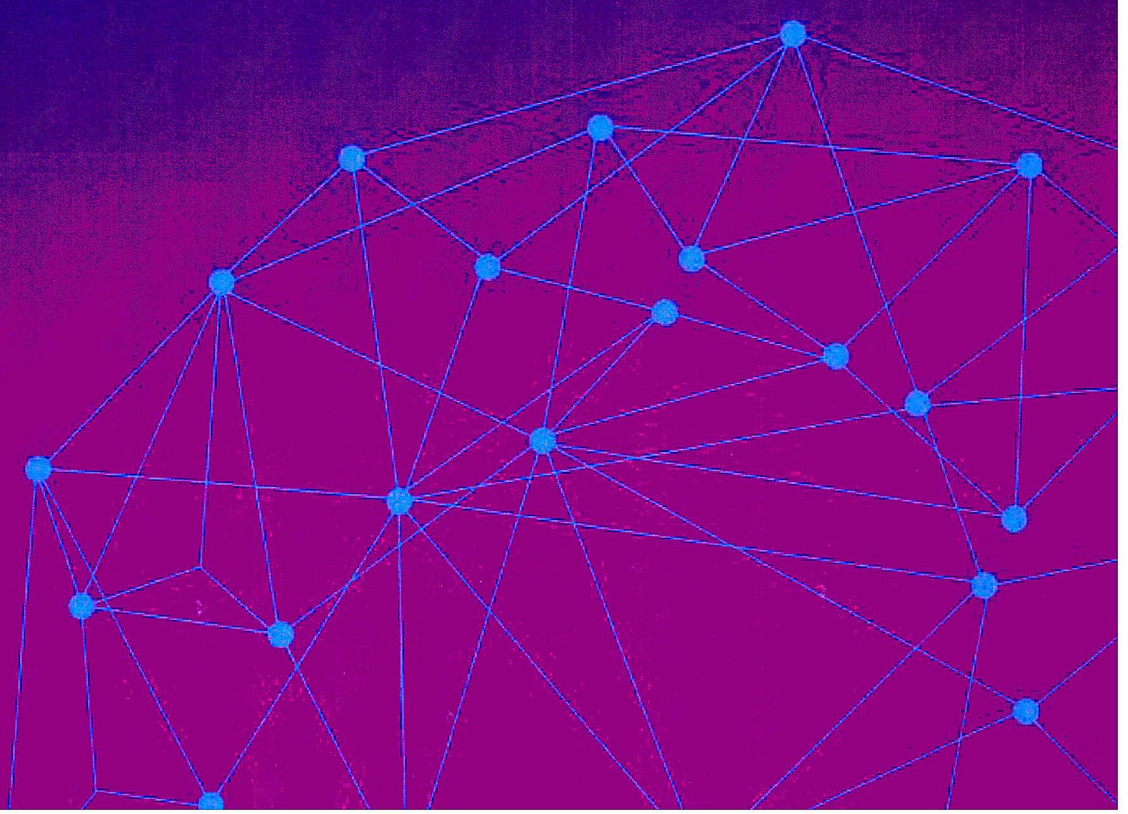
物理星空

高中物理
题型全练一本通
必修第三册

拔高首选 强效提分

答案详解册



目录

第一讲：静电场中力的性质.....5
考点一：电荷守恒.....5
题型一：电荷及电荷守恒.....5
题型二：静电现象.....6
考点二：库仑定律.....8
题型一：库仑定律的理解与简单计算.....8
题型二：库仑定律作用下的平衡问题.....9
解答题：.....11
题型三：多个自由电荷的平衡问题.....13
题型四：库仑定律作用下的动态平衡问题.....14
题型五：库仑定律作用下的动力学问题.....16
题型六：库仑力作用下的曲线运动.....17
题型七：静电力的合成问题.....20
题型八：库仑定律作用下的能量问题.....21
题型九：探究库仑定律.....23
考点三：电场强度.....24
题型一：概念辨析.....24
题型二：简单计算.....24
题型三：点电荷的场强叠加.....25
题型四：非点电荷的场强叠加.....28
考点四：电场线.....30
题型一：概念辨析.....30
题型二：常见电场线的分布规律及应用.....31
题型三：不等量点电荷电场线规律.....34
题型四：电场中粒子运动轨迹中的定性分析.....34
考点五：匀强电场.....35
题型一：匀强电场中的平衡问题.....35
题型二：匀强电场中的动力学问题.....36
题型三：电场力作用下的能量问题.....37
考点六：静电屏蔽.....40
题型一：静电平衡.....40
题型二：静电屏蔽.....41
题型三：静电吸附.....42
题型四：尖端放电.....43
第二讲：静电场中能的性质.....44
考点一：电场力做功与电势能.....44
题型一：概念辨析.....44
题型二：电势能与电场力做功的关系.....45
考点二：电势.....47
题型一：概念辨析.....47
题型二：电势的性质及简单应用.....47
考点三：电势差.....48
题型一：概念辨析.....48
题型二：电势的性质及简单应用.....49

考点四：等势面 52
题型一：概念辨析 52
题型二：几种常见等势面的性质 52
题型三：带电粒子穿越等势面中的能量转化 54
题型四：电场中粒子运动轨迹中的定性分析 55
考点五：电势差与电场强度的关系 57
题型一：匀强电场中电势差与电场强度的定量计算 57
题型二：非匀强电场中电势差与电场强度的定性分析 58
题型三：平面内的场强叠加与电势叠加 58
题型四：立体空间的场强叠加与电势叠加 60
题型五：等分法求电势和场强 61
考点六：图像问题 64
题型一：静电场中的 v-t 与 x-t 64
题型二：E-x 图像 65
题型三：φ-x 图像 67
题型四：E_p-x 与 E_k-x 图像 69
第三讲：静电场中粒子偏转 72
考点一：电容器 72
题型一：电容器及电容 72
题型二：电容的影响因素 73
题型三：电容的简单计算 74
题型四：电容器的充电放电 75
题型五：探究电容的充电放电 76
考点二：电容器的动态分析 78
题型一：U 不变 78
题型二：Q 不变 80
题型三：电容器中的平衡 83
题型四：含二极管的动态分析 84
题型五：双电容的动态分析 86
考点三：带电粒子在静电场中的运动 89
题型一：加速运动 89
题型二：偏转运动——类平抛 90
题型三：示波器 95
题型四：轨迹方程与边界方程 97
题型五：带电粒子偏转综合 103
考点四：带电体在电场中的运动 109
题型一：带电体在电场中的直线运动 109
题型二：带电体在电场中的曲线运动 109
题型三：动力学问题 112
题型四：等效重力问题 114
题型五：能量、动量问题 117
考点五：交变电场 121
题型一：带电粒子在交变电场中的直线运动 121
题型二：带电粒子在交变电场中的往返运动 122
题型三：带电粒子在交变电场中的偏转 123

第四讲：电路 135
考点一：电源与电流 135
题型一：概念辨析 135
题型二：电流的微观表达式 136
考点二：电阻 138
题型一：影响电阻的因素 138
题型二：电阻定律 138
题型三：电阻率 139
题型四：简单计算 140
考点三：部分电路欧姆定律 142
题型一：电阻的 U-I 线 142
考点四：电阻的串并联 143
题型一：串并联电路中电阻的关系 143
题型二：串并联电路中综合计算 145
考点五：电表改装 149
题型一：电流表改装 149
题型二：电压表改装 150
题型三：改装电表校准 151
题型四：电表偏转角度与读数比较 152
第五讲：实验 154
考点一：实验基础 154
题型一：游标卡尺的使用与读数 154
题型二：螺旋测微器的使用与读数 154
题型三：电表读数 155
题型四：电流表内外接 155
题型五：分压与限流 156
题型六：电路设计与实验仪器选择 158
考点二：电阻的测量 159
题型一：伏安法测电阻 159
题型二：双安法测电阻 160
题型三：双伏法测电阻 161
题型四：等效法测电阻 163
题型五：半偏法测电阻 164
题型六：电桥法测电阻 167
考点三：测量电阻丝的电阻率 168
题型一：实验原型 168
考点四：使用多用电表 170
题型一：认识多用电表 170
题型二：使用多用电表测电阻 171
题型三：黑箱问题 175
第六讲：电能 178
考点一：电功与电功率 178
题型一：纯电阻中电功与电功率的计算 178
题型二：焦耳定律 181
题型三：非纯电阻中电功与电功率的计算——电动机、电解槽 182
考点二：闭合电路欧姆定律 184
题型一：电动势与内阻 184
题型二：理解闭合电路欧姆定律 185

题型三：电源的 U-I 线 186
题型四：电源效率与输出功率 189
题型五：等效电源问题 192
考点三：闭合电路欧姆定律相关计算——解答题 193
题型一：基础计算 193
题型二：含容电路的计算 195
题型三：含非纯电阻电路的计算 197
题型四：综合计算 199
考点四：动态电路分析 201
题型一：电路中基础物理量变化规律判断 201
题型二：恒流电源的分析 203
题型三：ΔU/ΔI 的判定 204
题型四：含容电路分析 207
题型五：STSE 209
题型六：故障电路的分析 211
题型七：综合分析 212
第七讲：电源电动势与内阻的测量 215
考点一：实验原型 215
题型一：实验原型 215
题型二：求小灯泡的实际功率 217
考点二：实验创新 220
题型一：安阻法测电动势和内阻 220
题型二：伏阻法测电动势和内阻 222
题型三：双电源法测电动势和内阻 224
第八讲：基础磁现象 225
考点一：磁场 225
题型一：磁场与磁感线概念辨析 225
题型二：磁感线的性质 226
题型三：安培定则 226
题型四：安培定则的应用 227
题型五：安培分子电流假说 229
题型六：常见磁场及磁感线 229
考点二：磁感应强度 230
题型一：对磁感应强度的理解 230
题型二：磁场叠加 231
考点三：磁通量 233
题型一：磁通量的概念 233
题型二：磁通量的计算 234
题型三：磁通量的变化量 236
考点四：电磁感应现象 237
题型一：电磁感应现象与感应电流产生条件 237
第九讲：电磁波与能量子 240
考点一：电磁波 240
题型一：电磁场与电磁波 240
题型二：电磁波谱 240
考点二：能量子 242
题型一：热辐射与黑体辐射 242
题型二：能量子与能级 242

第一讲：静电场中力的性质

考点一：电荷守恒

题型一：电荷及电荷守恒

【精选例题】：B　　A　　B

【例 1】B

【详解】C．元电荷是最小的电荷量单位，而不是电子，故 C 错误；

D．任何带电物体所带的电荷量都是元电荷 e 的整数倍，故 D 错误；

AB．油滴的电荷量应为元电荷的整数倍，故油滴的电荷量可能是 3.2×10^{-19}C，故 A 错误，B 正确。故选 B。

【例 2】A

【详解】A．元电荷 e 的数值最早是由美国物理学家密立根通过实验测得的，故 A 正确；

B．元电荷是带电量的最小单元，元电荷等于电子或质子的电荷量；当带电体的形状大小在研究的问题中可以忽略不计时，带电体可以看成点电荷，故 B 错误；

C．在与外界没有电荷交换的情况下，一个系统所带的电量总是守恒的，电荷守恒定律并不意味着带电系统一定和外界没有电荷交换，故 C 错误；

D．利用静电感应不能使绝缘体带电，可使导体带电；质子和电子所带电荷量相等，但它们的质量不相等，所以比荷不相等，故 D 错误。故选 A。

【例 3】B

【详解】A．摩擦只能转移电荷，不能创造电荷，故 A 错误；

B．所有带电体所带电荷量一定为元电荷 e 的整数倍，故 B 正确；

C．下雨天，空气潮湿，毛皮摩擦过的橡胶管所带的电荷会被导走一部分，对细水流的偏转会有着一定的影响，实验效果会不明显，故 C 错误；

D．用丝绸摩擦过的玻璃棒带正电，毛皮摩擦过的橡胶管带负电，虽然二者带电种类不同，但根据带电体能够吸引轻小物体的特点，可知细水流依旧会向靠近玻璃棒的方向偏转，故 D 错误。故选 B。

【跟踪训练】：D　　B　　B

1．D

【详解】A．当带电体的大小对所研究的问题没有影响或影响可以忽略时，带电体可以视为一个点，称为点电荷，它与元电荷不是一个概念，故 A 错误；

BC．点电荷是一个带有电荷的点，它是实际带电体的抽象，是一种理想化的模型，如果在研究的问题中，带电体的形状、大小以及电荷分布可以忽略不计，即可将它看作点电荷，带电体的电荷量足够小，也不一定能将该带电体视为点电荷，故 BC 错误；

D．两个点电荷之间的库仑力是一对相互作用力，则不论它们的电荷量是否相等，它们之间相互作用的库仑力大小一定相等，故 D 正确。故选 D。

2．B

【详解】A．物体通常呈现电中性，是因为物体内正、负电荷数量相等，故 A 错误；

B．根据电荷守恒定律，电荷在转移的过程中，电荷的总量是不变的，故 B 正确；

C．在与外界没有电荷交换的情况下，一个系统所带的电量总是守恒的，电荷守恒定律并不意味着带电系统一定和外界没有电荷交换，故 C 错误；

D．利用摩擦起电可使物体带电，质子和电子所带电荷量相等，但它们的质量不相等，比荷不相等，故 D 错误。故选 B。

3．B

【详解】ABC．摩擦起电现象的本质是使一个物体上的自由电子转移到另一个物体上，从而使两物体分别带上等量的异种电荷。故 AC 错误；B 正确；

D．头发和梳子互相摩擦后带的电量只能是元电荷的整数倍。故 D 错误。故选 B。

4．C

【详解】设小球可能获得的最大电量为 Q′，则：q：（Q-q）=Q′：Q，解得：$Q'=\frac{qQ}{Q-q}$.

选项 ABD 错误；，选项 C 正确；故选 C.

