏蔽的地方，如躲进汽车里，因为汽车由金属制造，能起到静电屏蔽的作用，故选D。

4.（多选）如图所示为滚筒式静电分选器，由料斗A、导板B、导体滚筒C、刮板D、料槽E、料槽F和电极G等部件组成。C与G分别接于直流高压电源的正、负极，并令C接地。电源电压很高，足以使电极G附近的空气发生电离而产生大量离子。现有导电性能不同的两种物质粉粒a、b的混合物从料斗A下落，沿导板B到达转动的滚筒C上。最后粉粒a落入料槽E，粉粒b落入料槽F。下列说法正确的是　　（　　）



A. 导体滚筒C要顺时针旋转
B. 导体滚筒C要逆时针旋转
C. 粉粒a的导电性能比粉粒b的好
D. 粉粒b的导电性能比粉粒a的好

AD　**解析**：导体滚筒C要顺时针旋转，使物质粉粒靠近电极G而带上负电，选项A正确，B错误。在物质粉粒靠近电极G时，大量的电子或负离子被喷射在粉粒a、b上而带负电，粉粒b因具有良好的导电性而与带正电的导体滚筒C接触后，其上的负电被中和并带上正电，故粉粒b一方面随导体滚筒转动，一方面受到C上正电的静电斥力而离开导体滚筒，最后落于料槽F；绝缘性能良好的粉粒a因其所带负电不容易传给导体滚筒C，而受C的静电吸引作用附着于C的表面并随其转动，最后粉粒a在重力和刮板D的作用下掉入料槽E，则粉粒b的导电性能比粉粒a的好，选项C错误，D正确。

任务总结

1.尖端放电

(1)电离：导体尖端的电荷密度很大，附近的电场强度很大，空气中的带电粒子剧烈运动，从而使空气分子被撞“散”而使空气分子中的正、负电荷分离。

(2)尖端放电：导体尖端的强电场使附近的空气电离，电离后的异种离子与尖端的电荷中和，相当于导体从尖端失去电荷。

(3)尖端放电的应用与防治

①应用：避雷针是利用尖端放电避免雷击的一种设施。

②防治：高压设备中导体的表面尽量光滑，以减少电能的损失。

2.静电吸附的应用

(1)静电除尘：设法使空气中的尘埃带电，在静电力作用下，尘埃到达电极处并被收集起来。

(2)静电喷漆：设法使雾化的油漆液滴或固体涂料的细小颗粒飞离喷嘴时带上同种电荷，在电场力作用下飞向作为电极的工件，由于同种电荷的排斥作用，就能够比较均匀地沉积于工件表面。

(3)静电复印的工作过程

①充电：通过电源使有机光导体鼓带上正电。

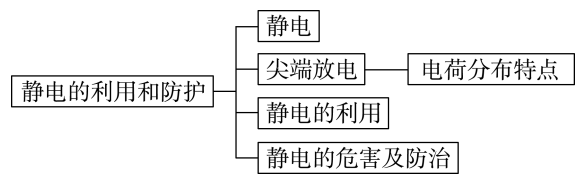
②曝光：利用光学系统将原稿上字迹的像成在有机光导体鼓上，有字迹的地方保留正电荷。

③显影：带负电的墨粉被吸附在字迹成像处，显示出由墨粉组成的字迹。

④转印：带正电的转印电极使白纸带上正电，带正电的白纸与有机光导体鼓表面墨粉组成的字迹接触，将带负电的墨粉吸附在白纸上。

⑤放电：使有机光导体鼓放电，除去表面的残余电荷。

提质归纳

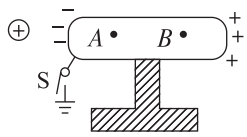


课后素养评价(七)

基础性·能力运用

知识点 1　静电及静电平衡现象

1.(多选)如图所示,把一个架在绝缘支架上的枕形导体放在正电荷形成的电场中,当导体处于静电平衡时,下列说法正确的是　(　　)



A. A、B 两点的电场强度相等,且都为零

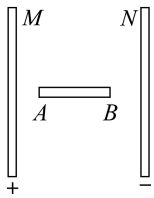
B. A、B 两点的电场强度不相等

C. 感应电荷产生的电场强度大小为 $|E_A|<|E_B|$

D. 当开关 S 闭合时,电子从大地沿导线向导体移动

AD　**解析**:枕形导体处于静电平衡状态,其内部 A、B 两点的电场强度都为零,故 A 正确,B 错误;由 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 知,由于 A 点离正电荷较近,正电荷在 A 点产生的电场强度较大,故感应电荷在 A 点产生的电场强度也较大,故 C 错误;开关 S 闭合时,枕形导体与大地成为整体,枕形导体为近端,大地为远端,电子从大地沿导线向导体定向移动,以中和枕形导体右端的正电荷,故 D 正确。

2.(多选)在两块带等量异种电荷的平行金属板 M、N 之间,垂直于金属板放置一个原来不带电的金属棒 AB,如图所示。当达到静电平衡后,以下说法正确的是　(　　)



A. 金属棒内部的电子不再定向移动

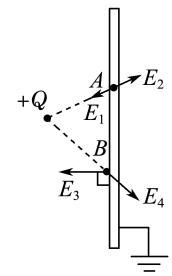
B. 金属棒内部各点的电场强度均为零

C. 由于静电感应,金属棒的 A 端带正电荷

D. 由于静电感应,金属棒的 A 端带负电荷

ABD　**解析**:根据静电平衡知识可知,金属棒 A 端感应出负电荷,B 端感应出正电荷,整个导体内部的电场强度为零,电子不再定向移动,故 A、B、D 正确,C 错误。

3.如图所示,带正电的点电荷旁有一接地大金属板,A 为金属板内的一点,B 为金属板左侧外表面上的一点,图中的 E_3 方向垂直于金属板向左,则下列判断正确的是　(　　)



A. 感应电荷在 A 点的电场强度沿 E_2 方向

B. A 点的合电场强度可能沿 E_1 方向

C. B 点的合电场强度可能沿 E_3 方向

D. 感应电荷在 B 点的电场强度不可能沿 E_4 方向

D　**解析**:金属板内的电场强度处处为零,则感应电荷的电场与点电荷的电场等大反向,即感应电荷在 A 点的电场强度沿 E_1 方向,选项 A、B 错误;Q 带正电,金属板左侧表面的电场强度垂直表面向右,即为感应电荷的电场与点电荷的电场的合电场强度方向,感应电荷在 B 点的电场强度不可能沿 E_4 方向,且 B 点的合电场强度不可能沿 E_3 方向,选项 C 错误,D 正确。

知识点 2　静电的利用与防护

4.避雷针能够避免建筑物被雷击的原因是　(　　)

A. 云层中的电荷被避雷针通过导线导入大地

B. 避雷针的尖端向云层放电,中和了云层中的电荷

C. 云层与避雷针发生摩擦,避雷针上产生了电荷

D. 以上解释都不正确

B　**解析**:带电荷的云层靠近避雷针时,在避雷针尖端感应出与云层电性相反的电荷,达到一定程度就向空中放电,中和云层中的电荷,从而避免建筑物遭受雷击,故 B 正确。

5.静电给人们带来很多方便,但有时也会带来麻烦,甚至造成危害。下列选项中属于防止静电危害的是　(　　)

A. 静电喷漆　　B. 静电复印

C. 静电除尘　　D. 导电轮胎

D　**解析**:静电喷漆、静电复印和静电除尘都是静电的应用,故 A、B、C 不符合题意;导电轮胎可将轮胎上的电荷导入大地,是防止静电危害,故 D 符合

题意。

6. 口罩中间层的熔喷布是一种用绝缘材料做成的带有静电的超细纤维布，它能阻隔几微米的病毒，这种静电的阻隔作用属于 （ ）

A. 静电屏蔽

B. 尖端放电

C. 静电感应和静电屏蔽

D. 静电感应和静电吸附

D **解析**：由题意知，口罩中间层的熔喷布是一种用绝缘材料做成的带有静电的超细纤维布，所以当几微米的病毒靠近时，由于静电感应而带电，从而被熔喷布吸附，无法透过，因此可以吸附以气溶胶形式存在的病毒，其工作原理是利用了静电感应和静电吸附，故选 D。

7. 电视机的玻璃显示屏表面经常有许多灰尘，这主要是因为 （ ）

A. 灰尘的自然堆积

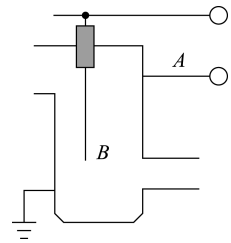
B. 玻璃有极强的吸附灰尘的能力

C. 电视机工作时，显示屏表面温度较高而吸附灰尘

D. 电视机工作时，显示屏表面有静电而吸附灰尘

D **解析**：该现象是一种静电现象，即电视机工作时，显示屏表面由于有静电而吸附灰尘，故 D 正确。

8. 如图所示是静电除尘装置的示意图，它由金属管 A 和管中金属丝 B 组成。有关静电除尘的原理，以下说法正确的是 （ ）



A. A 接高压电源负极，B 接高压电源正极

B. 煤粉等烟尘吸附电子后被吸附在 B 上

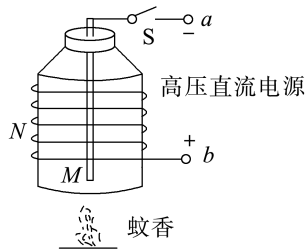
C. 靠近 B 处电场强度大，B 处附近的空气被电离成正离子和电子

D. 煤粉等烟尘在强电场作用下电离成正离子和电子，分别吸附在 B 和 A 上

C **解析**：在静电除尘器中，金属丝与金属管间接有直流高压电，在金属丝附近产生极强的电场，该强电场将附近空气电离成正离子和电子，煤粉吸附电子后，在电场力的作用下被吸附到接高压电源正极的金属管的内壁上，金属管接电源正极，金属丝接电源负极，电场线由 A 向 B 集中，B 处电场线更密集，电场强度更大，故选 C。

综合性·创新提升

9. 如图所示为某同学自制的静电除尘器。穿过去底的矿泉水瓶瓶盖（瓶盖打孔）安装一直导线 M，瓶外绕多圈铁丝 N。a、b 端与高压直流电源相连。断开开关 S，点燃蚊香，瓶内烟雾缭绕。闭合 S，顿时瓶内清澈透明，则 S 闭合时 （ ）



A. M 附近电场强度最小

B. M 附近电场强度最大

C. 烟尘吸附在 M 上

D. N 附近空气中的气体分子易被电离

B **解析**：因为静电平衡时，M 上电荷密度大，其附近电场强度也大，周围空气中的气体分子被电离成正离子和电子，电子在向着正极 N 运动的过程中，遇到烟雾中的粉尘，使粉尘带负电，粉尘被吸附在瓶身上，从而达到除尘效果，故选 B。

10. 纯棉衣服手感柔软、舒适度高，不会起静电而且吸湿性和透气性都不错，适合皮肤敏感的人群穿戴。关于静电的防止与利用，下列说法正确的是 （ ）

A. 手术室的医生和护士都要穿戴绝缘性能良好的化纤制品，以防止静电对手术的影响

B. 为了防止静电危害保证乘客的安全，飞机起落架的轮胎用绝缘橡胶制成

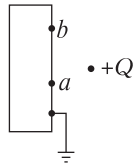
C. 金属导体有静电屏蔽的作用，运输汽油时把汽油装进金属桶比装进塑料桶更安全

D. 轿车上有一根露在外面的小天线是用来避免雷击的

C **解析**：绝缘性能良好的化纤制品衣服不能及时把静电导入大地，容易造成手术事故，故 A 错误；飞机轮胎用导电橡胶制成可以将飞机产生的静电迅速导走，故 B 错误；由于金属导体能做到静电屏蔽，故用金属桶装易燃的汽油要更安全，故 C 正确；轿车上有一根露在外面的小天线是无线广播的接收天线，故 D 错误。故选 C。

11.（多选）如图所示，接地的金属板右侧有固定的点电荷 $+Q$，a、b 是金属板右侧表面的两点，其中 a

到+Q的距离较小，则下列说法正确的是（　　）



A. 由于静电感应，金属板右侧表面带负电，左侧表面带正电

B. 由于静电感应，金属板右侧表面带负电，左侧表面不带电

C. a、b两点的电场强度不为零

D. a、b两点的电场强度方向相同，但a点的电场强度比b点的电场强度要大一些

BCD　**解析**：若金属板不接地，则其右侧表面将有感应的负电荷，左侧表面将有感应的等量正电荷。现金属板接地，负电荷通过接地导线移向金属板，静电平衡时其左侧表面不带电，故A错误，B正确；金属板接地时，其右侧表面上仍有感应负电荷，而且a点附近的电荷面密度（单位表面积的电荷量）比b点附近的电荷面密度要大一些，电场线也密一些，则a点电场强度要大一些，故C、D正确。

8　电容器　电容

学习任务目标

1. 理解电容器、电容的概念及定义式。（物理观念）

2. 观察电容器的充放电现象，探究电容器两极板间电势差跟所带电荷量的关系。（科学探究）

3. 实验探究平行板电容器电容的决定式，并能用其分析有关问题。（科学探究）

问题式预习

知识点一　对电容器、电容的理解

1. 电容器

（1）电容器的功能：电容器的主要作用是储存电荷和电能，这种储存在电场中的电能叫电场能。

（2）电容器的构造：两个彼此绝缘又相互靠近的导体可以组成一个电容器。

（3）电容器的带电荷量：任意一块极板所带电荷量的绝对值。

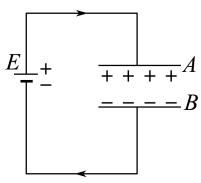
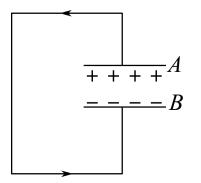
2. 电容

（1）定义：描述电容器储存电荷能力的物理量。

（2）公式：$C=\dfrac{Q}{U}$，其中Q指任意一块极板上所带电荷量的绝对值。

（3）单位：法拉，符号是F，1 F=1 C/V，1 F=10^6 μF=10^{12} pF。

3. 电容器的充电和放电过程

项目	充电过程	放电过程
定义	使电容器带电的过程	中和掉电容器所带电荷的过程
过程示意图		

续表

项目	充电过程	放电过程
电荷运动	正电荷向A板移动，负电荷向B板移动	正电荷由A板移向B板（或负电荷由B板移向A板）
电流方向	流向正极板（或从负极板流出）	从正极板流出（或流向负极板）
联系	两个过程互逆，电容器的电荷量、场强、能量变化趋势相反	

［**科学思维**］

电容$C=\dfrac{Q}{U}$是用比值法定义的物理量，能不能说C与Q成正比，与U成反比？

提示：不能。

［**判一判**］

1. 任何两个彼此绝缘又相互靠近的导体，就组成了电容器，跟这两个导体是否带电无关。　（√）

2. 电容器所带的电荷量是指每个极板所带电荷量的代数和。　（×）

3. 电容器的电容与电容器所带电荷量成反比。　（×）

4. 放电后的电容器电荷量为零，电容也为零。　（×）

知识点二　常见电容器

1. 平行板电容器

（1）构成：由两个彼此绝缘又相互靠近的平行金属

板组成。

(2)电容的决定因素

电容与两板正对面积 S 成正比,与电介质的相对介电常数 ε_r 成正比,与极板间距离 d 成反比。

(3)电容表达式:$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$,$\varepsilon_r$ 为相对介电常数,真空中 $\varepsilon_r=1$,其他电介质中 $\varepsilon_r>1$。

2.常用电容器

(1)分类:从构造上看,可以分为固定电容器和可变电容器两类。

(2)电容器的额定电压和击穿电压

①额定电压:电容器正常工作所能承受的最大电压。

②击穿电压:电介质被击穿时加在电容器两极板上的极限电压,若电压超过这一限度,则电容器就会损坏。

③电容器的额定电压比击穿电压低得多。

[**科学思维**]

$C=\frac{Q}{U}$ 适用于所有电容器;$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 适用于平行板电容器。

任务型课堂

任务一 对电容器、电容的理解

1.下列关于电容器和电容的说法正确的是 ( )

A. 电容器所带的电荷量是指两个极板所带电荷量的绝对值之和

B. 电容是用来描述电容器容纳电荷本领的物理量,所以电容器所带电荷量越多,它的电容就越大

C. 某一电容器标注的是"300 V 5 μF",其含义是只有当电压为 300 V 时,它的电容才等于 5 μF

D. 法拉(F)是电容的国际单位,但是这个单位很大,通常用微法(μF)这个单位,1 F=10^6 μF

D **解析**:电容器所带的电荷量是指一个极板所带电荷量的绝对值,故 A 错误;电容是用来描述电容器容纳电荷本领的物理量,其大小与电容器所带的电荷量无关,故 B 错误;某一电容器标注的是"300 V 5 μF",其含义是电容器的额定电压是 300 V,它的电容等于 5 μF,故 C 错误;法拉(F)是电容的国际单位,但是这个单位很大,通常用微法(μF)这个单位,1 F=10^6 μF,故 D 正确。

2.(多选)有一个正在放电的电容器,若使它的电荷量减少 3×10^{-6} C,其电压将变为原来的 $\frac{1}{3}$,则 ( )

A. 电容器原来带的电荷量是 9×10^{-6} C

B. 电容器原来带的电荷量是 4.5×10^{-6} C

C. 电容器原来的电压可能是 5 V

D. 电容器原来的电压可能是 5×10^{-2} V

BCD **解析**:由 $C=\frac{Q}{U}=\frac{Q-3\times10^{-6}\text{ C}}{\frac{U}{3}}$,解得 $Q=4.5\times10^{-6}$ C,故 B 正确。当 $U_1=5$ V 时,$C_1=\frac{Q}{U_1}=\frac{4.5\times10^{-6}}{5}$ F=0.9 μF;当 $U_2=5\times10^{-2}$ V 时,$C_2=\frac{Q}{U_2}=\frac{4.5\times10^{-6}}{5\times10^{-2}}$ F=90 μF。常见电容器的电容一般都以微法作单位,符合实际情况,故 C、D 正确。

3.心脏除颤器是用脉冲电流作用于心脏,实施电击治疗,消除心律失常,使心脏恢复窦性心律的设备。如图所示是一次使用心脏除颤器的治疗情景,该心脏除颤器的电容器电容为 14 μF,充电后电容器的电压达到 10 kV。若电容器在 2 ms 内放电至两极板间的电压为零,则下列说法正确的是 ( )



A. 这次放电过程中通过患者身体的电流恒为 70 A

B. 这次放电过程中有 0.14 C 的电荷通过患者身体

C. 若充电后电容器的电压为 5 kV,此时电容器的电容为 7 μF

D. 这次放电过程中患者身体起到绝缘电介质的作用

B **解析**:电容器放电过程中,开始时电流较大,随着带电荷量的减少,放电电流逐渐减小,不是恒定的,选项 A 错误;这次放电过程中通过患者身体的电荷量 $Q=CU=14\times10^{-6}\times10\times10^3$ C=0.14 C,选项 B 正确;电容器的电容是由其本身决定的,与电容器的电压无关,选项 C 错误;患者身体是导体,不是绝缘体,不能起到绝缘电介质的作用,选项 D 错误。

4.一个平行板电容器,使它所带电荷量从 $Q_1=3\times10^{-5}$ C 增加到 $Q_2=3.6\times10^{-5}$ C 时,两极板间的电势差从 $U_1=10$ V 增加到 $U_2=12$ V。

(1)求这个电容器的电容。

(2)如要使两极板电势差从 $U_1=10$ V 降到 $U_2'=6$ V,则需减少多少电荷量?

解析:(1)由电容器电容的定义式 $C=\frac{Q}{U}$ 可知

$$C=\frac{\Delta Q}{\Delta U}=\frac{Q_2-Q_1}{U_2-U_1}=\frac{3.6\times10^{-5}-3\times10^{-5}}{12-10}\text{ F}=3\ \mu\text{F}。$$

(2)当两极板间电势差降到 6 V 时,每个极板应减少的电荷量为 $\Delta Q'=C\Delta U'=3\times10^{-6}\times(10-6)$ C=1.2×10^{-5} C。

答案:(1)3 μF (2)1.2×10^{-5} C

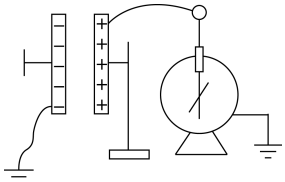
任务总结

1. 电容器的电容是反映其容纳电荷本领大小的物理量，完全由电容器本身的属性决定，跟电容器是否带电、带电荷量多少以及两极板间电势差的大小无关。
2. 对于一个确定的电容器，电容 C 是不变的，故当电容器所带电荷量分别为 Q_1 和 Q_2 时，有 $C=\frac{Q_1}{U_1}$，$C=\frac{Q_2}{U_2}$，则 $C=\frac{Q_1-Q_2}{U_1-U_2}=\frac{\Delta Q}{\Delta U}$，即电容的大小在数值上还等于电容器所带电荷量的变化量 ΔQ 与对应电容器两极板间电压的变化量 ΔU 的比值。

任务二　平行板电容器的动态分析问题

［探究活动］

如图所示，把一个已充电的平行板电容器和一静电计相连，探究影响平行板电容器电容的因素。



(1)本实验采用的实验方法是什么？

(2)如何利用静电计判断电容器电容的变化？

(3)怎样通过实验探究平行板电容器的电容与各因素的关系？

提示：(1)控制变量法。

(2)由 $Q=CU$ 可知，由于极板上的电荷量 Q 几乎不变，所以电容器的电容 C 与电压 U 成反比，而两个导体间的电压 U 的变化可通过静电计指针的偏转角度 θ 显示出来，θ 变大，电压 U 增大，说明 C 减小；θ 变小，电压 U 减小，说明 C 增大。

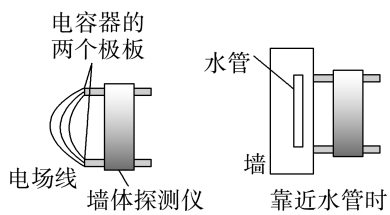
(3)①保持极板上的电荷量 Q 和两极板间的距离 d 不变，改变两极板的正对面积 S。S 越大，静电计显示的电势差越小。分析可知，S 越大，U 越小，C 越大。

②保持极板上的电荷量 Q 和两极板的正对面积 S 不变，改变两极板间的距离 d。d 越小，静电计显示的电势差越小。分析可知，d 越小，U 越小，C 越大。

③保持 Q、S、d 都不变，在两极板中间插入电介质，静电计显示的电势差减小。分析可知，插入电介质，U 减小，C 增大。

［评价活动］

1.（多选）墙体探测仪是一种新型的建筑装潢辅助工具，用于探测墙体内水管、电线和钢筋的位置。如图所示为其探测水管的原理示意图，主要感应元件为电容器，当探测仪靠近水管时，指示灯亮起，便可确定水管的位置。则探测仪靠近水管前后（　　）



A. 电容器的电介质发生变化

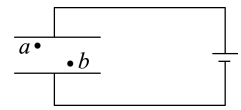
B. 电容器两极板间的距离发生变化

C. 电容器极板的正对面积发生变化

D. 电容器的电容发生变化

AD　**解析**：探测仪靠近水管后，电容器两板间的距离和极板正对面积均未变，而指示灯亮起说明电容器发生了充电或放电，即电容发生改变，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知电容器的电介质发生变化，故 A、D 正确，B、C 错误。

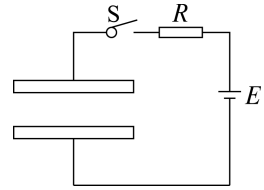
2.（2025·江苏卷）如图所示，平行金属板与电源连接。一点电荷由 a 点移动到 b 点的过程中，电场力做功为 W。现将上、下两板分别向上、向下移动，使两板间距离增大为原来的 2 倍，再将该电荷由 a 点移动到 b 点，电场力做功为（　　）



A. $\frac{W}{2}$　　B. W　　C. $2W$　　D. $4W$

A　**解析**：电容器与电源保持连接，电容器两端电压不变，现将电容器两极板间距增大至原来的 2 倍，由公式 $E=\frac{U}{d}$ 可知，极板间电场强度变为原来的 $\frac{1}{2}$，则由 $W=Eqd$ 可知，再把电荷由 a 点移至 b 点，则电场力做功变为原来的 $\frac{1}{2}$，即电场力做功为 $\frac{W}{2}$。故 A 正确，B、C、D 错误。

3.（多选）两块大小、形状完全相同的金属平板平行放置，构成一平行板电容器。与它相连接的电路如图所示，闭合开关 S，电源即给电容器充电，则（　　）



A. 保持 S 闭合，减小两极板间的距离，则两极板间电场的电场强度减小

B. 保持 S 闭合，在两极板间插入一块电介质，则极板上的电荷量增大

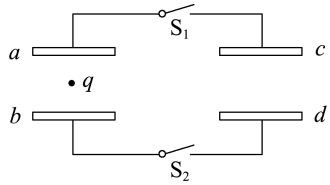
C. 断开 S，减小两极板间的距离，则两极板间的电势差减小

D. 断开 S，在两极板间插入一块电介质，则两极板间的电势差增大

BC　**解析**：保持 S 闭合，则两极板间的电势差 U 不变，减小两极板间的距离 d 时，根据电场强度公式 $E=\frac{U}{d}$，两极板间电场的电场强度将变大，故 A 错误；保持 S 闭合，根据平行板电容器电容的定义式和决定式，即 $C=\frac{Q}{U}=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，当在两极板间插入一块电介质时，相对介电常数 ε_r 变大，电容 C 变大，而 U 不变，所以极板上的电荷量增大，故 B 正确；断

开S，极板上的电荷量Q不变，减小两极板间的距离d时，电容C变大，则电势差U一定变小，故C正确；断开S，在两极板间插入一块电介质，则C变大，Q不变，则电势差U一定减小，故D错误。

4.（2026·四川卷）如图所示，金属薄板a、b、c、d完全相同，用长导线和开关S_1、S_2连接，a与b、c与d平行且间距相等，S_1、S_2均断开。a、b带等量异种电荷，c、d不带电。一质量为m、所带电荷量为q的微粒静止在a、b之间，忽略边缘效应。则　（　　）



A. S_1闭合、S_2断开，微粒向下运动
B. S_1断开、S_2闭合，微粒向上运动
C. S_1、S_2同时闭合，微粒向下运动
D. S_1、S_2同时闭合，微粒保持静止

C　**解析**：若S_1闭合、S_2断开，S_1仅连通a、c，b板的电荷会束缚住a板的异种电荷，使其不会流到c板，因此S_1和S_2只要不是同时闭合，则a、b两板组成的电容器的电荷量都不会发生改变，两板之间的电场强度也不会发生变化，根据平衡条件可知，粒子在两板间的平衡态没有变化，则微粒仍保持静止，故A、B错误；S_1、S_2同时闭合，则a、b的电荷就分别向c板和d板转移，从而a、b间的电荷量减小，电压降低，场强减小，微粒受到的重力大于向上的电场力，合力向下，可知微粒向下运动，故C正确，D错误。

任务总结

平行板电容器的动态变化

1. 两极板间电压U恒定不变

（1）平行板电容器充电后，继续保持电容器两极板与电源两极相连接，电容器的电压U不变。

（2）由$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$Q=UC$，得$Q=\frac{U\varepsilon_r S}{4\pi kd}\propto\frac{\varepsilon_r S}{d}$；

由于U不变，得$E=\frac{U}{d}\propto\frac{1}{d}$。

2. 电容器所带电荷量Q恒定不变

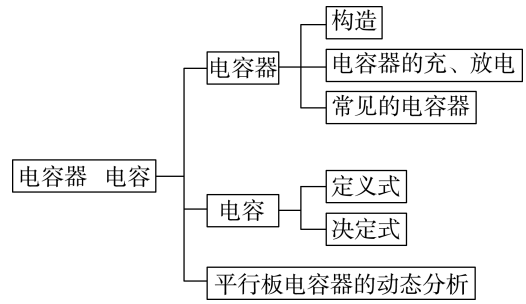
（1）平行板电容器充电后，切断与电源的连接，电容器所带的电荷量Q不变。

（2）由$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$U=\frac{Q}{C}$，得$U=\frac{4\pi kQd}{\varepsilon_r S}\propto\frac{d}{\varepsilon_r S}$；

由$E=\frac{U}{d}$得$E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}\propto\frac{1}{\varepsilon_r S}$。

注意：抓住不变量，分析变化量，紧抓三个公式$C=\frac{Q}{U}$、$E=\frac{U}{d}$和$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$。

提质归纳



课后素养评价（八）

基础性·能力运用

知识点1　电容器和电容

1.（多选）下列关于电容器和电容的说法正确的是　（　　）

A. 根据$C=\frac{Q}{U}$可知，电容器的电容与其所带电荷量成正比，与两极板间的电压成反比
B. 对于确定的电容器，其所带电荷量与两极板间的电压成正比
C. 无论电容器的电压如何变化（小于击穿电压且不为零），它所带的电荷量与电压的比值都恒定不变
D. 电容器的电容是表示电容器容纳电荷本领的物理量，其大小与加在两极板间的电压无关

BCD　**解析**：电容器的电容是表示电容器容纳电荷本领的物理量，是电容器的一种特性，一个电容器对应唯一的电容值，不能说电容器的电容与其所带电荷量成正比，与两极板间的电压成反比，故A错误，C、D正确；由于电容是定值，由$Q=CU$知，其所带电荷量与两极板间的电压成正比，故B正确。

2. 某一电容器的标注是“400 V　22 μF”，则下列说法正确的是　（　　）

A. 该电容器可在400 V以下电压时正常工作
B. 该电容器只能在400 V电压时正常工作
C. 电压是200 V时，电容是11 μF
D. 使用时只需考虑工作电压，不必考虑电容器的引出线与电源的哪个极相连

A　**解析**：每一个电容器都有它的额定电压，电容器可以在额定电压及其以下正常工作，故A正确，B错误；电容是表示电容器容纳电荷本领的物理量，是由电容器本身的性质决定的，所以电容不变，故C错误；有的电容器是有极性的，分正、负极板，故D错误。

知识点2　平行板电容器

3.（多选）欲使平行板电容器的电容增大，可以采取的

措施有　　(　　)

A. 将两极板间的距离拉大些

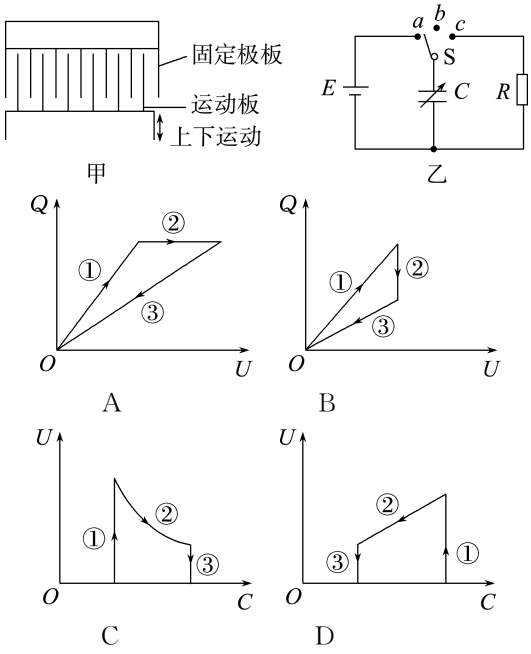
B. 将两极板上的电荷量增大些

C. 在两极板间填充相对介电常数大些的电介质

D. 增大两极板的正对面积

CD　**解析**：由平行板电容器的电容决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，d 增大，C 减小，A 错误；增大 ε_r 和 S 时，C 增大，C、D 正确；电容器的电容与两极板上的电荷量多少无关，B 错误。

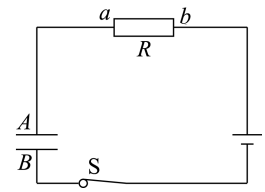
4.(2026·广东卷)图甲为某梳齿状可变电容器截面图，上端为固定极板，下端为可上下运动的动极板。将该电容器接入图乙所示电路，探究其电荷量 Q、极板电压 U 和电容 C 的变化。过程为：①当动极板运动到最高处，开关 S 接 a 端，电源 E 向电容器充电；②充电结束后，S 接 b 端空置，动极板向下运动；③当动极板运动到最低处，S 接 c 端，电容器通过 R 放电。关于该过程，下列图像可能正确的是(　　)



A　**解析**：由题意可知，①过程为电容器充电过程，电容器两端电势差逐渐增大，根据 $Q=CU$ 可知，电容器的电荷量逐渐增大；②过程 S 接 b 端，则电容器 Q 不变，动极板向下运动，d 增大，电容 C 减小，根据 $C=\frac{Q}{U}$ 可知，U 增大；③过程为放电过程，动极板在最低处时电容为更小的恒定值，故对应 Q-U 图线为过原点、斜率更小的直线。综上分析，A 正确，B 错误；①过程的电容 C 大于③过程的电容 C，②过程中 Q 不变，因为 $C=\frac{Q}{U}$，所以 U 与 C 成反比，即 U-C 图像为双曲线的一支，故 C、D 错误。

知识点 3　平行板电容器的动态分析

5.(多选)如图所示是一个由电池、电阻 R、开关 S 与平行板电容器组成的串联电路，闭合开关 S，在增大电容器两极板间距离的过程中　　(　　)



A. 电阻 R 中没有电流

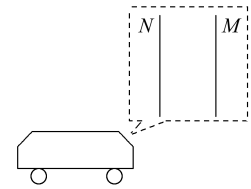
B. 电容器的电容变小

C. 电阻 R 中有从 a 流向 b 的电流

D. 电阻 R 中有从 b 流向 a 的电流

BC　**解析**：题图中电容器充电后，A 极板带正电，B 极板带负电。根据平行板电容器电容大小的决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，当增大电容器两极板间距离 d 时，电容 C 变小，由于电容器始终与电池相连，电容器两极板间的电压 U_{AB} 保持不变，根据电容的定义式 $C=\frac{Q}{U}$，当 C 减小时电容器两极板所带电荷量 Q 要减小，B 极板所带负电荷的一部分从 b 到 a 经电阻 R 流向 A 极板，即电阻 R 中有从 a 流向 b 的电流。所以 B、C 正确。

6.电容式加速传感器常用于触发汽车安全气囊等系统。如图所示，极板 M、N 组成的电容器可视为平行板电容器，M 固定，N 可左右运动，通过测量电容器极板间电压的变化来确定汽车的加速度。当汽车减速时，极板 M、N 间的距离减小，若极板上的电荷量不变，则该电容器　　(　　)



A. 电容变小

B. 极板间电压变大

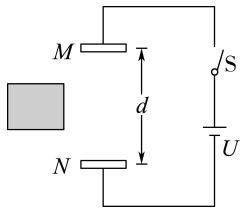
C. 极板间电场强度不变

D. 极板间电场强度变小

C　**解析**：由平行板电容器电容的决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可得，d 减小，C 增大，选项 A 错误；电容器所带电荷量 Q 不变，C 增大，由 $U=\frac{Q}{C}$ 可得，U 变小，选项 B 错误；由匀强电场的电场强度与电势差关系公式可得 $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，$E$ 与 d 无关，Q 不变，则 E 不变，选项 C 正确，选项 D 错误。

综合性·创新提升

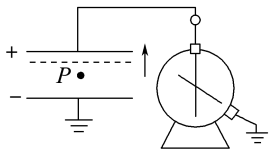
7. 如图所示，把一个平行板电容器接在电压 $U=5$ V 的电源上，两极板间距为 d。现进行下列四步操作：(1)合上开关 S；(2)在两板中央插入厚为 $\frac{d}{2}$ 的金属板；(3)断开开关 S；(4)抽出金属板。此时电容器两极板间的电势差为　(　　)



A. 0　　B. 10 V　　C. 5 V　　D. 20 V

B　**解析**：合上开关 S 时，两极板间电势差为 5 V；插入金属板时，电势差仍然为 $U=5$ V；断开开关 S 后，电荷量不变，抽出金属板可以等效为极板间距增大为原来的 2 倍，根据公式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 知，电容减小为原来的 $\frac{1}{2}$；由 $U=\frac{Q}{C}$ 可知电压增加为原来的 2 倍，即 $U'=2U=10$ V。故 B 正确，A、C、D 错误。

8. 如图所示，水平放置的平行板电容器上极板带正电，所带电荷量为 Q，板间距离为 d，上极板与静电计金属球相连，静电计金属外壳和电容器下极板都接地。在两极板正中间 P 点有一个静止的带电油滴，现将电容器的上极板竖直向上移动一小段距离。下列说法正确的是　(　　)

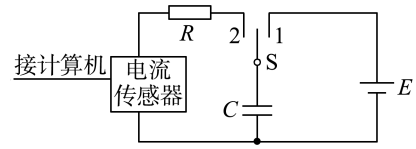


A. 油滴带正电　　B. 静电计指针张角不变

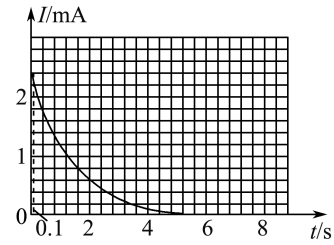
C. 油滴向上运动　　D. P 点的电势不变

D　**解析**：根据题意可知，油滴所受静电力向上，带负电，故 A 错误；由公式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，若上极板竖直向上移动一小段距离，d 变大，则 C 变小，由于极板上的电荷量不变，则由 $C=\frac{Q}{U}$ 可知，U 变大，静电计指针张角变大，故 B 错误；由公式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$、$C=\frac{Q}{U}$ 和 $E=\frac{U}{d}$，联立得 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，可知 E 不变，油滴不动，由于 P 与下极板的距离不变，则 P 与下极板的电势差不变，则 P 点的电势不变，故 C 错误，D 正确。

9. 电流传感器可以像电流表一样测量电流，由于它与计算机相连，还能显示出电流随时间变化的 I-t 图像。照图甲连接电路，先使开关 S 与 1 端相连，电源向电容器充电，这个过程可在短时间内完成。然后把开关 S 掷向 2 端，电容器通过电阻 R 放电，传感器将电流信息传入计算机，屏幕上显示出电流随时间变化的 I-t 图像，如图乙所示。



甲

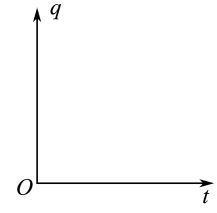


乙

(1)在图乙中画一个竖直的狭长矩形(在图乙的最左边)，它的面积的物理意义是_____(填写面积所代表的物理量的名称)。

(2)根据 I-t 图像估算电容器在全部放电过程中释放的电荷量约为_____C。(结果保留两位有效数字)

(3)若对应开关 S 与 1 端相连的充电过程，电荷量随时间变化的 q-t 图像的示意图是怎样的？请在图丙中定性画出。

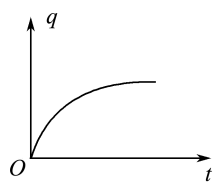


丙

解析：(1)根据 $q=It$ 可知，在题图乙中画一个竖直的狭长矩形，它的面积的物理意义是电荷量。

(2)根据 I-t 图像，确定每个小方格所对应的电荷量值，纵坐标的每个小格为 0.2 mA，横坐标的每个小格为 0.4 s，则每个小格所代表的电荷量数值为 $q_0=0.2\times10^{-3}\times0.4$ C$=8.0\times10^{-5}$ C。图像与坐标轴围成的格子数约为 40 个，则电容器在全部放电过程中释放的电荷量约为 $q=40q_0=40\times8.0\times10^{-5}$ C$=3.2\times10^{-3}$ C。

(3)若对应开关 S 与 1 端相连的充电过程，开始时充电电流较大，则 q-t 图线的斜率较大，随着充电电流逐渐减小，则 q-t 图线的斜率逐渐减小，最后趋于稳定，则图像如图所示。



答案：(1)电荷量　(2)3.2×10^{-3}　(3)见解析图

9　带电粒子在电场中的运动

学习任务目标

1.掌握带电粒子在匀强电场中的运动规律，能够分析带电粒子的加速和偏转问题。（科学思维）
2.能分析科学技术中带电粒子的加速和偏转问题，并解释相关物理现象。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一　带电粒子的加速问题

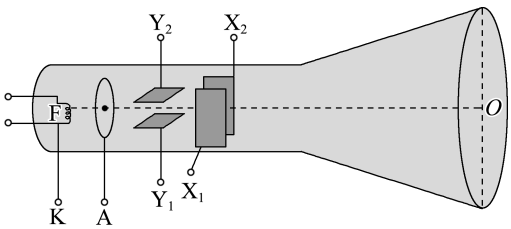
1.带电粒子在电场中加速（直线运动）的条件：只受电场力作用时，带电粒子的速度方向与电场强度的方向相同或相反。
2.分析带电粒子加速问题的两种思路
（1）利用电场力做功结合动能定理来分析，此方法适用于匀强电场和非匀强电场。
（2）利用牛顿第二定律结合匀变速直线运动公式来分析，此方法仅适用于匀强电场。

［判一判］

1.质量很小的粒子不受重力的作用。　（×）
2.带电粒子（不计重力）在电场中由静止释放时，一定做匀加速直线运动。　（×）
3.动能定理能分析匀强电场中的直线运动问题，不能分析非匀强电场中的直线运动问题。　（×）

知识点二　带电粒子的偏转问题

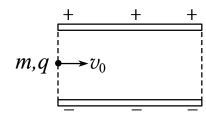
1.常见情况：带电粒子的初速度方向跟电场力（加速度）的方向垂直。
2.运动性质：带电粒子在匀强电场中做类平抛运动，运动轨迹是一条抛物线。
3.分析思路：与分析平抛运动的思路相同，利用运动的合成与分解的思想解决相关问题。
4.示波管原理
（1）构造：灯丝 F，阴极 K，阳极 A，偏转电极 Y_1、Y_2 和 X_1、X_2，荧光屏，如图所示。



（2）原理：经灯丝 F 的加热，阴极释放出电子，电子经电场加速后从阳极中间的小孔飞出，若没有其他作用，它们都将打到右侧荧光屏的中央 O 点，从而形成一个亮斑。Y_1、Y_2 和 X_1、X_2 是两对垂直放置的偏转电极，分别控制电子束沿竖直方向和水平方向的偏转，从而电子束有可能打到荧光屏的各个位置。

［科学思维］

如图所示，带电粒子（质量为 m，带电荷量为 q，不计重力）从两极板左侧中间位置以初速度 v 垂直电场方向进入电场。若带电粒子能离开电场，则运动时间与极板长度有关；若带电粒子打在极板上，则运动时间与极板间距有关。



［判一判］

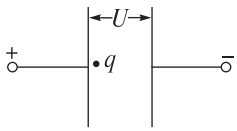
1.带电粒子在匀强电场中偏转时，加速度不变，粒子的运动是匀变速曲线运动。　（√）
2.带电粒子在匀强电场中偏转时，可利用平抛运动的知识分析问题。　（√）
3.如果不在偏转电极 Y_1、Y_2 和 X_1、X_2 上加电压，电子束不发生偏转，将打在荧光屏中心。　（√）
4.只在 Y_1、Y_2 上加恒定电压时，电子束不发生偏转。　（×）
5.只在 X_1、X_2 上加恒定电压时，电子束沿 Y_1、Y_2 方向偏转。　（×）

任务型课堂

任务一　带电粒子在电场中的加速

［探究活动］

在真空中有一对平行金属板，由于接上电池组而带电，两板间的电势差为 U。若一个质量为 m、带电荷量为 $+q$ 的粒子，在电场力作用下由静止开始从正极板附近向负极板运动。



(1)怎样计算它到达负极板时的速度？若初速度为 v_0，则粒子到达负极板的速度多大？

(2)若粒子带的是负电荷(初速度为 v_0)，则粒子将做匀减速直线运动。如果能到达负极板，其速度如何？

(3)上述问题中，两块金属板是平行的，两板间的电场是匀强电场，如果两块金属板是其他形状，中间的电场不再均匀，上面的结果是否仍然适用？为什么？

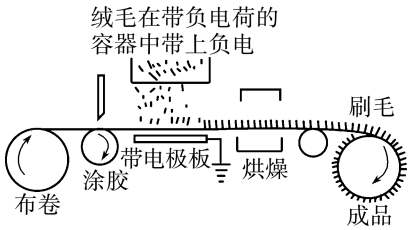
提示：(1)在带电粒子运动的过程中，电场力所做的功为 $W=qU$，设粒子到达负极板时的速率为 v，其动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$，由动能定理有 $qU=\frac{1}{2}mv^2$，得 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$。由动能定理有 $qU=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，得 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}+v_0^2}$。

(2)由动能定理有 $-qU=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，得 $v=\sqrt{v_0^2-\frac{2qU}{m}}$。

(3)结果仍然适用。因为不管是否为匀强电场，电场力做功都可以用 $W=qU$ 计算，动能定理仍然适用。

[评价活动]

1. 如图所示为静电植绒流程示意图，将绒毛放在带负电荷的容器中，使绒毛带负电，容器与带电极板之间施加恒定的电压，绒毛呈垂直状加速飞到需要植绒的物体表面上。下列判断正确的是　(　　)



A. 带电极板带负电

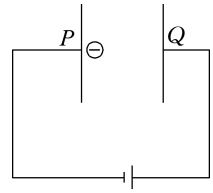
B. 绒毛在飞往需要植绒的物体的过程中，电势能不断增大

C. 若增大容器与带电极板之间的距离，植绒效果会更好

D. 质量相同的绒毛，带电荷量越多，到达需要植绒的物体表面时速率越大

D　**解析**：带电极板吸引带负电的绒毛，则其带正电，故 A 错误；绒毛在飞往需要植绒的物体的过程中，绒毛在加速运动，电场力做正功，电势能不断减小，故 B 错误；植绒效果主要由容器和极板间的电势差决定，若增大容器与带电极板之间的距离，而电势差不变，则植绒效果不变，故 C 错误；由动能定理得 $qU=\frac{1}{2}mv^2$，可知质量相同的绒毛，所带电荷量越多，到达需要植绒的物体表面时速率越大，故 D 正确。故选 D。

2. 如图所示，在 P 板附近有一电子由静止开始向 Q 板运动。已知两极板间电势差为 U，极板间距为 d，电子质量为 m，电荷量为 e。关于电子在两极板间的运动情况，下列叙述正确的是　(　　)



A. 若将极板间距 d 增大一倍，则电子到达 Q 板的速率保持不变

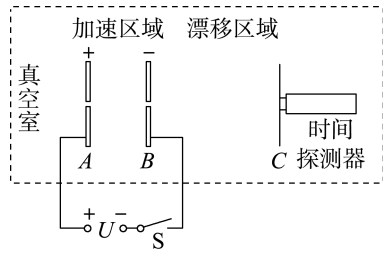
B. 若将极板间距 d 增大一倍，则电子到达 Q 板的速率也增大一倍

C. 若将两极板间电势差 U 增大一倍，则电子到达 Q 板的时间保持不变

D. 若将两极板间电势差 U 增大一倍，则电子到达 Q 板的时间减为原来的一半

A　**解析**：由动能定理有 $\frac{1}{2}mv^2=eU$，得 $v=\sqrt{\frac{2eU}{m}}$，可见电子到达 Q 板的速率与极板间距 d 无关，故 A 项正确，B 项错误；两极板间为匀强电场，电场强度 $E=\frac{U}{d}$，电子的加速度 $a=\frac{eU}{md}$，由运动学公式 $d=\frac{1}{2}at^2$ 得 $t=\sqrt{\frac{2d}{a}}=\sqrt{\frac{2md^2}{eU}}$，若两极板间电势差 U 增大一倍，则电子到达 Q 板的时间减为原来的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$，故 C、D 项错误。

3.(2026·山西卷)飞行时间质谱仪可用于创新药物研发等领域，其简化工作原理如图。开关 S 闭合，在真空室内，电容器极板 A、B 间加速电压为 U，两极板中央开有小孔，C 为接收端，B、C 间为无场漂移区域。有一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的带电大分子(不计重力)，自飘入(忽略初速度)A 极板小孔起，经加速区域和漂移区域到达 C 端结束，时间探测器显示整个过程的时间为 t，则　(　　)



A. 保持 S 闭合，若仅 $\frac{q}{m}$ 变大，则 t 变长

B. 保持 S 闭合，若仅 U 增大，则 t 变长

C. 保持 S 闭合，A、C 位置不变，若仅 B 极板向右移动，则 t 变长

D. 将 S 断开，A、C 位置不变，若仅 B 极板向右移动，则 t 变长

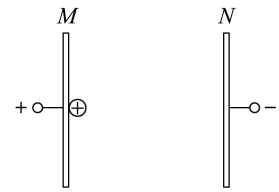
C　**解析**：根据题意，设 A、B 的距离为 d，B、C 的距离为 s，且 $d+s=L$，在 A、B 间有 $\frac{qU}{d}=ma$，$qU=\frac{1}{2}mv^2$，$v=at_1$，解得 $a=\frac{qU}{md}$，$v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$，$t_1=d\sqrt{\frac{2m}{qU}}=\frac{d}{\frac{v}{2}}=2d\sqrt{\frac{m}{2qv}}$，在 B、C 间有 $t_2=\frac{s}{v}=s\sqrt{\frac{m}{2qU}}$，则整个过程的时间 $t=t_1+t_2=2d\sqrt{\frac{m}{2qv}}+s\sqrt{\frac{m}{2qU}}=(d+L)\sqrt{\frac{m}{2qU}}$。结合上述分析，保持 S 闭合，$U$ 不变，若仅 $\frac{q}{m}$ 变大，即 $\sqrt{\frac{m}{q}}$ 变小，则 t 变短，故 A 错误；保持 S 闭合，若仅 U 增大，则 t 变短，故 B 错误；保持 S 闭合，U 不变，A、C 位置不变，若仅 B 极板向右移动，则 d 增大，s 减小，L 不变，t 变长，故 C 正确；将 S 断开，极板上电荷量 Q 不变，A、C 位置不变，若仅 B 极板向右移动，A、B 间电场强度 $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$ 不变，则大分子的加速度不变，则有 $v^2=2ad$，$t_1=\frac{d}{\frac{v}{2}}=\frac{2d}{v}$，$t_2=\frac{s}{v}$，则整个过程的时间 $t=t_1+t_2=\frac{2d+s}{v}=\frac{d+L}{\sqrt{2ad}}=\frac{1}{\sqrt{2a}}\left(\sqrt{d}+\frac{L}{\sqrt{d}}\right)$，由于 d 增大但小于 L，s 减小，L 不变，根据数学知识可知，当 $d=L$ 时，$\left(\sqrt{d}+\frac{L}{\sqrt{d}}\right)$ 有最小值，可知，随着 d 增大但小于 L，$\left(\sqrt{d}+\frac{L}{\sqrt{d}}\right)$ 减小，则总时间 t 减小，故 D 错误。

4. 如图所示，真空中平行金属板 M、N 之间的距离为 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。



解析：(1)两金属板间的电场强度 $E=\frac{U}{d}$

带电粒子所受的静电力 $F=qE=q\frac{U}{d}$。

(2)带电粒子从静止开始运动到 N 板的过程，根据动能定理有 $qU=\frac{1}{2}mv^2$

解得 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$。

(3)设带电粒子运动 $\frac{d}{2}$ 距离时的速度大小为 v'，根据动能定理有 $q\frac{U}{2}=\frac{1}{2}mv'^2$

带电粒子在前 $\frac{d}{2}$ 距离内做匀加速直线运动，后 $\frac{d}{2}$ 距离内做匀速直线运动，设用时分别为 t_1、t_2，有 $\frac{d}{2}=\frac{v'}{2}t_1$，$\frac{d}{2}=v't_2$，则该粒子从 M 板运动到 N 板经历的时间 $t=t_1+t_2=\frac{3d}{2}\sqrt{\frac{m}{qU}}$。

答案：(1)$q\frac{U}{d}$　(2)$\sqrt{\frac{2qU}{m}}$　(3)$\frac{3d}{2}\sqrt{\frac{m}{qU}}$

任务总结

1.电场中的带电体的分类

(1)带电的基本粒子：如电子、质子、α 粒子、正离子、负离子等。这些粒子所受重力和电场力相比要小得多，除非有特别的说明或明确的标示，一般都不考虑重力的影响(但并不能忽略质量)。

(2)带电微粒：如带电小球、液滴、尘埃等，除非有特别的说明，一般都要考虑重力的影响。

(3)某些带电体是否考虑重力，要根据题目说明或运动状态来判定。

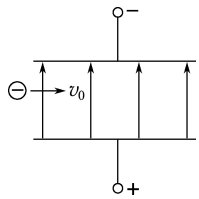
2.处理带电粒子在电场中加速问题的两个角度

处理角度	动力学角度	功能关系角度
应用知识	应用牛顿第二定律以及匀变速直线运动规律	功的公式及动能定理
适用条件	匀强电场，电场力是恒力	可以是匀强电场，也可以是非匀强电场，电场力可以是恒力，也可以是变力

任务二　带电粒子在电场中的偏转

［探究活动］

如图所示，带电粒子以初速度 v_0 垂直于电场线方向射入两平行板间的匀强电场中。设带电粒子的电荷量为 q，质量为 m（不计重力）。平行板长为 l，两板间距为 d，电势差为 U。



(1)你认为带电粒子的运动同哪种运动类似？这种运动的研究方法是什么？

(2)带电粒子在电场中的运动可以分解为哪两种运动？

提示：(1)带电粒子以初速度 v_0 垂直于电场线方向射入匀强电场时，受到恒定的、与初速度方向垂直的电场力作用而做匀变速曲线运动，类似于力学中的平抛运动。平抛运动的研究方法是运动的合成和分解。

(2)带电粒子在垂直于电场线方向上不受力，做匀速直线运动；在平行于电场线方向上，带电粒子受到电场力的作用，做初速度为零的匀加速直线运动。

［评价活动］

1.(多选)一个只受电场力的带电微粒进入匀强电场，则该微粒的　　(　　)

A. 运动速度必然增大

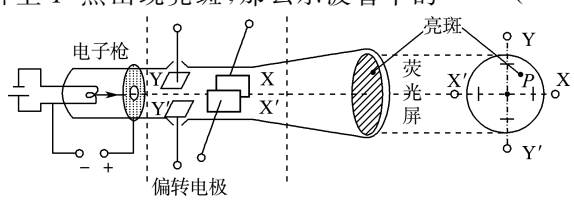
B. 动能可能减小

C. 运动加速度肯定不为零

D. 一定做匀加速直线运动

BC　**解析**：带电微粒在电场中只受电场力作用，加速度不为零且恒定，故 C 正确；微粒可能做匀变速直线运动或匀变速曲线运动，故 D 错误；微粒做匀加速直线运动时，速度、动能均增大，做匀减速直线运动时，速度、动能均减小，故 A 错误，B 正确。

2.(多选)示波管是示波器的核心部件，它由电子枪、偏转电极和荧光屏组成，如图所示。如果在荧光屏上 P 点出现亮斑，那么示波管中的　　(　　)



A. 电极 X 应带正电

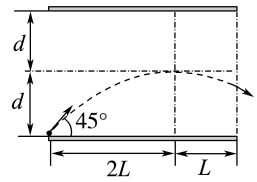
B. 电极 X′应带正电

C. 电极 Y 应带正电

D. 电极 Y′应带正电

AC　**解析**：由题意可知，在 XX′方向上电子向 X 方向偏转，X 带正电，A 正确，B 错误；在 YY′方向上电子向 Y 方向偏转，Y 带正电，C 正确，D 错误。

3.(2023·湖北卷)(多选)一带正电微粒从静止开始经电压 U_1 加速后，射入水平放置的平行板电容器，极板间电压为 U_2。微粒射入时紧靠下极板边缘，速度方向与极板间的夹角为 45°，微粒运动轨迹的最高点到极板左右两端的水平距离分别为 $2L$ 和 L，到两极板距离均为 d，如图所示。忽略边缘效应，不计重力。下列说法正确的是　　(　　)



A. $L∶d=2∶1$

B. $U_1∶U_2=1∶1$

C. 微粒穿过电容器区域的偏转角度的正切值为 2

D. 仅改变微粒的质量或者电荷数量，微粒在电容器中的运动轨迹不变

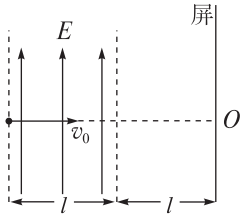
BD　**解析**：粒子在电容器中水平方向做匀速直线运动，竖直方向做匀变速直线运动，根据电场强度和电势差的关系及电场强度和静电力的关系可得 $E=\frac{U_2}{2d}$，$F=qE=ma$，粒子射入电容器后的速度为 v_0，水平方向和竖直方向的分速度 $v_x=v_0\cos 45°=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$，$v_y=v_0\sin 45°=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$，从射入到运动至最高点的过程，由运动学关系得 $v_y^2=2ad$，粒子射入电场时由动能定理可得 $qU_1=\frac{1}{2}mv_0^2$，联立解得 $U_1∶U_2=1∶1$，B 正确；粒子从射入到运动到最高点，由运动学可得 $2L=v_xt$，$d=\frac{0+v_y}{2}\cdot t$，联立得 $L∶d=1∶1$，A 错误；粒子穿过电容器，从最高点到穿出时由运动学关系可得 $L=v_xt_1$，$v_{y1}=at_1$，射入电容器到最高点有 $v_y=at$，解得 $v_{y1}=\frac{v_y}{2}$，设粒子穿过电容器与水平的夹角为 α，则 $\tan\alpha=\frac{v_{y1}}{v_x}=\frac{1}{2}$，设粒子射入磁场时和水平方向的夹角为 β，利用三角函数公式可得 $\tan(\alpha+\beta)=3$，C 错误；粒子射入到最高点的过程水平方向的位移为 x，竖直方向的位移为 $y=\frac{1}{2}at^2$，联立解得 $y=\frac{U_2x^2}{4dU_1}$，且 $x=v_xt'$，$y=\frac{0+v_y}{2}\cdot t'$，解得 $x=2L$，$y=d=L$，即粒子在运动到最高点的过程中，水平和竖直位移均与电荷量和质量无关，射出磁场过程同理有 $x_1=L=v_xt_1'$，$y_1=\frac{v_{y1}+0}{2}t_1'=\frac{x_1}{4}=\frac{L}{4}$，即轨迹不会变化，D 正确。

4.如图所示，在两条平行的虚线内存在着宽度为 l、电场强度为 E 的匀强电场，在与右侧虚线相距也为 l 处有一与电场平行的屏。现有一电荷量为 $+q$、质量为 m 的带电粒子(重力不计)，以垂直于电场线方向的初速度 v_0 射入电场中，v_0 方向的延长线与屏的交点为 O。试求：

(1)粒子从射入电场到打到屏上所用的时间；

(2)粒子刚射出电场时的速度方向与初速度方向间夹角的正切值 $\tan\alpha$；

(3)粒子打到屏上的 P 点到 O 点的距离 Y。



解析:(1)带电粒子在电场中做类平抛运动,垂直于电场线方向上做匀速直线运动,所以粒子从射入电场到打到屏上所用的时间 $t=\dfrac{2l}{v_0}$。

(2)设粒子射出电场时沿平行电场线方向的速度为 v_y,所用时间 $t'=\dfrac{l}{v_0}$

根据牛顿第二定律可知,粒子在电场中的加速度为 $a=\dfrac{qE}{m}$

所以 $v_y=at'=\dfrac{qEl}{mv_0}$

则粒子刚射出电场时的速度方向与初速度方向间夹角的正切值为 $\tan\alpha=\dfrac{v_y}{v_0}=\dfrac{qEl}{mv_0^2}$。

(3)设粒子在电场中的偏转距离为 y,则

$y=\dfrac{1}{2}a\left(\dfrac{l}{v_0}\right)^2=\dfrac{qEl^2}{2mv_0^2}$

方法一　令 $Y=y+l\tan\alpha$

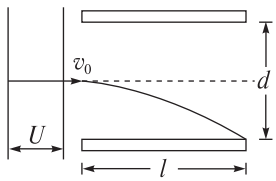
解得 $Y=\dfrac{3qEl^2}{2mv_0^2}$。

方法二　$Y=y+v_yt'=\dfrac{3qEl^2}{2mv_0^2}$。

方法三　由 $\dfrac{Y}{y}=\dfrac{l+\frac{l}{2}}{\frac{l}{2}}$ 得 $Y=3y=\dfrac{3qEl^2}{2mv_0^2}$。

答案:(1)$\dfrac{2l}{v_0}$　(2)$\dfrac{qEl}{mv_0^2}$　(3)$\dfrac{3qEl^2}{2mv_0^2}$

5. 一束电子流在经 $U=5\,000$ V 的加速电压加速后,从距两极板等距离处垂直进入平行极板间的匀强电场,如图所示。若两极板间距 $d=1.0$ cm,板长 $l=5.0$ cm,那么要使电子能从平行极板间飞出,两个极板上最多能加多大的电压?



解析:加速过程中,由动能定理得 $eU=\dfrac{1}{2}mv_0^2$

进入偏转电场后,电子做类平抛运动,在平行于板面的方向上做匀速运动,有 $l=v_0t$

在垂直于板面的方向上做匀加速直线运动,设平行极板间电压为 U',则加速度为 $a=\dfrac{F}{m}=\dfrac{eU'}{dm}$

偏转距离为 $y=\dfrac{1}{2}at^2$

能飞出极板的条件为 $y\leqslant\dfrac{d}{2}$

联立解得 $U'\leqslant\dfrac{2Ud^2}{l^2}=400$ V

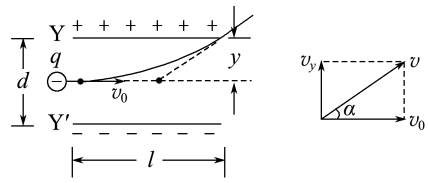
即要使电子能从平行板间飞出,所加电压最大为 400 V。

答案:400 V

任务总结

1.基本规律

带电粒子在电场中偏转,轨迹如图甲所示。



甲　　乙

(1)初速度方向 $\begin{cases}\text{速度:}v_x=v_0\\ \text{位移:}x=v_0t\end{cases}$

(2)平行于电场线方向

$\begin{cases}\text{速度:}v_y=at=\dfrac{qUl}{mdv_0}\\ \text{位移:}y=\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{qUl^2}{2mdv_0^2}\end{cases}$

(3)粒子离开电场时的速度偏转角正切值:如图乙所示,$\tan\alpha=\dfrac{v_y}{v_0}=\dfrac{qUl}{mdv_0^2}$。

(4)粒子离开电场时位移与初速度方向的夹角正切值:$\tan\beta=\dfrac{y}{l}=\dfrac{qUl}{2mdv_0^2}$。

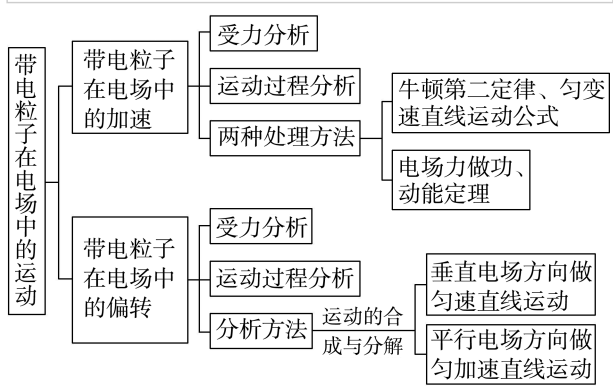
2.几个常用推论

(1)粒子射出电场时,速度偏转角正切值是位移方向与初速度方向的夹角正切值的 2 倍,即 $\tan\alpha=2\tan\beta$。

(2)粒子从偏转电场中射出时,其速度方向的反向延长线与初速度方向的延长线交于沿初速度方向分位移的中点。

(3)若不同的带电粒子经同一加速电场加速后(即加速电压相同),进入同一偏转电场,则偏转距离 y 和速度偏转角 α 相同($y=\dfrac{U_2l^2}{4U_1d}$,$\tan\alpha=\dfrac{U_2l}{2U_1d}$,$U_1$ 为加速电压,U_2 为偏转电压)。

提质归纳

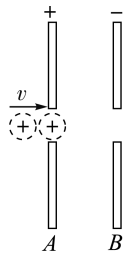


课后素养评价(九)

基础性·能力运用

知识点 1　带电粒子的加速

1.(多选)如图所示,电荷量和质量都相同的带正电粒子以不同的初速度通过 A、B 两板间的加速电场后飞出,不计粒子重力及粒子间的相互作用,则　(　　)



A. 它们通过加速电场所需的时间相等

B. 它们通过加速电场过程中动能的增加量相等

C. 它们通过加速电场过程中速度的增加量相等

D. 它们通过加速电场过程中电势能的减少量相等

BD　**解析**:由于粒子的电荷量和质量相等,因此加速度相等,初速度越大,带电粒子通过电场所用时间越短,A 错误;加速时间越短,则速度的变化量越小,C 错误;电场力做功 $W=qU$,与初速度及时间无关,因此电场力对各带电粒子做功相等,则它们通过加速电场过程中电势能的减少量相等,动能的增加量也相等,B、D 正确。

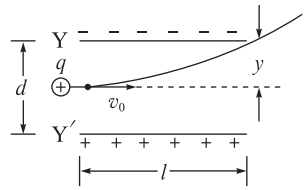
2.在同一匀强电场中,将质子和 α 粒子(与质子的质量之比为 1∶4,电荷量之比为 1∶2)由静止释放,若不计重力,当它们获得相同动能时,质子经历的时间 t_1 和 α 粒子经历的时间 t_2 之比为　(　　)

A. 1∶1　　B. 1∶2　　C. 2∶1　　D. 4∶1

A　**解析**:粒子的加速度 $a=\dfrac{qE}{m}$,粒子的速度 $v=at=\dfrac{qEt}{m}$,粒子的动能 $E_k=\dfrac{1}{2}mv^2=\dfrac{q^2E^2t^2}{2m}$,则时间 $t=\dfrac{\sqrt{2mE_k}}{qE}$,质子经历的时间 t_1 和 α 粒子经历的时间 t_2 之比 $\dfrac{t_1}{t_2}=\sqrt{\dfrac{m_1}{m_2}}\cdot\dfrac{q_2}{q_1}=\dfrac{1}{1}$。故选 A。

知识点 2　带电粒子在匀强电场中的偏转

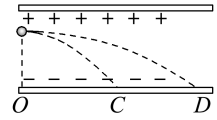
3.如图所示,质子和α 粒子(与质子的质量之比为 1∶4,电荷量之比为 1∶2)以相同的初动能垂直射入偏转电场(粒子重力不计),则质子和 α 粒子射出电场时的侧向位移 y 之比为　(　　)



A. 1∶1　　B. 1∶2　　C. 2∶1　　D. 1∶4

B　**解析**:粒子进入偏转电场后,沿初速度方向做匀速直线运动,沿电场力方向做初速度为零的匀加速直线运动,加速度 $a=\dfrac{qU}{md}$,运动时间 $t=\dfrac{l}{v_0}$,粒子射出电场时的侧向位移 $y=\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{ql^2U}{2mv_0^2d}=\dfrac{ql^2U}{4E_kd}$,故质子和 α 粒子射出电场时的侧向位移之比为 1∶2,故 B 正确。

4.(多选)如图所示,带电荷量之比为 $q_A:q_B=1:3$ 的带电粒子 A、B 以相同的速度 v,从同一点出发,沿着与电场强度垂直的方向射入平行板电容器中,分别打在 C、D 点,若 $OC=CD$,忽略粒子重力的影响,则下列说法正确的有　(BD)



A. A 和 B 在电场中运动的时间之比为 1∶4

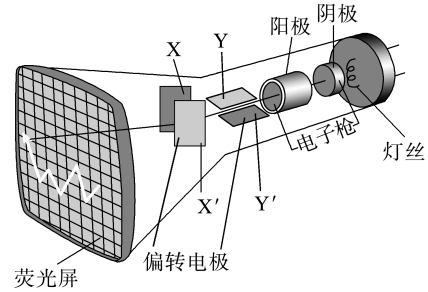
B. A 和 B 运动的加速度大小之比为 4∶1

C. A 和 B 的位移大小之比为 1∶2

D. A 和 B 的质量之比为 1∶12

知识点 3　示波器的原理分析

5.(多选)如图所示为示波器的核心部件——示波管。电子束经加速电场加速后,在偏转电极 XX′、YY′中受到静电力的作用而发生偏转,打到荧光屏上形成亮斑。不计电子所受的重力,下列说法正确的是　(　　)



A. 经过偏转电场时，电子会向带正电的电极方向偏转

B. 偏转电压越小，电子在偏转电场中的运动时间越长

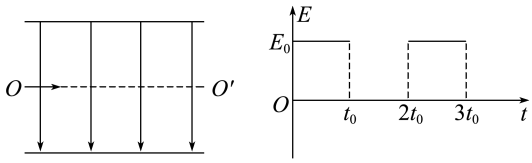
C. 电子在 YY′方向的偏移量与电子枪的加速电压成正比

D. 若增加 YY′方向的电压，可以观察到波形图纵向拉长

AD　**解析**：电子受到的静电力沿电场线的反方向，因此电子会向带正电的电极方向偏转，A 正确；设电子枪的加速电压为 U_1，电子加速过程由动能定理可得 $eU_1=\frac{1}{2}mv^2$，设偏转电极 YY′的极板长为 L，偏转电极 XX′的极板长为 l，电子在偏转电场中的运动时间 $t_1=\frac{L+l}{v}=(L+l)\sqrt{\frac{m}{2eU_1}}$，可知打到荧光屏上的电子在电场中运动的时间取决于加速电场电压 U_1 的大小，与偏转电压无关，B 错误；设偏转电极 YY′的极板间距为 d，偏转电压为 U_2，电子在 YY′方向的偏移量为 y，电子在垂直于偏转电场方向做匀速直线运动，可得 $L=vt$，沿偏转电场方向做匀加速直线运动，可得 $y=\frac{1}{2}at^2$，电子在 YY′偏转电场中的加速度为 $a=\frac{eU_2}{md}$，联立可得 $y=\frac{U_2L^2}{4U_1d}$，电子在 YY′方向的偏移量 y 与电子枪的加速电压 U_1 成反比，C 错误；根据 $y=\frac{U_2L^2}{4U_1d}$，若 YY′方向的电压 U_2 增加，则 y 也增加，波形图纵向拉长，D 正确。

综合性·创新提升

6. 如图甲所示是一对长度为 L 的平行金属板，板间存在如图乙所示的随时间周期性变化的电场，电场方向与两板垂直。在 $t=0$ 时刻，一带电粒子沿板间的中线 OO' 垂直电场方向射入电场，$2t_0$ 时刻粒子刚好沿下极板右边缘射出电场。不计粒子重力。下列说法正确的是　（　　）



甲　　乙

A. 粒子带负电

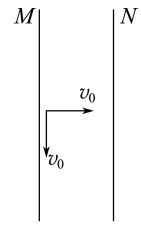
B. 粒子在平行板间一直做曲线运动

C. 粒子射入电场时的速度大小为 $\frac{L}{2t_0}$

D. 若粒子射入电场时的速度减为原来的一半，则射出电场时的速度将垂直于电场方向

C　**解析**：粒子向下偏转，可知粒子带正电，选项 A 错误；粒子在 $0\sim t_0$ 时间段做曲线运动，在 $t_0\sim 2t_0$ 时间段不受任何力，则做直线运动，选项 B 错误；粒子在水平方向一直做匀速直线运动，可知射入电场时的速度大小为 $v_0=\frac{L}{2t_0}$，选项 C 正确；若粒子射入电场时的速度减为原来的一半，由于粒子在电场中受向下的静电力作用，有向下的加速度，射出电场时有沿电场方向的速度，则粒子射出电场时的速度不可能垂直于电场方向，选项 D 错误。

7. 如图所示，带等量异种电荷的两正对平行金属板 M、N 间存在匀强电场，板长为 L（不考虑边界效应）。$t=0$ 时刻，M 板中点处的粒子源发射两个速度大小为 v_0 的相同粒子，垂直 M 板向右的粒子，到达 N 板时速度大小为 $\sqrt{2}v_0$；平行 M 板向下的粒子，刚好从 N 板下端射出。不计粒子重力和粒子间的相互作用，则　（　　）



A. M 板电势高于 N 板电势

B. 两个粒子的电势能都增加

C. 粒子在两板间的加速度 $a=\frac{2v_0^2}{L}$

D. 粒子从 N 板下端射出的时间 $t=\frac{(\sqrt{2}-1)L}{2v_0}$

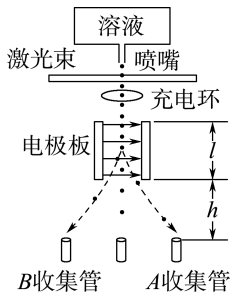
C　**解析**：由于不知道两粒子的电性，故不能确定 M 板和 N 板的电势高低，选项 A 错误；根据题意可知，两粒子所受静电力做正功，电势能减小，选项 B 错误；设两板间距离为 d，平行 M 板向下的粒子刚

好从 N 板下端射出，在两板间做类平抛运动，有 $\frac{L}{2}=v_0t$，$d=\frac{1}{2}at^2$，垂直 M 板向右的粒子，在两板间做匀加速直线运动，因两粒子相同，在电场中加速度相同，有 $(\sqrt{2}v_0)^2-v_0^2=2ad$，联立解得 $t=\frac{L}{2v_0}$，$a=\frac{2v_0^2}{L}$，选项 C 正确，选项 D 错误。

8.(2025·河南卷)流式细胞仪可对不同类型的细胞进行分类收集，其原理如图所示。仅含有一个 A 细胞或 B 细胞的液滴从喷嘴喷出(另有一些液滴不含细胞)，液滴质量均为 $m=2.0\times10^{-10}$ kg。当液滴穿过激光束、充电环时被分类充电，使含 A、B 细胞的液滴分别带上正、负电荷，电荷量均为 $q=1.0\times10^{-13}$ C。随后，液滴以 $v=2.0$ m/s 的速度竖直进入长度为 $l=2.0\times10^{-2}$ m 的电极板间，板间电场均匀且方向水平向右，电场强度大小为 $E=2.0\times10^5$ N/C。含细胞的液滴最终被分别收集在极板下方 $h=0.1$ m 处的 A、B 收集管中。不计重力、空气阻力以及带电液滴间的作用。求：

(1)含 A 细胞的液滴离开电场时偏转的距离；

(2)A、B 细胞收集管的间距。



解析：(1)含 A 细胞的液滴带正电，在电极板间向右偏转做类平抛运动。设其离开电场时偏转的距离为 x，在电场中的加速度大小为 a，运动时间为 t。

其沿竖直方向做匀速运动，则有 $l=vt$

其沿水平方向做匀加速直线运动，根据牛顿第二定律与运动学公式得 $qE=ma$，$x=\frac{1}{2}at^2$

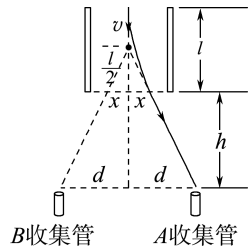
已知 $m=2.0\times10^{-10}$ kg，$q=1.0\times10^{-13}$ C，$v=2.0$ m/s，$l=2.0\times10^{-2}$ m，$E=2.0\times10^5$ N/C

联立解得 $x=5\times10^{-3}$ m。

(2)方法一：

设含 A 细胞的液滴从进入电场到被 A 收集管收集的过程中，其水平位移大小为 d。

根据类平抛运动规律的推论，其离开电场时速度方向的反向延长线交于匀速(竖直)分运动位移的中点，如图所示：



由几何关系得 $\frac{x}{d}=\frac{\frac{l}{2}}{\frac{l}{2}+h}$

解得 $d=0.055$ m

含 B 细胞的液滴带负电，其电荷量与含 A 细胞的液滴相等，向左偏转的距离与含 A 细胞的液滴相等，可得 A、B 细胞收集管的间距为 $2d=2\times0.055$ m$=0.11$ m。

方法二：

设含 A 细胞的液滴从离开电场到被 A 收集管收集的过程中，其水平位移大小为 d'

则有 $h=vt'$，$d'=att'$，联立解得 $d'=0.05$ m，$d=x+d'=5\times10^{-3}$ m$+0.05$ m$=0.055$ m

含 B 细胞的液滴带负电，其电荷量与含 A 细胞的液滴相等，向左偏转的距离与含 A 细胞的液滴相等，可得 A、B 细胞收集管的间距为 $2d=2\times0.055$ m$=0.11$ m。

答案：(1)5×10^{-3} m　(2)0.11 m

单元活动构建

单元活动 2　从能量的角度理解电场

「单元任务」

任务内容	
任务一	电场能的性质
任务二	电场中的功能关系
任务三	静电场中的图像问题

「任务引导」

资料 1：类比思想可以帮助我们在探究的过程中发现物理规律之间的联系，以便促进我们加快、加深对新物理规律的理解、记忆及应用。比如我们现在学习的电场和以前学习的引力场，就有很多可以类比之处。电势和高度的形式相似，都是相对于零势能面而言的，具有相对性，且零势能面的选择是任意的。

资料 2：我们已知描述电场有两个物理量——电场强度和电势。电场强度是从电场对电荷有作用力的角度来描述电场，而电势则从电场力对在电场中移动的电荷做功的角度来描述电场。功是能量转化的量度，所以电场也有“能”的性质。势能的变化与场力做功相关联。重力做功的过程是重力势能与其他形式的能量相互转化的过程，重力做了多少功，就有多少重力势能与其他形式的能量发生了相互转化。类似地，电荷在电场中由一个位置移动到另一个位置，如果静电力做正功，则电势能减小，电势能转化为其他形式的能量；如果静电力做负功，则电势能增加，其他形式的能量转化为电势能。静电力做功的过程是电势能与其他形式的能量相互转化的过程，静电力做了多少功，就有多少电势能与其他形式的能量相互转化。

同时我们还可以类比运动学中学习的有关图像来描述电场中相关物理量的变化情况。

任务一　电势能的性质

活动 1　描述电势能性质的相关物理量有哪些？涉及的公式有哪些？

提示：描述电势能的性质的物理量有电势、电势差。其公式分别为 $\varphi_A=\frac{E_{pA}}{q}$，$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B=\frac{W_{AB}}{q}$。

活动 2　判断电势的高低有哪些方法？

提示：根据沿电场线方向电势降低判断；离正场源电荷越近电势越高，离负场源电荷越近电势越低；也可结合电荷的正、负及电势能的变化情况进行判断。

活动 3　怎样判断和计算电势能的大小？

提示：静电力做正功，电势能降低，相反做负功，电势能增加；由公式 $E_p=q\varphi$ 进行计算，应包含物理量的正、负号；根据能量守恒进行判断，只有静电力做功时，电势能与动能总量不变。

任务二　电场中的功能关系

功是能量转化的量度，每一种力做功时必然伴随一种能量与其他能量的相互转化。

活动 1　静电力做功、重力做功、合外力做功时，分别实现了哪些能量之间的相互转化？

提示：静电力做功实现了电势能与其他形式的能量间的相互转化。重力做功实现了重力势能与其他形式的能量间的相互转化。合外力做功实现了动能与其他形式的能量间的相互转化。

活动 2　除重力和系统内的弹力以外的力做功时，实现了哪些能量之间的相互转化？

提示：除重力和系统内的弹力以外的力做功时，实现了机械能与其他形式的能量的相互转化。

任务三　静电场中图像问题

活动 1　根据电荷在电场中运动的 v-t 图像，我们怎么确定电场的方向、电势高低及电势能的变化？

提示：根据 v-t 图像中的速度变化、斜率确定电荷所受合力的方向与合力大小的变化，从而确定电场的方向、电势的高低及电势能的变化。

活动 2　在给定了电场的 φ-x 图像后，我们怎么判断电场强度的大小？

提示：电场强度的大小等于 φ-x 图像的斜率大小，电场强度为零处，其图像存在极值，切线的斜率为零。

活动 3　根据 E-x 图像怎样判断电场强度的变化情况？E-x 图线与 x 轴所围图形的面积表示哪个物理量？

提示：E-x 图像反映了电场强度随位移变化的规律。$E>0$ 表示电场强度沿 x 轴正方向，$E<0$ 表示电场强度沿 x 轴负方向。图线与 x 轴围成的“面积”表示电势差，“面积”的大小表示电势差的大小。

活动 4　电场的 E_p-x 图像的切线斜率大小等于什么？

提示：E_p-x 图像的切线斜率大小等于静电力大小。

「知识链接」

1.电势高低的判断方法

判断角度	判断方法
根据电场线方向判断	沿电场线方向，电势越来越低（电场线的方向就是电势降低最快的方向）

续表

判断角度	判断方法
根据场源电荷判断	离正场源电荷越近的点，电势越高；离负场源电荷越近的点，电势越低
根据 $E_p=q\varphi$ 判断	正电荷所处的位置电势能越大，该点电势越高；负电荷所处的位置电势能越大，该点电势越低

2.电势能大小的判断方法

判断角度	判断方法
做功判断法	静电力做正功，电势能减少；静电力做负功，电势能增大
公式法	由 $E_p=q\varphi$，将电荷与电势的大小和正、负号一起代入公式。若 E_p 为正值，其绝对值越大表示电势能越大；若 E_p 为负值，其绝对值越小，同样表示电势能越大
能量守恒法	若只有静电力做功，电荷的动能和电势能之和不变，电荷动能增加，电势能减少；电荷动能减少，电势能增加
电场线法	沿着电场线的方向运动，正电荷（或负电荷）的电势能减少（或增加）；逆着电场线的方向运动，正电荷（或负电荷）的电势能增加（或减少）