题型二：静电现象

【精选例题】：D　　B　　ACD　　B

【例 1】D

【详解】A．干燥天气里脱毛衣时产生电火花，是因为摩擦使得电荷从一个物体转移到另一个物体，而不是创造出新的电荷，故 A 错误；

B．电工高空高压作业时，其工作服内编织金属丝的目的是起到静电屏蔽的作用，使超高压输电线周围的电场被工作服屏蔽起来，对工人起到保护作用，故 B 错误；

C．印刷车间的空气应保持湿润，以便于导走纸页间因相互摩擦而产生的静电，故 C 错误；

D．油罐车车尾装有一条拖在地上的导电拖地带，作用是导走运输过程中油和油罐摩擦产生的静电，故 D 正确。故选 D。

【例 2】B

【详解】根据感应起电原理可知，金属球 B（近端）带负电，验电器金属箔片（远端）都带正电，故验电器金属箔片张开，因为验电器下部箔片都带了正电。故选 B。

【例 3】ACD

【详解】ACD．电极 G 电离空气产生大量离子，使得粉粒 a、b 都带负电，粉粒 a 具有良好的导电性，粉粒 a 上的负电与滚筒 C 上的正电相互吸引，与导体滚筒 C 接触后会先中和再带上正电，与滚筒 C 上电荷相排斥，最后被刮板 D 刮入料槽 F 中，故 ACD 正确；

B．粉粒 b 具有良好的绝缘性，则不会被滚筒 C 中和，则粉粒 b 与滚筒 C 一直相互吸引直到粉粒 b 碰到 D 时落下，落在料槽 E 中，故 B 错误。故选 ACD。

【例 4】B

【详解】由于导体球 C 代负电，根据静电感应可知，导体近端感应出正电荷，远端感应正电荷，即 Q_A 和 Q_A' 带负电，Q_B 和 Q_B' 带正电；由于导体原来不带电，只是在导体球 C 的电荷的作用下，导体中的自由电子向 A 部分移动，使 A 部分多带了电子而带负电；B 部分少了电子而带正电．根据电荷守恒可知，B 部分转移的电子数目和 A 部分多余的电子数目是相同的，因此无论从哪一条虚线切开，两部分的电荷量总是相等的，即 $|Q_A'|=|Q_B'|$，$|Q_A|=|Q_B|$，故 ACD 错误，B 正确。故选 B。

【跟踪训练】：AD　　C　　C　　D

1．AD

【详解】塑料梳与头发丝摩擦起电，头发丝上带的是同种电荷，同种电荷相互排斥，所以头发丝会向四周散开，故 AD 正确。故选 AD。

2．C

【详解】A．云内的冰晶在相互摩擦的过程中是电荷发生了转移，不是创造了电荷，故 A 错误；

B．电场线是假想的，不是真实存在的，所以雷电产生时，带电云层附近不会存在电场线，故 B 错误；

C．导体处于静电平衡状态时，在导体内部的任意一点电场强度为零，是因为带电云层在导体内部某点产生的电场强度与导体内部感应电荷产生的电场大小相等，方向相反，即带电云层在导体内部某点产生的电场强度不为零，故 C 正确；

D．相距足够远的带等量同种电荷的球形云层（视为点电荷）之间，根据等量同种电荷的电势分布可知，沿着两者的连线，当同种电荷为负电荷时，电势先升高后降低；当同种电荷为正电荷时，电势先降低后升高，故 D 错误。故选 C。

3．C

【详解】A．若开关 S_1、S_2 均断开，由静电感应，导体 M 左端（近端）带负电，导体 N 右端（远端）带正电，A 错误；

B．S_1、S_2 均闭合时，导体 M 端（近端）会感应异种电荷，带负电；N 端通过接地线使金属导体右端带的正电荷会被从大地上来的负电荷中和，所以金属导体左端带负电，右端不再带有电荷。B 错误；

C．开关 S_1 闭合，S_2 断开，由于静电感应的作用，金属导体右端带的正电荷会被从大地上来的负电荷中和，接着将 MN 分开，再移走带电小球，金属导体 M 带负电，N 不再带有电荷，C 正确；

D．当闭合开关 S_2，由于静电感应的作用，金属导体 N 右端带的正电荷会被从大地上来的负电荷中和，所以导体 N 右端不再带有电荷，接着移走带电小球，M 端的负电荷被中和不带电，最后将 MN 分开，则 M 和 N 均不带电，D 错误。故选 C。

4．D

【详解】完全相同的金属球，接触后电荷平分，所以若先将 A 与 B 接触后分开，则 A、B 均带电量 $\frac{q}{2}$，再将 B 与 C 接触，则 B 与 C 均带电量为 $\frac{q}{4}$，再将 A 与 B 接触则，A 与 B 均带电量为 $\frac{3q}{8}$，再将 B 与 C 接触，则 B 与 C 带电量均为 $\frac{5q}{16}$，再将 A 与 B 接触，则 A 与 B 带电量均为 $\frac{11q}{32}$，以此类推，最终三个带电体的电量均为 $\frac{q}{3}$，故 A、B、C 均有可能，D 不可能。故选 D。

考点二：库仑定律

题型一：库仑定律的理解与简单计算

【精选例题】：D　　D　　D　　A

【例 1】D

【详解】A．库仑力与两点电荷的电荷量的乘积成正比，与两点电荷间的距离 r 的平方成反比，选项 A 错误；

B．当带电体为两个导体球（球半径相对于距离不可忽略）时，带电体不可视为点电荷，电荷分布不均匀，库仑定律不适用，r 不是指两球心间的距离，选项 B 错误；

C．电荷间的库仑力是相互作用力，即带电荷量分别为$3Q$和Q的点电荷 A、B 相互作用时，A 受到的静电力与 B 受到的静电力等大反向，选项 C 错误；

D．库仑定律的适用条件是：在真空中静止的点电荷，选项 D 正确。故选 D。

【例 2】D

【详解】万有引力定律适用于两个可看成质点的物体，虽然两球心间的距离 l 只有直径的 2 倍，但由于壳层的厚度和质量分布均匀，两球壳可看作质量集中球心的质点，因此可以用万有引力定律求得 $F_{引}=G\frac{m^2}{l^2}$

对于 a、b 两带电球壳，由于两球心间的距离 l 只有直径的 2 倍，且电荷集中于两球靠近的一侧，即 $F_{库}\neq k\frac{Q^2}{l^2}$

故选 D。

【例 3】D

【详解】设两个点电荷的电荷量分别为q_1和q_2，距离为 r，则$F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$；

若将每个电荷带电量都加倍，同时使它们之间的距离减半，

它们之间的相互作用力为$F'=k\frac{2q_1\cdot 2q_2}{\left(\frac{1}{2}r\right)^2}=16k\frac{q_1q_2}{r^2}=16F$。故选 D。

【例 4】A

【详解】原来两球间库仑力为$F=k\frac{8Q\times 2Q}{r^2}=16k\frac{Q^2}{r^2}$，

A、B 两球充分接触后两球的带电量均为$Q'=\frac{+8Q+(-2Q)}{2}=+3Q$

后来两球间库仑力为$F'=k\frac{3Q\times 3Q}{r^2}=9k\frac{Q^2}{r^2}$，则$\frac{F'}{F}=\frac{9}{16}$。故选 A。

【跟踪训练】：AD　　D　　D　　C

1.AD

【详解】A．元电荷是最小的电荷量，跟电子所带电量数值相等的电量，故 A 正确；

B．当带电体的形状和大小在所研究的问题可以忽略不计时，就可以看成点电荷；所以不是体积和带电荷量都很小的带电体就可以看成点电荷，故 B 错误；

C．库仑定律$F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$只适用于点电荷，当$r\to 0$时，库仑定律不再适用，不能得出$F\to\infty$的结论，故 C 错误；

D．静电力常量的数值不是由实验得出的，而是麦克斯韦相关理论计算出来的，故 D 正确。

故选 AD。

2.D

【详解】带同种电荷的两金属球，由于同种电荷相互排斥，所带电量集中在两球的外侧，两带电金属球等效的点电荷间距离大于3r，故由库仑定律可知，库仑力一定小于距离是3r时的库仑力，即$F<k\frac{q^2}{9r^2}$，故选D。

3.D

【详解】接触前的库仑力$F_1=k\frac{2Q\cdot 3Q}{r^2}=\frac{6kQ^2}{r^2}$，用完全相同的金属球C先与A接触，再与B接触之后，A带电量为-Q，B带电量为+Q，则此时两球间的库仑力$F_2=k\frac{Q\cdot Q}{r^2}=\frac{kQ^2}{r^2}$，可得$F_1:F_2=6:1$。故选D。

4.C

【详解】设A原来所带电荷量为+Q，A、B间静电力大小$F_1=k\frac{Qq}{r^2}$

将不带电的同样的金属球C先与A接触，再与B接触后，A所带电荷量变为$+\frac{Q}{2}$，B所带电荷量变为$\frac{1}{2}(\frac{Q}{2}-q)$，

再将A、B间距离增大为原来的2倍，A、B间静电力大小$F'=k\frac{\frac{Q}{2}\times\frac{1}{2}(\frac{Q}{2}-q)}{(2r)^2}=\frac{1}{16}F_1=\frac{1}{16}k\frac{Qq}{r^2}$，解得$Q=4q$

设A原来所带电荷量为$-Q$，A、B间静电力大小$F_1=k\frac{Qq}{r^2}$

将不带电的同样的金属球C先与A接触，再与B接触后，A所带电荷量变为$-\frac{Q}{2}$，B所带电荷量变为$\frac{1}{2}(-\frac{Q}{2}-q)$，

再将A、B间距离增大为原来的2倍，A、B间静电力大小$F'=k\frac{\frac{Q}{2}\times\frac{1}{2}(\frac{Q}{2}+q)}{(2r)^2}=\frac{1}{16}F_1=\frac{1}{16}k\frac{Qq}{r^2}$，无解。故选C。

题型二：库仑定律作用下的平衡问题

【精选例题】：D　　D　　D　　A

【例1】D

【详解】A．由两球相互排斥可知，两球带同种电荷，但不一定都带正电，故A错误；

B．由乙球竖直方向平衡可知$F_0\cos 30°=m_乙g$，求得$m_乙=\frac{\sqrt{3}F_0}{2g}$，故B错误；

C．因甲球固定，所以无法求出甲球的质量，故C错误；

D．设两球心间的距离为L，由库仑定律及乙球水平方向平衡可知$k\frac{q^2}{L^2}=F_0\cos 60°$，求得$L=q\sqrt{\frac{2k}{F_0}}$，故D正确。

故选D。

【例2】D

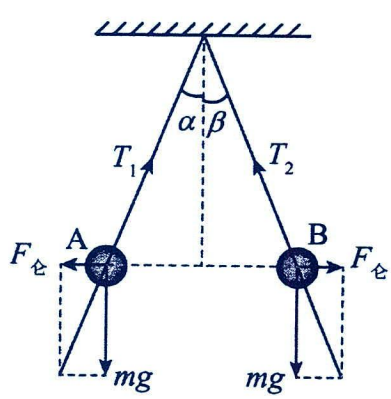
【详解】对两小球受力分析，如图所示

根据平衡条件有$\tan\alpha=\frac{F_仓}{mg}$，$\tan\beta=\frac{F_仓}{mg}$

因两小球的质量相等，则重力相等；

根据库仑定律，可知两小球所受到的库仑斥力大小相等，则有$\tan\alpha=\tan\beta$，

即α=β，与电荷量的大小无关。故选D。



【例 3】D

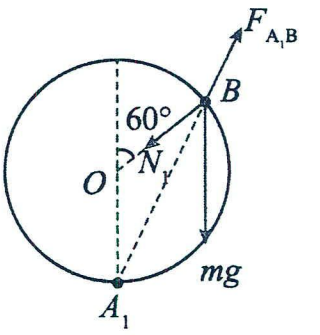
【详解】AB．P、Q 两物体均受到自身重力、斜面的支持力及它们之间水平方向库仑力的作用，且三力平衡，根据平衡条件可判断知，P、Q 的库仑力一定为引力，所以它们带异种电荷，但根据题目条件它们电荷量的大小关系不能确定。对 P、Q 两物体有 $\tan 30°=\frac{F_{库}}{m_1 g}$，$\tan 60°=\frac{F_{库}}{m_2 g}$，可得 P、Q 的质量之比是 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{\tan 60°}{\tan 30°}=\frac{3}{1}$

CD．由于斜面体和 P、Q 整体处于静止状态，整体在水平方向上不受外力的作用，可知水平面对斜面体底部没有摩擦力作用；在竖直方向上，根据平衡条件可得水平面对斜面体的支持力大小 $N=(M+m_1+m_2)g$

故 ABC 错误，D 正确。故选 D。

【例 4】A

【详解】对甲图中的小球 B 受力分析，如图所示



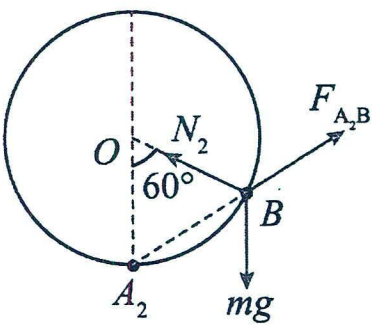
甲

由相似三角形可知 $\frac{mg}{R}=\frac{F_{A1B}}{A_1B}$

其中 $A_1B=2R\sin 60°=\sqrt{3}R$，$F_{A1B}=\frac{kqQ_1}{(A_1B)^2}$

联立可得 $Q_1=\frac{3\sqrt{3}mgR^2}{kq}$

同理对乙图小球 B 受力分析，如图



乙

由相似三角形可知 $\frac{mg}{R}=\frac{F_{A2B}}{A_2B}$

其中 $A_2B=R$，$F_{A2B}=\frac{kqQ_2}{(A_2B)^2}$

联立可得 $Q_2=\frac{mgR^2}{kq}$

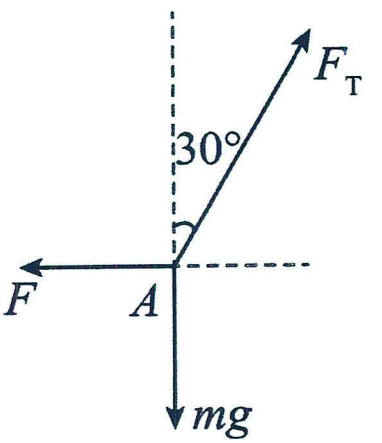
则 Q_1 与 Q_2 的大小关系为 $Q_1=3\sqrt{3}Q_2$

故选 A。

【跟踪训练】：AD　　B　　AD　　BD

1．AD

【详解】以小球 A 为研究对象，受力情况如图所示



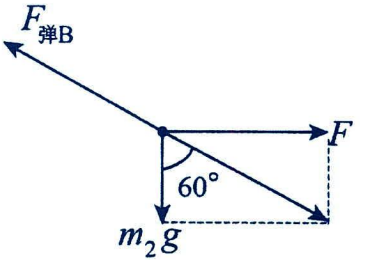
由共点力平衡条件得 $F_T\cos 30°=mg$、$F_T\sin 30°=F$

由库仑定律得 $F=k\frac{2q^2}{(l\sin 30°)^2}=\frac{8kq^2}{l^2}$

联立解得 $m=\frac{8\sqrt{3}kq^2}{gl^2}$，$F_T=\frac{16kq^2}{l^2}$

故选 AD。

2．B



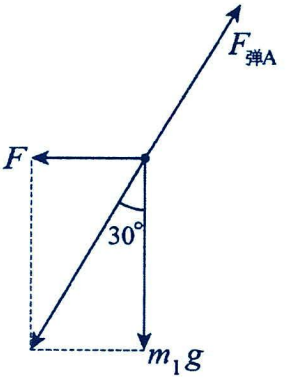
【详解】A．以 B 球为研究对象，受力分析如图所示

A、B 间库仑力大小为 $F=m_2g\tan 60°=\sqrt{3}m_2g$，故 A 错误；

B．以 A 球为研究对象，受力分析如图所示

A、B 间库仑力大小为 $F=m_1g\tan 30°=\dfrac{\sqrt{3}}{3}m_1g$，$F_{弹A}=\dfrac{m_1g}{\cos 30°}=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}m_1g$