3.静电场中四类图像的特点与应用

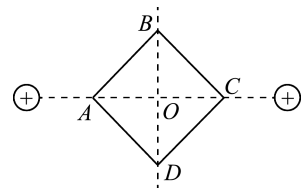
v-t 图像	v-t 图像中图线的速度变化、斜率变化反映电荷所受合力的方向与合力大小的变化，结合电荷属性确定电场的方向、电势的高低及电势能的变化
φ-x 图像	(1)电场强度的大小等于 φ-x 图像中图线的斜率大小，电场强度为零处，φ-x 图像存在极值，其切线的斜率为零； (2)根据 φ-x 图像可以直接判断各点电势的高低，并可根据电势的高低关系确定电场强度的方向； (3)根据 φ-x 图像分析电荷移动时电势能的变化，可用 $W_{AB}=qU_{AB}$，进而分析 W_{AB} 的正负，作出判断
E-x 图像	(1)反映了电场强度随位移变化的规律； (2)$E>0$ 表示电场强度沿 x 轴正方向，$E<0$ 表示电场强度沿 x 轴负方向； (3)图线与 x 轴围成的“面积”表示电势差，“面积”大小表示电势差大小，两点的电势高低根据电场方向判定

续表

E_p-x 图像	(1)反映了电势能随位移变化的规律； (2)图线的切线斜率大小等于静电力大小； (3)进一步判断电场强度、动能、加速度等随位移的变化情况

「活动达标」

1.如图所示，在等量正电荷形成的电场中，画一正方形 $ABCD$，对角线 AC 与两电荷连线重合，两对角线交点 O 恰为电荷连线的中点。下列说法正确的是（　　）



A. B、D 两点的电场强度及电势均相同

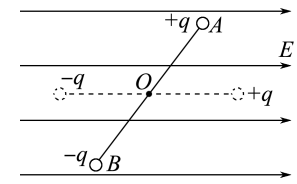
B. A、B 两点间的电势差 U_{AB} 大于 C、D 两点间的电势差 U_{CD}

C. 一质子由 B 点沿 $B\to O\to D$ 路径移至 D 点，电势能先增大后减小

D. 一电子由 C 点沿 $C\to O\to A$ 路径移至 A 点，静电力对其先做正功后做负功

C　**解析**：B、D 两点的电场强度的方向不同，A 错误；根据对称性可知 $\varphi_A=\varphi_C$，$\varphi_B=\varphi_D$，$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，$U_{CD}=\varphi_C-\varphi_D$，解得 $U_{AB}=U_{CD}$，B 错误；一质子由 B 点沿 $B\to O\to D$ 路径移至 D 点，静电力先做负功后做正功，电势能先增大后减小，C 正确；一电子由 C 点沿 $C\to O\to A$ 路径移至 A 点，静电力对其先做负功后做正功，D 错误。

2.如图所示，绝缘轻杆的两端固定有带等量异种电荷的小球（不计重力），两小球分别静止在 A、B 位置。现外加一匀强电场 E，在静电力作用下，小球绕轻杆中点 O 点转到水平位置。取 O 点的电势为零。下列说法正确的有（　　）



A. 电场中 A 点电势高于 B 点

B. 转动过程中 A 球电势能的变化量大于 B 球电势能的变化量

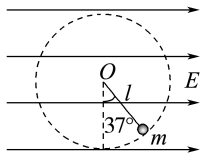
C. 该过程中静电力对两小球做功相等

D. 该过程中两小球的总电势能增加

C　**解析**：沿电场线方向电势降低，则 A 点电势低于 B 点，A 错误；两小球所带电荷量相等，转动中两

球在电场线方向的运动距离相等，根据 $W=qEd$ 可知，静电力对两小球做功相等，则两小球的电势能变化量大小相等，B 错误，C 正确；转动过程中静电力对两小球均做正功，则该过程两小球的总电势能减小，D 错误。

3. 如图所示，在竖直平面内有水平向右的匀强电场。在匀强电场中有一根长 $l=0.4$ m 的绝缘细线，其一端固定在 O 点，另一端系一质量为 $m=0.08$ kg、电荷量为 $q=6\times10^{-5}$ C 的带电小球，静止时细线与竖直方向成 37°角。若在该位置沿垂直细绳方向给小球一个初速度，使它恰能绕 O 点在竖直平面内做完整的圆周运动，取 $g=10$ m/s^2，$\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$。下列说法正确的是　（　　）



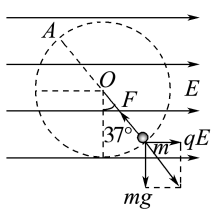
A. 电场强度大小为 $E=1\times10^3$ N/C

B. 小球带负电

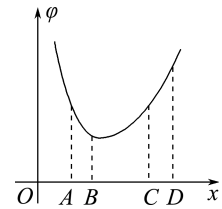
C. 小球做圆周运动过程中的最小速度为 $\sqrt{5}$ m/s

D. 小球在运动至圆周轨迹上的最高点时，机械能最大

C　**解析**：小球的受力分析如图所示，小球静止时悬线与竖直方向成 37°角，受重力、拉力和静电力作用，三力平衡，根据平衡条件，有 $mg\tan 37°=qE$，解得 $E=\dfrac{mg\tan 37°}{q}=1\times10^{-4}$ N/C，故 A 错误；小球受静电力的方向与电场线方向相同，所以小球带正电，故 B 错误；小球恰能绕 O 点在竖直平面内做圆周运动，在等效最高点 A 点的速度最小，根据牛顿第二定律，有 $\dfrac{mg}{\cos 37°}=m\dfrac{v^2}{L}$，解得小球做圆周运动过程中的最小速度为 $v=\sqrt{\dfrac{gl}{\cos 37°}}=\sqrt{5}$ m/s，故 C 正确；根据能量守恒定律，电势能与机械能之和不变，所以机械能最大的位置是电势能最小的位置，即位于圆周上与 O 点等高的最右的位置，故 D 错误。



4.（多选）空间某一静电场的电势 φ 在 x 轴上的分布如图所示，A、B、C、D 是 x 轴上的四点。若电场强度在 x 方向上的分量大小分别是 E_A、E_B、E_C、E_D，则　（　　）



A. $E_A>E_B$

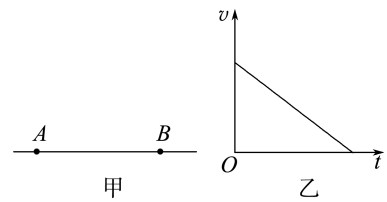
B. $E_C>E_D$

C. A、C 两点处电场强度在 x 轴方向上的分量方向相反

D. 同一负点电荷在 A 点处的电势能大于在 B 点处的电势能

AC　**解析**：φ-x 图像的斜率代表电场强度的大小，A 点的斜率大于 B 点，所以 $E_A>E_B$，同理 $E_C<E_D$，A、C 两点斜率符号相反，所以电场强度在 x 轴上的方向相反，则 A、C 正确，B 错误；根据 $E_P=\varphi q$ 可知，负点电荷在电势低的地方电势能大，B 点电势低，则负点电荷在 B 点电势能大，则 D 错误。

5. 如图甲所示为某电场中的一条电场线，一电子只在静电力的作用下从 A 点到 B 点运动的速度-时间图像如图乙所示，则下列分析正确的是　（　　）



A. 该电场可能是正点电荷产生的

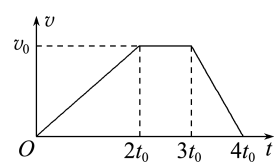
B. 从 A 点运动到 B 点的过程中，该电子的电势能变小

C. A 点的电势一定高于 B 点的电势

D. A 点的电场强度比 B 点的大

C　**解析**：由题图乙可知，电子从 A 点到 B 点的过程中，速度减小，动能减小，电子的加速度恒定，故可知该电场为匀强电场，该电场不可能是正点电荷产生的，且静电力做负功，故电势能增加，则电子在 B 点的电势能大于在 A 点的电势能，由电子带负电可知 A 点的电势高于 B 点的电势。故选 C。

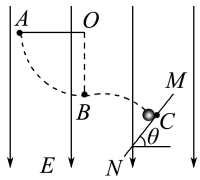
6.（2026·湖北卷）一带正电的粒子仅受静电力作用，从静止开始沿直线运动，$0\sim4t_0$ 时间段，其速度 v 随时间 t 的变化图像是如图所示的三条线段。t_0 时刻、$1.5t_0$ 时刻、$3.5t_0$ 时刻粒子所在位置分别为 a 点、b 点、c 点。下列说法正确的是　（　　）



A. b 点的电势比 a 点的高
B. b 点的电场强度比 a 点的大
C. 粒子在 a、c 两点的电势能相等
D. 粒子在 a、c 两点受到的电场力大小相等

C　**解析**：由题图可知 $0\sim2t_0$ 时间段，粒子做匀加速直线运动，加速度 $a_1=\frac{v_0}{2t_0}$，$2t_0\sim3t_0$ 时间段，粒子做匀速直线运动，加速度为零，$3t_0\sim4t_0$ 时间段，粒子做匀减速直线运动，加速度 $a_2=-\frac{v_0}{t_0}$，粒子在 a 点的速度 $v_a=\frac{v_0}{2}$，$v_b=\frac{3v_0}{4}$，$v_c=\frac{v_0}{2}$，粒子带正电，$q>0$，粒子由 a 到 b 点，速度增大，动能增大，电势能减小，由 $E_p=q\varphi$ 可知，$\varphi_a>\varphi_b$，故 A 错误；粒子由 a 到 b 做匀加速直线运动，由牛顿第二定律可知 $qE=ma$，则电场强度不变，即 a、b 两点的电场强度相等，故 B 错误；粒子在 a、c 两点的速度相等，动能相等，由功能关系可知，粒子在这两点的电势能相等，故 C 正确；由牛顿第二定律可知，粒子在 a 点时有 $F_a=ma_1$，在 c 点时有 $F_c=ma_2$，可知粒子在 c 点受到的电场力较大，故 D 错误。

7. 如图所示，空间有场强大小为 $E=10^3$ V/m、方向竖直向下的匀强电场，长 $L=1$ m 不可伸长的轻绳固定于 O 点，另一端系一质量为 $m=0.8$ kg、电荷量为 $q=0.01$ C 的正电小球。现把小球拉起至轻绳水平后在 A 点无初速度释放，当小球运动至 O 点的正下方 B 点时轻绳恰好断裂（无能量损失），小球继续运动并垂直打在一个与水平面成 $\theta=53°$ 且足够大的挡板 MN 上的 C 点，取 $g=10$ m/s^2。试求：
(1)轻绳的最大张力 T；
(2)B、C 两点的电势差 U。



解析：(1)$A\to B$ 过程，由动能定理得

$(mg+qE)L=\frac{1}{2}mv_B^2-0$

B 点向心力的来源

$T-(mg+qE)=m\frac{v_B^2}{L}$

联立解得 $T=54$ N。

(2)$B\to C$ 由动能定理得

$(mg+qE)h_{BC}=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

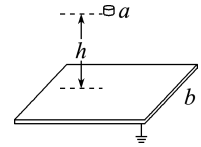
将 C 点处速度分解得 $v_C\sin\theta=v_B$

电势差与电场强度关系为 $U=Eh_{BC}$

联立解得 $U=562.5$ V。

答案：(1)54 N　(2)562.5 V

8. 某空间有一竖直向下的匀强电场，电场强度为 $E=1.0\times10^2$ V/m，一块足够大的接地金属板水平放置在匀强电场中，在金属板的正上方高度为 $h=0.80$ m 的 a 处有一粒子源，盒内粒子以 $v_0=2.0\times10^2$ m/s 的初速度向水平面以下的各个方向均匀释放出质量为 $m=2.0\times10^{-15}$ kg、电荷量为 $q=+10^{-12}$ C 的带电粒子，粒子最终落在 b 处的金属板上，若不计粒子重力和粒子间的相互作用。（结果均保留两位有效数字）
(1)求粒子源所在处 a 点的电势；
(2)求带电粒子打在金属板上时的动能；
(3)求从粒子源释放出的粒子打在金属板上的范围（所形成的面积）；若使带电粒子打在金属板上的范围减小，可以通过改变哪些物理量来实现？



解析：(1)题中匀强电场竖直向下，b 板接地，因此 $\varphi_a=U_{ab}=Eh=1.0\times10^2\times0.8$ V$=80$ V。

(2)不计粒子重力，只有静电力做功，对粒子由动能定理得 $qU_{ab}=E_k-\frac{1}{2}mv_0^2$

可得带电粒子打在金属板上时的动能为

$E_k=qU_{ab}+\frac{1}{2}mv_0^2=1.2\times10^{-10}$ J。

(3)粒子源释放出的粒子打在金属板上的范围是以粒子水平抛出落点为边界的圆，设水平抛出后 t 时间粒子落在板上，则 $x=v_0t$，$h=\frac{1}{2}at^2$，$a=\frac{qE}{m}$，$S=\pi x^2$

联立以上各式得所形成的面积

$S=\frac{2\pi mv_0^2h}{qE}\approx4.0$ m^2

可以通过减小 h 或增大 E 来实现。

答案：(1)80 V　(2)1.2×10^{-10} J
(3)4.0 m^2　减小 h 或增大 E

章末质量评估(一)
静电场(A)

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1. 下列说法正确的是　(　　)

A. 电场线为直线的电场是匀强电场

B. 在电荷量为$+Q$的点电荷附近所产生的电场中,以$+Q$为球心、r为半径的球面上各点电场强度$E=k\frac{Q}{r^2}$都相等,故在这一球面上的电场为匀强电场

C. 当一个点电荷q在匀强电场中运动时,它所受电场力的大小和方向都不变

D. 正点电荷只受电场力作用时,在匀强电场中一定沿电场线运动

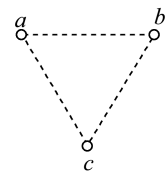
C　**解析**:电场线为直线的电场不一定是匀强电场,如点电荷产生的电场的电场线为直线,但不是匀强电场,故 A 错误;B 项中,只是电场强度大小相等,但方向各不相同,则不是匀强电场,故 B 错误;电场力$F=qE$,在匀强电场中,E的大小、方向均不变,则F的大小、方向也不变,故 C 正确;正点电荷若有一与电场线成某一夹角的初速度,仅受电场力作用时并不会沿电场线运动,故 D 错误。

2. 真空中两静止的点电荷间距为r,比荷均为$\frac{q}{m}$。已知引力常量为G,真空中的静电力常量为k,则两点电荷间的万有引力和库仑力的大小之比为　(　　)

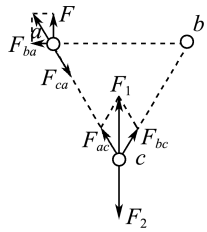
A. $\frac{G}{k}$　　B. $\frac{Gm}{kq}$　　C. $\frac{Gm^2}{kq^2r^2}$　　D. $\frac{Gm^2}{kq^2}$

D　**解析**:根据库仑定律可知,两点电荷间的库仑力的大小$F_{库}=k\frac{q_1q_2}{r^2}$,根据万有引力定律可知,两点电荷间的万有引力的大小$F_{引}=G\frac{m_1m_2}{r^2}$,所以,两点电荷间的万有引力和库仑力的大小之比为$\frac{F_{引}}{F_{库}}=\frac{Gm_1m_2}{kq_1q_2}=\frac{Gm^2}{kq^2}$,故 D 正确,A、B、C 错误。

3. 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球带正电,电荷量均为q,整个系统置于方向水平的匀强电场中。若三个小球均处于静止状态,则c球的带电荷量为　(　　)

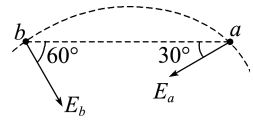


A. $+q$　　B. $-q$　　C. $+2q$　　D. $-2q$



D　**解析**:a、b球带正电,要使a、b球都静止,c球必须带负电,否则三个带电小球在匀强电场中不可能平衡。设c球所带电荷量大小为Q,以c球为研究对象,由于a、b两球的电荷量相等,则a、b两球对c球的作用力F_{ac}、F_{bc}大小相等,二者合力方向沿F_{ac}、F_{bc}的角平分线,如图中F_1所示,又因c球静止,则匀强电场对c球的作用力F_2与F_1等大反向,所以匀强电场的方向与F_1同向;以a球为研究对象进行受力分析,根据平衡条件得$F=F_{ca}\cos 60°$,即$\frac{kq\cdot q}{l^2}=\frac{kQ\cdot q}{l^2}\cdot\cos 60°$,所以$c$球的电荷量为$-2q$,故 D 正确。

4. 如图所示,一带正电的粒子以一定的初速度进入某点电荷Q产生的电场中,沿图中弯曲的虚线轨迹先后经过电场中的a、b两点。其中a点的电场强度大小为E_a,方向与ab连线成 30°角,b点的电场强度大小为E_b,方向与ab连线成 60°角。若粒子只受静电力的作用,则下列说法正确的是　(　　)



A. 点电荷Q带正电

B. a点的电势高于b点的电势

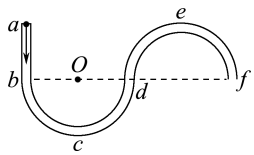
C. 从a点到b点,系统的电势能增加

D. 粒子在a点的加速度大于在b点的加速度

B　**解析**:带正电的粒子受力指向轨迹凹侧,则点电荷Q带负电,所以 A 错误;点电荷Q恰好处于a、b两点电场线的交点处,根据负点电荷等势面的分布特点,离负点电荷越远的点电势越高,由几何关系可知,a点离负点电荷较远,所以a点的电势高于b点电势,所以 B 正确;从a点到b点,静电力对带正电粒子做正功,所以系统的电势能减小,则 C 错误;根据场强公式$E=k\frac{Q}{r^2}$,a点的场强小于b点,则粒

子在 a 点受到的静电力小于在 b 点受到的静电力，所以粒子在 a 点的加速度小于在 b 点的加速度，则 D 错误。

5.(2025·四川卷)如图所示，由长为 R 的直管 ab 和半径为 R 的半圆形弯管 bcd、def 组成的绝缘光滑管道固定于水平面内，管道间平滑连接。bcd 的圆心 O 点处固定一电荷量为 $Q(Q>0)$ 的点电荷，另一个电荷量为 $q(q>0$ 且 $q\ll Q)$ 的带电小球以一定初速度从 a 点进入管道，沿管道运动后从 f 点离开。忽略空气阻力，则 (　　)



A. 小球在 e 点所受库仑力大于在 b 点所受库仑力

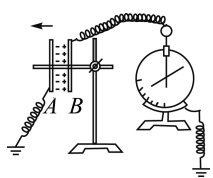
B. 小球从 c 点到 e 点电势能先不变后减小

C. 小球过 f 点的动能等于过 d 点的动能

D. 小球过 b 点的速度大于过 a 点的速度

B　**解析**：根据库仑定律 $F=k\dfrac{Qq}{r^2}$，由于 $r_e>r_b$，因此小球在 e 点所受库仑力小于在 b 点所受库仑力，故 A 错误；点电荷在距其 r 处的电势为 $\varphi=k\dfrac{Q}{r}$，由于 c 点到 d 点 r 不变，d 点到 e 点 r 逐渐增大，因此 c 点到 d 点电势不变，d 点到 e 点电势逐渐减小，根据电势能与电势的关系 $E_p=q\varphi$ 可知，小球从 c 点到 d 点电势能不变，从 d 点到 e 点电势能逐渐减小，故 B 正确；由于 $r_f>r_d$，根据上述分析可知，小球的电势能 $E_{pd}>E_{pf}$，绝缘光滑管道固定于水平面内，电势能和动能的总量保持不变，根据能量守恒定律可知，小球过 f 点的动能大于过 d 点的动能，故 C 错误；由于 $r_a>r_b$，根据上述分析可知，小球的电势能 $E_{pb}>E_{pa}$，绝缘光滑管道固定于水平面内，根据能量守恒定律可知，小球过 a 点的动能大于过 b 点的动能，则小球过 b 点的速度小于过 a 点的速度，故 D 错误。

6.如图所示的实验装置中，保持平行板电容器极板上的电荷量 Q 不变，极板 A 接地，极板 B 与一个灵敏的静电计相连。若将极板 A 向左平移，增大电容器两极板间的距离，电容器的电容 C、两极板间的电压 U 及电容器两极板间的电场强度 E 的变化情况分别是 (　　)



A. C 不变，U 不变，E 变小

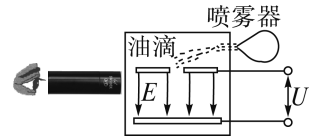
B. C 变小，U 不变，E 不变

C. C 变小，U 变大，E 不变

D. C 变小，U 变大，E 变小

C　**解析**：增大电容器两极板间的距离 d 时，由 $C=\dfrac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 知，电容 C 变小；电容器所带电荷量 Q 不变，C 变小，根据 $C=\dfrac{Q}{U}$ 可知，U 变大；而 $E=\dfrac{U}{d}=\dfrac{\dfrac{Q}{C}}{d}=\dfrac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，$Q$、$k$、$\varepsilon_r$、$S$ 均不变，则 E 不变。故 C 正确，A、B、D 错误。

7.密立根油滴实验原理如图所示。两块水平放置的金属板分别与电源的正、负极相接，板间电压为 U，形成竖直向下、电场强度为 E 的匀强电场。用喷雾器从上板中间的小孔喷入大小、质量和电荷量各不相同的油滴。通过显微镜可找到悬浮不动的油滴，若某颗悬浮油滴的质量为 m，则下列说法正确的是 (　　)



A. 悬浮油滴带正电

B. 悬浮油滴的电荷量为 $\dfrac{mg}{U}$

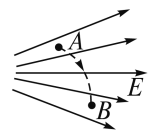
C. 增大电场强度，悬浮油滴将向上运动

D. 油滴的电荷量不一定是电子电荷量的整数倍

C　**解析**：电荷量为 q 的油滴静止不动，则油滴受到向上的电场力，题图中平行板间电场强度方向竖直向下，则油滴带负电，故 A 错误；根据平衡条件有 $mg=qE=q\dfrac{U}{d}$，故 $q=\dfrac{mg}{E}=\dfrac{mgd}{U}$，故 B 错误；当增大电场强度时，电场力增大，则悬浮油滴将向上运动，故 C 正确；不同油滴所带的电荷量虽不相同，但都是电子电荷量(元电荷)的整数倍，故 D 错误。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8.一带电粒子从电场中的 A 点运动到 B 点，轨迹如图中虚线所示。若不计粒子所受重力，则 (　　)



A. 粒子带正电

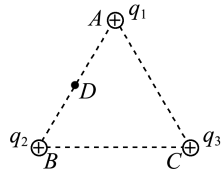
B. 粒子加速度逐渐减小

C. 粒子在 A 点的速度大于在 B 点的速度

D. 粒子的初速度不为零

BCD　**解析**：由运动轨迹可知电场力方向大致向左，粒子带负电，故 A 错误；从 A 点到 B 点电场强度变小，电场力变小，加速度变小，故 B 正确；在粒子运动过程中，电场力的方向与运动方向的夹角大于 90°，所以速率减小，故 C 正确；若粒子的初速度为零，粒子将沿电场线向左下侧运动，故 D 正确。

9. 真空中，q_3 为正场源电荷，q_1、q_2 为等量正检验电荷，它们分别固定在等边三角形的三个顶点 A、B、C 上，D 点为 AB 中点，如图所示，则下列说法正确的是　（　　）



A. D 点的电势高于 A 点的电势

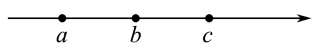
B. q_1、q_2 具有的电势能相等

C. q_3 在 A、B 两点产生的电场强度相同

D. 若把 q_1 从 A 点移到 D 点，电场力做负功

ABD　**解析**：根据几何关系可知，D 点比 A 点离 q_3 近，故其电势高于 A 点的电势，A 正确；A、B 两点是等电势点，则 q_1、q_2 具有的电势能相等，B 正确；q_3 在 A、B 两点产生的电场强度大小相等，但方向不同，故电场强度不相同，C 错误；把 q_1 从 A 点移到 D 点，电场力做负功，D 正确。

10. 如图所示为某电场中的一条电场线，该电场线为一条直线，a、b、c 为电场线上等间距的三点，三点的电势分别为 φ_a、φ_b、φ_c，三点的电场强度大小分别为 E_a、E_b、E_c，则下列说法正确的是　（　　）



A. 不论什么电场，均有 $\varphi_a>\varphi_b>\varphi_c$

B. 电场强度大小有可能为 $E_a=E_c>E_b$

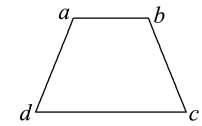
C. 若 $E_a=E_b=E_c$，则电场一定是匀强电场

D. 若 $\varphi_a-\varphi_b=\varphi_b-\varphi_c$，则电场一定是匀强电场

AB　**解析**：沿着电场线的方向电势逐渐降低，可得 $\varphi_a>\varphi_b>\varphi_c$，选项 A 正确；在等量异种点电荷形成的电场中，若 b 点为两点电荷连线的中点，则有 $E_a=E_c>E_b$，选项 B 正确；仅由 $E_a=E_b=E_c$，不能确定该电场是否为匀强电场，选项 C 错误；仅由 $\varphi_a-\varphi_b=\varphi_b-\varphi_c$，不能确定该电场是否为匀强电场，选项 D 错误。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 12～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤；有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.（6 分）如图所示，a、b、c、d 是匀强电场中的四个点，它们正好是一个梯形的四个顶点。电场线与梯形所在的平面平行，ab 平行于 dc，且 ab 边长为 dc 边长的一半。已知 a 点的电势是 −1 V，b 点的电势是 2 V，c 点的电势是 5 V。



(1) d 点的电势为_____V。

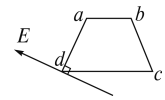
(2) 请在图中画出过 d 点的电场线并标明方向。

解析：(1) 由题知，$ab\parallel dc$，在匀强电场中，方向相同、距离相等的两点间电势差相等，则知 d、c 两点间电势差是 a、b 两点间电势差的 2 倍，即有

$2(\varphi_a-\varphi_b)=\varphi_d-\varphi_c$

则得 $\varphi_d=2(\varphi_a-\varphi_b)+\varphi_c=2\times(-1-2)\ \text{V}+5\ \text{V}=-1\ \text{V}$。

(2) a、d 两点电势相等，根据电场线与等势线垂直，且指向低电势处，作出过 d 点的电场线如图所示。



答案：(1) −1　(2) 见解析图

12.（10 分）有两个完全相同的带电绝缘金属小球 A、B，分别带有电荷量 $Q_A=6.4\times10^{-9}$ C、$Q_B=-3.2\times10^{-9}$ C。现让这两个绝缘金属小球接触，在接触过程中，电子如何转移并转移了多少？

解析：在接触过程中，由于小球 B 带负电，其上多余的电子转移到小球 A 上，这些电子中和小球 A 上的一部分正电荷直至小球 B 呈中性；随后由于小球 A 上还有净余的正电荷，小球 B 上的电子会继续转移到小球 A 上，直至两小球带上等量的正电荷。

在接触过程中，电子由小球 B 转移到小球 A。接触后两小球各自的电荷量为

$$Q'_A=Q'_B=\frac{Q_A+Q_B}{2}=\frac{6.4\times10^{-9}-3.2\times10^{-9}}{2}\ \text{C}=1.6\times10^{-9}\ \text{C}$$

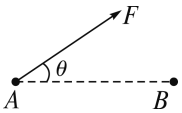
共转移的电子电荷量为 $\Delta Q=Q'_B-Q_B=4.8\times10^{-9}$ C

$$\text{转移的电子数 } n=\frac{\Delta Q}{e}=\frac{4.8\times10^{-9}\ \text{C}}{1.6\times10^{-19}\ \text{C}}=3.0\times10^{10}\text{(个)}$$

所以，电子由小球 B 向小球 A 转移了 3.0×10^{10} 个。

答案：电子由小球 B 向小球 A 转移，转移了 3.0×10^{10} 个

13.（10 分）如图所示，为了使带负电的点电荷 q 在一匀强电场中沿直线由 A 点匀速运动到 B 点，必须对该点电荷施加一个恒力 F。已知 $AB=0.5$ m，$\theta=37°$，$q=-3.0\times10^{-7}$ C，$F=1.5\times10^{-4}$ N，A 点的电势为 $\varphi_A=100$ V，求 B 点的电势（不计电荷所受的重力，取 $\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$）。



解析：由平衡条件知，负点电荷所受静电力大小为 $F'=F=1.5\times10^{-4}$ N，方向与 F 相反，则电场强度方向与 F 方向相同。点电荷由 A 点运动到 B 点静电力做功

$W_{AB}=-F'\cdot AB\cdot\cos 37°=-1.5\times10^{-4}\times0.5\times0.8$ J$=-6\times10^{-5}$ J

则有 $U_{AB}=\dfrac{W_{AB}}{q}=\dfrac{-6\times10^{-5}}{-3\times10^{-7}}$ V$=200$ V

因为 $U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，则有

$\varphi_B=\varphi_A-U_{AB}=100$ V-200 V$=-100$ V。

答案：-100 V

14.(14 分)(2026·贵州卷)在竖直平面内，一电荷量为 $q(q>0)$ 的小球在重力作用下从 P 点由静止开始下落，运动过程中始终受到与运动方向相反的空气阻力 f 作用，其大小与速率 v 满足 $f=kv(k$ 为常量)。小球第一次经过 P 点正下方的 M 点时达到最大速率 v_0，此时，施加竖直向上的恒定匀强电场，小球做变速运动。经过一段时间后，小球在 M 点正上方的 N 点再次达到最大速率 v_0，此后匀速上升。已知小球速率从第一次达到 v_0 到再次达到 v_0 的过程中，克服空气阻力做功为 W_f，重力加速度大小为 g。求：

(1)小球的质量和电场强度的大小；

(2)小球的最大加速度大小；

(3)施加电场后，M、N 两点间的电势差。

解析：(1)小球第一次经过 P 点正下方的 M 点时达到最大速率 v_0，此时加速度为零，根据受力平衡条件有

$mg=kv_0$

解得小球质量 $m=\dfrac{kv_0}{g}$

施加电场后，小球在 N 点再次达到最大速率 v_0 并在此后匀速上升，说明小球在 N 点的加速度为零且速度方向竖直向上，空气阻力竖直向下，根据受力平衡条件有

$qE=mg+kv_0$

联立解得电场强度的大小 $E=\dfrac{2kv_0}{q}$。

(2)施加电场瞬间，小球在 M 点具有竖直向下的速度 v_0，此时受到的电场力与空气阻力均竖直向上，合外力向上且达到最大，加速度最大，根据牛顿第二定律有

$qE+kv_0-mg=ma_m$

代入相关物理量解得最大加速度大小 $a_m=2g$。

(3)从小球在 M 点达到速率 v_0 到在 N 点再次达到速率 v_0 的过程中，小球的动能变化量为零，设 M、N 两点间的高度差为 h，根据动能定理有 $qEh-mgh-W_f=0$

代入 $qE=2mg$，解得 $h=\dfrac{W_f}{mg}$

由于匀强电场方向竖直向上，因此 M 点电势高于 N 点电势，则 M、N 两点间的电势差 $U_{MN}=Eh$

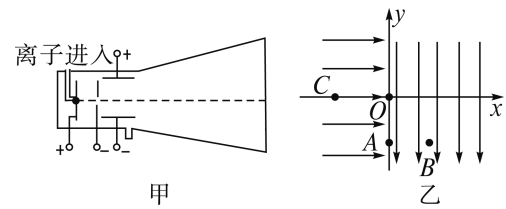
联立解得 $U_{MN}=\dfrac{2W_f}{q}$。

答案：(1)$\dfrac{kv_0}{g}$　$\dfrac{2kv_0}{q}$　(2)$2g$　(3)$\dfrac{2W_f}{q}$

15.(14 分)图甲是用来使带正电的离子加速和偏转的装置，图乙为该装置中加速与偏转电场的等效模拟图。若以 y 轴为界，左侧为沿 x 轴正方向的匀强电场，电场强度为 E，右侧为沿 y 轴负方向的另一匀强电场。已知 $OA\perp AB$，$OA=AB$，且 O、B 间的电势差为 U_0。若在 x 轴上的 C 点无初速度地释放一个电荷量为 q、质量为 m 的正离子(不计重力)，结果正离子刚好通过 B 点。求：

(1)C、O 两点间的距离 d；

(2)粒子通过 B 点时的速度大小。



甲　　乙

解析：(1)设正离子到达 O 点的速度为 v_0(其方向沿 x 轴的正方向)，则正离子从 C 点到 O 点的过程中，由动能定理得

$qEd=\dfrac{1}{2}mv_0^2-0$

而正离子从 O 点到 B 点做类平抛运动，

设 $OA=AB=l$，则 $l=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{qU_0}{lm}t^2$

解得 $t=l\sqrt{\dfrac{2m}{qU_0}}$

所以到达 B 点时，正离子的速度 $v_0=\dfrac{l}{t}=\sqrt{\dfrac{qU_0}{2m}}$

联立解得 $d=\dfrac{U_0}{4E}$。

(2)设正离子运动到 B 点时速度大小为 v_B，正离子从 C 点到 B 点的过程中，由动能定理得

$qEd+qU_0=\dfrac{1}{2}mv_B^2-0$

解得 $v_B=\sqrt{\dfrac{5qU_0}{2m}}$。

答案：(1)$\dfrac{U_0}{4E}$　(2)$\sqrt{\dfrac{5qU_0}{2m}}$

章末质量评估(二)
静电场(B)

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1.关于点电荷、元电荷、检验电荷,下列说法正确的是 (　　)

A. 点电荷是体积很小的带电体,是一种理想化的物理模型

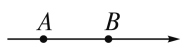
B. 点电荷所带电荷量一定是元电荷的整数倍

C. 点电荷所带电荷量一定很小

D. 点电荷、元电荷、检验电荷是同一种物理模型

B　**解析**:点电荷和质点一样,是一种理想化的物理模型,与体积的大小无关,故 A 错误;任何带电体所带电荷量都是元电荷的整数倍,故 B 正确;点电荷是一种理想化的物理模型,其所带电荷量并不一定很小,故 C 错误;点电荷是一种理想化的物理模型,元电荷是电荷的最小单元,检验电荷是为研究电场的性质而引入的,所以点电荷、元电荷、检验电荷不是同一种物理模型,故 D 错误。

2.如图所示为电场中的一条电场线,A、B 为其上的两点,这两点的电场强度大小分别为 E_A、E_B,电势分别为 φ_A、φ_B,则以下说法正确的是 (　　)



A. E_A 与 E_B 一定不相等,φ_A 与 φ_B 一定不相等

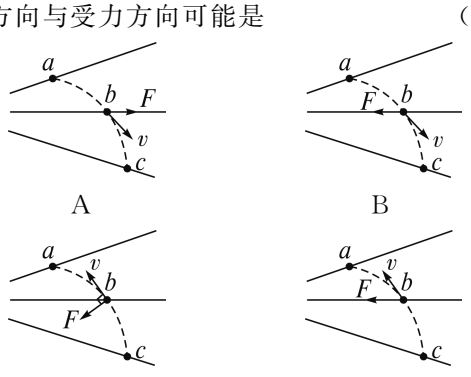
B. E_A 与 E_B 可能相等,φ_A 与 φ_B 可能相等

C. E_A 与 E_B 一定不相等,φ_A 与 φ_B 可能相等

D. E_A 与 E_B 可能相等,φ_A 与 φ_B 一定不相等

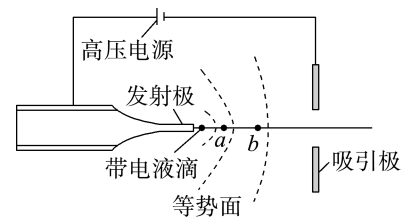
D　**解析**:电场线越密的地方电场强度越大,由于只有一条电场线,无法看出电场线的疏密,故 E_A 与 E_B 可能相等,也可能不相等;沿着电场线的方向电势一定降低,故 φ_A 一定大于 φ_B,则 D 正确。

3.如图所示,实线表示电场线,虚线表示某带电粒子运动的轨迹。若带电粒子只受静电力的作用,并且运动过程中电势能逐渐减少,则它运动到 b 处时的运动方向与受力方向可能是 (　　)



D　**解析**:根据曲线运动中力与轨迹的关系可知,力须指向轨迹弯曲的内侧,故 A 错误;由于带电粒子只受静电力作用,所以力与电场线共线,故 C 错误;由题意知,运动过程中粒子的电势能逐渐减小,故静电力做正功,即力与速度方向的夹角应为锐角,故 B 错误,D 正确。

4.如图所示是某种静电推进装置的原理图,发射极与吸引极接在高压电源两端,两极间产生强电场,虚线为等势面。在强电场作用下,一带电液滴从发射极加速飞向吸引极,a、b 是其路径上的两点,不计液滴重力。下列说法正确的是 (　　)



A. a 点的电势比 b 点的低

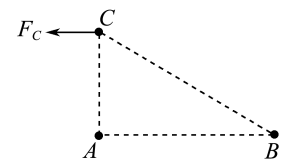
B. a 点的电场强度比 b 点的小

C. 液滴在 a 点的加速度比在 b 点的小

D. 液滴在 a 点的电势能比在 b 点的大

D　**解析**:由题图可知,高压电源左端为正极,则两极间所加强电场的电场强度方向由发射极指向吸引极,而沿着电场线方向电势逐渐降低,可知 $\varphi_a>\varphi_b$,选项 A 错误;电场线与等势面垂直,根据等势面可大致画出电场线的分布,可知 a 处的电场线较密,则 $E_a>E_b$,选项 B 错误;液滴的重力不计,根据牛顿第二定律可知,液滴的加速度 $a=\dfrac{qE}{m}$,因 $E_a>E_b$,可得 $a_a>a_b$,选项 C 错误;液滴在静电力作用下向右加速,则静电力做正功,动能增加,电势能减少,即 $E_{pa}>E_{pb}$,选项 D 正确。

5.如图所示,直角三角形 ABC 中 $\angle B=30°$,A、B 处点电荷所带电荷量分别为 Q_A、Q_B,测得在 C 处的某正点电荷所受静电力方向平行于 AB 向左,则下列说法正确的是 (B)



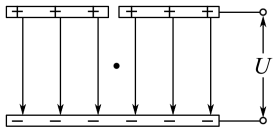
A. A 处点电荷带正电,$Q_A:Q_B=1:8$

B. A 处点电荷带负电,$Q_A:Q_B=1:8$

C. A 处点电荷带正电,$Q_A:Q_B=1:4$

D. A 处点电荷带负电,$Q_A:Q_B=1:4$

6. 密立根油滴实验装置如图所示，两块水平放置的金属板分别与电源的正负极相接，板间产生匀强电场。用一个喷雾器把密度相同的许多油滴从上板中间的小孔喷入电场，油滴从喷口喷出时由于摩擦而带电。金属板间电势差为 U 时，电荷量为 q、半径为 r 的球状油滴在板间保持静止。若仅将金属板间电势差调整为 $2U$，则在板间能保持静止的球状油滴所带电荷量和半径分别可以为　（　）

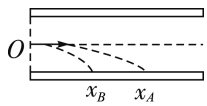


A. q，r　　B. $2q$，r

C. $2q$，$2r$　　D. $4q$，$2r$

D　**解析**：设油滴密度为 ρ，初始状态下，油滴处于静止状态，满足 $qE=mg$，即 $q\dfrac{U}{d}=\dfrac{4}{3}\pi r^3\rho g$。当电势差调整为 $2U$ 时，若油滴的半径不变，则满足 $q'\dfrac{2U}{d}=\dfrac{4}{3}\pi r^3\rho g$，可得 $q'=\dfrac{q}{2}$，选项 A、B 错误；当电势差调整为 $2U$ 时，若油滴的半径变为 $2r$，则满足 $q''\dfrac{2U}{d}=\dfrac{4}{3}\pi(2r)^3\rho g$，可得 $q''=4q$，选项 C 错误，D 正确。

7. 如图所示，电荷量之比为 $q_A:q_B=1:3$ 的带电粒子 A、B，先后以相同的速度从同一点射入平行板电容器中，若不计重力，带电粒子偏转后打在同一极板上，且水平飞行距离之比为 $x_A:x_B=2:1$，则带电粒子的质量之比 $m_A:m_B$ 以及在电场中的飞行时间之比 $t_A:t_B$ 分别为　（　）



A. 4∶3，2∶1

B. 2∶1，3∶2

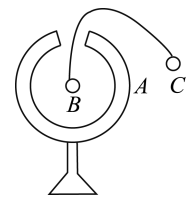
C. 1∶1，3∶4

D. 1∶1，2∶3

A　**解析**：两个带电粒子垂直射入电场中做类平抛运动，即水平方向做匀速直线运动，竖直方向做初速度为零的匀加速直线运动，则水平方向有 $x=v_0t$，由于 v_0 相等，所以 $t_A:t_B=x_A:x_B=2:1$；竖直方向有 $y=\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{qE}{2m}\left(\dfrac{x}{v_0}\right)^2$，得 $m=\dfrac{qEx^2}{2yv_0^2}$，因为 E、y、v_0 为定值，所以 $\dfrac{m_A}{m_B}=\dfrac{q_Ax_A^2}{q_Bx_B^2}=\dfrac{4}{3}$，故 A 正确。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8. 如图所示，一带正电的绝缘金属球壳 A，顶部开孔，有两个带正电的金属小球 B、C 用导线连接。让 B 球置于球壳 A 的空腔中与 A 的内表面接触后，又被提到如图所示的位置。C 球放在球壳 A 外离 A 较远处。待静电平衡后，下列说法正确的是　（　）



A. B、C 都不带电

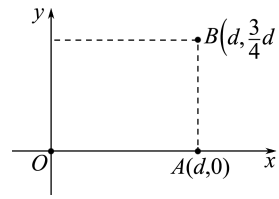
B. B 球不带电，C 球带正电

C. 让 C 球接地后，B 球带负电

D. 让 C 球接地后，A 球壳空腔中的电场强度为零

BD　**解析**：A、B 接触时，A、B、C 作为一个整体，根据静电平衡，A、C 带正电，B 不带电；不论 C 接地与否，球壳 A 对内部都有屏蔽作用，故 C 接地后，球壳 A 内的电场强度仍为零。故 A、C 错误，B、D 正确。

9. (2025·湖南卷)一匀强电场的方向平行于 xOy 平面，平面内 A 点和 B 点的位置如图所示。电荷量为 $+q$、$-q$ 和 $+2q$ 的三个检验电荷先后分别置于 O 点、A 点和 B 点时，电势能均为 E_p($E_p>0$)。下列说法正确的是　（　）



A. OA 中点的电势为 0

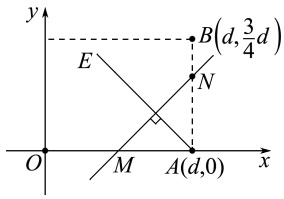
B. 电场的方向与 x 轴正方向成 60°角

C. 电场强度的大小为 $\dfrac{\sqrt{2}E_p}{qd}$

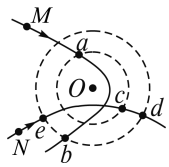
D. 电场强度的大小为 $\dfrac{2\sqrt{2}E_p}{qd}$

AD　**解析**：根据题意可知 O 点、A 点和 B 点的电势分别为 $\varphi_O=\dfrac{E_p}{q}$，$\varphi_A=-\dfrac{E_p}{q}$，$\varphi_B=\dfrac{E_p}{2q}$，令 OA 中点为 M，则 OA 中点的电势 $\varphi_M=\dfrac{\varphi_O+\varphi_A}{2}=0$，故 A 正确；根据等势线与电场线垂直，由 A 的分析可知，OA 中点 M 点的电势为 0，$\varphi_A=-\dfrac{E_p}{q}$，$\varphi_B=\dfrac{E_p}{2q}$，设 N 点为 AB 的三等分点且靠近 B 点，同理易知 N 点电势为 0，连接 MN 为一条等势线，过 A 点作

MN 的垂线，可知电场线沿该垂线方向指向右下方，如图所示，由 $AM=AN$ 可知 $\angle NMA=45°$，故电场的方向与 x 轴正方向成 $45°$ 角，故 B 错误；根据电场强度定义式 $E=\dfrac{U}{d}$ 可知，电场强度的大小 $E=\dfrac{0-(-\dfrac{E_p}{q})}{\dfrac{1}{2}d\cos 45°}=\dfrac{2\sqrt{2}E_p}{qd}$，故 C 错误，D 正确。



10. 如图所示，一带正电的点电荷固定于 O 点，两虚线圆均以 O 为圆心，两实线分别为带电粒子 M 和 N 先后在电场中运动的轨迹，a、b、c、d、e 为轨迹和虚线圆的交点，不计重力。下列说法正确的是（　　）



A. M 带负电荷，N 带正电荷

B. M 在 b 点的动能大于它在 a 点的动能

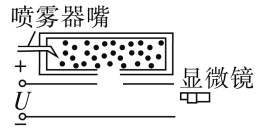
C. N 在 d 点的电势能等于它在 e 点的电势能

D. N 从 c 点运动到 d 点的过程中克服静电力做功

AC　**解析**：由粒子的运动轨迹可知，M 受到的是吸引力，N 受到的是排斥力，可知 M 带负电荷，N 带正电荷，故 A 正确；M 从 a 点到 b 点，静电力做负功，根据动能定理知，动能减小，则 M 在 b 点的动能小于在 a 点的动能，故 B 错误；d 点和 e 点在同一等势面上，电势相等，则 N 在 d 点的电势能等于在 e 点的电势能，故 C 正确；N 从 c 点运动到 d 点的过程中，静电力做正功，故 D 错误。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 12～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤；有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.（8 分）密立根通过油滴实验首先测出了元电荷的数值，其实验装置如图所示，油滴从喷雾器喷出，以某一速度进入水平放置的平行板之间。现有一带负电的油滴，若不加电场时，油滴由于受到重力作用加速下落，速率变大，受到的空气阻力也变大，因此油滴很快会以一恒定速率 v_1 匀速下落；若在两板间加一电压，在板间形成方向向下的电场 E，油滴下落的终极速率为 v_2。已知运动中油滴受到的阻力可由公式 $f=6\pi\eta rv$ 计算（其中 r 为油滴半径，η 为空气黏滞系数）。实验时测出 r、v_1、v_2，E、η 为已知量，则：



（1）油滴的电荷量为_____。

（2）经多次测量得到许多油滴的 Q 测量值（单位：$\times10^{-19}$ C），如下表所示：

实验序号	1	2	3	4	5	6
Q	6.41	8.01	9.65	11.23	12.83	14.48

分析这些数据可知_____。

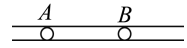
解析：（1）没有加电压时，速度达到 v_1 有 $mg=f_1=6\pi\eta rv_1$，加上电压后，油滴受到向上的阻力和静电力，有 $mg=f_2+QE=6\pi\eta rv_2+QE$，由以上两式解得油滴的电荷量为 $Q=\dfrac{6\pi\eta r(v_1-v_2)}{E}$。

（2）在误差允许范围内，可以认为油滴的电荷量总是 1.6×10^{-19} C 的整数倍，故电荷的最小电荷量即元电荷的电荷量为 1.6×10^{-19} C。

答案：（1）$\dfrac{6\pi\eta r(v_1-v_2)}{E}$

（2）电荷的最小电荷量即元电荷的电荷量为 1.6×10^{-19} C

12.（10 分）一根置于水平面上的光滑玻璃管（绝缘体），内部有两个完全相同的弹性金属球 A、B，带电荷量分别为 $9Q$ 和 $-Q$，从图中所示位置由静止开始释放，一切摩擦均不计。两球再次经过图中位置时，加速度是释放时的多少倍？



解析：在题图所示位置时，设两球之间的距离为 r，则两球间的库仑力大小 $F_1=k\dfrac{9Q^2}{r^2}$，碰撞后两球的带电荷量均为 $4Q$，再次经过题图所示位置时两球间的库仑力大小为 $F_2=k\dfrac{16Q^2}{r^2}$，两球先、后两次在题图所示位置的库仑力大小之比为 $\dfrac{F_2}{F_1}=\dfrac{16}{9}$，所以两球再次经过题图所示位置时的加速度与释放时的加速度之比也是 $\dfrac{16}{9}$。

答案：$\frac{16}{9}$倍

13.(10分)在电场中把一个电荷量为-6×10^{-8} C的点电荷从A点移到B点，静电力做功为-3×10^{-5} J，将此电荷从B点移到C点，静电力做功为4.5×10^{-5} J。求A与C两点间的电势差。

解析：将点电荷从A点移到C点，静电力做的功

$W_{AC}=W_{AB}+W_{BC}=-3\times10^{-5}\ \text{J}+4.5\times10^{-5}\ \text{J}=1.5\times10^{-5}\ \text{J}=qU_{AC}$

解得$U_{AC}=\frac{W_{AC}}{q}=\frac{1.5\times10^{-5}}{-6\times10^{-8}}\ \text{V}=-250\ \text{V}$。

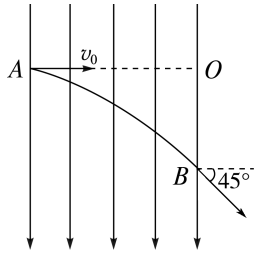
答案：-250 V

14.(12分)如图所示，质量为m、电荷量为e的粒子从A点以速度v_0垂直于电场方向沿直线AO方向射入匀强电场，由B点飞出电场时速度方向与AO方向成45°角。已知A、B在垂直于电场线方向的距离为d，不计重力。求：

(1)从A点到B点所用的时间；

(2)粒子在B点的速度大小；

(3)匀强电场的电场强度大小。



解析：(1)粒子从A点以速度v_0沿垂直于电场方向射入电场，在垂直于电场方向做匀速直线运动，则

$t=\frac{d}{v_0}$。

(2)由B点飞出电场时速度方向与AO方向成45°角，则粒子在B点的速度大小为

$v=\frac{v_0}{\cos 45^\circ}=\sqrt{2}v_0$。

(3)根据牛顿第二定律得$a=\frac{eE}{m}$

将粒子射出电场时的速度v进行分解，则有

$v_y=at=\frac{eE}{m}\cdot\frac{d}{v_0}=\frac{eEd}{mv_0}$

又$v_y=v_0\tan 45^\circ$

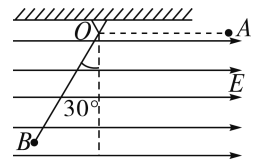
联立解得$E=\frac{mv_0^2}{ed}$。

答案：(1)$\frac{d}{v_0}$　(2)$\sqrt{2}v_0$　(3)$\frac{mv_0^2}{ed}$

15.(14分)如图所示，在水平向右的匀强电场中，用长为l且不可伸长的绝缘细线拴住一质量为m、电荷量为q的小球，线的上端固定于O点。将小球拉至细线与竖直方向成30°角时由静止释放小球，小球开始摆动，当摆到A点时速度为零，此时OA恰好处于水平状态。设整个过程中细线始终处于拉直状态，静电力常量为k，忽略空气阻力。求：

(1)小球电性及A、B两点间的电势差U_{AB}；

(2)匀强电场的电场强度E的大小。



解析：(1)若小球不带电，则从B点释放后，小球将运动到与B点等高的地方，而实际上小球能运动到比B点高的A点，所以静电力对小球做了正功，静电力水平向右，而电场强度方向水平向右，则小球带正电。

小球从B点运动到A点的过程中，由动能定理得

$qU_{AB}-mgl\cos 30^\circ=0$

解得$U_{AB}=\frac{\sqrt{3}mgl}{2q}$。

(2)A、B两点间沿电场线方向的距离为

$d=l+l\sin 30^\circ$

在匀强电场中，有$E=\frac{U_{AB}}{d}$

联立解得$E=\frac{\sqrt{3}mg}{3q}$。

答案：(1)带正电　$\frac{\sqrt{3}mgl}{2q}$　(2)$\frac{\sqrt{3}mg}{3q}$

第二章　电路及其应用

1　电流　电压　电阻

学习任务目标

1.知道恒定电流的概念和电流的定义式。(物理观念)
2.理解电流的微观解释和微观表达式。(科学思维)
3.了解电表改装的原理,认识多用电表并掌握其使用方法。(科学思维)

问题式预习

知识点一　对电流、电压、电阻、欧姆定律的理解和应用

1.电路
(1)电路至少由电源、用电器、导线和开关组成。
(2)电路三种状态:通路、断路、短路(必须避免出现)。
(3)电路元件最基本的连接方式:串联和并联。

2.电流
(1)自由电荷的种类
①金属导体中的自由电荷是自由电子;
②在电解质溶液(酸、碱、盐类的水溶液)中可自由运动的正负离子。
(2)电流的产生
导体中的自由电荷在电场力作用下发生定向移动形成电流。
(3)电流形成的条件:导体中有定向移动的电荷且导体两端有电势差(有电源)。
(4)电流:指单位时间内通过导体横截面的电荷量,是表示电流强弱程度的物理量,一般用"I"表示。
(5)公式:$I=\frac{q}{t}$,I 表示电流,q 表示在时间 t 内通过导体横截面的电荷量。
(6)电流的测量:将电流表串联在被测量的电路中。

3.电压
(1)是形成电流的必要条件
(2)单位:伏特,简称伏,符号为V。
(3)电压的测量:将电压表并联在被测量的电路两端。

4.电阻
(1)定义:导体两端的电压 U 与通过导体的电流 I 的比值叫作导体的电阻。
(2)定义式:$R=\frac{U}{I}$。
(3)单位:欧姆,符号为 Ω;常用的还有 kΩ、MΩ,1 kΩ=10^3 Ω,1 MΩ=10^6 Ω。
(4)物理意义:反映导体对电流阻碍作用的大小。

5.欧姆定律
(1)内容:通过导体的电流 I 与导体两端的电压 U 成正比,与它的电阻 R 成反比,即 $I=\frac{U}{R}$。
(2)适用条件:适用于金属导电和电解液导电。

[科学思维]
已知两个导体的电阻之比为 $R_1:R_2=2:1$,若两导体两端电压相等,则 $I_1:I_2=$ 1∶2;若两导体中电流相等,则 $U_1:U_2=$ 2∶1。

[判一判]
1.由 $R=\frac{U}{I}$ 可知,导体的电阻跟导体两端的电压成正比,跟导体中的电流成反比。　(×)
2.导体的电阻由导体本身的性质决定,跟导体两端的电压及流过导体的电流的大小无关。　(√)
3.对于确定的导体,其两端的电压和流过它的电流的比值等于它的电阻值。　(√)

知识点二　对恒定电场与恒定电流的理解和应用

1.恒定电场:由稳定分布的电荷所产生的稳定的电场。
2.恒定电流:自由电荷以不变的速率定向移动,形成大小不随时间变化的电流。

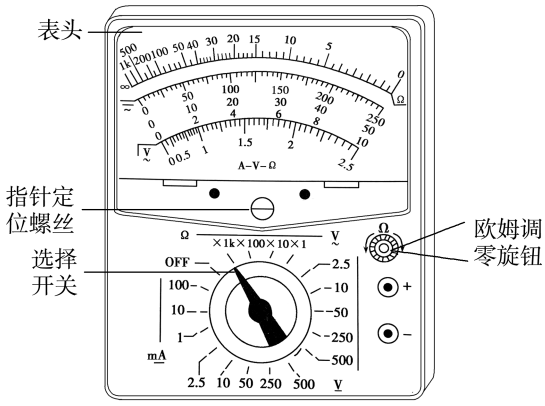
[科学思维]
恒定电流的形成:恒定电场使自由电荷速率增大,自由电荷与导体内不能自由移动的粒子发生碰撞,使自由电荷速率减小,最终表现为平均速率不变。(均选填"增大"或"减小")

[判一判]
1.恒定电场就是匀强电场。　(×)
2.电流既有大小,又有方向,是矢量。　(×)
3.恒定电流的大小、方向均不变。　(√)

知识点三　认识多用电表

1.功能：多用电表是一种集测量交流电压、电流与直流电压、电流和电阻等功能于一体的测量仪器。

2.两种常见的多用电表



甲



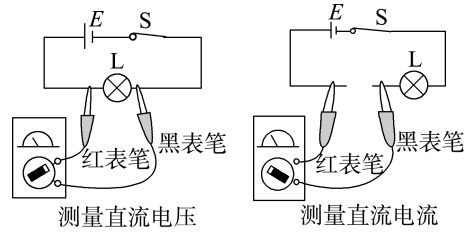
乙

如图甲所示是指针式多用电表，如图乙所示是数字式多用电表。表的上半部分为表盘或显示屏，下半部分是选择开关，开关周围标有测量功能的区域及量程。

3.用多用电表测电压、测电流

(1)测量时，把选择开关旋转到电流挡或电压挡的某个量程的位置。

(2)测量直流时，使电流从红表笔流入(即红表笔接与电源的正极相接)，从黑表笔流出(即黑表笔接与电源负极相接)，如图甲、乙所示。



甲　　乙

4.用多用电表测电阻

(1)欧姆表内部电源的正极接黑表笔，负极则通过调零电阻、表头接到红表笔。(均选填“红”或“黑”)

(2)使用前先把两支表笔短接(直接接触)，调整电阻挡调零旋钮，即调节调零电阻的阻值，使指针指示电阻挡零刻度线位置(最右边)。

(3)用两支表笔分别接触待测电阻的两端，待指针稳定下来后读取数据，把该数值乘以相应的倍率，即得到待测电阻的阻值。

(4)如果指针偏转的角度过大或过小，应该旋转选择开关以改变倍率，重新把两支表笔短接进行电阻调零，然后再进行测量。

(5)如果测量时指针稳定下来后处于靠近表盘中间的位置，则测量结果比较准确。

[**科学思维**]

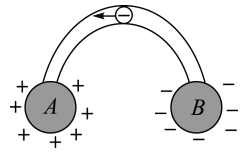
欧姆表的表盘刻度不均匀，一般不估读。

任务型课堂

任务一　电流的方向和大小

[**探究活动**]

如图所示为分别带正、负电荷的两个导体球 A、B，如果用一条导线将它们连接起来。



(1)A、B 之间的电势差会发生什么变化？

(2)最后 A、B 两个导体球会达到什么状态？

(3)导线中能否出现电流？这个电流有什么特点？

提示：(1)A、B 之间的电势差会减小。

(2)最终 A、B 两个导体球会达到静电平衡状态。

(3)导线中会出现电流；电流只是瞬时的。

[**评价活动**]

1.某电解池中，若在 2 s 内各有 1.0×10^{19} 个正二价离子和 2.0×10^{19} 个负一价离子通过某截面，那么通过这个截面的电流是　　(　　)

A. 0　　B. 0.8 A

C. 1.6 A　　D. 3.2 A

D　**解析**：电荷的定向移动形成电流，但正、负电荷同时向相反方向定向移动时，通过该截面的电荷量应是两者的绝对值之和。在 2 s 内通过截面的总电荷量应为 $q=1.6\times10^{-19}\times2\times1.0\times10^{19}\ \text{C}+1.6\times10^{-19}\times1\times2.0\times10^{19}\ \text{C}=6.4\ \text{C}$，由电流的定义式得 $I=\dfrac{q}{t}=\dfrac{6.4}{2}\ \text{A}=3.2\ \text{A}$。

2.有研究发现，某神经细胞传递信号时，离子从细胞膜一侧流到另一侧可形成跨膜电流。若将该细胞膜视为 1×10^{-8} F 的电容器，在 2 ms 内细胞膜两侧的电势差从 −70 mV 变为 30 mV，则该过程中跨膜电流的平均值为　　(　　)

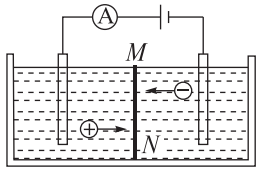
A. 1.5×10^{-7} A　　B. 2×10^{-7} A

C. 3.5×10^{-7} A　　D. 5×10^{-7} A

D　**解析**：根据 $Q=CU$，可知 $\Delta Q=C\Delta U=10^{-8}\times(30+70)\times10^{-3}\ \text{C}=1\times10^{-9}\ \text{C}$，则该过程中跨膜电流的平均值为 $I=\dfrac{\Delta Q}{t}=\dfrac{1\times10^{-9}}{2\times10^{-3}}\ \text{A}=5\times10^{-7}\ \text{A}$，

故选 D。

3. 如图所示，某电解质溶液中，电解槽横截面 MN 的面积为 0.5 m^2，若在 10 s 内沿相反方向通过横截面 MN 的正、负离子的电荷量均为 10 C，则电流表的示数为多少？电流的方向如何？



解析：正、负离子的电荷量均为 10 C，则在 $t=10$ s 内通过横截面的总电荷量为 $q=|q_{正}|+|q_{负}|=20$ C

由电流的定义式得 $I=\frac{q}{t}=\frac{20}{10}$ A$=2$ A

即电流表的示数为 2 A，电流的方向与正离子定向移动的方向相同。

答案：2 A　方向与正离子定向移动方向相同

任务总结

1. 电流的方向

(1)规定正电荷定向移动的方向为电流的方向，则负电荷定向移动的方向与电流的方向相反。

(2)金属导体中自由移动的电荷是自由电子，电流的方向与自由电子定向移动的方向相反。

2. 电流的大小

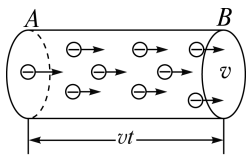
(1)公式：$I=\frac{q}{t}$，用该式计算出的电流是时间 t 内的平均值；对于恒定电流，电流的瞬时值与平均值相等。

(2)$q=It$ 是 $I=\frac{q}{t}$ 的变形式，是求电荷量的重要公式，其中 I 是电流在时间 t 内的平均值。通过某一截面的电荷量为通过该截面正、负离子电荷量的绝对值之和。

任务二　电流的微观表达式

[探究活动]

如图所示，AB 表示一段粗细均匀的金属导体。两端加一定的电压，导体中的自由电子沿导体定向移动的平均速率为 v，设导体的横截面积为 S，导体每单位体积内的自由电子数为 n，每个自由电子所带的电荷量为 e。



(1)时间 t 内通过导体 AB 某一横截面的自由电子总数是多少？

(2)时间 t 内通过某一横截面的电荷量是多少？

(3)时间 t 内通过导体 AB 的电流是多大？

提示：(1)时间 t 内通过导体 AB 某一横截面的自由电子总数 $N=nSvt$。

(2)时间 t 内通过某一横截面的电荷量 $q=neSvt$。

(3)时间 t 内通过导体 AB 的电流 $I=\frac{q}{t}=neSv$。

[评价活动]

1.(多选)横截面积为 S 的导线中通有电流 I，已知导线每单位体积中有 n 个自由电子，每个自由电子的电荷量是 e，自由电子定向移动的平均速率是 v，则在时间 Δt 内通过导线横截面的电子数是　(　　)

A. $nSv\Delta t$　　B. $nv\Delta t$

C. $\frac{I\Delta t}{e}$　　D. $\frac{I\Delta t}{Se}$

AC　**解析**：根据电流的定义求解，由电流的定义式 $I=\frac{q}{t}$ 可知，在时间 Δt 内通过导线横截面的电荷量 $q=I\Delta t$，所以在这段时间内通过的自由电子数为 $N=\frac{q}{e}=\frac{I\Delta t}{e}$，故 C 正确，D 错误；根据电流形成的微观原因求解，在时间 Δt 内，位于横截面积为 S、长为 $L=v\Delta t$ 的这段导线内的自由电子都能通过该横截面，这段导线的体积 $V=SL=Sv\Delta t$，所以在时间 Δt 内通过横截面 S 的自由电子数为 $N=nV=nSv\Delta t$，故 A 正确，B 错误。

2. 一质量分布均匀的长方体金属导体，在导体的左、右两端加一恒定的电压，使导体中产生一恒定电流，电流大小为 I。已知导体的横截面积为 S，导体中单位长度的自由电子数为 n，自由电子无规则运动的速率为 v_0，电子的电荷量用 e 表示，真空中的光速用 c 表示，自由电子定向移动的平均速率为 v，则　(　D　)

A. $v=v_0$　　B. $v=\frac{I}{neS}$

C. $v=c$　　D. $v=\frac{I}{ne}$

3.(多选)半径为 R 的橡胶圆环均匀带正电，总电荷量为 Q。现使圆环绕垂直圆环所在平面且通过圆心的轴以角速度 ω 匀速转动，则关于圆环产生的等效电流，下列说法正确的是　(　　)

A. 若 ω 不变而使电荷量 Q 变为原来的 2 倍，则电流也将变为原来的 2 倍

B. 若电荷量 Q 不变而使 ω 变为原来的 2 倍，则电流也将变为原来的 2 倍

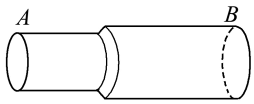
C. 若使 ω、Q 不变，将橡胶圆环拉伸，使环半径增大，电流将变大

D. 若使 ω、Q 不变，将橡胶圆环拉伸，使环半径增大，电流将变小

AB　**解析**：截取圆环的任一截面 S，则在橡胶环运

动一周的时间内通过这个截面的电荷量为 Q，即 $I=\frac{Q}{T}=\frac{Q}{\frac{2\pi}{\omega}}=\frac{Q\omega}{2\pi}$，由上式可知 A、B 正确。

4.（多选）如图所示，将左边的细铜导线与右边的粗铜导线连接起来。已知粗铜导线的横截面积是细铜导线横截面积的两倍，在细铜导线上取一个截面 A，在粗铜导线上取一个截面 B，若在 1 s 内垂直地通过它们的电子数相等，那么通过这两个截面的（　　）



A. 电流相等

B. 电流不相等

C. 自由电子定向移动的速率相等

D. 自由电子定向移动的速率不相等

AD　**解析**：由电流定义知 $I=\frac{q}{t}=\frac{ne}{t}$，故 A 正确，B 错误；根据电流的微观表达式 $I=nSqv$，I、n、q 均相等，由 $S_A<S_B$，知 $v_A>v_B$，故 C 错误，D 正确。

任务总结

1.电流的微观表达式：$I=nSvq$

从微观上看，电流的大小不仅取决于导体中单位体积内的自由电荷数、每个自由电荷的电荷量和定向运动的速率，还与导体的横截面积有关。

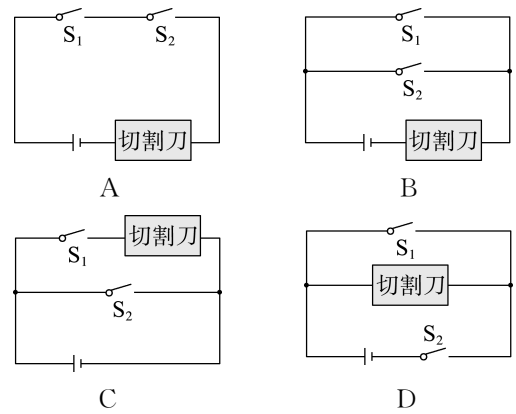
2.两个公式的比较

比较项目	$I=\frac{q}{t}$	$I=neSv$
公式性质	定义式	决定式
电流的意义	时间 t 内的平均电流	某时刻的瞬时电流
描述的角度	大量电荷定向移动的宏观表现	形成电流的微观实质
联系	由 $I=\frac{q}{t}$ 可导出 $I=neSv$	

任务三　串、并联电路的特点及应用

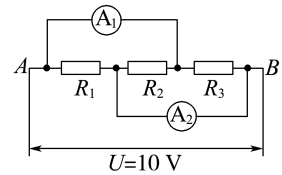
1.印刷品印完之后通常要进行边缘切割，如图所示是一台切割纸张的切割机。切割时印刷工人需要用手将印刷品推到切割刀下，为了防止印刷工人受伤，工人需要用双手同时按下开关，切割刀才会开始工作。下列符合切割刀的工作原理的电路图是（　　）





A　**解析**：两个开关同时控制切割刀，说明两开关与切割刀串联。故选 A。

2.如图所示，电路 A、B 两端电压 $U=10$ V，$R_1=2$ Ω，$R_2=4$ Ω，$R_3=6$ Ω，两电流表为理想电表。下列说法正确的是　　(C)



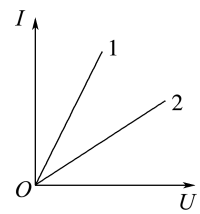
A. AB 间电阻为 12 Ω

B. 电流表 A_1 示数为 $\frac{25}{3}$ A

C. 电流表 A_2 示数为 7.5 A

D. AB 间电功率为 $\frac{625}{3}$ W

3.（多选）如图所示为两电阻 R_1 和 R_2 的伏安特性曲线。下列关于它们的电阻值与两电阻串联或并联后电路中总电流的说法正确的是（　　）



A. 电阻 R_1 的阻值比电阻 R_2 的阻值大

B. 电阻 R_2 的阻值比电阻 R_1 的阻值大

C. 两电阻串联后与并联后接入同一电路相比，串联电路中的总电流较大

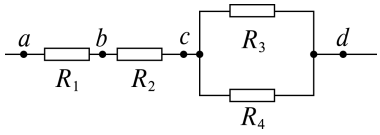
D. 两电阻串联后与并联后接入同一电路相比，串联电路中的总电流小

BD　**解析**：由题图可知，该图像是 I-U 图线，图像的斜率表示电阻的倒数，斜率越大，电阻越小，所以 R_2 的阻值大于 R_1 的阻值，故 A 项错误，B 项正确；两电阻串联后的总电阻要比并联后的总电阻大，则串联后电路中的总电流要小，故 C 项错误，D 项正确。

4. 由 4 个电阻连接成的混联电路如图所示，$R_1=8\ \Omega$，$R_2=4\ \Omega$，$R_3=6\ \Omega$，$R_4=3\ \Omega$。

(1)求 a、d 之间的总电阻。

(2)如果把 42 V 的电压加在 a、d 两端，则通过每个电阻的电流分别是多少？



解析：(1)由题图可知 $R_{cd}=\dfrac{R_3R_4}{R_3+R_4}=\dfrac{6\times3}{6+3}\ \Omega=2\ \Omega$

故 $R_{ad}=R_1+R_2+R_{cd}=8\ \Omega+4\ \Omega+2\ \Omega=14\ \Omega$。

(2)由欧姆定律知 $I=\dfrac{U}{R_{ad}}=\dfrac{42}{14}\ \text{A}=3\ \text{A}$

设通过 R_3、R_4 的电流分别是 I_3、I_4，又并联电路各支路两端电压相等，得 $I_3R_3=I_4R_4$

而 $I_3+I_4=I$

解得 $I_3=1\ \text{A}$，$I_4=2\ \text{A}$。

答案：(1)14 Ω　(2)3 A　3 A　1 A　2 A

任务总结

1.串、并联电路的特点

$$\text{电流}\begin{cases}\text{串联：}I_1=I_2=\cdots=I_n=I\\ \text{并联：}I_1+I_2+I_3+\cdots+I_n=I\end{cases}$$

$$\text{电压}\begin{cases}\text{串联：}U_1+U_2+\cdots+U_n=U\\ \text{并联：}U_1=U_2=\cdots=U_n=U\end{cases}$$

$$\text{电阻}\begin{cases}\text{串联：}R=R_1+R_2+\cdots+R_n\\ \text{并联：}\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\cdots+\dfrac{1}{R_n}\end{cases}$$

2.关于电阻的几个常用推论

(1)串联电路的总电阻大于其中任一部分电路的电阻。当一个大电阻和一个小电阻串联时，总电阻接近大电阻。

(2)并联电路的总电阻小于其中任一支路的电阻。当一个大电阻和一个小电阻并联时，总电阻接近小电阻。

(3)几个相同的电阻 R 串联时，其总电阻 $R_{总}=nR$；两个相同电阻串联时，总电阻是分电阻的两倍。

(4)几个相同电阻 R 并联时，总电阻 $R_{总}=\dfrac{R}{n}$；两个相同电阻并联时，总电阻是每个分电阻的一半。

(5)多个电阻无论串联还是并联，其中任一电阻增大或减小，总电阻也随之增大或减小。

3.电压和电流的分配关系

(1)串联电路中，各电阻两端的电压跟它的阻值成正比(电阻串联起分压作用)。

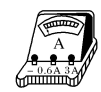
(2)并联电路中，通过各支路电阻的电流跟它们的阻值成反比(电阻并联起分流作用)。

任务四　电压表和电流表的改装

[探究活动]

如图所示是学生实验中经常用到的电压表和电流表，实际上这两个电表是由小量程的灵敏电流计 G(表头)改装而成的。





(1)小量程电流计有哪三个参数？三个参数之间有什么关系？

(2)对于小量程的电流计，其额定电压比较小，如何将该电流计改装成大量程的电压表？

(3)对于小量程的电流计，其额定电流比较小，如何将该电流计改装成大量程的电流表？

提示：(1)三个参数分别是内阻 R_g、满偏电流 I_g、满偏电压 U_g；关系是 $U_g=I_gR_g$。

(2)需要给表头串联一个分压电阻，改装成大量程的电压表。

(3)需要给表头并联一个分流电阻，改装成大量程的电流表。

[评价活动]

1.把一只量程为 0～10 mA、内阻为 100 Ω 的电流表改装成一只量程为 0～10 V 的电压表，则应该给这只电流表　(　)

A. 串联一个阻值为 900 Ω 的电阻

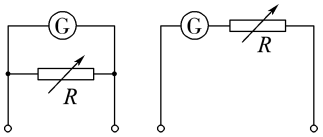
B. 串联一个阻值为 100 Ω 的电阻

C. 并联一个阻值为 900 Ω 的电阻

D. 并联一个阻值为 100 Ω 的电阻

A　**解析**：当将电流表改装成电压表时，需要串联一个电阻，由 $U=I_g(R_g+R)$，得 $R=\dfrac{U}{I_g}-R_g=\dfrac{10}{0.01}\ \Omega-100\ \Omega=900\ \Omega$，故选 A。

2.下图中的甲、乙两个电路，都是由一个灵敏电流计 G 和一个变阻器 R 组成，它们之中一个是测电压的电压表，另一个是测电流的电流表。下列结论正确的是　(　)



甲　　乙

A. 图甲是电流表，R 增大时量程增大

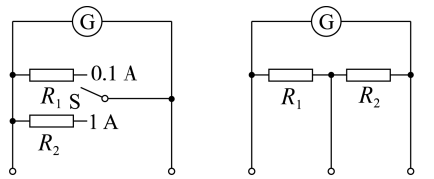
B. 图甲是电流表，R 增大时量程减小

C. 图乙是电压表，R 增大时量程减小

D. 上述说法都不对

B　**解析**：题图甲中 R 与电流计 G 并联，R 起分流作用，为电流表，其量程 $I=I_g+\frac{U_g}{R}$，所以 R 增大时，量程减小，选项 A 错误，B 正确；题图乙中 R 与电流计 G 串联，R 起分压作用，为电压表，其量程 $U=U_g+I_gR$，R 增大时，量程增大，选项 C 错误。

3. 某电流表内阻 R_g 为 200 Ω，满偏电流 I_g 为 2 mA，如图甲、乙所示，将它改装成两个量程分别为 0～0.1 A和 0～1 A 的电流表。在图甲、乙两种情况下 R_1、R_2 各为多少？



甲　　乙

解析：按题图甲的接法，由并联电路中电流跟电阻成反比，可得

$$R_1=\frac{I_g}{I_1-I_g}R_g=\frac{2\times10^{-3}}{0.1-2\times10^{-3}}\times200\ \Omega\approx4.08\ \Omega$$

$$R_2=\frac{I_g}{I_2-I_g}R_g=\frac{2\times10^{-3}}{1-2\times10^{-3}}\times200\ \Omega\approx0.4\ \Omega$$

按题图乙接法，量程为 0～1 A 时，R_2 和 R_g 串联后与 R_1 并联；量程为 0～0.1 A 时，R_1 和 R_2 串联后与 R_g 并联。分别得 $I_g(R_g+R_2)=(1\ \text{A}-I_g)R_1$

$I_gR_g=(0.1\ \text{A}-I_g)(R_1+R_2)$

联立以上两式解得 $R_1\approx0.41\ \Omega$，$R_2\approx3.67\ \Omega$。

答案：甲　4.08 Ω　0.4 Ω；乙　0.41 Ω　3.67 Ω

任务总结

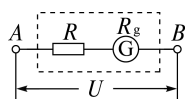
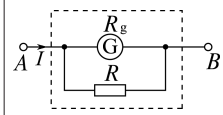
1. 电表改装的关键

(1)无论表头 G 改装成电压表还是电流表，它的三个特征量 U_g、I_g、R_g 是不变的，即通过表头的最大电流 I_g 并不改变。

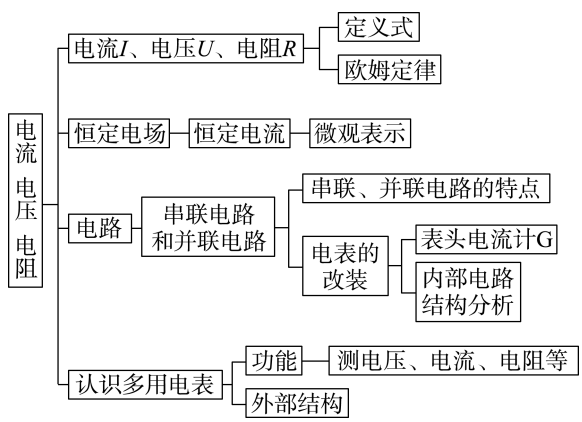
(2)电表改装的问题实际上是串、并联电路中电流、电压的计算问题，只用把表头 G 看成一个电阻 R_g 即可。

(3)改装后的电压表的表盘上显示的是表头和分压电阻两端的总电压；改装后的电流表的表盘上显示的是通过表头和分流电阻的总电流。

2. 电压表和电流表改装的对比

对比项目	小量程的电流计 G 改装成电压表Ⓥ	小量程的电流计 G 改装成大量程的电流表Ⓐ
内部电路		
R 的作用	分压	分流
扩大量程计算	$U=I_g(R+R_g)$，$R=\frac{U}{I_g}-R_g=(n-1)R_g$ $\left(\text{其中 } n=\frac{U}{U_g}=\frac{U}{I_gR_g}\right)$	$I_gR_g=(I-I_g)R$，$R=\frac{I_gR_g}{I-I_g}=\frac{R_g}{n-1}$ $\left(\text{其中 } n=\frac{I}{I_g}\right)$
电表的总内阻	$R_V=R_g+R$	$R_A=\frac{RR_g}{R+R_g}$

提质归纳



课后素养评价(十)

基础性·能力运用

知识点 1　电流的大小和方向

1.关于电流的方向,下列叙述正确的是　　(　　)

A. 金属导体中电流的方向就是自由电子定向移动的方向

B. 在电解质溶液中有自由的阳离子和阴离子,电流方向不能确定

C. 不论何种导体,电流的方向规定为正电荷定向移动的方向

D. 电流的方向有时与正电荷定向移动的方向相同,有时与负电荷定向移动的方向相同

C　**解析**:电流是有方向的,电流的方向是人为规定的,物理上规定正电荷定向移动的方向为电流的方向,则负电荷定向移动的方向一定与电流的方向相反,故选 C。

2.上海世博会中稳定运营的超级电容客车吸引了众多参观者的目光。据介绍,电容客车在一个站点充电 30 s 到 1 min 后,就可以持续行驶3 km,若不开空调则可以持续行驶 5 km,最高时速可达 44 km/h。超级电容器可以反复充放电数十万次,其显著优点有:容量大、功率密度高、充放电时间短、循环寿命长、工作温度范围宽等。如图所示为某汽车使用的超级电容器,规格为“48 V 3 000 F”,放电电流为 1 000 A,漏电电流为 10 mA,充满电所用时间为 30 s。下列说法不正确的是 (B)



A. 充电电流约为 4 800 A

B. 放电能持续的时间超过 10 min

C. 所储存电荷量是手机锂电池“4.2 V 1 000 mAh”的 40 倍

D. 若汽车一直停在车库,则电容器完全漏完电,时间将超过 100 天

知识点 2　电流的微观表达式

3.有一条长为 l、横截面积为 S 的银导线,银的密度为 ρ、摩尔质量为 M,阿伏伽德罗常量为 N_A。若导线中每个银原子贡献一个自由电子,电子电荷量为 e,自由电子定向移动的速率为 v,则通过导线的电流为　　(　　)

A. $I=\dfrac{N_A ev}{l}$　　B. $I=\rho\dfrac{leSv}{N_A}$

C. $I=\dfrac{\rho N_A eSv}{M}$　　D. $I=\dfrac{MN_A ev}{\rho S}$

C　**解析**:已知导线中自由电子定向移动的速率为 v,设导线中自由电子从一端定向移动到另一端所用的时间为 t,则导线的长度 $l=vt$,体积 $V=Sl=Svt$,质量 $m=\rho Svt$,这段导线中自由电子的数目为 $n=\dfrac{m}{M}N_A=\dfrac{\rho Svt}{M}N_A$,在时间 t 内这些电子都能通过下一截面,则电流为 $I=\dfrac{q}{t}=\dfrac{ne}{t}$,代入解得 $I=\dfrac{\rho N_A eSv}{M}$,故选 C。

4.铜的摩尔质量为 M、密度为 ρ,每摩尔铜原子有 n 个自由电子。现有一根横截面积为 S 的铜导线,当通过的电流为 I 时,电子定向移动的平均速率为　　(　　)

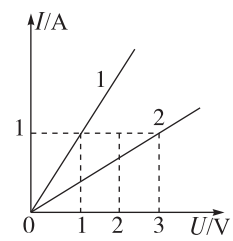
A. 光速 c　　B. $\dfrac{I}{neS}$

C. $\dfrac{\rho I}{neSM}$　　D. $\dfrac{MI}{neS\rho}$

D　**解析**:假设电子定向移动的平均速率为 v,那么在时间 t 内通过导线横截面的自由电子数相当于在体积 vtS 中的自由电子数,而体积为 vtS 的铜的质量为 ρvtS,摩尔数为 $\dfrac{\rho vtS}{M}$,所以电荷量 $q=\dfrac{\rho vtSne}{M}$,由电流 $I=\dfrac{q}{t}=\dfrac{\rho vSne}{M}$,解得 $v=\dfrac{MI}{neS\rho}$,故选 D。

知识点 3　串、并联电路的特点

5.如图所示,图线 1 对应的导体的电阻为 R_1,图线 2 对应的导体的电阻为 R_2,流过两电阻的电流分别为 I_1、I_2,则下列说法正确的是　　(　　)



A. $R_1:R_2=1:3$

B. $R_1:R_2=3:1$

C. 将 R_1 与 R_2 串联后接在电源上,则电流之比为 $I_1:I_2=1:3$

D. 将 R_1 与 R_2 并联后接在电源上,则电流之比为 $I_1:I_2=1:3$

A　**解析**:I-U 图像斜率的倒数表示电阻,则 $R_1:$

$R_2=1:3$，故A正确，B错误；两电阻串联后接于电源上，$I_1:I_2=1:1$，故C错误；两电阻并联后接于电源上，$I_1:I_2=R_2:R_1=3:1$，故D错误。

知识点4 电压表和电流表的改装

6. 电流表的内阻为$R_g=200\ \Omega$，满偏电流为$I_g=500\ \mu A$。现欲把这个电流表改装成量程为0～1.0 V的电压表，下列方法正确的是（ ）

A. 应串联一个0.1 Ω的电阻

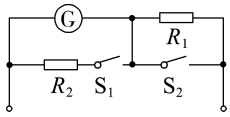
B. 应并联一个0.1 Ω的电阻

C. 应串联一个1 800 Ω的电阻

D. 应并联一个1 800 Ω的电阻

C **解析**：将电流表改装成电压表，应串联电阻。串联电阻两端的电压$U'=U-U_g=1\ V-200\times500\times10^{-6}\ V=0.9\ V$，串联的电阻阻值为$R=\frac{U'}{I_g}=\frac{0.9}{500\times10^{-6}}\ \Omega=1\ 800\ \Omega$，故选C。

7.（多选）如图所示，R_1和R_2是两个定值电阻，R_1的阻值很大，R_2的阻值很小，G是一个灵敏电流计，则下列说法正确的是（ ）



A. 只闭合S_1，整个装置相当于电压表

B. 只闭合S_2，整个装置相当于电流表

C. S_1和S_2都断开，整个装置相当于灵敏电流计

D. S_1和S_2都闭合，整个装置相当于电流表

AD **解析**：若只闭合S_1，则G与R_2并联后与R_1串联，由于R_1的阻值很大，故电路中电阻较大，只能充当电压表使用，故A正确；若只闭合S_2，则R_1被短路，只有表头接入电路，故只相当于灵敏电流计，故B错误；两个开关均断开，则G与R_1串联，则相当于电压表，故C错误；两个开关均闭合，则G与R_2并联，电阻较小，相当于电流表，故D正确。

知识点5 认识多用电表

8.（多选）关于多用电表上的欧姆刻度线，下列说法正确的是（ ）

A. 零欧姆刻度线与零电流刻度线重合

B. 零欧姆刻度线与电流表满偏刻度线重合

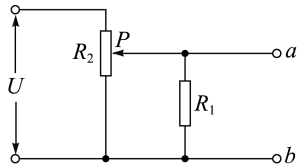
C. 欧姆刻度线是不均匀的，欧姆值越大，刻度线越密

D. 欧姆刻度线是不均匀的，欧姆值越小，刻度线越密

BC **解析**：因为多用电表在不使用时，指针指在电流表的零刻度线上，但是此时欧姆表的两支表笔并没有接触，表笔之间的电阻无穷大，所以电流表的零刻度线对应的是欧姆表的无穷大刻度线。当电流表示数最大即处于满偏刻度时，对应的电阻最小，所以零欧姆刻度线与电流表的满偏刻度线重合，选项A错误，B正确；从欧姆表的刻度盘上得知欧姆表的刻度是不均匀的，欧姆值越大，刻度线越密，选项C正确，D错误。

综合性·创新提升

9. 在如图所示的电路中，$U=120\ V$，滑动变阻器R_2的最大阻值为200 Ω，$R_1=100\ \Omega$。当滑片P滑至R_2的中点时，a、b两端的电压为（ ）

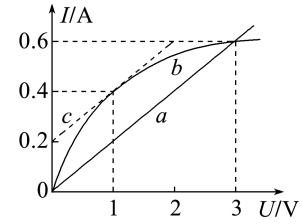


A. 60 V　　B. 40 V

C. 80 V　　D. 120 V

B **解析**：根据题意，当滑片滑至R_2的中点时，滑动变阻器上、下部分电阻各为100 Ω，下部分与R_1并联后总电阻为$R_{ab}=50\ \Omega$，整个电路总电阻为$R=150\ \Omega$，设并联部分电压为U_{ab}，则有$\frac{U}{R}=\frac{U_{ab}}{R_{ab}}$，即$U_{ab}=\frac{UR_{ab}}{R}=40\ V$，故B正确。

10. 如图所示，实线分别是电阻a、b的伏安特性曲线，虚线c是b（$U=1$ V时）的切线，a、c相互平行。下列说法正确的是（ ）



A. $U=1$ V时，b的电阻为5 Ω

B. $U=1$ V时，a、b的电阻相等

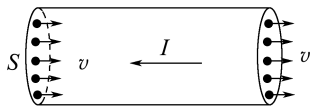
C. b的电阻随电压的升高而减小

D. $U=3$ V时，a、b的电阻相等

D **解析**：根据I-U图像可知，电阻a的阻值保持不变，大小为$R_a=\frac{U}{I}=5\ \Omega$，根据电阻$b$的伏安特性曲线可知，曲线上的点与原点连线的斜率逐渐

减小，而连线斜率为 $k=\frac{I}{U}=\frac{1}{R_b}$，可知 b 的电阻随电压的升高而增大，$U=1$ V 时，b 的电阻为 $R_b=\frac{U_1}{I_1}=2.5\ \Omega<5\ \Omega$，故 A、B、C 错误；$U=3$ V 时，b 的电阻为 $R_b'=\frac{U_2}{I_2}=5\ \Omega$，此时 $R_a=R_b'=5\ \Omega$，故 D 正确。

11. 如图所示，一横截面积为 S 的铜导线接入电路，导体中就会产生恒定电场，产生的恒定电流为 I，设单位体积的导线中有 n 个自由电子，电子的电荷量为 e，此时电子的定向移动速率为 v，在 t 时间内（　　）



A. 导线处于静电平衡状态

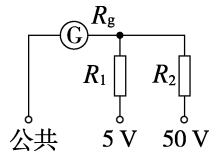
B. 通过铜导线横截面的自由电子数目可表示为 $\frac{It}{Se}$

C. 导线中电流的方向与自由电子定向移动的方向相同

D. 通过铜导线横截面的自由电子数目可表示为 $nvSt$

D　**解析**：导线内部电荷定向移动，各点电势不相等，则不是处于静电平衡状态，故 A 错误；通过铜导线横截面的自由电子数目可表示为 $N=\frac{It}{e}$，故 B 错误；导线中电流的方向与自由电子定向移动的方向相反，故 C 错误；通过铜导线横截面的自由电子数目可表示为 $N=nvSt$，故 D 正确。

12. 如图所示，有一个表头 G 的满偏电流为 $I_g=1$ mA、内阻为 $R_g=100\ \Omega$，用它改装为有 0～5 V 和 0～50 V 两种量程的电压表。求 R_1、R_2 的阻值。



解析：当公共端与 5 V 端接入被测电路时，最大测量值为 $U_1=5$ V；当公共端与 50 V 端接入被测电路时，最大测量值为 $U_2=50$ V。由串联电路的电压关系可知

$R_1=\frac{U_1}{I_g}-R_g=\left(\frac{5}{1\times10^{-3}}-100\right)\ \Omega=4\ 900\ \Omega=4.9\ \text{k}\Omega$

$R_2=\frac{U_2}{I_g}-R_g=\left(\frac{50}{1\times10^{-3}}-100\right)\ \Omega=49\ 900\ \Omega=49.9\ \text{k}\Omega$。

答案：4.9 kΩ　49.9 kΩ

2　实验:练习使用多用电表

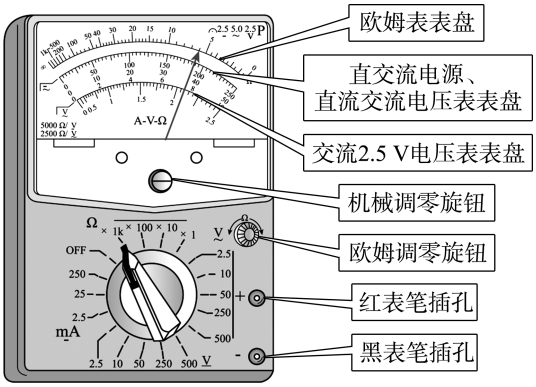
学习任务目标

1.通过对多用电表的实际操作,学会使用多用电表测量交流电压、直流电压,交流电流、直流电流和电阻。(科学探究)
2.能用多用电表判断二极管的正极、负极。(科学探究)
3.能用多用电表判断电路故障。(科学探究)

问题式预习

「实验思路」

我们已经学习过把电流表改装成电压表和量程较大的电流表的原理,还能将电流表改装成能够测量电阻的多用电表(如图所示)。

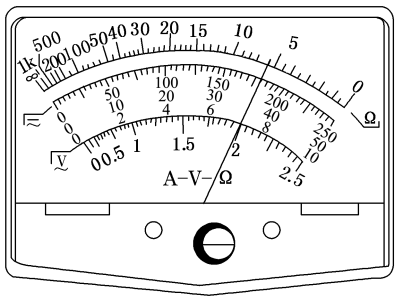


(1)用多用电表测直流电流时,应把选择开关旋至哪里?怎样把多用电表接入被测电路中?

(2)用多用电表测直流电压时,应把选择开关旋至哪里?怎样把多用电表接入被测电路中?

(3)用多用电表测直流电压和电流时,都必须把红表笔接在何处,即电流从哪支表笔流入?

(4)如图为一正在测量中的多用电表的表盘。

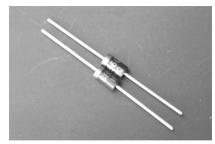


①如果是用"×10"倍率挡测量电阻,则所测值为多少?

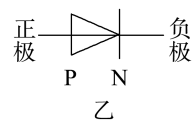
②如果是用直流"10 mA"挡测量电流,则读数为多少?

③如果是用直流"5 V"挡测量电压,则读数为多少?

(5)如图甲所示是二极管,它由半导体材料制成;如图乙所示,二极管左端为正极,右端为负极。电流从正极流入时电阻很小,而从负极流入时电阻很大。



甲



乙

怎样用多用电表测量二极管的正向电阻和反向电阻?欧姆表中电流的方向是怎样的?

提示:(1)用多用电表测直流电流时,选择开关应旋至直流电流挡的某个量程处,且把电表串联接入被测电路中。

(2)用多用电表测直流电压时,应把选择开关旋至直流电压挡的某个量程处,且并联于被测电路两端。

(3)因红表笔与表头正接线柱相连,黑表笔与表头负接线柱相连,所以用多用电表测直流电压和直流电流时,都必须把红表笔接在电势高处,即电流从红表笔流入。

(4)①电阻读数必须要用刻度乘以倍率,即 $6\times10\ \Omega=60\ \Omega$。

②多用电表的直流电压、直流电流的刻度都是均匀的。读直流电压、电流时看表盘正中央的那条均匀的刻度线。用"10 mA"挡测电流时,10 mA 代表能测出的最大电流值。每格刻度为 $\frac{10}{50}\ \text{mA}=0.2\ \text{mA}$,不用估读到下一位,读数为 7.2 mA。

③同理,用直流"5 V"挡测量电压时,每格刻度为 $\frac{5}{50}\ \text{V}=0.1\ \text{V}$,指针所在位置格数为 35.9 格,所以读数为 $35.9\times0.1\ \text{V}=3.59\ \text{V}$。

(5)用多用电表测量二极管的正向电阻:将多用电表的选择开关旋至低倍率的电阻挡,进行电阻调零之后将黑表笔接触二极管的正极,红表笔接触二极管的负极。

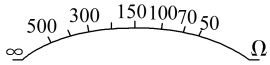
用多用电表测量二极管的反向电阻:将多用电表的选择开关旋至高倍率的电阻挡,进行电阻调零之后将黑表笔接触二极管的负极,红表笔接触二极管的正极。

欧姆表中的电流是从黑表笔流出,经过待测电阻,再从红表笔流入。

任务型课堂

「原型实验」

1.用多用电表电阻挡测阻值约为 80 Ω 的电阻 R_1 及阻值约为 30 kΩ 的电阻 R_2 的阻值，多用电表表盘刻度如图所示。下列是测量过程中一系列可能的操作，请选出能尽可能准确地测量各阻值并符合多用电表安全使用规则的各项操作，将它们按合理的顺序排列起来。



A. 旋转选择开关，使其尖端对准电阻挡“×1”的位置；

B. 旋转选择开关，使其尖端对准电阻挡“×10”的位置；

C. 旋转选择开关，使其尖端对准电阻挡“×100”的位置；

D. 旋转选择开关，使其尖端对准电阻挡“×1 k”的位置；

E. 旋转选择开关，使其尖端对准“OFF”的位置；

F. 将两表笔分别接到 R_1 两端，读出 R_1 的阻值，随后立即断开；

G. 将两表笔分别接到 R_2 两端，读出 R_2 的阻值，随后立即断开；

H. 调节机械调零旋钮，使电表指针指在最左边电流的零刻度位置；

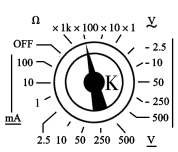
I. 将两表笔短接，旋动电阻调零旋钮，使电表指针指在最右边欧姆的零刻度位置。

所选择的操作及其合理的排列顺序应是_____（只填序号字母，操作步骤可以重复选用）。

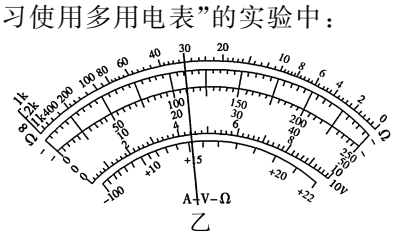
解析：用多用电表测电阻的一般步骤为：机械调零→选挡→电阻调零→测量→断开→将选择开关置于“OFF”挡或交变电压最高挡。注意每换一个挡位，需重新进行电阻调零；选挡的原则是使在测电阻时指针尽量指在表盘中央部分，一般应使指针指在满偏的 $\frac{1}{3}\sim\frac{2}{3}$ 之间，即 $2R_{中}\sim\frac{1}{2}R_{中}$ 之间。例如题图中表盘中央位置的刻度为 150 时，若选“×10”挡，则 $R_{中}=1\ 500\ \Omega$，测量范围在 750 Ω～3 kΩ 为佳。在测量过程中，对 R_1 与 R_2 测量的先后次序没有限制。

答案：HAIFCIGE(或 HCIGAIFE)

2.某物理小组在“练习使用多用电表”的实验中：



甲



乙

(1)用多用电表测量某一电学元件，多用电表的选择开关旋至如图甲所示位置。若操作正确，表盘指针如图乙所示，则该电学元件的阻值为_____Ω。

(2)该电学元件可能是_____（选填字母）。

A. 一个阻值未知的电阻

B. “220 V　50 W”的白炽灯

C. “220 V　100 W”的白炽灯

(3)若将两表笔分别与待测电阻相接，发现指针偏转角度过小。为了得到比较准确的测量结果，请从下列选项中挑出合理的步骤，并按_____（选填字母）的顺序进行操作，再完成读数测量。

A. 将 K 旋转到电阻挡“×1 k”的位置

B. 将 K 旋转到电阻挡“×10”的位置

C. 将两表笔的金属部分分别与被测电阻的两根引线相接

D. 将两表笔短接，旋动合适部件，对电表进行校准

(4)当选用量程为 0～5 V 的直流电压挡测量电压时，表针也指于图乙所示位置，则所测电压为_____V。

解析：(1)用欧姆表测电阻时，表盘上的数字为 30，倍率为“×100”，则电阻的读数为 30×100 Ω=3 000 Ω。

(2)电学元件可能是一个阻值约为 3 000 Ω 的电阻，故 A 项可能；由 $R=\frac{U^2}{P}$ 可得，“220 V　50 W”的白炽灯在额定状态下的阻值为 $R_1=\frac{220^2}{50}\ \Omega=968\ \Omega<3\ 000\ \Omega$，“220 V　100 W”的白炽灯在额定状态下的阻值为 $R_2=\frac{220^2}{100}\ \Omega=484\ \Omega<3\ 000\ \Omega$，两阻值都小于所测电学元件的阻值，且多用电表测出来的电阻是冷状态下的电阻，比额定状态下的电阻还要小，故 B、C 都不可能。故该电学元件可能是 A。

(3)若测电阻时指针偏转角度过小，说明此倍率下的阻值相对较大，为了让读数在中值电阻附近，需要将倍率调大，而换倍率后需要重新欧姆调零，然后再测电阻，故顺序为 ADC。

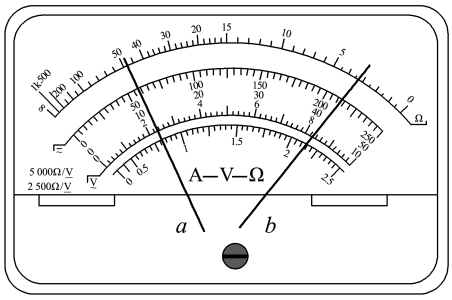
(4)0～5 V 的直流电压挡可选择 0～50 V 量程的刻度作参照，最小刻度为 0.1 V，估读到 0.01 V，则电压的读数为 2.21 V。

答案：(1)3 000　(2)A　(3)ADC

(4)2.21(2.20～2.22 均正确)

3.用多用电表进行了几次测量，指针分别处于 a 和 b 的位置，如图所示。若多用电表的选择开关处于下面表格中所指的挡位，a 和 b 相应的读数各是多少？请填在表格中。

指针位置	选择开关所处挡位	读数
a	直流电流“100 mA”	_____mA
	直流电压“2.5 V”	_____V
b	电阻“×100”	_____Ω



解析：(1)直流电流“100 mA”挡，读中间刻度，最小刻度值为 2 mA，估读到 1 mA 就可以了，所以读数是 23 mA 或 24 mA。

(2)直流电压“2.5 V”挡，读中间刻度，最小分度值为 0.05 V，估读到 0.01 V 就可以了，所以读数是 0.57 V。

(3)电阻“×100”挡，读最上的刻度，测量值等于表盘上读数“3.3”乘以倍率“100”，所以读数是 330 Ω。

答案：23(24 也可)　0.57(0.56～0.58 均可)　330(340 也可)

思考

①测量电阻时，如果指针偏转过大或过小，应该怎么操作？

②测量电阻时，如果红、黑表笔分别插在负、正插孔中，会影响测量结果吗？

③测量电路中的某个电阻时，必须把该电阻与电路断开吗？

④测量阻值不同的电阻时，都必须重新进行电阻调零吗？

提示：①电阻挡更换规律为“大小，小大”，即当指针偏角较大时，表明待测电阻阻值较小，应换较小的挡位，反之应换较大的挡位，且都需要重新进行电阻调零后测量。

②在多用电表选用电阻挡时，红、黑表笔插在哪个接口其实并不影响测量结果。

③用多用电表电阻挡，只能测孤立电阻(不能测含电源的电路)，故必须把该电阻与电路断开。

④用多用电表电阻挡测电阻时只需在换挡时进行电阻调零。

[特别提醒]

1.使用多用电表时的注意事项

(1)极性：对于两表笔，红正黑负。

(2)功能：要明白测什么，对应什么功能区。

(3)测电压时，多用电表应与被测元件并联；测电流时，多用电表应与被测元件串联。

(4)调零：测电阻时需要进行两次调零，即机械调零与欧姆调零，并注意每次换挡后必须重新进行电阻调零。

(5)直流电流和电压刻度是均匀的，读数时共用，但需要按比例计算。

(6)测电阻时选择适当倍率的电阻挡，使指针落在刻度盘的中间区域，电阻值为读数乘以倍率，不估读。

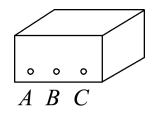
2.误差分析

(1)欧姆表的电池用久后电压变小，内电阻变大，此时会引起较大的测量误差。

(2)电流挡和电压挡的表盘刻度均匀，电阻挡的表盘刻度不均匀，读数时的估读容易带来误差。

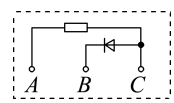
「创新实验」

4.一个电阻和一个半导体二极管串联并装在盒子里，盒子外面只露出 3 个接线柱 A、B、C，如图所示。现用多用电表的电阻挡进行测量，测量的阻值见下表，试在虚线框中画出盒内元件的符号和电路图。



红表笔	黑表笔	阻值有无及大小
A	C	有阻值
C	A	与 A、C 间测量值相同
C	B	很大
B	C	很小
A	B	很大
B	A	接近 A、C 间测量值

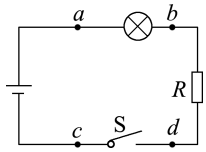
解析：由 A、C 间的阻值测量情况可知，A、C 间显然为一个电阻；由 B、C 间阻值测量情况和二极管的单向导电性可知，B、C 间应是一个二极管，且 B 接负极，C 接正极；由 A、B 间的阻值情况可进一步验证上述判断是合理的，所以盒内元件的连接情况如图所示。



答案：见解析图

5.(多选)在如图所示的电路中，闭合开关 S 时，灯不亮，已经确定是灯泡断路或短路引起的。在不能拆开电路的情况下(开关可闭合，可断开)，现用一个多用电表的直流电压挡、直流电流挡和电阻挡分别

对故障电路进行了如下检查并作出判断(如下表所示)：



次序	操作步骤	现象和结论
1	闭合开关，选直流电压挡，红、黑表笔分别接 a、b	指针偏转，灯断路；指针不偏转，灯短路
2	闭合开关，选电阻挡，红、黑表笔分别接 a、b	指针不动，灯断路；指针偏转，灯短路
3	断开开关，选电阻挡，红、黑表笔分别接 a、b	指针不动，灯断路；指针偏转最大，灯短路

以上操作和判断正确的是　　(　　)

A. 1　　B. 2

C. 3　　D. 都不正确

AC　**解析**：选直流电压挡时，红、黑表笔分别接高、低电势点，若指针偏转，说明 a、b 两点有电压，其他地方完好，而 a、b 之间有断路；若指针不偏转，说明 a、b 两点电势相等，a、b 之间必定短路，1 正确；选电阻挡时，已启用欧姆表内电源，必须将外电路电源断开，故 2 是错误的；而 3 显然正确。故选项 A、C 正确。

[特别提醒]

用多用电表检测电路故障

(1)电压表检测法

①电路断路检测法：电压表与电源并联，其中一端不动，另一端与电路各部分依次接触，有示数说明电压表两端间有断路，无示数说明是通路。从有示数到变为无示数的部分为电路断路发生点。

②电路短路检测法：将电压表依次与电路各部分相并联，有示数说明该部分没有短路，无示数处为短路发生点。

(2)欧姆表检测法

利用多用电表的电阻挡也可以对电路故障进行检测，但电路需与电源断开。通常选择小倍率电阻挡位，将表笔与被测各部分电路依次并联，通过测量被测部分的电阻来判定电路故障。若欧姆表示数较大，说明被测两点间有断路；若欧姆表示数非常小，说明被测两点间是通路。

(3)电流表检测法

当电路中发生断路时，也可以在原电路中引入一个电流表，通过电流表示数的变化来判定断路发生点。

课后素养评价(十一)

基础性·能力运用

1.甲、乙两同学使用多用电表电阻挡测同一个电阻时，他们都把选择开关旋到“×100”挡，并能正确操作。他们发现指针偏角太小，于是甲把选择开关旋到“×1k”挡，乙把选择开关旋到“×10”挡，但乙重新调零，而甲没有重新调零。以下说法正确的是　　(　　)

A. 甲选挡错误，而操作正确

B. 乙选挡正确，而操作错误

C. 甲选挡错误，操作也错误

D. 乙选挡错误，而操作正确

D　**解析**：在使用多用电表的电阻挡时，指针偏角过小，说明电阻大，所选倍率过小，应选用更大倍率，换挡后，要重新进行电阻调零，故选 D。

2.(多选)下述关于用多用电表电阻挡测电阻的说法正确的是　　(　　)

A. 测量电阻时，如果指针偏转过大，应将选择开关旋至倍率较小的挡位，重新调零后再测量

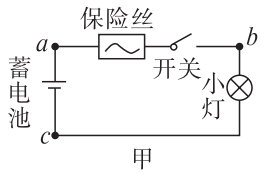
B. 测量电阻时，如果红、黑表笔分别插在负、正插孔，则会影响测量结果

C. 测量电路中的某个电阻时，应该把该电阻与电路断开

D. 测量阻值不同的电阻时，都必须重新调零

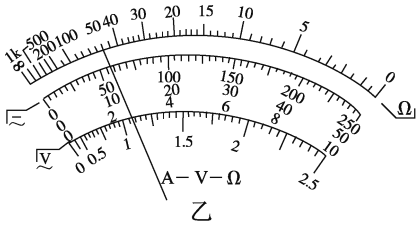
AC　**解析**：为了使电阻的测量尽可能准确，应使指针尽可能指在中央刻度附近，按照电阻挡更换规律“大小，小大”，即当指针偏角较大时，表明待测电阻较小，应换较小的挡位，反之应换较大的挡位，换挡后一定要重新进行电阻调零后再进行测量，故 A 正确；测量电阻时一定要断电作业，故 C 正确；每次换挡一定要进行电阻调零，但测不同的电阻不一定换挡，故 D 错误；测量电阻时，如果红、黑表笔插错插孔，不规范，但不会影响测量结果，故 B 错误。

3.某照明电路出现故障，其电路如图甲所示，该电路电源为 12 V 的蓄电池，导线及其接触完好。维修人员使用已调好的多用电表直流 50 V 挡检测故障。他将黑表笔接在 c 点，用红表笔分别探测电路的 a、b 点。



甲

(1)断开开关，红表笔接 a 点时多用电表指示如图乙所示，读数为_____V，说明_____(选填“蓄电池”“保险丝”“开关”或“小灯”)正常。


乙

(2)红表笔接 b 点，断开开关时，表针不偏转，闭合开关后，多用电表示数仍然和图乙示数相同，可判定发生故障的器件是_____(选填“蓄电池”“保险丝”“开关”或“小灯”)。

解析：(1)多用电表直流 0～50 V 的量程，读中间均匀刻度部分，共 50 格，每格 1 V，读数为 11.6 V；开关断开，相当于电压表并联在蓄电池两端，读数接近蓄电池的电压，故蓄电池是正常的。

(2)两表笔接 b、c 两点并闭合开关，测得电压与电源两端电压相同，说明 a、b 之间是通路，b、c 之间是断路，则故障器件是小灯。

答案：(1)11.6(11.4～11.8 均对)　蓄电池

(2)小灯

4. 某同学用多用电表测量二极管的反向电阻。完成下列测量步骤：

(1)检查多用电表的机械零点。

(2)将红、黑表笔分别插入正、负插孔，将选择开关拨至电阻挡适当的倍率处。

(3)将红、黑表笔_____，进行电阻调零。

(4)测反向电阻时，将_____表笔接二极管正极，将_____表笔接二极管负极，读出多用电表示数。

(5)为了得到准确的测量结果，应让多用电表指针尽量指向表盘_____(选填“左侧”“右侧”或“中央”)；否则，在可能的条件下，应重新选择倍率，并重复步骤(3)(4)。

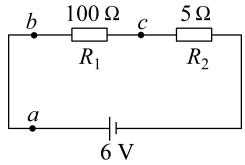
(6)测量完成后，将选择开关旋转到_____位置。

答案：(3)短接　(4)红　黑　(5)中央　(6)“OFF”挡或交流电压最高挡

综合性·创新提升

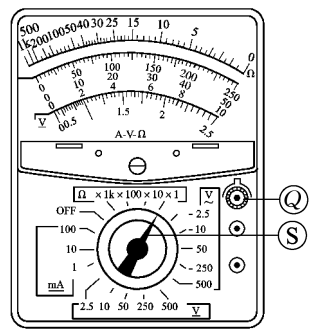
5. 如图所示电路的三根导线中，有一根是断的，电源、电阻 R_1、R_2 及另外两根导线是好的。为了查出断导线，某同学想先用多用电表的红表笔连接在电源的正极 a，再将黑表笔分别连接在电阻 R_1 左侧的 b 端和 R_2 左侧的 c 端，并观察多用电表指针的示数。在下列选项中，挡位选用符合操作规程的是(　　)

A. 直流 10 V 挡
B. 直流 0.5 A 挡
C. 直流 2.5 V 挡
D. 电阻挡



A　**解析**：因为被检测的电路为含电源电路，所以选用电阻挡一定不可。由于电路中电源提供的电压为 6 V，所以选用直流 2.5 V 挡也不安全。估测电路中的电流，最大值可能为 $I_m=\dfrac{E}{R_2}=\dfrac{6}{5}$ A＝1.2 A，所以选用直流 0.5 A 挡也不对，只有选用直流 10 V 挡符合要求。故选 A。

6. 如图所示为一已进行机械调零且可供使用的多用电表，S 为选择开关，Q 为电阻调零旋钮。现要用它检测两个电阻的阻值(图中未画出)，已知阻值分别为 $R_1=20\ \Omega$、$R_2=470\ \text{k}\Omega$。下面提出了在测量过程中一系列可能的操作，请你选出能准确地测定各阻值和符合多用电表安全使用规则的各项操作，并且将它们按合理的顺序排列起来。



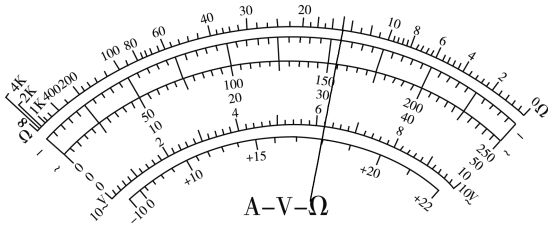
A. 旋动 S 使其尖端对准电阻挡“×1k”
B. 旋动 S 使其尖端对准电阻挡“×100”
C. 旋动 S 使其尖端对准电阻挡“×10”
D. 旋动 S 使其尖端对准电阻挡“×1”
E. 旋动 S 使其尖端对准交流电压挡 500 V
F. 将两表笔分别接到 R_1 的两端，读出 R_1 的阻值，随后立即断开
G. 将两表笔分别接到 R_2 的两端，读出 R_2 的阻值，随后立即断开
H. 两表笔短接，调节 Q 使表针对准电阻挡刻度盘上的零刻线处，随后立即断开

所选操作及其顺序为(用字母代号填写，操作步骤可以重复选用)：_____。

解析：用多用电表测量电阻时，量程的选择应使指针指在表盘中央附近时读数最准确，由表盘中值示数约 15 可知，测 $R_1=20\ \Omega$ 的电阻时，应选择“×1”挡，测 $R_2=470\ \text{k}\Omega$ 时，应选择“×1 k”挡，并且在每次选定量程后，都必须将两表笔短接，进行电阻调零，所以题目中所给操作 H 需重复选用。在测量过程中对 R_1 与 R_2 测量的先后没有什么限制，但所有测量完毕后，功能选择开关必须拨到交流电压最高挡或“OFF”挡，所以合理的操作及顺序为 AHGDHFE 或 DHFAHGE。

答案：AHGDHFE(或 DHFAHGE)

7. 如图所示为多用电表的刻度盘，若选用倍率为“×100”的电阻挡测电阻时，表针指示如图所示，则：



(1)所测电阻的阻值为_____Ω；如果要用此多用电表测量一个阻值约为 $2.0\times10^4\ \Omega$ 的电阻，为了使测量结果比较精确，应选用的电阻挡是_____(选填“×10”“×100”或“×1 k”)。

(2)当选用量程为 0～50 mA 的直流电流挡测量电流时，表针位于图示位置，则所测电流为_____mA；当选用量程为 0～250 mA 的直流电流挡测量电流时，表针位于图示位置，则所测电流为_____mA。

(3)当选用量程为 0～10 V 的直流电压挡测量电压时，表针也位于图示位置，则所测电压为_____V。

解析：(1)所测电阻的阻值为 $15\times100\ \Omega=1.5\times10^3\ \Omega$；测阻值约为 $2.0\times10^4\ \Omega$ 的电阻时，为使指针位于表盘中央附近，应选择“×1k”挡。

(2)当选用量程为 0～50 mA 的直流电流挡测量电流时，每一大格表示 10 mA，每一小格表示 1 mA，表针对应的读数为 31.0 mA；当选用量程为 0～250 mA的直流电流挡测量电流时，每一大格表示 50 mA，每一小格表示 5 mA，表针对应的读数为 155 mA。

(3)当选用量程为 0～10 V 的直流电压挡时，每一大格表示 2 V，每一小格表示 0.2 V，表针所对应的读数为 6.2 V。

答案：(1)1.5×10^3　×1k　(2)31.0(30.9～31.1 均可)　155　(3)6.2

3　电阻定律　电阻率

学习任务目标

1. 通过实验探究金属导体的电阻与其长度和横截面积的定量关系。(科学探究)
2. 理解电阻定律的内容，并能进行有关计算。(科学思维)
3. 了解电阻率的概念和不同材料导电性能的特征量。(物理观念)
4. 知道滑动变阻器的工作原理及两种常见的用法。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一　电阻定律的理解和应用

1. 探究导体的电阻与导体的长度及横截面积之间的定量关系

(1)测量对象：不同粗细、不同长度，同种材料制成的导线。

(2)测量方式：用多用电表的电阻挡测量它们的电阻 R，用刻度尺测量它们的长度 l，用千分尺测量它们的直径 d，再根据公式 $S=\dfrac{\pi d^2}{4}$ 求出它们的横截面积 S。

(3)数据处理：把所得的数据填入表格，并在坐标纸上以 R 为纵轴、以 $\dfrac{l}{S}$ 为横轴建立直角坐标系，根据所得的数据描点作出图像，看看该图像是否为一条过坐标原点的直线。

2. 电阻定律

(1)内容：导体的电阻 R 与它的长度 l 成正比，与它的横截面积 S 成反比。

(2)公式：$R=k\dfrac{l}{S}$。

(3)适用条件：同种材料的导体。

[科学思维]

根据电阻定律可知，n 个相同的电阻 r 串联，总电阻 R 为 r 的 n 倍；n 个相同的电阻 r 并联，总电阻 R' 为 r 的 $\dfrac{1}{n}$ 倍。

知识点二　电阻率与导体、绝缘体和半导体的关系和应用

1.电阻率

(1)定义：电阻定律中的比值常量称为这种材料的电阻率。

(2)意义：反映材料导电性质的物理量。

(3)国际单位制的单位：欧·米；符号：Ω·m。

(4)决定因素：电阻率与材料和温度有关。

2.导体、绝缘体和半导体的比较

	导体	绝缘体	半导体
导电性能	好	差	介于导体和绝缘体之间
电阻率/(Ω·m)	$10^{-8}\sim10^{-6}$	$10^{8}\sim10^{18}$	$10^{-5}\sim10^{6}$
实例	各种金属、电解质溶液等	陶瓷、塑料、橡胶等	锗、硅、砷化镓、锑化铟等
应用	导线等	固定导线的绝缘子、导线保护层、用电器外壳等	热敏电阻、光敏电阻、自动控制设备中的元件等

[科学思维]

$R=\rho\frac{l}{S}$是电阻的决定式，导体电阻的大小由l、S、ρ决定。某导体发生拉伸或压缩形变后，导体的横截面积、长度发生变化，电阻会变化，但电阻率是不变的，因为电阻率只与材料、温度有关，与导体的大小、形状等无关。

[判一判]

1.电阻率是反映材料导电性能的物理量，电阻反映了导体对电流的阻碍作用。　(√)

2.导体的电阻率越大，导体的电阻就越大。　(×)

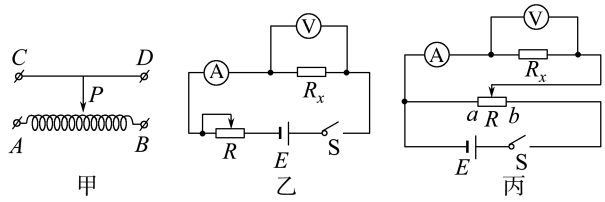
3.各种材料的电阻率一般都随温度的变化而变化。　(√)

知识点三　限流电路和分压电路的理解

1.滑动变阻器的原理

通过改变连入电路中的电阻丝的长度而改变连入电路中的电阻。

2.滑动变阻器在电路中的使用方法



(1)结构简图如图甲所示。

(2)要使滑动变阻器起限流作用(如图乙)，正确的连接是接A与D或C，B与C或D，即“一上一下”。(均选填图甲中的“C”或“D”端)

(3)要使滑动变阻器起分压作用(如图丙)，需将A、B全部接入电路，另外再选择C或D与负载相连，即“一上两下”，当滑片P移动时，负载将与AP间或BP间的不同长度的电阻丝并联，从而得到不同的电压。

[科学思维]

请比较滑动变阻器和电阻箱各自的优缺点。

提示：滑动变阻器的电阻值是连续可变的，但不能随时知道连入电路的电阻阻值。

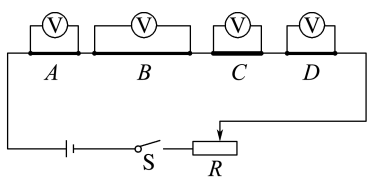
电阻箱的电阻虽然可变，但不是连续的，只能一个挡一个挡地选择。

任务型课堂

任务一　对电阻定律的理解和应用

[探究活动]

实验探究导体电阻与其影响因素的定量关系时，选取A、B、C、D四条不同的电阻丝，在长度、横截面积、材料三个因素中，B、C、D与A相比，分别只有一个因素不同。按如图所示的电路图接入电路。请思考下列问题：



(1)图中通过A的电流与通过B、C、D的电流间存在什么关系？如何确定A与B、C、D的电阻之间的关系？

(2)若B的长度是A的2倍，B两端的电压也是A两端电压的2倍，则导体的电阻与其长度之间存在什么关系？

(3)若C的横截面积是A的2倍，而C两端的电压是A两端电压的$\frac{1}{2}$，则导体的电阻与其横截面积之间存在什么关系？

(4)D与A的材料不同，且D两端的电压与A两端电压也不同，则导体电阻与材料是否有关？

提示：(1)A与B、C、D都是串联关系，电流相等。由上述分析可知，导体两端电压与其电阻成正比，因而分别测出它们的电压就可以知道电阻之间的关系。

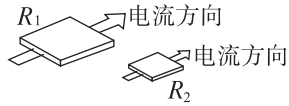
(2)导体的电阻与其长度成正比。

(3)导体的电阻与其横截面积成反比。

(4)其他因素都相同，说明与材料有关。

［评价活动］

1. 目前集成电路的集成度很高，要求里面的各种电子元件都微型化，集成度越高，电子元件越微型化。R_1 和 R_2 是两个材料相同、厚度相同、表面为正方形的导体，但 R_2 的尺寸远远小于 R_1 的尺寸。通过两导体的电流方向如图所示，则关于这两个导体的电阻 R_1、R_2 的关系，下列判断正确的是　　(　　)



A. $R_1>R_2$　　B. $R_1<R_2$

C. $R_1=R_2$　　D. 无法确定

C　**解析**：设电阻正方形表面的边长为 l，厚度为 d，则电阻的长度为 l，横截面积为 $S=ld$，则 $R=\frac{\rho l}{ld}=\frac{\rho}{d}$，说明电阻大小只与厚度和电阻率有关，与其正方形表面的边长无关，R_1、R_2 材料相同，则电阻率相同，且厚度相同，所以电阻大小相等，故选 C。

2. 电路中有一段均匀的金属丝，长为 l，电阻为 R，要使电阻变为 $4R$，则下列方法可行的是　　(　　)

A. 将金属丝均匀拉长至 $2l$

B. 将金属丝两端的电压提高到原来的 4 倍

C. 将金属丝对折后拧成一股

D. 将金属丝均匀拉长至 $4l$

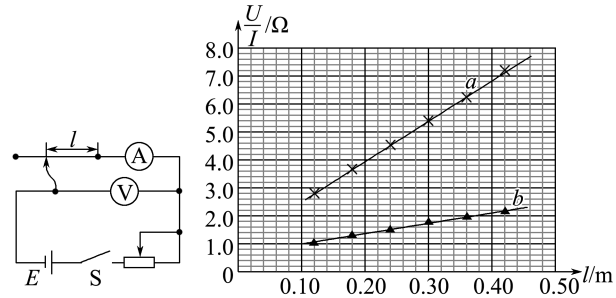
A　**解析**：将金属丝均匀拉长至 $2l$，体积不变，横截面积变为原来的 $\frac{1}{2}$，根据 $R=\rho\frac{l}{S}$ 可知，电阻变为原来的 4 倍，故选项 A 正确；同理可判断，选项 C 中电阻变为原来的 $\frac{1}{4}$，选项 D 中电阻变为原来的 16 倍，故选项 C、D 错误；电阻的大小与电压无关，故选项 B 错误。

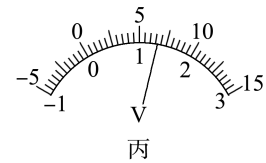
3. 一根粗细均匀的导线，当其两端电压为 U 时，通过的电流是 I。若将此导线均匀拉长到原来的2 倍，电流仍为 I，则此时导线两端所加的电压变为　　(　　)

A. $\frac{U}{2}$　　B. U　　C. $2U$　　D. $4U$

D　**解析**：导线原来的电阻为 $R=\rho\frac{l}{S}$，拉长后长度变为 $2l$，横截面积变为 $\frac{S}{2}$，所以 $R'=\rho\frac{l'}{S'}=\rho\frac{2l}{\frac{S}{2}}=4R$，导线原来两端的电压为 $U=IR$，拉长后为 $U'=IR'=4IR=4U$，D 正确。

4. 小明同学根据图甲的电路连接器材来探究导体电阻与其影响因素的定量关系。实验时多次改变合金丝 A 接入电路的长度 l、调节滑动变阻器的阻值，使电流表的读数 I 达到某一相同值时记录电压表的示数 U，从而得到多个 $\frac{U}{I}$ 的值，作出 $\frac{U}{I}$-l 图像，如图乙中图线 a 所示。





(1)在实验中使用的是_____(选填“0～20 Ω”或“0～200 Ω”)的滑动变阻器。

(2)在某次测量时，电压表的指针位置如图丙所示，则读数 $U=$_____V。

(3)已知合金丝 A 的横截面积为 7.0×10^{-8} m^2，则合金丝 A 的电阻率为_____Ω·m。(结果保留两位有效数字)

(4)图乙中图线 b 是另一根长度相同、材料相同的合金丝 B 与合金丝 A 并联后采用同样的方法获得的 $\frac{U}{I}$-l 图像，由图可知合金丝 A 的横截面积_____(选填“大于”“等于”或“小于”)合金丝 B 的横截面积。

解析：(1)由实验原理可知 $R_x=\frac{U}{I}$，而由 $\frac{U}{I}$-l 图像可知待测电阻最大阻值约为 8 Ω，为了使电压表有明显的示数变化同时便于调节，滑动变阻器的最大阻值不能太大，故选 0～20 Ω 的滑动变阻器。

(2)为避免电路中电流过大，产生较多热量，使导体的电阻率发生变化，实验中应选用量程为 0～3 V 的电压表，其分度值为 0.1 V，估读到 0.01 V，则电压表示数 $U=1.33$ V。

(3)根据电阻定律有 $\frac{U}{I}=R_x=\frac{\rho}{S}l$，则 $\frac{U}{I}$-l 图像的斜率为 $k=\frac{\rho}{S}$，可得合金丝 A 的电阻率 $\rho=kS=\frac{7.4-4.0}{0.44-0.20}\times7.0\times10^{-8}$ Ω·m≈1.1×10^{-6} Ω·m。

(4)另一根长度相同、材料相同的合金丝 B 与合金丝 A 并联后，电阻率不变，而横截面积变为 $S'=S+S_B$，由题图线 b 可得 $S'=\frac{\rho}{k'}=\frac{1.1\times10^{-6}}{\frac{2.1-1.2}{0.40-0.16}}$ m^2≈29.3×10^{-8} m^2，解得 $S_B=S'-S=22.3\times10^{-8}$ m^2>

S，故合金丝 A 的横截面积小于合金丝 B 的横截面积。

答案：(1)0～20 Ω

(2)1.33(1.32～1.34 均可)

(3)1.1×10^{-6}(0.99×10^{-6}～1.2×10^{-6}均可)

(4)小于

任务总结

1.公式 $R=\rho\frac{l}{S}$ 中各物理量的意义

ρ 表示材料的电阻率；

l 表示沿电流方向导体的长度；

S 表示垂直于电流方向导体的横截面积。

2.电阻决定式与定义式的比较

公式	$R=\rho\frac{l}{S}$	$R=\frac{U}{I}$
意义	决定式	定义式
理解	说明导体的电阻由 ρ、l、S 决定，即 R 与 l 成正比，与 S 成反比，且与导体材料有关	提供了一种测量电阻的方法——伏安法，但不能认为 R 与 U 成正比、与 I 成反比
适用范围	温度一定，粗细均匀的金属导体或浓度均匀的电解质溶液	纯电阻电路
推导依据	通过大量实验得出的规律	

任务二 对电阻率的理解

1.关于不同材料的电阻率，下列说法正确的是（　　）

A. 把一根长导线截成等长的三段，则每段的电阻率都是原来的$\frac{1}{3}$

B. 各种材料的电阻率均随温度的升高而增大

C. 纯金属的电阻率较其合金的电阻率小

D. 电阻率是反映材料导电性能的物理量，电阻率越大的导体对电流的阻碍作用越大

C　**解析**：电阻率是材料本身的一种电学特性，与导体的长度、横截面积无关，故 A 错误；一般情况下，金属材料的电阻率随温度的升高而增大，半导体材料则相反，故 B 错误；合金的电阻率比纯金属的电阻率大，故 C 正确；电阻率大表明材料的导电性能差，不能说明该材料的导体对电流的阻碍作用一定大，因为电阻才是反映导体对电流阻碍作用的物理量，故 D 错误。

2.下列关于电阻率的说法，错误的是（　　）

A. 电阻率只是一个比例常数，与其他因素无关

B. 电阻率反映材料导电性能的好坏，所以与材料有关

C. 电阻率与导体的温度有关

D. 电阻率在国际单位制中的单位为欧·米

A　**解析**：电阻率反映材料导电性能的好坏，与材料有关，选项 A 错误，B 正确；电阻率与温度有关，选项 C 正确；根据电阻定律 $R=\rho\frac{l}{S}$，解得 $\rho=\frac{RS}{l}$，电阻率在国际单位制中的单位为欧·米，选项 D 正确。故 A 符合题意。

3.某技术质量监督局曾对市场中电线电缆的产品质量进行抽查，检验负责人说：“不合格产品中，大部分存在导体电阻不合格问题，主要是铜材质量不合格，使用了再生铜或含杂质很多的铜导致电线的导电性能减弱；再一个就是铜材质量可能合格，但把横截面积缩小，买 2.5 mm^2 的线，拿到手的线可能是 1.5 mm^2 或 1.5 mm^2 多一点，载流量不够；还有一个问题是绝缘层质量不合格，用再生塑料制作电线外皮，电阻率达不到要求……”关于这段话中提到的不合格电线，下列说法正确的是（　　）

A. 用再生塑料制作的电线外皮，则其电阻率变大导致绝缘性变差

B. 电线使用了再生铜或含杂质很多的铜，则其电阻率变大

C. 电线的横截面积变小了，则其电阻率变小

D. 电线的横截面积变小了，则其电阻率变大

B　**解析**：用再生塑料制作的电线外皮，其电阻率变小，导致绝缘性变差，A 错误；电线使用了再生铜或含杂质很多的铜，导电性能减弱，其电阻率变大，B 正确；电阻率不受电线横截面积的影响，C、D 错误。

4.一根粗细均匀的镍铬丝，电阻率为 ρ，横截面的直径是 d，电阻是 R。把它拉成直径为$\frac{d}{10}$的均匀细丝后，它的电阻率和电阻分别为(设温度不变)（　　）

A. ρ、$1\times10^{-3}R$　　B. $1\times10^{4}\rho$、$1\times10^{4}R$

C. ρ、$\frac{1}{100}R$　　D. ρ、$1\times10^{4}R$

D　**解析**：导线的拉伸不会影响电阻率，所以电阻率不变。横截面直径为 d 的镍铬丝拉制成直径为$\frac{d}{10}$的均匀细丝后，根据 $S=\frac{1}{4}\pi d^2$ 得知，横截面积变为原来的$\frac{1}{100}$，镍铬丝的体积不变，则长度变为原来的 100 倍，由电阻定律 $R=\rho\frac{l}{S}$，分析可知电阻变为原来的 10 000 倍，即为 $1\times10^{4}R$，故 A、B、C 错误，D 正确。

任务总结

1. 电阻率是反映导体材料导电性能的物理量，是导体材料本身的属性，与导体的形状、大小无关。

2. 电阻率与温度的关系及应用

(1)金属的电阻率随温度的升高而增大，可用于制作电阻温度计。

(2)大部分半导体的电阻率随温度的升高而减小，半导体的电阻率随温度的变化而变化较大，可用于制作热敏电阻。

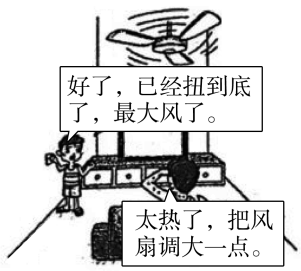
(3)有些合金，电阻率几乎不受温度变化的影响，常用来制作标准电阻。

(4)许多导体在温度特别低时电阻率可以降到零，这种现象叫作超导现象。

任务三　滑动变阻器的应用

[探究活动]

调节风扇风力的大小，是通过改变滑动变阻器连入电路的电阻丝的长度来实现的。



(1)相同材料的电阻横截面积相同时，连入电路的长度越长，其阻值如何变化？

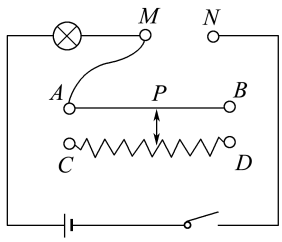
(2)风力调到最大时，接入电路的电阻丝的电阻大小情况如何？

提示：(1)连入的长度越长，阻值越大。

(2)接入电路的电阻丝的电阻最小。

[评价活动]

1. 如图所示，若滑动变阻器的滑片 P 向 C 端移动时，小灯泡变亮，那么应将 N 端接　　(　　)

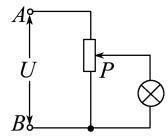


A. 接线柱 B　　B. 接线柱 C

C. 接线柱 D　　D. 以上都可以

B　**解析**：首先要明确小灯泡变亮了，这表明电路中的电流增大，滑动变阻器接入电路中的电阻值减小，长度变短，而滑动变阻器接入电路的电阻由下面的接线柱决定，只有 N 端接接线柱 C 才能满足题意，选项 B 正确。

2. 如图所示，A、B 间电压恒为 U，在滑动变阻器的滑片 P 逐渐向上端移动的过程中，灯泡上的电压　　(　　)



A. 一直为 U

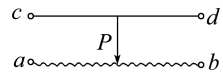
B. 一直为零

C. 逐渐增大到 U

D. 先由零逐渐增大到 U，再减小到零

C　**解析**：滑动变阻器为分压式接法，灯泡两端的电压在 $0\sim U$ 范围内变化，选项 C 正确。

3.(多选)如图所示，a、b、c、d 是滑动变阻器的四个接线柱，现把此滑动变阻器接成一个分压电路向一个小灯泡供电，并要求滑片 P 向 c 移动时，小灯泡两端电压减小。下列说法正确的是　　(　　)



A. a 接电源正极，b 接电源负极，c、d 接小灯泡两端

B. a 接电源正极，b 接电源负极，c、a 接小灯泡两端

C. a 接电源正极，b 接电源负极，d、b 接小灯泡两端

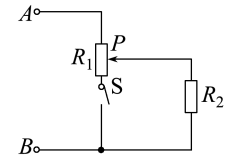
D. a 接电源正极，b 接电源负极，d、a 接小灯泡两端

BD　**解析**：分压电路的正确接法是“一上两下”，而且 a 与 b 需要接电源两极，可将 a 接电源正极，b 接电源负极，由于题目要求“滑片 P 向 c 移动时，小灯泡两端电压减小”，可知滑片 P 向 c 移动时，分压部分的电阻丝的长度减小，由题图可知 P 与 a 之间的电阻丝长度减小，所以需要 c、a 或 d、a 接小灯泡两端，故选 B、D。

4. 如图所示，滑动变阻器 R_1 的最大阻值是 200 Ω，$R_2=300$ Ω，A、B 两端电压 $U_{AB}=8$ V。

(1)当 S 断开时，移动滑片 P，R_2 两端可获得的电压变化范围是多少？

(2)当 S 闭合时，移动滑片 P，R_2 两端可获得的电压变化范围是多少？



解析：(1)当 S 断开时，滑动变阻器 R_1 为限流式接法，R_1 的下部不接入电路中，当滑片 P 在最上端时，R_1 接入电路的电阻为零，因此 R_2 获得的最大电压等于 8 V；当滑片 P 在最下端时，R_1 与 R_2 串联，此时 R_2 两端的电压最小，有 $U_{R2}=\dfrac{R_2}{R_1+R_2}U_{AB}=4.8$ V

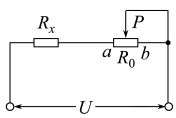
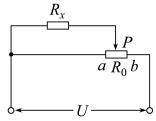
所以 R_2 两端可获得的电压变化范围为 4.8～8 V。

(2)当 S 闭合时，滑动变阻器 R_1 为分压式接法，当滑片 P 在最下端时，R_2 两端电压为零，当滑片 P 在最上端时，R_2 两端的电压最大，为 8 V，所以 R_2 两端可获得的电压变化范围为 0～8 V。

答案：(1)4.8～8 V　(2)0～8 V

任务总结

1.滑动变阻器的分压式和限流式接法

比较项目	限流接法	分压接法
电路示例		
滑动变阻器接线特点	“一上一下”	“一上两下”
滑动变阻器在电路中的作用	滑动滑片 P 时，R_{Pa} 变化，负载 R_x 中电流 $I=\dfrac{U}{R_{Pa}+R_x}$ 变化，其两端的电压 $U_x=\dfrac{UR_x}{R_{Pa}+R_x}$ 变化	滑动滑片 P 时，R_{Pa} 与 R_{Pb} 变化，负载 R_x 两端的电压发生变化
通过 R_x 的电流的变化范围	$\dfrac{U}{R_{Pa}+R_x}\sim\dfrac{U}{R_x}$	$0\sim\dfrac{U}{R_x}$
R_x 两端电压的变化范围	$\dfrac{UR_x}{R_{Pa}+R_x}\sim U$	$0\sim U$
电流、电压的变化范围比较	变化范围小	变化范围大

2.滑动变阻器两种接法的选择原则

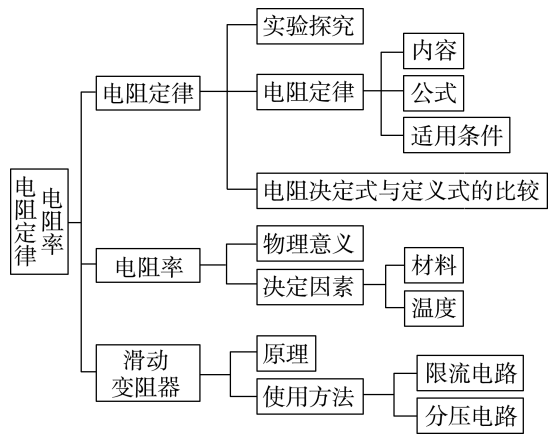
(1)要求用电器的电压从零开始并连续变化，必须选择分压式接法。

(2)题目所提供的实验仪器中电表量程或电阻的最大允许电流不够，则应选择分压式接法。

(3)当变阻器总阻值远小于待测电阻阻值时，应选择分压式接法；当变阻器总阻值比待测电阻阻值略大或相差不大时，优先采用限流式接法。

(4)两种电路均可使用的情况下，应优先采用限流式接法，因为限流式接法电路简单、能耗低。

提质归纳



课后素养评价(十二)

基础性·能力运用

知识点 1　导体的电阻

1.两段材料和质量都相同的均匀电阻丝，它们的长度之比为 $l_1:l_2=2:3$，则它们的电阻之比 $R_1:R_2$ 为（　　）

A. 2∶3　　B. 4∶9

C. 9∶4　　D. 3∶2

B　**解析**：材料和质量都相同的均匀电阻丝的体积是相同的，又因长度之比 $l_1:l_2=2:3$，故横截面积之比 $S_1:S_2=3:2$，则电阻之比为 $\dfrac{R_1}{R_2}=\dfrac{\rho\dfrac{l_1}{S_1}}{\rho\dfrac{l_2}{S_2}}=\dfrac{l_1}{l_2}\cdot\dfrac{S_2}{S_1}=\dfrac{2}{3}\times\dfrac{2}{3}=\dfrac{4}{9}$，故选 B。

2.两根同种材料制成的电阻丝 a 和 b，a 的长度和横截面的直径均为 b 的 2 倍，要使两电阻丝接入电路后消耗的电功率相等，加在它们两端的电压之比 $U_a:U_b$ 为（　　）

A. 1∶1　　B. 2∶1

C. $\sqrt{2}$∶1　　D. 1∶$\sqrt{2}$

D　**解析**：由公式 $R=\rho\dfrac{l}{S}$ 和 $P=\dfrac{U^2}{R}$ 得，$\dfrac{U_a}{U_b}=\sqrt{\dfrac{l_a}{l_b}\cdot\dfrac{S_b}{S_a}}=\sqrt{2\times\dfrac{1}{4}}=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$，故 D 正确。

知识点 2　对电阻率和其影响因素的理解

3.一只白炽灯泡正常发光时的电阻为 121 Ω，则这只灯泡停止发光一段时间后的电阻（　　）

A. 大于 121 Ω

B. 小于 121 Ω

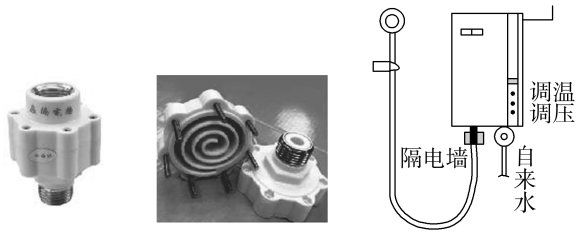
C. 等于 121 Ω

D. 无法判断

B　**解析**：由于金属灯丝的电阻率随温度的升高而增大，故白炽灯泡正常发光时的电阻大，停止发光一段时间后，灯丝温度降低，电阻减小，故选 B。

4.家用电热水器在使用时有漏电危险，当发生漏电时，

电流会经过水管中的水与人体相连，从而发生意外事故。“隔电墙”可以在一定程度上保护人体的安全，其装置如图(a)所示，其内部结构是一个螺旋状的绝缘管道，如图(b)所示，它实际上是将水管的水道变得更细更长，安装位置如图(c)所示。下列分析正确的是（　　）



(a)　　(b)　　(c)

A. 漏电时“隔电墙”能完全隔断电流

B. “隔电墙”是靠减小水流速度来减小电流，从而保护人体安全

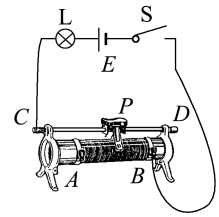
C. “隔电墙”是通过增加管道中水的电阻率来保护人体安全的

D. “隔电墙”是通过增加管道中水的电阻来减小电流，从而保护人体安全

D　**解析**：根据电阻定律 $R=\rho\frac{L}{S}$ 可知，水的电阻率不变，将水道变长、横截面积变小可增大电阻、减小电流，从而对人体起到保护作用，但不能完全隔断电流，故 A、B、C 错误，D 正确。

知识点 3　限流电路和分压电路

5.（多选）一同学将滑动变阻器与一个 6 V、6～8 W 的小灯泡 L 及开关 S 串联后接在 6 V 的电源 E 上，当 S 闭合时，发现小灯泡发光。按如图所示的接法，当滑动变阻器的滑片 P 向右滑动时，小灯泡将（　　）



A. 变暗

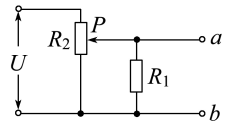
B. 变亮

C. 亮度不变

D. 不可能被烧坏

BD　**解析**：由题图可知，滑动变阻器接入电路的有效部分是 PB 段的电阻丝，当滑片 P 向右滑动时，接入电路中的电阻减小，小灯泡变亮，选项 B 正确；由于小灯泡的额定电压等于电源电压，所以小灯泡不可能被烧坏，选项 D 正确。

6.在如图所示的电路中，$U=24$ V，滑动变阻器 R_2 的最大阻值为 100 Ω，$R_1=50$ Ω。当滑片 P 滑至 R_2 的中点时，a、b 两端的电压约为（　　）



A. 8 V　　B. 12 V

C. 16 V　　D. 4 V

B　**解析**：由题图可知，滑片 P 滑至 R_2 的中点时，滑动变阻器下半部分电阻为 $R_{下}=5$ Ω，下半部分电阻与 R_1 并联后的阻值为 $R_{并}=\frac{R_1R_{下}}{R_1+R_{下}}\approx4.5$ Ω，则 a、b 两端的电压为 $U_{ab}=\frac{R_{并}}{R_{并}+R_{上}}U\approx11.4$ V，故 B 正确。

综合性·创新提升

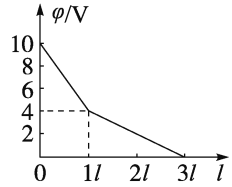
7.将截面均匀、长为 l、电阻为 R 的金属导线截去 $\frac{l}{n}$，将剩余部分再均匀拉长至 l，则剩余部分导线电阻变为（　　）

A. $\frac{(n-1)R}{n}$　　B. $\frac{R}{n}$

C. $\frac{nR}{n-1}$　　D. nR

C　**解析**：根据电阻决定式 $R=\rho\frac{l}{S}$，截去 $\frac{l}{n}$ 之后再拉长至 l，长度没有变化，横截面积变为原来的 $\frac{n-1}{n}$，则电阻变为 $R'=\rho\frac{l}{\frac{n-1}{n}S}=\frac{n}{n-1}\cdot\rho\frac{l}{S}=\frac{nR}{n-1}$，故选 C。

8.有两根材料相同的均匀导线 x 和 y，x 长为 l，y 长为 $2l$。把 x 和 y 串联在电路中，沿长度方向电势变化如图所示，则 x、y 导线的横截面积之比为（　　）



A. 2∶3　　B. 1∶3

C. 1∶2　　D. 3∶1

B　**解析**：由电势的变化图像可知，导线 x 两端的电势差为 6 V，导线 y 两端的电势差为 4 V，又因为它们串联在电路中，故它们的电阻之比为 6∶4=3∶2。由 $R=\rho\frac{l}{S}$ 可得，$3:2=\frac{l}{S_x}:\frac{2l}{S_y}$，解得 $S_x:S_y=1:3$，故 B 正确。

9.有一根粗细均匀的电阻丝，当在其两端加上 2 V 电压时通过它的电流为 4 A。现将电阻丝均匀地拉长，然后在其两端加上 2 V 电压，这时通过它的电流变为 0.25 A。由此可知，这根电阻丝已被均匀地

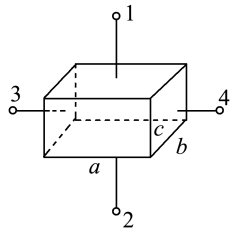
拉长为原长的　　（　　）

A. 2 倍　　B. 4 倍

C. 8 倍　　D. 16 倍

B　**解析**：电阻丝拉长前的电阻 $R_1=\frac{U_1}{I_1}=\frac{2}{4}\ \Omega=0.5\ \Omega$，电阻丝拉长后的电阻 $R_2=\frac{U_2}{I_2}=\frac{2}{0.25}\ \Omega=8\ \Omega$；根据 $R=\rho\frac{l}{S}$，且体积 $V=lS$ 不变，则 $R=\rho\frac{l^2}{V}$，电阻变为原来的 16 倍，则电阻丝的长度变为原来的 4 倍，故 B 正确，A、C、D 错误。

10. 如图所示，某一导体的形状为长方体，其长、宽、高之比为 $a:b:c=3:2:1$。在此长方体的上、下、左、右四个面上分别通过导线引出四个接线柱 1、2、3、4。在 1、2 两端加上恒定电压，导体的电阻为 R_1；在 3、4 两端加上恒定电压，导体的电阻为 R_2，则 $R_1:R_2$ 为　　（　　）

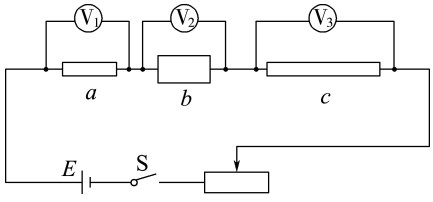


A. 1∶1　　B. 1∶9

C. 4∶9　　D. 1∶4

B　**解析**：根据 $R=\rho\frac{l}{S}$ 可知，当在 1、2 两端加上恒定电压时阻值为 $R_1=\rho\frac{c}{ab}$，当在 3、4 两端加上恒定电压时阻值为 $R_2=\rho\frac{a}{bc}$，可得 $\frac{R_1}{R_2}=\frac{c^2}{a^2}=\frac{1}{9}$，故 B 正确，A、C、D 错误。

11. 如图所示，a、b、c 为不同材料做成的电阻。b 与 a 的长度相等，横截面积是 a 的两倍；c 与 a 的横截面积相等，长度是 a 的两倍。当开关 S 闭合后，三个理想电压表的示数关系是 $U_1:U_2:U_3=1:1:2$。关于这三种材料的电阻率 ρ_a、ρ_b、ρ_c，下列说法正确的是　　（　　）



A. ρ_a 是 ρ_b 的 2 倍

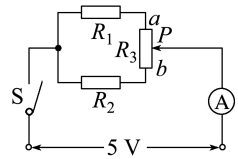
B. ρ_a 是 ρ_c 的 2 倍

C. ρ_b 是 ρ_c 的 2 倍

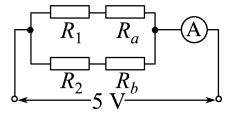
D. ρ_c 是 ρ_a 的 2 倍

C　**解析**：设 a 的长度为 l，横截面积为 S，因为 $R=\frac{U}{I}$，而 $R=\rho\frac{l}{S}$，所以 $\frac{R_a}{R_b}=\frac{U_1}{U_2}$，即 $\frac{\rho_a\frac{l}{S}}{\rho_b\frac{l}{2S}}=1$，则 $\rho_b=2\rho_a$，故选项 A 错误；同理 $\frac{R_a}{R_c}=\frac{U_1}{U_3}=\frac{1}{2}$，所以 $\frac{\rho_a\frac{l}{S}}{\rho_c\frac{2l}{S}}=\frac{1}{2}$，则 $\rho_a=\rho_c$，故选项 B、D 错误；由上述可知 $\rho_b=2\rho_c$，故选项 C 正确。

12. 如图所示，$R_1=2\ \Omega$，$R_2=3\ \Omega$，滑动变阻器最大阻值 $R_3=5\ \Omega$。闭合开关 S，当滑片从 a 滑到 b 的过程中，电流表示数的最小值为多少？



解析：题图中 R_3 的上、下两部分可以当成两个电阻 R_a、R_b 来看待，电路图可简化成如图所示。



电路中 $R_{总}=\frac{(R_1+R_a)(R_2+R_b)}{R_1+R_a+R_2+R_b}$

由于 $R_a+R_b=R_3=5\ \Omega$，$R_1+R_a+R_2+R_b=10\ \Omega$，

可得 $R_{总}=\frac{-(R_a-3)^2+25}{10}\ \Omega$，当 $R_a=3\ \Omega$ 时，$R_{总}$ 有最大值 $R_{max}=2.5\ \Omega$，

故电流表示数的最小值为

$I_{min}=\frac{U}{R_{max}}=2\ \text{A}$。

答案：2 A

4　实验:测量金属的电阻率

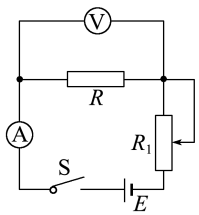
学习任务目标

1.掌握游标卡尺和螺旋测微器的使用方法和读数方法。(科学思维)
2.进一步培养用伏安法测电阻的电路的设计思想,会根据不同情况设计电路图。(科学思维)
3.掌握测定金属电阻率的实验原理、实验过程及数据处理方法。(科学探究)

问题式预习

「实验思路」

在测量金属丝电阻率的实验过程中:
(1)把金属丝接入电路中,用伏安法测金属丝的电阻 $R\left(R=\frac{U}{I}\right)$。电路原理图如图所示。

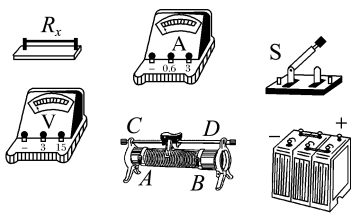


(2)用毫米刻度尺测出金属丝的长度 l,用螺旋测微器测出金属丝的直径 d,算出横截面积 $S\left(S=\frac{\pi d^2}{4}\right)$。

(3)由电阻定律 $R=\rho\frac{l}{S}$,得 $\rho=\frac{RS}{l}=\frac{\pi d^2R}{4l}=\frac{\pi d^2U}{4lI}$,求出电阻率。

「实验器材」

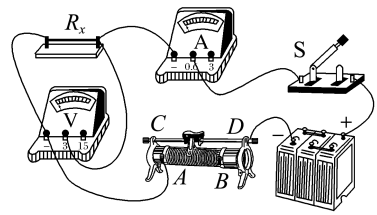
1.利用图甲所示的器材(其中电流表的内阻为 1 Ω,电压表的内阻为 5 kΩ)测量一根粗细均匀的阻值约为 5 Ω 的金属丝的电阻率。



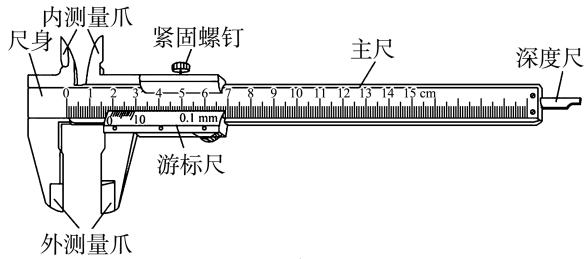
甲

用笔画线代替导线,将图中的器材连接成实物电路,要求连线尽量避免交叉,电流表、电压表选择合适的量程(已知电源电压为 6 V,滑动变阻器的阻值为 0～20 Ω)。

提示:由于金属丝的电阻比电压表的内阻小得多,因此采用电流表外接法;由于金属丝的电阻比滑动变阻器的总电阻要小,因此采用限流式接法,为了保证滑动变阻器起限流作用,滑动变阻器应该连接“$A(B)$、C”或“$A(B)$、D”两个接线柱;具体连线如图所示。



2.测量工具
(1)游标卡尺的测量原理

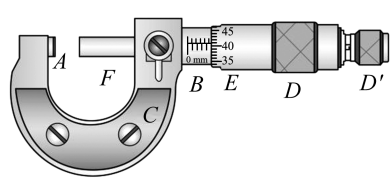


乙

①用途:测量厚度、长度、深度、内径、外径。
②原理:利用主尺的最小分度与游标尺的最小分度的差值制成。不管游标尺上有多少个小等分刻度,它的刻度部分的总长度都比主尺上的同样数量的小等分刻度少 1mm。常见的游标卡尺的游标尺上的小等分刻度有 10 分度、20 分度、50 分度,请完成下表:

刻度格数(分度)	刻度总长度	每小格与 1 mm 的差值	精确度(可准确到)
10	9 mm	0.1mm	0.1mm
20	19 mm	0.05mm	0.05mm
50	49 mm	0.02mm	0.02mm

(2)螺旋测微器的测量原理



螺旋测微器的固定刻度 B 的螺距为 0.5mm,即旋

钮 D 每旋转一周，F 前进或后退 0.5mm，而可动刻度 E 上的刻度为 50 等份，每转动一小格，F 前进或后退 0.01mm，即螺旋测微器的精确度为 0.01mm。读数时估读到毫米的千分位上，因此，螺旋测微器又叫千分尺。

任务型课堂

「原型实验」

1. 现在要测量一段电阻丝的电阻率 ρ，其阻值 R_x 约为 0.5 Ω，允许通过的最大电流为 0.5 A。现有如下器材可供选择：

电流表 A（量程 0～0.6 A，内阻约为 0.6 Ω）；

电压表 V（量程 0～3 V，内阻约为 3 kΩ）；

待测电阻丝 R_x（阻值约为 0.5 Ω）；

标准电阻 R_0（阻值 5 Ω）；

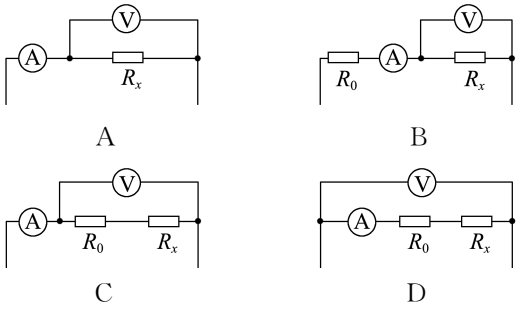
滑动变阻器 R_1（0～5 Ω，2 A）；

滑动变阻器 R_2（0～200 Ω，1.5 A）；

直流电源 E（输出电压为 6 V）；

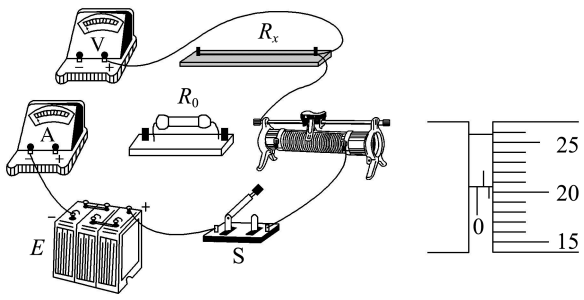
开关 S、导线若干。

(1) 下图为四位同学分别设计的测量电路的一部分，你认为合理的是_____（选填字母）。



(2) 实验中滑动变阻器应该选择_____（选填“R_1”或“R_2”），并采用_____接法。

(3) 根据你在(1)(2)中的选择，在图甲中完成实验电路的连接。



甲　　乙

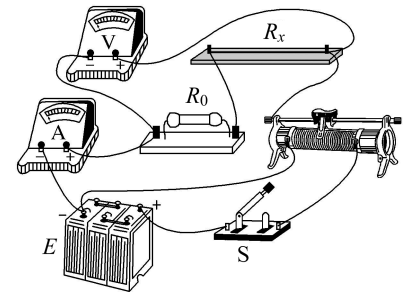
(4) 实验中，如果两电表的示数分别为 U 和 I，测得拉直后电阻丝的长度为 L、直径为 D，则待测电阻丝的电阻率 ρ 的计算式为 $\rho=$_____。

(5) 用螺旋测微器测量待测电阻丝的直径时读数如图乙所示，则该电阻丝的直径 $D=$_____。

解析：(1) 电阻 R_x 两端的最大电压 $U=IR_x=0.25$ V，不到电压表量程的 $\frac{1}{10}$，需要在待测电阻 R_x 两端串联分压电阻，即串联标准电阻 R_0，此时 $R_0+R_x<\sqrt{R_AR_V}$，电流表应采用外接法，选项 C 正确。

(2) 滑动变阻器若选用 R_2 并采用限流式接法，调控范围小，操作不便，因而选择 R_1，并采用分压式接法。

(3) 根据测量电路图和滑动变阻器的分压式接法，实物连线如图所示。



(4) 待测电阻 $R_x=\frac{U}{I}-R_0$。

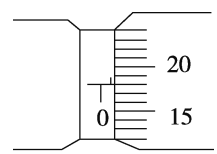
由电阻定律有 $R_x=\frac{\rho L}{S}=\frac{\rho L}{\frac{\pi D^2}{4}}$，

联立解得 $\rho=\frac{\pi D^2}{4L}\left(\frac{U}{I}-R_0\right)$。

(5) 螺旋测微器的读数为 1 mm+0.01×20.5 mm=1.205 mm。

答案：(1)C　(2)R_1　分压式　(3)见解析图　(4)$\frac{\pi D^2}{4L}\left(\frac{U}{I}-R_0\right)$　(5)1.205(±0.002) mm

2. 在“测量金属丝的电阻率”的实验中，用螺旋测微器测量金属丝直径时的刻度位置如图甲所示，用刻度尺测出金属丝的长度 l，金属丝的电阻大约为 5 Ω，先用伏安法测出金属丝的电阻 R，然后计算出该金属丝材料的电阻率。



甲

(1) 从图甲中读出金属丝的直径为_____mm。

(2) 已知有两节新的干电池（每节干电池电压约为 1.5 V）、开关和若干导线及下列器材：

A. 电压表（0～3 V，内阻 10 kΩ）；

B. 电压表（0～15 V，内阻 50 kΩ）；

C. 电流表（0～0.6 A，内阻 0.05 Ω）；

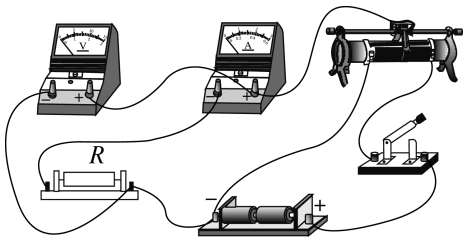
D. 电流表（0～3 A，内阻 0.01 Ω）；

E. 滑动变阻器（0～10 Ω）；

F. 滑动变阻器（0～100 Ω）。

①为较准确地测出金属丝的阻值，电压表应选____，电流表应选____，滑动变阻器应选____。（均选填序号）

②实验中实物电路如图乙所示，请指出该同学实物接线中的两处明显错误。



乙

错误1：_____。

错误2：_____。

解析：(1)螺旋测微器的读数为

0.5 mm+0.01×18.0 mm=0.680 mm。

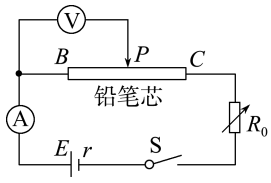
(2)①两节干电池串联后的总电压约为3 V，因此电压表应选A；根据欧姆定律可知，最大电流约为$I=\frac{E}{R}=\frac{3}{5}$ A=0.6 A，故电流表应选C；电阻大的滑动变阻器调节时电阻变化大，操作不方便，故为便于调节电路，应选阻值小的滑动变阻器E。

②错误1：导线连接在滑动变阻器的滑片上。

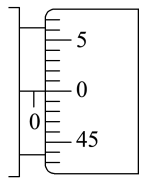
错误2：由于$R<\sqrt{R_A R_V}$，电流表应采用外接法，采用电流表内接法误差较大。

答案：(1)0.680　(2)①A　C　E　②导线连接在滑动变阻器的滑片上　采用了电流表内接法

3.(2026·湖北卷)在测量铅笔芯电阻率的实验中，实验器材有：待测圆柱形铅笔芯、电压表V、电流表A、电阻箱R_0、干电池、刻度尺、螺旋测微器、开关S、滑片P及导线等。实验电路图如图甲所示，B、C为铅笔芯的两端，滑片P可在B、C间左右滑动。



甲

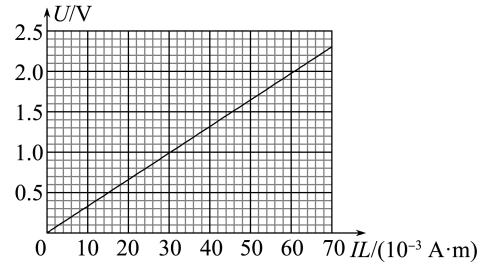


乙

(1)用螺旋测微器测量铅笔芯的直径d，其示数如图乙所示，可知d=_____mm。

(2)适当选择电阻箱R_0的阻值，移动滑片P到某位置，测量B、P间的长度L，闭合开关S，记录电压表的示数U、电流表的示数I，则该铅笔芯电阻率的表达式为ρ=_____（用U、I、d和L表示）。

(3)多次改变滑片P的位置，记录对应的L、U、I，由实验数据绘制出的U-IL图像如图丙所示。由此可得该铅笔芯的电阻率ρ=_____Ω·m(π取3.14，保留两位有效数字)。



丙

(4)干电池使用一段时间后，其内阻增大，对铅笔芯电阻率的测量结果_____（选填“有”或“无”）影响。

解析：(1)螺旋测微器的精度为0.01 mm，其读数为0.5 mm+0.0×0.01 mm=0.500 mm。

(2)根据$R=\frac{U}{I}=\rho\cdot\frac{L}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}$，得$\rho=\frac{U\pi d^2}{4IL}$。

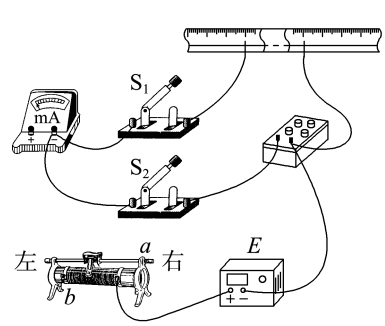
(3)由$\rho=\frac{U\pi d^2}{4IL}$，得$U=\frac{4\rho}{\pi d^2}\cdot IL$，则$U$-$IL$图像的斜率$k=\frac{2.30-0}{(70.0-0)\times10^{-3}}$ V/A·m=$\frac{4\rho}{\pi d^2}$，代入数据解得$\rho\approx6.4\times10^{-6}$ Ω·m。

(4)干电池使用一段时间后，其内阻增大，但根据该实验的原理可知，电源内阻的改变与铅笔芯电阻率的测量无关，故对电阻率的测量结果无影响。

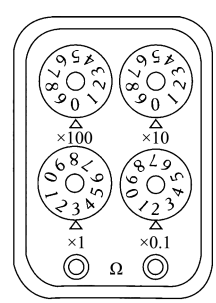
答案：(1)0.500　(2)$\frac{U\pi d^2}{4IL}$　(3)6.4×10^{-6}　(4)无