故 B 正确；



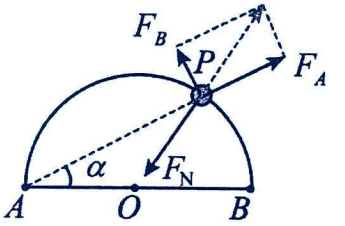
C．由几何关系可知，A、B 两球之间的距离为 2l，由库仑定律知 A、B 两球间库仑力大小为 $F=\dfrac{kq_1q_2}{(2l)^2}=\dfrac{kq_1q_2}{4l^2}$，故 C 错误；

D．由于库仑力结果为 $F=\dfrac{\sqrt{3}}{3}m_1g$，$F=\sqrt{3}m_2g$ 则 $\dfrac{m_1}{m_2}=\dfrac{3}{1}$，故 D 错误。

故选 B。

3．AD

【详解】AB．小球在 P 点受三个力 F_A、F_B 和 F_N 的作用而处于平衡状态，由几何知识可知 AP⊥BP，故 F_A 与 F_B 垂直



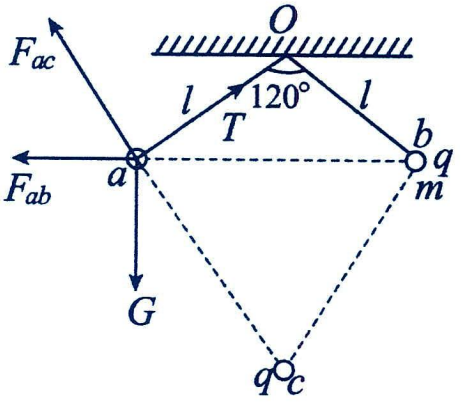
由库仑定律可得 $F_A=\dfrac{kQ_1q}{r_1^2}=\dfrac{kQ_1q}{(L\cos\alpha)^2}$，$F_B=\dfrac{kQ_2q}{r_2^2}=\dfrac{kQ_2q}{(L\sin\alpha)^2}$

又 $\tan\alpha=\dfrac{F_B}{F_A}$，联立解得 $\tan^3\alpha=\dfrac{Q_2}{Q_1}$，故 A 正确，B 错误；

CD．由受力图可知，$F_A>F_B$，$r_1>r_2$，所以 $Q_1>Q_2$，故 C 错误，D 正确。故选 AD。

4．BD

【详解】球 a 与球 b 间距为 $\sqrt{3}l$，对小球 a 受力分析，受重力、c 球对 a 球的斥力、b 球对 a 球的斥力和细线的拉力，如图所示



根据平衡条件，水平方向 $F_{ab}+F_{ac}\cos 60°=T\cos 30°$

竖直方向 $F_{ac}\sin 60°+T\sin 30°=mg$，其中 $F_{ab}=F_{ac}=k\dfrac{q^2}{(\sqrt{3}l)^2}$

解得 $T=mg=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\cdot\dfrac{kq^2}{l^2}$，故 BD 正确，AC 错误。故选 BD。

解答题：

【例 1】(1)90N；(2)2×10^{-4}C

【详解】（1）对 a、b 整体分析，由平衡条件有 $F=(m_1+m_2)g\tan 37°=72\text{N}$

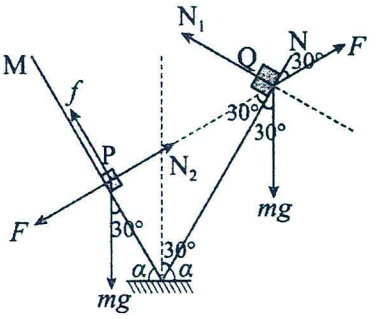
（2）对 b 分析，有 $F_{库}=\sqrt{F^2+(m_2g)^2}=90\text{N}$，由库仑定律有 $F_{库}=k\dfrac{q_1q_2}{d^2}$，得 $q_2=2\times10^{-4}\text{C}$

【例 2】(1)$\sqrt{\dfrac{mgd^2\tan\theta}{k}}$，正电；(2)$\sqrt{\dfrac{mgd^2}{k\tan\theta}}$，负电

【详解】（1）若绝缘细线对小球 A 的拉力刚好为零，则 B 对 A 是斥力作用，可知小球 B 带正电，对 A 由平衡可知$F=mg\tan\theta$，其中$F=k\dfrac{q^2}{d^2}$，解得小球 B 的带电量$q=\sqrt{\dfrac{mgd^2\tan\theta}{k}}$

（2）若小球 A 对斜面的压力刚好为零，则 B 对 A 是吸引力，可知小球 B 带负电，对 A 由平衡可知$F'=\dfrac{mg}{\tan\theta}$，其中$F'=k\dfrac{q'^2}{d^2}$，解得小球 B 的带电量$q'=\sqrt{\dfrac{mgd^2}{k\tan\theta}}$

【例 3】(1)$F=mg$；(2)$\dfrac{\sqrt{3}}{3}$



【详解】（1）滑块 Q 在光滑斜面 N 上静止，则 P 与 Q 带电同性，两者之间为库仑斥力设为F，两滑块的受力分析和角度关系如图所示。

由平衡条件可知，对 Q 滑块在沿着斜面方向有$mg\cos30°=F\cos30°$，可得$F=mg$

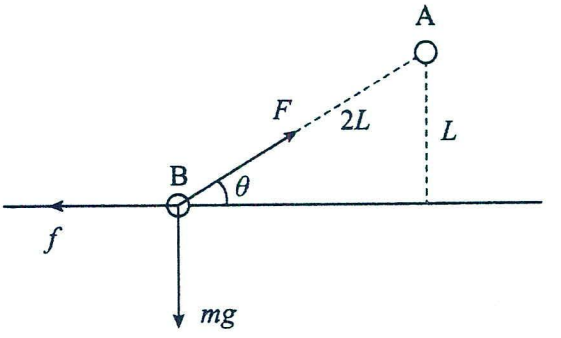
（2）而对 P 滑块动摩擦因数最小时有$N_2=F+mg\sin30°$，$f=\mu N_2$，$f=mg\cos30°$

解得$\mu=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$

【例 4】(1)$k\dfrac{Qq}{4L^2}$；(2)$\dfrac{\sqrt{3}kQq}{8mgL^2-kQq}$或$\dfrac{\sqrt{3}kQq}{kQq-8mgL^2}$

【详解】（1）两圆环间的库仑力大小为$F=k\dfrac{Qq}{(2L)^2}=k\dfrac{Qq}{4L^2}$

（2）对圆环 B 受力分析，受到指向 A 的库仑引力 F、重力、沿杆向左的摩擦力如图



由于F竖直向上的分力与圆环 B 的重力的大小关系未知，

所以，杆对 B 的弹力方向无法确定，当弹力竖直向上时，设为N，

则有几何关系可知$\sin\theta=\dfrac{L}{2L}=\dfrac{1}{2}$，解得$\theta=30°$

根据平衡条件可知$F\sin\theta+N=mg$，$F\cos\theta=f$，其中$f=\mu N$

联立，解得$\mu=\dfrac{\sqrt{3}kQq}{8mgL^2-kQq}$

当弹力竖直向下时，同理根据平衡条件可知$F\sin\theta=N'+mg$，$F\cos\theta=f'$，其中$f'=\mu'N'$

联立，解得，$\mu'=\dfrac{\sqrt{3}kQq}{kQq-8mgL^2}$。所以，圆环 B 与细杆间的动摩擦因数为$\dfrac{\sqrt{3}kQq}{8mgL^2-kQq}$或$\dfrac{\sqrt{3}kQq}{kQq-8mgL^2}$。

题型三：多个自由电荷的平衡问题

【精选例题】：B　　D　　B

【例 1】B

【详解】因为每个电荷都受到其余两个电荷的库仑力作用，且已知 A、B 两处电荷是异种电荷，对 Q_3 的作用力一个为引力，一个为斥力，所以为了使 Q_3 平衡，Q_3 不能放在 A、B 之间；由于 B 处电荷的电荷量 Q_2 较大，根据库仑定律知，Q_3 放在离 B 较远而离 A 较近的地方才有可能处于平衡状态，故 Q_3 应放在 A 的左方，要使 A、B 两处电荷也处于平衡状态，Q_3 必须带负电。故选 B。

【例 2】D

【详解】以 A、B、C 三个中的一个为研究对象，如以 B 为研究对象有：受到 A、C 的斥力作用，同时受到 D 点点电荷的引力作用，设三角形边长为 L，根据受力平衡得 $\frac{kQ^2}{L^2}\times\cos30°\times2=\frac{kQq}{r^2}$，其中 $r=\frac{\sqrt{3}}{3}L$，解得 $\frac{Q}{q}=\sqrt{3}$

故选 D。

【例 3】B

【详解】A．根据同一直线上三个点电荷能处于静止状态，三个电荷的电性关系具有“两同夹异”的特点，则若 a 带正电，则 b 带负电，选项 A 错误；

B．若小球 c 保持静止，则小球 a，b 在处形成的场强矢量和为零，有 $\frac{kq_a}{(3L)^2}=\frac{kq_b}{(2L)^2}$，解得 $|\frac{q_a}{q_b}|=\frac{9}{4}$，故 B 正确；

C．若小球 b 保持静止，则小球 a，c 在处形成的场强矢量和为零，有 $\frac{kq_a}{L^2}=\frac{kq_c}{(2L)^2}$，解得 $|\frac{q_a}{q_c}|=\frac{1}{4}$，故 C 错误；

D．若小球 a 保持静止，则小球 b，c 在处形成的场强矢量和为零，有 $\frac{kq_b}{L^2}=\frac{kq_c}{(3L)^2}$，解得 $|\frac{q_b}{q_c}|=\frac{1}{9}$，故 D 错误；

故选 B。

【跟踪训练】：B　　C　　C

1．B【详解】由于带异种电荷，每个下夸克对上夸克的吸引力 $F=\frac{k\frac{2}{3}e\times\frac{1}{3}e}{L^2}=\frac{2ke^2}{9L^2}$，

上夸克受两个下夸克的库仑力合力 $F_{合}=2F\cos\frac{60°}{2}=\frac{2\sqrt{3}ke^2}{9L^2}$ 方向指向圆心，故选 B。

2．C

【详解】A．三个点电荷都处于平衡状态，A、C 电性相同且与 B 相反，故 A 错误；

B．由题意可知 A、B 与 B、C 之间的距离之比 $\frac{r_{12}}{r_{23}}=\frac{3}{2}$，根据 B 受力平衡可得 $k\frac{q_1q_2}{r_{12}^2}=k\frac{q_2q_3}{r_{23}^2}$，得 $\frac{q_1}{q_3}=\frac{9}{4}$，B 错；

C．根据 A 受力平衡可得 $k\frac{q_1q_2}{r_{12}^2}=k\frac{q_1q_3}{(r_{12}+r_{23})^2}$，可得 $\frac{q_2}{q_3}=\frac{9}{25}$，故 C 正确；

D．根据 C 受力平衡可得 $k\frac{q_1q_3}{(r_{12}+r_{23})^2}=k\frac{q_2q_3}{r_{23}^2}$，可得 $\frac{q_1}{q_2}=\frac{25}{4}$，故 D 错误。故选 C。

3．C

【详解】A．P 对 MN 整体的合力为零，根据牛顿第三定律，MN 整体对 P 的合力也为零，故其它条件不变，将 P 释放，P 也能静止，故 A 正确；

B．对 M、N 整体受力分析，设 M 与 N 间距为 r，根据库仑定律，则有 $\frac{kqQ}{L^2}=\frac{kQ\cdot2q}{(L+r)^2}$，解得 $r=\left(\sqrt{2}-1\right)L$

故 B 正确；

C．小球 P 在 M 处产生的电场强度 $E_M = k\frac{Q}{L^2}$，小球 P 在 N 处产生的电场强度 $E_N = k\frac{Q}{(\sqrt{2}L)^2} = k\frac{Q}{2L^2}$

得 $E_M = 2E_N$，故 C 错误；

D．MN 整体对 P 的合力为零，说明 MN 整体在 P 电荷所在位置处的场强为零，小球 P 的电量增加为+2Q，依然不受力，根据牛顿第三定律，M、N 及细杆组成的系统所受合外力仍然为零，故 D 正确。

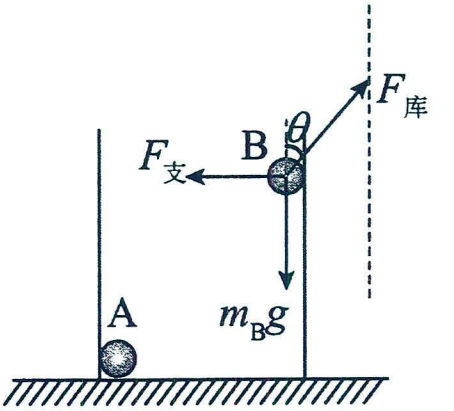
选错误的，故选 C。

题型四：库仑定律作用下的动态平衡问题

【精选例题】：AD　　D　　B

【例 1】AD

【详解】A．对 B 受力分析如图所示



由平衡条件可得 $F_{库} = \frac{m_B g}{\cos\theta}$（$\theta$ 为 $F_{库}$ 与竖直方向夹角）

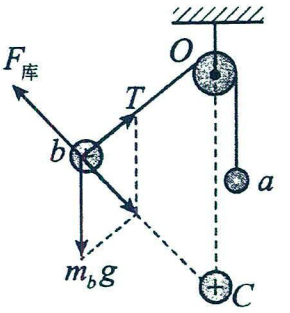
B 由于漏电而下降少许后重新平衡，θ 增大，故小球 A、B 间的库仑力变大，故 A 正确；

B D．筒壁对 B 的支持力为 $F_{支} = m_B g\tan\theta$，θ 增大，筒壁对 B 的支持力变大，由牛顿第三定律可知 B 对筒壁的压力变大，将小球 A、B 看成整体，水平方向受力平衡，可知筒壁对 A 的支持力等于筒壁对 B 的支持力，根据牛顿第三定律可知，小球 A 对筒壁的压力变大，故 B 错误，D 正确；

C．将小球 A、B 看成整体，竖直方向受力平衡，筒底对 A 的支持力等于小球 A、B 的重力之和，根据牛顿第三定律可知，小球 A 对筒底的压力不变，故 C 错误。故选 AD。

【例 2】D

【详解】A．对 b 球进行受力分析，受到轻绳的拉力 T、重力 $m_b g$ 和库仑力 $F_{库}$，如图。



由相似三角形可知 $\frac{T}{Ob} = \frac{m_b g}{OC} = \frac{F_{库}}{bC}$，其中 $T = m_a g$，$F_{库} = \frac{kq_b q_C}{bC^2}$

整理可得 $\frac{m_a g}{Ob} = \frac{m_b g}{OC} = \frac{kq_b q_C}{bC^3}$，由于 Ob < OC，因此 $m_a < m_b$，故 A 错误；

B．由 $m_a g$ 不变，可知 Ob 不变，库仑力减小，bC 减小，故球的轨迹是一段以 O 为圆心的圆弧，故 B 错误；

C．由于 q_b 减小，可知 bC 也减小，此过程中 b 球所受库仑力减小且方向改变，故 C 错误；

D．滑轮受到的轻绳的作用力大小均为 $m_a g$，大小不变，由于 bC 减小，可知两绳夹角减小，所以滑轮受到两绳的合力增大，故 D 正确。故选 D。

【例 3】B

【详解】根据库仑定律 $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$ 可知，如果将 A 和 B 所带电荷量都加倍，电荷间作用力将变为原来的 4 倍，两球距离将增大，弹簧伸长量 $x > x_0$，假设增加电荷量后系统平衡时弹簧伸长量为 $4x_0$，则弹簧弹力变为原来的 4 倍，但由于两球距离增大使电荷间作用力小于原来的 4 倍，两球距离将减小，弹簧伸长量 $x < 4x_0$。故选 B。

【跟踪训练】：BD　　D　　C　　A

1．BD

【详解】AB．对 A 球受力分析，受重力mg、拉力F、支持力N_1，静电力F_1，如图

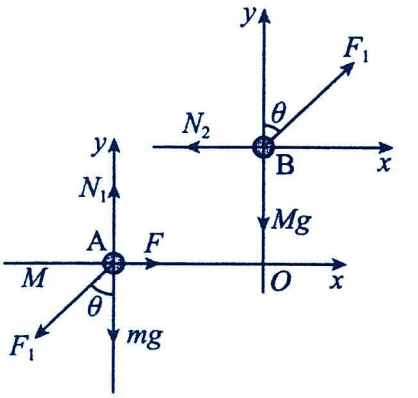
根据平衡条件，有x方向$F=F_1\sin\theta$①；y方向$N_1=mg+F_1\cos\theta$②

再对 B 球受力分析，受重力Mg、静电力F_1、杆对其向左的支持力，如图，

根据平衡条件，有：

x方向$F_1\sin\theta=N_2$③；y方向$F_1\cos\theta=Mg$④

有上述四式得到$F_1=\dfrac{Mg}{\cos\theta}$⑤；$N_1=mg+Mg$⑥



由于新位置两球连线与竖直方向夹角θ变小，故静电力F_1变小，故 AB 之间的距离变大，故 A 错误，B 正确；

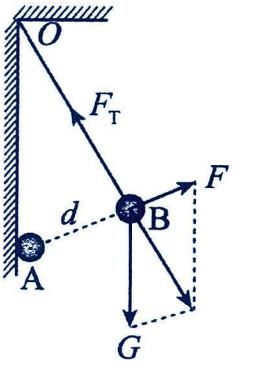
CD．由⑥式，水平杆对球 A 的支持力等于两个球的重力之和，不变，再结合牛顿第三定律可知，求 A 对水平杆的压力不变，故 C 错误，D 正确。

故选 BD。

2．D

【详解】AB．根据题意，对 B 受力分析，受重力、细线拉力和库仑力，如图所示

由相似三角形可得$\dfrac{G}{OA}=\dfrac{F_T}{OB}=\dfrac{F}{d}$，根据库仑定律$F=\dfrac{kQ_AQ_B}{d^2}$



可知，由于 B 球缓慢漏电，则 F 减小，由于 G、OA、OB 均不变，则 d 逐渐减小，F_T不变。故 AB 错误；

CD．根据 AB 分析可知，当 AB 间距离减为$\dfrac{d}{2}$时，库仑力减小到原来的$\dfrac{1}{2}$，

根据$F=\dfrac{kQ_AQ_B}{d^2}$可知，B 球的电荷量减小为原来的$\dfrac{1}{8}$。故 C 错误；D 正确。故选 D。

3．C

【分析】根据库仑定律及胡克定律列式分析，电荷量变化，库仑力变化，两球的距离变化，弹力变化，根据平衡条件列方程计算即可．

【详解】设弹簧的劲度系数为 K,原长为 x.当系统平衡时,弹簧的伸长量为 x_0，则有：$Kx_0=\dfrac{kQq}{(x+x_0)^2}$…①

A. 保持 Q 不变，将 q 变为 2q 时，平衡时有：$Kx_1=\dfrac{2kQq}{(x+x_1)^2}$…②

由①②解得：$x_1<2x_0$，故 A 错误；

B. 同理可以得到保持 q 不变，将 Q 变为 2Q，平衡时弹簧的伸长量小于 $2x_0$，故 B 错误；

C. 保持 Q 不变,将 q 变为−q，如果缩短量等于 x_0，则静电力大于弹力，故会进一步压缩弹簧，故平衡时弹簧的缩短量大于 x_0，故 C 正确；

D. 保持 q 不变，将 Q 变为−Q，如果缩短量等于 x_0，则静电力大于弹力，故会进一步压缩弹簧，故平衡时弹簧的缩短量大于 x_0，故 D 错误。故选 C

4．A

【详解】设弹簧的原长为L_0，C球的电量为q，C分别与A和B依次接触之后移去小球C，根据电荷接触平分原理，可得$q_A=\frac{q}{2},q_B=\frac{q}{4},q_C=\frac{q}{4}$；对小球A，由库仑力和弹力二力平衡可知$kx_1=k_0\frac{q_Aq_B}{(L_0+x_1)^2}$

将移走的小球C与A接触之后再次移去小球C，则$q'_A=\frac{\frac{q}{4}+\frac{q}{2}}{2}=\frac{3}{8}q$，由平衡条件得$kx_2=k_0\frac{q'_Aq_B}{(L_0+x_2)^2}$

联立可得$\frac{x_1}{x_2}=\frac{4(L_0+x_2)^2}{3(L_0+x_1)^2}$，根据前面的分析知$q_Aq_B=\frac{1}{8}q^2>q'_Aq_B=\frac{3}{32}q^2$

假定保持伸长量不变，则第二次的库仑力减小，弹簧力减小，故$x_2<x_1$

故$\frac{x_1}{x_2}=\frac{4(L_0+x_2)^2}{3(L_0+x_1)^2}<\frac{4(L_0+x_1)^2}{3(L_0+x_1)^2}=\frac{4}{3}$，比较四个选项只有A项$\frac{10}{9}<\frac{4}{3}$。故选A。

题型五：库仑定律作用下的动力学问题

【精选例题】：C　　A　　C

【例1】C

【详解】将圆环分成无数个正点电荷,再用点电荷场强公式和场强叠加原理求出v_0方向所在直线上的场强分布即可.由场强叠加原理易知,把带电圆环视作由无数个点电荷组成,则圆环中心处的场强为0,v_0所在直线的无穷远处场强也为0,故沿v_0方向从圆心到无穷远处的直线上必有一点场强最大.从O点沿v_0方向向右的直线上各点的场强方向处处向右.再由对称性知,沿v_0方向所在直线上的O点左方也必有一点场强最大,无穷远处场强为零,方向处处向左.故电子在带电圆环所施加的电场力作用下将向右减速至零,再向左运动,当运动到O点处时,速度大小仍为v_0,并向左继续运动至速度也为零(这点与O点右方的速度为零处关于O点对称),然后往复运动.在整个运动过程中,$F_{电}$是个变力,故加速度也是变化的，故C正确，ABD错误。

【例2】A

【详解】依题意，未剪断小球A与O点间的绝缘细线时，有$F=(M+m)g$

剪断后，小球A处于失重状态，有$(M+m)g-F=ma$，又$mg+\frac{kq_Aq_B}{r^2}=ma$

在小球A下落过程中，两小球之间的距离逐渐减小，二者之间的库仑力增大，导致小球A的加速度增大，所以绝缘轻绳OD上拉力F的大小逐渐变小，且满足$F<(M+m)g$，故选A。

【例3】C

【详解】A．运动过程中A、B两球之间的距离保持不变，所以A、B两球之间的电势能保持不变，故A错误；

B．对两球整体分析，两球一起向上做匀加速运动，设加速度为a，根据牛顿第二定律可得$F-2mg\sin\theta=2ma$

解得$a=\frac{1}{2}g$，故B错误；

C．设A球的带电量为q，对A球研究，根据牛顿第二定律有$k\frac{q^2}{L^2}-mg\sin\theta=ma$，解得$q=L\sqrt{\frac{mg}{k}}$，故C正确；

D．撤去力F的瞬间，A球的受力保持不变，所以A球的加速度保持不变，故D错误。故选C。

【跟踪训练】：AC　　BD　　3．（1）2q，C 球带负电；（2）$\frac{3\sqrt{3}kq^2}{l^2}$

1．AC

【详解】A．由于剪断细线的一瞬间，B 球加速度大小为 0.6g，小于重力加速度 g，说明两球相互吸引，所以带异种电荷，根据牛顿第二定律，有 $mg-F_{库}=ma$，解得 $F_{库}=0.4mg$，故 A 正确；

B．细线未断时，对 B 球，根据平衡条件，有 $F+F_{库}=mg$，可得细线上拉力大小为 $F=0.6mg$，故 B 错误；

C．由 $0.4mg=k\frac{q^2}{L^2}$，解得 $q=L\sqrt{\frac{2mg}{5k}}$，故 C 正确；

D．未剪断细线时释放 A 球，释放的一瞬间，A 球受到向下的重力、库仑力，因此 A 球加速度大小大于 g，故 D 错误。故选 AC。

2．BD

【详解】AB．三球一起向右匀加速直线运动，可知 A、B 球受到的库仑力水平向右，则 C 球带负电；

D．对 A 球，根据牛顿第二定律 $k\frac{3q\cdot q_C}{(3L)^2}-k\frac{3q\cdot q}{L^2}=ma$；对 B 球，根据牛顿第二定律 $k\frac{q\cdot q_C}{(2L)^2}+k\frac{3q\cdot q}{L^2}=ma$

解得 $q_C=72q$，$a=\frac{21kq^2}{mL^2}$，故 D 正确；

C．以三个小球为整体，根据牛顿第二定律 $F=3ma=63k\frac{q^2}{L^2}$，故 C 错误。故选 BD。

3．（1）2q，C 球带负电；（2）$\frac{3\sqrt{3}kq^2}{l^2}$

【详解】（1）设 C 球所带的电荷量为 Q，对 A 球沿 BA 方向根据平衡条件可得 $\frac{kQq}{l^2}\cos60°=\frac{kq^2}{l^2}$，

解得 Q＝2q，C 球带负电

（2）设三个小球的加速度都是 a，根据牛顿第二定律和库仑定律，对 A 球受力分析可知 $\frac{kQq}{l^2}\sin60°=ma$

解得 $a=\frac{\sqrt{3}kq^2}{ml^2}$；对整体受力分析可知 F＝3ma，解得 $F=\frac{3\sqrt{3}kq^2}{l^2}$

题型六：库仑力作用下的曲线运动

【精选例题】：D　　D　　AC　　ACD

【例 1】D

【详解】A．点电荷 2 在从 P 点到 M 点的过程中，库仑力一直做负功，A 错误；

B．点电荷 2 从 P 点运动到 Q 点的过程中电场力做负功速度减小，故点电荷 2 在 Q 点的速度比在 P 点的小；

C．点电荷 2 从 P 点运动到 M 点的速度大于从 M 点运动到 Q 点的速度，从 P 点运动到 M 点所用的时间小于 $\frac{T_0}{4}$；

D．点电荷 2 在从 P 点经过 M、Q 点运动到 N 点的过程中有库仑力对其做功机械能不守恒，D 正确.故选 D。

【例 2】D

【详解】AB．若 A、B 带同种电荷，则 A 对 B 有斥力作用，且斥力方向和速度方向夹角越来越小，速度增大，两球间距离越来越大，静电力越来越小，所以加速度越来越小，故 AB 错误；

C．若 A、B 带异种电荷，B 受到的静电力指向 A 球，力的大小或方向肯定有一个发生变化，加速度一定变化，不可能做匀变速运动，故 C 错误；

D．当静电力恰好等于 B 绕 A 做匀速圆周运动需要的向心力，B 球做匀速圆周运动，所以 B 球可能做速度大小和加速度大小都不变的曲线运动，故 D 正确。故选 D。

【例 3】AC

【详解】AB．对小球 B 受力分析可知 $F\sin 30^\circ = mg$，两小球间的库仑力大小 $F = 2mg$

小球 A 做匀速圆周运动的向心力大小为 $F_n = F\cos 30^\circ = \sqrt{3}mg$，选项 A 正确,B 错误；

C．小球做圆周运动的半径为 $\sqrt{3}h$，根据向心力公式有 $\sqrt{3}mg = \dfrac{mv^2}{\sqrt{3}h}$

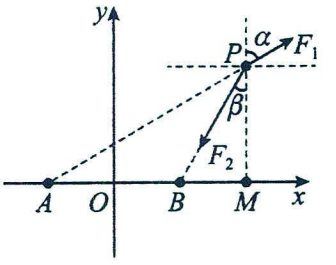
解得小球 A 做匀速圆周运动的线速度大小为 $v = \sqrt{3gh}$，选项 C 正确；

D．根据库仑定律 $F = k\dfrac{Q_A Q}{(2h)^2}$，可以解得小球 A 所带的电荷量为 $Q_A = \dfrac{8mgh^2}{kQ}$，选项 D 错误。故选 AC。

【例 4】ACD

【详解】AB．因为带电粒子以 M 为圆心做匀速圆周运动，则 A、B 位置固定的两电荷对带电粒子的合力提供向心力，合力方向指向 M 点，由力的合成可知，只有当 A 带正电、B 带负电才能满足要求，A 正确，B 错误；

CD．如图所示，对圆周上的一点 P，由库仑定律有 $F_1 = k\dfrac{Q_1 q}{(2\sqrt{3}a)^2}, F_2 = k\dfrac{Q_2 q}{(2a)^2}$



满足 $F_1\sin\alpha = F_2\sin\beta, F_2\cos\beta - F_1\cos\alpha = m\dfrac{v^2}{\sqrt{3}a}$

由几何关系知 $\alpha = 60^\circ$、$\beta = 30^\circ$

联立解得 $Q_1 : Q_2 = \sqrt{3} : 1, v = \dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{kQ_2 q}{ma}}$，CD 正确。故选 ACD。

【跟踪训练】：BD　　C　　BC　　B

1．BD

【详解】A．B 球受到重力、库仑力两个力作用，两个力的合力提供向心力，A 错误；

D．由几何关系可知，AB 连线与竖直方向夹角为 30°，

根据力的合成可得 B 球做圆周运动的向心力大小为 $F_n = mg\tan 30^\circ$

设 B 球转动的角速度为ω，根据向心力公式有 $F_n = m\omega^2 R$，联立解得 $\omega = \sqrt{\dfrac{\sqrt{3}g}{3R}}$，D 正确；