「创新实验」

4.(2025·四川卷)某学生实验小组要测量一段合金丝的电阻率。所用实验器材有：待测合金丝样品(长度约1 m)，螺旋测微器，学生电源E(电动势为0.4 V，内阻未知)，刻度尺，滑动变阻器(最大阻值为20 Ω)，电阻箱(阻值范围为0～999.9 Ω)，电流表(量程为0～30 mA，内阻较小)，开关S_1、S_2，导线若干。



甲



乙

(1)将待测合金丝样品绷直固定于刻度尺上，把金属夹分别夹在样品20.00 cm和70.00 cm位置，用

螺旋测微器测量两金属夹之间样品三个不同位置的横截面直径，读数分别为 0.499 mm、0.498 mm 和 0.503 mm，则该样品横截面直径的平均值为 _____ mm。

(2)该小组采用限流电路，则图甲中电流表的“+”接线柱应与滑动变阻器的 _____（选填“a”或“b”）接线柱相连。闭合开关前，滑动变阻器的滑片应置于最 _____（选填“左”或“右”）端。

(3)断开 S_2、闭合 S_1，调节滑动变阻器使电流表指针恰好指到 15.0 mA 刻度处；断开 S_1、闭合 S_2，保持滑动变阻器滑片位置不变，旋转电阻箱旋钮，使电流表指针仍指到 15.0 mA 处，此时电阻箱面板如图乙所示，则该合金丝的电阻率为 _____ Ω·m。（取 $\pi=3.14$，结果保留两位有效数字）

(4)（多选）为减小实验误差，可采用的做法有 ____。

A. 换用内阻更小的电源

B. 换用内阻更小的电流表

C. 换用阻值范围为 0～99.99 Ω 的电阻箱

D. 多次测量该合金丝不同区域等长度样品的电阻率，再求平均值

解析：(1)该样品横截面直径的平均值为 $\overline{d}=\frac{0.499+0.498+0.503}{3}$ mm=0.500 mm。

(2)由于滑动变阻器采用限流式接法，应将其串联接在电路中，根据“一上一下”原则，即电流表的“+”接线柱应与滑动变阻器的 a 接线柱相连。为了保护电路，闭合开关前，滑动变阻器的滑片应置于最大阻值处，即最左端。

(3)保持滑动变阻器滑片位置不变，两次操作均使电流表指针指到 15.0 mA 处，说明合金丝的电阻等于电阻箱的接入电阻，根据题图乙，电阻箱的接入电阻 $R=0\times100\ \Omega+0\times10\ \Omega+3\times1\ \Omega+2\times0.1\ \Omega=3.2\ \Omega$，因此合金丝的接入电阻为 $R_x=3.2\ \Omega$，合金丝接入电路中的长度 $l=70.00\ \text{cm}-20.00\ \text{cm}=50.00\ \text{cm}$，根据电阻定律 $R_x=\rho\frac{l}{S}=\frac{\rho l}{\frac{\pi\overline{d}^2}{4}}=\frac{4\rho l}{\pi\overline{d}^2}$，电阻率 $\rho=\frac{\pi\overline{d}^2R_x}{4l}=\frac{3.14\times(0.500\times10^{-3})^2\times3.2}{4\times0.500}\ \Omega\cdot\text{m}\approx1.3\times10^{-6}\ \Omega\cdot\text{m}$。

(4)根据电阻率的表达式 $\rho=\frac{\pi\overline{d}^2R_x}{4l}$ 可知，为了减小实验误差，可减小测合金丝电阻时的误差，即选择精度更高的电阻箱，如换用阻值范围为 0～99.99 Ω 的电阻箱，或多次测量该合金丝不同区域等长度样品的电阻率，再求平均值。综上分析，A、B 错误，C、D 正确。

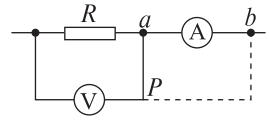
答案：(1)0.500　(2)a　左　(3)1.3×10^{-6}　(4)CD

［特别提醒］

1.用伏安法测电阻时电流表连接方式的选择

(1)公式计算法：当 $R_x>\sqrt{R_AR_V}$（即 R_x 为大电阻）时，用电流表内接法；当 $R_x<\sqrt{R_AR_V}$（即 R_x 为小电阻）时，用电流表外接法；当 $R_x=\sqrt{R_AR_V}$ 时，内、外接法均可。其中 R_x、R_A、R_V 分别是待测电阻、电流表内阻和电压表内阻。

(2)试触法：如图所示，让电压表的一根接线柱 P 先后与 a、b 处接触一下，如果电压表的示数有较大的变化，而电流表的示数变化不大，则可采用电流表外接法；如果电流表的示数有较大的变化，而电压表的示数变化不大，则可采用电流表内接法。



2.电流表内接法与外接法的比较

比较内容	电流表内接法	电流表外接法
误差分析	电压表示数 $U_V=U_R+U_A>U_R$ 电流表示数 $I_A=I_R$ $R_{测}=\frac{U_V}{I_A}>\frac{U_R}{I_R}=R_{真}$	电压表示数 $U_V=U_R$ 电流表示数 $I_A=I_R+I_V>I_R$ $R_{测}=\frac{U_V}{I_A}<\frac{U_R}{I_R}=R_{真}$
误差来源	电流表的分压作用	电压表的分流作用
口诀	大内偏大，即大电阻采用电流表内接法，测量结果偏大	小外偏小，即小电阻采用电流表外接法，测量结果偏小

3.数据分析

(1)求 R_x 平均值的两种方法

①第一种是用 $R_x=\frac{U}{I}$ 算出各次的数值，再取平均值。

②第二种是利用 U-I 图线的斜率求出。

(2)计算电阻率

将记录的数据 U、I、d、l 的值代入电阻率计算公式 $\rho=R\frac{S}{l}=\frac{\pi d^2R}{4l}$。

课后素养评价(十三)

基础性·能力运用

知识点 1　实验思路及操作

1.(多选)在“测量金属丝的电阻率”的实验中,下列关于误差的说法正确的是　(　　)

A. 电流表采用外接法,将会使 $\rho_{测}>\rho_{真}$

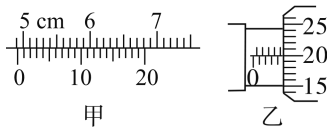
B. 电流表采用外接法,由于电压表的并联引起了金属丝分压的减小,从而引起测量误差

C. 由 $\rho=\frac{\pi d^2U}{4Il}$ 可知 I、d、U、l 中每一个物理量的测量都会引起 ρ 的测量误差

D. 由 $\rho=\frac{\pi d^2U}{4Il}$ 可知对实验结果准确性影响最大的是直径 d 的测量

CD　**解析**:由于金属丝阻值较小,若电流表采用内接法,电流表分压产生的误差太大,则电流表采用外接法,电压表与金属丝并联后,使 $R_{测}<R_{真}$,由 $R=\rho\frac{l}{S}$ 可知 $\rho_{测}<\rho_{真}$,A 说法错误;电流表采用外接法时,由于电压表的分流作用使得电流表示数与通过金属丝的电流不一致,会引起系统误差,B 说法错误;由 $\rho=\frac{\pi d^2U}{4Il}$ 可知,要测量的物理量是 d、U、I 和 l,都会引起测量误差,且直径 d 在公式中是平方关系,所以影响最大,C、D 说法正确。

2.某同学在测量一均匀新材料制成的圆柱体的电阻率 ρ 时:



甲　　乙

(1)用 20 分度的游标卡尺测量其长度,如图甲所示,由图可知其长度为_____cm。

(2)用螺旋测微器测量其直径,如图乙所示,由图可知其直径为_____mm。

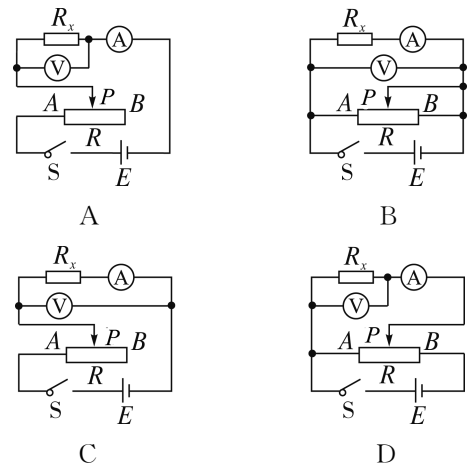
解析:(1)从题图甲可看出,主尺读数为 49 mm,游标尺的第 3 条刻度线和主尺上的一刻线重合,则圆柱体的长度应为 49 mm+0.05×3 mm=49.15 mm=4.915 cm。

(2)由题图乙可看出,螺旋测微器的固定刻度为 4.5 mm,可动刻度读数部分为 20.0×0.01 mm=0.200 mm,故圆柱体的直径为 4.5 mm+0.200 mm=4.700 mm。

答案:(1)4.915　(2)4.700

知识点 2　数据处理及误差分析

3.在“测量金属丝的电阻率”的实验中,为了减小实验误差,并要求在实验中获得较大的电压调节范围,在测量其电阻时应选择的电路是　(　　)

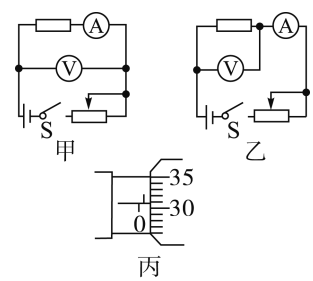


A　　B

C　　D

D　**解析**:由于金属丝阻值较小,在用伏安法测电阻时应用电流表外接法;实验中要求有较大的电压调节范围,所以滑动变阻器应用分压式接法,故 D 正确。

4.在“测量金属丝的电阻率”的实验中,提供的电源是一节内阻可不计的干电池,被测金属丝的直径小于 1 mm、长度约为 80 cm、阻值约为 3 Ω,使用的电压表有 0～3 V(内阻约为 3 kΩ)和 0～15 V(内阻约为15 kΩ)两个量程,电流表有 0～0.6 A(内阻约为 0.1 Ω)和 0～3 A(内阻约为 0.02 Ω)两个量程,供限流用的滑动变阻器有 a(0～10 Ω)、b(0～100 Ω)、c(0～1 500 Ω) 三种,可供选择的实验电路有如图所示的甲、乙两种,用螺旋测微器测金属丝的直径时如图丙所示。



甲　　乙

丙

(1)螺旋测微器的示数是_____mm。

(2)为减小电阻的测量误差,应选用图_____所示的电路。

(3)为了便于调节,应选用编号为_____的滑动变阻器。

(4)电压表的量程应选用_____V。

(5)电流表的量程应选用_____A。

解析:(1)固定刻度上的读数为 0.5 mm,可动刻度上的读数为 30.7,所以螺旋测微器的示数为 0.5 mm+30.7×0.01 mm=0.807 mm。

(2)由于金属丝的电阻是小电阻,所以应采取电流表外接法,即选用题图乙所示的电路。

(3)由于实验所用电源是一节干电池,其电动势 $E=1.5$ V,且待测电阻丝的阻值约为 3 Ω,所以用编号为 a 的滑动变阻器作限流电阻,才能使电路中的电流有明显变化。

(4)加在电压表两端的电压不超过 1.5 V,所以电压表的量程应选用 0～3 V。

(5)当滑动变阻器连入电路的电阻为零时,电路中的电流最大,$I_{max}=\frac{1.5}{3}$ A=0.5 A,所以电流表的量程应选用 0～0.6 A。

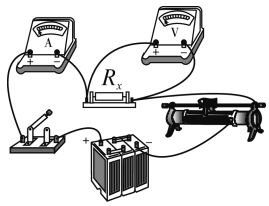
答案:(1)0.807(0.806 或 0.808 也可以)

(2)乙

(3)a　(4)0～3　(5)0～0.6

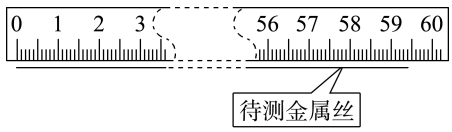
综合性·创新提升

5.在用伏安法测量电阻阻值 R_x,并求出电阻率 ρ 的实验中,某同学所用实验电路如图甲所示,给定实验器材有电压表、电流表、滑动变阻器、电源、开关、待测电阻及导线若干。

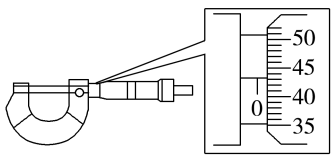


甲

(1)待测电阻是一根由均匀材料制成的金属丝(横截面为圆形),用刻度尺测量其长度,用螺旋测微器测量其直径,结果分别如图乙、丙所示。



乙



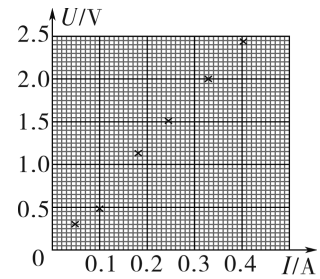
丙

由图乙、丙可知其长度 l 为_____cm,直径 d 为_____mm。

(2)闭合开关后,发现电流表示数为零,电压表示数与电源电压相同,则发生故障的是_____(选填"待测金属丝""滑动变阻器"或"开关")。

(3)对照电路的实物连接图,请在虚线框内画出正确的电路图。

(4)图丁中的 6 个点表示实验中测得的 6 组电流 I、电压 U 的值,请在图中作出 U-I 图线。



丁

(5)求出的电阻值 R_x=_____Ω。(结果保留三位有效数字)

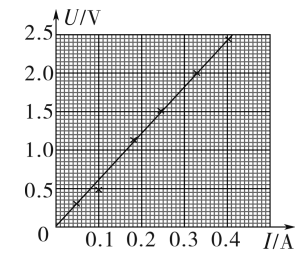
(6)请根据以上测得的物理量写出电阻率的表达式 ρ=_____。

解析:(1)刻度尺的读数为 59.40 cm,螺旋测微器的读数为 0+43.4×0.01 mm=0.434 mm。

(2)电流表示数为零,说明电路中出现断路,电压表示数与电源电动势相同,说明待测金属丝发生断路。

(3)电路图见答案图。

(4)作 U-I 图线,舍去左起第 2 点,其余 5 个点尽量靠近直线且均匀分布在直线两侧,如图所示。



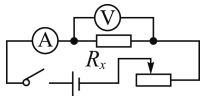
(5)在图线上取一特殊点,读出 U、I 值,则

$R_x=\frac{U}{I}=\frac{2.0}{0.33}$ Ω≈6.06 Ω。

(6)由 $\rho=R_x\frac{S}{l}$ 和 $S=\frac{\pi d^2}{4}$ 得 $\rho=\frac{\pi d^2 R_x}{4l}$。

答案：(1)59.40　0.434(0.433 或 0.435 均对)

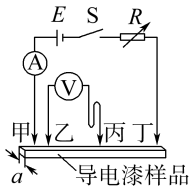
(2)待测金属丝　(3)如图所示



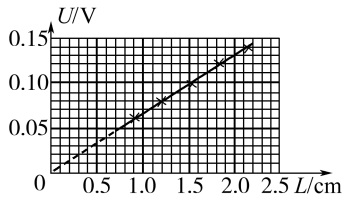
(4)见解析图

(5)6.06(5.87～6.25 均对)　(6)$\frac{\pi d^2 R_x}{4l}$

6.(2023·辽宁卷)导电漆是将金属粉末添加于特定树脂原料中制作而成的能导电的喷涂油漆。现有一根用导电漆制成的截面为正方形的细长样品(固态)，某同学欲测量其电阻率，设计了如图(a)所示的电路图，实验步骤如下：



(a)



(b)

a. 测得样品截面的边长为 $a=0.20$ cm；

b. 将平行排列的四根金属探针甲、乙、丙、丁与样品接触，其中甲、乙、丁位置固定，丙可在乙、丁间左右移动；

c. 将丙调节至某位置，测量丙和某探针之间的距离 L；

d. 闭合开关 S，调节电阻箱 R 的阻值，使电流表示数为 $I=0.40$ A，读出相应的电压表示数 U，断开开关 S；

e. 改变丙的位置，重复步骤 c、d，测量多组 L 和 U，作出 U-L 图像如图(b)所示，得到直线的斜率为 k。

回答下列问题：

(1)L 是丙到_____(选填“甲”“乙”或“丁”)的距离。

(2)电阻率的表达式 $\rho=$_____(用 k、a、I 表示)。

(3)根据图像计算出该样品的电阻率 $\rho=$_____ Ω·m。(保留两位有效数字)

解析：(1)由于电压表测量的是乙、丙之间的电压，则 L 是丙到乙的距离。

(2)由 $R=\rho\frac{L}{a^2}$

再根据欧姆定律 $R=\frac{U}{I}$

联立有 $U=\frac{\rho I}{a^2}L$，则 $\rho=\frac{ka^2}{I}$。

(3)根据题图(b)可知 $k=6.5$ V/m

则根据(2)代入数据有 $\rho=6.5\times10^{-5}$ Ω·m。

答案：(1)乙　(2)$\frac{ka^2}{I}$　(3)6.5×10^{-5}

5　实验:描绘 I-U 特性曲线

学习任务目标

1.会根据伏安法设计实验电路。(科学探究)
2.会描绘小灯泡的 I-U 特性图线并进行分析。(科学思维)

问题式预习

「实验思路」

测量多组某电学元件两端的电压 U 及通过它的电流 I 的值,把这些数值记录在以电压 U 为横轴、以电流 I 为纵轴的坐标系上,并把这些数据点连接成一条线,即为该元件的 I-U 特性曲线,这是研究元件电学特性的一种重要方法。

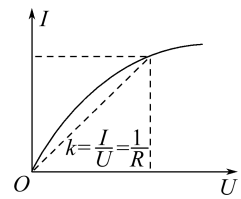
「原理启示」

1.通过实验描绘 I-U 曲线

用电流表测出流过小灯泡的电流,用电压表测出小灯泡两端的电压,测出多组(U,I)值,在 I-U 坐标系中描出各对应点,用一条平滑的曲线将这些点连起来。

2.I-U 曲线的特征

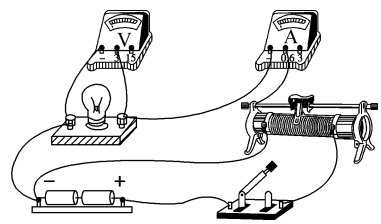
随着电流的增大,小灯泡的功率也增大,温度升高,灯丝电阻增大,所以灯丝电阻并不是一个定值,电流与电压成正比在此时并不适用。由于电流越大,灯丝电阻越大,它的伏安特性曲线(I-U 图线)并不是一条直线,如图所示。



在该曲线上,任意一点与原点连线的斜率表示该点电阻的倒数,斜率越小,电阻越大。

「实验器材」

设计如图所示的实物电路图,请根据实验需要列出该实验所需实验器材。

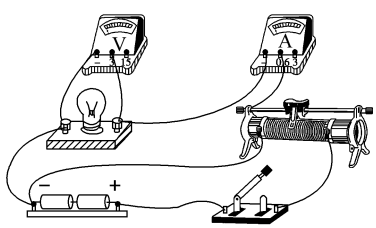


提示:干电池、滑动变阻器、小灯泡、电流表、电压表、开关以及导线若干。

任务型课堂

「原型实验」

1.图甲为"描绘小灯泡的伏安特性曲线"实验的实物电路图,已知小灯泡额定电压为 3 V。



甲

(1)在方框中画出与实物电路相对应的电路图。

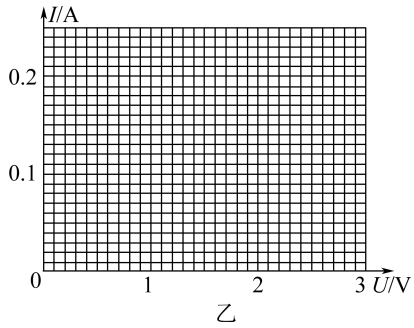
(2)完成下列实验步骤

①闭合开关前,调节滑动变阻器的滑片,滑片应停留在滑动变阻器_____(选填"左"或"右")端。

②闭合开关后,逐渐移动变阻器的滑片,增加小灯泡两端的电压,记录电流表和电压表的多组示数,直至电压达到额定电压。

③断开开关,整理好实验器材。根据下表中的实验数据在图乙中作出小灯泡的伏安特性曲线。

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
U/V	0.20	0.60	1.00	1.40	1.80	2.20	2.60	3.00
I/A	0.020	0.060	0.100	0.140	0.170	0.190	0.200	0.205
灯泡发光情况	不亮	微亮	逐渐变亮				正常发光	



乙

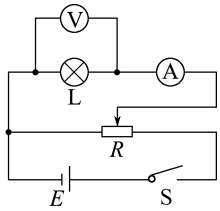
(3)数据分析

①从图线的规律可以得出，当电压逐渐增大时，灯丝电阻的变化情况是_____。

②可以得出结论：导体的电阻随温度升高而_____。

③小灯泡正常工作时的电阻约为_____(结果保留三位有效数字)。

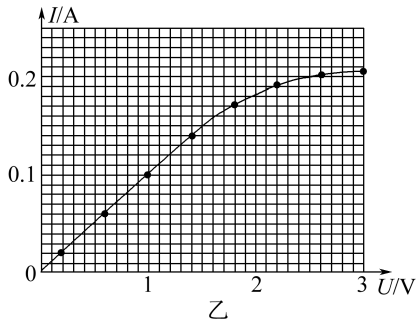
解析：(1)由实物电路图知滑动变阻器采用分压式接法，电流表采用外接法。电路图如图甲所示。



甲

(2)①为保护电路安全，开关闭合之前，图中滑动变阻器的滑片应该置于左端。

③根据表格中的数据，画出小灯泡的 I-U 图线如图乙所示。



乙

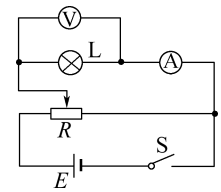
(3)①从图线上可以得出，当电压逐渐增大时，灯丝电阻的变化情况是先不变，后逐渐增大。

②由以上分析得出结论：导体的电阻随温度升高而增大。

③根据 I-U 图线可知，当灯泡两端电压 $U=3$ V 时，$I=0.205$ A，所以小灯泡正常工作时的电阻约为 $R=\frac{3}{0.205}\ \Omega\approx14.6\ \Omega$。

答案：(1)见解析图甲　(2)①左　③见解析图乙　(3)①先不变，后逐渐增大　②增大　③14.6

2.以下是“描绘小灯泡的伏安特性曲线”实验的操作步骤：



A. 闭合开关，记下电流表、电压表的一组示数(I，U)，移动滑动变阻器的滑动触头，每移动一次记下一组(I，U)值，共测出 12 组数据；

B. 将电流表、电压表、滑动变阻器、小灯泡、电源、开关正确连接成电路，电流表外接，滑动变阻器采用分压式，如图所示；

C. 调节触头位置，使闭合开关前触头处于滑动变阻器的左端；

D. 按所测数据，在坐标纸上描点并将各点用直线段连接起来，得出小灯泡的伏安特性曲线。

(1)以上各步骤中存在错误或不妥之处的是_____(选填字母)，应如何改正？_____

_____。

(2)将各步骤纠正后，按实验先后顺序排列：_____。

解析：错误或不妥的步骤是 ACD。A 步骤：测量不同电压下的电流值 I 时，应先预设各组数据中的电压 U 或电流 I 的值，而不是随意测，随意测时会使描点疏密不均匀，画图线时出现较大误差，甚至无法画出 I-U 图线。C 步骤：闭合开关前应使小灯泡两端电压为零，即触头应置于滑动变阻器的最右端。D 步骤：应将各点用平滑的曲线连接。

答案：(1)见解析　(2)BCAD

思考

①在实验过程中，实物连线的顺序如何？

②滑动变阻器采用哪种连接方式？

提示：①实验连线时，应先从电源的正极出发，依次将电源、开关、电流表、待测小灯泡、滑动变阻器连成主干线路，然后再把电压表并联在待测金属导线的两端。

②本实验要测出多组包括零在内的电压值、电流值，因此滑动变阻器应采用分压式接法。

3.某同学为研究小灯泡的电阻特性，实验室提供了以下的器材：

两节新的干电池；

小灯泡 L(3.8 V　0.5 A)；

电流表 A_1(量程 0～600 mA，内阻约 0.5 Ω)；

电流表 A_2(量程 0～1.5 A，内阻约 0.5 Ω)；

电压表 V(量程 0～5 V，内阻约 5 kΩ)；

滑动变阻器 R_1(最大阻值约为 500 Ω)；

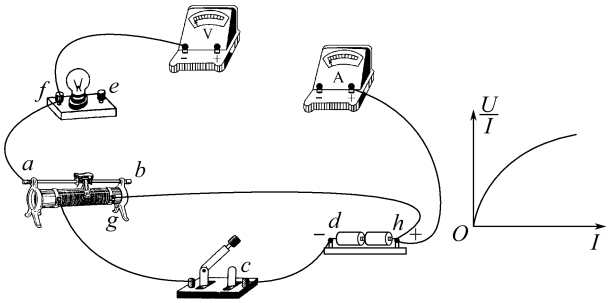
滑动变阻器 R_2(最大阻值约为 10 Ω)；

开关 S、导线若干。

(1)电流表应选用_____(选填“A_1”或“A_2”)，实

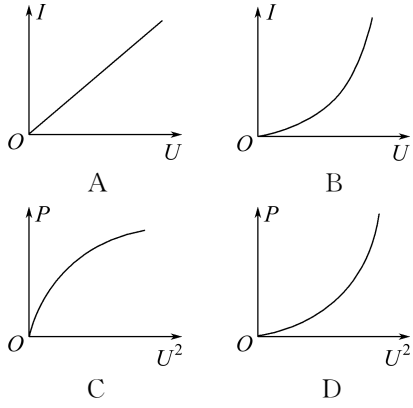
验要求电压表示数从零调起，滑动变阻器选用_____（选填“R_1”或“R_2”）。

(2)根据选用的器材连接电路，实验电路已连接了一部分，请用笔画线将图甲电路连接完整。实验电路连接好后，经检查各部分接触良好，闭合开关前，滑动变阻器的滑片应移到最_____（选填“左”或“右”）端，闭合开关后，反复调节滑动变阻器，小灯泡亮度发生变化，但电压表和电流表示数不能调到零，则_____（在“a、b、c、d、e、f、g、h”中选两个）两个接线柱间的导线发生了断路。



甲　　乙

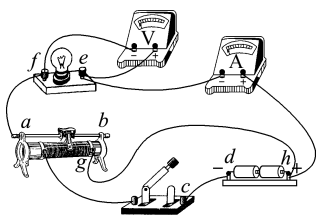
(3)将断路的部分连接好，调节滑动变阻器，测出多组电压表示数U及对应的电流表示数I，作出$\frac{U}{I}$-I图像如图乙所示。由图像可知，灯泡灯丝的电阻随温度的升高而_____。该同学还作了I-U图像、P-U^2图像（P为小灯泡的功率），他作出的图像可能是_____（选填字母）。



解析：(1)虽然两个电流表的量程均大于小灯泡的额定电流，但为了使读数更加准确，应选择同样电流下指针偏转较大的A_1。

实验要求电压表示数从零调起，则滑动变阻器应采用分压式接法，为了能够便于控制分压，应选择最大阻值较小的R_2。

(2)由于小灯泡的电阻R_L满足$R_L<\sqrt{R_V R_{A1}}$，所以为了减小误差，电流表采用外接法，电路图如图所示。



开关闭合前，应使分压电路部分的电压为零，则滑动变阻器的滑片应移到最右端。

闭合开关后，反复调节滑动变阻器，小灯泡亮度发生变化，但电压表和电流表示数不能调到零，说明此时滑动变阻器为限流式接法，即g、h两个接线柱间发生了断路。

(3)根据欧姆定律可知纵轴表示灯丝的电阻，所以由图像可知，小灯泡灯丝的电阻随温度的升高而增大。

由前面分析可知小灯泡灯丝的电阻随温度的升高而增大，所以I-U图像上点与坐标原点连线的斜率应随I的增大而减小，故A、B错误；根据$P=\frac{U^2}{R}$可知，P-U^2图像上的点与坐标原点连线的斜率应随U^2的增大而减小，故C正确，D错误。

答案：(1)A_1　R_2　(2)见解析图　右　g、h　(3)增大　C

思考：

①本实验中被测小灯泡的电阻值较小，因此实验中电流表一般采用什么接法？

②闭合开关S前，滑动变阻器的滑片应移到什么位置？

提示：①外接法。

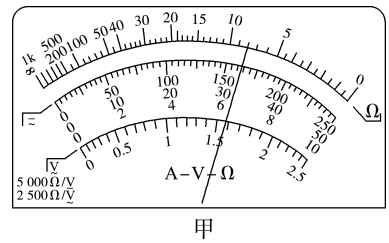
②闭合开关S前，滑动变阻器的滑片应移到使小灯泡分得电压为零的一端。

「创新实验」

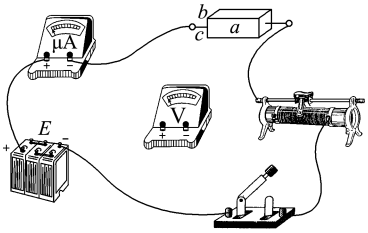
4.(2025·湖南卷)车辆运输中若存在超载现象，将带来安全隐患。由普通水泥和导电材料混合制成的导电水泥可以用于监测车辆超载问题，某小组对此进行了探究。

(1)选择一块均匀的长方体导电水泥块样品，用多用电表粗测其电阻。将多用电表选择开关旋转到“×1 k”挡，正确操作后，指针位置如图甲所示，则读数为_____ Ω。

(2)为进一步提高实验精度，使用伏安法测量水泥块电阻，电源E的电动势为6 V，内阻可忽略；电压表量程为0～6 V，内阻约10 kΩ；电流表量程为0～600 μA，内阻约100 Ω。实验中要求滑动变阻器采用分压接法，在图乙中完成电路的连接。



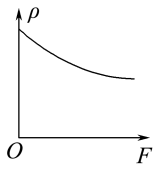
甲



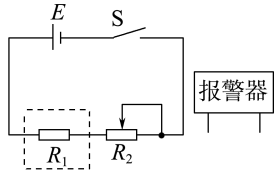
乙

(3)如图乙所示,测得水泥块的长为 a,宽为 b,高为 c。用伏安法测得水泥块电阻为 R,则电阻率 $\rho=$ _____(用 R、a、b、c 表示)。

(4)测得不同压力 F 下的电阻 R,算出对应的电阻率 ρ,作出 ρ-F 图像如图丙所示。



丙



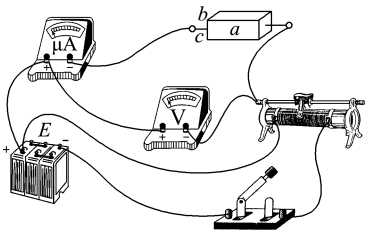
丁

(5)基于以上结论,设计压力报警系统,电路如图丁所示。报警器在其两端电压大于或等于 3 V 时启动,R_1 为水泥块,R_2 为滑动变阻器,当 R_2 的滑片处于某位置,R_1 上压力大于或等于 F_0 时,报警器启动。报警器应并联在 _____(选填“R_1”或“R_2”)两端。

(6)若电源 E 使用时间过长,电动势变小,R_1 上压力大于或等于 F_1 时,报警器启动,则 F_1 _____(选填“大于”“小于”或“等于”)F_0。

解析:(1)多用电表选择开关旋转到电阻“×1 k”挡,故根据题图甲可知读数为 8 000 Ω。

(2)长方体导电水泥块样品的电阻 $R_x>\sqrt{R_AR_V}$,故采用电流表内接法;实验中要求滑动变阻器采用分压接法,故连接实物图如图所示。



(3)根据电阻定律 $R=\dfrac{\rho L}{S}$

可知 $\rho=\dfrac{RS}{L}=\dfrac{Rbc}{a}$。

(5)根据题图丙可知压力越大电阻率越小,即电阻越小;压力大于或等于 F_0 时,回路中电流增加,R_2 两端电压增加,R_1 两端电压减小,而报警器在其两端电压大于或等于 3 V 时启动,故应将报警器并联在 R_2 两端。

(6)电源电动势 E 减小,要使报警器启动,即 R_2 两端电压要仍为 3 V,根据串联分压有 $U_2=\dfrac{R_2}{R_1+R_2}E=\dfrac{1}{\dfrac{R_1}{R_2}+1}E$,可知 E 减小需要 R_1 更小,又因为 F 越大 R_1 越小,可知 F_1 需要大于 F_0。

答案:(1)8 000　(2)见解析图　(3)$\dfrac{Rbc}{a}$　(5)R_2　(6)大于

[特别提醒]

1.数据处理

(1)在坐标纸上以 U 为横坐标、I 为纵坐标建立直角坐标系。

(2)在坐标纸中描出各组数据所对应的点(坐标系纵轴和横轴的标度要适中,以使所绘图线充分占据整个坐标纸 $\dfrac{2}{3}$ 以上为宜)。

(3)将描出的点用平滑的曲线连接起来,就得到小灯泡的伏安特性曲线。

2.误差分析

(1)系统误差:由于电压表不是理想电表,内阻并非无穷大,故会带来误差。

(2)测量误差:测量时读数带来的误差。

(3)作图误差:在坐标纸上描点、作图带来的误差。

3.注意事项

(1)因 I-U 图线是曲线,本实验要测出多组包括零在内的电压值、电流值,因此滑动变阻器应采用分压式接法。

(2)由于小灯泡的电阻较小,故采用电流表外接法。

(3)闭合开关 S 前,滑动变阻器的触头应移到使小灯泡分得电压为零的一端,使开关闭合时小灯泡的电压从零开始变化,同时也是为了防止开关刚闭合时因小灯泡两端电压过大而烧坏灯丝。

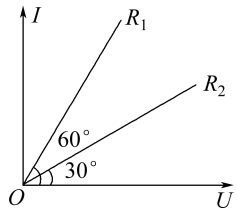
(4)画 I-U 图线时纵轴、横轴的标度要适中,使所绘图线占据整个坐标纸 $\dfrac{2}{3}$ 以上为宜,不要画成折线,应该用平滑的曲线连接,对个别偏离较远的点应舍去。

课后素养评价(十四)

基础性·能力运用

知识点 1　导体的伏安特性曲线

1. 两电阻 R_1、R_2 的电流 I 和电压 U 的关系如图所示，可知两电阻 $R_1:R_2$ 等于　(　　)

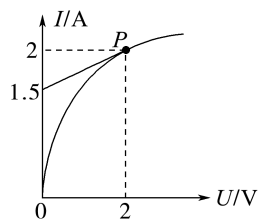


A. 1∶3　　B. 3∶1

C. $1:\sqrt{3}$　　D. $\sqrt{3}:1$

A　**解析**：在 I-U 图像中直线斜率的倒数等于该导体的电阻，因此两个电阻之比等于斜率的倒数之比 $\frac{R_1}{R_2}=\frac{\tan 30^\circ}{\tan 60^\circ}=\frac{1}{3}$，故 A 正确。

2. 如图所示为某金属元件的伏安特性曲线，过 P 点的切线与纵轴交点的坐标是(0，1.5)。下列说法正确的是　(　　)



A. 该金属元件为线性元件

B. 该元件可用于制作标准电阻

C. P 点时该金属的电阻为 1 Ω

D. 由图像可知，随着电压增大，该金属的电阻逐渐减小

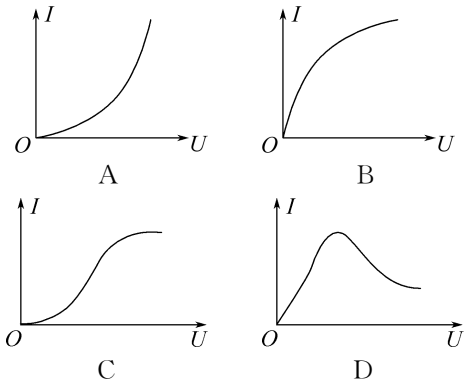
C　**解析**：由题图可知，该金属元件的伏安特性曲线为曲线，所以该金属元件为非线性元件，故 A 错误；由于该金属的电阻随电压变化而变化，所以不能用来制作标准电阻，故 B 错误；P 点对应金属的电阻阻值为 $R=\frac{U}{I}=\frac{2}{2}\ \Omega=1\ \Omega$，故 C 正确；题图中电流随电压增大而增大，图线上每一点与原点连线的斜率表示该点电阻的倒数，故可知该金属的电阻随电压增大而增大，故 D 错误。

知识点 2　实验：描绘小灯泡的伏安特性曲线

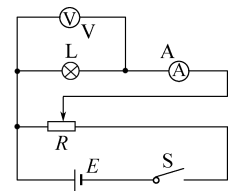
3. 在测绘小灯泡的伏安特性曲线的实验中，所用器材有：灯泡 L、量程恰当的电流表 A 和电压表 V、直流电源 E、滑动变阻器 R、开关 S 等，要求灯泡两端电压从 0 V 开始变化。

(1)设计实验电路，在虚线框中画出对应的电路图(将各元件的字母代码标在该元件的符号旁)。

(2)正确地设计电路并完成实验测量后，描绘出的 I-U 图像应是下图中的_____。



解析：(1)由于灯泡两端电压从 0 V 开始调节，因此滑动变阻器采用分压式接法；灯泡电阻较小，采用电流表的外接法，电路图如图所示。



(2)由于灯泡的电阻随电压的升高而增大，因此在 I-U 图像中，斜率应逐渐减小。故选 B。

答案：(1)见解析图　(2)B

4. 要测绘一个标有“3 V　0.6 W”小灯泡的伏安特性曲线，灯泡两端的电压需要由零逐渐增加到 3 V，并便于操作。已选用的器材有：

电池组(电动势为 4.5 V，内阻约 1 Ω)；

电流表(量程为 0～250 mA，内阻约 5 Ω)；

电压表(量程为 0～3 V，内阻约 3 kΩ)；

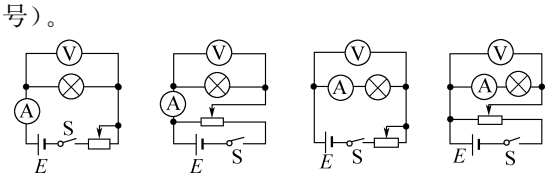
开关一个，导线若干。

(1)实验中所用的滑动变阻器应选下列中的_____(选填字母代号)。

A. 滑动变阻器(最大阻值 20 Ω，额定电流 1 A)

B. 滑动变阻器(最大阻值 1 750 Ω，额定电流 0.3 A)

(2)实验的电路图应选用图_____(选填字母代号)。



解析：(1)题目要求灯泡两端电压从零开始逐渐增加，因此滑动变阻器采用分压式接法，为方便实验操作，应选用最大阻值较小的滑动变阻器 A。

(2)由于小灯泡的电阻比较小，因此电流表应采用外接法，而图 A 中小灯泡两端电压并不能从零开始变化，故选用 B 图。

答案：(1)A　(2)B

综合性·创新提升

5.某同学测绘额定电压为 2.5 V、电阻约为 4 Ω 的小灯泡的 *I*-*U* 特性曲线，要求测量数据范围广。除了小灯泡、开关 S、若干导线外，还有下列器材供选用：

A. 电流表(量程 0～0.6 A，内阻约 1 Ω)；

B. 电流表(量程 0～3 A，内阻约 0.05 Ω)；

C. 电压表(量程 0～3 V，内阻约 3 kΩ)；

D. 电压表(量程 0～10 V，内阻约 10 kΩ)；

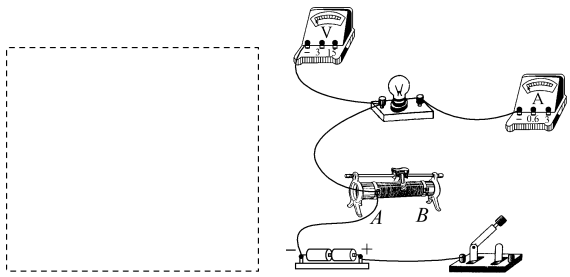
E. 滑动变阻器(200 Ω，0.3 A)；

F. 滑动变阻器(10 Ω，2 A)；

G. 电源(电压 3 V，内阻不计)。

(1)为使测量尽量准确，电压表应选用_____，电流表应选用_____，滑动变阻器应选用_____。(均选填器材的字母代号)。

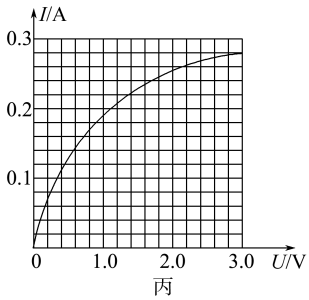
(2)在图甲中画出实验电路原理图，根据图甲，用笔画线代替导线，将图乙中的实验电路连接完整。



甲　　乙

(3)开关 S 闭合之前，图乙中滑动变阻器的滑片应该置于_____(选填“*A*”“*B*”或“*A*、*B* 中间”)端。

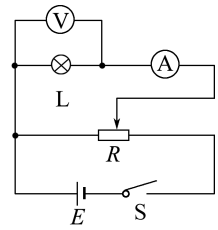
(4)若已知小灯泡灯丝在温度 $t=27$ ℃时电阻值约为 1.5 Ω，并且其电阻值与灯丝的热力学温度 T 成正比，根据图丙画出的小灯泡 *I*-*U* 特性曲线，估算该小灯泡在为电压 2 V 时，灯丝的温度约为_____℃。[提示：$T=(273+t)$ K]



丙

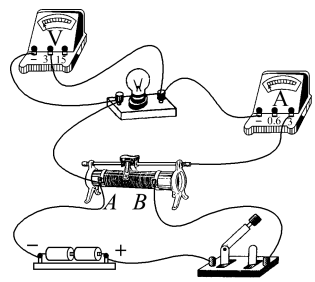
解析：(1)小灯泡的额定电流为 $I_0=\dfrac{U_0}{R_0}=0.625$ A，描绘小灯泡的伏安特性曲线，需要使小灯泡电流达到额定电流，故电流表 A 不可用，故选 B。小灯泡额定电压为 2.5 V，故电压表选 C。要求测量数据范围广，则滑动变阻器应采用分压式接法，滑动变阻器应选择阻值较小的 F，减小误差便于操作。

(2)电流表内阻和小灯泡的电阻相接近，故采用电流表外接法，要求小灯泡两端的电压从零开始，所以采用滑动变阻器的分压式接法，电路如图甲所示。



甲

实物连接如图乙所示。



乙

(3)为了保护小灯泡不被烧坏，应使开关闭合时小灯泡两端的电压为零，所以滑动变阻器的滑片应置于最左端，即 *A* 端。

(4)当 $U=2.0$ V 时，根据图像可知 $I=0.25$ A，阻值为

$$R=\frac{U}{I}=8\ \Omega$$

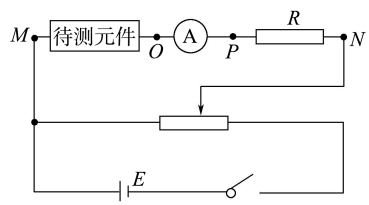
由于电阻与热力学温度成正比，可得

$R=kT=k(273+t)$ K

当 $R=1.5$ Ω 时，$t=27$ ℃，则 $k=0.005$，当阻值为 8 Ω时，可得 $t'=\left(\dfrac{8}{0.005}-273\right)$ ℃$=1\ 327$ ℃。

答案：(1)C　B　F　(2)见解析图甲　见解析图乙　(3)*A*　(4)1 327

6.要测绘某电学元件(最大电流不超过 6 mA，最大电压不超过 7 V)的伏安特性曲线，设计电路如图所示。图中定值电阻为 $R=1$ kΩ，用于限流；电流表量程为 0～10 mA，内阻约为 5 Ω；电压表(未画出)量程为 0～10 V，内阻约为 10 kΩ；电源电动势为 $E=12$ V，内阻不计。



(1)实验时有两个滑动变阻器可供选择：

a. 阻值 0～200 Ω，额定电流 0.3 A

b. 阻值 0～20 Ω，额定电流 0.5 A

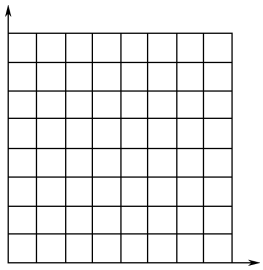
本实验应选用的滑动变阻器是_____(选填“a”或“b”)。

(2)正确接线后,测得数据如下表所示。

	1	2	3	4	5
U/V	0.00	3.00	6.00	6.16	6.28
I/mA	0.00	0.00	0.00	0.06	0.50
	6	7	8	9	10
U/V	6.32	6.36	6.38	6.39	6.40
I/mA	1.00	2.00	3.00	4.00	5.50

①根据以上数据,电压表是并联在 M 点与_____(选填"O 点"或"P 点")之间的。

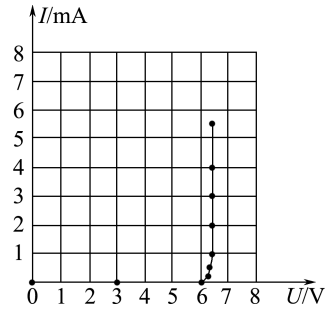
②根据以上数据,在下图中画出该元件的伏安特性曲线。



解析:(1)选择分压式滑动变阻器时,要尽量选择电阻较小的,这样测量时电压表、电流表示数变化明显,但要保证仪器的安全。b 滑动变阻器的额定电流为 0.5 A,加在它上面的最大电压为 10 V,仪器不能正常使用,所以选择 a。

(2)根据题中提供的数据可估算电学元件的电阻,再结合电流表内接和外接的判断方法,可知电流表应采用内接法,故电压表应接在 M、P 两点之间。

答案:(1)a　(2)①P 点　②如图所示



单元活动构建

单元活动 3　电学实验基础

「单元任务」

任务内容	
任务一	实验中的仪器、仪表的选择
任务二	等效替代法测电阻
任务三	半偏法测电表的内阻

「任务引导」

资料:科学实验是科学理论的源泉,科学实验在科学发展中起着重要作用,比如物理便是以实验为基础的学科。可以说,没有实验,就不会有现代科学技术,在某种意义上也就不可能有现代社会。

纵观自然科学的整个发展历史,任何一个科学理论的建立和发展都离不开科学实验的佐证。科学理论正确与否必须接受实验的检验。爱因斯坦说:"一个矛盾的实验结果就足以推翻一种理论。"这句话高度概括了科学发展过程中科学实验举足轻重的地位。

比如我们刚刚学习的电流这一章,便有很多实验,有实验便有误差。我们进行实验的时候,一是要尽量减小误差,使实验尽量准确;二是要找到误差的来源,正确进行误差分析。如电压表、电流表采用什么样的接法,滑动变阻器的位置调节,以及实验器材如何选取等都需要我们进行科学的决策。

任务一　实验中仪器、仪表的选择

活动　在"测定金属的电阻率"的实验中,所用测量仪器均已校准。已知待测金属丝的电阻值 R_x 约为 5 Ω。可供选择的器材有:

电源 E(电动势为 3 V,内阻约 1 Ω);

电流表 A_1(量程为 0～0.6 A,内阻约 0.125 Ω);

电流表 A_2(量程为 0～3 A,内阻约 0.025 Ω);

电压表 V_1(量程为 0～3 V,内阻约 3 kΩ);

电压表 V_2(量程为 0～15 V,内阻约 15 kΩ);

滑动变阻器 R_1(最大阻值 5 Ω,允许最大电流 2 A);

滑动变阻器 R_2(最大阻值 1 000 Ω,允许最大电流 0.6 A);

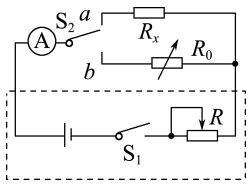
开关一个,导线若干。

从安全的角度讲,电表量程越大、滑动变阻器的阻值越大,越安全,那么在该实验中电流表、电压表、滑动变阻器分别应该选择哪个,才可以保证实验误差小而且操作安全?

提示：由电源电动势是 3 V，确定电压表应选择 V_1，电路最大电流约为 $I=\frac{U}{R_x}=\frac{3}{5}\text{A}=0.6\text{ A}$，电流表应选择 A_1。若想尽量多测几组数据，滑动变阻器采用分压式接法，考虑阻值便于调节，所以应该选用的滑动变阻器是 R_1。

任务二　等效替代法测电阻

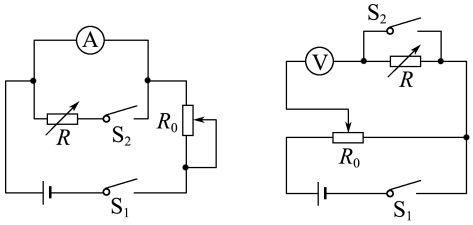
活动　电路如图所示，怎样操作才能测出待测电阻 R_x 的阻值？



提示：先将单刀双掷开关 S_2 调到 a，闭合 S_1，调节 R，使电流表示数为 I_0，保持 R 不动；再将单刀双掷开关调到 b，调节 R_0，使电流表示数仍为 I_0，则此时电阻箱 R_0 的示数就是待测电阻的阻值。

任务三　半偏法测电表的内阻

活动　半偏法常用来测电表的内阻，如图甲所示是用来测电流表内阻的常用电路，图乙是用来测电压表内阻的常用电路



甲　　乙

(1)利用图甲电路测量电流表内阻的依据是什么？测量值比真实值偏大还是偏小？

(2)利用图乙电路测量电压表内阻的依据是什么？测量值比真实值偏大还是偏小？

提示：(1)利用题图甲电路测电流表内阻的依据是并联电路的分流规律，测量值比真实值偏小。

(2)利用题图乙电路测电压表内阻的依据是串联电路的分压规律，测量值比真实值偏大。

「知识链接」

1.实验中仪器、仪表的选择

(1)实验中仪器、仪表的选用原则

①安全性原则：选用电源、电流表、电压表时，要根据实验的要求以及器材的参数，所测电流、电压的最大值不能超出仪表的量程，以确保不损坏仪器。若给出的电压表或者电流表没有合适的量程，则一般考虑电表的改装。选用滑动变阻器时，先要确保电路中的电流不超过变阻器允许通过的最大电流。

②精确性原则：在测量时，电流表、电压表指针的偏转角不能过小，以减小误差，电流表、电压表的示数为满刻度的 $\frac{1}{3}$ 以上时，读数较准确。

③方便性原则：若用“限流式”一般选阻值适当大一点的，但不是越大越好，因阻值太大时，在实验中，可能只用到其阻值较小的一部分，滑动触头只能在很短的距离内移动，使用起来很不方便，一般是选变阻器总阻值与用电器的阻值比较接近的；若用“分压式”，应选择总阻值适当小一些的滑动变阻器，这样可使分出的电压大致上随滑动触头移动距离在一定范围内成比例改变，调节起来比较方便。

(2)选用器材的一般思路

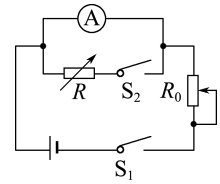
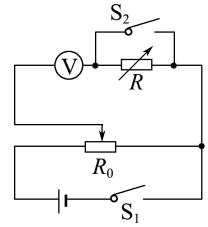
首先确定实验条件，然后按电源→电压表→电流表→滑动变阻器的顺序依次选择。

2.等效替代法

(1)等效替代法原理：就是在测量的过程中，让通过待测电阻的电流(或加在待测电阻两端的电压)和通过电阻箱的电流(或加在电阻箱两端的电压)相等。

(2)该方法的优点是消除了电表内阻对测量的影响；缺点是电阻箱的电阻不能连续变化。

3.半偏法测电表内阻

<table>
<tr><td rowspan="2">半偏法近似测量电流表内阻</td><td>测量电路</td><td></td></tr>
<tr><td>操作步骤</td><td>(1)断开 S_2、闭合 S_1，调节 R_0，使电流表满偏为 I_0；
(2)保持 R_0 不变，闭合 S_2，调节 R，使电流表示数为 $\frac{I_0}{2}$；
(3)由上得 $R_A=R$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">半偏法近似测量电压表内阻</td><td>测量电路</td><td></td></tr>
<tr><td>操作步骤</td><td>(1)滑动变阻器的滑片滑至最右端，电阻箱的阻值调到最大；
(2)闭合 S_1、S_2，调节 R_0，使电压表指针满偏；
(3)断开 S_2，保持 R_0 不变，调节 R，使电压表指针指到满刻度的一半；
(4)由以上可得 $R_V=R$</td></tr>
</table>

「活动达标」

1.如图甲所示是由某种金属制成的均匀空心柱体，其横截面内外均为正方形，电阻约为 50 Ω，为比较准确地测量其电阻率，实验室提供以下器材：

A. 电流表(量程 0～60 mA，内阻约为 0.20 Ω)；

B. 电压表 V_1(量程 0～3 V，内阻为 3 kΩ)；

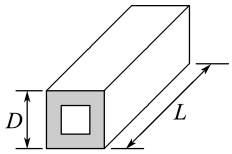
C. 电压表 V_2(量程 0～15 V，内阻约为 5 kΩ)；

D. 滑动变阻器 R_1(最大阻值 10 Ω)；

E. 滑动变阻器 R_2(最大阻值 1 kΩ)；

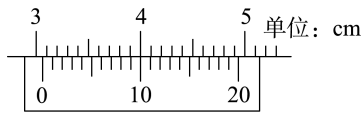
F. 电源(电动势 3 V，内阻不计)；

G. 开关、导线若干。



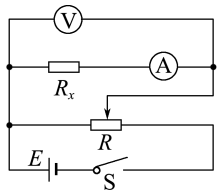
甲

(1)用游标卡尺测得该导体截面的外边长 D 读数如图乙所示，则 $D=$_____mm。

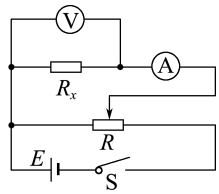


乙

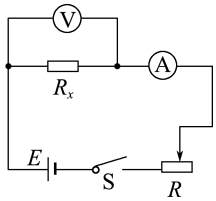
(2)用伏安法可以更准确地测量该柱体的电阻，要求实验中数据有较大的测量范围。则滑动变阻器应选择_____(选填仪器前的符号)，电压表应选_____(选填仪器前的符号)，电路图应选择_____(选填下方电路图的代号)。



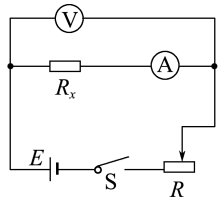
A



B



C



D

(3)若该空心柱体横截面的外正方形的边长为 D，横截面金属厚度为 d，柱体长度为 L，电流表示数为 I，电压表读数为 U，设电压表内阻为 R_V，电流内阻为 R_A，根据上述选择电路，用以上用到的符号表示该柱体材料的电阻率 $\rho=$_____。

解析：(1)根据游标卡尺读数规则，游标尺 0 刻度线在主尺 30 mm 刻度右侧，主尺读数为 30 mm，游标卡尺为 20 分度，精度为 0.05 mm，游标尺上刻度 10 与主尺刻度线对齐，则该导体截面的外边长 $D=30\ \text{mm}+10\times0.05\ \text{mm}=30.50\ \text{mm}$。

(2)题中要求实验中数据有较大的测量范围，则滑动变阻器采用分压式接法，滑动变阻器选择最大阻值较小的 D，由于电源电动势为 3 V，所以电压表选择量程为 0～3 V 的 B，由于电压表内阻已知，所以电流表外接，电路图选择 B。

(3)根据欧姆定律得 $R_x=\dfrac{U}{I-\dfrac{U}{R_V}}$，根据电阻定律有 $R_x=\dfrac{\rho L}{S}$，$S=D^2-(D-2d)^2=4dD-4d^2$，联立解得电阻率 $\rho=\dfrac{4dD-4d^2}{L}\cdot\dfrac{UR_V}{IR_V-U}$。

答案：(1)30.50　(2)D　B　B

(3)$\dfrac{4dD-4d^2}{L}\cdot\dfrac{UR_V}{IR_V-U}$

2.有一个小灯泡上标有“2 V　1 W”的字样，现在要用伏安法测量并描绘这个小灯泡的 I-U 图线，有下列器材供选用：

A. 电压表(0～3 V，内阻约 3 kΩ)；

B. 电压表(0～10 V，内阻约 20 kΩ)；

C. 电流表(0～0.3 A，内阻约 1 kΩ)；

D. 电流表(0～0.6 A，内阻约 0.4 kΩ)；

E. 滑动变阻器(0～5 Ω，1 A)；

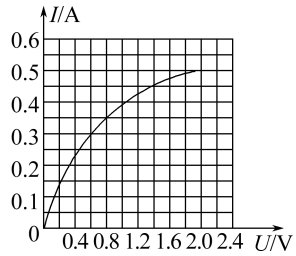
F. 滑动变阻器(0～500 Ω，0.2 A)；

G. 电源(电动势为 3 V，0.2 A)。

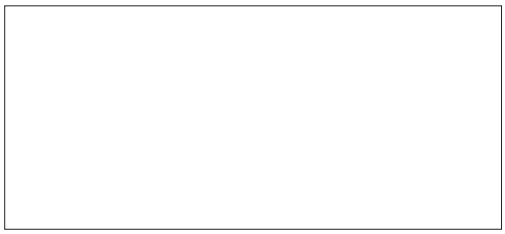
(1)实验中电压表应选用_____，电流表应选用_____，为使实验误差尽量减小，要求电压表从 0 开始变化且多取几组数据，则滑动变阻器应选用_____。(均选填序号字母)

(2)实验中移动滑动变阻器滑片，得到了小灯泡的 I-U 图像如图所示，则可知小灯泡的电阻随小灯泡两端的电压增大而_____(选填“增大”“减小”或

“不变”)。



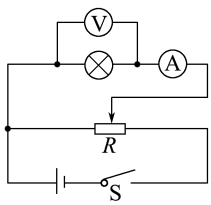
(3)请根据实验要求,画出电路图。



解析:(1)小灯泡上标有“2 V　1 W”的字样,因此电压表选择 A,而用 B 时,指针偏转角度较小,测量读数误差较大。小灯泡的最大电流约为 0.5 A,因此电流表应选择 D。要求电压表从 0 开始变化且多取几组数据,故滑动变阻器选择阻值小、额定电流大的,故 E 符合要求。

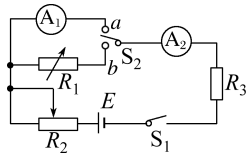
(2)根据 I-U 图像的斜率倒数,可知小灯泡的电阻随电压增大而增大。

(3)因 $R_{灯}<\sqrt{R_A R_V}$,所以电流表采用外接法,电路图如图所示。



答案:(1)A　D　E　(2)增大　(3)见解析图

3.为了测定电流表 A_1 的内阻,采用如图所示的电路。其中 A_1 是待测电流表,量程为 0～300 μA,内阻约为 100 Ω;A_2 是标准电流表,量程是 0～200 μA。



实验室除若干导线外,还提供下列器材:

R_1 是电阻箱,阻值范围为 0～999.9 Ω;

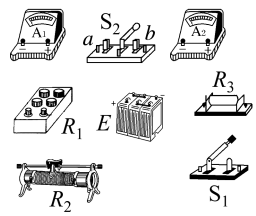
R_2 是滑动变阻器;

R_3 是保护电阻;

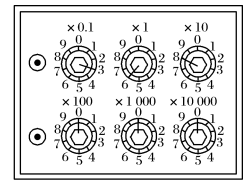
E 是电池组,电动势为 4 V,内阻不计;

S_1 是单刀单掷开关,S_2 是单刀双掷开关。

(1)根据电路图,请在实物图(图甲)中画出连线,将器材连接成实验电路。



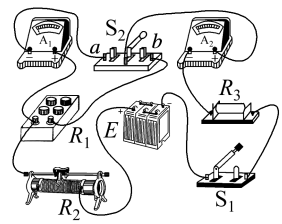
甲



乙

(2)连接好电路,将开关 S_2 扳到接点 a 处,接通开关 S_1,调整滑动变阻器 R_2 使电流表 A_2 的示数为 150 μA;然后将开关 S_2 扳到接点 b 处,保持 R_2 不变,调节电阻箱 R_1,使 A_2 的示数仍为 150 μA。若此时电阻箱各旋钮的位置如图乙所示,电阻箱 R_1 的阻值是_____Ω,则待测电流表 A_1 的内阻 R_g =_____Ω。

解析:(1)根据电路图从电源的正极出发,逐步连接实物如图所示:

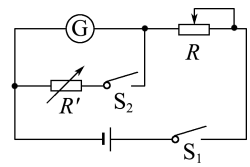


(2)电阻箱的阻值读数为(10 000×0+1 000×0+100×0+10×8+1×6+0.1×3) Ω=86.3 Ω。

电阻箱表示的阻值大小等于被测电流表 A_1 的内阻,所以电流表 A_1 的内阻为 86.3 Ω。

答案:(1)见解析图　(2)86.3　86.3

4.(多选)用半偏法测电流表的内阻 R_g 的电路图如图所示,下列说法正确的是　(　　)



A. 开关 S_1 接通前,R 必须调节到高阻值的位置

B. 开关 S_2 接通后,R 的阻值不再调节

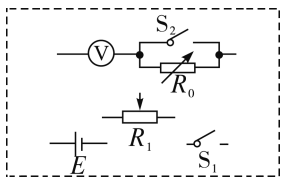
C. 当电流表的示数从满偏电流 I_g 调节到半偏电流时,R'中的电流稍大于 $\frac{1}{2}I_g$

D. 开关 S_1 接通前，R'必须调节到高阻值

ABC　**解析**：在用半偏法测电流表的内阻 R_g 的实验中，为了保护电路中的用电器，开关 S_1 接通前，R 必须调节到高阻值的位置，故 A 正确；开关 S_2 接通后，R 的阻值要保持不变，调节 R'，使电流表指针半偏，故 B 正确；开关 S_2 接通后，R 的阻值要保持不变，调节 R'，使电流表指针半偏，分析电路结构可知，R'和 R_g 并联，并联后总电阻减小，干路电流增加，当电流表的示数从满偏电流 I_g 减小到半偏电流时，干路电流会稍大于 I_g，因此 R'中的电流稍大于 $\frac{1}{2}I_g$，故 C 正确；开关 S_1 接通前，由于开关 S_2 处于断开状态，因此 R'不需要调节到高阻值，故 D 错误。

5. 电压表满偏时通过该表的电流是半偏时通过该表电流的 2 倍。某同学利用这一事实测量电压表的内阻(半偏法)，实验室提供的器材如下：

待测电压表 V(量程为 0～3 V，内阻约为 3 000 Ω)，电阻箱 R_0(最大阻值为 99 999.9 Ω)，滑动变阻器 R_1(最大阻值100 Ω，额定电流 2 A)，电源 E(电动势 6 V，内阻不计)，开关 2 个，导线若干。



(1)虚线框内为该同学设计的测量电压表内阻的电路图的一部分，请将电路图补充完整。

(2)根据设计的电路，写出实验步骤：_____

_____

_____

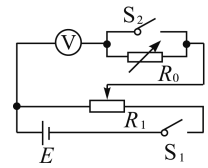
_____。

(3)将这种方法测出的电压表内阻记为 R'_V，与电压表内阻的真实值 R_V 相比，R'_V _____(选填“＞”“＝”或“＜”)R_V，主要理由是_____

_____

_____。

解析：(1)因为滑动变阻器 R_1 阻值较小，所以采用分压式接法，如图所示。



(2)移动滑动变阻器的滑片，以保证通电后电压表所在支路分压最小；闭合开关 S_1、S_2，调节 R_1，使电压表的指针满偏；保持滑动变阻器滑片的位置不变，断开 S_2，调节电阻箱 R_0，使电压表的指针半偏；读取电阻箱所示的电阻值，此即为测得的电压表内阻。

(3)断开 S_2，调节电阻箱使电压表呈半偏状态时，电压表所在支路总电阻增大，分得的电压也增大，此时 R_0 两端的电压大于电压表的半偏电压，故 $R'_V > R_V$。

答案：见解析

6　电源的电动势和内阻　闭合电路欧姆定律

学习任务目标

1.会用闭合电路欧姆定律分析路端电压与负载的关系，并能进行电路分析与计算。（科学思维）
2.收集信息，了解各种型号的电源、电池，知道同一种类的电池电动势相同，但内阻和容量不同。（科学探究）

问题式预习

知识点一　电源、电动势和内阻的理解

1.电源：所有能提供电能的装置。
2.闭合电路的组成
（1）闭合电路：导线、用电器和开关组成外电路，电源内部是内电路。
（2）电阻$\begin{cases}\text{外电阻：外电路的电阻}\\\text{内电阻：内电路的电阻}\end{cases}$
（3）电压
$\begin{cases}\text{路端电压（外电压）}U\text{：外电路两端的电压}\\U=IR\text{（纯电阻电路）}\\\text{内电压 }U'\text{：内电阻 }r\text{ 两端的电压，}U'=Ir\end{cases}$
3.电动势
（1）定义：非静电力在电源内部将正电荷从电源负极移到正极所做的功 $W_{非}$ 与电荷量 q 的比称为电源的电动势。
（2）定义式：$E=\dfrac{W_{非}}{q}$。
（3）单位：伏特，符号是V。
（4）物理意义：表征电源内非静电力做功本领的物理量。

［科学思维］

日常生活中我们经常接触到各种各样的电源，如图甲所示的干电池，标有“1.5 V”字样；如图乙所示的手机电池标有“3.7 V”字样。



标有“1.5 V”的干电池
甲



标有“3.7 V”的手机电池
乙

如果把 1 C 的正电荷从 1.5 V 的干电池的负极移到正极，电荷的电势能增加了多少？非静电力做了多少功？如果把 1 C 的正电荷从 3.7 V 的手机电池的负极移到正极呢？哪个电池做功的本领大？

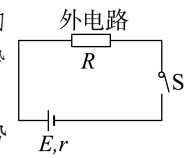
提示：把 1 C 的正电荷从 1.5 V 的干电池的负极移到正极，电势能增加了 1.5 J，非静电力做功 1.5 J；把 1 C 的正电荷从 3.7 V 的手机电池的负极移到正极，电势能增加了 3.7 J，非静电力做功 3.7 J。3.7 V 的手机电池做功本领大。

知识点二　闭合电路欧姆定律的理解

1.内容：在外电路只接有电阻元件的情况下，通过闭合电路的电流大小跟电源的电动势成正比，跟内外电阻之和成反比。
2.公式：$I=\dfrac{E}{R+r}$。
3.适用范围：纯电阻电路。
4.一般电路的常用公式及变形：$E=U+U'=U+Ir$ 或 $U=E-Ir$。
5.路端电压与负载的关系
（1）外电阻 R 增大$\xrightarrow{I=\frac{E}{R+r}}$电流 I 减小$\xrightarrow{U=E-Ir}$路端电压 U 增大。
注意：外电阻 R 增大到无限大（断路）$\xrightarrow{I=\frac{E}{R+r}}$电流 $I=0$ $\xrightarrow{U=E-Ir}$路端电压 $U=E$。
（2）外电阻 R 减小$\xrightarrow{I=\frac{E}{R+r}}$电流 I 增大$\xrightarrow{U=E-Ir}$路端电压 U 减小。
注意：外电阻 $R=0$（短路）$\xrightarrow{I=\frac{E}{R+r}}$电流 $I=\dfrac{E}{r}$ $\xrightarrow{U=E-Ir}$路端电压 $U=0$。

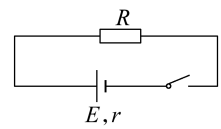
［科学思维］

1.如图为闭合电路的组成。在外、内电路中，沿着电流方向，各点的电势如何变化？



提示：在外电路中沿电流方向电势降低；在内电路中沿电流方向电势升高。

2.在如图所示的电路中，电源的电动势为 $E=10$ V，内电阻为 $r=1$ Ω，试求当外电阻分别是 3 Ω、4 Ω、9 Ω 时所对应的路端电压。通过数据计算，你发现了怎样的规律？



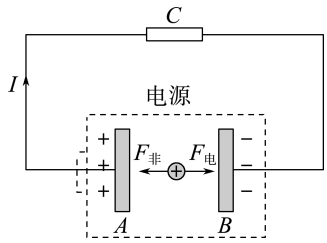
提示：外（路端）电压分别为 7.5 V、8 V、9 V。随着外电阻的增大，路端电压逐渐增大。

任务型课堂

任务一　电源的电动势

［探究活动］

如图所示，在外电路中，电流由电源正极流向负极，即从高电势流向低电势；电流在电源内部只能从负极流向正极，即从低电势流向高电势。根据电场知识可知，静电力不可能使电流从低电势流向高电势，反而起阻碍作用。



(1)在电源的外部和内部，电场方向如何？

(2)在电源的外部和内部，电子怎样移动？电场力做正功还是负功？

(3)在电源的内部，电子移动方向的成因是什么？

(4)试分析一下电源中的能量是如何转化的。

提示：(1)不论是在电源的外部还是内部，电场的方向都是从电源的正极指向负极。

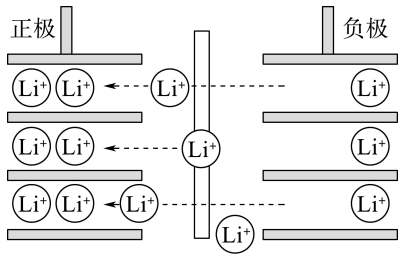
(2)在电源的外部，电子从电源的负极移动到正极，电场力做正功；在电源的内部，电子从电源的正极移动到负极，电场力做负功。

(3)在电源的内部，非静电力克服电场力做功，将电子从电源的正极移动到负极。

(4)电源中非静电力做功，把其他形式的能量转化成了电势能。

［评价活动］

1.常规锂离子电池以石墨等碳材料为负极，以含锂的化合物为正极，其内部部分离子的流向如图所示。某款电动汽车电池的容量是 94 A·h。下列说法正确的是　(　　)



A. 锂电池内部电场的方向是从负极指向正极

B. 锂电池充电时，电池内部静电力做正功，电能转化为化学能

C. 锂电池供电时，锂离子从正极向负极运动

D. 电池的容量是指电池放电时输出的总能量

B　**解析**：锂电池内部电场的方向是从正极指向负极，故 A 错误；锂电池充电时，电池内部静电力做正功，电能转化为化学能，故 B 正确；锂电池供电时，锂离子从负极向正极运动，故 C 错误；电池的容量是指电池储存的电量大小，故 D 错误。

2.一种锌汞电池的电动势为 1.2 V，这表示　(　　)

A. 该电源与电动势为 2 V 的铅蓄电池相比，非静电力做功一定慢

B. 该电源一定比电动势为 1.5 V 的干电池非静电力做功少

C. 电源在每秒内把 1.2 J 其他形式的能转化为电能

D. 电路通过 1 C 的电荷量，电源把 1.2 J 其他形式的能转化为电能

D　**解析**：电动势在数值上等于将 1 C 的正电荷从电源的负极移到正极过程中非静电力做的功，故电池的电动势为 1.2 V，表示该电池将 1 C 的正电荷由负极移送到正极的过程中，非静电力做了1.2 J的功，即电源把 1.2 J 其他形式的能转化为电能；电动势表示非静电力做功能力的大小，不表示做功的多少，也不表示做功的快慢。故选 D。

3.有一蓄电池，当移动 1 C 电荷时非静电力做功为 2 J，该蓄电池的电动势是多少？用该蓄电池给一小灯泡供电，供电电流是 0.2 A，供电 10 min，在蓄电池内非静电力做功是多少？

解析：根据电动势的定义有

$$E=\frac{W}{q}=\frac{2}{1}\ \text{V}=2\ \text{V}$$

根据 $I=\frac{q}{t}$ 可得该时间内移动的电荷量

$q'=It=0.2\times10\times60\ \text{C}=120\ \text{C}$

非静电力做功 $W'=q'E=120\times2\ \text{J}=240\ \text{J}$。

答案：2 V　240 J

任务总结

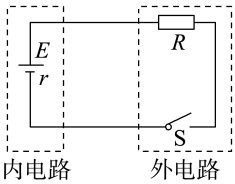
电压和电动势的区别与联系

比较内容	电压 U	电动势 E
物理意义	电场力做功，电能转化为其他形式的能的本领，表征电场的性质	非静电力做功，其他形式的能转化为电势能的本领，表征电源的性质
定义式	$U=\frac{W}{q}$，W 为电场力做的功	$E=\frac{W}{q}$，W 为非静电力做的功
单位	伏特(V)	伏特(V)
联系	电动势等于电源未接入电路时两极间的电压值	

任务二　对闭合电路欧姆定律的理解和应用

［探究活动］

如图所示为闭合电路的组成。



(1)在内、外电路中，沿着电流方向，各点电势如何变化？

(2)若电源电动势为 E，电路中的电流为 I，电源内阻为 r，路端电压为 U，则电源内部电势降落多少？路端电压 U 与电源电动势 E、电流 I、电源内阻 r 之间的关系是什么？

(3)若外电路只接有电阻元件 R，其路端电压为 U，则通过电路的电流为多少？电源的电动势 E、外电路电阻 R、内阻 r 和通过电阻的电流 I 之间的关系式是什么？

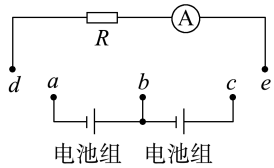
提示：(1)在内电路中，沿电流方向电势升高；在外电路中，沿电流方向电势降低。

(2)Ir；$U=E-Ir$。

(3)$I=\dfrac{U}{R}$；$E=IR+Ir$ 或 $I=\dfrac{E}{R+r}$。

［评价活动］

1.(2026·湖南卷)如图所示，电阻 R 的阻值为 10 Ω，电流表为理想电表，两个电池组完全相同。若将 a、b 端分别接入 d、e 端，电流表示数为 1.0 A；若将 a、c 端分别接入 d、e 端，电流表示数为 1.5 A。则单个电池组的电动势和内阻分别为　(　　)



A. 15 V，5 Ω

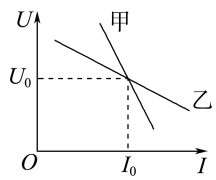
B. 15 V，10 Ω

C. 30 V，5 Ω

D. 30 V，10 Ω

A　**解析**：设单个电池组的电动势为 E，内阻为 r，令 $I_1=1.0$ A，$I_2=1.5$ A，a、b 端分别接入 d、e 端时，由闭合电路欧姆定律可得 $I_1=\dfrac{E}{R+r}$，a、c 端分别接入 d、e 端时，两电池组串联，同理可得 $I_2=\dfrac{2E}{R+2r}$，代入数据可得 $E=15$ V，$r=5$ Ω，故选 A。

2.(多选)如图所示，甲、乙分别表示两个电源的路端电压与通过它们的电流 I 的关系，则下列说法正确的是　(　　)



A. 电源甲的电动势大于乙的电动势

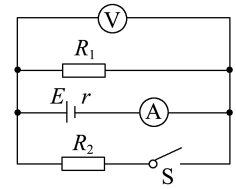
B. 电源甲的内阻小于乙的内阻

C. 电流都是 I_0 时，两电源的内电压相等

D. 路端电压都为 U_0 时，它们所在电路的外电阻相等

AD　**解析**：图线与纵轴的交点表示电源的电动势，图线斜率的大小表示电源的内阻，由题图可知 $E_{甲}>E_{乙}$，$r_{甲}>r_{乙}$，A 正确，B 错误；当电流都为 I_0 时，两电源的路端电压相等，内电压不相等，C 错误；当路端电压为 U_0 时，电流为 I_0，外电阻 $R=\dfrac{U_0}{I_0}$ 相等，D 正确。

3.如图所示的电路中，当 S 闭合时，电压表和电流表(理想电表)的示数分别为 1.6 V 和 0.4 A，当 S 断开时，它们的示数变为 1.7 V 和 0.3 A，则电源的电动势和内阻各为多少？



解析：当 S 闭合时，R_1 和 R_2 并联接入电路，由闭合电路欧姆定律得 $U_1=E-I_1r$

代入数据得 $E=1.6$ V$+0.4$ A$\cdot r$

当 S 断开时，只有 R_1 接入电路，由闭合电路欧姆定律得 $U_2=E-I_2r$

代入数据得 $E=1.7$ V$+0.3$ A$\cdot r$

联立解得 $E=2$ V，$r=1$ Ω。

答案：2 V　1 Ω

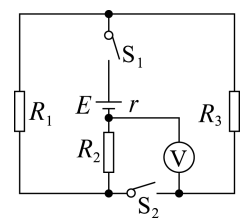
4.如图所示的电路中，电阻 $R_1=R_2=R_3=10$ Ω，电源内阻 $r=5$ Ω，电压表可视为理想电表。当开关 S_1 和 S_2 均闭合时，电压表的示数为 10 V。问：

(1)通过电阻 R_2 的电流为多大？

(2)路端电压为多大？

(3)电源的电动势为多大？

(4)当开关 S_1 闭合而 S_2 断开时，电压表的示数变为多大？



解析：(1)当开关 S_1 和 S_2 均闭合时，电路连接情况为电阻 R_1、R_3 并联后再与 R_2 串联接入电路中，电压表测量 R_2 两端的电压，故 $I_2=\dfrac{U_2}{R_2}=\dfrac{10}{10}$ A$=1$ A。

(2)路端电压等于外电路电压，故

$U=I_2\left(R_2+\dfrac{R_1R_3}{R_1+R_3}\right)=1\times(10+5)\ \text{V}=15\ \text{V}$。

(3)因为 $U=E-I_2r$，所以

$E=U+I_2r=15\ \text{V}+1\times5\ \text{V}=20\ \text{V}$。

(4)当开关 S_1 闭合而 S_2 断开时，R_1、R_2 串联再与电源构成闭合电路，电压表示数等于外电路电压，则

$U'=\dfrac{E}{R_1+R_2+r}\cdot(R_1+R_2)=\dfrac{20}{10+10+5}\times(10+10)\ \text{V}=16\ \text{V}$。

答案：(1)1 A　(2)15 V　(3)20 V　(4)16 V

任务总结

1.闭合电路欧姆定律的不同表达形式

表达式	物理意义	适用条件
$I=\dfrac{E}{R+r}$	电流与电源电动势成正比	纯电阻电路
①$E=I(R+r)$； ②$E=U_{外}+Ir$； ③$E=U_{外}+U_{内}$	电源电动势在数值上等于电路中内、外电压之和	①式适用于纯电阻电路； ②③式普遍适用

2.路端电压随外电阻的变化规律

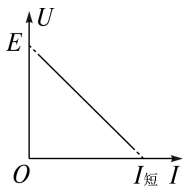
(1)当外电阻 R 增大时，由 $I=\dfrac{E}{R+r}$ 可知电流 I 减小，路端电压 $U=E-Ir$ 增大。

(2)当外电阻 R 减小时，由 $I=\dfrac{E}{R+r}$ 可知电流 I 增大，路端电压 $U=E-Ir$ 减小。

(3)两种特殊情况：当外电路断开时，电流 I 变为 0，$U=E$，即断路时的路端电压等于电源电动势；当电源短路时，外电阻 $R=0$，此时 $I=\dfrac{E}{r}$。

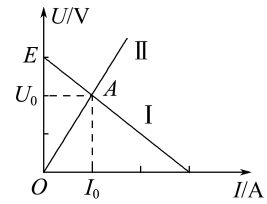
3.路端电压与电流的关系图像

(1)如图甲所示，U 轴截距表示电源电动势，纵坐标从 0 开始时，I 轴截距等于短路电流。图中直线斜率的绝对值等于电源的内阻，即内阻 $r=\left|\dfrac{\Delta U}{\Delta I}\right|$。



甲

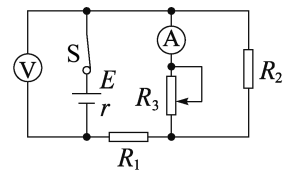
(2)如图乙所示，图线Ⅰ上 A 点表示某确定电源 E 的闭合电路中，路端电压为 U_0，电流为 I_0，此时外电路电阻为 $R=\dfrac{U_0}{I_0}$，恰好等于图线Ⅱ表示的定值电阻的阻值 $R_0=\dfrac{U_0}{I_0}$。因此，在该坐标系中两图线交点 A 可以认为是该确定电源 E 与该定值电阻 R_0 组成的一个闭合电路，此时的路端电压为 U_0，电流为 I_0，$P=U_0I_0$ 可以表示此时电源的输出功率，也就是此时定值电阻 R_0 的实际功率。



乙

任务三　闭合电路动态分析问题

1.如图所示的电路中，当变阻器 R_3 的滑动触头向上移动时　(　　)



A. 电压表示数变小，电流表示数变大

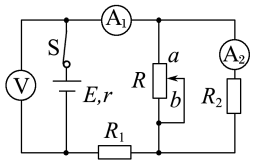
B. 电压表示数变大，电流表示数变小

C. 电压表和电流表示数都变大

D. 电压表和电流表示数都变小

B　**解析**：本题是电路的动态变化分析问题，一般按“局部→整体→局部”的思路分析。由题图可知 R_2 与 R_3 并联后与 R_1 串联，电压表测量路端电压，电流表测量 R_3 所在支路的电流。当变阻器 R_3 的滑动触头向上移动时，滑动变阻器接入电路的电阻增大，电路中总电阻增大，则由闭合电路欧姆定律可得，电路中总电流减小，由 $U=E-Ir$ 知路端电压增大，故电压表示数变大；由于并联部分的电压 $U_{并}=E-I(R_1+r)$，I 减小，其他量不变，可见 $U_{并}$ 增大，通过 R_2 的电流 I_2 增大，由流过电流表的电流 $I_A=I-I_2$ 可知，I 减小，I_2 增大，I_A 减小，可知电流表示数变小。故 B 正确。

2.电动势为 E、内阻为 r 的电源与定值电阻 R_1、R_2 及滑动变阻器 R 连接成如图所示的电路。当滑动变阻器的滑片由中点滑向 b 端时，下列说法正确的是　(C)