C．A、B 间库仑力大小可表示为 $F_{库} = \dfrac{mg}{\cos 30^\circ} = k\dfrac{QQ_B}{(2R)^2}$，解得 $Q_B = \dfrac{8\sqrt{3}mgR^2}{3kQ}$，C 错误；

B．将 A、B 视为一个整体，天花板对 A 球的作用力在竖直方向的分力大小等于整体的重力大小，在水平方向的分力提供 B 球做匀速圆周运动的向心力，则天花板对 A 球的作用力大小为 $F = \sqrt{(2mg)^2 + F_n^2} = \dfrac{\sqrt{39}mg}{3}$，B 正确。

故选 BD。

2．C

【详解】AB．小球 1 受重力、水平向左的库仑斥力和丝线的拉力，则由力的平衡条件可知 $F_1=m_1g\tan\alpha$

同理对小球 2 得 $F_2=m_2g\tan\beta$，两小球 1、2 间的库仑斥力相等，则由 $F_1=F_2$，解得 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{\tan\beta}{\tan\alpha}=\frac{1}{\sqrt{3}}$

由于两小球间的库仑力是相互作用力，由库仑定律无法确定电荷量的关系，AB 错误；

C．丝线断后两小球在竖直方向上只受重力作用，则两小球在竖直方向上做自由落体运动，又由于下落的高度相同，由公式 $h=\frac{1}{2}gt^2$，两小球同时落地，在水平方向上两小球做加速运动，又由牛顿第二定律 $a=\frac{F}{m}$，

两小球在水平方向上的加速度之比为 $\sqrt{3}:1$，所以小球 1、2 的落地点到释放点的水平距离之比为 $\sqrt{3}:1$，C 正确；

D．由 C 选项分析可知，两小球落地瞬间竖直方向的分速度相等，水平方向的分速度之比为 $\sqrt{3}:1$，显然两小球落地瞬间的速度大小关系不能确定，D 错误。故选 C。

3．BC

【详解】A．以试探电荷为研究对象，其做匀速圆周运动，两正点电荷对其静电力的合力提供向心力，做匀速圆周运动所需的向心力大小为 $F=\frac{2kQq\cos\theta}{\left(\frac{h}{\sin\theta}\right)^2}=\frac{\sqrt{3}kQq}{4h^2}$，A 项错误；

B．θ越大，越靠近 O 点，由等量同种点电荷产生的电场可知，电场强度可能变小，所以将θ增大向心力有可能变小，B 项正确；

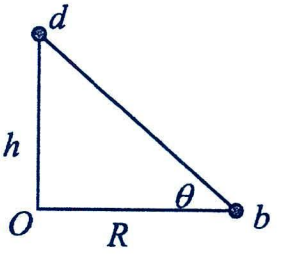
C．由 $F=m\omega^2\cdot\frac{h}{\tan\theta}$，可得负点电荷做匀速圆周运动的角速度 $\omega=\frac{1}{2h}\sqrt{\frac{kQq}{mh}}$，C 项正确；

D．AO 之间的电场强度方向向左，电场力向右，接着由 O 到 B，电场力反向，故先加速后减速运动，到 B 点速度为零，D 项错误。故选 BC。

4．B

【详解】A．a、b、c 三球为完全相同的带电小球，而要使三球做匀速圆周运动，d 球与 a、b、c 三球所带电荷一定为异种电荷，由于不知道 a、b、c 三球的电性，因此不能确定 d 球电性，故 A 错误；

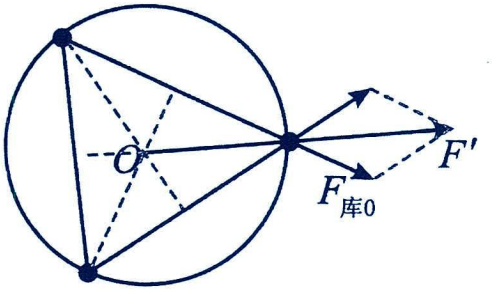
BC．设 bd 连线与水平方向的夹角为 θ，两球在竖直平面内与平面圆心 O 构成的几何图形如图

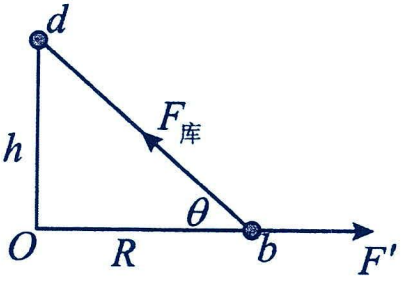


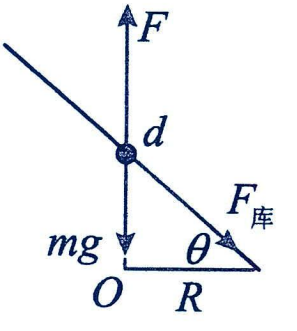
则根据几何关系可得 $\cos\theta=\frac{R}{\sqrt{h^2+R^2}}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，根据三角函数关系可得 $\sin\theta=\sqrt{1-\cos^2\theta}=\frac{\sqrt{6}}{3}$

对 b 球，在水平面内受到 a、c 两球的库仑力 $F_{库0}$，在竖直平面内受到 d 球对其的库仑力 $F_{库}$，

其几何关系及受力分析如图所示







可得 $F_{库0}=k\frac{q^2}{(2R\cos 30^\circ)^2}$，$F'=2k\frac{q^2}{(2R\cos 30^\circ)^2}\cos 30^\circ$，$F_{库}=k\frac{6q\cdot q}{h^2+R^2}$

对 b 球，根据牛顿第二定律有 $k\frac{6q\cdot q}{h^2+R^2}\cos\theta-2k\frac{q^2}{(2R\cos 30^\circ)^2}\cos 30^\circ=m\frac{4\pi^2}{T^2}R=ma$

解得 $T=\frac{2\pi R}{q}\sqrt{\frac{\sqrt{3}Rm}{k}}$，$a=\frac{\sqrt{3}kq^2}{3R^2m}$，故 B 正确，C 错误；

D．对 d 球，其与平面内任意一个小球之间的几何关系即其受力分析如图所示

外力 F 竖直向上，根据平衡条件可得 $F=mg+3F_{库}=mg+3k\frac{6q\cdot q}{h^2+R^2}\sin\theta=mg+\frac{2\sqrt{6}kq^2}{R^2}$，故 D 错误。故选 B。

题型七：静电力的合成问题

【精选例题】：D　　A　　C

【例 1】D

【详解】将图乙中的均匀带电 $\frac{3}{4}$ 球壳分成三个 $\frac{1}{4}$ 带电球壳，关于球心对称的两个 $\frac{1}{4}$ 带电球壳对点电荷的库仑力的合力为零，因此乙图中带电的 $\frac{3}{4}$ 球壳对点电荷的库仑力的大小和甲图中均匀带电 $\frac{1}{4}$ 球壳对点电荷的库仑力的大小相等，故 D 正确，ABC 错误。

故选 D。

【例 2】A

【详解】在带电圆环上取一小段长度Δx，则该小段长度圆环带电量为 $\Delta q=\frac{\Delta x}{2\pi R}Q$

该小段带电圆环对带电小球的库仑力为 $\Delta F=k\frac{Q\cdot\Delta q}{L^2}$

该库仑力的竖直分力为 $\Delta F_y=k\frac{Q\cdot\Delta q}{L^2}\cos\alpha=k\frac{Q\cdot\Delta q}{L^2}\frac{h}{L}$

其合力为 $\sum\Delta F_y=\sum k\frac{Q\cdot\Delta q}{L^2}\frac{h}{L}=k\frac{hQ}{L^3}\sum\Delta q=\frac{khQ^2}{2\pi RL^3}\sum\Delta x=\frac{khQ^2}{L^3}=mg$

解得 $h=\frac{mgL^3}{kQ^2}$，故选 A。

【例 3】C

【详解】根据题意结合球的体积公式可知，被割去的小球所带电荷量为 $\frac{Q}{8}$，利用割补法可得该点电荷所受电场力的大小为 $F=k\frac{Q^2}{4R^2}-k\frac{Q\cdot\frac{Q}{8}}{\left(\frac{3}{2}R\right)^2}=\frac{7kQ^2}{36R^2}$，故选 C。

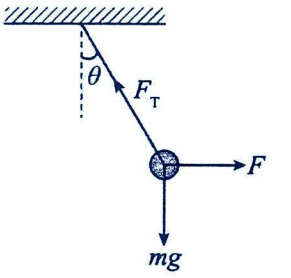
【跟踪训练】：C　　C

1．C

【详解】A．因为带电圆环 A 距离带电小球较近，故不能将其看成点电荷，故不能使用库仑定律求小球受到的库仑力，故 A 错误；

B．把圆环 A 分成无数小段，取环上任取一点，可看作点电荷Δq，Δq 对小球的库仑力为 $F=\frac{k\Delta q\times q}{r^2}\cos^2\alpha$

求出圆环上各点电荷对小球的库仑力的合力为 $F_{合}=\frac{kQq}{r^2}\cos^3\alpha$，故 B 错误；



CD．小球受到的重力竖直向下、静电力方向向右，小球的受力情况如图，

由平衡条件得 $F=mg\tan\theta$，故 C 正确，D 错误。故选 C。

2．C

【详解】根据题意结合球的体积公式可知，被割去的两个小球所带电荷量均为 $\frac{Q}{8}$，

利用割补法可得两球剩余部分之间的静电力大小为 $F=k\frac{Q^2}{4R^2}-k\frac{Q\cdot\frac{Q}{8}}{\left(\frac{3}{2}R\right)^2}-\left(k\frac{Q\cdot\frac{Q}{8}}{\left(\frac{3}{2}R\right)^2}-k\frac{\frac{Q}{8}\cdot\frac{Q}{8}}{R^2}\right)=\frac{89kQ^2}{576R^2}$，故选 C。

题型八：库仑定律作用下的能量问题

【精选例题】：BC　　ACD　　D

【例 1】BC

【详解】A．小球运动到 B 点时受重力、支持力、库仑力三个力的作用，故 A 错误；

B．设小球通过轨道最低点时的速度大小为 v，以轨道最低点所在的水平面为参考平面，小球从 A 到 B 的过程中只有重力做功，根据机械能守恒定律得 $mgR=\frac{1}{2}mv^2$，解得 $v=\sqrt{2gR}$，故 B 正确；

CD．以小球为研究对象，重力、支持力与库仑力的合力提供向心力，根据牛顿第二定律得 $N-mg-k\frac{q_1q_2}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$

解得 $N=3mg+k\frac{q_1q_2}{R^2}$，所以则小球在 B 点对轨道的压力为 $3mg+k\frac{q_1q_2}{R^2}$，故 C 正确，D 错误。故选 BC。

【例 2】ACD

【详解】A、质量不等两点电荷在库仑引力的作用下运动，初始时刻 A 的加速度为 a，经过一段时间后，B 的加速度也为 a，说明经过一段时间后 A 的加速度应为 2a，两点电荷应该相互靠近，相互吸引，A、B 两球带异种电荷，故 A 正确.

B、设 A 电荷电量为 q，B 电荷电量为 Q，当 A 的加速度为 a 时，AB 间的库仑力为 $\frac{\kappa qQ}{d^2}$=ma

当 B 的加速度为 a 时，AB 间的库仑力为 $\frac{\kappa qQ}{l^2}$=2ma，可得：l=$\frac{\sqrt{2}}{2}$d，故 B 错误.

C、设 B 的加速度为 a 时，速度为 v，此时 A 的速度为 v′，由系统动量守恒有：0=mv′-2mv，可得 v′=2v，C 对.

D、由系统动量守恒可知，每时每刻 A 的速度都是 B 的 2 倍，相距 d 的两个点电荷 A、B 相遇时 B 发生的位移应为 $\frac{d}{3}$，故 D 正确。故选 A、C、D.

【例 3】D

【详解】A．A 球受到库仑力 F_A、绳子拉力和重力而处于平衡态，由平衡条件得库仑力大小为 $F_A=m_Ag\tan\theta_1$

同理 B 受到的库仑力为 $F_B=m_Bg\tan\theta_2$，两球间的库仑力大小相等、方向相反，因此 $m_A:m_B=\tan\theta_2:\tan\theta_1$

故 A 错误；

B．两个小球间的库仑力总是大小相等，与两小球带电量大小无关，因此无法求出两球间电量的关系，B 错误；

CD．设 A 球细线长度为l_A，A 球下摆的过程中，摆到最低点时速度最大为v_A，由机械能守恒，

则$m_A g l_A(1-\cos\theta_1)=\frac{1}{2}m_A v_A^2$

设 B 球细线长度为l_B，B 球下摆的过程中，摆到最低点时速度最大为v_B，由机械能守恒，

则$m_B g l_B(1-\cos\theta_2)=\frac{1}{2}m_B v_B^2$，联立解得$\frac{v_A}{v_B}=\frac{\sqrt{\frac{1}{\cos\theta_1}-1}}{\sqrt{\frac{1}{\cos\theta_2}-1}}$，故 C 错误，D 正确。故选 D。

【跟踪训练】：B　　BD　　BC

1．B

【详解】A．由图可知，B 小球受到球 A 向右的斥力，所以两球带同种电荷，故 A 错误；

B．小球 B 受力平衡，所以$E\cdot\frac{q}{2}=mg\tan\theta$，则椭圆形球 A 在小球 B 处产生的电场强度大小为$E=\frac{2mg\tan\theta}{q}$

故 B 正确；

C．剪断轻绳后，小球 B 在水平方向和竖直方向上均做加速运动，其运动轨迹不会是抛物线的一部分，故 C 错；

D．若 A 的电荷量逐渐减小为 0 的过程中，对 B，根据动能定理可得$W_{电}+mgL(1-\cos\theta)=0$

则电场力对 B 做的功为$W_{电}=-mgL(1-\cos\theta)$，故 D 错误。故选 B。

2．BD

【详解】A．根据图 b 可知，0 时刻开始，甲做加速运动，乙做减速运动，可知，两电荷之间是斥力作用，即两电荷的电性相同，故 A 错误；

B．根据图 b 可知，t_1时刻之前，甲做加速运动，乙做减速运动，甲的速度小于乙的速度，两者间距逐渐减小，库仑斥力做负功，系统电势能增大，t_1时刻之后，甲做加速运动，乙先向左减速至 0，后向右加速运动，两者间距逐渐增大，库仑斥力做正功，系统电势能减小，即 0~t_3时间内，两电荷组成的系统的电势能先增大后减小，故 B 正确；