A. 电压表和电流表示数都增大

B. 电压表和电流表示数都减小

C. 电压表示数增大，电流表 A_1 示数减小，A_2 示数增大

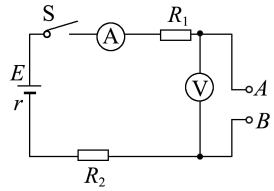
D. 电压表示数减小，电流表 A_1 示数增大，A_2 示数减小

C　**解析**：由题图可知滑动变阻器的滑片由中点滑向 b 端时，滑动变阻器接入电路中的阻值增大，则外电路的总阻值 $R_{总}$ 增大，干路电流 $I=\dfrac{E}{R_{总}+r}$ 减小，故电流表 A_1 示数减小；路端电压 $U=E-Ir$，由于 I 减小，故 U 增大，即电压表示数增大；R_2 两端电压 $U_2=E-I(R_1+r)$，由于 I 减小，故 U_2 增大，由 $I_2=\dfrac{U_2}{R_2}$ 知，I_2 增大，即电流表 A_2 示数增大，故选项 C 正确，A、B、D 错误。

3. 如图甲所示为某型号的脂肪测量仪，其原理是根据人体电阻的大小来判断脂肪所占比例（体液中含有钠离子、钾离子等，容易导电，而脂肪不容易导电），模拟电路如图乙所示，电压表、电流表均为理想电表。测量时，闭合开关，测试者分别握住两手柄 A、B，则体型相近的两人相比，脂肪含量高者　（　　）



甲



乙

A. 电流表示数较大

B. 电压表示数较小

C. 电源内电路电压较大

D. 路端电压较大

D　**解析**：由题意可知，脂肪含量高者，电阻较大。测试时，脂肪含量高者接入电路中的电阻 R_3 较大，由闭合电路的欧姆定律可知 $I=\dfrac{E}{R_1+R_2+R_3+r}$，电路中的电流较小，因此电流表示数较小，A 错误；由路端电压 $U=E-Ir$ 可知，脂肪含量高者接入电路时，电流 I 较小，电源内电路电压 $U_{内}=Ir$ 较小，路端电压 U 较大，D 正确，C 错误；电流 I 较小，R_1、R_2 分压较小，路端电压 U 较大，故脂肪含量高者分压较大，电压表示数较大，B 错误。

任务总结

1. 解决闭合电路动态变化问题，应按照“局部→整体→局部”的程序进行分析。

2. 基本思路：电路结构的变化→R 的变化→$R_{总}$ 的变化→$I_{总}$ 的变化→$U_{内}$ 的变化→$U_{外}$ 的变化→$\left\{\begin{matrix}\text{固定干路}\\\text{固定支路}\end{matrix}\right\}\rightarrow\left\{\begin{matrix}\text{并联分流 } I\\\text{串联分压 } U\end{matrix}\right\}$→变化支路。

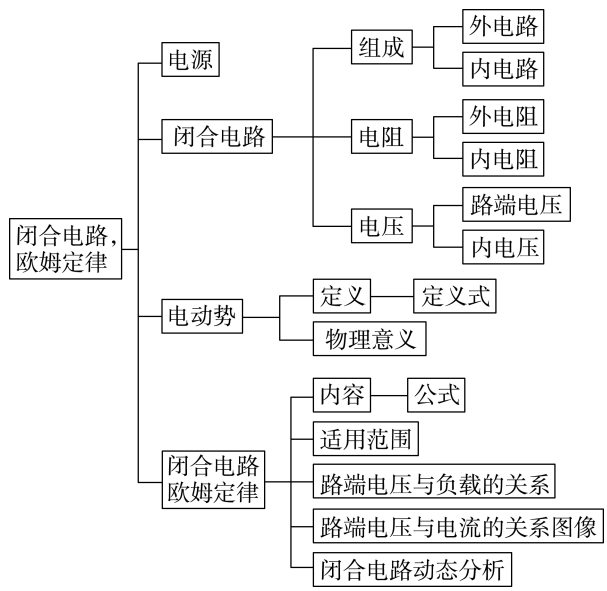
3. **方法技巧拓展——“串反并同”**

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

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

（3）串联、并联关系判断：流过该电阻的电流也流经其他电阻，则其他电阻与该电阻是串联关系；流过该电阻的电流不流经其他电阻，则其他电阻与该电阻是并联关系。

提质归纳

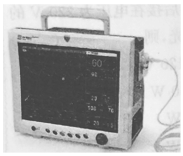


课后素养评价(十五)

基础性·能力运用

知识点 1　电动势

1.某厂家生产的医用监护仪如图甲所示,其配套的电池铭牌如图乙所示。某同学根据电池上的标示,得到的下列判断错误的是　(　　)



甲



乙

A. 该电池放电时能输出的总电荷量为 1 800 C

B. 该电池的电动势为 4.0 V

C. 若电池以 20 mA 的电流工作,可用 25 h

D. 若两块电池串联使用,电动势仍为 4.0 V

D　**解析**:由电池铭牌可知,该电池的电动势为 4.0 V,故 B 项正确;由电池容量为 500 mA·h 得,电池可放出的电荷量为 500×10^{-3} A×3 600 s=1 800 C,故 A 项正确;由 $q=It$ 得 $t=\frac{q}{I}=\frac{1\ 800}{20\times10^{-3}}$ s=9×10^{4} s=25 h,故 C 项正确;两块电池串联使用时,$E_{总}=2E=8.0$ V,故 D 项错误。

2.下列有关电压与电动势的说法正确的是　(　　)

A. 电压与电动势的单位都是伏特,所以电动势与电压是同一物理量的不同叫法

B. 电动势是电源两极间的电压

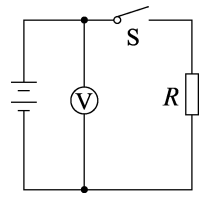
C. 电动势公式 $E=\frac{W}{q}$ 中的 W 与电压公式 $U=\frac{W}{q}$ 中的 W 是一样的,都是静电力做的功

D. 电动势是反映电源把其他形式的能转化为电能的本领强弱的物理量

D　**解析**:电压与电动势是两个不同的概念,其中电动势公式 $E=\frac{W}{q}$ 中的 W 是非静电力做的功,电动势反映了电源把其他形式的能转化为电能的本领,而电压 $U=\frac{W}{q}$ 中的 W 则是电场力做的功;电动势的大小也不一定等于电源两端电压的大小,故 D 正确。

知识点 2　闭合电路欧姆定律

3.用如图所示的电路来测量电池组的电动势和内阻,其中 V 为电压表(理想电表),定值电阻 $R=7.0\ \Omega$。在开关未接通时,V 的示数为6.0 V;接通开关 S 后,V 的示数变为 5.6 V。那么,电池组的电动势和内阻分别为　(　　)



A. 6.0 V,0.5 Ω

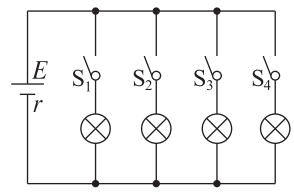
B. 6.0 V,1.25 Ω

C. 5.6 V,1.25 Ω

D. 5.6 V,0.5 Ω

A　**解析**:开关未接通时,电压表示数即为电源电动势,故电动势 $E=6.0$ V;接通开关后,对 R 由欧姆定律可得,电路中电流为 $I=\frac{U}{R}=\frac{5.6}{7.0}$ A=0.8 A,由闭合电路欧姆定律可知,内阻为 $r=\frac{E-U}{I}=\frac{6-5.6}{0.8}\ \Omega=0.5\ \Omega$。故选 A。

4.(多选)如图所示,用两节干电池点亮几只灯泡,当逐一闭合开关使接入的灯泡增多时,以下说法正确的是　(　　)



A. 灯泡少时各灯泡较亮,灯泡多时各灯泡较暗

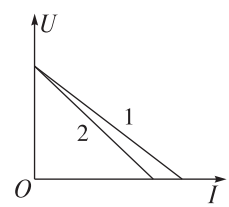
B. 灯泡多时各灯泡两端的电压较低

C. 灯泡多时通过电池的电流较大

D. 灯泡多时通过各灯泡的电流较大

ABC　**解析**:由于灯泡并联在电路中,所以接入电路的灯泡越多,总电阻越小,电路的总电流就越大,故 C 正确;灯泡越多,电源的内电压越大,路端电压则越低,故 B 正确;灯泡越多,流过每个灯泡的电流越小,每个灯泡越暗,故 A 正确,D 错误。

5.(多选)如图所示是闭合电路中两个电源的 U-I 图像,下列说法正确的是　(　　)



A. 电动势 $E_1=E_2$,内阻 $r_1<r_2$

B. 电动势 $E_1=E_2$,内阻 $r_1>r_2$

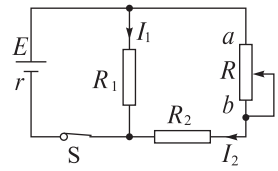
C. 电动势 $E_1=E_2$，发生短路时的电流 $I_1>I_2$

D. 当两电源的工作电流变化相同时，电源 2 的路端电压变化较大

ACD　**解析**：U-I 图像中图线与 U 轴的交点纵坐标表示电源的电动势，斜率的绝对值表示内阻，图线与 I 轴的交点横坐标表示短路电流，由图像可知，$E_1=E_2$，$I_1>I_2$，$r_1<r_2$，故 A、C 正确，B 错误；由 $r=\left|\dfrac{\Delta U}{\Delta I}\right|$ 可知，当 ΔI 相同时，电源 2 的路端电压变化较大，故 D 正确。

知识点 3　闭合电路动态分析问题

6. 如图所示的电路中，电源电动势为 E、内阻为 r，R_1 和 R_2 是两个定值电阻。当滑动变阻器的触头向 a 滑动时，流过 R_1 的电流 I_1 和流过 R_2 的电流 I_2 的变化情况是　（　　）



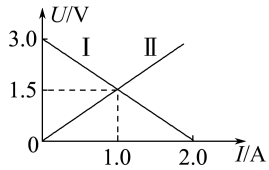
A. I_1 增大，I_2 减小　　B. I_1 减小，I_2 减小

C. I_1 增大，I_2 增大　　D. I_1 减小，I_2 增大

D　**解析**：滑动变阻器的触头向 a 滑动时，电路的总电阻随之减小，根据闭合电路欧姆定律 $I=\dfrac{E}{R_{外}+r}$，得电路总电流增大，由 $U=E-Ir$ 可知，路端电压减小；R_1 不变，路端电压减小，故通过 R_1 的电流 I_1 减小；又由于总电流增大，I_1 减小，则 I_2 一定增大，故 D 正确。

综合性·创新提升

7. 如图所示的 U-I 图像中，直线Ⅰ为某电源的路端电压与电流的关系图线，直线Ⅱ为某一电阻 R 的 U-I 图线，用该电源直接与电阻 R 连接成闭合电路，由图像可知　（　　）



A. R 的阻值为 1.0 Ω

B. 电源的电动势为 3 V，内阻为 0.5 Ω

C. 电源的输出功率为 3 W

D. 电源内部消耗的功率为 1.5 W

D　**解析**：R 的阻值为 $R=\dfrac{U}{I}=1.5\ \Omega$，故 A 错误；电源 U-I 图像的纵截距表示电动势，斜率的绝对值表示内阻，则 $E=3$ V，$r=\dfrac{3}{2}\ \Omega=1.5\ \Omega$，故 B 错误；电源与电阻 R 连接成闭合电路时，电路中电流 $I=1.0$ A，路端电压 $U=1.5$ V，电源的输出功率为 $P=UI=1.5$ W，故 C 错误；电源内部消耗的功率为 $P_r=I^2r=1.5$ W，故 D 正确。

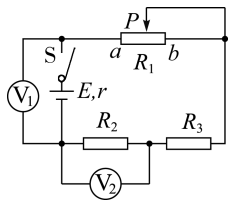
8. 如图所示，电池电动势为 E、内阻为 r。闭合开关 S，当滑动变阻器的滑片 P 向 b 端移动时，电压表 V_1 的示数 U_1 与电压表 V_2 示数 U_2 的变化情况是（　　）

A. U_1 变大，U_2 变小

B. U_1 变大，U_2 变大

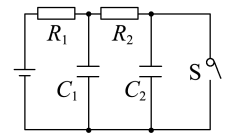
C. U_1 变小，U_2 变小

D. U_1 变小，U_2 变大



A　**解析**：滑片 P 向 b 端移动时，总电阻变大，干路中 $I=\dfrac{E}{R_{外}+r}$ 变小，由路端电压 $U=E-Ir$ 知，U 增大，即电压表 V_1 的示数 U_1 变大，由于电压表 V_2 的示数 $U_2=IR_2$，所以 U_2 减小，故 A 正确。

9. 如图所示，电源两端电压为 $U=10$ V 并保持不变，$R_1=4.0\ \Omega$，$R_2=6.0\ \Omega$，$C_1=C_2=30\ \mu$F。先闭合开关 S，待电路稳定后，再将开关 S 断开，则开关 S 断开后，通过 R_1 的电荷量为　（　　）

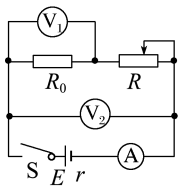


A. 4.2×10^{-4} C　　B. 1.2×10^{-4} C

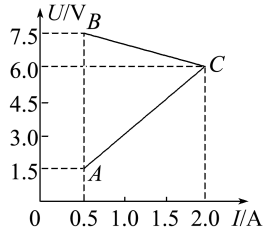
C. 4.8×10^{-4} C　　D. 3.0×10^{-4} C

A　**解析**：开关 S 闭合后，电路中电流为 $I=\dfrac{U}{R_1+R_2}=\dfrac{10\ \text{V}}{4\ \Omega+6\ \Omega}=1$ A，R_2 两端的电压为 $U_1=IR_2=6$ V，故电容器 C_1 上带的电荷量为 $Q_1=C_1U_1=30\times10^{-6}\times6$ C $=1.8\times10^{-4}$ C，电容器 C_2 上不带电；当断开开关后，两电容器直接与电源相连，其电压均等于 10 V，故两电容器上总的电荷量为 $Q_{总}=2UC_1=2\times10\times30\times10^{-6}$ C $=6.0\times10^{-4}$ C，所以通过 R_1 的电荷量为 $\Delta Q=Q_{总}-Q_1=4.2\times10^{-4}$ C。故选 A。

10. 如图所示，当闭合开关 S，图甲中变阻器的滑片从一端滑到另一端的过程中，两电压表的示数随电流表示数的变化情况如图乙中的 AC、BC 两直线所示。不考虑电表对电路的影响。



甲



乙

(1)电压表 V_1、V_2 的示数随电流表示数的变化图像应分别为 U-I 图像中的哪一条直线?

(2)定值电阻 R_0、变阻器的总电阻 R 分别为多少?

(3)求出电源的电动势和内阻。

解析:(1)电流增大,路端电压减小,定值电阻 R_0 分压增大,V_1 指示电阻 R_0 两端电压,所以示数变化如 AC 直线所示,V_2 指示路端电压,示数变化如 BC 直线所示。

(2)根据欧姆定律,由题图乙可知

$$R_0=\frac{\Delta U_{AC}}{\Delta I_{AC}}=\frac{4.5}{1.5}\ \Omega=3\ \Omega$$

当电流取最小值 $I_0=0.5$ A 时,变阻器的阻值最大,此时变阻器两端电压 $U_R=U_B-U_A=(7.5-1.5)$ V=6 V

总电阻 $R=\frac{U_R}{I_0}=\frac{6}{0.5}\ \Omega=12\ \Omega$。

(3)根据闭合电路欧姆定律,路端电压与电流的关系是 $U=E-Ir$

所以 BC 直线斜率的绝对值表示电源内阻,

即 $r=\left|\frac{\Delta U_{BC}}{\Delta I_{BC}}\right|=\frac{7.5-6.0}{2.0-0.5}\ \Omega=1\ \Omega$

电动势 $E=U_B+I_0r=(7.5+0.5\times1)$ V=8 V。

答案:(1)见解析　(2)3 Ω　12 Ω

(3)8 V　1 Ω

7　实验:测量电池的电动势和内阻

学习任务目标

1.学会用图像法描述物理量间的关系,能对实验误差进行分析推理。(科学思维)

2.会设计实验和处理实验数据。(科学探究)

问题式预习

「实验思路」

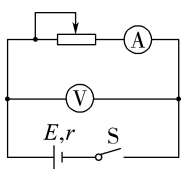
在生活中,很多地方我们要用到电池。

(1)我们要测出电池的电动势和内阻,依据什么物理知识?

提示:闭合电路欧姆定律。

(2)画出实验电路图。

提示:如图所示。



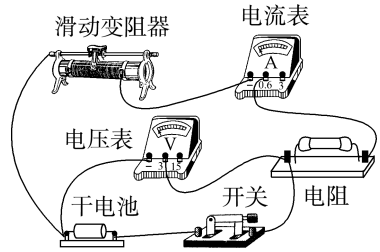
(3)如何利用闭合电路欧姆定律求解电池的电动势和内阻?

提示:由 $U=E-Ir$ 得 $\begin{cases}U_1=E-I_1r\\U_2=E-I_2r\end{cases}$

解得 $\begin{cases}E=\frac{I_1U_2-I_2U_1}{I_1-I_2}\\r=\frac{U_2-U_1}{I_1-I_2}\end{cases}$。

「实验器材」

根据如图所示的实物接线图设计电路,请列出实验需要的实验器材。



提示:待测干电池一节,电流表(0～0.6 A)、电压表(0～3 V)各一只,滑动变阻器一只,定值电阻一只,开关一只,导线若干。

任务型课堂

「原型实验」

1.在“用电流表和电压表测量电池的电动势和内阻”的实验中，供选用的器材有：

A. 电流表(量程：0～0.6 A，$R_A=1\ \Omega$)；

B. 电流表(量程：0～3 A，$R_A=0.6\ \Omega$)；

C. 电压表(量程：0～3 V，$R_V=5\ k\Omega$)；

D. 电压表(量程：0～15 V，$R_V=10\ k\Omega$)；

E. 滑动变阻器(0～10 Ω，额定电流 1.5 A)；

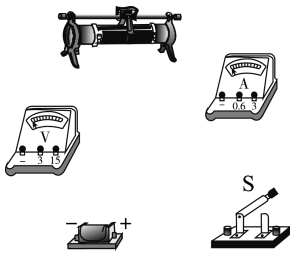
F. 滑动变阻器(0～2 kΩ，额定电流 0.2 A)；

G. 待测电源(一节一号干电池)，开关、导线若干。

(1)请在框中画出可使本实验的测量精确度较高的实验电路图。

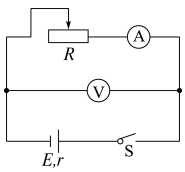
(2)电路中电流表应选用_____，电压表应选用_____，滑动变阻器应选用_____。(均选填字母序号)

(3)如图所示为实验所需器材，请按原理图连接出正确的实验电路。



(4)引起该实验系统误差的主要原因是_____。

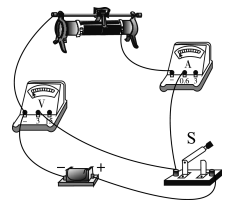
解析：(1)由于电源内阻较小，故采用电流表内接法(相对于滑动变阻器)，电路图如图甲所示。



甲

(2)放电电流又不能太大，一般不超过 0.5 A，所以电流表应选 A；考虑到待测电源只有一节干电池，所以电压表应选 C；从获取变化明显的数据以减小实验误差的角度和允许的最大电流来看，滑动变阻器不能选择太大的阻值，应选择电阻较小而额定电流较大的滑动变阻器 E。

(3)实物连接图如图乙所示。注意闭合开关前，要使滑动变阻器接入电路的电阻最大，即滑片应滑到最左端。



乙

(4)系统误差一般是由测量工具和测量方法造成的，该实验中的系统误差是由于电压表的分流作用，使得电流表示数(即测量值)总是比干路电流值小，造成$E_{测}<E_{真}$，$r_{测}<r_{真}$。

答案：(1)见解析图甲　(2)A　C　E　(3)见解析图乙　(4)电压表的分流作用

思考：

①为了使路端电压变化明显，应如何选择电池？

②干电池的内阻较小，为了获得变化明显的路端电压，滑动变阻器选择阻值较大一点的还是较小一点的？

③伏安法测电源电动势和内阻时，电流表采用哪种接法？为什么？

④在实验操作过程中，为什么不要将 I 调得过大，读电表示数时要快，而且每次读完后应立即断电？

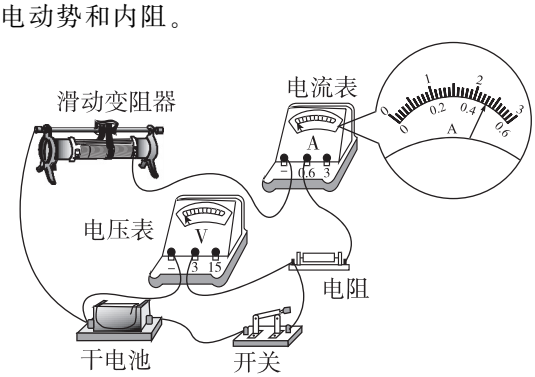
提示：①电池的内阻宜大些，可选用已使用过一段时间的一号干电池。

②滑动变阻器选择阻值较小一点的。

③由于电流表内阻与干电池内阻接近，所以电流表应采用相对于电源的外接法，误差较小。

④电池在大电流放电时，若时间过长会造成电路结构的损坏，电动势 E 会明显下降，内阻 r 会明显增大，故长时间放电不宜超过 0.3 A，短时间放电不宜超过 0.5 A。

2.小明利用如图甲所示的实验装置测量一节干电池的电动势和内阻。



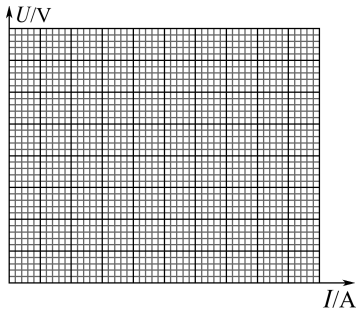
甲

(1)图中电流表的示数为_____A。

(2)调节滑动变阻器,电压表和电流表的示数记录如下:

U/V	1.45	1.36	1.27	1.16	1.06
I/A	0.12	0.20	0.28	0.36	0.44

请根据表中的数据,在图乙坐标纸上作出 U-I 图线。



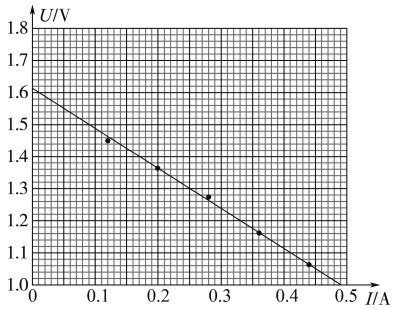
乙

由图线求得,电动势 E=_____V,内阻 r=_____Ω。

(3)实验时,小明进行了多次测量,花费了较长时间,测量期间一直保持电路闭合。其实,从引起实验误差的角度考虑,这样的操作不妥,因为_____。

解析:(1)电流表选用的量程为 0～0.6 A,分度值为 0.02 A,则其示数为 0.46 A。

(2)坐标系选择合适的标度,根据表中数据描点作出的 U-I 图线如图所示。



图线与纵轴交点为"1.61 V",故 E=1.61 V,由图线斜率的绝对值 $\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|$=1.24 Ω 知,电池内阻为 1.24 Ω。注意此处不要用图像与纵轴交点值除以与横轴交点值。

(3)长时间保持电路闭合,电池会发热,电池内阻会因此发生变化,干电池长时间放电,也会引起电动势变化,导致实验误差增大。

答案:(1)0.46　(2)见解析图　1.61(1.60～1.62 均对)　1.24(1.22～1.26 均对)　(3)干电池长时间放电,会引起电动势和内阻发生变化,从而导致实验误差增大

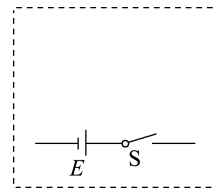
3.(2026·云南卷)某同学购买的蓝牙耳机电池上标有"80 mA·h"字样,为了测量该电池电动势和实际容量,该同学进行了如下实验:

(1)测量电池的电动势,可供选择的器材如下:

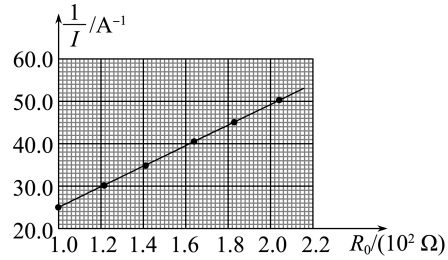
待测电池 E、电流表 A_1(0～0.6 A,内阻较小)、电流表 A_2(0～100 mA,内阻较小)、电阻箱 R_0(0～99 999.9 Ω)、开关 S 和导线若干。

①该电池允许的最大放电电流为 80 mA,电流表应选_____(选填"A_1"或"A_2")。

②请根据上述器材设计实验电路,并补全以下电路图。



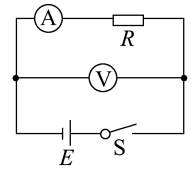
③按照②中正确的电路图连接电路,闭合开关 S,记录电流表示数 I 及电阻箱阻值 R_0;断开开关 S,改变 R_0。重复以上步骤,得到 $\frac{1}{I}$ 和 R_0 的关系,如图(a)所示,由图可得电池电动势 E=_____V(结果保留两位有效数字)。



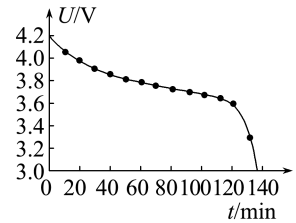
(a)

(2)该同学设计了测量电池容量的电路,如图(b)甲所示。

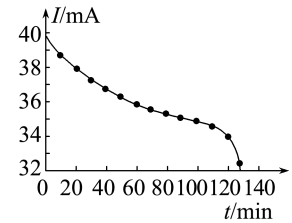
①电路连接完毕,闭合开关 S,每隔一段时间记录电压表的示数 U、电流表的示数 I,U 和 I 随时间 t 变化的图像分别如图(b)乙、丙所示。



甲



乙



丙

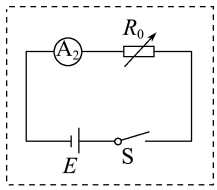
(b)

②由图(b)乙、丙可知,随着电池持续放电,输出电压和电流均持续减小。当 t=120 min 时,电池输出电压为_____V,随后电池输出的电压和电流

开始迅速衰减，电池无法正常工作。电池处于正常工作状态可以放出的总电量称为实际容量，由测量结果可估算出该电池的实际容量为_____mA·h。（以上结果均保留两位有效数字）

解析：(1)①该电池允许的最大放电电流为 80 mA，故电流表应选 A_2。

②由题干中的器材应采用安阻法测量该电池的电动势，补全的电路图如图(1)所示。



(1)

③按照②中正确的电路图连接电路，闭合开关 S，记录电流表示数 I 及电阻箱阻值 R_0；断开开关 S，改变 R_0。重复以上步骤，根据闭合电路欧姆定律有 $E=I(r+R_0)$

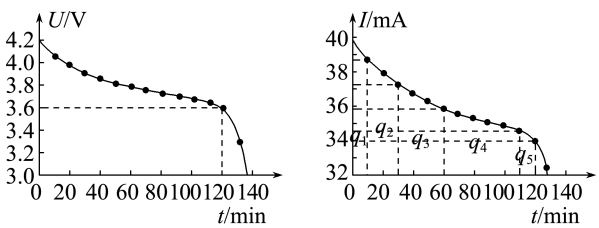
可得 $\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R_0+\frac{r}{E}$

根据题图(a)所示的 $\frac{1}{I}$-R_0 图像的斜率可得

$\frac{1}{E}=\frac{50.0-25.0}{(2.02-1.00)\times10^2}\ \mathrm{V^{-1}}$

解得电池电动势为 $E\approx4.1$ V。

(2)②在题图(b)中作辅助线，如图(2)所示，由图(2)乙可知，当 $t=120$ min 时，电池输出电压为 3.6 V；



乙　　丙

(2)

在 0～120 min 时间段电池处于正常工作状态，由图丙的 I-t 图像与时间轴围成的面积表示电池放出的电量，将 I-t 图像中 0～120 min 时间段的图像与时间轴围成的面积分割成上图中所示的 5 个部分，对应的时间段分别为 0～10 min、10～30 min、30～60 min、60～110 min、110～120 min。估算该电池的实际容量为 $q=q_1+q_2+q_3+q_4+q_5$

$=\frac{1}{2}(39.9+38.7)\times\frac{10}{60}$ mA·h$+\frac{1}{2}(38.7+37.2)\times\frac{20}{60}$ mA·h$+\frac{1}{2}(37.2+35.9)\times\frac{30}{60}$ mA·h$+\frac{1}{2}(35.9+34.6)\times\frac{50}{60}$ mA·h$+\frac{1}{2}(34.6+34.0)\times\frac{10}{60}$ mA·h≈73 mA·h。

答案：(1)①A_2　②见解析图

③4.1(或 4.2)　(2)3.6　73(71～74 均可)

［特别提醒］

伏安法测电源电动势和内阻的数据处理方法

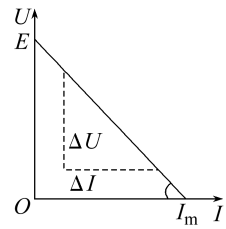
为减小测量误差，本实验常采用以下两种数据处理方法：

(1)公式法

利用依次记录的多组数据(一般 6 组)，分别将 1、4 组，2、5 组，3、6 组联立方程组，解出 E_1、r_1，E_2、r_2，E_3、r_3，求出它们的平均值 $E=\frac{E_1+E_2+E_3}{3}$，$r=\frac{r_1+r_2+r_3}{3}$，作为测量结果。

(2)图像法

根据测出的多组 U、I 值，在 U-I 图中描点画图像，使 U-I 图像的直线经过大多数坐标点或使各坐标点大致分布在直线的两侧，如图所示，由 $U=E-Ir$ 可知：



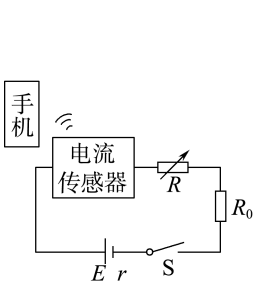
①纵轴截距等于电源的电动势 E。

②图线斜率的绝对值等于电源的内阻 $r=\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=\frac{E}{I_m}$。

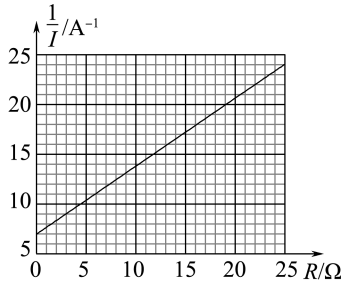
「创新实验」

4.(2025·湖北卷)某实验小组为测量一节干电池的电动势 E 和内阻 r 设计了如图甲所示的电路，所用器材有干电池、智能手机、电流传感器、定值电阻 R_0、电阻箱、开关、导线等。按电路图连接电路，将智能手机与电流传感器通过蓝牙连接，闭合开关 S，逐次改变电阻箱的阻值 R，用智能手机记录对应的

电流传感器测得的电流 I。回答下列问题：



甲



乙

(1)R_0 在电路中起_____(选填“保护”或“分流”)作用。

(2)$\frac{1}{I}$与 E、r、R、R_0 的关系式为$\frac{1}{I}$=_____。

(3)根据记录数据作出$\frac{1}{I}$-R 图像，如图乙所示。已知 R_0=9.0 Ω，可得 E=_____V(保留三位有效数字)，r=_____Ω(保留两位有效数字)。

(4)电流传感器的电阻对本实验干电池内阻的测量结果_____(选填“有”或“无”)影响。

解析：(1)R_0 串联在电路中，起保护作用。

(2)根据闭合电路欧姆定律得

$E=I(R+R_0+r)$

变形得$\frac{1}{I}=\frac{1}{E}(R+R_0+r)$。

(3)根据(2)分析可得$\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R+\frac{R_0+r}{E}$

$\frac{1}{I}$-R 图像的斜率 $k=\frac{1}{E}=\frac{24-7}{25}$ V^{-1}=$\frac{17}{25}$ V^{-1}

纵轴截距 $b=\frac{R_0+r}{E}$=7 A^{-1}

解得 $E\approx1.47$ V，$r\approx1.3$ Ω。

(4)设电流传感器的内阻为 R_A，再根据闭合电路欧姆定律得

$E=I(R+R_0+r_{真}+R_A)$

变形得$\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R+\frac{R_0+r_{真}+R_A}{E}$

则$\frac{R_0+r_{真}+R_A}{E}$=7 A^{-1}

可知干电池内阻的测量值 $r_{测}=r_{真}+R_A$

故电流传感器的电阻对干电池内阻的测量结果有影响。

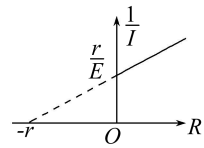
答案：(1)保护　(2)$\frac{1}{E}(R+R_0+r)$　(3)1.47　1.3　(4)有

［特别提醒］

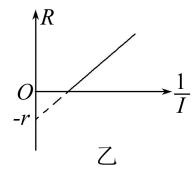
1.安阻法测电动势和内阻的数据处理方法

(1)计算法：由$\begin{cases}E=I_1R_1+I_1r,\\E=I_2R_2+I_2r,\end{cases}$解方程组求得 E，r。

(2)图像法：由 $E=I(R+r)$得$\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R+\frac{r}{E}$，$\frac{1}{I}$-$R$ 图像的斜率 $k=\frac{1}{E}$，纵轴截距为$\frac{r}{E}$(如图甲)；又 $R=E\cdot\frac{1}{I}-r$，R-$\frac{1}{I}$图像的斜率 $k=E$，纵轴截距为 $b=-r$(如图乙)。根据图像的斜率和截距求解。



甲



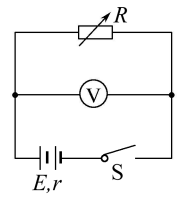
乙

2.伏阻法测电动势和内阻的数据处理方法

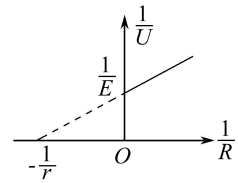
(1)计算法：由$\begin{cases}E=U_1+\frac{U_1}{R_1}r,\\E=U_2+\frac{U_2}{R_2}r,\end{cases}$解方程组可求得 E 和 r。

(2)图像法：电路图如图丙所示，由 $E=U+\frac{U}{R}r$得$\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R}$。

故$\frac{1}{U}$-$\frac{1}{R}$图像的斜率 $k=\frac{r}{E}$，纵轴截距为 $b=\frac{1}{E}$，如图丁所示，根据图像的斜率和截距求解。



丙

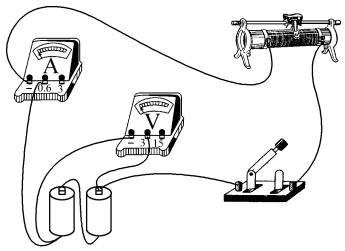


丁

课后素养评价(十六)

基础性·能力运用

1.(多选)某同学用电流表和电压表测干电池的电动势和内阻时,所用滑动变阻器的阻值范围为 0～20 Ω,连接电路的实物图如图所示。该同学接线中存在的错误和不规范的做法是　　(　　)



A. 滑动变阻器不起变阻作用

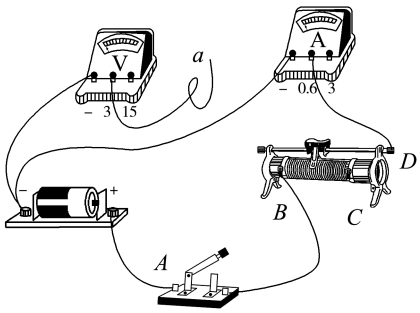
B. 电流表接线有错

C. 电压表量程选用不当

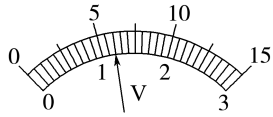
D. 电压表接线有错

ABD　**解析**:滑动变阻器要起变阻的作用,必须使接入电路的两根导线一条接在下面的接线柱上,另一条接在上面的金属杆的一端上,题图中变阻器起不到变阻的作用,故 A 符合题意;电流表和电压表接入电路时,选择好恰当的量程后,要特别注意"+""－"接线柱是否正确,不然的话,极易损坏电表,图中电流表的"+""－"接线柱错误,故 B 符合题意;干电池的电动势为 1.5 V,电压表量程适当,故 C 不符合题意;电压表不能直接并联到电源两端,因为开关断开后,电压表仍有示数,故 D 符合题意。

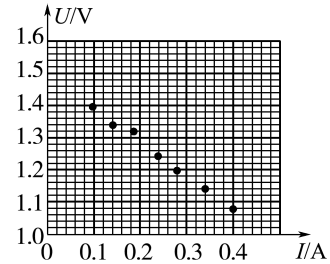
2.(2023·浙江卷)在"测量干电池的电动势和内阻"的实验中



甲



乙



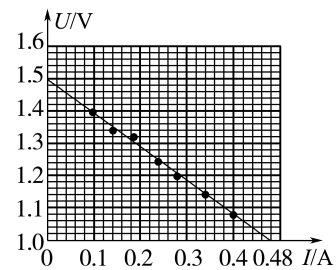
丙

(1)部分电路实物图连线如图甲所示,导线 a 端应连接到____(选填"A""B""C"或"D")接线柱上。正确连接后,某次测量中电压表指针位置如图乙所示,其示数为_____V。

(2)测得的 7 组数据已标在如图丙所示的 U-I 坐标系上,用作图法求干电池的电动势为 E=____V 和内阻为 r=_____Ω。(结果均保留两位小数)

解析:(1)电压表测量的电压应为滑动变阻器接入电路中电阻丝两端的电压,开关应能控制电路,所以导线 a 端应连接到 B 处;干电池电动势约为 1.5 V,电压表选择 0～3 V 量程,分度值为 0.1 V,题图乙中电压表读数为 1.20 V;

(2)作出 U-I 图像如图所示:



根据闭合电路的欧姆定律 $U=E-Ir$ 可知

U-I 图像纵轴截距为电源电动势可得 E=1.50 V

U-I 图像图线斜率的绝对值等于电源内阻 $r=\dfrac{1.50-1.00}{0.48-0}\ \Omega\approx1.04\ \Omega$。

答案:(1)B　1.20　(2)1.50　(3)1.04

3.在用电流表和电压表测量电源的电动势和内阻的实验中,被测的电源是两节干电池串联而成的电池组,可供选择的实验器材如下:

A. 电流表(量程 0～0.6 A,0～3 A);

B. 毫安表(量程 0～100 μA,0～100 mA);

C. 电压表(量程 0～3 V,0～15 V);

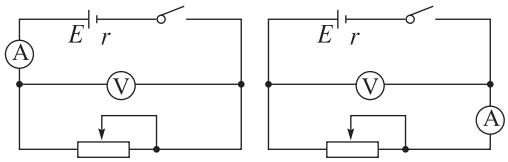
D. 滑动变阻器(0～1 000 Ω,0.1 A);

E. 滑动变阻器(0～20 Ω,2 A);

F. 开关一个,导线若干。

(1)为了尽量得到较好的效果,电流表应选_____(选填仪器序号),电流表量程应选_____,电压表量程应选_____,滑动变阻器应选_____(选填仪器序号)。

(2)如图有甲、乙两个可供选择的电路,应选电路_____进行实验,实验中误差是_____表的示数比实际值偏_____造成的。



解析:(1)一般干电池允许通过的最大电流为 0.5 A,故电流表应选 A,其量程应选 0～0.6 A。两节干电池串联后的电动势约为 3.0 V,故电压表量程应选 0～3 V。滑动变阻器的最大阻值只需要比电池组的内阻大几倍即可,故选择 E。

(2)一般情况下,电流表的内阻和电池内阻相差不大,其分压作用不可忽略,而电压表的内阻相对电池的内阻来说大很多,其分流作用可以忽略,故选择电路乙。题图乙实验中电压表的示数是路端电压,电流表的示数比干路中的电流略小,所以实验中的误差是由电流表的测量值比实际值偏小造成的。

答案:(1)A　0～0.6 A　0～3 V　E　(2)乙　电流　小

综合性·创新提升

4.某同学用下列器材测量电池的电动势和内阻。

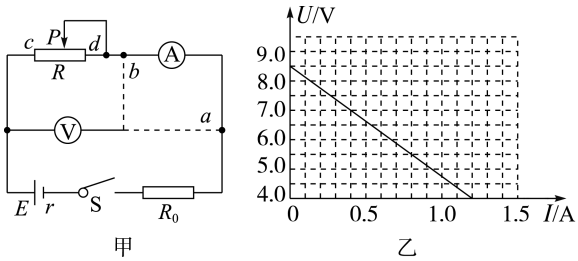
①电流表 A(量程 0～3 A,内阻约 0.5 Ω);

②电压表 V(量程 0～15 V,内阻约 15 kΩ);

③滑动变阻器 R(0～50 Ω,额定电流 3 A);

④定值电阻 $R_0=3$ Ω;

⑤开关 S 及导线若干。



(1)为减小实验误差,电路图甲中电压表的另一端(虚线所示)的导线应连接到_____(选填"a"或"b")端。

(2)连接好电路闭合开关 S 前,滑动变阻器的滑片 P 应置于_____(选填"c"或"d")端。

(3)进行正确操作,依据得到多组电压表和电流表读数,作出对应的 U-I 图像如图乙所示。由图线可知该电池的电动势为 $E=$_____V,内阻为 $r=$_____Ω。(结果均保留两位有效数字)

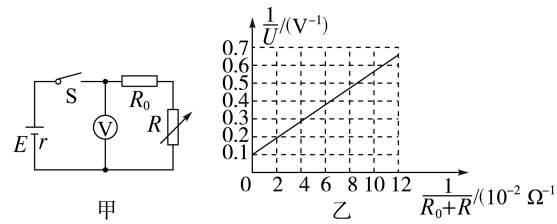
解析:(1)为减小实验误差,应采用电流表内接法(相对于滑动变阻器),即电路图甲中电压表虚线端的导线应连接到 a 端。

(2)连接好电路闭合开关 S 前,滑动变阻器的滑片 P 应置于阻值最大的位置,即 d 端。

(3)由题图乙可知该电池的电动势为 $E=8.5$ V,内阻为 $r=\left|\dfrac{\Delta U}{\Delta I}\right|-R_0=\left(\dfrac{8.5-4.0}{1.2}-3\right)$ Ω$=0.75$ Ω。

答案:(1)a　(2)d　(3)8.5　0.75

5.现有一种特殊的电池,它的电动势 E 约为 9 V,内阻 r 约为 50 Ω。已知该电池允许输出的最大电流为 50 mA,为了测量这个电池的电动势和内阻,某同学利用如图甲所示的电路进行实验,图中电压表的内阻很大,对电路的影响可不考虑,R 为电阻箱,阻值范围为 0～9 999 Ω,R_0 是定值电阻,起保护电路的作用。



(1)实验室备有的定值电阻 R_0 有以下几种规格,本实验应选_____。

A. 10 Ω　2.5 W

B. 100 Ω　1.0 W

C. 200 Ω　1.0 W

D. 2 000 Ω　5.0 W

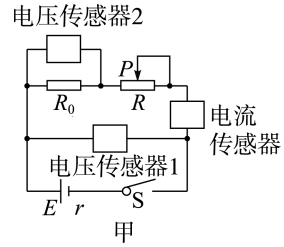
(2)该同学接入符合要求的 R_0 后,闭合开关 S,调整电阻箱的阻值,读取电压表的示数,然后继续改变电阻箱的阻值,取得多组数据,作出了如图乙所示的图线(已知该直线在 y 轴的截距为 0.1 V^{-1})。根据该同学所作出的图线可求得电池的电动势为 E=_____ V,内阻为 r=____Ω。(结果均保留两位有效数字)

解析:(1)根据电池的参数,起保护作用的定值电阻的最小值为 $R_0=\frac{E}{I}-r=\frac{9}{50\times10^{-3}}\ \Omega-50\ \Omega=130\ \Omega$,所以定值电阻应选 C。

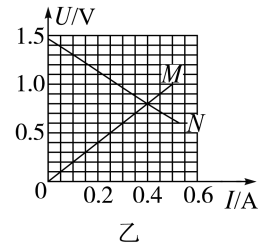
(2)根据闭合电路欧姆定律可知 $E=U+\frac{U}{R+R_0}r$,则 $\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{1}{R+R_0}\cdot\frac{r}{E}$,根据题中所给图线知,纵截距为电动势的倒数,故电源电动势的值为 10 V,电源的内阻为 $r=k\cdot E$,k 为图线的斜率,解得 r=46 Ω。

答案:(1)C　(2)10　46(45～47 均可)

6. 为了测量电源电动势 E、电源内阻 r 和定值电阻 R_0,某同学利用传感器设计了如图甲所示的电路。闭合开关 S,调节滑动变阻器的滑动触头 P 向某一方向移动时,通过电压传感器 1、电压传感器 2 和电流传感器测得数据,用计算机分别描绘了如图乙所示的 M、N 两条 U-I 直线。请回答下列问题:



甲



乙

(1)(多选)根据图乙中的 M、N 两条直线可知_____。

A. 直线 M 是根据电压传感器 1 和电流传感器的数据绘得的

B. 直线 M 是根据电压传感器 2 和电流传感器的数据绘得的

C. 直线 N 是根据电压传感器 1 和电流传感器的数据绘得的

D. 直线 N 是根据电压传感器 2 和电流传感器的数据绘得的

(2)根据图乙可以求得定值电阻 R_0=_____Ω。

(3)电源电动势 E=_____V,内阻 r=_____Ω。(结果均保留三位有效数字)

解析:(1)定值电阻的 U-I 图线是一条过原点的直线,故图线 M 是根据电压传感器 2 和电流传感器的数据绘得的,而图线 N 中电压随电流的增大而减小,故为路端电压的 U-I 图线,是由电压传感器 1 和电流传感器的数据绘得的,所以 B、C 正确,A、D 错误。

(2)定值电阻 U-I 图线的斜率表示电阻阻值,即 $R_0=\frac{0.8}{0.4}\ \Omega=2.0\ \Omega$。

(3)由 $U=E-Ir$ 可知,图线 N 的纵轴截距表示电源电动势,即 E=1.47 V;斜率的绝对值表示内阻,则 $r=\frac{1.47-0.8}{0.4}\ \Omega\approx1.68\ \Omega$。

答案:(1)BC　(2)2.0　(3)1.47　1.68

8　焦耳定律　电路中的能量转化
9　家庭电路

学习任务目标

1.了解电功与电热、电功率与热功率的区别和联系。（物理观念）
2.掌握纯电阻用电器及非纯电阻用电器的各种功率的计算方法。（科学思维）
2.理解电源内部和电路中的能量转化关系。（科学思维）
4.能分析并解决家庭电路中的简单问题，将安全用电和节约用电的知识应用于实际生活。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一　电功和电功率的理解和应用

1.电功

（1）定义：电场力在一段电路上所做的功等于这段电路两端的电压 U 与电路中的电流 I、通电时间 t 三者的乘积。

（2）公式：$W=UIt$。

（3）单位：国际单位是焦耳，符号是J。

（4）意义：电流做功的过程是电能转化为其他形式的能量的过程，电流做了多少功，表明有多少电能转化为其他形式的能量。即电功是电能转化为其他形式能量的量度。

2.电功率

（1）定义：电流所做的功 W 与做这些功所用时间 t 的比。

（2）公式：$P=\dfrac{W}{t}=UI$。

（3）单位：国际单位是瓦特，符号是W。

（4）大小：一段电路上的电功率 P 等于这段电路两端的电压 U 和电路中电流 I 的乘积。

（5）意义：表示电流做功的快慢。

［科学思维］

电能表测量电路中消耗的电能，千瓦时是电功的单位，1 kW·h=3.6×10^6 J。



知识点二　焦耳定律、热功率的理解和应用

1.焦耳定律

（1）内容：电流通过电阻产生的热量 Q 跟电流 I 的二次方成正比，跟导体的电阻 R 成正比，跟通电时间 t 成正比。

（2）公式：$Q=I^2Rt$。

2.焦耳热

电流通过电阻而产生的热量。

3.热功率

（1）定义：电流通过电阻所产生的热量 Q 与产生这些热量所用时间 t 的比；即单位时间内电流通过电阻所产生的热量。

（2）公式：$P_{热}=\dfrac{Q}{t}=I^2R$。

4.焦耳热的应用与危害

（1）应用：利用电流的热效应来加热、烘干物体，如电烙铁、电烤箱、电暖器、电炉、电饭锅、电熨斗等。

（2）危害

①缩短用电器的使用寿命。

②烧坏用电器甚至引起火灾。

［科学思维］

（1）如图甲、乙所示分别为电烙铁和电熨斗，为什么这些用电器通电后会发热呢？


甲


乙

提示：电流通过用电器时受到电阻的“阻碍”而做功，将电能转变为内能。

（2）电烙铁通电后，电烙铁的烙铁头热得能把金属熔化，而与电烙铁相连的导线却不怎么热，为什么？

提示：由 $Q=I^2Rt$ 可知，电烙铁的烙铁头电阻比导线的电阻大很多，因此相同时间内 $Q_{烙铁头}\gg Q_{导线}$。

知识点三　电路中能量转化的理解和应用

1.电路中的能量转化

（1）纯电阻电路中：$P_{电}=P_{热}$。

（2）在非纯电阻电路中：$P_{电}=P_{热}+P_{其他}$。

2.闭合电路的功率分析

(1)公式表达:结合闭合电路欧姆定律可得$IE=IU+I^2r$。

(2)物理意义:电源把其他形式的能量转化为电能的功率IE,等于电源输出功率IU与电源内电路的热功率I^2r之和。

[**科学思维**]

电动机工作时的能量转化

(1)能量关系:电动机从电源获得的能量一部分转化为机械能,还有一部分转化为内能。

(2)功率关系:电动机消耗的功率$P_{电}$等于电动机的输出功率$P_{机}$与电动机发热损失的功率$P_{损}$之和,即$P_{电}=P_{机}+P_{损}$,$P_{电}=UI$,$P_{损}=I^2R$,电动机的效率为$\eta=\frac{P_{机}}{P_{总}}\times100\%$。

知识点四　家庭电路

1.对于某种规格的导线,其允许通过的电流要有所限制,否则导线上积累的焦耳热将带来危害。

2.安全用电知识

(1)为了人体的安全,要做到:不接触低压带电体,不靠近高压带电体,不损坏绝缘层,不弄湿用电器。

(2)如果发生触电事故,应首先切断电源开关,使触电者脱离电源后再进行抢救。

(3)应避免电流过载,及时更换老旧设备和有破损的电线,防止电线过热而发生火灾。

(4)雷雨天应注意防雷击。

3.家庭电路中的安全防护设施

(1)安装可靠的接地线。

(2)过载保护与漏电保护。

4.节约用电

(1)尽量使用节能的电器。

(2)合理使用空调。

(3)较长时间不使用的电器,要关闭电源。

[**科学思维**]

全球电能的最主要来源是火力发电,节约用电,不仅可以减少能源消耗,缓解能源紧张问题,还可以减少环境污染。

任务型课堂

任务一　电功和电功率

[**探究活动**]

在日常生活中,经常会用到家用小电器,如电吹风、电熨斗等。它们都有不同的功能,像电吹风可以吹暖风和热风,都是通过电流做功把电能转化为其他形式的能量。

(1)电流做功的实质是什么?

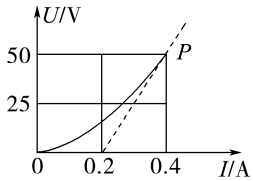
(2)不同用电器的功率一般不同。功率越大的用电器所做的功一定越多吗?

提示:(1)导体中的恒定电场通过静电力对自由电荷做功,通过电流做功的过程是把电能转化为其他形式的能量的过程。

(2)不一定。功率是描述做功快慢的物理量,功率越大的用电器在相同时间内做的功就越多,时间不同时就不一定。

[**评价活动**]

1.(多选)如图所示为某电学元件的U-I图像,图中虚线为曲线上过P点的切线。当通过该元件的电流为0.4 A时　(　　)



A. 该元件的阻值为250 Ω

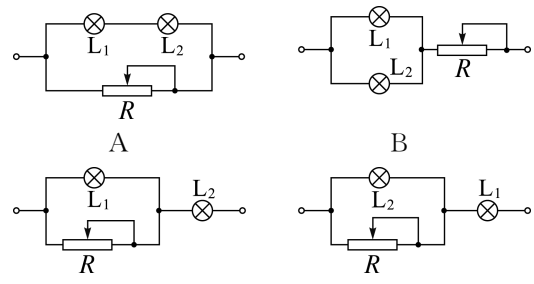
B. 该元件的阻值为125 Ω

C. 该元件消耗的电功率为20 W

D. 该元件消耗的电功率无法求解

BC　**解析**:由题图可知,当电流为0.4 A时,该元件的电压为50 V,则由欧姆定律可知,阻值为$R=\frac{U}{I}=\frac{50}{0.4}\ \Omega=125\ \Omega$,故B正确,A错误;由$P=UI$可知,该元件消耗的电功率为$P=UI=50\times0.4$ W$=20$ W,故C正确,D错误。

2.现有标有"110 V　40 W"的灯泡L_1、标有"110 V　100 W"的灯泡L_2及一只最大阻值为500 Ω的滑动变阻器R,将它们接在220 V的电路中,在下列几种接法中,最合理的是　(　　)



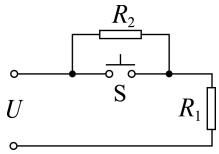
C　**解析**:在电路A中,两灯泡串联,则通过两灯泡的电流相等,不能保证两灯泡都正常发光;在电路B中,若两灯泡都正常发光,则通过R的电流等于两灯泡的额定电流之和,$I_{总}=\frac{P_1}{U}+\frac{P_2}{U}=\frac{14}{11}$ A,两灯泡的并联电压为110 V,则R上的电压为110 V,根据$P=UI$,知电阻上消耗的功率与两灯泡消耗的功率之和相等,所以整个电路的总功率$P=(40+100)\times2$ W$=280$ W;在电路C中,若两灯泡正常发

光，通过 R 的电流为 $\frac{6}{11}$ A，R 与 L_1 并联，电压相等，根据 $P=UI$，得 R 与 L_1 的功率之比等于电流之比，为 3∶2，则 R 上消耗的功率为 60 W，故整个电路的总功率 $P=60\ \text{W}+40\ \text{W}+100\ \text{W}=200\ \text{W}$，电路 C 的接法消耗的功率较低；在电路 D 中，灯泡 L_1 的额定电流 $I_1=\frac{40}{110}\ \text{A}=\frac{4}{11}\ \text{A}$，灯泡 L_2 的额定电流 $I_2=\frac{100}{110}\ \text{A}=\frac{10}{11}\ \text{A}$，若灯泡 L_2 能正常发光，则灯泡 L_1 就会烧掉，电路不能保证两灯泡同时正常发光。本题选最合理的接法，故选 C。

3. 电热毯、电饭锅等是人们常用的电热式家用电器，它们一般具有加热和保温的功能，其工作原理大致相同。如图所示为某种电热式家用电器的简化电路图，主要元件有电阻丝 R_1、R_2 和自动开关 S。

(1)当自动开关 S 闭合和断开时，用电器分别处于什么状态？

(2)用电器由照明电路供电($U=220$ V)，设加热时用电器的电功率为 400 W，保温时用电器的电功率为 40 W，则 R_1 和 R_2 分别为多大？



解析：(1)当 S 闭合时，R_2 短路，用电器消耗的电功率 $P_1=\frac{U^2}{R_1}$；当 S 断开时，$P_2=\frac{U^2}{R_1+R_2}$。因为 $P_1>P_2$，故 S 闭合时为加热状态，S 断开时为保温状态。

(2)S 闭合时，由 $P_1=\frac{U^2}{R_1}$ 得 $R_1=\frac{U^2}{P_1}=\frac{220^2}{400}\ \Omega=121\ \Omega$；S 断开时，由 $P_2=\frac{U^2}{R_1+R_2}$ 得 $R_2=\frac{U^2}{P_2}-R_1=\left(\frac{220^2}{40}-121\right)\Omega=1\ 089\ \Omega$。

答案：(1)加热　保温　(2)121 Ω　1 089 Ω

任务总结

1. 电功是用来计量电能的转化量的，表示电能转化为其他形式能量的多少。

2. 电功率表示电流做功的“快慢”，与电流做功的“多少”意义不相同。电功的大小不仅与电功率有关，还与通电时间有关。

3. 当实际电压等于额定电压时，实际功率等于额定功率。

4. 串联电路中各个电阻消耗的电功率与它们的电阻成正比；并联电路中各个电阻消耗的电功率与它们的电阻成反比。

5. 无论是串联还是并联，电路上消耗的总功率等于各个电阻上消耗的功率之和。

任务二　焦耳定律、电路中的能量转化

[探究活动]

某电路中只含有一种元件，即白炽灯、电动机、电炉、电容器、电熨斗、电饭锅或电解槽中的一种。

(1)含哪种元件的电路属于纯电阻电路？

(2)电动机正常工作时总功率为 P，热功率为 $P_{热}$，总功率和热功率是否相等？

提示：(1)分别含有白炽灯、电炉、电熨斗和电饭锅的电路属于纯电阻电路。

(2)电动机工作时主要把电能转化为机械能，是非纯电阻电路，故 P 不等于 $P_{热}$。

[评价活动]

1. 关于电功和电热的计算，下列说法正确的是(　　)

A. 如果是纯电阻电路，电功可用公式 $W=UIt$ 计算，也可用公式 $W=I^2Rt$ 计算

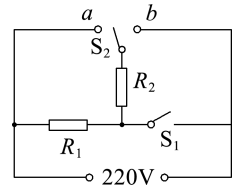
B. 如果是纯电阻电路，电热可用公式 $Q=I^2Rt$ 计算，但不能用公式 $Q=UIt$ 计算

C. 如果是非纯电阻电路，电功只能用公式 $W=I^2Rt$ 计算

D. 如果是非纯电阻电路，电热可用公式 $Q=I^2Rt$ 计算，也可用公式 $Q=UIt$ 计算

A　**解析**：纯电阻电路中，电功和电热相等，电功和电热可用公式 $W=UIt$ 计算，也可用公式 $W=I^2Rt$ 计算，故 A 正确，B 错误；非纯电阻电路中，电功只能用公式 $W=UIt$ 计算，故 C 错误；非纯电阻电路中，电热只能用公式 $Q=I^2Rt$ 计算，故 D 错误。

2. 如图所示为一电热水器内部电路简化图，R_1 和 R_2 均为电热丝。已知该电热水器的额定电压为 220 V，有低温挡、中温挡和高温挡三个挡位，中温挡的额定电流大小为 5 A，低温挡的额定电流大小为 2 A，则下列说法不正确的是(　　)



A. 低温挡的额定功率是 440 W

B. 中温挡正常工作 1 min 产生的热量是 6.6×10^4 J

C. 高温挡的额定电流约为 8.3 A

D. 电热丝 R_2 的阻值是 44 Ω

D　**解析**：低温挡的额定功率 $P_1=UI_1=220\times2\ \text{W}=440\ \text{W}$，故 A 正确。中温挡正常工作 1 min 产生的热量 $Q=UI_2t=220\times5\times60\ \text{J}=6.6\times10^4\ \text{J}$，故 B 正确。当 S_1 断开，S_2 接 b 时，R_1、R_2 串联，电阻最大，为低温挡，此时电路中的总电阻为 $R_1+R_2=\frac{U}{I_1}=\frac{220}{2}\ \Omega=110\ \Omega$；当 S_1 闭合，S_2 断开时，接入电路的电阻只有 R_1，为中温挡，此时电路中的总电

阻为 $R_1=\frac{U}{I_2}=\frac{220}{5}\ \Omega=44\ \Omega$，解得 $R_2=66\ \Omega$；当 S_1 闭合，S_2 接 a 时，R_1、R_2 并联，为高温挡，此时电路中的总电阻为 $R_{并}=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}=\frac{44\times66}{44+66}\ \Omega=26.4\ \Omega$，额定电流 $I=\frac{U}{R_{并}}=\frac{220}{26.4}\ \text{A}\approx8.3\ \text{A}$，故 C 正确，D 错误。

3. 小明准备参加玩具赛车比赛，他想通过实验挑选一台能量转换效率较高的电动机。实验时他先用手捏住电动机的转轴，使其不转动，然后放手，让电动机正常转动，分别将两次实验的有关数据记录在表格中。请问：

电动机的电压/V	电动机工作状态	通过电动机的电流/A
0.2	不转动	0.4
2.0	正常转动	1.0

(1)这只电动机线圈的电阻为多少？

(2)当电动机正常工作时，转化为机械能的电功率是多少？

(3)当电动机正常工作 1 min 时，电动机消耗的电能是多少？

(4)该电动机正常工作时电能转化为机械能的效率是多少？

解析：(1)电动机不转动时，是纯电阻电路，则

$r=\frac{U_r}{I_r}=\frac{0.2}{0.4}\ \Omega=0.5\ \Omega$。

(2)当电动机正常工作时，转化为机械能的电功率

$P_{机}=UI-I^2r=(2.0\times1.0-1.0^2\times0.5)\ \text{W}=1.5\ \text{W}$。

(3)当电动机正常工作时，$P_{总}=UI=1\times2\ \text{W}=2\ \text{W}$

当电动机正常工作 1 min 时，电动机消耗的电能

$E=P_{总}t=2\times60\ \text{J}=120\ \text{J}$。

(4)电能转化为机械能的效率

$\eta=\frac{P_{机}}{P_{总}}\times100\%=\frac{1.5}{2}\times100\%=75\%$。

答案：(1)0.5 Ω　(2)1.5 W　(3)120 J　(4)75%

4. 某同学为了测量某非纯电阻电路的机械功率，进行了如下操作：取一电动剃须刀，接入电路，当加在它两端的电压为 $U_1=0.3\ \text{V}$ 时剃须刀不转动，测量得电路中的电流 $I_1=0.3\ \text{A}$；如果在它两端加上 $U_2=2\ \text{V}$ 的电压，剃须刀正常工作，测量得电路中的电流 $I_2=0.8\ \text{A}$。通过以上数据计算 $U_2=2\ \text{V}$ 时剃须刀消耗的电功率和输出的机械功率分别为多少。

解析：电压 $U_1=0.3\ \text{V}$ 时，剃须刀不转动，则输出的机械功率为 0，此时的电路可视为纯电阻电路，电路电阻

$r=\frac{U_1}{I_1}=\frac{0.3}{0.3}\ \Omega=1\ \Omega$

电压 $U_2=2\ \text{V}$ 时

剃须刀消耗的电功率

$P=U_2I_2=2\times0.8\ \text{W}=1.6\ \text{W}$

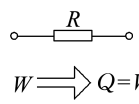
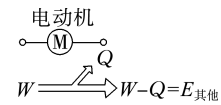
由能量守恒定律可知，消耗的电能一部分转化为内能，一部分转化为对外输出的机械能，因此剃须刀输出的机械功率

$P'=P-I_2^2r=1.6\ \text{W}-0.8^2\times1\ \text{W}=0.96\ \text{W}$。

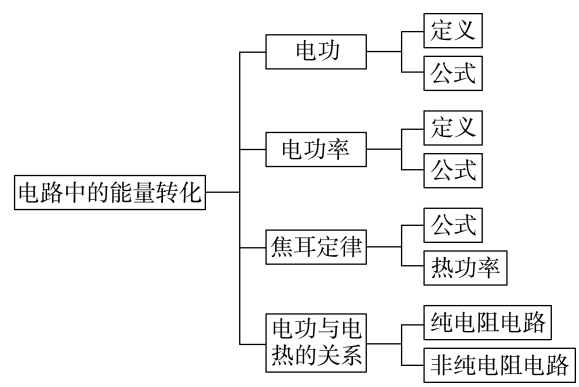
答案：1.6 W　0.96 W

任务总结

纯电阻电路和非纯电阻电路的区别

对比项目	纯电阻电路	非纯电阻电路
元件特点	电路中只有电阻元件	除电阻外还包括能把电能转化为其他形式能量的用电器
欧姆定律	服从欧姆定律，$I=\frac{U}{R}$	不服从欧姆定律，$U>IR$ 或 $I<\frac{U}{R}$
能量转化	电流做功全部转化为内能	电流做功除转化为内能外，还要转化为其他形式的能量
元件举例	电阻、电炉丝、白炽灯	电动机、电解槽、日光灯
功能关系直观图		

提质归纳



课后素养评价(十七)

基础性·能力运用

知识点 1　电功和电功率

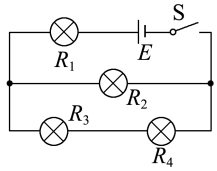
1. 当一电阻两端加上某一稳定电压时,一段时间内通过该电阻的电荷量为 0.3 C,消耗的电能为 0.9 J。为在相同时间内使 0.6 C 的电荷量通过该电阻,则其两端需加的电压和消耗的电能分别是　(　　)

A. 3 V,1.8 J　　B. 3 V,3.6 J

C. 6 V,1.8 J　　D. 6 V,3.6 J

D　**解析**:通过电阻的电荷量为 0.3 C 时,电阻两端所加的电压为 $U_1=\frac{W_1}{q_1}=\frac{0.9}{0.3}$ V=3 V。若在相同时间内通过电阻的电荷量变为原来的 2 倍,由 $q=It$ 可知电流变为原来的 2 倍,由 $U=IR$ 得电阻两端的电压变为原来的 2 倍,即电阻两端需加的电压为 6 V,由 $W=qU$ 得消耗的电能为 $W_2=q_2U_2=0.6\times 6$ J=3.6 J,故 D 正确。

2. 如图所示,电路中灯泡均正常发光,灯泡阻值分别为 $R_1=2\ \Omega$、$R_2=3\ \Omega$、$R_3=2\ \Omega$、$R_4=4\ \Omega$,电源电动势为 $E=12$ V,内阻不计,四个灯泡中消耗功率最大的是　(　　)



A. R_1　　B. R_2

C. R_3　　D. R_4

A　**解析**:由电路图可知 R_3、R_4 串联后与 R_2 并联,再与 R_1 串联。并联部分的等效电阻为 $R_{并}=\frac{R_2(R_3+R_4)}{R_2+R_3+R_4}=2\ \Omega$,由闭合电路欧姆定律可知,干路电流即经过 R_1 的电流为 $I_1=I=\frac{E}{R_1+R_{并}}=3$ A,并联部分各支路电流大小分别为 $I_2=\frac{IR_{并}}{R_2}=2$ A,$I_3=I_4=\frac{IR_{并}}{R_3+R_4}=1$ A,四个灯泡的实际功率分别为 $P_1=I_1^2R_1=18$ W,$P_2=I_2^2R_2=12$ W,$P_3=I_3^2R_3=2$ W,$P_4=I_4^2R_4=4$ W,故四个灯泡中消耗功率最大的是 R_1。故选 A。

知识点 2　焦耳定律

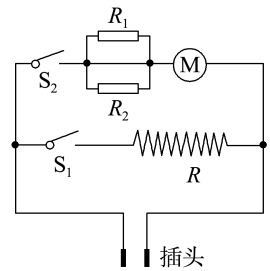
3. 通过电阻 R 的电流为 I 时,在时间 t 内产生的热量为 Q;若电阻为 $2R$,电流为 $\frac{I}{2}$,则在时间 t 内产生的热量为　(　　)

A. $4Q$　　B. $2Q$

C. $\frac{Q}{2}$　　D. $\frac{Q}{4}$

C　**解析**:由题知,变化前后,电阻之比为 $R:R'=1:2$,电流之比为 $I:I'=2:1$,时间之比为 $t:t'=1:1$,则根据 $Q=I^2Rt$ 得 $Q:Q'=\frac{I^2Rt}{I'^2R't'}=\left(\frac{I}{I'}\right)^2\times\frac{R}{R'}\times\frac{t}{t'}=\left(\frac{2}{1}\right)^2\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{1}=\frac{2}{1}$,即电阻 $2R$ 在时间 t 内产生的热量为 $\frac{Q}{2}$,故 C 正确。

4. (多选)某兴趣小组的同学在实验室设计了如图所示的简易电吹风,主要器材有定值电阻 R_1、R_2、电动机 M 和电热丝 R,已知电动机 M 标有"100 V 50 W"的字样,它的线圈内阻为 4 Ω。$R_1=480\ \Omega$,电热丝 $R=44\ \Omega$。当把该电吹风接入 220 V 的家庭电路中,电动机 M 恰好可以正常工作,则下列说法正确的　(　　)



A. 电热丝的热功率为 $P=1\ 100$ W

B. 电阻 $R_2=240\ \Omega$

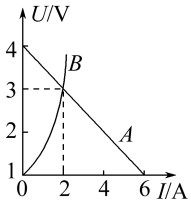
C. 电动机 M 正常工作时的输出功率为 $P_1=49$ W

D. 若开关 S_1、S_2 都闭合,1 min 消耗的电能为 $E=6.9\times10^4$ J

AC　**解析**:电热丝的热功率为 $P=\frac{U^2}{R}=\frac{220^2}{44}$ W=1 100 W,故 A 正确;通过电动机 M 的电流为 $I_M=\frac{P_{电}}{U_M}=\frac{50}{100}$ A=0.5 A,通过 R_1 的电流为 $I_1=\frac{U-U_M}{R_1}=\frac{220-100}{480}$ A=0.25 A,则有 $R_2=\frac{U-U_M}{I_M-I_1}=\frac{220-100}{0.5-0.25}\ \Omega=480\ \Omega$,故 B 错误;电动机 M 正常工作时的输出功率为 $P_1=P_{电}-I_M^2r=50$ W$-0.5^2\times4$ W=49 W,故 C 正确;若开关 S_1、S_2 都闭合,1 min 消耗的电能为 $E=\frac{U^2}{R}t+UI_Mt=\frac{220^2}{44}\times60$ J$+220\times0.5\times60$ J$=7.26\times10^4$ J,故 D 错误。

知识点 3　电路中的能量转化

5.如图所示，直线 A 为某电源的 U-I 图线，曲线 B 为某小灯泡 D_1 的 U-I 图线的一部分。若用该电源和小灯泡 D_1 组成闭合电路时，小灯泡 D_1 恰好能正常发光，则下列说法正确的是　　（　　）



A. 此电源的内阻为 $\frac{2}{3}\ \Omega$

B. 小灯泡 D_1 的额定电压为 3 V，功率为 6 W

C. 把小灯泡 D_1 换成“3 V　20 W”的灯泡 D_2，电源的输出功率将变小

D. 因为小灯泡 D_1 的 U-I 图线是一条曲线，所以欧姆定律不适用小灯泡的发光过程

B　**解析**：由题图读出电源的电动势 $E=4$ V，内阻 $r=\frac{\Delta U}{\Delta I}=0.5\ \Omega$，故 A 错误；两图线的交点表示小灯泡 D_1 与电源连接时的工作状态，此时小灯泡的电压 $U=3$ V，电流 $I=2$ A，功率为 $P=UI=6$ W，由于小灯泡 D_1 正常发光，则小灯泡 D_1 的额定电压为 3 V，功率为 6 W，故 B 正确；小灯泡 D_1 的电阻 $R_1=\frac{U}{I}=\frac{3}{2}\ \Omega=1.5\ \Omega$，规格为“3 V　20 W”的小灯泡 D_2 的电阻为 $R_2=\frac{U_2^2}{P_2}=\frac{3^2}{20}\ \Omega=0.45\ \Omega$，可知小灯泡 D_2 的电阻更接近电源的内阻，根据电源的内、外电阻的大小与电源的输出功率之间的关系，可知把小灯泡 D_1 换成“3 V　20 W”的小灯泡 D_2，电源的输出功率将变大，故 C 错误；小灯泡是纯电阻，欧姆定律仍适用，图线为曲线是由小灯泡的电阻随温度的增大而增大引起的，故 D 错误。

知识点 4　家庭电路

6.关于家庭电路，下列说法正确的是　　（　　）

A. 在家庭电路中，所有电器一般是串联连接

B. 洗衣机、电冰箱等家用电器使用三孔插座，是为了节约用电

C. 我国家庭电路采用的是电压为 220 V 的交流电

D. 保险丝是为了防止电路发生断路

C　**解析**：在家庭电路中，所有电器一般是并联连接，A 错误；洗衣机、电冰箱等家用电器使用三孔插座是用来接地线的，防止金属外壳漏电，B 错误；我国家庭电路采用的是电压为 220 V 的交流电，C 正确；保险丝是为了防止电路发生短路，D 错误。

综合性·创新提升

7.（多选）如图所示为装在屋顶上的某种太阳能电池板，每块电池板的面积为 2 m^2。晴天时，电池板平均每平方米每分钟接收到的太阳能为 6×10^4 J，电池板的光电转化效率为 25%。以下说法不正确的是　　（　　）



A. 太阳能为可再生能源

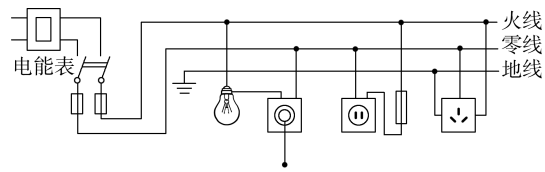
B. 电池板的光电转化效率为 25%，说明此过程能量不守恒

C. 晴天时太阳照射 2 h，每块电池板产生的电能为 1.44×10^7 J

D. 晴天时的白天（按 8 h 计算），一块电池板产生的电能可以提供十盏 60 W 的白炽灯正常工作 20 h

BCD　**解析**：太阳能可以从自然界中源源不断地得到补充，属于可再生能源，故 A 正确，不符合题意；电池板的光电转化效率为 25% 只说明接收到的太阳能有 25% 转化成电能，并不代表能量不守恒，故 B 错误，符合题意；由题意可知，晴天时太阳照射 2 h，每块电池板产生的电能 $E=2\times6\times10^4\times2\times60\times25\%$ J $=0.36\times10^7$ J，故 C 错误，符合题意；晴天时的一天，日照按 8 h 计算，一块电池板产生的电能为 $E'=4E=1.44\times10^7$ J，能让十盏 60 W 的白炽灯工作的时间 $t=\frac{E'}{P}=\frac{1.44\times10^7}{10\times60}$ s $=2.4\times10^4$ s $\approx$ 6.7 h，故 D 错误，符合题意。

8.如图所示的家庭电路中，有两个器件连接错误，它们分别是　　（　　）



A. 带开关的灯泡和三孔插座

B. 带开关的灯泡和带熔丝的两孔插座

C. 闸刀开关和带开关的灯泡

D. 闸刀开关和三孔插座

A　**解析**：开关控制灯泡时，火线连接开关，开关另一个接线柱连接灯泡，开关既能控制灯泡，又能在灯泡损坏后，断开开关，切断火线，安全地更换灯泡，图中带开关的灯泡连接错误；两孔插座左孔接零线，右孔接火线，当插座上接入大功率的用电器时，还要在火线上串联一根保险丝，这样在电流过

大时，能自动切断电源，起到保险作用，图中带熔丝的两孔插座连接正确；三孔插座的上孔接地线，左孔接零线，右孔接火线，当有金属外壳的用电器插入三孔插座时，假如用电器漏电，能防止人接触用电器时发生触电事故，图中三孔插座连接错误；进户线进入用户，首先连电能表，然后接入总开关，即闸刀开关，总开关的后面接入保险丝，图中闸刀开关和保险丝连接正确。可见，连接错误的是带开关的灯泡和三孔插座。

9. 一种服务型机器人的额定功率为 48 W，额定工作电压为 24 V，机器人的锂电池容量为 20 A·h，则该机器人（　　）

A. 额定工作电流为 20 A

B. 充满电后最长工作时间为 2 h

C. 电池充满电后总电荷量为 7.2×10^4 C

D. 以额定电流工作时，每秒消耗的能量为 20 J

C　**解析**：根据 $P=UI$ 可知，额定电流应该为 $I=\frac{P}{U}=\frac{48}{24}$ A=2 A，故 A 错误；机器人的锂电池容量为20 A·h，即当机器人在额定电流 2 A 下工作时，能够工作的最长时间为 10 h，故 B 错误；电池充满电后的总电荷量为 $q=It=20\times3\ 600$ C$=7.2\times10^4$ C，故 C 正确；在额定电流下，机器人的功率为 48 W，即每秒消耗 48 J 的电能，故 D 错误。

10. 某商场安装了一台倾角为 $\theta=30°$ 的自动扶梯，该扶梯在电压为 $U=380$ V 的电动机带动下以 $v=0.4$ m/s 的恒定速度沿斜上方移动。已知电动机的最大输出功率为 $P_m=5.59$ kW，不载人时测得电动机中的电流为 $I=5.5$ A。若载人时扶梯的移动速度和不载人时的移动速度相同，设每个人的平均质量为 $m=50$ kg，取 $g=10$ m/s^2，则这台自动扶梯可同时承载的最多人数为多少？

解析：设可同时承载的最多人数为 n，此时电动机处于最大输出功率 P_m 状态；

扶梯自身移动所需功率

$P_1=IU=5.5\times380$ W$=2\ 090$ W$=2.09$ kW

则 n 个人以恒定速度 $v=0.4$ m/s 斜向上移动所需功率 $P_2=P_m-P_1=(5.59-2.09)$ kW$=3.5$ kW

由 $P_2=nmgv\sin\theta$ 可得

$$n=\frac{P_2}{mgv\sin\theta}=\frac{3.5\times10^3}{50\times10\times0.4\times\frac{1}{2}}=35\text{ 人。}$$

答案：35 人

单元活动构建

单元活动 4　闭合电路及其应用

「单元任务」

任务内容	
任务一	闭合电路中的各种功率
任务二	含容电路

「任务引导」

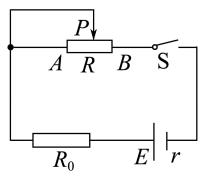
资料：像初中学过的电学一样，若电源没有内阻，则 $U=E$，路端电压会一直保持不变，问题会简单明了。而实际上电源有内阻，因此真实情况是 $E=U+Ir$，这样问题就会变得复杂。

在学习力学和运动学时，我们往往会从多个角度理解相关物理规律，如我们会从图像、能量的角度去理解。同样，在学习电路及其应用的相关知识时，也是从多角度理解相关物理规律，比如我们学习了伏安特性曲线，学习了电路中的能量转化，这些都是从多角度理解物理规律。

我们在学习闭合电路欧姆定律时，除了从传统的电压、电流角度学习之外，同样也要从图像、能量的角度进行学习，这样可以拓展思路，更加全面、深刻地理解物理规律。

任务一　闭合电路中的各种功率

活动　如图所示，已知电源内阻为 r，定值电阻 R_0 的阻值也为 r，滑动变阻器 R 的总电阻为 $2r$。现将开关 S 闭合，滑动变阻器的滑片 P 由 A 向 B 滑动。



(1)电源的输出功率怎样变化？

(2)定值电阻 R_0 消耗的功率怎样变化？

(3)滑动变阻器消耗的功率怎样变化？

(4)当 R 为何值时，R_0 消耗的功率最大？

提示：(1)由题图可知，当滑动变阻器的滑片 P 由 A 向 B 滑动时，滑动变阻器的有效电阻在减小，外电路电阻由 $3r$ 逐渐减小为 r，电路电流增大，由电源的输出功率与外电阻的关系可知，电源的输出功率由小变到最大。

(2)定值电阻 R_0 消耗的功率为 $P_{R0}=I^2R_0$，因电流在不断增大，则 R_0 消耗的功率也由小变大。

(3)把 $R_0+r=2r$ 视为新电源的内阻，可知当 $R=2r$ 时滑动变阻器消耗的功率最大，当 R 变小时，其消耗的功率变小，则滑动变阻器消耗的功率由大变小。

(4)当 $R=0$ 时，R_0 消耗的功率最大。

任务二　含容电路

活动　在直流电路中，当电容器充电、放电时，电路中有充电、放电电流。

(1)一旦电路达到稳定状态，电容器所在支路有无电流通过？

(2)电路稳定后，电容器两极板间的电压如何确定？

(3)电路的电压变化时，将会引起电容器的充电、放电如何变化？

(4)如何求电容器所带的电荷量及其变化量？

提示：(1)电路稳定后，电容器在电路中就相当于一个阻值无限大(只考虑电容器是理想的、不漏电的情况)的元件，在电容器处电路可视为断路，无电流通过，简化电路时可去掉该支路。

(2)电容器两极板间的电压就等于该支路两端的电压。

(3)如果电容器两端的电压升高，电容器将充电；如果电容器两端的电压降低，电容器将通过与它连接的电路放电。

(4)求电容器所带电荷量时，可先求出电容器两端的电压，再根据 $Q=CU$ 计算。电路中的电流、电压变化时，将会引起电容器的充、放电，电荷量的变化量为 $\Delta Q=C\Delta U$。

「知识链接」

一、闭合电路中的各种功率

1.各部分功率关系分析(纯电阻电路)

由 $EIt=I^2Rt+I^2rt$ 可知 $EI=I^2R+I^2r$，

式中，$P_{电源}=EI$，$P_{外}=I^2R$，$P_{内}=I^2r$。

2.电源的输出功率

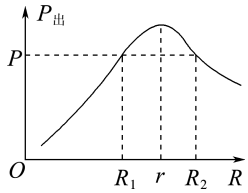
当外电路为纯电阻电路时，讨论如下：

(1)电源的输出功率

$$P_{出}=I^2R=\frac{E^2}{(R+r)^2}R=\frac{E^2R}{(R-r)^2+4Rr}=\frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R}+4r}$$