C．0~t_1时间内，根据动量守恒定律有$m_乙 v_0=(m_甲+m_乙)v_1$，代入数据解得$m_甲:m_乙=2:1$，故 C 错误；

D．根据上述可知，t_1时刻两电荷间距离最小，此后两者相距越来越远，故 D 正确。故选 BD。

3．BC

【详解】A．球 3 原来静止，迅速移走球 1 后，球 3 沿斜面向下运动，说明 1、3 之间原来是斥力，球 3 带正电，故 A 错误；

B．由几何关系知，球 1 球 2 球 3 初始位置为一正三角形，球 3 运动至 O 点过程中库仑力不做功，由动能定理得$mgL\sin30^\circ=\frac{1}{2}mv^2$，解得$v=\sqrt{gL}$，故 B 正确；

C．设球 3 电量为 Q，对 P 点的球 3 受力分析，在沿斜面方向有$k\frac{2Qq}{L^2}=mg\sin30^\circ+k\frac{Qq}{L^2}\cos60^\circ$

对 O 点的球 3 受力分析，在沿斜面方向有$mg\sin30^\circ-k\frac{Qq}{L^2}\cos60^\circ=ma$，联立解得$a=\frac{g}{3}$，故 C 正确；

D．运动至 OP 中点时，在垂直斜面方向有 $mg\cos 30^\circ = k\frac{Qq}{\left(L\sin 60^\circ\right)^2}+F_N$，解得 $F_N=\frac{9\sqrt{3}-8}{18}mg$

根据牛顿第三定律可得运动至 OP 中点时球 3 对斜面的压力大小为 $\frac{9\sqrt{3}-8}{18}mg$，故 D 错误。故选 BC。

题型九：探究库仑定律

【精选例题】：B　　2．(1)减小　　增大；(2)C；(3)　　偏大

【例 1】B

【详解】AB．若仅将 C 的电荷量减为原来的一半，根据 $F=k\frac{Q_AQ_C}{r^2}$，可知 F 变为原来的一半，转动的角度 α 与力 F 的大小成正比，所以 α 为原来的一半，故 A 错误，B 正确；

C．若仅将 A、C 间的距离增为原来的一倍，则 F 变为原来的 $\frac{1}{4}$，转动的角度 α 与力 F 的大小成正比，所以 α 为原来的 $\frac{1}{4}$，故 C 错误；

D．若仅将 A、C 间的距离减为原来的一半，则 F 为原来的 4 倍，转动的角度 α 与力 F 的大小成正比，所以 α 为原来的 4 倍，故 D 错误。故选 B。

【例 2】(1)减小　增大；(2)C；(3)偏大　由电荷间的相互作用可知，同种电荷相互排斥，故实验中两个带正电小球在排斥力作用下，正电荷分别集中在球的两外侧，故实际电荷间距 r>3R，由 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 可知，两电荷电荷量不变时，r 越大 F 越小，故计算结果偏大。

【详解】（1）[1]在丝线上的带电小球 B 先后挂在如图甲中横杆上的 P_1、P_2、P_3 位置，小球 B 平衡后丝线偏离竖直方向的夹角依次减小，由此可得，两小球所带电量不变时，距离增大，两小球间静电力减小；

[2]使小球 B 处于同一位置，增大小球 A 所带的电荷量，小球 B 平衡时丝线偏离竖直方向的夹角增大，由此可得，两小球距离不变时，电荷量增大，两小球间静电力增大；

（2）图甲中先保持带电小球的电荷量不变，把系在丝线上的带电小球先后挂在横杆上的 P_1、P_2、P_3 位置，改变两个小球之间的距离，比较库仑力的大小；后来保持小球之间的距离不变，改变小球所带的电荷量大小，分析小球之间的库仑力，所以实验采用的方法是控制受量法，故 C 正确，ABD 错误；

（3）[1]则该同学的计算结果偏大;

[2]由电荷间的相互作用可知，同种电荷相互排斥，故实验中两个带正电小球在排斥力作用下，正电荷分别集中在球的两外侧，故实际电荷间距 r>3R 大，由 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 可知，两电荷电荷量不变时，r 越大 F 越小，故计算结果偏大。

【跟踪训练】：

1．B　　D　　力 F 和 A、C 间距离 r 的平方成反比

【详解】①[1] 通过细丝扭转的角度可以比较力的大小，这里用到的实验方法为微小量放大法。故选 B。

②[2] 保持电荷量不变，改变 A 和 C 的距离，得到相互作用力 F 和 A、C 间距离 r 的关系，用到的实验方法为控制变量法。故选 D。

③[3] 由实验结论可知，力 F 和 A、C 间距离 r 的平方成反比。

考点三：电场强度

题型一：概念辨析

【精选例题】：B　　A

【例 1】B

【详解】A．$E=\frac{F}{q}$是电场强度的定义式，适用于任何电场，故 A 错误；

B．沿电场线的方向电势一定降低，故 B 正确；

C．匀强电场中电场强度处处相同，正、负电荷在其中受力方向不同，大小还与电荷量大小有关，故 C 错误；

D．当两个电荷之间的距离趋近于零时，库仑定律不再适用，故 D 错误。故选 B。

【例 2】A

【详解】ABC．电场强度反映了电场的力的性质，表示电场本身的强弱和方向，与检验电荷有无无关．故 A 正确，BC 错误；

D．正试探电荷所受电场力方向与电场强度方向相同，负试探电荷所受电场力方向与电场强度方向相反，故 D 错误。故选 A。

【跟踪训练】：C　　B

1．C

【详解】AB．N/C 和 V/m 都是电场强度的导出单位，AB 均错误；

CD．根据导出单位与基本单位的关系可得 N/C=$\frac{\text{kg•m/s}^2}{\text{A•s}}=\frac{\text{kg•m}}{\text{A•s}^3}$，C 正确，D 错误。故选 C。

2．B

【详解】A．电场看不见，摸不着，但电场实际存在，故 A 错误；

B．每个电荷在周围空间会产生电场，对放入其中的电荷有力的作用，反之亦然，故电荷间的相互作用是通过电场发生的，故 B 正确；

C．$E=\frac{F}{q}$为电场强度的定义式，E 与 F、q 无关，与电场的本身属性有关，故 C 错误；

D．$E=\frac{kQ}{r^2}$是点电荷产生的电场强度的决定式，E 与场源电荷 Q 成正比，与 r^2 成反比，与检验电荷无关，所以放入电场中某点的检验电荷电荷量 Q 越大，则该点的电场强度不变，故 D 错误。故选 B。

题型二：简单计算

【精选例题】：C　　C

【例 1】C

【详解】某点的电场强度与该点放不放电荷、所放电荷的正负及电荷量多少无关。故选 C。

【例 2】C

【详解】A．由于试探电荷带负电，故电场强度方向与电场力方向相反，故 A 错误；

B．根据点电荷电场强度公式可得 M 点的场强大小为$E=k\frac{q_1}{r^2}$，故 B 错误；

C．根据电场强度的定义式可得 M 点的电场强度大小为$E=\frac{F}{q_2}$，故 C 正确；

D．电场强度是电场本身的性质，与放不放电荷，放什么电荷均无关，故 D 错误。故选 C。

【跟踪训练】：C　　B

1．C

【详解】AB．由A处试探电荷的$F-q$图像可得，该处的场强大小为$E_1=\frac{F_1}{q_1}=4\times10^5\mathrm{N/C}$，方向沿$x$轴正方向；

同理可得，B处的场强大小为$E_2=\frac{F_2}{q_2}=0.25\times10^5\mathrm{N/C}$，方向沿$x$轴负方向，A、B错误；

CD．由A、B的分析可知，点电荷Q应为负电荷，且在A、B之间，设Q到A点的距离为l，由点电荷的场强公式可得$E_1=k\frac{Q}{l^2}=4\times10^5\mathrm{N/C}$，$E_2=k\frac{Q}{(l_{AB}-l)^2}=\frac{1}{4}\times10^5\mathrm{N/C}$，联立解得$l=0.1\mathrm{m}$

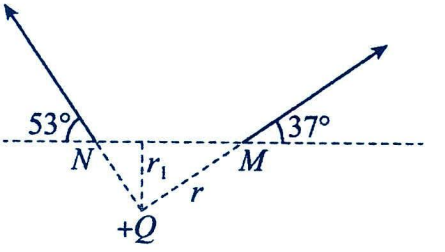
故点电荷Q的位置坐标为0.3m，C正确，D错误。故选C。

2．B

【详解】点电荷产生的电场线是直线，故图中两条电场线的反向延长线交点为场源电荷位置，由于电场线向外，故场源电荷带正电，如图

设M距离场源电荷距离为r，场源电荷为+Q，则根据点电荷产生的电场强度公式$E=\frac{kQ}{r^2}$

可知M点的电场强度为$E=\frac{kQ}{r^2}=360\mathrm{N/C}$



在M、N两点的连线上，点电荷q受到的电场力最大，则电场强度最大，则距离场源电荷距离最短，分析可知最短为$r_1=r\cos53°$

故电场强度最大值$E_0=\frac{kQ}{r_1^2}$，所以点电荷q受到的电场力最大为$F_0=E_0q$

联立以上，代入数据整理得$F_0=1\times10^{-3}\mathrm{N}$，故B正确，ACD错误。故选B。

题型三：点电荷的场强叠加

【精选例题】：C　　B　　AD　　A　　C　　B

【例1】C

【详解】设正方体的边长为L，A点与AB连线中点的距离为$r_1=\frac{\sqrt{L^2+L^2+L^2}}{2}=\frac{\sqrt{3}}{2}L$，

A点与AC连线中点的距离为$r_2=\frac{\sqrt{L^2+L^2}}{2}=\frac{\sqrt{2}}{2}L$

根据点电荷电场公式$E=k\frac{Q}{r^2}$，AB连线中点和AC连线中点的电场强度大小之比为$E_1:E_2=\frac{1}{r_1^2}:\frac{1}{r_2^2}=2:3$，选C。

【例2】B

【详解】当带正电的点电荷放在A点，电场向左，根据点电荷产生的电场公式$E_Q=k\frac{Q}{r^2}$

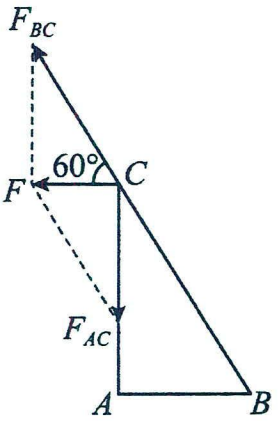
又O点的场强大小为$2E$，所以$E_{Q1}=E_O-E=E=k\frac{Q}{x_{OA}^2}$

若将这个点电荷放在B点，则电场向右，大小为$E_{Q2}=k\frac{Q}{x_{OB}^2}=k\frac{Q}{4x_{OA}^2}=\frac{E}{4}<E$

所以，此时O点的场强为$E_O'=E-E_{Q2}=\frac{3}{4}E$，方向水平向左。故选B。

【例 3】AD

【详解】A、B 处两处点电荷对 C 处负点电荷的静电力如图所示



可知 A 处点电荷带正电，B 处点电荷带负电；根据图中几何关系可得 $F_{AC}=F_{BC}\sin 60°$

又 $F_{AC}=k\frac{Q_A q}{r_{AC}^2}$，$F_{BC}=k\frac{Q_B q}{r_{BC}^2}$，$r_{AC}=r_{BC}\sin 60°$，联立可得 Q_A：$Q_B=3\sqrt{3}:8$，故选 AD。

【例 4】A

【详解】设两电荷带电量大小均为 q，则 O 点的场强 $E_1=2\frac{kq}{r^2}$

若将 N 点处的点电荷移至 P 点，则 O 点电场强度的大小为 $E_2=2\frac{kq}{r^2}\cos 60°=\frac{kq}{r^2}$

则 $\frac{E_2}{E_1}=\frac{1}{2}$，故选 A。

【例 5】C

【详解】A．仅 a、b 两处点电荷作用时，d、c 两点电势相等，均为 0，仅 O 处点电荷作用时，d 点电势高于 c 点电势，可知三个点电荷作用时 d 点电势高于 c 点电势，A 错误；

B．仅 a、b 两处点电荷作用时，d 点的电场强度大小 $E_1=2\times\frac{kq}{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}L\right)^2}=\frac{4kq}{L^2}$

仅 O 处点电荷作用时，d 点的电场强度大小 $E_2=\frac{kq}{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}L\right)^2}=\frac{2kq}{L^2}$，

E_1 方向与 E_2 垂直，d 点的电场强度为两电场强度的矢量和，可知 d 点的电场强度大小 $E_d=\sqrt{E_1^2+E_2^2}=\frac{2\sqrt{5}kq}{L^2}$

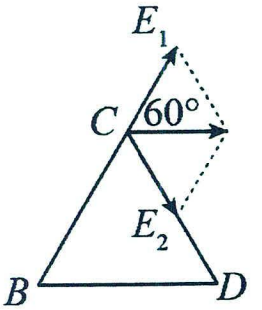
方向不沿 y 轴正方向，B 错误；

CD．仅 a 处点电荷作用时，c 点的电场强度大小 $E_3=\frac{kq}{\left(\sqrt{2}L\right)^2}=\frac{kq}{2L^2}$，$b$ 处点电荷单独作用时与 a 处点电荷单独作用时在 c 点产生的电场强度大小相等，方向成120°夹角，可知仅 a、b 两处点电荷作用时，c 点的电场强度大小为 E_3，仅 O 处点电荷作用时，c 点的电场强度大小 $E_4=\frac{kq}{L^2}$，

E_3 与 E_4 垂直，可知 c 点的电场强度大小 $E_c=\sqrt{E_3^2+E_4^2}=\frac{\sqrt{5}kq}{2L^2}$，小于 d 点的电场强度，C 正确，D 错误。故选 C。

【例 6】B

【详解】A．两个电荷在 C 点产生的场强大小均为 $E_1=E_2=\frac{kq}{a^2}$，方向如图所示



故 C 点的合场强大小为 $E=2E_1\cos 60°=\frac{kq}{a^2}$，A 错误；

B．B、D 两处的等量异种电荷产生的电场中，通过 BD 的中垂面是一等势面，A、C 在同一等势面上，电势相等，A、C 两点的场强方向都与等势面垂直，指向 D 一侧，故 A、C 两点的场强方向相同，结合 A 的解析和对称性可知，A、C 两点场强大小也相等，B 正确；

C．等量异种电荷中垂面上离两电荷连线中点越近，场强越大，沿 AC 直线由 A 到 C 上各

点到 B、D 的距离先减小后增大，所以电场强度是先变大后变小，C 错误；

D．将一正电荷从 A 点沿直线移动到 C 点，始终在同一等势面上运动，电场力不做功，D 错误。故选 B。

【跟踪训练】：D　　A　　C　　A　　D

1．D

【详解】AB．A 点的点电荷在 O 点产生的电场强度大小为 $E_A=\frac{k\cdot 2q}{L^2}=2\frac{kq}{L^2}$，方向由 O 指向 A，

B 点的点电荷在 O 点产生的电场强度大小为 $E_B=\frac{kq}{L^2}$，方向由 O 指向 B，

C 点的点电荷在 O 点产生的电场强度大小为 $E_C=\frac{kq}{L^2}$，方向由 O 指向 B，

则 B、C 两点的点电荷在 O 点产生的合电场强度大小为 $E_{BC}=E_B+E_C=2\frac{kq}{L^2}$，方向由 O 指向 B，

根据几何关系可知 E_A 与 E_{BC} 方向的夹角为 120°，将 E_A 与 E_{BC} 合成，根据矢量叠加可知，O 点的合场强大小为 $E_{合}=2\frac{kq}{L^2}$，方向由 C 指向 A，

欲使 O 点的合场强为 0，方案一中的匀强电场的方向应由 A 指向 C，大小为 $E=E_{合}=2\frac{kq}{L^2}$，故 AB 错误；

CD．结合上述可知，方案二中，F 点固定的点电荷应带正电，设 F 点的电荷量为 q′，由几何关系可得 $OF=\frac{L}{2}$

根据场强公式有 $E_F=\frac{kq'}{\left(\frac{L}{2}\right)^2}$，由于 $E_{合}=E_F$，解得 $q'=\frac{q}{2}$，故 C 错误，D 正确。故选 D。

2．A

【详解】A．点电荷 A 带正电，在 O' 处的场强大小为 $E_A=\frac{kQ}{r^2}$，方向方向由 A 指向 O'，故 A 正确；

B．点电荷 B 带负电，在 O' 处的场强大小为 $E_B=\frac{kQ}{r^2}$，方向由 O' 指向 B，故 B 错误；

C．根据电场叠加原理可知，两点电荷连线的中点 O 的场强大小为 $E=2\frac{kQ}{(\frac{r}{2})^2}=\frac{8kQ}{r^2}$，方向由 A 指向 B，故 C 错；

D．在两点电荷连线的中垂线上，距 A、B 两点都为 r 的 O' 点的场强大小为 $E'=2\frac{kQ}{r^2}\cos 60^\circ=\frac{kQ}{r^2}$，方向向右，

故 D 错误。故选 A。

3．C

【详解】假设在顶点 e 处固定有电荷量为 $-Q$ 的点电荷，则 5 个点电荷在 O 点的合场强为零，可知顶点 a、b、c、d 处的电荷在 O 点处的合场强与 e 点的-Q 在 O 点的场强等大反向，大小为 $\frac{kQ}{r^2}$，则在顶点 e 处固定有电荷量为 $+Q$ 的点电荷时，O 点的场强为 $\frac{2kQ}{r^2}$。故选 C。

4．A

【详解】B、C 处的点电荷在 O 点产生的合场强方向为 OC 方向，大小为 $E_1=2\times k\frac{Q}{L^2}$，

A 处的正点电荷在 O 点产生的场强方向沿 OD 的方向，大小为 $E_2=k\frac{Q}{L^2}$

根据矢量合成可知，正方形中心 O 点的电场强度大小为 $E=\sqrt{E_1^2+E_2^2}=\sqrt{5}k\frac{Q}{L^2}$，故选 A。

5．D

【详解】A．B、D 处于 AC 连线的中垂面上，根据等量同种正点电荷的电场分布规律，根据对称性可知，B 和 D 的电场强度大小相等，方向不同，故 A 错误；

B．根据点电荷的电势的表达式有 $\varphi=k\frac{Q}{r}$ 可知，B 点电势为 $\varphi_1=\frac{2kq}{a}$，D'的电势 $\varphi_2=2k\frac{q}{\sqrt{2}a}=\frac{\sqrt{2}kq}{a}$

即顶点 B 和 D'的电势不相等，故 B 错误；

C．根据电场强度的合成可知，顶点 B 的电场强度大小为 $E_B=2k\frac{q}{a^2}\cos 45^\circ=\frac{\sqrt{2}kq}{a^2}$，故 C 错误；

D．根据电场强度的合成可知，顶点 B'的电场强度大小为 $E=2k\frac{q}{\left(\sqrt{2}a\right)^2}\cos 30^\circ=\frac{\sqrt{3}kq}{2a^2}$，故 D 正确。故选 D。

题型四：非点电荷的场强叠加

【精选例题】：A　　B　　C　　C　　A　　D

【例 1】A

【详解】图甲可以分成两个四分之一的圆环在圆心产生的场强的合场强为 E，而这两个四分之一分别产生的场强成 90°夹角，根据平行四边形定则，单个四分之一圆环产生的场强为 $\frac{\sqrt{2}}{2}E$，图乙在圆心产生的库仑力可以等效为三个四分之一的圆环产生合场强，而关于圆心对称的两个四分之一圆环在圆心的合场强为零，所以剩余的四分之一的圆环在圆心产生的场强，但图乙圆环的电荷线密度是图甲的 2 倍，故四分之一的圆环在圆心产生的场强为 $\sqrt{2}E$。故选 A。

【例 2】B

【详解】将均匀带电细杆等分为左右两段，设左右两段细杆形成的电场在 P_2 点的场强大小分别为 EA_2、EB_2，则有 $E_2=E_{A2}+E_{B2}$；左半段细杆产生的电场在 P_1 点的场强为 0，右半段细杆产生的电场在 P_1 点的场强大小为 EB_2，则有 $E_1=E_{B2}$ 联立可得去掉细杆的右半段后，左半段细杆产生的电场在 P_2 点的场强大小为 $E_{A2}=E_2-E_{B2}=E_2-E_1$

故 B 正确，ACD 错误。故选 B。

【例 3】C

【详解】ABC．AB 棒均匀带电，根据对称性可知，AB 棒在 O 点产生的电场的方向沿 AB 棒的中垂线斜向下，AC 棒在 O 点产生的电场的方向沿 AC 棒的中垂线斜向下，因为 AB 棒和 AC 棒的形状、带电荷量完全相同，则 AB 棒在 O 点产生的电场的电场强度和 AC 棒在 O 点产生的电场的电场强度大小相等，根据几何关系可知，两棒在 O 点产生的电场的方向的夹角为120°，根据矢量合成的知识可知，两棒在 O 点产生的合电场的方向竖直向下，合电场的电场强度也与 AB 棒和 AC 棒各自在 O 点产生的电场的电场强度大小相等，故 AB 错误，C 正确；

D．若在 BC 处放置一与 AB 棒完全相同（带相同的电荷量）的绝缘棒，则 O 点的电场强度变为零，故 D 错误。

【例 4】C

【详解】由于 b 点处的合场强为零，所以带电薄板在 b 处产生的场强与点电荷+q 在 b 处产生的场强大小相等，方向相反；则带电薄板在 b 处产生的场强方向向右，大小为 $E'=\frac{kq}{9d^2}$，可知带电薄板应带负电，根据对称性可知，带电薄板在 a 点产生的场强方向向左，大小为 $E'=\frac{kq}{9d^2}$，则 a 点的电场强度大小 $E_a=\frac{kq}{d^2}+\frac{kq}{9d^2}=\frac{10kq}{9d^2}$，方向垂直薄板向左。故选 C。

【例 5】A

【详解】右边补齐半球面，电荷量为 2q 的球型在 N 点产生的电场强度大小为 $E=\frac{k\cdot 2q}{(3R)^2}=\frac{2kq}{9R^2}$

由于对称性可得，N 点实际的电场强度大小 $E_N=\frac{2kq}{9R^2}-E$，故选 A。

【例 6】D

【详解】先将带电球体补全，一半径为 R 的球体表面均匀带有正电荷，电荷量为 2q，在球外空间产生的电场等效于电荷集中于球心处产生的电场，则在 P、Q 两点所产生的电场为 $E_0=k\frac{2q}{(2R)^2}=k\frac{q}{2R^2}$

左半球面所带电荷在 P 点的电场强度大小为 E，由对称性可知去掉的右半球面所带电荷在 Q 点的电场强度大小为 E，则 $E_Q=E_0-E=k\frac{q}{2R^2}-E$，故选 D。

【跟踪训练】：C　　D　　C　　D　　C　　B

1．C

【详解】正负电荷在 A 点产生的场强分别为 $E_1=k\frac{q}{(\frac{d}{2})^2}$，$E_2=k\frac{q}{(\frac{3d}{2})^2}$

方向相同，所以 A 点电场强度大小 $E_A=E_1+E_2=\frac{40kq}{9d^2}$，故选 C。

2．D

【详解】圆环上各点到 A 点的距离为 $r=\sqrt{R^2+(\sqrt{3}R)^2}=2R$

圆环上各点与 A 点的连线与竖直方向的夹角满足 $\sin\theta=\frac{R}{2R}=\frac{1}{2}$

根据电场的矢量叠加可知 $E=\frac{kQ}{r^2}\cos\theta$，解得 $Q=\frac{8\sqrt{3}R^2}{3k}E$，故选 D。

3．C

【详解】将 AB 部分补上，使球壳变成一个均匀带正电的完整的球壳，完整球壳带电荷量为 $Q=\frac{3}{2}q$

为保证电荷量不变，球面 AB 带负电荷量为 q，则该球壳带正电的部分在 M 点产生的场强为 $E_M=\frac{kQ}{(2R)^2}=\frac{3kq}{8R^2}$

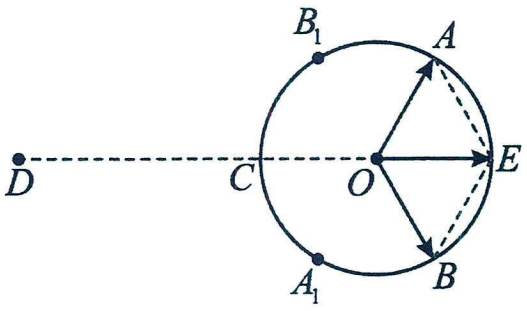
根据对称性可知：①带正电的部分完整球壳在 N 点产生的场强大小 $E_N=\frac{3kq}{8R^2}$

②球面 AB 带负电荷量为 q，在 N 点产生的场强大小为 2E，两者方向相反；

则 N 点的场强大小为 $E'_N=\left|\frac{3kq}{8R^2}-2E\right|$，故选 C。

4．D

【详解】取走 A、B 处两段弧长均为 ΔL 的小圆弧上的电荷，根据对称性可知，圆环在 O 点产生的电场强度为与 A 在同一直径上的 A_1 和与 B 在同一直径上的 B_1 产生的电场强度的矢量和，如图所示



因为两段弧长非常小，故可看成点电荷，则有 $E_1=k\frac{\frac{Q\Delta L}{2\pi R}}{R^2}=k\frac{Q\Delta L}{2\pi R^3}$

由图可知，两场强的夹角为120°，则两者的合场强为 $E=E_1=k\frac{Q\Delta L}{2\pi R^3}$

根据 O 点的合场强为 0，则放在 D 点的点电荷带负电，大小为 $E'=E=k\frac{Q\Delta L}{2\pi R^3}$，根据 $E'=k\frac{q}{(3R)^2}$，

联立解得 $q=\frac{9Q\Delta L}{2\pi R}$，故选 D。

5．C

【详解】A．壳内场强处处为 0，故移动试探电荷不做功，A 错误；

B．在圆心 O 处放一个电量为 $-2Q$ 的点电荷，由于静电感应，球壳内表面感应出 $+2Q$ 的电荷，则球壳外表面的电荷量为 $-Q$，B 错误；

C．在 $+R$ 处取走极小一块面积 ΔS，根据对称性，在 $-R$ 处极小一块面积的电荷产生的电场 $E=\frac{k}{R^2}\cdot\frac{\Delta S}{4\pi R^2}Q=\frac{kQ\Delta S}{4\pi R^4}$；

D．整个球壳在 B 点的电场 $E_1=\frac{kQ}{4R^2}$，水平向右；在圆心 O 正上方处取走极小一块面积 ΔS 在 B 点的场强为 $E_2=\frac{k}{5R^2}\cdot\frac{\Delta S}{4\pi R^2}Q=\frac{kQ\Delta S}{20\pi R^4}$，方向斜向右下，$E_1$ 与 E_2 矢量作差即为 B 点电场强度，D 错误。故选 C。

6．B

【详解】将挖去的圆板补上，复原无限大均匀带电平板，设无限大均匀带电平板在 Q 点的场强为 E，补回来的半径为 r 的圆板在 Q 点的场强为 E_1，待求的场强为 E_2，由电场叠加原理得 $E=E_1+E_2$，$E_1=2\pi k\sigma\left[1-\frac{x}{\left(r^2+x^2\right)^{\frac{1}{2}}}\right]$

由 $2\pi k\sigma\left[1-\frac{x}{\left(R^2+x^2\right)^{\frac{1}{2}}}\right]$ 得，当 R 无限大时 $E=2\pi k\sigma\left[1-\frac{x}{\left(R^2+x^2\right)^{\frac{1}{2}}}\right]=2\pi k\sigma$，得 $E_2=2\pi k\sigma\frac{x}{\left(r^2+x^2\right)^{\frac{1}{2}}}$，故选 B。

考点四：电场线

题型一：概念辨析

【精选例题】：CEF　　C

【例 1】CEF

【详解】AD．电场是客观存在的，电场线是人们为了形象地描述电场而引入的假想曲线，用以表示电场的强弱和方向，客观上并不存在，电场线不相交、不相切，故 AD 错误；

B．电场线只是大体形象地描述电场，不画电场线的区域场强不一定为零，故 B 错误；

C．电场线越密集，场强越大，根据$F=Eq$，可知同一试探电荷在电场线密集的地方所受静电力大，故C正确。

E．电场是矢量，在一个以点电荷为中心，r为半径的球面上各处的电场强度E大小相等，方向不同，故E正确。

F．电场线的疏密程度能够描述电场的强弱，电场线密的地方电场强度大，电场线的切线方向表示电场强度的方向，故F正确；故选CEF。

【例2】C

【详解】电场线从正电荷出发指向负电荷，图中没标注电场线方向，所以无法判断三个电荷带电性质，但是根据图示可知，点电荷A、B一定是同种电荷，点电荷B、C一定是异种电荷。故选C。

【跟踪训练】：ABD　　D

1．ABD

【详解】A．电场线是为了表示电场的强弱和方向而人为引入的假想曲线，选项A正确；

B．静电场的电场线是不闭合的，选项B正确；

C．静电场的电场线都起始于正电荷或者无穷远处，终止于负电荷或者无穷远处，不是闭合曲线。故C错误；

D．根据力和运动的关系，若带电粒子只受电场力，且电场线是曲线时，电场线不可能和轨迹线重合，如果重合则受力沿切向不能提供向心力使粒子轨迹弯曲。故D正确。故选ABD。