由此可知，当 $R=r$ 时电源有最大输出功率，且 $P_{出max}=\frac{E^2}{4r}$。

(2)$P_{出}$ 与外电阻 R 的函数关系图像如图所示：



①当 $R<r$ 时，R 越大，$P_{出}$ 越大；

②当 $R=r$ 时，$P_{出}=\dfrac{E^2}{4r}$，为最大值；

③当 $R>r$ 时，R 越大，$P_{出}$ 越小。

(3)电源的效率

$$\eta=\frac{P_{出}}{P}=\frac{IU_{外}}{IE}=\frac{U_{外}}{E}=\frac{IR}{I(R+r)}=\frac{R}{R+r}=\frac{1}{1+\dfrac{r}{R}}$$

可见，外电阻 R 越大，电源的效率越高。

二、含容电路

1.电路中电流、电压的变化可能会引起电容器的充电、放电。若电容器两端电压升高，电容器将充电；若两端电压降低，电容器将通过与它连接的电路放电。

2.电容器接入电路中，电流稳定后：

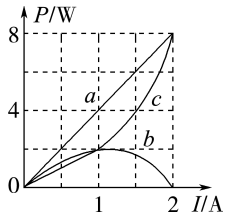
(1)把电容器处的支路视为断路，简化电路时可以去掉该支路，求电荷量时再在相应位置补上。

(2)与电容器串联的电路中没有电流，同一支路的电阻相当于导线，即电阻不起降压的作用，但电容器两端可能出现电势差。

(3)如果电容器与电源并联，且电路中有电流通过，则电容器两端的电压不是电源电动势 E，而是路端电压 U。

「活动达标」

1.某同学将一直流电源的总功率 P_1、输出功率 P_2 和电源内部的发热功率 P_3 随电流 I 变化的图线画在了同一坐标系中，分别如图中的 a、b、c 三条图线所示。已知该电路为纯电阻电路，根据图线可知　　(　　)



A. 反映 P_3 变化的图线是 b

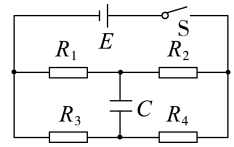
B. 电源电动势为 8 V

C. 电源内阻为 4 Ω

D. 当电流为 0.5 A 时，外电路的电阻为 6 Ω

D　**解析**：由电源消耗总功率和电源内部的发热功率表达式 $P_1=EI$、$P_3=I^2r$ 可知，a 是直线，表示的是电源消耗的总功率，c 是抛物线，表示的是电源内部的发热功率，b 表示外电阻的功率，即电源的输出功率 P_2，故 A 项错误；由 $P_1=EI$ 知 $E=4$ V，故 B 项错误；由题图像知 $r=\dfrac{8}{2^2}$ Ω$=2$ Ω，故 C 项错误；由闭合电路欧姆定律 $I=\dfrac{E}{R+r}$ 知，当电流为 0.5 A 时，外电路的电阻为 6 Ω，故 D 项正确。

2.如图所示的电路中，电源电动势 $E=12$ V，内阻 $r=2$ Ω，电容器的电容 $C=10$ μF，定值电阻 $R_1=4$ Ω，$R_2=16$ Ω，$R_3=R_4=10$ Ω。闭合开关 S，电路达到稳定后电容器上极板所带电荷量为　　(　　)



A. -3×10^{-5} C

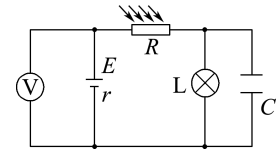
B. 5×10^{-3} C

C. 3.6×10^{-3} C

D. -8×10^{-5} C

A　**解析**：外电路总电阻 $R=\dfrac{(R_1+R_2)(R_3+R_4)}{R_1+R_2+R_3+R_4}=\dfrac{(4+16)\times(10+10)}{4+16+10+10}$ Ω$=10$ Ω，路端电压 $U=\dfrac{R}{R+r}E=\dfrac{10}{10+2}\times12$ V$=10$ V，R_1、R_3 两端的电压分别为 $U_1=\dfrac{R_1}{R_1+R_2}U=\dfrac{4}{4+16}\times10$ V$=2$ V，$U_3=\dfrac{R_3}{R_3+R_4}U=\dfrac{10}{10+10}\times10$ V$=5$ V。根据外电路中沿着电流方向电势逐渐降低可知，电容器上极板的电势低于下极板的电势，所以电容器上极板带负电，所带电荷量为 $Q=-C(U_3-U_1)=-1\times10^{-5}\times3$ C$=-3\times10^{-5}$ C。

3.如图所示，电压表是理想电表，R 是光敏电阻，当它受到光照时阻值变小，则有光照射 R 时　　(　　)



A. 灯泡 L 变暗

B. 光敏电阻 R 上的电压减小

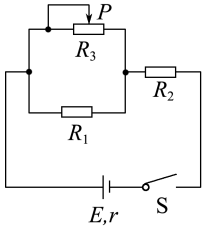
C. 电容器 C 的带电量减小

D. 电压表 V 的读数变大

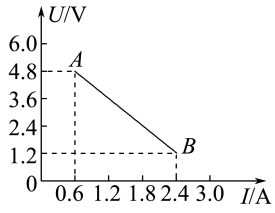
B　**解析**：R 的阻值减小时，电路的总电阻减小，总电流增大，灯泡 L 变亮，电源的内电压增大，路端电压减小，所以电压表 V 的读数变小，故 A、D 错误；电流增大，则灯泡两端的电压增大，而路端电压减小，则光敏电阻 R 上的电压减小，故 B 正确；电容器 C 的电压等于灯泡两端的电压，则 C 的电压增大，由 $Q=CU$ 可知，电容器 C 的带电量增大，故 C 错误。

4.如图甲所示的电路中，R_1、R_2 均为定值电阻，且

$R_1=9\ \Omega$，R_3 为滑动变阻器。闭合开关 S，当滑片 P 从最左端滑至最右端时，测得电源的路端电压随干路电流变化的图线如图乙所示。求：



甲



乙

(1)定值电阻 R_2 的阻值；

(2)电源的电动势与内阻；

(3)电源的输出功率最大时，R_3 接入电路的阻值及此时的最大输出功率。

解析：(1)当 P 滑到 R_3 最右端时，电路参数对应题图乙中的 B 点，此时等效于 R_2 直接接在电源两端，则 $R_2=\dfrac{U_B}{I_B}=0.5\ \Omega$。

(2)由闭合电路欧姆定律可得 $U_A=E-I_Ar$，$U_B=E-I_Br$

解得 $E=6\ \text{V}$，$r=2\ \Omega$。

(3)设电路外电阻为 $R_{外}$，电源电动势为 E，则电源的输出功率为

$$P=I^2R_{外}=\frac{E^2R_{外}}{(R_{外}+r)^2}=\frac{E^2}{R_{外}+\dfrac{r^2}{R_{外}}+2r}$$

根据数学知识可知，当 $R_{外}=r$ 时，P 最大，则此时

$$R_{外}=\frac{R_1R_3}{R_1+R_3}+R_2=r$$

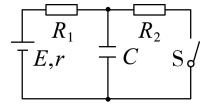
解得 $R_3=1.8\ \Omega$，$P_{\text{m}}=4.5\ \text{W}$。

答案：(1)0.5 Ω　(2)6 V　2 Ω　(3)1.8 Ω　4.5 W

5. 如图所示电路中，$R_1=4\ \Omega$，$R_2=6\ \Omega$，$C=30\ \mu\text{F}$，电池的电阻 $r=2\ \Omega$，电动势 $E=12\ \text{V}$。

(1)闭合开关 S，求电路稳定后通过 R_1 的电流；

(2)求将开关断开后流过 R_1 的总电荷量。



解析：(1)电路稳定后电容器视为断路，则由题图可知，闭合开关 S 电路稳定后，R_1 与 R_2 串联，由闭合电路的欧姆定律有

$$I=\frac{E}{R_1+R_2+r}=\frac{12}{4+6+2}\ \text{A}=1\ \text{A}$$

所以稳定后通过 R_1 的电流为 1 A。

(2)闭合开关 S 电路稳定后，电容器两端的电压与 R_2 两端的电压相等，有

$U_C=U_2=IR_2=1\times6\ \text{V}=6\ \text{V}$

将开关 S 断开后，电容器两端的电压与电源的电动势相等，有 $U_C'=E=12\ \text{V}$

流过 R_1 的总电荷量为

$Q=CU_C'-CU_C=C(U_C'-U_C)=30\times10^{-6}\times(12-6)\ \text{C}=1.8\times10^{-4}\ \text{C}$。

答案：(1)1 A　(2)1.8×10^{-4} C

章末质量评估(三)
电路及其应用(A)

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1. 已知某手机的锂离子聚合物电池容量为 5 000 mA·h,手机支持超级快充"20 V　4.4 A",兼容"11 V　6 A"或"10 V　4 A"的超级快充,电池电动势为 3.6 V,正常通话额定功率为 2 W,则 (C)

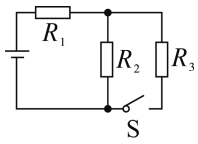
A. 题中" mA·h"是能量的单位

B. 最大超级快充对应的功率是 66 W

C. 充满电后可以正常通话的时间为 9 h

D. 充满电后可以正常通话的时间为 18 h

2. 在如图所示的电路中,电阻 R_1、R_2、R_3 的阻值相等,电池的内阻不计(电池两端电压恒定),则开关 S 接通后,流过 R_2 的电流是开关 S 接通前的 (　　)



A. $\frac{1}{2}$　　B. $\frac{2}{3}$　　C. $\frac{1}{3}$　　D. $\frac{1}{4}$

B　**解析**:设电池提供的电压为 U,每个电阻的阻值为 R;S 接通前,流过 R_2 的电流 $I=\frac{U}{R_1+R_2}=\frac{U}{2R}$;S 接通后,流过 R_2 的电流 $I'=\frac{1}{2}\cdot\frac{U}{R_1+\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}}=\frac{1}{2}\cdot\frac{U}{R+0.5R}=\frac{U}{3R}$,则 $\frac{I'}{I}=\frac{2}{3}$,故 B 正确。

3. 把表头 G 改装成大量程电流表时,则下列说法正确的是 (　　)

A. 改装原理为并联电阻能增大通过 G 的电流

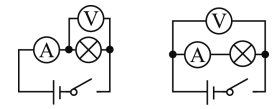
B. 改装成电流表后,表头 G 本身允许加的电压增大了

C. 改装后,表头 G 自身的电阻减小了

D. 改装后使用时,表头 G 本身的参数都不改变,整个并联电路允许通过的最大电流增大了

D　**解析**:把表头 G 改装成大量程的电流表时,只是并联了一个分流电阻,使整个并联电路允许通过的最大电流增大,但表头的各特征量都不变,故 D 正确,A、B、C 错误。

4. 如图所示,甲、乙两图分别为测量灯泡电阻 R 的电路图,则下列说法不正确的是 (　　)



甲　　乙

A. 图甲的接法叫作电流表外接法,图乙的接法叫作电流表内接法

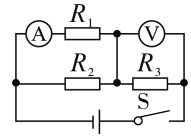
B. 图甲中 $R_{测}>R_{真}$,图乙中 $R_{测}<R_{真}$

C. 图甲中误差由电压表分流引起,为了减小误差,应使 $R\ll R_V$,故此法适用于测阻值较小的电阻

D. 图乙中误差由电流表分压引起,为了减小误差,应使 $R\gg R_A$,故此法适用于测阻值较大的电阻

B　**解析**:题图甲的接法叫作电流表外接法,题图乙的接法叫作电流表内接法,故 A 正确。题图甲中,由于电压表的分流作用,电流的测量值偏大,由 $R=\frac{U}{I}$ 可知,$R_{测}<R_{真}$,R 越小,电压表分流越小,误差就越小,因此这种接法适合测小电阻;题图乙中,由于电流表的分压作用,电压的测量值偏大,由 $R=\frac{U}{I}$ 可知,$R_{测}>R_{真}$,R 越大,电流表的分压越小,误差越小,因此这种接法适用于测大电阻,故 B 错误,C、D 正确。

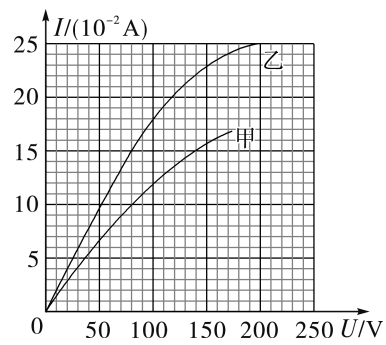
5. 在如图所示的电路中开关 S 闭合后,由于电阻元件发生短路或断路故障,电压表和电流表的示数都增大,则可能出现的故障是 (A)



A. R_1 短路　　B. R_2 短路

C. R_3 短路　　D. R_1 断路

6. 如图所示为甲、乙两灯泡的 I-U 图像,根据图像计算甲、乙两灯泡串联在电压为 220 V 的电路中时,实际发光的功率分别为 (　　)

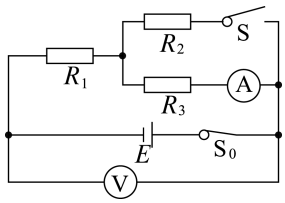


A. 21 W,12 W　　B. 12 W,21 W

C. 42 W,24 W　　D. 24 W,42 W

A　**解析**:因两灯泡串联,故两灯泡中的电流相等,而两灯泡两端的电压之和为 220 V,则由题图可知,两灯泡的电流均为 $I=15\times10^{-2}$ A 时,甲的电压为 $U_1=140$ V,而乙的电压为 $U_2=80$ V,满足条件;故甲的电功率为 $P_{甲}=U_1I=140\times15\times10^{-2}$ W=21 W,而乙的电功率为 $P_{乙}=U_2I=80\times15\times10^{-2}$ W=12 W。故 A 正确,B、C、D 错误。

7.在如图所示的电路中,E 为内阻不能忽略的电池的电动势,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 的示数变大,A 的示数变小

B. V 的示数变大,A 的示数变大

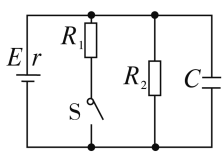
C. V 的示数变小,A 的示数变小

D. V 的示数变小,A 的示数变大

B　**解析**:当 S 断开时,外电阻变大,根据闭合电路欧姆定律可得电路中总电流 I 变小,路端电压 $U_{外}$ 变大,所以电压表 V 的示数变大;总电流变小,电阻 R_1 上的电压 U_1 减小,而路端电压变大,电阻 R_3 上的电压就变大,所以电流表 A 的示数变大,故 B 正确。

二、多项选择题:本题共 3 小题,每小题 6 分,共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分。

8.如图所示,电源的电动势为 $E=2$ V,内阻为 $r=2$ Ω,两个定值电阻的阻值均为 8 Ω,平行板电容器的电容为 $C=3\times10^{-6}$ F,则下列描述正确的是　　(　　)



A. 开关断开时,两极板间的电压为 $\frac{4}{3}$ V

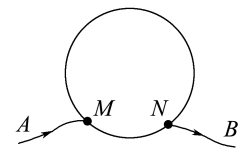
B. 开关断开时,电容器所带电荷量为 4×10^{-6} C

C. 开关接通时,两极板间的电压为 $\frac{4}{3}$ V

D. 开关接通时,电容器所带电荷量为 4×10^{-6} C

CD　**解析**:电容器两极板间的电压等于 R_2 两端的电压,开关 S 断开时,电路中的总电流为 $I=\frac{E}{R_2+r}=\frac{2}{8+2}$ A=0.2 A,电容器两极板间的电压为 $U=IR_2=0.2\times8$ V=1.6 V,此时电容器所带电荷量为 $Q=CU=3\times10^{-6}\times1.6$ C=4.8×10^{-6} C,故 A、B 错误;开关接通时,两定值电阻并联,电容器两极板间的电压等于路端电压,电路中的总电流为 $I'=\frac{E}{R_{外}+r}=\frac{2}{4+2}$ A=$\frac{1}{3}$ A,电容器两极板间的电压为 $U'=I'R_{外}=\frac{1}{3}\times4$ V=$\frac{4}{3}$ V,此时电容器所带电荷量为 $Q'=CU'=3\times10^{-6}\times\frac{4}{3}$ C=4×10^{-6} C,故 C、D 正确。

9.如图所示,有一段长为 1 m、电阻为 15 Ω 的均匀金属丝,两端连接成一闭合圆环,在圆环上取 M、N 两点与外电路相连。已知 M、N 间的短圆弧长 20 cm,沿 AM 流入圆环的电流强度为 0.5 A,则　　(　　)



A. M、N 间的短圆弧金属丝的电阻值为 12 Ω

B. 闭合圆环在 M、N 间的电阻值为2.4 Ω

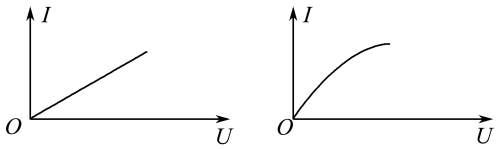
C. 闭合圆环在 M、N 间的电阻值为 15 Ω

D. 通过 M、N 间短圆弧金属丝的电流为 0.4 A

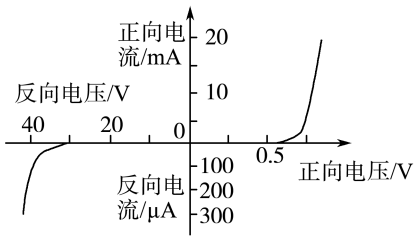
BD　**解析**:根据影响导体电阻的因素可知,导体的电阻与长度成正比,故短圆弧金属丝的电阻为 $R_1=\frac{0.2}{1}\times15$ Ω=3 Ω,长圆弧金属丝的电阻为 $R_2=\frac{0.8}{1}\times15$ Ω=12 Ω,闭合圆环在 M、N 间的电阻值为短圆弧金属丝和长圆弧金属丝并联的电阻,则有 $R_{MN}=\frac{R_1\times R_2}{R_1+R_2}=\frac{3\times12}{3+12}$ Ω=2.4 Ω,故 A、C 错误,B 正确;通过 M、N 间的短圆弧金属丝的电流与通过 M、N 间的长圆弧金属丝的电流之比等于其电阻的反比,即 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1}=\frac{12}{3}=\frac{4}{1}$,两个电阻并联,所以 $I=I_1+I_2=0.5$ A,故通过 M、N 间短圆弧金属丝的电流为 $I_1=\frac{4}{5}I=0.4$ A,故 D 正确。

10.某研究性学习小组描绘了三种电学元件的伏安特

性曲线，如图甲、乙、丙所示，则下列判断正确的是（　　）



甲　　乙



丙

A. 图甲反映该电学元件的导电性能不随电压变化而变化

B. 图乙反映该电学元件的导电性能随温度的升高而减弱

C. 图丙反映该电学元件加正向电压和反向电压时导电性能一样

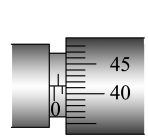
D. 图丙反映该电学元件如果加上较高的反向电压（大于 40 V）时，反向电流会急剧变大

AD　**解析**：由题图甲可知随着电压增大，图线斜率不变，即该电学元件的电阻阻值的倒数不变，则阻值不变，导电性能不随电压变化而变化，故 A 正确；由题图乙可知随着电压增大图线上点与原点连线的斜率变小，该电学元件电阻阻值的倒数变小，即阻值增大，同时随着电压增大，元件的热功率增大，温度升高，导电性能随电压的增大或温度的升高而减弱，故 B 错误；由题图丙可知，加正向电压和反向电压时，图线关于原点不对称，且正负区间的横坐标刻度与纵坐标刻度均不一样，则导电性能不一样，故 C 错误；由题图丙可知该电学元件如果加上较高的反向电压（大于 40 V）时，反向电流会急剧变大，故 D 正确。

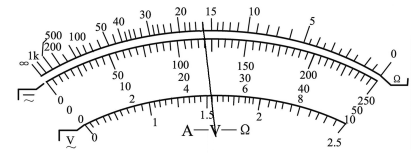
三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 13～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤；有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.（8 分）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 的电阻丝的电阻率，该电阻丝的电阻值为 100～200 Ω，材料未知。实验过程如下：

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



甲



乙

（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_____（选填“×1”“×10”“×100”或“×1 k”）倍率的电阻挡。

（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处。

（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乙所示，该电阻丝的电阻值为_____Ω。

（6）测量完成之后，将表笔从插孔中拔出，并将选择开关旋到“OFF”位置。

（7）实验得到的该电阻丝的电阻率为_____Ω·m。（结果保留三位有效数字）

解析：（1）根据螺旋测微器读数规则，该电阻丝的直径为 $d=1\ \text{mm}+41.3\times0.01\ \text{mm}=1.413\ \text{mm}$。

（3）多用电表中值电阻约为“15”，待测电阻丝的阻值为 100～200 Ω，要使指针指在中值电阻附近，应该将多用电表的选择开关旋至“×10”倍率的电阻挡。

（5）根据多用电表电阻挡读数规则，该电阻丝的电阻值为 $16\times10\ \Omega=160\ \Omega$。

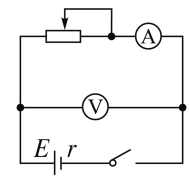
（7）电阻丝长度为 $l=80.00\ \text{cm}=0.800\ 0\ \text{m}$，横截面积为 $S=\frac{\pi d^2}{4}\approx1.57\times10^{-6}\ \text{m}^2$。由电阻定律 $R=\frac{\rho l}{S}$，解得该电阻丝电阻率为 $\rho=\frac{RS}{l}=3.14\times10^{-4}\ \Omega\cdot\text{m}$。

答案：（1）1.413　（3）×10　（5）160

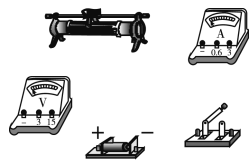
（7）3.14×10^{-4}

12.（8 分）在用电压表和电流表测电池的电动势和内阻的实验中，所用电压表和电流表的内阻分别为 1 kΩ 和 0.1 Ω，图甲、乙分别为实验原理图和所需器材图。

（1）在图乙中画出导线，将器材按图甲连接成实物电路。



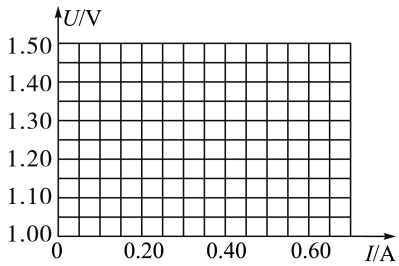
甲



乙

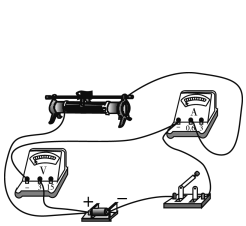
(2)一位同学记录的6组数据如表中所示,试根据这些数据在图丙中画出U-I图像,再根据图像读出电池的电动势为$E=$_____V,求出电池的内阻为$r=$_____Ω。

I/A	0.12	0.20	0.31	0.32	0.50	0.57
U/V	1.37	1.32	1.24	1.18	1.10	1.05

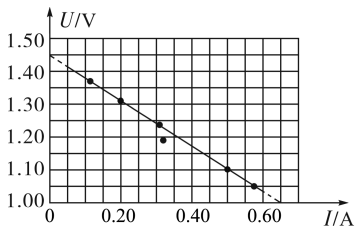


丙

解析:(1)按照实验原理图将实物图连接起起来,如图(a)所示。



(a)



(b)

(2)根据U、I数据,在图上描点连线,如图(b)所示,然后将直线延长,交U轴于$U_1=1.45$ V,此为电池的电动势;交I轴于$I=0.65$ A,注意此时$U_2=1.00$ V,由闭合电路欧姆定律得$I=\dfrac{E-U_2}{r}$,则

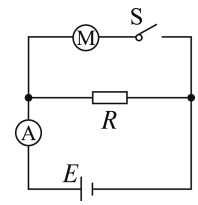
$r=\dfrac{E-U_2}{I}=\dfrac{1.45-1.00}{0.65}\ \Omega\approx0.69\ \Omega$。

答案:(1)见解析图(a)　(2)见解析图(b)　1.45　0.69

13.(12分)如图所示,M为一线圈电阻$R_M=0.4\ \Omega$的电动机,定值电阻$R=24\ \Omega$,电源电动势为$E=40$ V。当开关S断开时,电流表的示数为$I_1=1.6$ A;当开关S闭合时,电流表的示数为$I_2=4.0$ A。求:

(1)电源内阻r;

(2)开关S闭合时,通过电动机的电流及电动机消耗的功率。



解析:(1)开关S断开时,电源与定值电阻构成串联回路,则$E=I_1(R+r)$

电源内阻为$r=\dfrac{E}{I_1}-R=1\ \Omega$。

(2)开关S闭合后,定值电阻与电动机构成并联电路,电流表测干路电流,路端电压为$U=E-I_2r=36$ V

通过定值电阻的电流为$I_2'=\dfrac{U}{R}=1.5$ A

通过电动机的电流为$I_M=I_2-I_2'=2.5$ A

则电动机消耗的总功率(即电动机的电功率)为

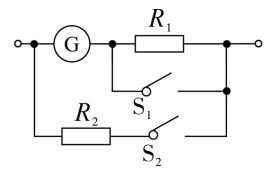
$P=UI_M=90$ W。

答案:(1)1 Ω　(2)2.5 A　90 W

14.(12分)在如图所示的电路中,小量程电流表G的内阻为$R_g=100\ \Omega$,满偏电流为$I_g=1$ mA,$R_1=900\ \Omega$,$R_2=\dfrac{100}{999}\ \Omega$。则:

(1)当S_1和S_2均断开时,改装成的表是什么表?量程为多大?

(2)当S_1和S_2均闭合时,改装成的表是什么表?量程为多大?



解析:(1)S_1和S_2均断开时,电阻R_1与小量程电流表G串联,可改装成电压表。电压表的内阻

$R_V=R_g+R_1=1\ 000\ \Omega$

所以电压表两端的电压最大为

$U=I_gR_V=0.001\times1\ 000$ V$=1$ V

即改装成的电压表的量程为0～1 V。

(2)S_1和S_2均闭合时,电阻R_1被短路,电阻R_2与小量程电流表G并联,组成较大量程的电流表。当小量程电流表G满偏时,通过R_2的电流为

$I_{R_2}=\dfrac{I_gR_g}{R_2}=\dfrac{0.001\times100}{\frac{100}{999}}$ A$=0.999$ A

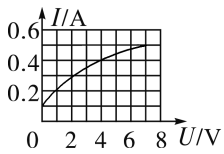
故改装成的电流表的最大测量值为 $I=I_{R_2}+I_g=0.999\ \text{A}+0.001\ \text{A}=1\ \text{A}$，即改装成的电流表量程为 0～1 A。

答案：(1)电压表　0～1 V　(2)电流表　0～1 A

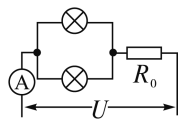
15.(14 分)如图所示，图甲为一个电灯两端的电压与通过它的电流的变化关系曲线，由图甲可知，两者不成线性关系，这是由于焦耳热使灯丝的温度发生了变化。参考这条曲线回答下列问题：

(1)若把 3 个这样的电灯串联后，接到电压恒为 12 V 的电路上，求通过电灯的电流大小和每个电灯的电阻大小。

(2)如图乙所示，将两个这样的电灯并联后再与 10 Ω 的定值电阻 R_0 串联，接在电压恒为 8 V 的电源上。求通过电流表的电流值以及每个电灯的实际功率(不计电流表内阻)。



甲



乙

解析：(1)因这三个电灯完全相同，所以每个电灯两端的电压为 $U_L=\frac{12}{3}\ \text{V}=4\ \text{V}$

结合图像可知当 $U_L=4\ \text{V}$ 时，$I_L=0.4\ \text{A}$

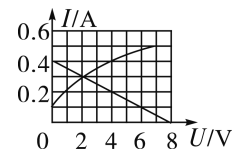
故每个电灯的电阻为 $R=\frac{U_L}{I_L}=\frac{4}{0.4}\ \Omega=10\ \Omega$。

(2)设此时两电灯两端的电压为 U'，通过每个电灯的电流为 I，则 $U=U'+2IR_0$

代入数据得

$$I=\frac{8\ \text{V}-U'}{20\ \Omega}=0.4\ \text{A}-\frac{U'}{20\ \Omega}$$

在题图甲中画出此直线，如图所示：



可得到该直线与曲线的交点为(2 V，0.3 A)，即流过电灯的电流为0.3 A，则通过电流表的电流为

$I_A=2I=0.6\ \text{A}$

每个电灯的功率为

$P=U'I=2\times0.3\ \text{W}=0.6\ \text{W}$。

答案：(1)0.4 A　10 Ω　(2)0.6 A　0.6 W

章末质量评估(四)
电路及其应用(B)

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1.有两根不同材料的金属丝,长度相同,甲横截面的圆半径及电阻率都是乙的 2 倍。下列说法正确的是(　　)

A. 甲、乙两金属丝的电阻之比是 2∶1

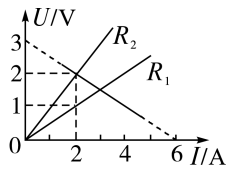
B. 甲、乙两金属丝的电阻之比是 4∶1

C. 把它们并联在电路中,甲、乙消耗的电功率之比是 2∶1

D. 把它们串联在电路中,甲、乙消耗的电功率之比是 2∶1

C　**解析:**由 $R=\rho\frac{l}{S}$,且 $S_{甲}=4S_{乙}$ 和 $\rho_{甲}=2\rho_{乙}$ 知,$R_{甲}∶R_{乙}=1∶2$,故 A、B 错误;若两者并联,由 $P=\frac{U^2}{R}$ 得,$P_{甲}∶P_{乙}=R_{乙}∶R_{甲}=2∶1$,故 C 正确;若串联,由 $P=I^2R$ 得 $P'_{甲}∶P'_{乙}=R_{甲}∶R_{乙}=1∶2$,故 D 错误。

2.某一电源的路端电压与电流的关系和定值电阻 R_1、R_2 的电压与电流的关系如图所示。用此电源和电阻 R_1、R_2 组成电路,R_1、R_2 可以同时接入电路,也可以单独接入电路。为使电源输出功率最大,可采用的接法是(　　)



A. 将 R_1、R_2 串联后接到电源两端

B. 将 R_1、R_2 并联后接到电源两端

C. 将 R_1 单独接到电源两端

D. 将 R_2 单独接到电源两端

C　**解析:**由题图可知,$R_1=0.5\ \Omega$,$R_2=1\ \Omega$,电源内阻 $r=0.5\ \Omega$,电源的输出功率随外电阻的变化而变化,当 $R_{外}=r$ 时,电源的输出功率最大,因而 R_1 单独接到电源两端时,电源输出功率最大,故选 C。

3.两个电压表 V_1 和 V_2 是由完全相同的两个电流表改装而成的,V_1 表的量程是 0～5 V,V_2 表的量程是 0～15 V,把它们串联起来接入电路中,则(　　)

A. 它们的示数相等,指针偏转角度也相同

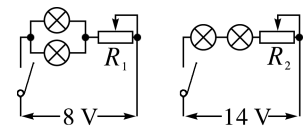
B. 它们的示数之比为 1∶3,指针偏转角度相同

C. 它们的示数相等,指针偏转角度之比为 1∶3

D. 它们的示数之比、指针偏转角度之比均为 1∶3

B　**解析:**由于两个电压表是用相同的两个电流表改装的,当两个电压表串联使用时,通过两表的电流是相同的,所以表头指针偏转的角度是相同的;刻度盘上的示数表示电压表两端的电压,与量程成正比,故 B 正确,A、C、D 错误。

4.如图所示,把两个相同的灯泡分别接在甲、乙两个电路中,甲电路两端的电压为 8 V,乙电路两端的电压为 14 V。闭合开关,调节变阻器 R_1 和 R_2 使两灯泡都正常发光,此时变阻器消耗的功率分别为 P_1 和 P_2,则下列关系正确的是(　　)



甲　　乙

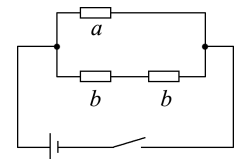
A. $P_1>P_2$

B. $P_1<P_2$

C. $P_1=P_2$

D. 无法确定

5.(2025·广西卷)如图所示,a、b 为同种材料的电阻,已知 a 的长度为 L_1、横截面积为 S_1,b 的长度为 L_2、横截面积为 S_2,则在两支路 a 和 b 中,电荷移动的速率之比为(　　)



A. $L_2∶L_1$

B. $2L_2∶L_1$

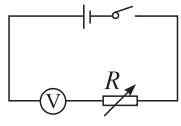
C. $2S_1L_2∶S_2L_1$

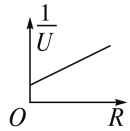
D. $S_1L_1∶S_2L_2$

B　**解析:**a 的电阻值 $R_a=\frac{\rho L_1}{S_1}$,b 的电阻值 $R_b=\frac{\rho L_2}{S_2}$,设总电路两侧的电压为 U,则流过 a 的电流 $I_1=\frac{U}{R_a}=\frac{US_1}{\rho L_1}$,流过 b 的电流 $I_2=\frac{U}{2R_b}=\frac{US_2}{2\rho L_b}$;设该导体单位体积内电子的个数为 n,则 $I_1=neS_1v_1$;$I_2=neS_2v_2$,可得在两支路 a 和 b 中,电荷移动的速率之比为 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{\frac{I_1}{S_1}}{\frac{I_2}{S_2}}=\frac{\frac{US_1}{\rho L_1S_1}}{\frac{US_2}{2\rho L_2S_2}}=\frac{2L_2}{L_1}$,故 A、

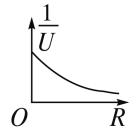
C、D 错误，B 正确。

6. 用如图所示的电路可测出电压表的内阻，电源的内阻可以忽略不计，R 为电阻箱。当 R 取不同阻值时，电压表均对应不同示数 U。多次改变电阻箱的阻值，所得到的 $\frac{1}{U}$-R 图像为图中的　　（　　）

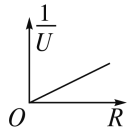




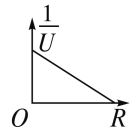
A



B



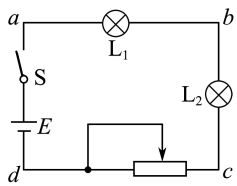
C



D

A　**解析**：设电压表的内阻为 R_V，则电压表的示数应为 $U=IR_V=\frac{ER_V}{R_V+R}$，可得 $\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{R}{ER_V}$，因 E、R_V 为大于零的定值，函数为一次函数，故图像应为 A。

7. 有一电路如图所示，因线路故障，接通开关 S 时，灯泡 L_1 和 L_2 均不亮，用电压表测得 $U_{ab}=0$，$U_{bc}=0$，$U_{cd}=4$ V。因此可知断路处为　　（　　）



A. 灯泡 L_1

B. 灯泡 L_2

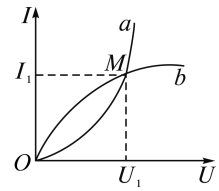
C. 滑动变阻器

D. 不能确定

C　**解析**：灯泡均不亮，则说明电路中一定存在断路故障；由 $U_{ab}=0$，$U_{bc}=0$，$U_{cd}=4$ V，可知测电压时 c、d 两端均与电源两端导通，故只能是 c、d 间发生断路，即滑动变阻器发生断路，故 C 正确，A、B、D 错误。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8. 某一热敏电阻其阻值随温度的升高而减小，在一次实验中，将该热敏电阻与一小灯泡串联，通电后其电流 I 随所加电压 U 变化的图线如图所示，M 点为两元件的伏安特性曲线的交点。关于热敏电阻和小灯泡，下列说法正确的是　　（　　）



A. 图中图线 a 是小灯泡的伏安特性曲线，图线 b 是热敏电阻的伏安特性曲线

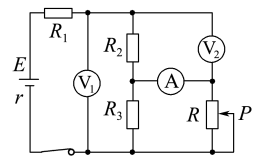
B. 图中图线 b 是小灯泡的伏安特性曲线，图线 a 是热敏电阻的伏安特性曲线

C. 图线中的 M 点，表示该状态下小灯泡的电阻大于热敏电阻的阻值

D. 图线中的 M 点，表示该状态下小灯泡的电阻等于热敏电阻的阻值

BD　**解析**：随着电压的增大，元件的热功率增大，温度升高，从图像可以看出，a 图线对应的电阻减小，b 图线对应的电阻增大；热敏电阻的阻值随温度的升高而减小，而小灯泡的电阻阻值随温度的升高而增大，则 a 是热敏电阻的伏安特性曲线，b 是小灯泡的伏安特性曲线，故 A 错误，B 正确。在图线中的 M 点，电流和电压都相等，根据欧姆定律可得，此时两者的电阻阻值相等，故 C 错误，D 正确。

9. 如图所示的电路中，R_1、R_2、R_3 是三个定值电阻，R 是滑动变阻器，电压表 V_1、V_2 和电流表 A 都是理想电表。闭合开关，当滑动变阻器的滑片 P 向下移动时，下列说法正确的是　　（　　）



A. 电流表示数增大

B. 电压表 V_1 示数增大

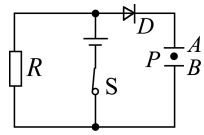
C. 电压表 V_2 示数减小

D. 定值电阻 R_1 消耗的功率增大

BC　**解析**：当滑动变阻器的滑片 P 向下移动时，R 阻值增大，整个回路总电阻增大，干路电流 $I_{总}$ 减小，由 $U_1=E-I_{总}(R_1+r)$，可知电压表 V_1 示数增大，B 正确；电阻 R_2 两端电压为 $U_2=I_{总}R_2$，可知电

压表 V_2 示数减小，C 正确；定值电阻 R_1 的功率为 $P_1=I_{总}^2R_1$，故其功率变小，D 错误；R_3 两端的电压为 $U_3=E-I_{总}(r+R_1+R_2)$，可知 U_3 增大，流过 R_3 的电流为 $I_3=\dfrac{U_3}{R_3}$，故其电流增大，所以电流表示数为 $I=I_{总}-I_3$，所以电流表示数减小，A 错误。

10. 如图所示的电路中，D 是一个理想二极管，水平放置的平行板电容器两极板 A、B 内部有一带电微粒 P 处于静止状态。下列措施中，关于 P 的运动情况说法正确的是　　(　　)



A. 保持开关 S 闭合，增大 A、B 极板间距离，P 仍静止

B. 保持开关 S 闭合，减小 A、B 极板间距离，P 向上运动

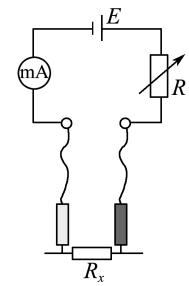
C. 断开开关 S 后，增大 A、B 极板间距离，P 向下运动

D. 断开开关 S 后，减小 A、B 极板间距离，P 仍静止

ABD　**解析**：保持开关 S 闭合，电源的路端电压不变，增大 A、B 极板间距离，电容减小，由于二极管的单向导电性，电容器不能放电，所以其电荷量不变，又由推论公式 $E=\dfrac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$ 得，极板间电场强度不变，所以该微粒所受静电力不变，仍处于静止状态，故 A 正确；保持开关 S 闭合，电源的路端电压不变，电容器的电压不变，减小 A、B 极板间距离时，电容增大，电容器充电，由 $E=\dfrac{U}{d}$ 可知，极板间电场强度增大，静电力增大，所以该微粒将向上运动，故 B 正确；断开开关 S 后，电容器的电荷量 Q 不变，由推论公式 $E=\dfrac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$ 得，极板间距变化时，极板间电场强度不变，所以该微粒所受静电力不变，仍处于静止状态，故 C 错误，D 正确。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 13～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤；有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.(6 分)为了粗略测量电阻，某同学用量程为 0～60 mA 的毫安表、电动势为 9 V 的电池和 0～999.9 Ω 的电阻箱制作了一块简易欧姆表，电路如图所示。



(1)图中与毫安表相连的表笔是_____(选填“红”或“黑”)表笔。

(2)进行欧姆调零之后用该表测量某电阻，毫安表示数为 15.0 mA，则待测电阻阻值为_____Ω。

(3)我们可以通过在毫安表两端并联一个电阻，电路其余部分均不变，由此实现改变欧姆表的倍率，并联电阻后欧姆表的倍率将_____(选填“变大”“变小”或“不变”)。

解析：(1)根据电流从红表笔进、黑表笔出的原则，可以推断出与毫安表相连的表笔是红表笔。

(2)欧姆表的内阻为 $R_A=\dfrac{E}{I_g}=\dfrac{9}{60\times10^{-3}}\ \Omega=150\ \Omega$

则待测电阻阻值为

$R_x=\dfrac{E}{I}-R_A=\left(\dfrac{9}{15.0\times10^{-3}}-150\right)\Omega=450\ \Omega$。

(3)在毫安表两端并联一个电阻后，将红、黑表笔短接调零，毫安表满偏时，电路中总电流大于 I_g，电路总电阻变小，即欧姆表中间刻度值变小，所以倍率变小。

答案：(1)红　(2)450　(3)变小

12.(12 分)某同学欲用伏安法测定一阻值约为 5 Ω 的电阻,要求测量结果尽量准确,现备有以下器材:

A. 直流电源 E(电动势约为 4.5 V,内阻很小);

B. 直流电流表 A_1(量程 0～0.6 A,内阻约为 0.1 Ω);

C. 直流电流表 A_2(量程 0～3 A,内阻约为 0.2 Ω);

D. 直流电压表 V_1(量程 0～3 V,内阻约为 3 kΩ);

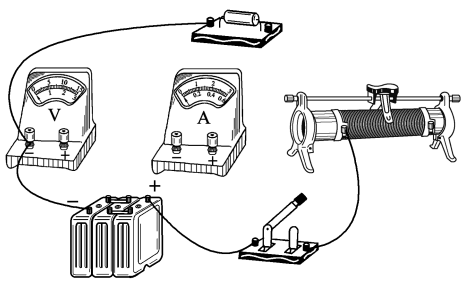
E. 直流电压表 V_2(量程 0～15 V,内阻约为 6 kΩ);

F. 滑动变阻器 R_1(最大阻值为 10 Ω);

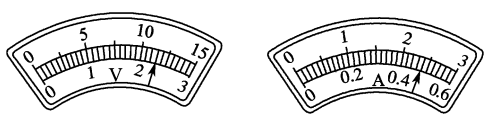
G. 开关、导线若干。

(1)实验中电流表应选_____,电压表应选_____。(均填写器材前字母序号)

(2)该同学连接了部分电路,如图甲所示,还有三根导线没有连接,请帮助该同学完成连线。



甲



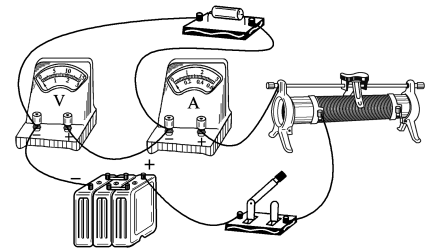
乙

(3)按要求完成电路连接后,开关闭合前,滑动变阻器的滑片应置于最_____(选填“左”或“右”)端。

(4)该同学操作正确,电流表和电压表的表盘示数如图乙所示,则电阻的测量值为_____Ω(结果保留两位小数);该测量值_____(选填“大于”“小于”或“等于”)真实值。

解析:(1)因为电源电动势只有 4.5 V,所以电压表应选 D,因最大电流 $I_{max}=\frac{3}{5}$ A=0.6 A,所以电流表应选 B。

(2)因为电流表内阻较大,所以电流表采用外接法,滑动变阻器采用限流接法,电路连接如图所示。



(3)当滑动变阻器的滑片在最左端时,滑动变阻器接入电路的电阻为零,电路中的电流最大,所以开关闭合前,滑动变阻器的滑片应置于最右端。

(4)题图乙中电压表示数为 2.30 V,电流表示数为 0.48 A,所以电阻的测量值

$$R=\frac{2.30}{0.48}\ \Omega\approx 4.79\ \Omega$$

由于电压表有分流作用,故电阻的测量值偏小。

答案:(1)B　D　(2)见解析图

(3)右

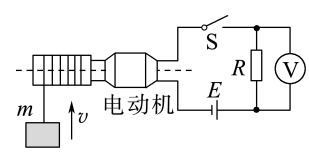
(4)4.79　小于

13.(12 分)电动机的应用已经深入到我们生活的各个方面,成为现代社会不可或缺的动力源。随着科技的不断发展,电动机将会在未来发挥更加重要的作用。一提升重物用的直流电动机工作时的电路图如图所示,电动机的内阻 $r_1=1\ \Omega$,定值电阻 $R=2\ \Omega$,电源的电动势 $E=110$ V,内阻 $r_2=3\ \Omega$,闭合开关,电压表示数 $U_R=4$ V,电动机能匀速竖直向上吊起 $m=49$ kg 的重物。求:

(1)通过电动机的电流;

(2)输入电动机的电功率;

(3)电动机匀速吊起重物的速度(g 取10 m/s^2)。



解析：(1)根据题意可知，R 两端的电压为 $U_R=4\ \text{V}$，则通过电阻 R 的电流为 $I=\dfrac{U_R}{R}$

代入数据，可得 $I=2\ \text{A}$，即通过电动机的电流为 $I_\text{M}=I_R=2\ \text{A}$。

(2)电动机两端的电压为 $U_\text{M}=E-I(R+r_2)=100\ \text{V}$

电动机的输入功率为

$P_\text{电}=I_\text{M}U_\text{M}=2\times100\ \text{W}=200\ \text{W}$。

(3)电动机的发热功率为 $P_\text{热}=I_\text{M}^2r_1=2^2\times1\ \text{W}=4\ \text{W}$

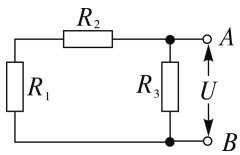
电动机的输出机械功率为

$P_\text{出}=P_\text{电}-P_\text{热}=200\ \text{W}-4\ \text{W}=196\ \text{W}$

又 $P_\text{出}=mgv$，联立解得 $v=0.4\ \text{m/s}$。

答案：(1)2 A　(2)200 W　(3)0.4 m/s

14.(12 分)如图所示电路中，A、B 两端加有电压 U，若 $R_1=2\ \Omega$，$R_2=4\ \Omega$，$R_3=3\ \Omega$，通过它们的电流与电阻两端的电压分别为 I_1、I_2、I_3 和 U_1、U_2、U_3，则 $I_1:I_2:I_3$ 为多少？$U_1:U_2:U_3$ 为多少？



解析：由题图可知，电阻 R_1 与 R_2 串联，电流相等，即 $I_1=I_2$，根据 $U=IR$ 知 $U_1:U_2=R_1:R_2=1:2$

则 $U_1=\dfrac{U}{3}$，$U_2=\dfrac{2}{3}U$

电阻 R_1 与 R_2 串联后与 R_3 并联，并联电路电压相等，即 $U_3=U$

根据 $U=IR$ 知 $I_2:I_3=R_3:(R_1+R_2)=1:2$

综上可得 $I_1:I_2:I_3=1:1:2$

$U_1:U_2:U_3=1:2:3$。

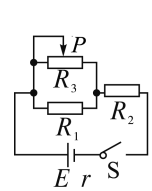
答案：1∶1∶2　1∶2∶3

15.(12 分)如图甲所示的电路中，R_1、R_2 均为定值电阻，且 $R_1=100\ \Omega$，R_2 阻值未知；R_3 为一滑动变阻器，当其滑片 P 从左端滑至右端时，测得电源的路端电压随电源中流过的电流变化的图线如图乙所示，其中 A、B 两点是滑片 P 在变阻器的两个不同端点处得到的。求：

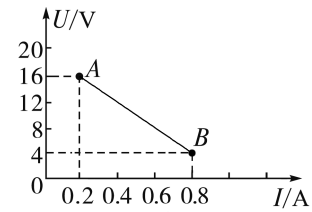
(1)电源的电动势和内阻；

(2)定值电阻 R_2 的阻值；

(3)滑动变阻器的最大阻值。



甲



乙

解析：(1)由闭合电路欧姆定律可得 $U=E-Ir$，结合题图乙可知

$U_A=E-I_Ar$，$U_B=E-I_Br$

代入数据，联立解得 $E=20\ \text{V}$，$r=20\ \Omega$。

(2)当 P 滑到 R_3 的右端时，R_1 被短路，此时电路中电流最大，电路参数对应题图乙中的 B 点，即

$U_2=4\ \text{V}$，$I_2=0.8\ \text{A}$，得 $R_2=\dfrac{U_2}{I_2}=5\ \Omega$。

(3)当 P 滑到 R_3 的左端时，电路中的电流最小，由题图乙知此时 $U_\text{外}=16\ \text{V}$，$I_\text{总}=0.2\ \text{A}$，所以

$R_\text{外}=\dfrac{U_\text{外}}{I_\text{总}}=80\ \Omega$

因为 $R_\text{外}=\dfrac{R_1R_3}{R_1+R_3}+R_2$

所以滑动变阻器的最大阻值为 $R_3=300\ \Omega$。

答案：(1)20 V　20 Ω　(2)5 Ω　(3)300 Ω

第三章　电磁场与电磁波初步

1　磁场　磁感线

学习任务目标

1.了解我国古代在磁现象方面的研究成果及其对人类文明的影响。(科学态度与责任)
2.会用磁感线描述磁场。(科学思维)
3.掌握安培定则及应用。(科学思维)

问题式预习

知识点一　磁现象

1.我国古代对磁现象的认识及应用
(1)我们的祖先在春秋时期已发现天然磁石具有吸引铁的性质和指示南北方向的本领。
(2)我们的祖先发明了指南针(罗盘针)。
(3)指南针可用于航海,磁石可以治病。

2.磁的基础知识
(1)磁性和磁体:物体具有的吸引铁、钴、镍等物质的性质叫磁性,具有磁性的物体叫磁体。
(2)磁极:磁体的各部分磁性强弱不同,磁性最强的区域叫磁极。能够自由转动的磁体,例如悬吊着的小磁针,静止时指南的磁极叫作南极(S极),指北的磁极叫作北极(N极)。
(3)磁极间的相互作用规律:同名磁极相互排斥,异名磁极相互吸引。磁极之间不相互接触也能产生力的作用。

[科学思维]

在"静电场"一章的学习中,我们知道有带正电的物体,也有带负电的物体。那么自然界中有没有仅带有N极或S极单一磁极的磁性物质呢?

提示:任何一个磁体都有两个磁极,无论怎样分割磁体,磁极总是成对出现,不存在单一磁极。

知识点二　对磁场与磁感线的理解

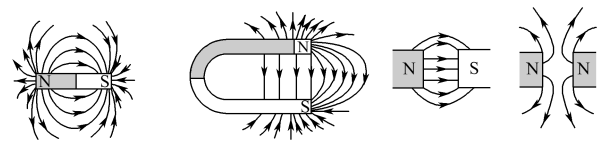
1.磁场
磁体、电流周围空间存在磁场。

2.磁场的基本特性
对处在它里面的磁体或电流有力的作用,一切磁相互作用都是通过磁场来实现的。

3.磁感线
(1)定义:磁感线是一些假想的有方向的曲线,曲线上每一点的切线方向为该点的磁场方向,曲线的疏密表示磁场的强弱,曲线疏的地方磁场弱,曲线密的地方磁场强。
(2)物理意义:形象地描述磁场的方向和强弱。
(3)磁场的方向:在磁场中某一点小磁针N极所受磁力的方向,也就是小磁针静止时N极所指的方向,就是该点磁场的方向。

[科学思维]

不同磁体周围的磁感线分布

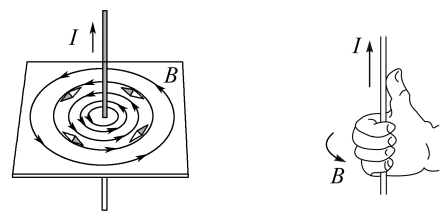


条形磁铁　蹄形磁铁　异名磁极　同名磁极

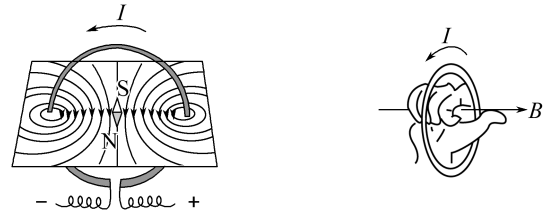
知识点三　安培定则的理解和应用

1.电流周围的磁感线方向可根据安培定则判断。

2.直线电流的磁场
右手握住导线,让伸直的拇指所指的方向与电流方向一致,弯曲的四指所指的方向就是磁感线环绕的方向,如图所示。



3.环形电流和通电螺线管的磁场
让右手弯曲的四指与环形电流的方向一致,伸直的拇指所指的方向就是环形电流轴线上磁感线的方向,如图所示。



[科学思维]

请比较条形磁铁和通电螺线管的磁场,你从中得到了什么启示?

提示:通电螺线管和条形磁铁的磁场分布相似,可看作一端是N极,一端是S极。

任务型课堂

任务一　磁现象和电流的磁效应

1.下列关于磁现象的说法正确的是　　(　　)

A. 自然界中的磁体总是存在着两个磁极

B. 磁场中小磁针磁极的受力方向就是磁场的方向

C. 磁场、磁感线都是客观存在的

D. 磁感线都是从磁体N极出发,终止于磁体S极

A　**解析**:自然界中的磁体无论是否被分割,均存在N极和S极,未发现单磁极的磁体,故A正确;磁场方向定义为小磁针静止时N极的受力方向,若为S极,则其受力方向与磁场方向相反,故B错误;磁场是客观存在的,但磁感线是人为假想的曲线,用于描述磁场分布,并非真实存在,故C错误;磁感线在磁体外部从N极到S极,但在内部是从S极回到N极,形成闭合曲线,故D错误。

2.奥斯特实验说明了　　(　　)

A. 磁场的存在

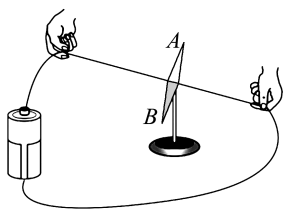
B. 磁场的方向性

C. 电流可以产生磁场

D. 磁体间有相互作用

C　**解析**:奥斯特实验中电流能使静止的小磁针发生偏转,说明电流能产生磁场,故选C。

3.(多选)奥斯特利用如图所示实验装置研究电流的磁效应。一个可自由转动的小磁针放在铂丝导线正下方,导线两端与一伏打电池相连。接通电源瞬间,小磁针发生了明显偏转。奥斯特采用控制变量法,继续研究了导线直径、导线材料、电池电动势以及小磁针位置等因素对小磁针偏转情况的影响。他能得到的实验结果有　　(　　)



A. 减小铂丝直径,小磁针仍能偏转

B. 用铜导线替换铂丝,小磁针仍能偏转

C. 减小电源电动势,小磁针一定不能偏转

D. 小磁针的偏转情况与其放置位置无关

AB　**解析**:减小铂丝直径,仍存在电流,其产生的磁场仍能使小磁针偏转,选项A正确;铂丝换成铜导线,仍存在电流,产生的磁场仍能使小磁针偏转,选项B正确;减小电源电动势,只要导线中仍有电流,小磁针还是会发生偏转,选项C错误;通电导线产生的磁场与地磁场叠加后,其空间磁场方向与位置有关,当小磁针在不同位置时其偏转情况不同,选项D错误。

任务总结

1.奥斯特实验

1820年,丹麦物理学家奥斯特发现,沿南北方向放置的导线通电后,其下方的小磁针会发生偏转。

2.奥斯特实验的意义

奥斯特实验说明通电导体周围存在着与磁体周围一样的特殊物质,奥斯特由此发现了电流的磁效应,第一个揭示了电与磁之间的联系。

任务二　对磁感线的理解和应用

[探究活动]

在条形磁体上面放一块玻璃板,玻璃板上面均匀撒上一层细铁屑,轻敲玻璃板,观察现象。

(1)细铁屑的分布有怎样的规律?

(2)如果说有规律地排列起来的细铁屑是条形磁体磁感线的"模拟",那么应该怎样用磁感线来描述磁场呢?

(3)磁体周围的磁感线是真实存在的吗?

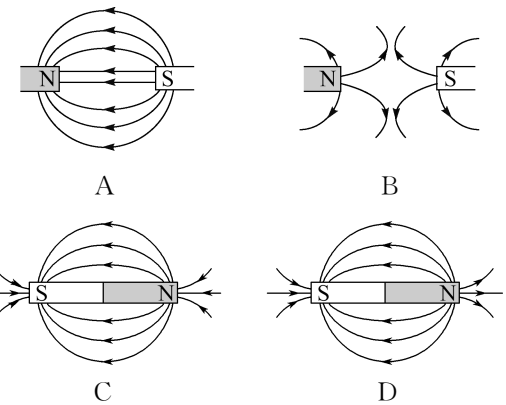
提示:(1)细铁屑有规律地排列起来,磁极处分布密集,其他位置分布稀疏。

(2)可以类比用电场线描述电场,在磁场中沿细铁屑画一些有方向的曲线,使曲线上每一点的切线方向都跟这一点的磁场的方向一致,这样的曲线叫作磁感线。利用磁感线可以形象地描述磁场。

(3)不是真实存在的。

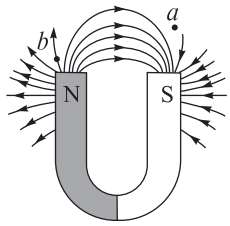
[评价活动]

1.下列各图正确描绘磁场磁感线的是　　(　　)



D　**解析**:在条形磁体的外部,磁感线从N极出发,回到S极,在内部则相反,正好构成闭合曲线,所以A、B、C错误,D正确。

2.如图表示蹄形磁体周围的磁感线，磁场中有 a、b 两点。下列说法正确的是 （ ）



A. a 处的磁场比 b 处的磁场强

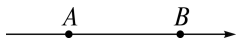
B. b 处的磁场比 a 处的磁场强

C. 蹄形磁体的磁感线起始于蹄形磁体的 N 极，终止于蹄形磁体的 S 极

D. a 处没有磁感线，所以 a 处没有磁场存在

B **解析**：由题图可知 b 处的磁感线密集，a 处的磁感线稀疏，所以 b 处的磁场比 a 处的磁场强，故 A 错误，B 正确；磁感线是闭合曲线，没有起点和终点，故 C 错误；没画磁感线的地方，并不表示没有磁场存在，故 D 错误。

3.如图所示为某磁场的一条磁感线，其上有 A、B 两点，则 （ ）



A. A 点的磁场一定更强

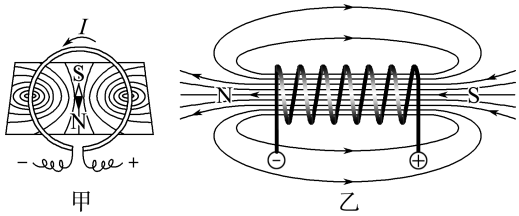
B. B 点的磁场一定更强

C. 因为磁感线是直线，所以 A、B 两点的磁场强弱一样

D. A、B 两点的磁场方向相同

D **解析**：只有一条磁感线，无法判断 A、B 两点附近的磁感线疏密情况，所以无法判断两点的磁场强弱关系，A、B、C 均错误；因为题中磁感线为直线，所以两点处的磁场方向相同，D 正确。

4.如图甲、乙所示是通有恒定电流的环形线圈和螺线管的磁感线分布图。若通电螺线管是密绕的，下列说法正确的是 （ ）



A. 电流越大，内部的磁场越接近匀强磁场

B. 螺线管越长，内部的磁场越接近匀强磁场

C. 螺线管直径越大，内部的磁场越接近匀强磁场

D. 磁感线画得越密，内部的磁场越接近匀强磁场

B **解析**：根据螺线管内部的磁感线的分布情况可知，在螺线管的内部，越靠近螺线管中心的位置，其磁感线的分布就越均匀；相反，越靠近两端，磁感线的分布就越不均匀，由此可知，螺线管越长，内部的磁场越接近匀强磁场，故 B 项正确。

任务总结

1.磁感线的特点

(1)磁感线上任意一点的切线方向表示该点的磁场方向，即小磁针在该点时 N 极受力的方向。

(2)磁体外部的磁感线从 N 极指向 S 极，内部从 S 极指向 N 极，磁感线是闭合曲线。

(3)磁感线的疏密表示磁场的强弱，磁感线密集处磁场强，磁感线稀疏处磁场弱。

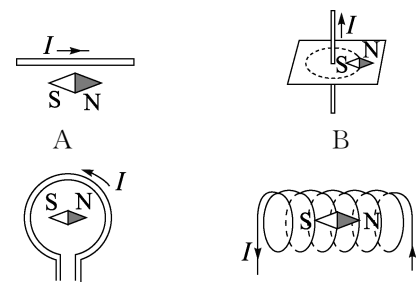
(4)磁感线在空间中不相交。

2.磁感线和静电场的电场线的比较

比较项目		磁感线	静电场的电场线
相同点	方向	线上各点的切线方向就是该点的磁场方向	线上各点的切线方向就是该点的电场方向
	疏密	表示磁场强弱	表示电场强弱
	空间分布	不相交、不相切、不中断	除电荷处外，不相交、不相切、不中断
不同点		闭合曲线	始于正电荷或无穷远处，止于无穷远处或负电荷，是不闭合的曲线

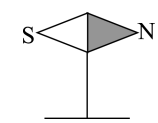
任务三 安培定则

1.当导线中分别通以图示方向的电流时，小磁针静止后 N 极指向读者的是 （ ）



C **解析**：由安培定则可以判断，A 中水平通电直导线下面的磁场方向垂直纸面向里，故 A 错误；B 中竖直通电直导线右侧的磁场方向垂直纸面向里，故 B 错误；C 中通电圆环内的磁场方向垂直纸面向外，故 C 正确；D 中通电螺线管内磁场的方向向左，故 D 错误。

2.(多选)如图所示，一束带电粒子沿着水平方向平行地飞过小磁针上方时，小磁针的 S 极向纸内偏转，则这束带电粒子可能是 （ ）



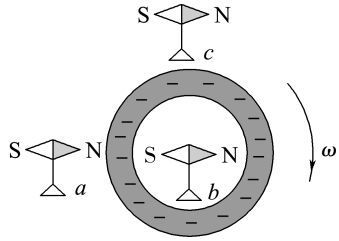
A. 向右飞行的正离子束

B. 向左飞行的正离子束

C. 向右飞行的负离子束
D. 向左飞行的负离子束

BC　**解析**：小磁针 N 极的指向即是磁针所在处的磁场方向。题中小磁针 S 极向纸内偏转，说明离子束下方的磁场方向由纸内指向纸外。根据安培定则可判定，由离子束的定向运动所产生的电流方向由右向左，故若为正离子，则应是自右向左运动，若为负离子束，则应是自左向右运动。故 A、D 错误，B、C 正确。

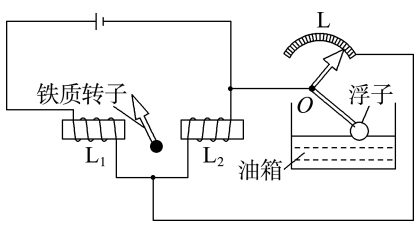
3. 如图所示，圆环上带有大量的负电荷，当圆环沿顺时针方向转动时，a、b、c 三枚小磁针都要发生转动，则以下说法正确的是（　　）



A. a、b、c 的 N 极都向纸里转
B. b 的 N 极向纸外转，而 a、c 的 N 极向纸里转
C. b、c 的 N 极都向纸里转，而 a 的 N 极向纸外转
D. b 的 N 极向纸里转，而 a、c 的 N 极向纸外转

B　**解析**：由于圆环带负电荷，故当圆环沿顺时针方向转动时，等效电流的方向为逆时针，由安培定则可判断环内磁场方向垂直纸面向外，环外磁场方向垂直纸面向内；磁场中某点的磁场方向即是放在该点的小磁针静止后 N 极的指向，所以 b 的 N 极向纸外转，a、c 的 N 极向纸里转。故 B 正确。

4.（多选）油量表是显示机动车燃油箱内油量多少的仪表，电磁式油量表简化电路如图所示。图中 L_1、L_2 是两个完全相同的线圈，对称地处在与铁质转子固定在一起的流量表指针的左右两侧，从而控制指针的偏转方向；图中 L 是类似于滑动变阻器的元件，金属滑动头和连接浮子的金属杆为一整体，随着油量的变化可绕图中 O 点转动，当油箱内燃油用尽时，滑动头恰好转动到 L 的最右端。已知两线圈电阻均为 R，则下列有关说法正确的是（　　）

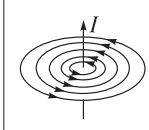
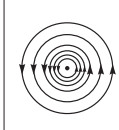
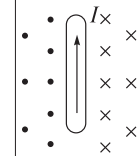
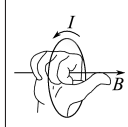
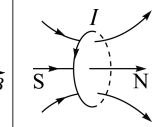
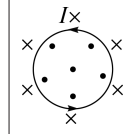
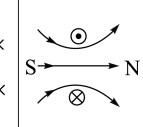
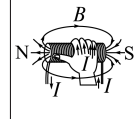
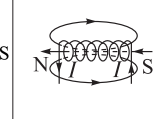
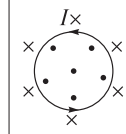
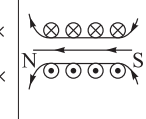


A. 当油箱内燃油用尽时，指针偏向左侧
B. 随着油量的增加，L_2 线圈产生的磁场逐渐增强
C. 随着油量的增加，L_1 线圈产生的磁场逐渐增强
D. 当两线圈中均有电流通过时，两线圈在流量表指针处产生的磁场方向相同

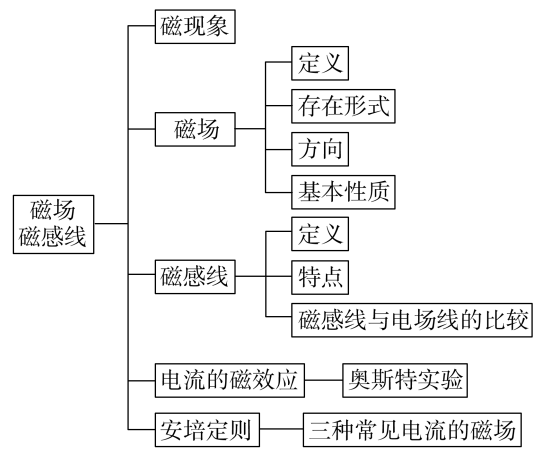
AB　**解析**：当油箱内燃油用尽时，线圈 L_2 被短路，左边线圈有磁场，铁质转子被磁化，指针偏向左侧，故 A 正确；随着油量的增加，和 L_2 线圈并联的电阻逐渐增大，通过线圈 L_2 的电流逐渐增大，产生的磁场逐渐增强，故 B 正确；随着油量的增加，电路总电阻逐渐增大，通过 L_1 线圈的电流逐渐减小，产生的磁场逐渐减弱，故 C 错误；当两线圈中均有电流通过时，根据安培定则可知两线圈在流量表指针处产生的磁场方向相反，故 D 错误。故选 AB。

任务总结

三种常见电流的磁场

项目	安培定则	立体图	横截面图	纵截面图
直线电流				
磁感线是以导线上任意点为圆心的多组同心圆，越向外越稀疏，磁场越弱				
环形电流				
环内部磁场比环外强，磁感线越向外越稀疏				
通电螺线管				
管内部磁场为匀强磁场且比管外部强，方向由 S 极指向 N 极，外部磁场类似条形磁铁的磁场，方向由 N 极指向 S 极				

▶提质归纳



课后素养评价(十八)

基础性·能力运用

知识点 1 磁现象

1.指南针是我国古代四大发明之一,东汉学者王充在《论衡》一书中描述的“司南”是人们公认的最早的磁性定向工具。关于指南针能指示南北方向的原因,下列说法正确的是 ( )

A. 指南针的两个磁极相互吸引

B. 指南针的两个磁极相互排斥

C. 指南针能吸引铁、钴、镍等物质

D. 地磁场对指南针的作用

D **解析**:用指南针指示方向,是由于地球本身是一个大磁体,地球的磁场对磁体产生力的作用,地球的南极附近是地磁场的 N 极,地球的北极附近是地磁场的 S 极;根据“同名磁极相互排斥,异名磁极相互吸引”,所以指南针能够指示南北方向。故 D 正确,A、B、C 错误。

2.有一种围棋棋子是由磁性材料制成的,可以吸附在竖直放置的棋盘上。棋子不会掉下来是因为 ( )

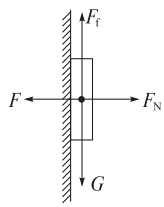
A. 质量小,重力可以忽略不计

B. 受到棋盘对它竖直向上的摩擦力

C. 棋盘对它的吸引力与重力平衡

D. 它一方面受到棋盘的吸引力,另一方面还受到空气的浮力

B **解析**:对棋子受力分析如图所示,磁性棋子受到棋盘的吸引力而对棋盘产生压力,棋盘对棋子有弹力;重力使棋子有向下滑动的趋势,由于棋子受到棋盘向上的静摩擦力,且此力



和重力平衡,使棋子不会掉下来(由于空气浮力远小于重力,故可以忽略不计)。故选 B。

知识点 2 磁感线

3.(多选)关于磁场和磁感线的描述,下列说法正确的是 ( )

A. 磁极之间的相互作用是通过磁场发生的,磁场和电场一样,也是客观存在的特殊物质

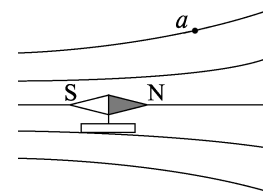
B. 磁感线可以形象地描述各点磁场的强弱和方向,它每一点的切线方向都和小磁针放在该点静止时 N 极所指的方向一致

C. 磁感线总是从磁体 N 极出发,到 S 极终止

D. 细铁屑在磁场中的分布曲线就是磁感线

AB **解析**:磁极之间的相互作用是通过磁场发生的,磁场和电场都是客观存在的特殊物质,故 A 正确;磁感线的疏密可描述磁场的强弱,各点的切线方向和小磁针放在该点静止时 N 极所指的方向,都表示该点磁场的方向,故 B 正确;磁感线是闭合曲线,在磁体内部磁感线是从 S 极到 N 极的,故 C 错误;细铁屑在磁场中的分布曲线形象地描述了磁感线,但磁感线实际并不存在,故 D 错误。

4.一小磁针放置在某磁场(磁感线未标出方向)中,静止时的指向如图所示。下列分析正确的是 ( )



A. 小磁针 N 极指向该点的磁场方向

B. 小磁针 S 极指向该点的磁场方向

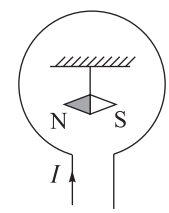
C. 该磁场的大小处处相等

D. a 点的磁场方向水平向右

A **解析**:磁场方向是小磁针静止时 N 极的指向,故 A 正确,B 错误;由磁感线特点可知,C 错误;a 点磁场方向应是磁感线上该点的切线方向,故 D 错误。

知识点 3 安培定则

5.如图所示为磁场作用力演示仪中的亥姆霍兹线圈,在线圈中心处挂上一个小磁针,且与线圈在同一平面内。当亥姆霍兹线圈中通以如图所示方向的电流时,下列说法正确的是 ( )



A. 小磁针 N 极向纸内转动

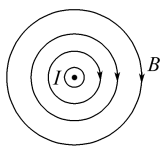
B. 小磁针 N 极向纸外转动

C. 小磁针在纸面内向左摆动

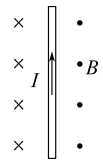
D. 小磁针在纸面内向右摆动

A　**解析**：由于线圈中电流沿顺时针方向，根据安培定则可以确定，线圈内部轴线上磁感线方向垂直于纸面向里；小磁针 N 极的受力方向和该处磁感线的方向相同，所以小磁针 N 极向纸内转动。故选 A。

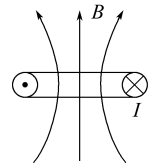
6. 下列各图中，已标出电流 I、磁感应强度 B 的方向，其中符合安培定则的是　（　　）



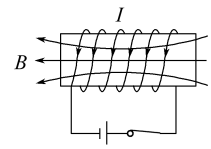
A



B



C

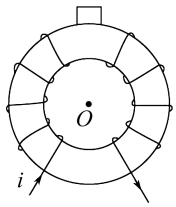


D

C　**解析**：根据安培定则可知，A 选项图中的磁场方向应沿逆时针方向，选项 A 错误；根据安培定则可知，B 选项图中的磁场方向是导线的右侧向里，左侧向外，选项 B 错误；根据安培定则可知，C 选项图中的磁场方向正确，选项 C 正确；根据安培定则可知，D 选项图中的磁场方向应该是向右，选项 D 错误。

综合性·创新提升

7. 电视机中显像管的偏转线圈是由绕在铁环上的两个通电线圈串联而成的，电流方向如图所示，则铁环中心 O 处的磁场方向为　（　　）



A. 向上

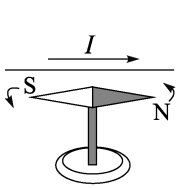
B. 向下

C. 垂直纸面向里

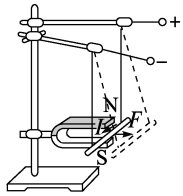
D. 垂直纸面向外

B　**解析**：由安培定则判断可知，左、右两个线圈产生的磁场均可等效为上端是 N 极、下端是 S 极的磁铁，根据磁感线的特点，磁感线在磁体的外部从 N 极到 S 极，由对称性知铁环中心 O 处的磁场方向向下，故 B 正确，A、C、D 错误。

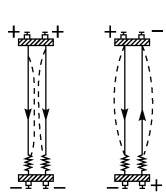
8.（多选）关于磁体、电流间的相互作用，下列说法正确的是　（　　）



甲



乙



丙

A. 图甲中，电流不产生磁场，电流对小磁针力的作用是通过小磁针的磁场产生的

B. 图乙中，磁体对通电导线的作用力是通过磁体的磁场产生的

C. 图丙中电流间的相互作用是通过电流的磁场产生的

D. 图丙中电流间的相互作用是通过电荷的电场产生的

BC　**解析**：题图甲中，电流对小磁针的作用力是通过电流的磁场产生的；题图乙中，磁体对通电导线力的作用是通过磁体的磁场产生的；题图丙中，一个电流对另一个电流有力的作用是通过电流的磁场产生的。综上所述，B、C 正确。

9. 磁性是物质的一种普遍属性，大到宇宙中的星球，小到电子、质子等微观粒子，几乎都会呈现出磁性。地球就是一个巨大的磁体，其表面附近的磁感应强度约为 $3\times10^{-5}\sim5\times10^{-5}$ T，甚至一些生物体内也会含有微量强磁性物质，如 Fe_3O_4。研究表明：鸽子正是利用体内所含有的微量强磁性物质，根据其在地磁场中所受的作用力来帮助辨别方向的。如果在鸽子的身上绑一块永磁体材料，且其附近磁场的强度比地磁场的强，则　（　　）

A. 鸽子仍能辨别方向

B. 鸽子更容易辨别方向

C. 鸽子会迷失方向

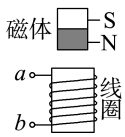
D. 不能确定鸽子是否会迷失方向

C　**解析**：鸽子是利用体内所含有的微量强磁性物质在地磁场中所受的作用力来帮助辨别方向的，即

其体内所含有的微量强磁性物质相当于一个“小磁针”,“小磁针”的N极受力方向指向地理北极附近的方向。在鸽子的身上绑一块永磁体材料,严重干扰了地磁场对它的作用,使鸽子体内的“小磁针”N极受力的方向不再指向地理北极附近,这样会使鸽子迷失方向。故C正确。

10.(多选)如图甲所示是一个磁悬浮地球仪,原理如图乙所示。上方的地球仪内有一个永磁体,底座内有一个线圈,线圈通上直流电后,地球仪就可以悬浮起来。下列说法正确的是　　(　　)


甲



乙

A. 将地球仪上下位置翻转,仍能继续保持悬浮

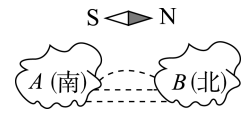
B. 图中线圈的a端须连接直流电源的负极

C. 若增加线圈的匝数,稳定后地球仪受到的磁力将增大

D. 若增大线圈中的电流,稳定后地球仪受到的磁力不变

BD　**解析**:线圈通上直流电,线圈可以等效为条形磁体,磁悬浮地球仪之所以能悬浮在空中,是利用了同名磁极相互排斥的原理,将地球仪上下位置翻转,地球仪将被吸引,不能继续保持悬浮,故A错误;根据题图乙可知,地球仪下端为N极,则线圈的上端为等效条形磁体的N极,由于通的是直流电,根据安培定则可知,a端为电源的负极,而b端为电源的正极,故B正确;增加线圈匝数,电流产生的磁场的磁感应强度增强,地球仪再次稳定悬浮后,受到的磁力仍然与地球仪的重力平衡,即稳定后地球仪受到的磁力不变,故C错误;地球仪悬浮于空中时球体受到的重力和磁力是一对平衡力,仅增大线圈中的电流,地球仪再次稳定悬浮后受到的磁力仍然等于地球仪的重力,即稳定后地球仪受到的磁力不变,故D正确。

11.(多选)如图所示是云层之间闪电的模拟图,图中A、B是位于南、北方向带有电荷的两块阴雨云,在放电的过程中,两云的尖端之间形成了一个放电通道。假设位于通道正上方的小磁针N极转向纸里,S极转向纸外,则关于A、B的带电情况,下列说法正确的是　　(　　)



A. 带同种电荷

B. 带异种电荷

C. B带正电

D. A带正电

BC　**解析**:由于小磁针N极转向纸里,可知该点磁场方向向里,又根据安培定则知,A、B间存在由B向A的电流,由此可知B带正电,A带负电,故B、C正确。

2　磁感应强度　磁通量

学习任务目标

1.类比电场强度，理解磁感应强度的定义及物理意义。（物理观念）
2.理解磁通量的定义及其正、负与矢量正、负的不同。（科学思维）

问题式预习

知识点一　磁感应强度的理解和应用

1.磁感应强度

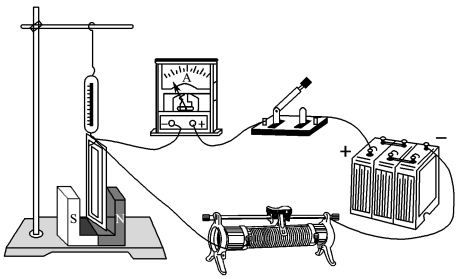
（1）物理意义：描述磁场强弱和方向的物理量。

（2）方向：小磁针静止时N极所指的方向规定为该点的磁感应强度方向，简称为磁场方向。

（3）磁感应强度是矢量（选填“标量”或“矢量”）。

2.利用安培力测定磁感应强度

（1）装置



（2）测量过程

①按照装置图连接好电路，记下此时弹簧测力计的读数 F_0。

②将滑动变阻器的滑片置于最右端，闭合开关，调节滑动变阻器使电流表的读数为 I_1，记下弹簧测力计的读数 F_1，则磁场对矩形线框位于磁场中的一条边的作用力的大小为 $F=|F_1-F_0|$。

③测出线框在磁场中的下边长为 L。

④代入 $B=\dfrac{F}{IL}=\dfrac{|F_1-F_0|}{I_1L}$，即可求得 B 的大小。

（3）注意事项

①为使测量过程简单，使矩形线框所在平面与N极、S极的连线垂直。

②使矩形线框的短边全部放在N、S极之间的区域中。

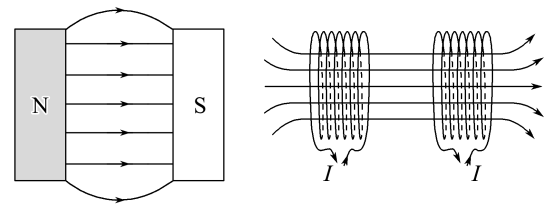
③为使测量更精确，可把弹簧测力计换成精密天平。

3.磁感应强度的大小

磁感应强度的定义式是 $B=\dfrac{F}{IL}$，单位是特斯拉，简称特，符号是T。

4.匀强磁场

各点的磁感应强度大小和方向都相同的磁场，匀强磁场的磁感线是一组平行且等间距的直线，如图所示。



［科学思维］

电流元就是很短的一段通电导线中的电流与导线长度的乘积。磁感应强度的大小是由磁场本身决定的，不随电流元大小及电流元所受磁场力大小的变化而变化。

［判一判］

1.磁感应强度的方向是小磁针静止时S极所指的方向。（×）

2.虽然公式 $B=\dfrac{F}{IL}$ 是根据导线在匀强磁场中受力推导出来的，但却适用于任何磁场。（√）

3.从 $B=\dfrac{F}{IL}$ 可以看出，磁场的磁感应强度与导线在磁场中受到的磁场力 F 成正比，与 IL 成反比。（×）

知识点二　磁通量的理解和应用

1.定义

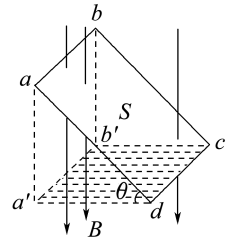
在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，有一块垂直于磁场方向的面积为 S 的平面，我们把 B 与 S 的乘积叫作穿过这个面的磁通量。

2.磁通量的计算

（1）公式：$\Phi=BS$。

适用条件：①匀强磁场；②磁感线与平面垂直。

（2）如图所示，在匀强磁场中，若磁感线与平面不垂直，则 $\Phi=BS\cos\theta$。



3.单位：在国际单位中，磁通量的单位是韦伯，简称韦，符号为Wb，1 Wb=1 T·m^2。

4.磁通密度

由 $\Phi=BS$ 得 $B=\frac{\Phi}{S}$，磁感应强度等于穿过单位面积的磁通量，所以也叫磁通密度。表示磁感应强度等于穿过垂直磁感线的单位面积的磁感线条数。

［**科学思维**］

磁场与平面不垂直时，这个面在垂直于磁场方向的投影面积 S' 与磁感应强度的乘积表示磁通量。

任务型课堂

任务一 对磁感应强度的理解

1.（多选）根据磁感应强度的定义式 $B=\frac{F}{IL}$，下列说法正确的是 （ ）

A. 在磁场中某确定位置，磁感应强度 B 与电流在该处所受磁场力 F 成正比，与电流 I、导线的长度 L 的乘积成反比

B. 公式 $B=\frac{F}{IL}$ 只适用于匀强磁场

C. 只要满足 L 很短、I 很小的条件，$B=\frac{F}{IL}$ 对任何磁场都适用

D. 一小段通电直导线放在磁感应强度 $B=0$ 的位置，那么它受到的磁场力 F 也一定为零

CD **解析**：磁感应强度反映磁场本身的强弱和方向，由磁场本身决定，与放入磁场的导线所受的磁场力 F、导线的长度 L 和通过导线的电流 I 无关，故 A 错误；公式 $B=\frac{F}{IL}$ 是磁感应强度的定义式，当 L 很短、I 很小时，适用于任何磁场，故 B 错误，C 正确；一小段通电直导线放在磁感应强度 $B=0$ 的位置，由 $F=ILB$ 得知，它受到的磁场力 F 也一定为零，故 D 正确。

2.（多选）有关磁感应强度 B 的方向，下列说法正确的是 （ ）

A. B 的方向就是小磁针 N 极所指的方向

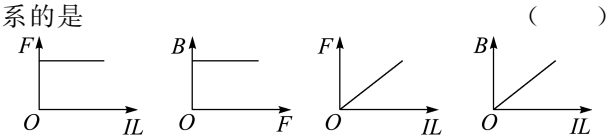
B. B 的方向与小磁针在任何情况下 N 极的受力方向一致

C. B 的方向就是该处磁场的反方向

D. B 的方向就是该处磁场的方向

BD **解析**：小磁针静止时 N 极的指向就是该点的磁感应强度 B 的方向，故 A 错误；小磁针 N 极受力的方向就是该处磁感应强度的方向，故 B 正确；B 的方向就是该处磁场的方向，故 C 错误，D 正确。

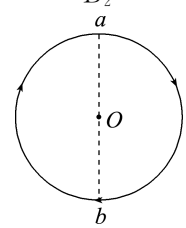
3.（多选）将一小段通电直导线垂直磁场方向放入一匀强磁场中，则下列图像能正确反映各物理量间关系的是 （ ）



A B C D

BC **解析**：磁感应强度 B 与 F、I、L 无关，是由磁场本身的性质决定的，故 B 正确，D 错误；由 $F=BIL$ 可知，在 B 一定时，F 与 IL 成正比，故 A 错误，C 正确。

4.如图所示，沿顺时针方向的环形电流在圆心 O 点产生的磁感应强度的大小为 B，环形电流上 a、b 两点的连线为圆环的直径。现将右边半圆环绕直径 ab 沿同一方向分别弯折 60°和 120°，O 点的磁感应强度大小分别为 B_1 和 B_2，则 $\frac{B_1}{B_2}$ 等于 （ ）



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

C **解析**：根据对称性，左右两段半圆环中的电流在 O 点产生的磁感应强度的大小均为 $\frac{1}{2}B$，方向均垂直于纸面向里，将右边半圆环绕直径 ab 向上弯折 60°后，右边半圆环中的电流在 O 点产生的磁感应强度的方向也偏转了 60°，根据磁场的矢量叠加可得，O 点的磁感应强度的大小 $B_1=2\times\frac{B}{2}\cos 30°=\frac{\sqrt{3}}{2}B$，同理将右边半圆环绕直径 ab 向上弯折 120°后，根据磁场的矢量叠加可得，O 点的磁感应强度的大小为 $B_2=2\times\frac{B}{2}\cos 60°=\frac{1}{2}B$，故 $\frac{B_1}{B_2}=\sqrt{3}$，故选 C。

任务总结

1.磁感应强度的定义式也适用于非匀强磁场，这时 L 应很短，IL 称为“电流元”，类似于静电场中的“检验电荷”。

2.磁感应强度是反映磁场强弱的物理量，它是用比值法定义的物理量，由磁场自身性质决定，与是否引入电流元、引入的电流元是否受力及受力大小无关。

3.因为通电导线取不同方向时，其受力大小不相同，故在定义磁感应强度时，式中 F 是指通电直导线垂直磁场放置时受到的磁场力大小。

4.磁感应强度方向的几种表述方式

(1)小磁针静止时 N 极所指的方向，即 N 极受力的方向。

(2)小磁针静止时 S 极所指的反方向，即 S 极受力的反方向。

(3)磁感应强度的方向就是该点的磁场方向。

5.磁感应强度 B 为矢量，它有大小和方向，分别表示磁场的强弱与方向，故磁感应强度的叠加满足平行四边形定则。

任务二　磁感应强度与电场强度的对比

［探究活动］

(1)“磁感应强度和电场强度不是从同一角度来分别描述磁场和电场的”这种理解正确吗？为什么？

(2)磁感应强度和电场强度的大小与外界放入的检验元素(电流元或检验电荷)有关吗？

提示：(1)不正确。因为两者都是描述场的力的性质的物理量。

(2)无关。

［评价活动］

1.(多选)比值法定义物理量是物理学中常用的一种方法，就是利用两个或者几个物理量的比值作为新的物理量。例如电场强度 $E=\frac{F}{q}$，磁感应强度 $B=\frac{F}{IL}$ 等都是利用比值法定义的。关于这两个物理量及其定义式，下列说法正确的是　(　　)

A. $E=\frac{F}{q}$ 说明 E 与 F 成正比，与 q 成反比，$B=\frac{F}{IL}$ 说明 B 与 F 成正比，与 I 和 L 的乘积成反比

B. E 由电场自身性质决定，与 F 和 q 无关

C. B 由磁场自身性质决定，与 F 和 IL 无关

D. E 与 F 和 q 无关，F 与 q 也无关；B 与 F 和 IL 无关，F 也与 IL 无关

BC　**解析**：所谓比值定义法，就是用两个或几个基本的物理量的比值来定义一个新的物理量的方法。比值定义法的基本特点是被定义的物理量往往反映物质的最本质的属性，它不随定义所用的物理量的大小而改变。E 由电场自身性质决定，与 F 和 q 无关；B 由磁场自身性质决定，与 F 和 IL 无关，故A错误，B、C正确。E 与 F 和 q 无关，但由 $F=qE$ 可知，F 与 q 有关；B 与 F 和 IL 无关，但由 $F=ILB$ 可知，F 与 IL 有关，故D错误。

2.(多选)关于磁感应强度 B 和电场强度 E 的比较，下列说法正确的是　(　　)

A. 磁感应强度 B 和电场强度 E 都是矢量

B. 磁感应强度 B 和电场强度 E 都是由场本身决定的

C. 磁感应强度 B 和电场强度 E 的大小都是由检验电流和检验电荷在场中受力的大小决定的

D. 磁感应强度 B 和电场强度 E 都是用比值法来定义的

ABD　**解析**：磁感应强度 B 和电场强度 E 都是矢量，它们的大小、方向均由它们自身的因素决定，故A、B正确；由磁感应强度和电场强度的定义知，它们都是用比值法来定义的，但与检验电流和检验电荷受到的力的大小无关，故C错误，D正确。

3.(多选)关于检验电荷和电流元，下列说法正确的是　(　　)

A. 检验电荷在电场中一定受到电场力的作用，电场力大小与所带电荷量的比值定义为电场强度的大小

B. 电流元在磁场中一定受到磁场力的作用，磁场力与该段通电导线的长度和电流乘积的比值定义为磁感应强度的大小

C. 检验电荷所受电场力的方向与电场方向相同或相反

D. 电流元在磁场中所受磁场力的方向与磁场方向相同或相反

AC　**解析**：电荷在电场中一定受电场力的作用，且 $E=\frac{F}{q}$，A正确；正电荷所受电场力的方向与电场方向相同，负电荷所受电场力的方向与电场方向相反，C正确；电流元在磁场中与磁场方向垂直放置时，一定受磁场力的作用，并且 $B=\frac{F}{IL}$，平行时不受磁场力，B错误；磁感应强度的方向不是根据电流元的受力方向规定的，D错误。

任务总结

磁感应强度和电场强度比较

项目	磁感应强度 B	电场强度 E
物理意义	描述磁场的力的性质	描述电场的力的性质
定义式	$B=\frac{F}{IL}$(通电导线与磁场垂直时)	$E=\frac{F}{q}$
决定因素	由磁场决定，与 F、I、L 无关	由电场决定，与 F、q 无关
方向	放入其中的小磁针N极的受力方向	放入该点的正电荷的受力方向
叠加	合磁感应强度等于各个磁场的磁感应强度的矢量和	合电场强度等于各个电场的电场强度的矢量和

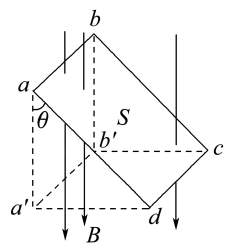
任务三　对磁通量的理解和计算

［探究活动］

磁通量既与磁感应强度 B 和面积 S 有关，又与 B 和 S 所成的角度有关。

(1)磁通量的概念是怎样的？

(2)如图所示，当磁场方向与平面成 θ 角时，磁通量的表达式是怎样的？当磁场与平面平行时，磁通量是多少？

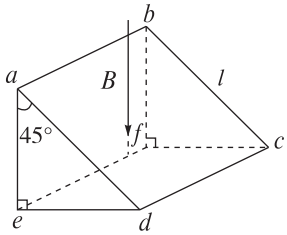


提示：(1)在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，有一个与磁场方向垂直的平面，面积为 S，把 B 与 S 的乘积叫作穿过这个面积的磁通量，用 Φ 表示，即 $\Phi=BS$。

(2)当磁场方向与平面成 θ 角时，磁通量 $\Phi=BS\sin\theta$；当磁场方向与平面平行时，磁通量 $\Phi=0$。

[**评价活动**]

1.(多选)如图所示是等腰直角三棱柱，其中底面 $abcd$ 为正方形，边长为 l。它按图示位置放置于竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B，则下列说法正确的是 (　　)



A. 通过 $abcd$ 平面的磁通量为 Bl^2

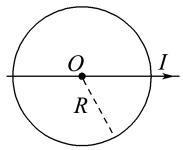
B. 通过 $dcfe$ 平面的磁通量为 $\frac{\sqrt{2}}{2}Bl^2$

C. 通过 $abfe$ 平面的磁通量为 0

D. 通过整个三棱柱的磁通量为 0

BCD　**解析**：$abcd$ 平面在垂直于 B 方向上的投影面积 $S_\perp=\frac{\sqrt{2}}{2}l^2$，所以 $\Phi_1=BS_\perp=\frac{\sqrt{2}}{2}Bl^2$，A 错误；$dcfe$ 平面与 B 垂直，即 $S=\frac{\sqrt{2}}{2}l^2$，所以 $\Phi_2=\frac{\sqrt{2}}{2}Bl^2$，B 正确；$abfe$ 平面与 B 平行，即 $S'_\perp=0$，$\Phi_3=0$，C 正确；整个三棱柱穿进的磁感线和穿出的磁感线条数相等，相互抵消，所以 $\Phi=0$，D 正确。

2.如图所示，在水平面内一根通有电流 I 的长直导线，正好处在一个半径为 R 的水平圆面的直径上，则下列说法正确的是 (　　)



A. 若直导线垂直于圆面向里移动，则穿过该圆面的磁通量减少

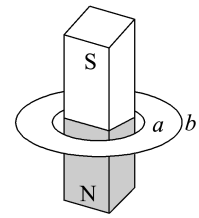
B. 若直导线绕圆心 O 在水平面内转动一个小角度，则穿过该圆面的磁通量增加

C. 若直导线沿圆面内垂直于导线方向移动 $\frac{1}{2}R$，则穿过该圆面的磁通量增加

D. 若直导线沿导线方向移动 $\frac{1}{2}R$，则穿过该圆面的磁通量增加

C　**解析**：根据安培定则可知直导线在圆面直径处时磁感线从一边半圆进、另一边半圆出，合磁通量为零，垂直圆面向里移动、沿直导线方向移动或绕圆心 O 转动，合磁通量仍为零，选项 A、B、D 错误；直导线沿圆面内垂直于导线方向移动 $\frac{1}{2}R$，磁通量增加，选项 C 正确。

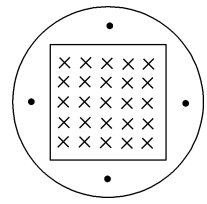
3.如图所示，a、b 是两个同平面、同圆心放置的金属圆环，条形磁体穿过两圆环且与两圆环平面垂直，通过两圆环的磁通量分别为 Φ_a、Φ_b，则下列关于 Φ_a、Φ_b 的比较，正确的是 (　　)



A. $\Phi_a>\Phi_b$　　B. $\Phi_a<\Phi_b$

C. $\Phi_a=\Phi_b$　　D. 无法比较

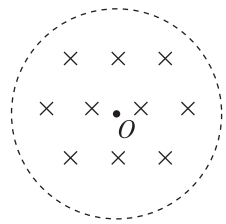
A　**解析**：两个同圆心、同平面的金属圆环与磁体垂直且磁体在中央时，通过圆环的磁感线的俯视图如图所示，穿过圆环的磁通量 $\Phi=\Phi_{进}-\Phi_{出}$，由于两圆环面积 $S_a<S_b$，两圆环的 $\Phi_{进}$ 相同，而 $\Phi_{出a}<\Phi_{出b}$，所以穿过两圆环的有效磁通量 $\Phi_a>\Phi_b$，故 A 正确。



4.如图所示，有一个垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 $B=0.8$ T，磁场有明显的圆形边界，圆心为 O，半径为 1 cm。现于纸面内先后放上圆线圈甲、乙、丙，圆心均在 O 处，线圈平面与纸面平行。线圈甲半径为 1 cm，1 匝；线圈乙半径为 2 cm，1 匝；线圈丙半径为 0.5 cm，2 匝(取 $\pi=3.14$)。

(1)穿过线圈甲、乙的磁通量各为多少？

(2)若磁场方向转过 30°角，穿过线圈丙的磁通量为多少？



解析：(1)设圆形磁场区域的半径为 R，对线圈甲有 $\Phi_{甲}=B\pi R^2$

代入数据得穿过线圈甲的磁通量 $\Phi_{甲}=2.512\times10^{-4}$ Wb

穿过线圈乙的磁感线条数和穿过甲的磁感线条数相同，即 $\Phi_{乙}=\Phi_{甲}=2.512\times10^{-4}$ Wb。

(2)设线圈丙的半径为 r,θ 表示磁场转过的角度,则 $\Phi_{丙}=B\pi r^2\cos\theta$

代入数据解得 $\Phi_{丙}\approx5.439\times10^{-5}$ Wb。

答案:(1)2.512×10^{-4} Wb　2.512×10^{-4} Wb

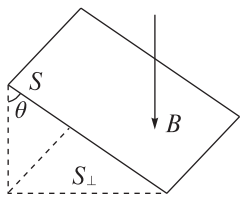
(2)5.439×10^{-5} Wb

任务总结

1.磁通量的计算

在匀强磁场中,若磁感线与平面不垂直,则公式 $\Phi=BS$ 中的 S 应为平面在垂直于磁感线方向上的投影面积。

如图所示,$\Phi=BS_{\perp}=BS\sin\theta$。

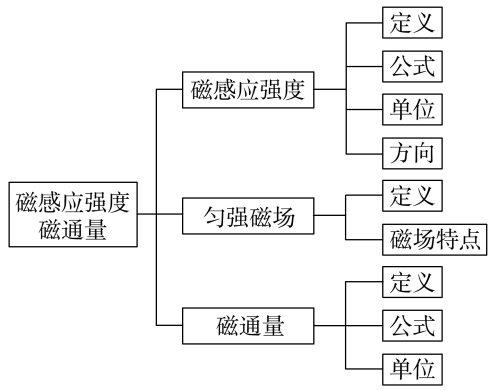


2.磁通量的正、负

(1)磁通量是标量,但有正、负之分,若磁感线从某一面上穿入时磁通量为正值,则磁感线从此面反向穿入时即为负值。

(2)若两种磁感线沿相反方向穿过同一平面,且正向磁通量为 Φ_1,反向磁通量为 Φ_2,则穿过该平面的磁通量 $\Phi=\Phi_1-\Phi_2$。

提质归纳



课后素养评价(十九)

基础性·能力运用

知识点 1　磁感应强度的概念

1.(多选)关于电场强度的方向和磁感应强度的方向,下列说法正确的是　(　　)

A. 静电场中某点的电场强度方向就是放在该点的检验电荷所受静电力的方向

B. 静电场中某点的电场强度方向就是放在该点带正电的检验电荷所受静电力的方向

C. 磁场中某处的磁感应强度方向就是放在该处的小磁针 S 极所受磁场力的方向

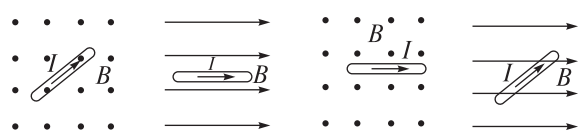
D. 磁场中某处的磁感应强度方向就是放在该处的小磁针静止时 N 极所指的方向

BD　**解析**:电场强度描述静电场本身的性质,其大小和方向与其他因素无关,与带正电的检验电荷所受静电力的方向相同,与负电荷受力方向相反,故 A 错误,B 正确;磁场中某处的磁感应强度方向就是放在该处的小磁针静止时 N 极所指的方向,故 C 错误,D 正确。

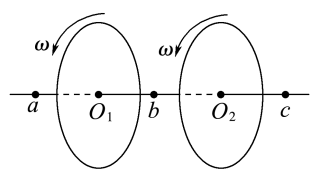
知识点 2　磁感应强度的大小

2.(多选)如图所示,一电流元放在同一匀强磁场中的四个位置,已知电流元的电流为 I、长度为 L 和受力为 F,则可以用 $\frac{F}{IL}$ 表示磁感应强度 B 的是

(AC)



3.如图所示,两半径相同、均匀带负电的塑料圆环共轴放置,所带电荷量相同,环面平行且相距 $2l$,环面垂直于轴线,O_1、O_2 为两圆环的圆心。现使两圆环绕轴以相同的角速度 ω 同向匀速旋转,a、b、c 是轴上三点,$aO_1=O_1b=bO_2=O_2c=l$。关于 a、b、c 三点处的磁感应强度,下列判断正确的是　(　　)



A. a 处的磁感应强度比 c 处的大

B. a、c 两处的磁感应强度相同

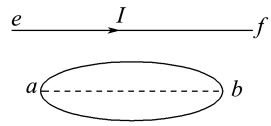
C. a、c 两处的磁感应强度方向相反

D. b 处的磁感应强度为 0

B　**解析**：两圆环同向匀速旋转时，相当于两环形电流，a、b、c 三点处的磁感应强度是两环形电流产生的合磁感应强度，由几何关系结合磁场强度的叠加关系可知 b 点处的磁感应强度比 a、c 两点处的大，根据安培定则可知，a、c 两处的磁感应强度相同，故 B 正确，A、C 错误；b 点位于两圆环中间，两圆环在 b 点产生的磁场的磁感应强度大小相等，方向相同，合磁感应强度不为 0，故 D 错误。

知识点 3　磁通量的理解

4. 如图所示，ab 是水平面上一个圆形线圈的直径，在过 ab 的竖直面内有一根通电导线 ef，且 ef 平行于 ab。当 ef 竖直向上平移时，穿过圆面积的磁通量将　（C）



A. 逐渐变大

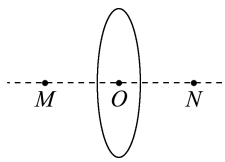
B. 逐渐变小

C. 始终为零

D. 不为零，但始终不变

综合性·创新提升

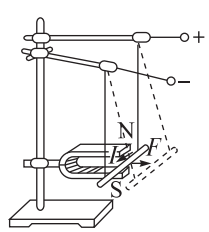
5.（2025·湖北卷）如图所示，在磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，放置一通电圆线圈，圆心为 O，线圈平面与磁场垂直。在圆线圈的轴线上有 M 和 N 两点，它们到 O 点的距离相等。已知 M 点的总磁感应强度大小为零，则 N 点的总磁感应强度大小为　（　　）



A. 0　　B. B　　C. $2B$　　D. $3B$

A　**解析**：根据安培定则可知，电流在圆线圈的轴线上产生的磁场方向相同，因为 M 点和 N 点在圆线圈轴线上，且它们到 O 点的距离相等，根据对称性可知，通电圆线圈在 M 点和 N 点的磁感应强度大小相等，方向相同，又因为匀强磁场中磁感应强度大小和方向处处相同，根据磁场的叠加原理，通电圆线圈和匀强磁场在 M 点和 N 点的叠加磁场相同，则 N 点的总磁感应强度大小与 M 点相等，也为零，故 A 正确，B、C、D 错误。

6.（多选）如图所示，一根通电直导线处在蹄形磁体两极间，由于受到力 F 的作用发生偏转，则下列说法正确的是　（　　）



A. 这个力 F 是通过磁场产生的

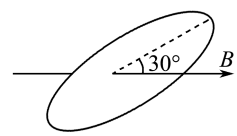
B. 这个力 F 没有反作用力

C. 这个力 F 的反作用力作用在通电导线上

D. 这个力 F 的反作用力作用在蹄形磁体上

AD　**解析**：磁场是一种物质，磁体间或磁体与电流间的作用都是通过磁场产生的；虽然磁场看不见、摸不着，但并不意味着只有受力物体而没有施力物体，这时我们需要找出产生磁场的物体，它才是施力物体，力 F 的反作用力作用在施力物体上。故 B、C 错误，A、D 正确。

7. 如图所示，将一圆面放入匀强磁场中，且圆面与磁感线的夹角为 30°。若已知该圆面的面积为 $3.0\times10^{-4}\ \mathrm{m}^2$，穿过该圆面的磁通量为 $3.0\times10^{-5}\ \mathrm{Wb}$，则此匀强磁场的磁感应强度 B 等于　（　　）

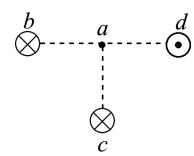


A. 2.0 T　　B. 2.0×10^{-1} T

C. 0.1 T　　D. 0.05 T

B　**解析**：磁通量 $\Phi=BS\sin 30°$，则有 $B=\dfrac{\Phi}{S\sin 30°}=0.2$ T，故 A、C、D 错误，B 正确。

8. 如图所示，三根通电直导线垂直于纸面放置，现使每根导线在 a 点产生的磁感应强度大小均为 B。关于 a 点的磁感应强度，下列说法正确的是　（　　）



A. 大小为 $3B$

B. 大小为 $\sqrt{5}B$

C. 方向沿纸面由 a 指向 d

D. 方向沿纸面由 a 指向 c

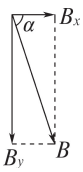
B　**解析**：由安培定则可知，b 处直导线在 a 点产生磁场的方向竖直向下，c 处直导线在 a 点产生磁场的方向水平向右，d 处直导线在 a 点产生磁场的方向竖直向下；根据平行四边形定则可得 a 点的合磁感应强度大小为 $B_a=\sqrt{B^2+(2B)^2}=\sqrt{5}B$，合磁感应强度方向指向右下方，设合磁感应强度方向与水平向右方向的夹角为 θ，则有 $\tan\theta=\dfrac{2B}{B}=2$。故 B 正确，A、C、D 错误。

9. 地球上某地磁感应强度 B 的水平分量为 $B_x=0.18\times10^{-4}$ T，竖直分量为 $B_y=0.54\times10^{-4}$ T。求：

(1)地磁场磁感应强度 B 的大小及它与水平方向的夹角；

(2)在水平面 2.0 m^2 的面积内地磁场的磁通量 Φ。

解析：(1)假设该地地磁场方向斜向下，如图所示：



根据平行四边形定则，可知 $B=\sqrt{B_x^2+B_y^2}=\sqrt{0.18^2+0.54^2}\times10^{-4}$ T$=0.57\times10^{-4}$ T

B 的方向与水平方向的夹角

$\alpha=\arctan\dfrac{B_y}{B_x}=\arctan\dfrac{0.54\times10^{-4}}{0.18\times10^{-4}}=\arctan 3=71°34'$。

(2)题中地磁场竖直分量与水平面垂直，故磁通量 $\Phi=B_yS=0.54\times10^{-4}\times2.0$ Wb$=1.08\times10^{-4}$ Wb。

答案：(1)0.57×10^{-4} T　$\arctan 3$ 或 $71°34'$

(2)1.08×10^{-4} Wb

10. 匀强磁场中一长为 2 cm 的通电直导线垂直磁场方向放置，当通过导线的电流为 2 A 时，它受到的磁场力大小为 4×10^{-3} N。问：

(1)该处的磁感应强度 B 是多大？

(2)若电流不变，导线长度减小到 1 cm，则该处的磁感应强度和它受到的磁场力各是多少？

(3)若导线长度不变，电流增大为 5 A，则该处的磁感应强度和它受到的磁场力各是多少？

解析：(1)根据磁感应强度的定义得

$B=\dfrac{F}{IL}=\dfrac{4\times10^{-3}}{2\times2\times10^{-2}}$ T$=0.1$ T。

(2)匀强磁场中某处的磁感应强度由磁场本身决定，不因导线长度的改变而改变，因此该处磁感应强度仍为 $B=0.1$ T

导线长度减小到 1 cm，根据磁感应强度的定义式 $B=\dfrac{F}{IL}$ 可得，它受到的磁场力

$F'=BIL'=0.1\times2\times1\times10^{-2}$ N$=2\times10^{-3}$ N。

(3)匀强磁场中某处的磁感应强度不因电流的改变而改变，因此该处磁感应强度仍为 $B=0.1$ T

电流增大为5 A，根据磁感应强度的定义式 $B=\dfrac{F}{IL}$ 可得，它受到的磁场力

$F''=BI'L=0.1\times5\times2\times10^{-2}$ N$=0.01$ N。

答案：(1)0.1 T　(2)0.1 T　2×10^{-3} N　(3)0.1 T　0.01 N

3　电磁感应现象及其应用

学习任务目标

1.通过实验，探究感应电流产生的条件。（科学探究）
2.了解感应电流产生的条件，并会判断闭合回路中是否有感应电流产生。（科学思维）

问题式预习

知识点一　电磁感应现象的发现及应用

1.“电生磁”

1820年，丹麦物理学家奥斯特发现载流导线能使小磁针偏转，说明电流能产生磁场，这种作用称为电流的磁效应，即“电生磁”。

2.“磁生电”

1831年，英国物理学家法拉第发现了电磁感应现象，即“磁生电”，产生的电流叫感应电流。

3.电磁感应现象发现的意义

电磁感应现象的发现使人们对电与磁内在联系的认识更加完善，宣告了电磁学作为一门统一学科的诞生，推动人类进入电气时代。

4.电磁感应现象的应用

(1)最早的发电机：法拉第的圆盘发电机。

(2)电厂里的发电机，生产和生活中广泛使用的变压器、电磁炉等都是根据电磁感应原理制造的。

(3)电磁感应还被广泛地应用于各种电路控制器件、传感器、电子技术和信息技术中。

[科学思维]

很多科学家在实验中没有注意到磁场的变化、导体与磁场之间的相对运动等环节，他们只想把导体放入磁场中来获得电流，这实际上违背了能量守恒定律。研究“磁生电”的科学家很多，却大都没有成功。

[判一判]

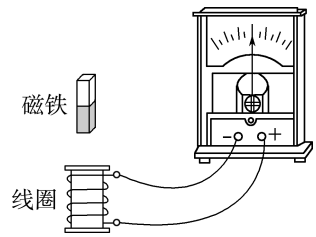
1.法拉第发现了电磁感应现象。　(√)
2.法拉第完成了“由磁产生电”的设想。　(√)
3.电磁感应现象是把电转变为磁的过程。　(×)
4.电磁感应是一种在变化、运动过程中才会出现的现象。　(√)

知识点二　感应电流产生的条件

感应电流产生的条件：只要穿过闭合导体回路的磁通量发生变化，闭合导体回路中就有感应电流产生。

[科学思维]

在如图所示的实验中，要想在线圈中产生感应电流，可采取什么操作？



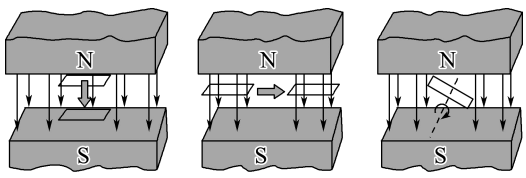
提示：将磁铁插入线圈，或将磁铁从线圈中抽出。

任务型课堂

任务一　对磁通量、磁通量变化量的认识

[探究活动]

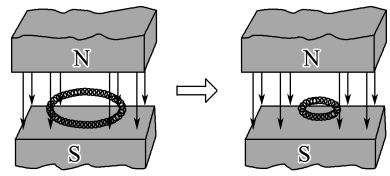
试分析在下列几种情况中，穿过线圈的磁通量是否会变化。



甲　　乙　　丙

(1)如图甲所示，保持矩形线圈平面始终与磁感线垂直，矩形线圈在匀强磁场中上下运动；如图乙所示，保持矩形线圈平面始终与磁感线垂直，矩形线圈在匀强磁场中左右运动；如图丙所示，矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁感线的轴转动。

(2)如图丁所示，弹簧线圈在磁场中收缩。



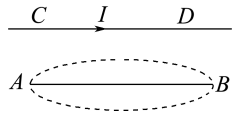
丁

提示：(1)根据磁通量的定义式 $\Phi=BS$（平面 S 与磁场 B 方向垂直），可知题图甲、乙中穿过线圈的磁通量没变，题图丙中穿过线圈的磁通量发生变化。

(2)题图丁中弹簧线圈的有效面积变小，磁通量变小。

［评价活动］

1. 如图所示，AB 是水平面上一个圆的直径，在过 AB 的竖直平面内有一根通电导线 CD，已知 $CD \parallel AB$。当 CD 竖直向上平移时，圆内的磁通量将　　（　　）



A. 逐渐增大

B. 逐渐减小

C. 始终为零

D. 不为零但保持不变

C　**解析**：通电直导线产生稳定的磁场，根据安培定则判断可知，在 AB 的外侧磁感线向下穿过线圈平面，在 AB 的里侧磁感线向上穿过线圈平面，根据对称性可知，穿过圆的磁感线的总条数为零，磁通量为零，CD 竖直向上平移时，穿过这个圆面的磁通量始终为零，保持不变，故 A、B、D 错误，C 正确。

2. 一个匝数为 n、面积为 S 的闭合线圈置于水平面上，若线圈内磁场的磁感应强度在时间 t 内由竖直向下的 B_1 减小到零，再反向增大到 B_2，则线圈内的磁通量的变化量 $\Delta\Phi$ 为　　（　　）

A. $n(B_2-B_1)S$

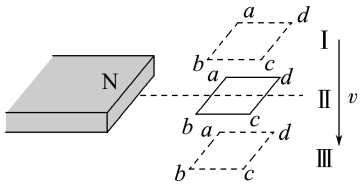
B. $n(B_2+B_1)S$

C. $(B_2-B_1)S$

D. $(B_2+B_1)S$

D　**解析**：以磁感线竖直向上为正方向，末状态的磁通量 $\Phi_2=B_2S$，初状态的磁通量 $\Phi_1=-B_1S$，则线圈内的磁通量的变化量 $\Delta\Phi=\Phi_2-\Phi_1=(B_2+B_1)S$，故 D 正确，A、B、C 错误。

3. 如图所示，一水平放置的矩形闭合线圈 $abcd$ 在条形磁体的 N 极附近下落，保持 bc 边在纸外，ad 边在纸内，由图中的位置Ⅰ经过位置Ⅱ到位置Ⅲ，且位置Ⅰ和Ⅲ都很靠近位置Ⅱ，在这个过程中，线圈中的磁通量　　（　　）



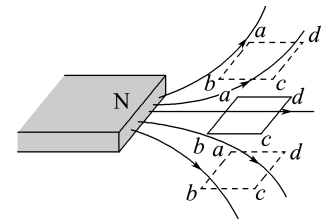
A. 增加

B. 减少

C. 先增加，后减少

D. 先减少，后增加

D　**解析**：要知道线圈在下落过程中磁通量的变化情况，就必须知道条形磁体在磁极附近磁感线的分布情况，磁感线分布情况如图所示，由图可知线圈中的磁通量先减少，后增加。D 正确。



任务总结

1. 根据磁通量的定义式 $\Phi=BS$（平面 S 与磁场 B 方向垂直）可知，引起磁通量变化的可能原因有以下几种：

(1) 线圈面积 S 发生变化；

(2) 磁感应强度 B 发生变化；

(3) 磁场方向与线圈平面的夹角发生变化。

2. 在非匀强磁场中，可以用穿过某一面积的磁感线条数定性判断磁通量的大小。

3. 磁通量是标量，但有正、负，若以磁感线从某一面穿入时磁通量为正值，则磁感线从此面穿出时为负值。

任务二　感应电流产生的条件

1. 如果一个闭合线圈中没有产生感应电流，则可以得出　　（　　）

A. 此时该处一定没有磁场

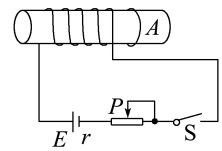
B. 此时该处一定没有磁场的变化

C. 闭合线圈的面积一定没有变化

D. 穿过线圈平面的磁通量一定没有变化

D　**解析**：感应电流的产生条件是穿过闭合线圈的磁通量发生变化，如果一个闭合线圈中没有产生感应电流，那么穿过这个线圈平面的磁通量一定没有变化，D 正确。

2. （多选）如图所示，绕在铁芯上的线圈与电源、滑动变阻器和开关组成闭合电路，在铁芯的右端套有一个表面绝缘的铜环 A，则下列各种情况中铜环 A 中有感应电流的是　　（　　）



A. 线圈中通以恒定的电流

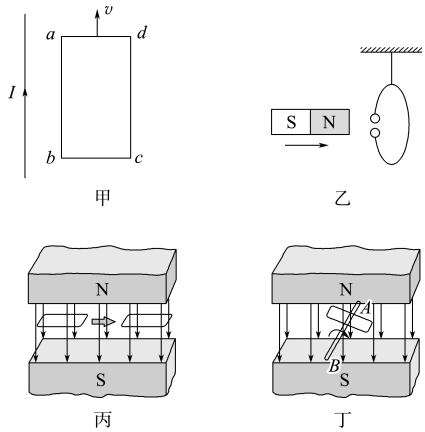
B. 通电过程中，使滑动变阻器的滑片 P 匀速移动

C. 通电过程中，使滑动变阻器的滑片 P 加速移动

D. 将开关突然断开的瞬间

BCD　**解析**：线圈中通以恒定的电流，铜环 A 中磁通量不变，铜环 A 中没有感应电流，A 错误；滑动变阻器的滑片 P 匀速或加速移动时，线圈中的电流发生变化，铜环 A 中的磁通量发生变化，铜环 A 中有感应电流，B、C 正确；将开关突然断开的瞬间，线圈中电流变为零，铜环 A 中的磁通量发生变化，铜环 A 中有感应电流，D 正确。

3.下列四幅图所描述的情境中，能够产生感应电流的是（　　）



A. 图甲中，导线框 $abcd$ 与通电直导线在同一平面且沿平行于电流的方向移动

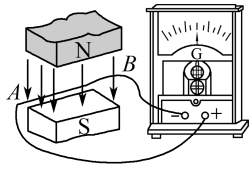
B. 图乙中，条形磁体快速穿过有缺口的导线框

C. 图丙中，闭合导线框在匀强磁场中垂直于磁场方向向右运动，导线框始终在匀强磁场内

D. 图丁中，闭合导线框绕轴线 AB 转动

D　**解析**：题图甲中，导线框 $abcd$ 与通电直导线在同一平面且沿平行于电流的方向移动，穿过导线框的磁通量保持不变，不会产生感应电流，故 A 错误；题图乙中，条形磁体快速穿过有缺口的导线框，磁通量会变化，但由于导线框不是闭合回路，所以不会产生感应电流，故 B 错误；题图丙中，闭合导线框在匀强磁场中垂直于磁场方向向右运动，导线框始终在匀强磁场内，穿过导线框的磁通量保持不变，不会产生感应电流，故 C 错误；题图丁中，闭合导线框绕轴线 AB 转动，穿过导线框的磁通量发生变化，会产生感应电流，故 D 正确。

4.（多选）如图所示，在足够大的磁体产生的磁场中，如果导体棒 AB 垂直于磁场沿水平方向运动，速度大小为 v_1，与此同时，两磁极也沿水平方向运动，速度大小为 v_2，那么（　　）



A. 当 $v_1=v_2$，且方向相同时，可以产生感应电流

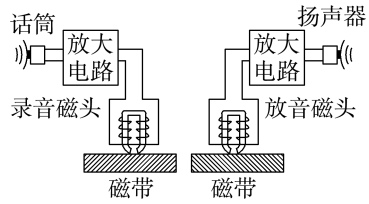
B. 当 $v_1=v_2$，且方向相反时，可以产生感应电流

C. 当 $v_1\neq v_2$，方向相同或相反时，都可以产生感应电流

D. 当 $v_2=0$，v_1 的方向改为与磁感线的夹角为 θ，且 $0°<\theta<90°$ 时，可以产生感应电流

BCD　**解析**：当 $v_1=v_2$，且方向相同时，二者无相对运动，AB 不切割磁感线，回路中无感应电流，故 A 错误；当 $v_1=v_2$，且方向相反时，AB 切割磁感线，有感应电流产生，故 B 正确；当 $v_1\neq v_2$ 时，无论方向相同还是相反，二者都有相对运动，AB 切割磁感线，有感应电流产生，故 C 正确；当 $v_2=0$，v_1 的方向改为与磁感线的夹角为 θ，且满足 $0°<\theta<90°$ 时，v_1 垂直磁感线方向的分量不为零，即 AB 切割磁感线，有感应电流产生，故 D 正确。

5.磁带录音机是利用电磁感应现象制成的，下图是录音机的录、放音原理图。



①录音机放音时变化的磁场在静止的线圈里产生感应电流；②录音机放音时线圈中变化的电流在磁头空隙处产生变化的磁场；③录音机录音时线圈中变化的电流在磁头空隙处产生变化的磁场。其中正确的是（　　）

A. ②③　　B. ①②③

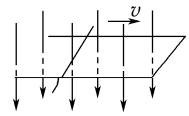
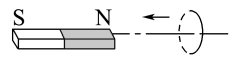
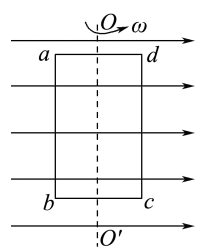
C. ①②　　D. ①③

D　**解析**：磁带在放音时通过变化的磁场使线圈里产生感应电流，经放大电路后再送到扬声器中，①正确；录音时，话筒产生的感应电流经放大电路放大后在录音机磁头的空隙处产生变化的磁场，③正确。

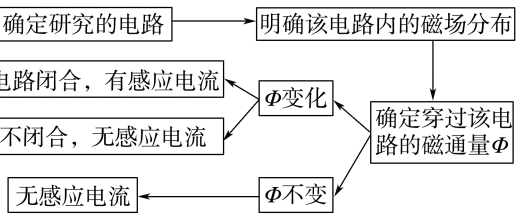
任务总结

1.分析磁通量的变化

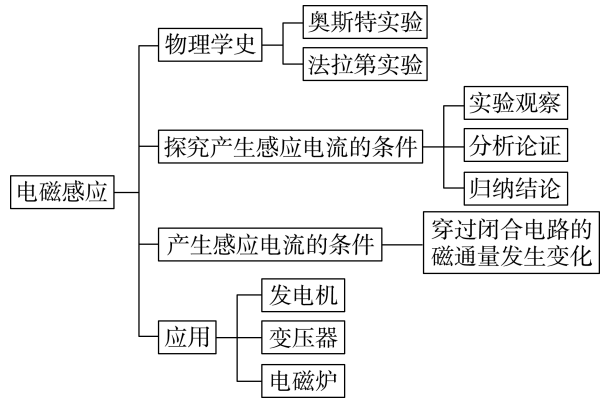
首先要弄清磁感线是如何分布的，其次看磁场变化情况，最后看有效面积变化情况。具体有以下四种情况：

项目	类型	举例
Φ 变化的四种情况	B 不变，S 变	 例如：闭合回路的一部分导体做切割磁感线运动时，闭合回路的磁通量发生变化
	B 变，S 不变	 例如：线圈与磁体之间发生相对运动时，穿过线圈的磁感线条数发生变化
	B 和 S 都变	此时由 $\Delta\Phi=\Phi_2-\Phi_1$ 定性判断磁通量是否变化
	B 和 S 大小都不变，但两者之间的夹角 θ 变	 例如：线圈在磁场中转动时，有效面积 S 发生变化

2.判断电路中是否存在感应电流的思路



▶提质归纳



课后素养评价(二十)

基础性·能力运用

知识点1　电磁感应现象的发现

1.(多选)在了解物理规律的发现过程中,学会像科学家那样观察和思考,往往比掌握知识本身更重要。以下符合事实的是　(　　)

A. 焦耳发现了电流的热效应规律

B. 库仑总结出了点电荷间相互作用的规律

C. 楞次发现了电流的磁效应,拉开了研究电与磁相互关系的序幕

D. 牛顿将斜面实验的结论合理外推,间接证明了自由落体运动是匀变速直线运动

AB　**解析**:焦耳发现了电流的热效应规律,故A正确;库仑总结出了点电荷间相互作用的规律,故B正确;奥斯特发现了电流的磁效应,拉开了研究电与磁相互关系的序幕,故C错误;伽利略将斜面实验的结论合理外推,间接证明了自由落体运动是匀变速直线运动,故D错误。

2.(多选)许多科学家在物理学发展过程中做出了重要贡献。下列表述正确的是　(　　)

A. 卡文迪许测出了引力常量

B. 法拉第发现了电磁感应现象

C. 安培提出了磁场对运动电荷的作用力公式

D. 库仑总结并确认了真空中两个静止点电荷之间的相互作用规律

ABD　**解析**:卡文迪许通过实验测出了引力常量的数值,故A正确;法拉第发现了磁能产生电,即电磁感应现象,故B正确;洛伦兹通过研究得出了磁场对运动电荷的作用力公式,故C错误;库仑总结并确认了真空中两个静止点电荷之间的相互作用规律,得到了库仑定律,故D正确。

3.(多选)在电磁学的发展历程中,奥斯特与法拉第的贡献值得人们纪念。下列有关说法正确的是　(　　)

A. 丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应,并提出了右手螺旋定则和“分子电流”假说

B. 电流磁效应的发现,宣告了电磁学作为一门统一学科的诞生,掀起了一场研究电与磁关系的浪潮

C. 虽然法拉第发现了电磁感应现象,但发现过程并不是一帆风顺的,也曾受到惯性思维的影响

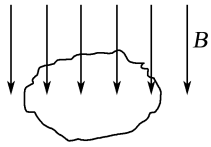
D. 电磁感应的发现,开启了人类的电气化时代,促进了人类文明的发展

CD　**解析**:丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应,安培提出了右手螺旋定则和“分子电流”假说,故A错误。电流磁效应的发现掀起了一场研究电与磁关系的浪潮,英国物理学家法拉第经过多年不懈的努力,发现了电磁感应现象;电磁感应现象的发现,宣告了电磁学的诞生,开启了人类的电气化时代,故B错误,C、D正确。

知识点2　判断感应电流的产生

4.(多选)如图所示,一不规则环形金属软弹簧所处平面与某一匀强磁场垂直,现将弹簧沿半径方向向外

拉成圆形，则以下措施能使该金属弹簧中产生电磁感应现象的是 （ ）



A. 保持该圆的周长不变，将弹簧由圆形拉成方形

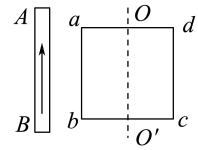
B. 保持该圆的周长不变，将弹簧由圆形拉成三角形

C. 保持该圆的面积不变，将弹簧由圆形拉成方形

D. 保持该圆的面积不变，将弹簧由圆形拉成三角形

AB **解析**：磁场不变，弹簧平面与磁场方向的夹角也不变，若面积大小变化，穿过弹簧的磁通量就变化，弹簧中就会产生电磁感应现象，反之，就不会产生电磁感应现象。周长不变，圆形变成方形或三角形，面积肯定发生变化，从而会产生电磁感应现象，故 A、B 正确，C、D 错误。

5. 如图所示，矩形闭合线圈 $abcd$ 竖直放置，OO' 是它的对称轴，通电直导线 AB 与 OO' 平行。下列做法不能使矩形闭合线圈中产生感应电流的是 （ ）



A. AB 中的电流 I 逐渐增大

B. 线圈水平向右远离 AB

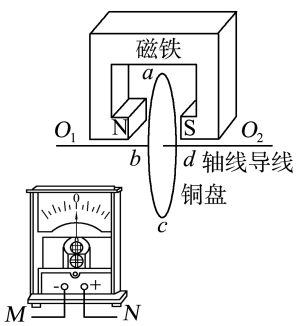
C. 以 AB 为轴，线圈绕 AB 顺时针转 90°（俯视）

D. 线圈绕 OO' 轴逆时针转 90°（俯视）

C **解析**：AB 中的电流 I 逐渐增大，线圈中的磁通量逐渐增大，线圈中能产生感应电流，A 错误；线圈水平向右远离 AB，线圈中的磁通量逐渐减小，线圈中能产生感应电流，B 错误；以 AB 为轴，线圈绕 AB 顺时针转 90°（俯视），线圈中的磁通量不变，线圈中不能产生感应电流，C 正确；线圈绕 OO' 轴逆时针转 90°（俯视），线圈中的磁通量变化，线圈中能产生感应电流，D 错误。

综合性·创新提升

6. 如图所示为感应式发电机的示意图，a、b、c、d 是空间中四个可用电刷与铜盘边缘接触的点，O_1、O_2 是铜盘轴线导线的接线端，M、N 是电流表的接线端。现在将铜盘转动，下列能观察到感应电流的操作是 （ ）



A. 将电流表的接线端 M、N 分别连接到 a、c 位置

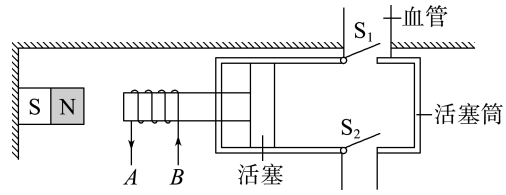
B. 将电流表的接线端 M、N 分别连接到 O_1、a 位置

C. 将电流表的接线端 M、N 分别连接到 O_1、O_2 位置

D. 将电流表的接线端 M、N 分别连接到 c、d 位置

B **解析**：当铜盘转动时，其切割磁感线产生感应电动势，此时铜盘相当于电源，铜盘边缘和中心相当于电源的两个极，则要想观察到感应电流，M、N 分别连接电源的两极即可，只有 B 正确。

7. 医生给心脏疾病患者做手术时，往往要用一种称为“人工心脏泵”（血泵）的体外装置来代替心脏工作，推动血液循环。如图所示为该装置的示意图，线圈 AB 固定在用软铁制成的活塞柄上，通电时线圈与活塞柄组成的系统与固定在左侧的磁体相互作用，从而带动活塞运动。活塞筒通过阀门与血管相通，阀门 S_1 只能向活塞筒外开启，阀门 S_2 只能向活塞筒内开启。对于上述结构在物理方面的工作原理，下列说法正确的是 （ ）



A. 线圈中的电流从 B 端流向 A 端时，活塞向左运动

B. 线圈中通有的恒定电流越大，“人工心脏泵”的动力越足

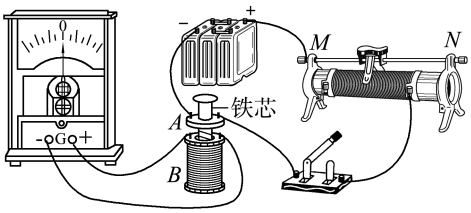
C. 若给线圈通入低频交流电，“人工心脏泵”也可能正常工作

D. 若不给线圈通电，直接将线圈的 A、B 两端用导线连接，将该装置置于磁感应强度随时间均匀

增大且方向水平的磁场中，“人工心脏泵”也可以正常工作

C　**解析**：线圈中的电流从 B 端流向 A 端时，螺线管左边相当于N极，与磁铁N极产生相互排斥的力，活塞向右运动，故A错误；线圈中通有的恒定电流越大，不会发生电磁感应现象，“人工心脏泵”没有动力，故B错误；若给线圈通入低频交流电，线圈产生的磁场方向将交替变化，人工心脏泵能正常工作，故C正确；若不给线圈通电，直接将线圈的 A、B 两端用导线连接，将该装置置于磁感应强度随时间均匀增大且方向水平的磁场中，线圈中的磁通量发生改变，发生电磁感应现象，但是产生的磁场方向不变，所以人工心脏泵不能正常工作，故D错误。故选C。

8. 某同学在“探究感应电流产生的条件”的实验中，将直流电源、滑动变阻器、线圈 A（有铁芯）、线圈 B、灵敏电流计及开关按图示连接成电路。在实验中，该同学发现开关闭合的瞬间，灵敏电流计的指针向右偏。由此可以判断，在保持开关闭合的状态下，下列说法正确的是　（　　）



A. 当线圈 A 拔出时，灵敏电流计的指针向右偏

B. 当线圈 A 中的铁芯拔出时，灵敏电流计的指针向左偏

C. 当滑动变阻器的滑片匀速滑动时，灵敏电流计的指针不偏转

D. 当滑动变阻器的滑片向 N 端滑动时，灵敏电流计的指针向左偏

B　**解析**：由题知，开关闭合瞬间，线圈 B 中的磁通量增大，此时灵敏电流计的指针向右偏。当线圈 A 拔出或线圈 A 中的铁芯拔出时，均导致穿过线圈 B 的磁通量减小，因此电流计指针向左偏，故A错误，B正确；当滑动变阻器的滑片匀速滑动时，穿过线圈 B 的磁通量发生变化，线圈 B 中就会产生感应电流，则电流计指针要发生偏转，故C错误；当滑动变阻器的滑片向 N 端滑动时，滑动变阻器接入电路的电阻减小，则电路电流增大，穿过线圈 B 的磁通量也增大，因此灵敏电流计的指针向右偏，故D错误。

4 电磁波的发现及其应用

学习任务目标

1.通过实例认识电磁波谱，了解电磁波的组成，知道它们各自的特点及重要应用。（科学思维）
2.知道电磁波的特性及在生产、生活中的应用。（科学探究）

问题式预习

知识点一 电磁场的理解

1.变化的磁场能够在周围空间产生电场。
2.变化的电场能够在周围空间产生磁场。
3.变化的电场和变化的磁场交替产生，形成不可分割的统一体，称为电磁场。

[科学思维]

稳定的磁场（电场）周围不能（选填“能”或“不能”）产生电场（磁场）。

知识点二 电磁波和电磁波谱 电磁波的应用

1.电磁波

（1）电磁波：变化的电场和变化的磁场交替产生，由近及远地在空间中传播形成电磁波。

（2）光的电磁理论：光是电磁波的一种形态。

（3）赫兹的贡献：赫兹第一次用实验证实了电磁波的存在，证实了麦克斯韦的电磁场理论。

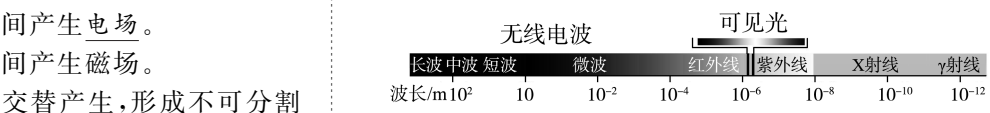
（4）电磁波在真空中的传播速度：$c=3\times10^8$ m/s。

（5）电磁波的波速 c 与波长 λ、频率 f 的关系：$c=\lambda f$。

2.电磁波谱

（1）电磁波谱的概念：按波长或频率的顺序把所有电磁波排列起来，形成电磁波谱。

（2）电磁波谱组成



（3）无线电波的应用

①无线电波中的长波、中波、短波用于广播及其他信号的传播。

②微波用于卫星通信、电视等的信号传输。

3.电磁波的应用

主要包括两个方面：一是利用电磁波传递信息，二是利用电磁波的能量。

[科学思维]

如图所示，中国航天员王亚平在“天宫一号”里为中小学生授课。思考一下，王亚平授课的视频是怎样传到地面上的？



提示：通过电磁波来传递。

任务型课堂

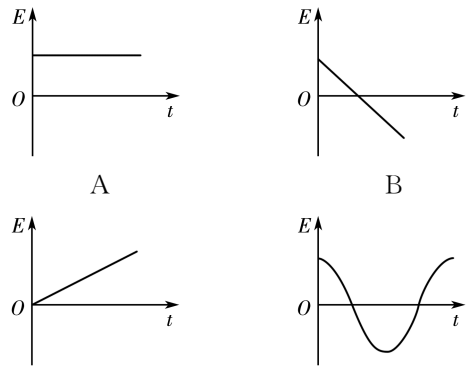
任务一 对麦克斯韦电磁场理论的理解

1.根据麦克斯韦电磁场理论，下列说法正确的是（ ）

A. 有电场的空间一定存在磁场，有磁场的空间也一定能产生电场
B. 在变化的电场周围一定产生变化的磁场，在变化的磁场周围一定产生变化的电场
C. 均匀变化的电场周围一定产生均匀变化的磁场
D. 周期性变化的磁场周围空间一定产生周期性变化的电场

D **解析**：根据麦克斯韦电磁场理论，电场产生磁场时有如下规律，只有变化的电场才能产生磁场，均匀变化的电场产生恒定的磁场，非均匀变化的电场产生变化的磁场；磁场产生电场的情况亦有上述规律，故选项 D 正确。

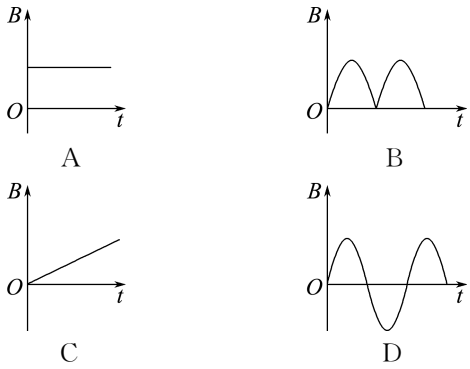
2.某电路中电场随时间变化的图像如图所示，其中能发射电磁波的电场是（ ）



D **解析**：题图 A 中电场不随时间变化，不会产生磁场；题图 B 和 C 中电场都随时间均匀变化，它们

只能在周围产生稳定的磁场，但不能发射电磁波；题图D中电场随时间不均匀变化，能在周围空间产生变化的磁场，且该磁场的变化也是不均匀的，这样又能产生变化的电场，从而交织成一个不可分割的统一体，即形成电磁场，所以该种情况的电场能发射电磁波。故A、B、C错误，D正确。

3. 磁场的磁感应强度B随时间t变化的四种情况如下列图像所示，其中能产生电场的是_____图所示的磁场，能产生电磁波的是_____图所示的磁场。



解析：题图A中的磁场是恒定的，不能产生电场，更不能产生电磁波；题图B中的磁场是周期性变化的，可以产生周期性变化的电场，因而可以产生电磁波；题图C中的磁场是均匀变化的，能产生恒定的电场，而恒定的电场不能产生磁场，因此不能产生电磁波；题图D中的磁场是周期性变化的，可以产生周期性变化的电场，因而可以产生电磁波。

答案：BCD　BD

任务总结

麦克斯韦电磁场理论的要点

(1)恒定的磁场不会产生电场，同样，恒定的电场也不会产生磁场。

(2)均匀变化的电场在周围空间产生恒定的磁场，同样，均匀变化的磁场在周围空间产生恒定的电场。

(3)周期性变化的磁场在周围空间产生周期性变化的电场，同样，周期性变化的电场在周围空间产生周期性变化的磁场。

任务二　电磁波与机械波的比较

[探究活动]

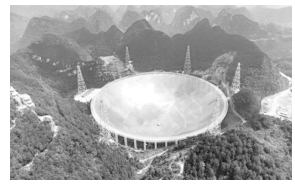
如图所示，某同学正在回答“神舟十号”航天员王亚平的问题，请问他们的通话信息是通过机械波传播的还是通过电磁波传播的？为什么？



提示：她们的通话信息是通过电磁波传播的，因为机械波在太空中无法传播。

[评价活动]

1. 如图所示是“中国天眼”FAST——500 m口径球面射电望远镜，天眼接收的射电波工作频率大约覆盖70 MHz到3 GHz的区间，真空中的光速$c=3.0\times10^8$ m/s。下列说法正确的是　(　　)



A. “中国天眼”接收的射电波是电磁波，麦克斯韦第一次用实验证实了电磁波的存在

B. “中国天眼”只能在白天晴朗的天气下工作

C. “中国天眼”接收的射电波的波长范围约为0.1～4.3 m

D. “中国天眼”接收的电磁波是横波，电磁波的传播需要介质

C　**解析**：第一个用实验的方法证实电磁波存在的科学家是赫兹，麦克斯韦只是预言了电磁波的存在，故A错误；“中国天眼”接收来自宇宙的射电波信号，射电波是一种波长更长、频率更低的电磁波，可以穿透云层、星云等天体物质，所以“中国天眼”在任何天气下都可以正常运行，不受白天黑夜的影响，故B错误；根据题意知“中国天眼”接收的射电波工作频率覆盖70 MHz到3 GHz的区间，由$f=\frac{c}{\lambda}$，得射电波的波长范围约为0.1～4.3 m，故C正确；电磁波是横波，电磁波的本质是电场和磁场的交替变化，在空间中以波的形式传播，不需要通过介质来传递能量，故D错误。

2. (多选)关于电磁波和声波，下列说法正确的是　(　　)

A. 电磁波和声波的传播都需要借助于介质

B. 电磁波在任何介质中传播的速度都相同

C. 电磁波和声波都能传递信息

D. 根据麦克斯韦的电磁场理论，变化的电场产生磁场

CD　**解析**：机械波的传播需要介质，但电磁波的传播不需要借助介质，故A错误；电磁波和机械波的传播速度都与介质有关，故B错误；电磁波和机械波都能传递信息，故C正确；根据麦克斯韦的电磁场理论，变化的电场产生磁场，故D正确。

任务总结

声波、水波与电磁波的比较

项目	声波、水波	电磁波
研究对象	力学现象	电磁现象
传播情况	传播需要介质，波速与介质有关，与频率无关	传播无需介质，在真空中波速等于光速c，在介质中传播时，波速与介质和频率都有关
产生机理	由波源的振动产生	由周期性变化的电场或磁场激发

任务三 电磁波谱

[探究活动]

电磁波在我们日常生活中应用相当广泛。请你举出下列电磁波的应用实例:无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X射线和γ射线。

提示:无线电波:收音机;微波:电视机;红外线:电烤箱;可见光:人可看到五彩缤纷的世界;紫外线:紫外线消毒灯;X射线:X光透视机;γ射线:γ射线探伤。

[评价活动]

1.(多选)在电磁波谱中,下列说法正确的是 (　　)

A. 各种电磁波有明显的频率和波长区域界限

B. γ射线的频率一定大于X射线的频率

C. X射线的波长有可能等于紫外线的波长

D. 可见光的波长一定比无线电波的短

CD　**解析**:X射线和γ射线、X射线和紫外线有一部分频率重叠,界限不明显;无线电波波长范围从几毫米到几千米,而可见光波长约为400～760 nm,故C、D选项正确。

2.为防范和打击利用无线电技术手段进行考试作弊行为,确保高考公平且顺利地进行,各市无线电管理处周密部署,多措并举,以确保高考期间无线电安全。关于电磁波的特性,下列说法正确的是 (　　)

A. X射线有显著的化学作用,医院常用来杀菌消毒,也可用于人体透视

B. 红外线波长短,分辨率高,在侦察上可用红外线拍摄指纹照片

C. 雷达发出或接收的电磁波受天气影响,在浓雾天、能见度低的夜晚不能使用

D. 在空间站上对地球进行拍摄是利用红外线有较好的穿透云雾烟尘的能力

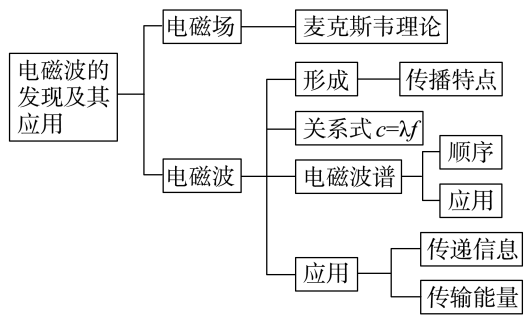
D　**解析**:X射线没有显著的化学作用,不能用来杀菌消毒,但X射线有较强的穿透能力,可用于人体透视,故A错误;在侦察上用紫外线拍摄指纹照片,因为紫外线波长短,分辨率高,故B错误;电磁波的使用不受天气影响,故雷达在能见度低的夜晚能使用,故C错误;红外线的热作用很强,有较好的穿透云雾烟尘的能力,可以制成热谱仪、红外线夜视仪等,所以在空间站上对地球进行拍摄是利用红外线有较好的穿透云雾烟尘的能力,故D正确。

任务总结

电磁波谱的特点及应用

电磁波谱	无线电波	红外线	可见光	紫外线	X射线	γ射线
频率	由左向右,频率变化为:逐渐升高					
波长	(真空中)由左向右,波长变化为:逐渐减小					
特性	波动性强	热效应强	感光性强	荧光效应	穿透力强	穿透力最强
用途	通信、广播、雷达等	加热、红外摄像、制导等	照明、照相等	日光灯、杀菌消毒等	探测、透视、治疗等	探测、治疗等

提质归纳



课后素养评价(二十一)

基础性·能力运用

知识点1　对麦克斯韦电磁场理论的理解和验证

1.在物理学史上,最先建立完整的电磁场理论并预言电磁波存在的科学家是 (C)

A. 赫兹　　B. 爱因斯坦

C. 麦克斯韦　　D. 法拉第

2.信息时代的今天,我们的生活越来越离不开电磁波。下列叙述正确的是 (　　)

A. 有电场就会产生磁场

B. 有磁场就会产生电场

C. 只要有电场和磁场,就能产生电磁波

D. 麦克斯韦提出了电磁场理论,并预言了电磁波的存在,赫兹通过实验验证了电磁波的存在

D　**解析**:变化的电场在空间中产生磁场,变化的磁场在空间中产生电场,故A、B错误;只有周期性变化的电场产生周期性变化的磁场,周期性变化的磁场产生周期性变化的电场时,才能产生电磁波,故C错误;麦克斯韦提出了电磁场理论,并预言了电磁波的存在,赫兹通过实验验证了电磁波的存在,故D正确。

知识点2　电磁波谱

3.根据电磁波谱选出了下列各组电磁波,其中频率互相交错重叠,且波长顺序按由短到长排列的是 (　　)

A. 无线电波、红外线、紫外线

B. γ射线、X射线、紫外线

C. 紫外线、红外线、无线电波
D. 紫外线、X 射线、γ 射线

B　**解析**：题目给出了两个要求，一是频率相互交错重叠，二是波长由短到长，结合电磁波谱可知选项 B 符合题意，A、C、D 不符合题意。

知识点 3　电磁波的应用

4. 电磁波为信息的传递插上了“翅膀”。下列说法正确的是（　　）
A. 变化的磁场产生变化的电场
B. 麦克斯韦通过实验捕捉到了电磁波
C. 不同频率的电磁波在真空中的传播速度大小不同
D. 微波可以用于卫星、电视等的信号传输

D　**解析**：变化的磁场产生电场，均匀变化的磁场产生稳定的电场，A 错误；赫兹通过实验捕捉到了电磁波，证明了电磁波的存在，B 错误；不同频率的电磁波在真空中的传播速度大小相同，均为 3×10^8 m/s，C 错误；微波可以用于卫星、电视等的信号传输，D 正确。

综合性·创新提升

5. 关于电磁波，下列说法正确的是（D）
A. 雷达是用 X 光来测定物体位置的设备
B. 使电磁波随各种信号而改变的技术叫作解调
C. 用红外线照射时，大额钞票上用荧光物质印刷的文字会发出可见光
D. 变化的电场可以产生磁场

6. 车载 MP3 可以把 MP3 中储存的音乐，以无线电波的方式将信息发射到车载调频立体声收音设备中，车主只需将汽车收音机的频率设定为车载 MP3 的频率，或让收音机搜索到该频率即可播放音乐。如图所示为某种型号的车载 MP3，若其设置频率为 87.5 MHz，试求：
(1)所发射的无线电波的波速；
(2)所发射的无线电波的波长。



答案：(1)3.0×10^8 m/s　(2)3.43 m

5　微观世界的量子化

学习任务目标

1. 知道光的能量是不连续的。（物理观念）
2. 理解能级以及原子跃迁与能级的关系，掌握跃迁的特点和规律。（科学思维）
3. 初步了解微观世界的量子化特征。（科学思维）

问题式预习

知识点一　波粒二象性的理解

1. 光的波粒二象性
光既具有波动性，又具有粒子性，即光具有波粒二象性。

2. 光的干涉和衍射现象，证明光具有波动性。光电效应等现象证明了光具有粒子性。

3. 光是具有“波粒二象性”的电磁性物质，光子的静止质量为零，也不带电，它只能以光速运动，它是一份一份的，但它具有波长和频率。

4. 波粒二象性并不只是光才具有的特性，而是微观世界的共性。实验已经证明电子、质子等实物粒子同样具有波动性。宏观物体的波动性我们检测不到。

［科学思维］
少量或个别光子易显示出粒子性，大量光子在传播时，表现出波动性。

知识点二　能量量子化的理解和应用

1. 能量是一份份的、不连续的。

2. 能级跃迁
(1)能级：原子的能量是量子化的，其不连续的、量子化的能量值称为能级。
(2)基态：通常情况下，原子处于能量最低的状态（称为基态），这是最稳定的状态。
(3)跃迁：当原子的能量发生变化时，只能从某个能级“跳跃”到另一个能级，这个过程称为跃迁。
(4)从较低的能级跃迁到较高的能级，必须吸收能

量;反之,则要释放出能量。这两个过程中吸收或释放出的能量都等于两能级的能量差。

[科学思维]

由于原子的能级是分立的,所以放出的光子的能量也是分立的,因此原子的发射光谱只有一些分立的亮线。

任务型课堂

任务一 对光的波粒二象性的理解

[探究活动]

太阳光从小孔射入室内时,我们从侧面可以看到这束光;白天的天空各处都是亮的;航天员在太空中,尽管太阳光线耀眼刺目,但其他方向的太空却是黑的。产生上述现象的原因是什么?

提示:地球上存在着大气,太阳光经大气中微粒的反射或折射后传向各个方向;而在太空的真空环境下,光不再发生散射,只能向前传播。

[评价活动]

1.下列对光的波粒二象性的说法正确的是 ( )

A. 一束传播的光,有的光是波,有的光是粒子

B. 光子与电子是同一种粒子,光波与机械波是同一种波

C. 光的波动性是由于光子间的相互作用而形成的

D. 光是一种波,同时也是一种粒子;光子说并未否定电磁理论

D **解析**:光是一种波,同时也是一种粒子,光具有波粒二象性。当光和物质作用时,是"一份一份"的,表现出粒子性;单个光子通过双缝后的落点无法预测,但大量光子通过双缝后在空间各点出现的可能性可以用波动规律描述,表现出波动性。粒子性和波动性是光子本身的属性,光子说并未否定电磁理论。故选项 D 正确,A、B、C 错误。

2.(多选)关于光的本性,下列说法正确的是 ( )

A. 光子说并没有否定光的电磁理论

B. 光电效应现象反映了光的粒子性

C. 光的波粒二象性是综合了牛顿的微粒说和惠更斯的波动说得出来的

D. 大量光子产生的效果往往显示出粒子性,个别光子产生的效果往往显示出波动性

AB **解析**:光既有粒子性,又有波动性,但这两种特性并不是牛顿所支持的微粒说和惠更斯提出的波动说,它体现出的规律不再是宏观粒子和机械波所表现出的规律,而是自身体现的一种微观世界特有的规律。光子说和电磁理论各自能解释光特有的现象,两者构成一个统一的整体,而微粒说和波动说是相互对立的。故选项 A、B 正确,C、D 错误。

3.关于光的波粒二象性,下列说法正确的是 ( )

A. 光的频率越高,衍射现象越容易看到

B. 光的频率越低,粒子性越显著

C. 大量光子产生的效果往往显示波动性

D. 光的波粒二象性否定了光的电磁理论

C **解析**:光具有波粒二象性,波粒二象性并不否定光的电磁理论,只是说某些情况下粒子性明显,某些情况下波动性明显,故 D 错误;光的频率越高,波长越短,粒子性越明显,波动性越不明显,越不易看到其衍射现象,故 A、B 错误;大量光子的行为表现出波动性,个别光子的行为表现出粒子性,故 C 正确。

4.为了验证光具有波动性,某同学采用下列做法,其中可行的是 ( )

A. 让一束光照射到一个轻小物体上,观察轻小物体是否会振动

B. 让一束光通过一狭缝,观察是否发生衍射现象

C. 让一束光通过一圆孔,观察是否发生小孔成像

D. 以上做法均不可行

B **解析**:光波是一种概率波,不能理解为质点参与的振动,故 A 不可行;经过狭缝的光在屏上能产生明暗相间的衍射条纹,故 B 可行;光通过小孔成像,说明了光的直线传播,故 C 不可行。

任务总结

1.光的粒子性的含义

粒子的含义是"不连续"的、"一份一份"的,光的粒子即光子,不同于宏观概念的粒子,但具有动量和能量。

2.光的波动性的含义

光的波动性是光子本身的一种属性,它不同于宏观的波,它是一种概率波,即光子在空间各点出现的可能性大小(概率)可以用波动规律描述。

3.光的波动性、粒子性是统一的

(1)光的粒子性并不否定光的波动性,光既具有波动性,又具有粒子性,波动性、粒子性都是光本身的属性,只是在不同条件下的表现不同。

(2)只有从波粒二象性的角度出发,才能统一解释光的各种现象。

任务二 对能级的理解

[探究活动]

原子为什么会发生跃迁?是怎么跃迁的?

提示:原子只能处于一系列不连续的能量状态中,通常情况下,处于较低的能级时是最稳定的,原子处于较高的能级时是不稳定的。处于较高能级的原子会自发地向能量较低的能级跃迁,同时放出光子,

经过一次或几次跃迁回到较低的能级。

[评价活动]

1.仔细观察氢原子的光谱，发现它只有几条分立的不连续的亮线，其原因是（　　）

A. 氢原子只有几个能级

B. 氢原子只能发出平行光

C. 氢原子有时发光，有时不发光

D. 氢原子辐射的光子的能量是不连续的，所以对应的光的频率也是不连续的

D　**解析**：原子从高能态向低能态跃迁时放出光子，光子的能量等于前后两个能级之差。由于原子的能级是分立的，所以放出的光子的能量也是分立的，因此原子的发射光谱只有一些分立的亮线。

2.（多选）下列关于原子能级的说法正确的是（　　）

A. 原子处在具有一定能量的定态中，虽然电子做变速运动，但是不向外辐射能量

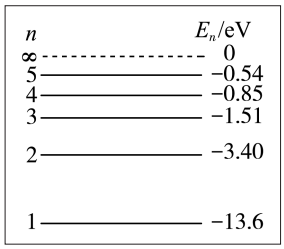
B. 原子的不同能量状态与电子沿不同的圆轨道绕核运动相对应，而电子的可能轨道的分布是不连续的

C. 电子从高能态向低能态跃迁时，会辐射一定频率的光子

D. 电子跃迁时辐射的光子的频率等于电子绕核做圆周运动的频率

ABC　**解析**：A、B、C 三项的核心是原子定态概念的引入与能量跃迁学说的提出，也就是“量子化”的概念，原子的不同能量状态与电子绕核运动时不同的圆轨道相对应，这是经典理论与量子化概念的结合，原子辐射的能量与电子在某一可能轨道上绕核的运动无关，故 A、B、C 正确，D 错误。

3.若氢原子的部分能级如图所示，氢原子从 $n=2$ 高能级跃迁到 $n=1$ 低能级时放出光子的能量为（　　）



A. 3.4 eV　　B. 10.2 eV

C. 1.89 eV　　D. 1.51 eV

B　**解析**：氢原子从 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级放出的光子的能量等于高能级和低能级的能级差，即 $(-3.4\ \text{eV})-(-13.6\ \text{eV})=10.2\ \text{eV}$，故选 B。

任务总结

1.能级的概念

微观世界中能量取分立值的观念也适用于原子系统，原子的能量是量子化的，这些量子化的能量值叫作能级。

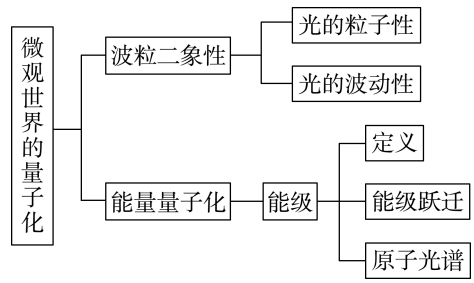
2.能级跃迁

通常情况下，原子处于能量最低的状态，这是最稳定的。气体放电管中的原子受到高速运动的电子的撞击，有可能跃迁到较高的能量状态，这些状态的原子是不稳定的，会自发地向能量较低的能级跃迁，放出光子。

3.跃迁规律

原子从高能级向低能级跃迁时放出光子的能量，等于前后两个能级之差。由于原子的能级是分立的，所以放出的光子能量也是分立的，因此原子的发射光谱只有一些分立的亮线。

▶提质归纳



课后素养评价(二十二)

基础性·能力运用

知识点 1　波粒二象性

1.（多选）关于光的波粒二象性的理解正确的是（　　）

A. 大量光子的效果往往表现出波动性，个别光子的行为往往表现出粒子性

B. 光在传播时是波，而与物质相互作用时就转变成粒子

C. 高频光是粒子，低频光是波

D. 波粒二象性是光的根本属性，有时它的波动性显著，有时它的粒子性显著

AD **解析**：根据光的波粒二象性知，A、D 正确，B、C 错误。

2. 下列有关光的波粒二象性的说法正确的是 （ ）

A. 有的光是波，有的光是粒子

B. 光子与电子是同样的一种粒子

C. 光的波长越长，其波动性越显著；波长越短，其粒子性越显著

D. 大量光子的行为往往显示出粒子性

C **解析**：电子是实物粒子，光具有波粒二象性，少量或个别光子易显示出光的粒子性；频率高、波长短的光，粒子性显著。大量光子在传播时表现为波动性；频率低、波长长的光，波动性显著。故选项 C 正确，A、B、D 错误。

知识点 2 能量量子化和能级

3. 以下宏观概念中，是量子化的有 （ ）

A. 人的身高

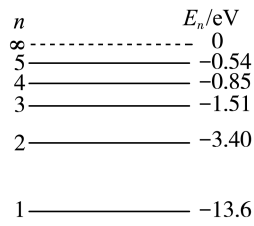
B. 物体的质量

C. 汽车的速度

D. 大象的头数

D **解析**：首先明确量子化的定义，所谓量子化就是指数据是分立的、不连续的，即一份一份的。只要能一份一份地选取，即只要是不连续的数据，如大象的头数、学生的人数等，但人的身高、物体的质量及汽车的速度都是能连续变化的，不会出现一份一份的现象，不是量子化的，故选 D。

4. 图中画出了氢原子的能级，并注明了相应能级的能量 E，处于 $n=3$ 能级的一群氢原子向低能级跃迁时，能够发出若干种不同频率的光波，则放出的光子能量的最大值为 （ ）



A. 0.66 eV　　B. 1.89 eV

C. 10.2 eV　　D. 12.09 eV

D **解析**：$E_3-E_2=1.89$ eV，$E_2-E_1=10.2$ eV，$E_3-E_1=12.09$ eV，所以从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级时放出的光子能量最大，最大值为 12.09 eV。

综合性·创新提升

5. 处于 $n=3$ 能级的大量氢原子，在向低能级跃迁时，其辐射光的频率有 （ ）

A. 1 种　　B. 2 种

C. 3 种　　D. 4 种

C **解析**：处于能级为 n 的大量氢原子向低能级跃迁时，辐射光的种类为 C_n^2 种，所以处于 $n=3$ 能级的大量氢原子向低能级跃迁时，辐射光的频率有 $C_3^2=3$ 种，故 C 正确。

6. 人眼对绿光最为敏感，正常人的眼睛接收到波长为 530 nm 的绿光时，只要每秒有 6 个绿光的光子射入瞳孔，眼睛就能察觉。普朗克常量为 6.63×10^{-34} J·s，光速为 3.0×10^{8} m/s，则人眼能察觉到绿光时所接收到的最小功率是 （ ）

A. 2.3×10^{-18} W　　B. 3.8×10^{-19} W

C. 7.0×10^{-10} W　　D. 1.2×10^{-18} W

A **解析**：人眼能察觉到绿光时，每秒至少有 6 个绿光的光子射入瞳孔，所以察觉到绿光时所接收到的最小功率为 $P=\dfrac{\frac{6hc}{\lambda}}{t}=\dfrac{\frac{6\times6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{530\times10^{-9}}}{1}$ W $=2.3\times10^{-18}$ W。

7. “神光Ⅱ”装置是我国规模最大的高功率固体激光装置，利用它每秒可获得能量为 2 400 J、波长 $\lambda=0.35$ μm 的紫外激光。已知普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}$ J·s，则每秒发射的该紫外激光所含的光子数为多少（结果保留三位有效数字）？

解析：紫外激光能量子的值为

$$\varepsilon=\frac{hc}{\lambda}=\frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{0.35\times10^{-6}}\ \text{J}=5.68\times10^{-19}\ \text{J}$$

则该紫外激光所含光子数

$$n=\frac{E}{\varepsilon}=\frac{2\,400\ \text{J}}{5.68\times10^{-19}\ \text{J}}=4.23\times10^{21}\text{（个）}。$$

答案：4.23×10^{21} 个

单元活动构建

单元活动 5　初步认识磁场并了解电磁感应现象

「单元任务」

任务内容	
任务一	磁场的描述及理解
任务二	关于“电生磁”和“磁生电”

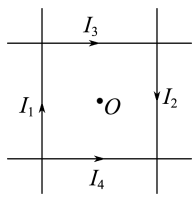
「任务引导」

资料：电磁学是研究电、磁与电磁的相互作用现象及其规律和应用的物理学分支学科，是物理学的一门重要的专业基础课，属于经典物理学范畴。电磁理论的形成距今有一百五十多年的历史，是最基础、最成熟的基础物理理论之一。

在高中阶段，电磁学主要包含静电场、磁场以及电磁感应。而本章内容是后续学习磁场、电磁感应的基础，比如磁场强弱的描述，这为继续学习通电导体、运动电荷在磁场中的受力打下基础；磁通量以及磁通量的变化为将来深入学习电磁感应、交流电等知识做好铺垫。

任务一　磁场的描述及理解

活动　如图所示，在同一平面内有四条彼此绝缘的通电长直导线围成一个正方形，O 点为正方形的中心，四根导线中的电流方向如图所示，电流 $I_1 < I_2 < I_3 < I_4$。



(1)I_1、I_2、I_3、I_4 在 O 点产生的磁感应强度分别沿什么方向？

(2)如果切断电流 I_4，O 点的磁感应强度沿什么方向？

(3)如果切断电流 I_1，O 点的磁感应强度沿什么方向？请简述判断的理由。

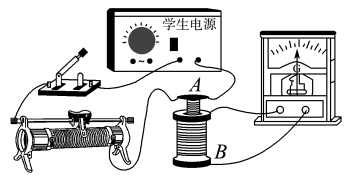
提示：(1)由安培定则可知 I_1、I_2 和 I_3 在 O 点产生的磁感应强度均垂直于纸面向里，I_4 在 O 点产生的磁感应强度垂直于纸面向外。

(2)根据以上分析，如果切断电流 I_4，O 点的磁感应强度将垂直于纸面向里。

(3)由于 $I_1 < I_2 < I_3 < I_4$，设它们在 O 点产生的磁场分别为 B_1、B_2、B_3、B_4，且 $B_1 < B_2 < B_3 < B_4$，如果切断电流 I_1，则 B_1 消失，若 $B_2 + B_3 < B_4$，则 O 点产生的磁感应强度垂直于纸面向外；若 $B_2 + B_3 > B_4$，则 O 点产生的磁感应强度垂直于纸面向里；若 $B_2 + B_3 = B_4$，则 O 点产生的磁感应强度为零。

任务二　关于“电生磁”和“磁生电”

活动　如图所示是“探究感应电流产生的条件”的实验，在该实验装置中有两个回路，即线圈 A 所在的回路和线圈 B 所在的回路。



(1)线圈 A 所在的回路的作用是什么？该回路中的电流和磁场有什么关系？

(2)线圈 B 所在的回路的作用是什么？该回路中的电流和磁场有什么关系？

提示：(1)线圈 A 所在的回路的作用是使线圈中产生磁场。该回路中电流的大小决定了其产生的磁场的强弱。

(2)线圈 B 处在磁场中，通过线圈 B 的磁通量发生变化，产生感应电流。线圈 A 产生的磁场变化决定了线圈 B 中是否有感应电流产生。

「知识链接」

一、磁场的描述及理解

1. 磁感应强度及叠加

(1)磁场中某点的磁感应强度的大小只取决于磁场本身，与该点放不放磁体或通电导体无关。公式 $B = \frac{F}{Il}$ 仅仅是定义式，而不是决定式。因此，我们不能说 B 由 F 及 I、l 决定，更不能说 B 与 F 成正比，与 Il 成反比。

(2)磁感应强度是矢量，多个磁场叠加时，合磁场的磁感应强度等于各分磁场单独存在时在该点产生的磁感应强度的矢量和，叠加时遵循平行四边形定则。

2. 安培定则的应用

(1)安培定则描述了电流方向与电流产生的磁场方向之间的关系，应用它可以判断直线电流、环形电流及通电螺线管周围磁感线的分布及方向，在应用时，应注意分清“因”和“果”。

①直线电流的磁场：拇指指向“原因”，即电流方向；四指弯曲指向“结果”，即磁感线的环绕方向。

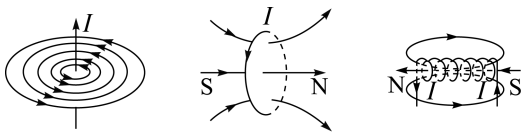
②环形电流的磁场：四指指向“原因”，即电流方向；拇指指向“结果”，即中心轴线的磁感线方向。

③通电螺线管的磁场：四指指向“原因”，即电流方向；拇指指向“结果”，即螺线管内部沿中心轴线的磁感线方向，亦指向螺线管的 N 极。

(2)其他形状的电流(如矩形、三角形等)的磁场，从整体效果上可等效为环形电流的磁场，其方向同样采用安培定则判定，也可以分成几段直线电流判定，然后利用磁场叠加原理进行处理。

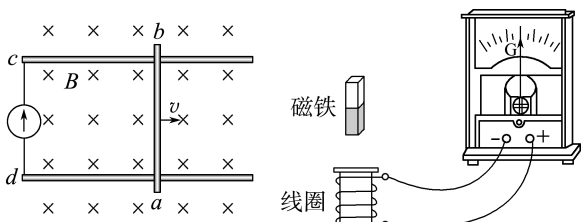
二、关于“电生磁”与“磁生电”

1.“电生磁”是指电流能产生磁场，电流的大小和方向决定了产生的磁场的强弱和方向，两者方向之间的关系满足安培定则，即右手螺旋定则，如图甲、乙、丙所示。



甲　　乙　　丙

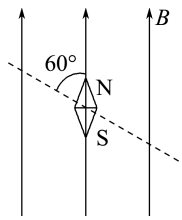
2.“磁生电”是指利用磁场产生电流，磁通量的变化决定了产生的感应电流的大小和方向，如图甲、乙所示。



甲　　乙

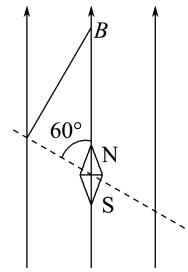
「活动达标」

1.科考队进入某一磁矿区域后，发现指南针原来指向正北的 N 极逆时针转过 60°(如图所示的虚线)，设该处的地磁场磁感应强度水平分量为 B，则磁矿所产生的磁感应强度水平分量的最小值为　(　　)

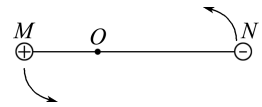


A. $2B$　　B. B　　C. $\frac{\sqrt{3}}{2}B$　　D. $\frac{B}{2}$

C　**解析**：由题意知磁矿所产生的磁场使原来指向正北的 N 极逆时针转过 60°，根据三角形定则可知，磁矿所产生的磁感应强度的水平分量最小时方向与图中虚线垂直，则最小值为 $B\sin 60°=\frac{\sqrt{3}}{2}B$，故 C 正确，A、B、D 错误。



2.如图所示，真空中一根绝缘轻杆两端分别固定两个完全相同的带等量异种电荷的小球 M、N(可以看成点电荷)，轻杆绕 O 点在水平面内沿逆时针方向(俯视)匀速转动。已知小球 M 距离 O 点较近，则下列说法正确的是　(　　)



A. 小球 N 转动时形成的等效电流沿逆时针方向

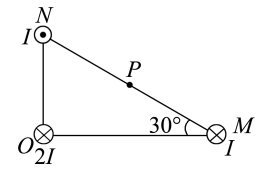
B. 小球 M 转动时形成的等效电流大于小球 N 转动时形成的等效电流

C. O 点的磁感应强度为零

D. O 点的磁感应强度方向竖直向上

D　**解析**：点电荷的定向移动形成电流，两个小球电荷量相等，转动的周期相等，由 $I=\frac{q}{T}$ 可知，它们的电流的大小是相等的；根据正电荷的定向移动方向即为电流的方向可知，小球 N 转动形成的等效电流沿顺时针方向，故 A、B 错误。根据安培定则可知，正电荷在 O 点的磁场方向为竖直向上，而负电荷在 O 点的磁场方向为竖直向下，由于正电荷运动时在 O 点产生的磁场较强，根据矢量叠加原理可知，合磁场的方向为竖直向上，故 D 正确，C 错误。

3.无限长直导线在周围某点产生的磁场的磁感应强度大小与导线中电流大小成正比，与该点到导线的距离成反比。三根无限长直导线垂直纸面平行放置，分别位于直角三角形 OMN 的三个顶点处，且导线中通入大小分别为 $2I$、I 和 I 的恒定电流，方向如图所示。P 为 MN 连线中点，则 P 处磁感应强度方向为　(　　)



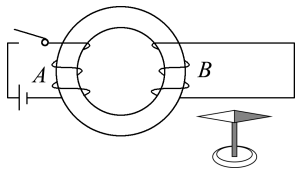
A. 水平向右　　B. 水平向左

C. 竖直向下　　D. 竖直向上

A　**解析**：根据右手螺旋定则结合几何关系，N 处导线在 P 点产生的磁感应强度方向垂直 MN 向上(与水平方向夹角为 60°)，大小为 B，M 处导线在 P

点产生的磁感应强度方向垂直 MN 向上，大小为 B，O 处导线在 P 点产生的磁感应强度方向垂直 OP 向下（与水平方向夹角为 60°），大小为 $2B$，根据平行四边形定则，故 P 处合磁感应强度方向水平向右。

4. 法拉第在 1831 年发现了“磁生电”现象。如图所示，他把两个线圈绕在同一个软铁环上，线圈 A 和电池连接，线圈 B 用长直导线连通，在长直导线正下方平行于导线放置一个小磁针。下列有关实验现象的说法正确的是（　　）



A. 只要线圈 A 中的电流足够大，小磁针就会发生偏转

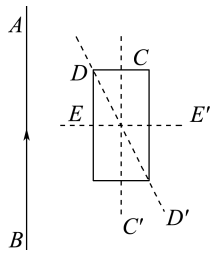
B. 在线圈 A 闭合开关电流稳定后，线圈 B 匝数较少时小磁针不偏转，匝数足够多时小磁针偏转

C. 线圈 A 和电池接通瞬间，小磁针会偏转

D. 线圈 A 和电池断开瞬间，小磁针不会偏转

C　**解析**：小磁针会不会偏转取决于线圈 B 中有没有感应电流，而线圈 B 中有没有感应电流取决于线圈 B 中的磁通量是否发生变化，当线圈 A 中的电流足够大，但不变化时，线圈 B 中无感应电流，小磁针不会发生偏转，A 错误；当线圈 A 闭合开关电流稳定后，穿过线圈 B 的磁通量不再发生变化，所以小磁针也不会发生偏转，故 B 错误；线圈 A 和电池接通或断开的瞬间，穿过线圈 B 的磁通量发生变化，所以线圈 B 中有感应电流，则小磁针会偏转，故 C 正确，D 错误。

5. 如图所示，一根通电导线 AB 竖直放置，它周围的磁场强度大小为 $B=k\dfrac{I}{r}$，I 为通电导线中的电流，r 为某点到通电导线的距离，在竖直平面内还有一矩形金属线圈。线圈在做下述运动的过程中，从图示开始的一小段时间内，关于线圈中的电流，下列说法错误的是（　　）



A. 线圈绕 CC' 转动，线圈中有电流

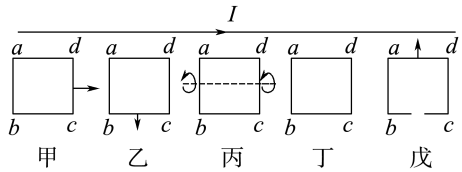
B. 线圈绕 DD' 转动，线圈中有电流

C. 线圈沿 EE' 方向运动，线圈中有电流

D. 线圈绕导线 AB 转动，线圈中有电流

D　**解析**：根据安培定则判断线圈所在位置的磁场垂直于纸面向里，线圈绕 CC' 转动，磁通量发生变化，回路中有感应电流，故 A 正确，不符合题意；线圈绕 DD' 转动，磁通量发生变化，线圈中有感应电流，故 B 正确，不符合题意；线圈沿 EE' 方向运动，靠近导线，磁场的磁感应强度增大，远离导线，磁场的磁感应强度变小，回路中的磁通量发生变化，线圈中有感应电流，故 C 正确，不符合题意；线圈绕导线 AB 转动，与导线之间的相对距离不变，回路中的磁通量不发生变化，线圈中无感应电流，故 D 错误，符合题意。

6. 有五个线圈在通有电流的长直导线的磁场中做如图所示的运动：甲向右平动，乙向下平动，丙绕轴转动（ad 边向里），丁从纸面向纸外平动，戊向上平动（戊线圈有个缺口），判断这五个线圈中有没有感应电流。



解析：在通电直导线的磁场中的五个线圈，所在处的磁场都是垂直纸面向里的，离通电直导线越远，磁场就越弱。甲向右平动，穿过线圈的磁通量没有变化，故线圈中没有感应电流。乙向下平动，穿过线圈的磁通量减少，必产生感应电流。丙绕轴转动，穿过线圈的磁通量变化（开始时减少），必定产生感应电流。丁离纸面越远，线圈中磁通量越少，线圈中有感应电流。戊向上平动，穿过线圈的磁通量增加，但由于线圈没有闭合，因此无感应电流。

答案：甲、戊中无感应电流，乙、丙、丁中有感应电流。

第四章　能源与可持续发展

1　能量　能量守恒定律

学习任务目标

1.能量守恒定律的理解，应用能量守恒定律解决问题。（科学思维）
2.探究各种形式的能量的转化及守恒定律。（科学探究）

问题式预习

知识点一　机械能守恒与不守恒的理解及应用

1.物体系统内只有重力或弹力做功（其他力不做功），机械能守恒。

2.如果一个系统除重力或弹力以外，还有外力做功，系统的机械能就会发生变化：如果外力做正功，系统的机械能增加；反之则系统的机械能减少。

［科学思维］

机械能守恒的条件可具体理解为：

（1）物体只受重力或弹力，不受其他力，如自由落体运动和各种抛体运动。

（2）物体除受重力或弹力外，还受其他力，但其他力不做功，如物体沿光滑固定的斜面或圆弧面下滑时，物体受重力和支持力作用，但支持力不做功。

（3）对于物体系统来说，除系统内的重力和弹力做功之外，外力不做功，有内力做功，但内力做功的代数和为零。

知识点二　能量守恒定律的理解及应用

1.能量的分类

机械运动——机械能
热运动——内能
电磁运动——电磁能
化学变化——化学能
原子核的变化——核能

2.能量守恒定律

能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为其他形式，或者从一个物体转移到另一个物体，在转化或转移的过程中其总量不变。

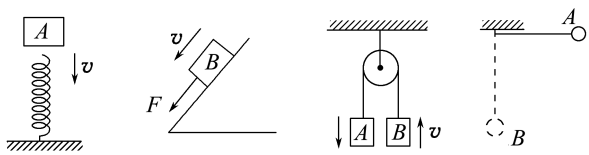
［科学思维］

永动机不可能制成，因为它违背了能量守恒定律。

任务型课堂

任务一　机械能守恒的判断

1.（多选）如图所示，下列关于机械能是否守恒的判断正确的是　（　　）



甲　乙　丙　丁

A. 图甲中，物体 A 将弹簧压缩的过程中，机械能守恒

B. 图乙中，物体 B 在大小等于摩擦力的拉力作用下沿斜面下滑时，机械能守恒

C. 图丙中，不计任何阻力时 A 加速下落，B 加速上升的过程中，A、B 组成的系统机械能守恒

D. 图丁中，小球从水平位置 A 处由静止释放，运动到 B 处的过程中，机械能守恒

BCD　**解析**：图甲中只有重力和弹力做功，物体 A 和弹簧组成的系统机械能守恒，但 A 的机械能不守恒，故 A 错误；图乙中物体 B 除受重力外，还受支持力、拉力、摩擦力，但当拉力与摩擦力大小相等时，除重力之外的三个力做功的代数和为零，故 B 的机械能守恒，故 B 正确；图丙中绳子的张力对 A 做负功，对 B 做正功，两者代数和为零，又不计任何阻力，故 A、B 组成的系统机械能守恒，故 C 正确；图丁中只有小球的重力做功，故机械能守恒，故 D 正确。

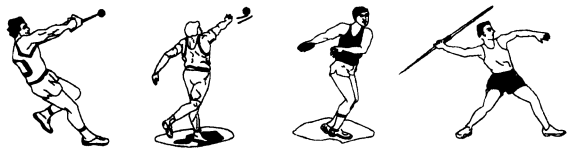
2.在下列所描述的运动过程中，若物体所受的空气阻力均忽略不计，则机械能守恒的是　（　　）

A. 小孩沿滑梯匀速滑下

B. 被投掷出的铅球在空中运动
C. 发射过程中的火箭加速上升
D. 电梯中的货物随电梯一起匀速下降

B　**解析**：小孩沿滑梯匀速滑下，动能不变，重力势能减小，所以机械能减小，故A错误；被投掷出的铅球在空中运动，只受重力作用，机械能守恒，故B正确；发射过程中的火箭加速上升，动能及重力势能都增大，所以机械能增大，故C错误；电梯中的货物随电梯一起匀速下降，动能不变，重力势能减小，所以机械能减小，故D错误。

3. 运动会中的投掷链球、铅球、铁饼和标枪等体育比赛项目都是把物体斜向上抛出的运动，如图所示。若不计空气阻力，这些物体从被抛出到落地的过程中　（　　）



链球　　铅球　　铁饼　　标枪

A. 物体的机械能先减小后增大
B. 物体的机械能先增大后减小
C. 物体的动能先增大后减小，重力势能先减小后增大
D. 物体的动能先减小后增大，重力势能先增大后减小

D　**解析**：若不计空气阻力，这些物体被抛出后只有重力做功，故机械能均守恒，A、B均错误；因物体均被斜向上抛出，在整个运动过程中重力先做负功再做正功，因此重力势能先增大后减小，而动能先减小后增大，D正确，C错误。

任务总结

机械能守恒的判断方法

在对具体问题进行判断时，主要有如下三种基本方法。

(1)做功条件分析法

若只有重力或弹力做功，没有其他力做功或其他力做功的代数和为零，则物体(或系统)的机械能守恒。

(2)能量转化分析法

若只有系统内物体间动能和重力势能及弹性势能的相互转化，系统跟外界没有发生机械能的传递，机械能也没有转化成其他形式的能量(如内能)，则系统的机械能守恒。

(3)能量增减情况分析法

直接从机械能的各种形式的能量增减情况进行判断。

任务二　能量守恒定律的理解及应用

[探究活动]

飞船返回舱进入地球大气层以后，由于它的高速下落，与空气发生剧烈摩擦，返回舱表面温度逐渐升高，温度可达1 000 ℃以上。

(1)在进入大气层的过程中，返回舱的动能和重力势能怎样变化？机械能守恒吗？

(2)返回舱表面温度越高，其内能越大。上述过程中存在什么形式的能量向什么形式的能量转化？上述两种形式的能量的总量有变化吗？

提示：(1)返回舱的动能增加，重力势能减少。由于返回航表面与空气发生摩擦，机械能转化为其他形式的能量。故机械能不守恒。

(2)该过程中存在机械能向内能转化。根据能量守恒定律，机械能和内能的总量不变。

[评价活动]

1. 诺贝尔物理学奖获得者费恩曼曾说：有一个事实，如果你愿意也可以说是一条定律，支配着至今所知的一切现象。这条定律就是　(D)

A. 机械能守恒定律
B. 牛顿第二定律
C. 动能定理
D. 能量守恒定律

D　**解析**：机械能守恒定律适用于系统中只有重力或弹力做功，且系统中只有动能和势能相互转化的情形，A错误；牛顿第二定律只适用于宏观物体的低速运动，具有局限性，B错误；动能定理只适用于合力的功和能的转化，C错误；物理学家从千差万别的自然现象中抽象出一个贯穿其中的物理量——能量，在自然界经历的多种多样的变化中它不变化，支配着至今所知的一切现象，这条定律是能量守恒定律，D正确。

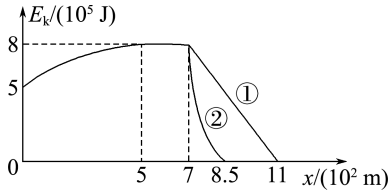
2. 光伏发电是利用太阳能的技术之一，它利用太阳能电池板，将照射在其上的太阳能转化为电能。农村居民院落或屋顶的光伏发电装置除满足居民家庭用电外，还可向电网供电。假设某地太阳光垂直照射地面，在每平方米的面积上，平均每分钟能得到8.4×10^4 J的太阳能，如果光伏发电装置对太阳能的利用率为10%，那么在屋顶铺有面积为50 m^2的光伏发电装置上可以利用的太阳能的功率最大为　（　　）

A. 7 kW　　B. 8.4 kW
C. 70 kW　　D. 420 kW

A　**解析**：每平方米面积上每秒得到的能量$E_0=\frac{E}{t_0}$，经时间t，50 m^2面积能够利用的太阳能$E_{总}=$

$E_0t\times50\times10\%$，根据功率的表达式有 $P_{max}=\frac{E_{总}}{t}$，解得 $P_{max}=7$ kW，B、C、D 错误，A 正确。

3.（多选）某汽车研发机构在汽车的车轮上安装了小型发电机，将减速时的部分动能转化为电能并储存在蓄电池中，以达到节能的目的。某次测试中，汽车以额定功率行驶一段距离后关闭发动机，测出了汽车动能 E_k 与位移 x 的关系图像如图所示，其中①是关闭储能装置时的关系图线，②是开启储能装置时的关系图线。已知汽车的质量为 1 000 kg，设汽车运动过程中所受地面阻力恒定，空气阻力不计。根据图像所给的信息可求出　　（　　）



A. 汽车行驶过程中所受地面的阻力为 1 000 N

B. 汽车的额定功率为 80 kW

C. 汽车加速运动的时间为 22.5 s

D. 汽车开启储能装置后向蓄电池提供的电能为 5×10^5 J

BD　**解析**：由图线①求所受阻力，由 $\Delta E_{kmax}=F_{阻}\Delta x$，得 $F_{阻}=2\ 000$ N，A 错误；由 $E_{kmax}=\frac{1}{2}mv_m^2$ 可得，$v_m=40$ m/s，所以 $P=F_{阻}v_m=80$ kW，B 正确；加速阶段，$Pt-F_{阻}x=\Delta E_k$，得 $t=16.25$ s，C 错误；根据能量守恒定律，并由图线②可得，$\Delta E=E_{kmax}-F_{阻}x'=5\times10^5$ J，D 正确。

4.如图所示，电动机带动水平传送带以速度 v 匀速运转，一质量为 m 的小木块由静止轻放在传送带上。若小木块与传送带之间的动摩擦因数为 μ，当小木块与传送带相对静止时。求：

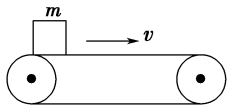
(1)小木块的位移；

(2)传送带转过的路程；

(3)小木块获得的动能；

(4)摩擦过程产生的热量；

(5)电动机带动传送带匀速转动输出的总能量（不计传送带的能量）。



解析：小木块刚放上传送带时，速度为零，受到传送带的滑动摩擦力作用，做匀加速直线运动，达到与传送带相同的速度后不再受摩擦力。整个过程中小木块获得一定的动能，系统内因摩擦产生一定的热量。

(1)以小木块为研究对象，相对滑动时，由 $\mu mg=ma$ 得 $a=\mu g$，小木块由静止到与传送带相对静止前做匀加速直线运动，则小木块的位移为 $l=\frac{v^2}{2\mu g}$。

(2)传送带始终匀速运动，转过的路程为 $s=vt=v\cdot\frac{v}{a}=\frac{v^2}{\mu g}$。

(3)小木块获得的动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$。

(4)摩擦过程产生的热量为 $Q=\mu mg(s-l)=\frac{1}{2}mv^2$。

(5)由能量的转化不可逆与守恒定律得，电动机输出的总能量转化为小木块的动能与因摩擦产生的热量，所以 $E_{总}=E_k+Q=mv^2$。

答案：(1)$\frac{v^2}{2\mu g}$　(2)$\frac{v^2}{\mu g}$　(3)$\frac{1}{2}mv^2$　(4)$\frac{1}{2}mv^2$　(5)mv^2

5.风能是一种很好的可再生能源，而且对环境的污染较小，近年来我国在西北地区建立了许多风力发电机。如图所示为风力发电的情景。空气通过风轮机上一个叶片旋转一周扫过的面积时所具备的动能为可利用风能。已知空气的密度为 ρ，风轮机叶片的长度为 r，若风速为 v_0，每台风力发电机的输出电功率为 P。求此过程中：



(1)单位时间内每台风力发电机获得的风能的表达式；

(2)风力发电机利用风能效率的表达式。

解析：(1)由能量转化和守恒定律可知 $\frac{1}{2}mv_0^2=P_{总}t$

而 $m=\pi r^2v_0t\rho$

联立解得 $P_{总}=\frac{1}{2}\pi r^2\rho v_0^3$。

(2)风能利用效率 $\eta=\frac{P}{P_{总}}=\frac{2P}{\pi r^2\rho v_0^3}$。

答案：(1)$\frac{1}{2}\pi r^2\rho v_0^3$　(2)$\frac{2P}{\pi r^2\rho v_0^3}$

任务总结

1.应用能量守恒定律解决问题

(1)适用范围

能量守恒定律是贯穿物理学的基本规律,是各种自然现象中普遍适用的一条规律。

(2)表达式

①$E_{初}=E_{末}$,初状态各种能量的总和等于末状态各种能量的总和。

②$\Delta E_{增}=\Delta E_{减}$,某种形式能量的增加量等于其他形式能量的减少量。

(3)应用步骤

①明确研究对象及研究过程。

②明确该过程中,哪些形式的能量在变化。

③确定参与转化的能量中,哪些能量增加,哪些能量减少。

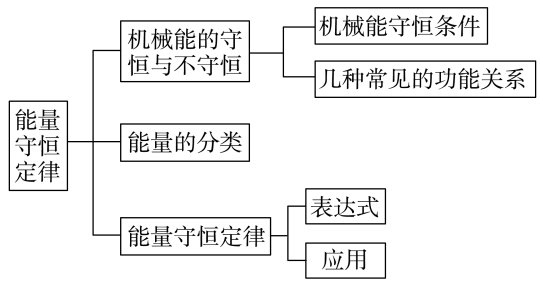
④列出增加的能量和减少的能量之间的关系式(或初、末状态能量相等的守恒式)。

2.永动机不可能制成

(1)第一类永动机:人们把设想中的不消耗能量的机器叫第一类永动机。

(2)第一类永动机的设想由于违背了能量守恒定律,所以不可能制成。

提质归纳



课后素养评价(二十三)

基础性·能力运用

知识点1　机械能守恒条件的判断

1.下列物体运动过程中,机械能守恒的是　(　)

A. 在空中飘落的树叶

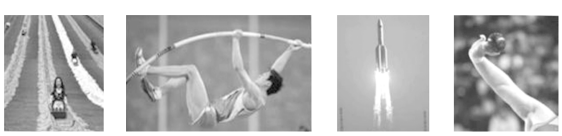
B. 被水平抛出的铅球

C. 沿粗糙的斜面向下做匀速运动的木块

D. 被起重机拉着向上做匀速运动的货物

B　**解析**:对于在空中飘落的树叶,空气阻力做负功,机械能减小,A错误;被水平抛出的铅球,只有重力做功,机械能守恒,B正确;木块沿粗糙的斜面向下做匀速运动时,摩擦力对木块做负功,机械能减小,C错误;货物被起重机吊着向上做匀速运动时,拉力对货物做正功,其机械能增加,D错误。

2.关于下列四幅图中的情景(均不计空气阻力),说法正确的是　(　)


甲　乙　丙　丁

A. 图甲中,游客在倾斜的滑槽轨道上下滑过程中,游客的机械能守恒

B. 图乙中,运动员撑竿向上运动的过程中,运动员的机械能一直守恒

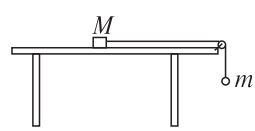
C. 图丙中,火箭点火升空的过程中,火箭的机械能守恒

D. 图丁中,被运动员掷出的铅球在飞行过程中,铅球的机械能守恒

D　**解析**:题图甲中,游客在倾斜的滑槽轨道上下滑过程中,受到摩擦力作用,摩擦力做负功,故机械能不守恒,故A错误;题图乙中,运动员撑竿向上运动的过程中,运动员和竿组成的系统机械能守恒,运动员的机械能增加,故B错误;题图丙中,火箭点火升空的过程中,火箭的燃料燃烧释放出能量,对火箭做正功,所以火箭的机械能不守恒,故C错误;题图丁中,被运动员掷出的铅球在飞行过程中,只受重力作用,所以机械能守恒,故D正确。

知识点2　对能量守恒定律的理解及应用

3.(多选)如图所示,在粗糙的桌面上有一个质量为M的物块,通过轻绳跨过定滑轮与质量为m的小球相连。不计轻绳与滑轮间的摩擦,在小球下落的过程中,下列说法正确的是　(　)



A. 小球的机械能守恒

B. 物块与小球组成的系统机械能守恒

C. 若小球匀速下降，小球减少的重力势能等于物块 M 与桌面间摩擦产生的热量

D. 若小球加速下降，小球减少的机械能大于物块 M 与桌面间摩擦产生的热量

CD **解析**：由于绳子对小球做负功，因此小球的机械能减小，故 A 错误；由于桌面粗糙，摩擦力对物块做负功，因此物块与小球组成的系统机械能减少，故 B 错误；若小球匀速下降，根据能量守恒定律，小球减少的重力势能没有转化为动能，而是完全转化为物块与桌面摩擦产生的热量，故 C 正确；若小球加速下降，则小球减少的机械能一部分转化为摩擦生成的热量，另一部分转化为物块的动能，故 D 正确。

4. 小明同学在家锻炼身体，做举铃练习。他将杠铃由静止开始举高 H，并使其获得速度 v，则下列说法不正确的是 （ ）

A. 小明对杠铃做的功等于杠铃机械能的增量

B. 杠铃动能的增量等于杠铃所受合外力对它做的功

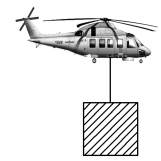
C. 克服杠铃重力做的功等于杠铃重力势能的增量

D. 合外力对杠铃做的功等于杠铃机械能的增量

D **解析**：合外力做功等于杠铃动能的增量，不是机械能的增量，故 B 正确，D 错误；小明对杠铃做的功等于杠铃能量的增加量（即机械能的增加量），故 A 正确；克服杠铃重力做的功等于杠铃重力势能的增量，故 C 正确。

知识点 3　功能关系的应用

5.（多选）如图所示，在抗洪救灾中，一架直升机通过绳索用恒力 F 竖直向上拉起一个漂在水面上的木箱，使其由水面开始加速上升到某一高度。若只考虑空气阻力而不考虑空气浮力，则在此过程中，以下说法正确的有 （ ）



A. 力 F 所做的功减去克服空气阻力所做的功等于木箱动能的增量

B. 克服木箱重力所做的功等于木箱重力势能的增量

C. 力 F、重力、空气阻力三者的合力所做的功等于木箱动能的增量

D. 力 F 和空气阻力的合力所做的功等于木箱机械能的增量

BCD **解析**：木箱运动过程中，有力 F、重力、空气阻力三个力对木箱做功，根据动能定理可知，合力做的功决定着物体动能的改变量，故 C 正确，A 错误；重力做的功决定重力势能的改变量，除重力、弹力以外，其他力做功的代数和等于物体机械能的改变量，故 B、D 正确。

综合性·创新提升

6.（多选）据专家介绍，变频空调比定频空调更节能，因为定频空调开机时就等同于汽车启动时的状态，很耗能，是正常运行的 5 至 7 倍，空调在工作时达到设定温度就停机，等温度高了再继续启动，这样会频繁启动，耗电多；而变频空调启动时有一个由低到高的过程，运行过程是自动变速来保持室内温度，从开机到关机过程中不会停机，而是达到设定温度后就降到最小功率运行，所以比较省电。以下说法合理的是 （ ）

A. 变频空调节能，运行中不遵守能量守恒定律

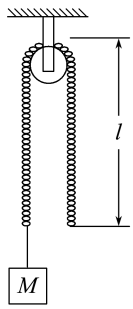
B. 相比定频空调，变频空调运行中做功少，转化能量多

C. 相比定频空调，变频空调在同样工作条件下运行效率高，从而有省电的效果

D. 变频空调与定频空调做同样多的功时，消耗同样多的电能

CD **解析**：自然界中的一切过程都遵守能量守恒定律，故 A 错误；功是能量转化的量度，做同样多的功，消耗相同的电能，故 B 错误，D 正确；由变频空调的工作特点可知省电的原因是效率高，故 C 正确。

7. 如图所示，长为 $2l$、质量为 m，粗细均匀且质量分布均匀的软绳对称地挂在轻小的定滑轮两边，用细线将物块 M 与软绳连接，物块由静止释放后向下运动，直到软绳刚好全部离开滑轮（此时物块未到达地面，重力加速度大小为 g，摩擦力和空气阻力不计），则在此过程中 （ ）



A. 物块 M 的机械能逐渐增加

B. 软绳的机械能逐渐增加

C. 软绳重力势能共减少了 mgl

D. 软绳重力势能的减少量等于物块机械能的增加量

B　**解析**：物块 M 下落过程中，软绳对物块做负功，物块的机械能逐渐减小，物块对软绳的拉力做正功，软绳的机械能增加，A 错误，B 正确；以初态软绳下端所在水平面为零势能面，则初态软绳重力势能为 $E_{p1}=mg\ \frac{l}{2}=\frac{1}{2}mgl$，末态软绳的重力势能为 $E_{p2}=0$，则 $\Delta E_p=E_{p2}-E_{p1}=-\frac{1}{2}mgl$，即软绳重力势能共减少了 $\frac{1}{2}mgl$，C 错误；根据系统的机械能守恒得，软绳重力势能的减少量等于物块机械能的增加量与软绳动能增加量之和，D 错误。

8. 在质量为 0.5 kg 的重物上安装一根极轻的细棒（设细棒足够长），如图所示。用手在靠近重物处握住细棒，使重物静止，握细棒的手不动，然后稍稍减小握力，让重物和细棒保持一定的加速度下落，手和细棒间保持一定的摩擦力。在起初 1.0 s 的时间内，重物下落了 0.50 m，在此过程中手和细棒之间所产生的热量为多少？（取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$）



解析：重物和细棒向下做匀加速运动，已知 $t=1.0\ \mathrm{s}$，$h=0.50\ \mathrm{m}$，由 $h=\frac{1}{2}at^2$

得 $a=\frac{2h}{t^2}=1\ \mathrm{m/s^2}$

设细棒受到来自手的摩擦力大小为 f，根据牛顿第二定律得 $mg-f=ma$

解得 $f=m(g-a)=0.5\times(10-1)\ \mathrm{N}=4.5\ \mathrm{N}$

所以在此过程中手和细棒之间所产生的热量为

$Q=fh=4.5\times0.5\ \mathrm{J}=2.25\ \mathrm{J}$。

答案：2.25 J

2　能源
3　环境保护与可持续发展

学习任务目标

1.理解能量转化的方向性。（科学思维）
2.了解能源的分类、能源的利用。（科学思维）
3.知道环境保护、可持续发展的必要性。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一　能源

1.能量转化具有方向性

能量可以从一种形式转化为另一种形式，也可以从一个物体转移到另一个物体，但能量的转化和转移都是需要一定条件的。在自然界中，一切自发过程都具有一定的方向性。例如：水从高处往低处流，热量从高温物体传递到低温物体，机械能可以全部转化为内能，但内能不能全部转化为机械能而不引起其他形式的能量变化等。

2.能量的品质

内能（热能）是品质最低的能量，消耗的各种能量最终都将转化为内能而散失到周围的环境中，很难被收集起来再利用。

3.能源、能源的分类

（1）能源

在一定条件下能够提供人类所需能量的自然资源叫能源，如煤、石油、天然气等。

（2）能源的分类

①按获取方式可划分为：一次能源和二次能源。

②按能否再生可划分为：可再生能源和非再生能源。

③根据人类开发能源的历史可划分为：传统能源和新能源。

4.解决能源问题的出路

一方面是节流，另一方面是开源。

［科学思维］

（1）如图所示是小型汽油机水泵模型，在汽油机水泵工作过程中能量是怎样转化的？



提示：汽油燃烧时化学能转化为内能，汽油释放出来的内能一部分转化为飞轮的机械能。

（2）内燃机工作时可以把内能全部转化为机械能吗？

（2）**提示**：不可以。因为内燃机工作时总有内能损失，所以不可能将内能全部转化为机械能。

［判一判］

1.煤、石油、天然气属于常规能源。　（√）
2.电能、焦炭、氢能属于一次能源。　（×）
3.冒起的煤烟和散开的炭灰可以自发地重新合成一堆煤炭。　（×）

知识点二　环境保护与可持续发展

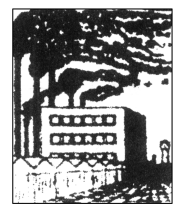
1.如果我们赖以生存的环境被破坏，地球变得酷热难耐，两极的冰雪全部融化，陆地几乎全部被淹没，人类将失去赖以生存的土地；地球严重干旱，土地完全荒漠化，地球失去绿色，人类无以生存……

2.环境污染与能源的大量消耗有着密切的关系。

3.核能是真正的新能源。

［科学思维］

如图是锅炉工作时的外景，从节约能源和环境保护的角度，试分析存在的主要问题是什么。



提示：由题图中的浓烟滚滚，可以发现存在的主要问题有两个：一是燃料燃烧不充分，且烟气带走大量的热量，造成能量损失；二是造成大气污染。

［判一判］

1.常规能源的利用会引起环境问题，所以我们不应利用能源。　（×）
2.用太阳能灶供热有利于环境保护。　（√）
3.能源的开发和利用必须同时考虑其对环境的影响。　（√）

任务型课堂

任务 能量转化和转移的方向性

［探究活动］

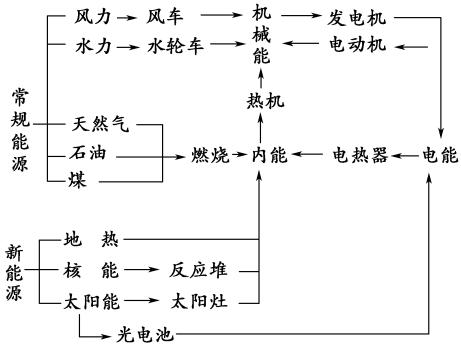
现在我们大量使用的能源是电能，但实际消耗的还是转化成电能的其他能源，目前我国主要还是消耗化石燃料。随着科学技术的发展和进步，特别是近三四十年来，随着工业、农业生产的快速发展和科学技术的现代化，人们的生活也逐渐趋于现代化，同时能量消耗的增长趋势十分明显。为了便于比较，我们把各种能源的消耗量都折合成燃烧值为 2.93×10^7 焦/千克的标准煤计算。我们国家的能源消耗量在迅速增加，1953 年全国能源消耗仅为 0.54 亿吨标准煤，到 1992 年已达到 10.89 亿吨标准煤，增加了近 20 倍，到 2000 年增加到 14 亿吨标准煤，几乎接近 20 世纪初全世界 1 年能源消耗的总量。能源消耗的迅速增长，对地球的生态环境有很大的危害。

(1)人类与能源关系的有利方面和不利方面是什么？

(2)写出常规能源和新能源的转化途径。

提示：(1)有利方面：能源的利用给人类的生活带来了极大的改善，人类社会每一次重大的经济飞跃和生产革命，都与新的能源和动力机械的利用密切相关，能源消耗的多少已经成为一个国家和地区经济发展水平的重要标准。不利方面：能源的大量使用会给环境带来极大的破坏，如大气污染、温室效应、酸雨等，对人类造成很大的危害。

(2)



［评价活动］

1.(多选)下列关于能量的转移和转化的说法正确的是　　(　　)

A. 节日里点燃的“冲天爆竹”腾空而起，是内能转化为机械能的过程

B. 将一杯热水倒入一盆冷水中，冷水和热水的温度变得一样，这是热水的内能转移到冷水中的结果

C. 冬日，人们在太阳光下晒太阳取暖，是太阳能转化为机械能的过程

D. 在炉子上放一壶水，将水加热到 50 ℃，是机械能转化为内能的过程

AB　**解析**：“冲天爆竹”里的火药燃烧，将化学能转化为内能，腾空而起则是内能转化为机械能的过程，故 A 正确；将一杯热水倒入一盆冷水中，冷水和热水的温度变得一样，这是热水的内能转移到冷水中的结果，故 B 正确；冬日，人们在太阳光下晒太阳取暖，是太阳能转化为内能的过程，故 C 错误；在炉子上放一壶水，将水加热到 50 ℃，是燃气的化学能向水的内能转化的过程，故 D 错误。

2.下列说法正确的是　　(　　)

A. 能量守恒定律的成立是有一定条件的

B. 行驶的汽车具有动能，刹车时动能转化为内能

C. 能量从一种形式转化为另一种形式时，总量会减少

D. 热传递是能量的转化

B　**解析**：能量守恒定律在任何情况下都成立，故 A 错误；汽车刹车时动能转化成内能，故 B 正确；能量从一种形式转化为另一种形式时，总量保持不变，故 C 错误；热传递是能量的转移，故 D 错误。

3.下列说法正确的是　　(　　)

A. 能量的耗散是指在一定条件下，能量在转化过程中总量减少了

B. 能量的耗散表明，能量守恒定律具有一定的局限性

C. 能量的耗散表明，在能源的利用过程中，能量在数量上并未减少，但在可利用的品质上降低了

D. 能量不可能耗散，能量守恒定律反映了自然界中能量转化的宏观过程可以有任意的方向性

C　**解析**：能量的转移和转化过程具有方向性，在总量上是守恒的。能量的耗散不会使能量的总量减少，但会导致能量品质的降低。故 C 正确。

任务总结

利用能量转化与转移解题的思路与注意事项

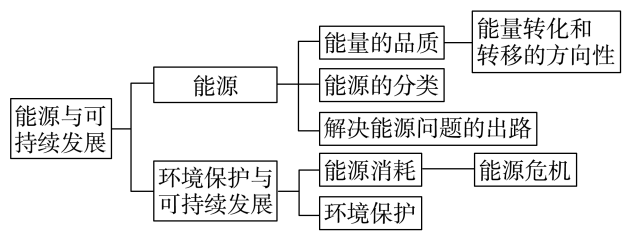
(1)既可通过做功的方式实现不同形式的能量之间的转化，也可使能量在同一物体的不同部分或不同物体间进行转移。

(2)自发进行的能量转移和转化都具有方向性。

(3)热机的效率总小于 100%。

(4)在能量转化与转移的过程中，能量的总量保持不变，利用能量守恒定律解题的关键是正确分析有多少种能量变化，分析时应避免出现遗漏。

提质归纳



课后素养评价(二十四)

基础性·能力运用

1.(多选)下列关于“能量耗散”的说法正确的是 (　　)

A. 能量在转化过程中,有一部分能量转化为内能,我们无法把这些内能收集起来重新利用,这种现象叫作能量的耗散

B. 能量在转化过程中减少的现象叫作能量的耗散

C. 能量的耗散表明,在能源的利用过程中,即在能量的转化过程中,能量的数量并未减少,但在可利用的品质上降低了,从便于利用的变成不便于利用的了,而自然界的能量是守恒的

D. 能量的耗散表明,各种能量在不转化时是守恒的,但在转化时是不守恒的

AC　**解析**:由能量守恒定律知B、D错误;由能量耗散的定义可知A、C正确。

2.下述做法能改善空气质量的是 (　　)

A. 以煤等燃料作为主要生活燃料

B. 利用太阳能、风能和氢能等能源替代化石能源

C. 鼓励私人购买和使用汽车代替公交车

D. 限制使用电动车

B　**解析**:以煤等燃料作为主要生活燃料时会产生大量空气污染物,A错误;私人汽车代替公交车会使汽车对汽油的消耗量增加,带来的空气污染物增多,C错误;限制使用电动车不能改善空气质量,D错误。

3.能源短缺和环境恶化分别指的是 (　　)

①煤炭和石油的开采与技术有关,在当前技术条件下,煤炭和石油的开采是有限的,这叫能源短缺

②煤炭和石油资源是有限的,以今天的开采和消耗速度,石油储藏将在百年内用尽,煤炭资源也不可能永久存在,这叫能源短缺

③煤炭和石油具有很大的气味,在开采、存放和使用过程中这些气味会聚集在空气中污染空气,使环境恶化

④大量煤炭和石油产品在燃烧时排出的有害气体污染了空气,改变了大气成分,使环境恶化

A. ①③　　B. ①④

C. ②③　　D. ②④

D　**解析**:煤炭和石油都是由古代生物遗体形成的,这些能源不能短时间内再次生成,也不可重复使用,它们的储量是有限的,并不是取之不尽、用之不竭的,这是所讲的能源短缺,①错误,②正确;煤炭和石油在使用时会排出有害气体污染空气,这是所讲的环境恶化,③错误,④正确。故选D。

4.(多选)氢能是一种既高效又干净的新能源,发展前景良好,用氢作能源的燃料电池汽车备受青睐。我国拥有完全自主知识产权的氢燃料电池轿车“超越三号”,已达到世界先进水平,并加快向产业化的目标迈进。氢能具有的优点包括 (　　)

A. 原料来源广

B. 易燃烧,热值高

C. 储存方便

D. 制备工艺廉价易行

AB　**解析**:氢能易燃烧,热值高,原料来源广;但储存难、制备成本高,故A、B正确。

5.能源问题是指人类对能源需求的增长与现有能源资源日趋减少之间的矛盾。人类的生存与发展都和能源有密切关系,人类的一切经济活动和生存都依赖于能源的供给,而开采其他资源和利用其他资源也都要依赖能源。下列有关能量与能源的说法正确的是 (　　)

A. 因为自然界的能量守恒,所以不需要节约能源

B. 人类在不断开发新能源,由此可知能量可以不断被创造

C. 能量可以在不同的物体之间转移,不能在不同形式之间转化

D. 能量可以从一种形式转化为另一种形式

D　**解析**:虽然自然界的能量守恒,但是可利用的能源越来越少,仍然需要节约能源,选项A错误;人类在不断开发新能源,但是能量不可以不断被创造,只能相互转化,选项B错误;能量可以在不同的物体之间转移,也能在不同形式之间转化,选项C错误,D正确。

6.20世纪80年代初,科学家们发明了硅太阳能电池。如果在太空设立太阳能卫星发电站,可24 h发电,这不仅不受昼夜气候的影响,而且太阳辐射强度大,利用微波—电能转换装置,可将电能转换成微

波向地面发送。硅太阳能电池实现的能量转换方式是　　(　　)

A. 光能→微波

B. 光能→热能

C. 电能→微波

D. 光能→电能

D　**解析**：太阳能卫星电站中的硅太阳能电池，可将光能转换成电能，向外供电，故 D 正确。

综合性·创新提升

7. 某中学物理小组对开发和利用水资源问题进行研究，同学们认为在放自来水时，水的机械能没有得到利用而白白浪费。于是他们在老师的指导下经过研制，在水龙头处安装了一台小型水轮发电机，当放水时水的机械能能够转化为电能。设小型水轮发电机的效率为 40%，水塔内的水面高于水龙头 10 m，且保持不变。当水龙头放出 1 t 水时，小型水轮发电机所产生的电能为(取 $g=9.8\ \mathrm{m/s^2}$)(　　)

A. 4 000 J　　B. 98 000 J

C. 588 000 J　　D. 39 200 J

D　**解析**：1 t 水资源减少的重力势能为 $W_1=mgh=1\ 000\times9.8\times10\ \mathrm{J}=98\ 000\ \mathrm{J}$，转化成的电能为 $W_2=\eta W_1=40\%\times98\ 000\ \mathrm{J}=3.92\times10^4\ \mathrm{J}$，故 D 正确。

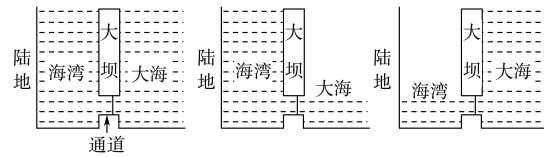
8. 风能是一种环保型能源，风力发电是风吹过风轮机叶片并带动叶片转动，使发电机工作，将风的动能转化为电能的过程。设空气的密度为 ρ，水平风速为 v，风力发电机每个叶片长为 L，叶片旋转形成圆面，假设通过该圆面的风的动能全部转化为了电能，则发电机的电功率为　　(　　)

A. $\frac{1}{2}\rho\pi L^2v$　　B. $\frac{1}{2}\rho\pi Lv^2$

C. $\frac{1}{2}\rho\pi L^2v^2$　　D. $\frac{1}{2}\rho\pi L^2v^3$

D　**解析**：叶片旋转所形成的圆面积为 $S=\pi L^2$，t 时间内流过该圆面积的风柱体积为 $V=Svt=\pi L^2vt$，风柱的质量为 $m=\rho V=\rho\pi L^2vt$，则风柱的动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\rho\pi L^2v^3t$，可得发电机的电功率为 $P=\frac{E_k}{t}=\frac{1}{2}\rho\pi L^2v^3$，故选项 D 正确。

9. 能源问题是人类面临的重大课题，寻找新的、无污染的能源是人们努力的方向，利用潮汐发电即为一例。如图所示为利用潮汐发电的简化示意图。左边为陆地和海湾，中间为大坝，其下有通道，水流经过通道时可带动发电机工作。涨潮时，水进入海湾，待内外水面高度相同，堵住通道，如图甲所示，潮落至最低点时放水发电，如图乙所示；待内外水面高度相同，再堵住通道，直到下次涨潮至最高点，又放水发电，如图丙所示。设海湾面积为 $5.0\times10^7\ \mathrm{m^2}$，高潮与低潮间高度差为 3.0 m，则一天内水流的平均功率为多少(取海水密度 $\rho=1.0\times10^3\ \mathrm{kg/m^3}$，$g=10\ \mathrm{m/s^2}$，每天两次涨潮，共四个发电时间段)？



甲　　乙　　丙

解析：每次涨潮时流进海湾(落潮时流出海湾)的海水的质量为 $m=\rho Sh=1.5\times10^{11}\ \mathrm{kg}$

其重心高度变化为 $h'=1.5\ \mathrm{m}$

每次放水发电过程中海水重力势能的减少量为 $\Delta E_p=mgh'=2.25\times10^{12}\ \mathrm{J}$

一天内水流做功的功率为 $P=\frac{4\Delta E_p}{t}\approx1.04\times10^8\ \mathrm{W}$。

答案：$1.04\times10^8\ \mathrm{W}$

章末质量评估(五)
电磁场与电磁波初步　能源与可持续发展

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1.(2026·浙江卷 1 月选考)第六代移动通信技术(6G)使用的电磁波,部分处于太赫兹(THz)波段。1 THz=10^{12} Hz,单位 THz 对应的物理量是 (　　)

A. 能量　　B. 功率

C. 频率　　D. 波长

C　**解析**:能量的国际单位是焦耳,功率的国际单位是瓦特,频率的国际单位是赫兹,波长的国际单位是米,故选 C。

2.关于磁感应强度 B、电流 I、导线长度 L 和导线所受磁场力 F 之间的关系,下列说法正确的是(　　)

A. 在 $F=0$ 的地方,B 一定等于零

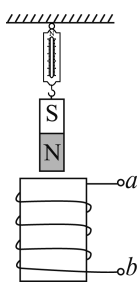
B. 在 $B=0$ 的地方,F 一定等于零

C. 若 $B=1$ T,$I=1$ A,$L=1$ m,则 F 一定等于 1 N

D. 若 $L=1$ m,$I=1$ A,$F=1$ N,则 B 一定等于 1 T

B　**解析**:当用 $B=\dfrac{F}{IL}$ 判断 B 时,要求磁场方向和通电导线垂直,没有垂直这个条件,是无法判断的,在 $B=0$ 的地方,磁场力一定为零,故 A 错误,B 正确。若 $B=1$ T,$I=1$ A,$L=1$ m,只有磁场方向垂直于电流方向时,才有 $F=ILB=1$ N,故 C 错误。若 $L=1$ m,$I=1$ A,$F=1$ N,只有磁场方向垂直于电流方向时,才有 $B=\dfrac{F}{IL}=1$ T,故 D 错误。

3.如图所示,在弹簧测力计下挂一条形磁体,其中条形磁体的 N 极一端位于未通电的螺线管正上端,则下列说法正确的是 (　　)



A. 若将 a 接电源正极,b 接电源负极,弹簧测力计示数将不变

B. 若将 a 接电源正极,b 接电源负极,弹簧测力计示数将增大

C. 若将 b 接电源正极,a 接电源负极,弹簧测力计示数将减小

D. 若将 b 接电源正极,a 接电源负极,弹簧测力计示数将增大

D　**解析**:a 接正极,b 接负极 →(螺线管安培定则)内部磁感线自下而上 →(等效)上端 N 极,下端 S 极 →(磁极间的相互作用)条形磁体受到排斥力 → 弹簧测力计示数减小,

b 接正极,a 接负极 →(螺线管安培定则)内部磁感线自上而下 →(等效)上端 S 极,下端 N 极 →(磁极间的相互作用)条形磁体受到吸引力 → 弹簧测力计示数增大,故 D 正确。

4.关于磁感应强度的概念,下列说法正确的是 (　　)

A. 由磁感应强度定义式 $B=\dfrac{F}{IL}$ 可知,在磁场中某处,磁感应强度与磁场力成正比,与电流和通电导线长度的乘积成反比

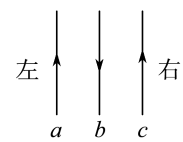
B. 一小段通电导线在某处不受磁场力作用,该处的磁感应强度一定为零

C. 磁场中某处磁感应强度的方向与小磁针静止时 S 极所指方向一致

D. 磁场中某处磁感应强度的大小与放在磁场中的通电导线的长度、电流大小及其所受磁场力的大小均无关

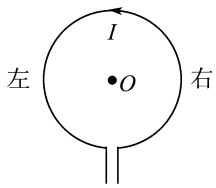
D　**解析**:磁感应强度 $B=\dfrac{F}{IL}$ 是采用比值法定义的,磁场中某处磁感应强度的大小与放在磁场中通电导线的长度、电流大小及其所受磁场力的大小均无关,故 A 错误,D 正确;当通电导线方向与磁场方向在一条直线上时,导线不受磁场力作用,但此时磁感应强度并非为零,故 B 错误;磁感应强度的方向与小磁针静止时 N 极所指的方向一致,故 C 错误。

5.在竖直平面(截面)内固定三根平行的长直导线 a、b、c,通有大小相等、方向如图所示的电流。若在三根导线所在空间加一匀强磁场后,导线 a 所受磁场力的合力恰好为零,则所加磁场的方向可能是 (D)



A. 垂直导线向左
B. 垂直导线向右
C. 垂直纸面向里
D. 垂直纸面向外

6. 如图所示，在纸面内有一圆环形导线，通以逆时针方向的电流 I，则圆环中心 O 点处的磁场方向为　　（　　）



A. 水平向左　　B. 水平向右
C. 垂直纸面向内　　D. 垂直纸面向外

D　**解析**：在一圆环形导线内通以逆时针方向的电流 I，根据安培定则，圆环中心 O 点处的磁场方向为垂直纸面向外，故选 D。

7. 一个氢原子从处于 $n=a$ 的高能级自发地直接跃迁到 $n=b$ 的低能级。已知 $a>b$，则在此过程中　　（　　）

A. 原子要发出一系列频率的光子
B. 原子要吸收一系列频率的光子
C. 原子要发出某一频率的光子
D. 原子要吸收某一频率的光子

C　**解析**：一个氢原子从高能级向低能级直接跃迁时，原子只能发出某一频率的光子，故 C 正确。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

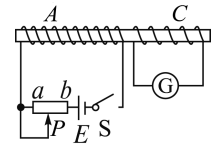
8. 如图所示，新安江水电站是我国最早自行设计建设的水电站，水库年径流量 113 亿立方米，年平均发电量为 18.6 亿千瓦时，上下游高度差约 73 m，里面装有九台水电机组，装机总容量（即九台机组一起工作时的功率）为 662.5 兆瓦（1 兆 $=1\times10^6$），只有在用电高峰期才会开启九台机组。设每户人家平均每月用电为 200 度，我们平时所说的一度电即为 1 kW·h 的电能。根据以上信息，以下分析正确的是　　（　　）



A. 一度电的能量约为 10 m^3 的水从水库上游流下时减少的重力势能
B. 新安江水力发电站每年可以为 7.75×10^5 户家庭供电
C. 一年平均开启的发电机组约 3 台
D. 水电站是将水的机械能转化为电能，该发电站的转化效率约为 32%

BC　**解析**：10 m^3 的水从水库上游流下时减少的重力势能为 $E_p=mgh=\rho Vgh=7.3\times10^6$ J，而一度电 1 kW·h $=3.6\times10^6$ J，选项 A 错误；由 $200\times12\times n=18.6\times10^8$ 可得，$n=7.75\times10^5$，B 正确；由 $18.6\times10^8\times10^3=P\times365\times24$，得 $P\approx212$ MW，大约为 3 台发电机组的功率，C 正确；该发电站的转化效率 $\eta=\dfrac{18.6\times10^{11}\times3\,600}{113\times10^8\times10^3\times10\times73}\times100\%=81\%$，D 错误。

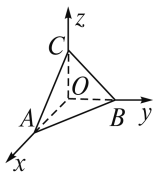
9. 如图所示，在同一铁芯上绕有 A 和 C 两个线圈，其中线圈 A 与滑动变阻器、电源和开关相连，线圈 C 与灵敏电流计相连。在进行以下操作时，能使灵敏电流计指针发生偏转的是　　（　　）



A. 闭合开关 S 的瞬间
B. 闭合开关 S 后，变阻器滑片 P 向右滑动
C. 闭合开关 S 后，变阻器滑片 P 保持不动
D. 断开开关 S 的瞬间

ABD　**解析**：开关 S 闭合的瞬间，线圈 A 中电流发生变化，则磁通量变化，线圈 C 中的磁通量也变化，产生感应电流，灵敏电流计指针发生偏转，故 A 正确；当开关 S 闭合后，变阻器滑片 P 向右滑动时，闭合电路的总电阻减小，电流增大，线圈 A 中电流增大，磁通量也增加，同时线圈 C 中的磁通量增加，产生感应电流，灵敏电流计指针偏转，故 B 正确；当开关 S 闭合后，变阻器滑片不动，闭合电路中电流恒定，线圈 A 中的磁通量不变，线圈 C 中的磁通量也不变，所以无感应电流，灵敏电流计指针不偏转，故 C 错误；开关 S 断开瞬间，线圈 A 中电流变化，线圈 C 中的磁通量也随之变化，产生感应电流，灵敏电流计指针发生偏转，故 D 正确。

10. 如图所示，有一四面体 $OABC$ 处在 Ox 方向的匀强磁场中，则下列关于穿过各个面的磁通量的说法正确的是　　（　　）



A. 穿过面 AOB 的磁通量为零

B. 穿过面 ABC 和面 BOC 的磁通量相等

C. 穿过面 AOC 的磁通量不为零

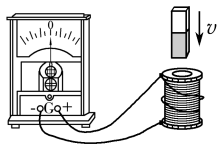
D. 穿过四面体 $OABC$ 的磁通量为零

ABD　**解析**：面 AOB 和面 AOC 都与磁感应强度 B 的方向平行，故磁通量都为零；由于穿过面 ABC 和面 BOC 的磁感线条数相等，故磁通量相等；穿出面 ABC 的磁感线条数与穿入面 BOC 的磁感线条数相等，因此穿过四面体 $OABC$ 的合磁通量为零。故 A、B、D 正确。

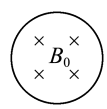
三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 12～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤；有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.(8 分)某小组的同学做“探究影响感应电流产生的因素”的实验。

(1)用如图所示的装置做实验，图中螺线管上的粗线表示导线的绕行方式。某次实验中在将条形磁体 N 极插入螺线管的过程中，观察到电流计指针发生偏转，说明螺线管中产生_____。

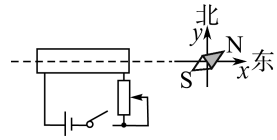


(2)下表是该小组同学设计的记录表格的一部分，除一项需要推断的实验结果外，表中已经完成了实验现象的记录，请帮助该小组的同学完成此推断(选填“增加”或“减少”)。

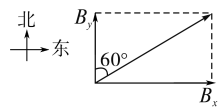
操作	从螺线管中拔出条形磁体
平面图(自上向下看；B_0 表示原磁场，即磁体产生的磁场)	
螺线管内磁通量的变化	_____
是否产生感应电流	是

答案：(1)感应电流　(2)减少

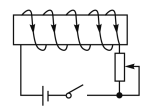
12.(10 分)已知某处的地磁场水平分量约为 3×10^{-5} T，某校物理兴趣小组做“估测磁体附近磁感应强度”的实验。他们将一小罗盘磁针放在一个水平放置的螺线管的轴线上，如图所示，小磁针静止时 N 极指向 y 轴正方向，当接通电源后，发现小磁针 N 极指向与 y 轴正方向成 60°角的方向。请在图上标明螺线管导线的绕行方式，并求出该通电螺线管在小磁针处产生的磁感应强度的大小。(结果保留一位有效数字)



解析：接通电源后，小磁针 N 极指向地磁场和螺线管产生的磁场所叠加的方向，由此可判定螺线管产生的磁场在小磁针处方向水平向东，如图甲所示；由安培定则判定螺线管导线绕向如图乙所示：



甲



乙

由题意知，地磁场水平分量 $B_y=3\times10^{-5}$ T，设通电螺线管产生的磁感应强度为 B_x

由图甲知 $\dfrac{B_x}{B_y}=\tan 60°$

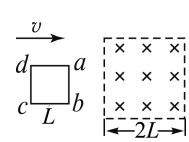
代入数据得 $B_x=3\times10^{-5}\times\sqrt{3}$ T$\approx5\times10^{-5}$ T。

答案：绕向见解析图乙　5×10^{-5} T

13.(12 分)如图所示，在边长为 $2L$ 的正方形区域内存在着磁感应强度为 B 的匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。有一边长为 L 的正方形导线框沿垂直于磁场的方向以速度 v 匀速通过磁场区域，从 ab 边刚进入磁场开始计时，回答以下问题。

(1)指出哪些时间段有感应电流产生。

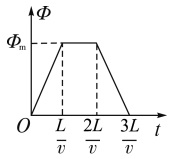
(2)画出磁通量随时间变化的关系图像。



解析：(1)线框进入磁场的过程中，在 $0\sim\dfrac{L}{v}$ 时间段有感应电流产生；线框离开磁场的过程中，在 $\dfrac{2L}{v}\sim$

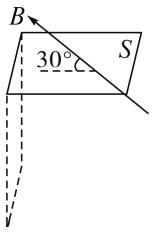
$\frac{3L}{v}$时间段有感应电流产生。

(2)磁通量随时间变化的图像如图所示，其中$\Phi_m=BL^2$。



答案：(1)0～$\frac{L}{v}$，$\frac{2L}{v}$～$\frac{3L}{v}$　(2)见解析图

14.(12分)如图所示，匀强磁场的磁感应强度为B，且B的方向与水平方向的夹角为30°。图中实线位置有一面积为S的矩形线圈处于磁场中，并绕着它的一条边从水平位置转动到竖直位置(图中虚线位置)。分别求线圈在水平、竖直位置时穿过线圈的磁通量的大小。



解析：线圈在水平位置时，穿过线圈的磁通量大小

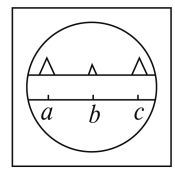
$\Phi_1=BS\sin 30°=\frac{1}{2}BS$

线圈在竖直位置时，穿过线圈的磁通量大小

$\Phi_2=BS\cos 30°=\frac{\sqrt{3}}{2}BS$。

答案：$\frac{1}{2}BS$　$\frac{\sqrt{3}}{2}BS$

15.(12分)一个雷达向远处发射无线电波时，发射的时间均为1 μs，两次发射的时间间隔为100 μs，在指示器的荧光屏上呈现出的尖形波如图所示。已知图中刻度间距$ab=bc$，则障碍物与雷达之间的距离是多大？(取光速$c=3.0\times10^8$ m/s)



解析：题图中a和c处的尖形波是雷达向目标发射无线电波时出现的，b处的尖形波是雷达收到障碍物反射回来的无线电波时出现的；由$ab=bc$可知，无线电波从发射到返回所用的时间为50 μs。设雷达与障碍物间的距离为s，无线电波来回时间为t，波速为c，由$2s=ct$得

$s=\frac{ct}{2}=\frac{3.0\times10^8\times50\times10^{-6}}{2}$ m$=7.5\times10^3$ m。

答案：7.5×10^3 m

综合质量评估

（时间：75 分钟　分值：100 分）

一、单项选择题：本题共 7 小题，每小题 4 分，共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

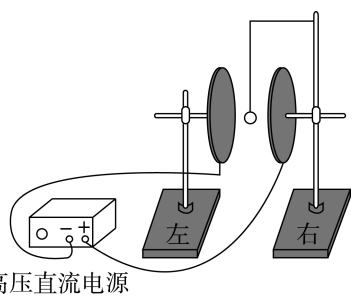
1. 半径相同的两个金属球 A、B（可以看作点电荷）带有相等的电荷量，两者相隔一定距离，两球之间相互吸引且吸引力的大小为 F。现让第三个半径相同的不带电的金属小球 C 先后与 A、B 两球接触后并移开，这时 A、B 两球之间相互作用力的大小是（　　）

A. $\frac{F}{8}$　　B. $\frac{F}{4}$

C. $\frac{3F}{8}$　　D. $\frac{3F}{4}$

A　**解析**：A、B 两球相互吸引，说明带异种电荷，设所带电荷量分别为 q 和 $-q$，假设 A 球带正电，当第三个不带电的小球 C 与 A 球接触后，A、C 两球带的电荷量平分，则每个小球所带电荷量为 $+\frac{q}{2}$，再把 C 球与 B 球接触时，两小球的电荷量先中和再平分，则每个小球所带电荷量为 $-\frac{q}{4}$；由库仑定律 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 可知，移开 C 球后，由于 r 不变，所以 A、B 两球之间的相互作用力的大小为 $F'=\frac{F}{8}$，故正确答案为 A。

2. 如图所示为静电力演示仪，两金属极板分别固定在绝缘支架上，且平行正对放置。工作时两极板分别接高压直流电源的正、负极，表面镀铝的乒乓球用绝缘细线悬挂在两金属极板中间，则（　　）



A. 乒乓球的左侧感应出负电荷

B. 乒乓球受到扰动后，会被吸附在左极板上

C. 乒乓球受静电力、重力和库仑力三个力的作用

D. 用绝缘棒将乒乓球拨到右极板上，放开后乒乓球会在两极板间来回碰撞

D　**解析**：两极板间电场的方向由正极板指向负极板，镀铝乒乓球内的电子向正极板一侧聚集，则乒乓球的右侧感应出负电荷，故 A 错误；乒乓球受重力、细线拉力和指向两侧的静电力四个力的作用，故 C 错误；乒乓球与任一金属极板接触后会带上与这一金属极板同种性质的电荷，从而相互排斥，不会吸在金属极板上，同理，到达另一侧金属极板时也会发生同样的现象，所以乒乓球会在两极板间来回碰撞，故 B 错误，D 正确。

3. 下列带电粒子均从静止开始在静电力作用下做加速运动，经过相同的电势差 U 后，获得的速度最大的粒子是（　　）

A. 质子（$^1_1\mathrm{H}$）

B. 氘核（$^2_1\mathrm{H}$）

C. α 粒子（$^4_2\mathrm{He}$）

D. 钠离子（Na^+）

A　**解析**：这四种带电粒子均从静止开始在静电力作用下做加速运动，经过相同的电势差 U，根据动能定理有 $qU=\frac{1}{2}mv^2-0$，得 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$，可知，比荷 $\frac{q}{m}$ 越大，获得的速度越大，故 A 正确。

4. 有关电场的几个公式，下列说法正确的是（　　）

A. 由 $E=\frac{F}{q}$ 可知，电场中某点的电场强度 E 是由试探电荷的电荷量 q 和它所受的静电力 F 共同决定的

B. $E=k\frac{Q}{r^2}$ 仅适用于点电荷形成的电场，由公式可知与场源电荷距离相等的各点电场强度均相同

C. 由 $W=qU_{AB}$ 可知，移动电荷时，静电力做功与初、末位置的电势差有关，而与电荷移动的路径无关

D. $U_{ab}=Ed$ 仅适用于匀强电场，其中 d 表示 a、b 两点间的距离

C　**解析**：$E=\frac{F}{q}$ 是电场强度的定义式，电场强度是电场本身具有的属性，和 F、q 无关，A 错误；$E=k\frac{Q}{r^2}$ 是计算点电荷周围电场强度大小的公式，电场强度是矢量，还需要考虑方向，所以与场源电荷距离相等的各点电场强度大小相等，方向不同，B 错误；由 $W=qU_{AB}$ 可知，移动电荷时，静电力做功与初、末位置的电势差有关，而与电荷移动的路径无关，C 正确；$U_{ab}=Ed$ 仅适用于计算匀强电场中两点间的电势差，其中 d 表示 a、b 两点间沿电场线方向上的距离，D 错误。

5. 遵义市科技馆有一个法拉第笼，它是一个由金属制成的球形笼子，笼体与大地连通。当高压电源通过限流电阻将 10 万伏直流高压输送给放电杆，放电杆尖端距笼体 10 厘米时，出现放电火花。限时体验时，体验者进入笼体后关闭笼门，操作员接通电源，用放电杆进行放电演示。这一过程中，关于法拉第笼的说法正确的是　(D)



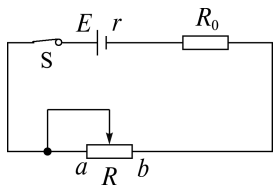
A. 法拉第笼上的感应电荷均匀分布在笼体的外表面

B. 同一带电粒子在法拉第笼外的电势能大于在法拉第笼内的电势能

C. 法拉第笼上的感应电荷在笼内产生的电场强度为零

D. 法拉第笼内任意两点间的电势差为零

6. 如图所示，电动势为 E、内阻为 r 的电池与定值电阻 R_0、滑动变阻器 R 串联，设 $R_0=r$，$R_{ab}=2r$。当滑动变阻器的滑片自 a 端向 b 端滑动时，下列各物理量中随之减小的是　(　　)



A. 电池的输出功率

B. 滑动变阻器消耗的功率

C. 定值电阻 R_0 消耗的功率

D. 电池内阻消耗的功率

B　**解析**：滑片自 a 端向 b 端滑动时，电路内电流增大，电池输出功率增大，定值电阻 R_0 和电池内阻消耗的功率也增大，滑动变阻器消耗的功率为 $P=\frac{E^2}{\frac{4r^2}{R}+R+4r}$，当 R 从 $2r$ 逐渐减小时，P 也在减小，故 B 正确。

7. 关于电磁波，下列说法正确的是　(　　)

A. 麦克斯韦通过实验验证了“变化的电场产生磁场”和“变化的磁场产生电场”，并预言了电磁波的存在

B. 无线电波、光波、阴极射线、X 射线、γ 射线都是电磁波

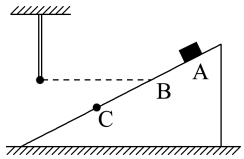
C. 赫兹通过实验测量证明了在真空中电磁波具有与光相同的速度

D. 太阳光中含有不同频率的各种电磁波，且能量均分在各个波段

C　**解析**：麦克斯韦只是预言了电磁波的存在，也进行了相关理论计算，但并没有用实验验证“变化的电场产生磁场”和“变化的磁场产生电场”，故 A 错误；阴极射线不属于电磁波，故 B 错误；赫兹用实验证明了电磁波的存在，并且通过测量，证明了在真空中电磁波具有与光相同的速度，故 C 正确；太阳光中含有红外线、可见光和紫外线，并不是含有不同频率的各种电磁波，同时能量也不是均分在各个波段，故 D 错误。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8.（2024·山东卷）如图所示，带电量为 $+q$ 的小球被绝缘棒固定在 O 点，右侧有固定在水平面上、倾角为 30°的光滑绝缘斜面。质量为 m、带电量为 $+q$ 的小滑块从斜面上 A 点由静止释放，滑到与小球等高的 B 点时加速度为零，滑到 C 点时速度为零。已知 AC 间的距离为 S，重力加速度大小为 g，静电力常量为 k，则下列说法正确的是　(　　)



A. OB 的距离为 $l=\sqrt{\frac{\sqrt{3}kq^2}{mg}}$

B. OB 的距离为 $l=\sqrt{\frac{\sqrt{3}kq^2}{3mg}}$

C. 从 A 点到 C 点，静电力对小滑块做功为 $W=-mgS$

D. A、C 两点之间的电势差为 $U_{AC}=-\frac{mgS}{2q}$

AD **解析**：小滑块在 B 点处的加速度为 0，则沿斜面方向有 $mg\sin 30^\circ=\frac{kq^2}{l^2}\cos 30^\circ$，解得 $l=\sqrt{\frac{\sqrt{3}kq^2}{mg}}$，A 正确，B 错误；小滑块从 A 点到 C 点的过程中，由动能定理有 $W+mgS\sin 30^\circ=0$，解得静电力对小滑块做的功为 $W=-\frac{mgS}{2}$，C 错误；根据电场力做功与电势差的关系结合 C 项分析可知，A、C 两点之间的电势差 $U_{AC}=\frac{W}{q}=-\frac{mgS}{2}$，D 正确。

9. 表格中是一辆电动自行车的部分参数指标，参考表中数据判断，以下说法正确的是 （ ）

载重	电源输出电压	充电时间	电动机额定输出功率	电动机额定工作电压和电流
80 kg	≥36 V	6～8 h	180 W	36 V/6 A

A. 电动自行车每秒钟消耗的电能为 216 J

B. 电动机每秒钟消耗的电能为 180 J

C. 电动机的内电阻为 6 Ω

D. 电动机的内电阻为 1 Ω

AD **解析**：电动机每秒钟消耗的电能为 $W=UIt=36\times6\times1$ J$=216$ J，则电动自行车每秒钟消耗的电能为 216 J，故 A 正确，B 错误；电动机的热功率为 $P_Q=P-P_{出}=UI-P_{出}=36\times6$ W-180 W$=36$ W，又 $P_Q=I^2r$，得电动机内阻 $r=1$ Ω，故 C 错误，D 正确。

10. 将一根长为 0.2 m、电流为 2 A 的通电导线，放在磁感应强度为 0.5 T 的匀强磁场中，受到的磁场力大小可能是 （ ）

A. 0.4 N　　B. 0.2 N

C. 0.1 N　　D. 0

BCD **解析**：根据磁感应强度的定义，当磁感应强度 B 与通电导线方向垂直时，磁场力有最大值，为 $F_{max}=ILB=2\times0.2\times0.5$ N$=0.2$ N；当两者方向平行时，磁场力有最小值，为 0；随着二者方向夹角的改变，磁场力大小可能在 0 与 0.2 N 之间取值，故 B、C、D 正确。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 13～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤；有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.（6 分）使用多用电表粗测某一电阻，操作过程分以下四个步骤：

①将红、黑表笔分别插入多用电表的“＋”“－”插孔，选择开关置于电阻“×100”挡；

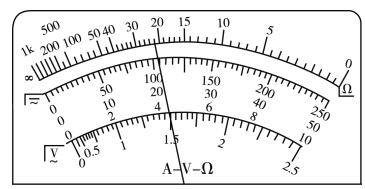
②_____；

③把红、黑表笔分别与电阻的两端相接，读出被测电阻的阻值；

④将选择开关置于交流电压的最高挡或“OFF”挡。

(1)请把第②步的内容填在相应的位置上。

(2)若上述第③步中，多用电表的示数如图所示，则粗测电阻值为_____Ω。



解析：(1)根据使用多用电表电阻挡测电阻的原则知，步骤②应是：将红、黑表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使指针指在电阻的零刻度线处。

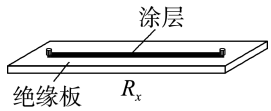
(2)多用电表测得的电阻值应为

22×100 Ω$=2\ 200$ Ω。

答案：(1)将红、黑表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使指针指在电阻的零刻度线处　(2)2 200

12.（10 分）(2026·贵州卷)在绝缘板上均匀涂敷一种导电材料，制作的电阻样品如图甲所示。所制三个电阻的涂层长度相同、宽度较小且相同、厚度不同(几微米)，阻值均约为几十欧。某实验小组通过测量三个电阻的阻值，比较其涂层厚度，所用器

材有：



甲

待测电阻 R_{x1}、R_{x2} 和 R_{x3}；

电压表 V_1（量程为 0～3 V）；

电压表 V_2（量程为 0～5 V）；

电阻箱 R_0（阻值为 0～999.9 Ω）；

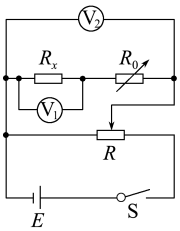
滑动变阻器 R（阻值为 0～10 Ω）；

直流电源 E（电动势为 4.5 V）；

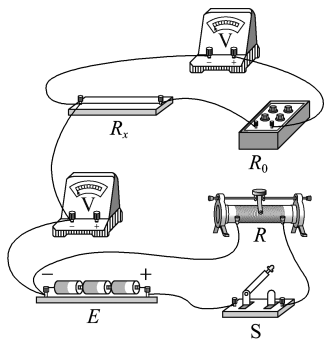
开关；导线若干。

请完成下列步骤：

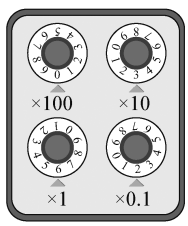
(1)实验小组设计了如图乙所示的电路图。根据图乙完成图丙中的实物图连线。



乙



丙



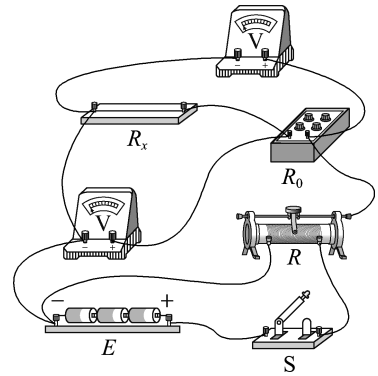
丁

(2)接入 R_{x1}，闭合 S，调节 R 和 R_0，R_0 的示数如图丁所示，此时 R_0 的读数为 _____ Ω，电压表 V_1 和 V_2 的读数分别为 1.81 V 和 3.62 V，由此可知 R_{x1} = _____ Ω。断开 S，改换待测电阻，重复上述步骤。分别测得 R_{x2} = 20.2 Ω，R_{x3} = 70.5 Ω。

(3)由三个电阻的测量值可知 _____（选填“R_{x1}”“R_{x2}”或“R_{x3}”）的涂层最厚。

(4)实验完成后，该小组通过原理分析，发现用此方法测电阻时未考虑电压表 V_1 的内阻的影响。若已知电压表 V_1 的内阻为 R_{V1}，电压表 V_1 和 V_2 的示数分别为 U_1 和 U_2，电阻箱的示数为 R_0，则 R_x = _____（用 R_{V1}、R_0、U_1 和 U_2 表示）。经分析发现，本实验中考虑电压表 V_1 的内阻后，不影响判断三个电阻涂层厚度的关系。

解析：(1)如图所示：



(2)R_0 的读数为 3×10 Ω+6×1 Ω+2×0.1 Ω=36.2 Ω，由于 R_{x1} 与 R_0 串联并且分得的电压相等，故两者的电阻相等，R_{x1}=36.2 Ω。

(3)由电阻定律 $R=\rho\cdot\frac{\text{长}}{\text{宽}\times\text{厚}}$ 可知，电阻与厚度成反比，故阻值最小的 R_{x2} 涂层最厚。

(4)R_x 与 V_1 并联，由部分电路的欧姆定律有

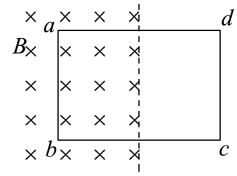
$$R_{并}=\frac{U_1}{\frac{U_2-U_1}{R_0}}$$

又 $\frac{1}{R_{并}}=\frac{U_2-U_1}{R_0U_1}=\frac{1}{R_{V1}}+\frac{1}{R_x}$

解得 $R_x=\frac{U_1R_{V1}R_0}{U_2R_{V1}-U_1R_{V1}-U_1R_0}$。

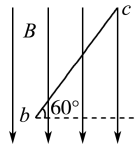
答案：(1)见解析图　(2)36.2　36.2　(3)R_{x2}　(4)$\frac{U_1R_{V1}R_0}{U_2R_{V1}-U_1R_{V1}-U_1R_0}$

13.(11 分)如图所示，匀强磁场的磁感应强度为 B=0.8 T，矩形线圈 $abcd$ 的面积为 S=0.5 m^2，B 与 S 垂直，线圈一半在磁场中。当线圈从图示位置绕 ab 边转过 60° 时，穿过该线圈的磁通量为多少？



解析：因为 ab 边到磁场右边界的距离是线圈 ad 边长度的一半，所以当线圈绕 ab 边转过 60°后，线圈的 cd 边正好与磁场的右边界重合，如图所示，则绕 ab 边转过 60°后对应的磁通量为 $\Phi_2=B\cdot\frac{1}{2}S=\frac{1}{2}BS$

解得 $\Phi_2=0.8\times\frac{1}{2}\times0.5$ Wb=0.2 Wb。



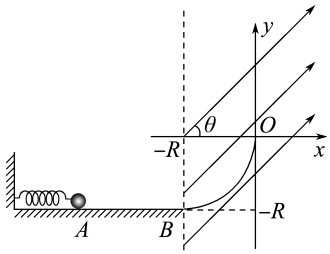
答案：0.2 Wb

14.(12 分)如图所示，光滑水平面 AB 和竖直面内的光滑$\frac{1}{4}$圆弧导轨 BO 在 B 点平滑连接，导轨半径为 R。质量为 m 的带正电小球将轻质弹簧压缩至 A 点后由静止释放，脱离弹簧后经过 B 点时的速度大小为$\sqrt{gR}$，之后沿导轨 BO 运动。以 O 点为坐标原点建立直角坐标系 Oxy，在 $x\geqslant -R$ 的区域内有方向与 x 轴正方向夹角为 $\theta=45°$ 的匀强电场 E，进入电场后小球受到的静电力大小为$\sqrt{2}mg$。小球在运动过程中电荷量保持不变，重力加速度为 g。求：

(1)弹簧压缩至 A 点时的弹性势能；

(2)小球经过 O 点时的速度大小；

(3)小球经过 O 点后运动的轨迹方程。



解析：(1)小球从 A 点运动到 B 点，根据能量守恒定律得，弹簧压缩到 A 点时的弹性势能为

$E_p=\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mgR$。

(2)小球从 B 点运动到 O 点，根据动能定理有

$-mgR+qE\cdot\sqrt{2}R=\frac{1}{2}mv_O^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

其中 $qE=\sqrt{2}mg$

解得 $v_O=\sqrt{3gR}$。

(3)小球运动至 O 点时速度方向竖直向上，小球运动时一直受静电力和重力作用，将静电力分解到 x 轴和 y 轴，则 x 轴方向有

$qE\cos 45°=ma_x$

y 轴方向有

$qE\sin 45°-mg=ma_y$

解得 $a_x=g$，$a_y=0$

说明小球经过 O 点以后的运动可分解为沿 x 轴方向的初速度为 0 的匀加速直线运动和沿 y 轴方向的匀速直线运动，即小球做类平抛运动，则有

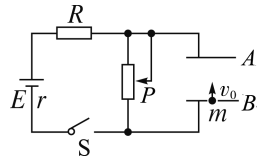
$x=\frac{1}{2}gt^2$，$y=v_Ot$

联立解得小球过 O 点后运动的轨迹方程为

$y^2=6Rx$。

答案：(1)$\frac{1}{2}mgR$　(2)$\sqrt{3gR}$　(3)$y^2=6Rx$

15.(15 分)在如图所示的电路中，两平行金属极板 A、B 水平放置，两极板间的距离为 $d=40$ cm，电源电动势为 $E=24$ V，内阻为 $r=1$ Ω，定值电阻为 $R=15$ Ω。闭合开关 S，待电路稳定后，将一带正电的小球从 B 板小孔处以初速度 $v_0=4$ m/s 竖直向上射入两极板间。已知小球所带电荷量为 $q=1\times10^{-2}$ C，质量为 $m=2\times10^{-2}$ kg，不考虑空气阻力，那么滑动变阻器接入电路的阻值为多大时，小球恰好能到达 A 板？此时电源的输出功率是多大？(取 $g=10$ m/s^2)



解析：小球进入极板间后，受重力和静电力作用，且到 A 板时速度为零。设两极板间电势差为 U_{AB}，由动能定理可得$-mgd-qU_{AB}=0-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得滑动变阻器两端电压 $U_{滑}=U_{AB}=8$ V

设通过滑动变阻器的电流为 I，由闭合电路欧姆定律得 $I=\frac{E-U_{滑}}{R+r}=1$ A

则滑动变阻器接入电路的阻值为

$R_{滑}=\frac{U_{滑}}{I}=\frac{8}{1}$ Ω$=8$ Ω

电源的输出功率为

$P_{出}=I^2(R+R_{滑})=1^2\times(15+8)$ W$=23$ W。

答案：8 Ω　23 W