2．D

【详解】A．a、b两点的电场强度大小不同，方向不同，故A错误；

B．正电荷在a点受到电场力方向与电场强度方向相同，负电荷在a点受到电场力方向与电场强度方向相反；

C．由于电场线不是直线，所以电荷在a点静止释放，它在电场力作用下运动的轨迹与电场线不一致，故C错误；

D．由电场线的疏密程度可知，a点的场强大于b点的场强，则同一点电荷放在a点受到的电场力比放在b点时受到电场力大，故D正确。故选D。

题型二：常见电场线的分布规律及应用

【精选例题】：D　　A　　C　　D　　B

【例1】D

【详解】A．图甲为等量异种点电荷形成的电场线，选项A错误；

B．图乙离点电荷距离相等的a、b两点场强大小相同，但是方向不同，选项B错误；

C．图丙中因cd间的电场线是曲线，则在c点静止释放一正电荷，不可能沿着电场线运动到d点，选项C错误；

D．图丁两板间可视为匀强电场，则某一电荷放在e点与放到f点，两点到极板距离相等，电场强度相同，选项D正确。故选D。

【例2】A

【详解】A．根据等量异种点电荷的电场线分布规律可知，关于两点电荷连线的中点对称的所有点的电场强度大小相等，方向相同，由于E、F是连线中垂线上关于O对称的两点，则E、F两点电场强度大小相等，方向相同；

B．根据等量异种点电荷的电场线分布规律可知，在两点电荷连线的中垂线上，由垂足往两侧的电场强度逐渐减小，结合上述可知，E、O、F三点中，O点电场强度最大，故B错误；

C．根据等量异种点电荷的电场线分布规律可知，在两点电荷之间的连线上，由中点往两侧，电场强度逐渐增大，

则 B、O、C 三点中，O 点电场强度最小，故 C 错误；

D．根据等量异种点电荷的电场线分布规律，结合上述可知，图中从 C 点向 O 点过程，电场强度逐渐减小，电子所受电场力逐渐减小，则从 C 点向 O 点运动的电子加速度逐渐减小，故 D 错误。故选 A。

【例 3】C

【详解】A．根据电场的矢量叠加可知，P、Q 两点电场强度大小相等，方向相反，故 A 错误；

B．根据电场的矢量叠加可知，M、N 两点电场强度大小相等，方向相反，故 B 错误；

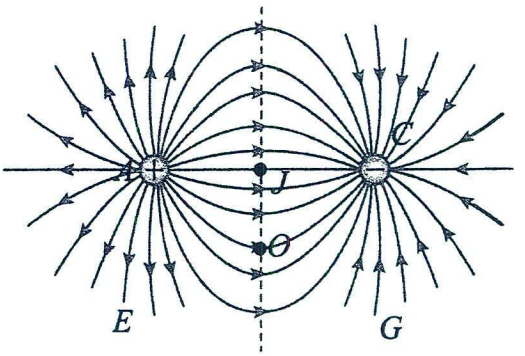
C．两正点电荷在 O 点的电场强度大小相等，方向相反，根据电场的矢量叠加可知，O 点合电场强度为零，在两正点电荷连线的中垂线上除 O 点外，电场强度均大于零，故在两点电荷连线的中垂线上 O 点电场强度最小；

D．在 R 点放一个带负电小球，小球受到向下的电场力，小球会向 O 点运动，由于两正点电荷连线的中垂线上不是匀强电场，小球做的是变加速直线运动，故 D 错误。故选 C。

【例 4】D

【详解】在 ACGE 平面内，由等量异种电荷形成的电场分布如图所以，J、O 两点的电场与 AC 连线平行，不为零；根据电场分别的对称性，E、G 两点电场大小相等，方向不同。

故选 D。



【例 5】B

【详解】AB．根据点电荷电势表达式 $\varphi = k\frac{q}{r}$，结合对称性可知两对等量异号点电荷在 L_1、L_2 上电势叠加后，L_1、L_2 上各点电势均为 0，故 A 错误，B 正确；

C．由于 L_1 是两对等量异号点电荷的中垂线，根据等量异种电荷中垂线电场分布特点可知，在 L_1 上各点（除 O 点和无穷远点）的场强均与 L_1 垂直，不为 0，同理可得 L_2 上电场强度也不为 0，故 C 错误；

D．以 O 为圆心的圆周上各点从左上角到右下角电势先减小后增大，故 D 错误。故选 B。

【跟踪训练】：D　　C　　C　　BC　　B

1．D

【详解】A．电场线从正电荷出发，终止于负电荷或无穷远，由此可知头部带正电，尾部带负电，故 A 错误；

B．由图中电场线可知，A 点的电场强度方向水平向右，故 B 错误；

CD．根据电场线的疏密程度可知，A 点电场强度大于 C 点电场强度，A 点电场强度大于 B 点电场强度，故 C 错误，D 正确。故选 D。

2．C

【详解】A．a 点点电荷在 b 点的电场强度为 $E_{ab} = k\frac{Q}{L^2}$，c 点点电荷在 b 点的电场强度为 $E_{cb} = k\frac{Q}{L^2}$

则 b 点的电场强度为 $E_b = \sqrt{E_{ab}^2 + E_{cb}^2} = \sqrt{2}k\frac{Q}{L^2}$，故 A 错误；

B．根据等量同种电荷电场分布可知，b、d 两点在两点电荷连线的中垂线上，且关于连线对称，所以，b、d 两点的电场强度等大，反向，故 B 错误；

C．a 点点电荷在 a' 点的电势为 $\varphi_{aa'}=k\frac{Q}{L}$，c 点点电荷在 a' 点的电势为 $\varphi_{ca'}=k\frac{Q}{\sqrt{3}L}$，

所以，a' 点的电势为 $\varphi_{a'}=\varphi_{aa'}+\varphi_{ca'}=k\frac{(\sqrt{3}+3)\ Q}{3L}$，

c 点点电荷在 c' 点的电势为 $\varphi_{cc'}=k\frac{Q}{L}$，a 点点电荷在 c' 点的电势为，$\varphi_{ac'}=k\frac{Q}{\sqrt{3}L}$

所以，c' 点的电势为 $\varphi_{c'}=\varphi_{cc'}+\varphi_{ac'}=k\frac{(\sqrt{3}+3)\ Q}{3L}$，所以，$a'$ 点与 c' 点的电势相等，电势差为零，根据 $W=qU$，可知，将一正点电荷从 a' 点经任意路径移动至 c' 点，电场力做的总功为零，故 C 正确；

D．根据等量同种电荷电场分布可知，b 点的电场强度沿 db 方向，所以，将一正点电荷从 b 点由静止释放后该电荷将沿 db 方向做直线运动，故 D 错误。故选 C。

3．C

【详解】A．在 e 点 i 点固定等量异种电荷，根据等量异种电荷的电场分布图可知 a、c 两点的电场强度大小相同、方向不同，A 错误；

B．b、g 两点的电场强度方向相同、大小不同，B 错误；

C．两点电荷在 b、g 连线上任一点产生的电场强度均垂直 b、g 连线，故将一点电荷由 g 点沿直线移至 b 点，电场力不做功，C 正确；

D．两点电荷在 i、e 连线上任一点产生的电场强度方向均由 e 指向 i，将一点电荷由 i 点沿直线移至 e 点，若点电荷为正，则电场力做负功，若点电荷为负，则电场力做正功，D 错误。故选 C。

4．BC

【详解】A．根据点电荷的场强公式 $E=k\frac{Q}{r^2}$ 知，$+Q$ 和 $-Q$ 在 A 点的场强大小为 $E_1=E_2=k\frac{Q}{(2R\cos 30°)^2}=\frac{kQ}{3R^2}$，$E_1$、$E_2$ 夹角 $120°$，故合场强大小为 $E_A=2E_1\cos 60°=\frac{kQ}{3R^2}$，方向水平向右，故 A 错误；

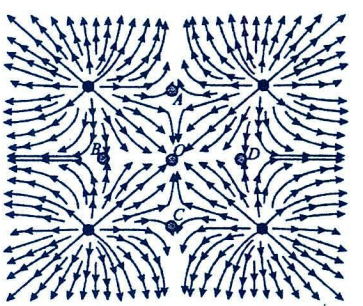
B．$+Q$ 和 $-Q$ 在 O 点的场强大小为 $E_1'=E_2'=\frac{kQ}{R^2}$，E_1'、E_2' 夹角 $60°$，故合场强大小为 $E_O=2E_1'\cos 30°=\frac{\sqrt{3}kQ}{R^2}$ 方向由 O 指向 D，故 B 正确；

C．把一个电荷量为 $-q$ 的点电荷放在 O 点，则该点电荷所受的电场力为 $F=qE_O=\frac{\sqrt{3}kqQ}{R^2}$，方向与 O 点场强方向相反，由 O 指向 B，故 C 正确；

D．把一个电荷量为 $+q$ 的正点电荷放在 A 点，则该点电荷所受的电场力为 $F'=qE_A=\frac{kqQ}{3R^2}$，方向与 A 点场强方向相同，水平向右，故 D 错误。故选 BC。

5．B

【详解】由点电荷场强公式 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 可知，四个等量同种电荷在正方形中心 O 点产生的合场强为零。如图所示，在正方形内部取 A、B、C、D 四个点，AOC 所在直线、BOD 所在直线与正形的边平行。



上方两个点电荷在 A 点产生的合场强竖直向下，下方两个点电荷在 A 点产生的合场强竖直向上，又因为 AO 间的电场线方向向下，A 点上方的电场线方向向上，则 A 点的场强应该为零，同理 B、C、D 三点的合场强也为零，则正方形内部电场强度为零的点个数是 5 个。故选 B。

题型三：不等量点电荷电场线规律

【精选例题】：BD　　A

【例 1】BD

【详解】AB．根据电场线的特点：电场线从正电荷出发到负电荷终止，Q_1带负电，结合电荷电场线的特点可知，Q_2负电荷，故 A 错误，B 正确。

CD．由电场线的特点：电场线越密，代表电场强度越大，可知Q_2周围的电场强度大于Q_1周围的电场强度，结合点电荷的电场强度的公式：$E=\frac{kq}{r^2}$可知，Q_1的电荷量小于Q_2的电荷量，故 D 正确，C 错误。故选 BD。

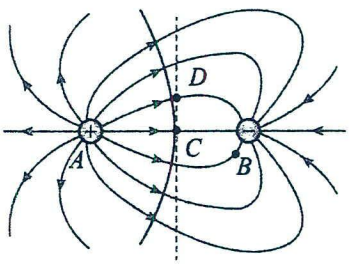
【例 2】A

【详解】由图中电场线的分布情况看出，两个电荷间存在引力作用，所以是两质点带异号电荷。由于 Q_1 周围的电场线比 Q_2 周围的电场线密，说明 Q_1 附近的电场强度比 Q_2 附近的电场强度大，所以 $Q_1>Q_2$。故选 A。

【跟踪训练】：B

1．B

【详解】A．根据电场线越密电场强度越大，由图可知，A 点附近电场强度大于 B 点附近的电场强度，C 点的场强大于 D 点的场强，由点电荷场强公式$E=\frac{kq}{r^2}$可知$q_1>q_2$。故 A 错误；



BD．根据电场线与等势面的关系，画出过 C 点的等势线，如图所示

根据沿电场线方向电势逐渐降低可知，C 点的电势大于 D 点的电势；由$E_p=\varphi q$结合对称性可知，负电荷从 F 点沿直线移到 D 点，负电荷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，D 错误；

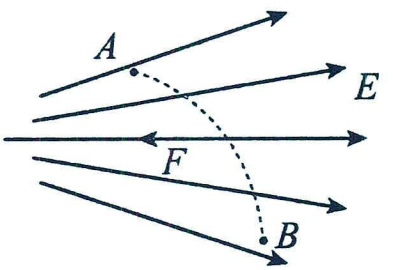
C．根据对称性可知，D、F 两点处的电场强度大小相等，方向不同，故 C 错误。故选 B。

题型四：电场中粒子运动轨迹中的定性分析

【精选例题】：B　　CD　　BD

【例 1】B

【详解】A．粒子做曲线运动，受到的电场力与电场线共线且指向轨迹凹侧，故电场力的方向如图所示



由于电场力方向与场强方向相反，故粒子带负电，故 A 错误；

B．从 A 点到 B 点，电场线变疏，场强变小，由$qE=ma$可知，粒子加速度变小，故 B 正确；

CD．从 A 点运动到 B 点，电场力对粒子做负功，则动能减小，即速度减小，故 CD 错误。故选 B。

【例 2】CD

【详解】AB．在等量同种电荷连线中垂线上电场强度方向$O\to a$，电子从 a 点到 O 点运动的过程中，电场力方向$a\to O$，故加速度向下，与速度同向，速度越来越大；但电场线的疏密情况不确定，O 点上方的电场强度最大点位置不确定，故电场强度大小变化情况不确定，则电荷所受电场力大小变化情况不确定，加速度变化情况无法判断，故 AB 错误；

C．越过 O 点后，电子做减速运动，则点电荷运动到 O 点时速度最大，电场力为零，加速度为零，故 C 正确；

D．根据电场线的对称性可知，越过 O 点后，电子做减速运动，加速度的变化情况无法判断，所以加速度可能一直增大，故 D 正确。故选 CD。

【例 3】BD

【详解】A．根据电场线方向可知q_1带正电，粒子运动受到的力指向轨迹凹侧，可知粒子带负电，故 A 错误；

BC．根据电场线疏密可知q_1附近电场较大，则q_1的电量大于q_2的电量，A 点的场强小于 B 点的场强，故 B 正确，C 错误；

D．粒子运动的速度沿轨迹切线方向，粒子从 A 到 B 时，电场力先做正功，再做负功，则动能先增大后减小，故 D 正确；故选 BD。

【跟踪训练】：A　　ABC

1．A

【详解】B．由图，b 粒子的轨迹向右弯曲，b 粒子受到的电场力方向向右，a 的轨迹向左弯曲，a 粒子受到的电场力方向向左，由于电场线方向未知，因此无法确定两个粒子的电性，故 B 错误；

AC．由图可知，a、b 两个带电粒子受到的电场力方向与粒子速度方向的夹角都是锐角，所以电场力对两个粒子都做正功，动能均增大，故 A 正确，C 错误；

D．向左电场线越来越疏，场强越来越小，则 a 所受电场力减小，加速度减小；b 所受电场力增大，加速度增大，故 D 错误。故选 A。

2．ABC

【详解】A．电场线的疏密代表电场的强弱，由图可以知道越向左场强越小，故 a 出发后的一小段时间内其所处的位置的场强越来越小，而 b 出发后的小段时间内其所处的位置的场强越来越大，但由于两电荷量未知，无法确定电场力的大小。故 A 错误，符合题意；

B．因为出发后电场力始终对电荷做正功，故两电荷的动能越来越大，故两个电荷的速度都将越来越大，选项 B 错误，符合题意；

CD．因为两电荷所受的电场力方向相反，故 a、b 两粒子所带的电荷的电性相反，因为不知道场强的方向，故不能确定电场力的方向和场强方向的关系，所以不能确定 a、b 两电荷的电性，选项 C 说法错误，符合题意；选项 D 说法正确，不符合题意。故不正确的选 ABC。

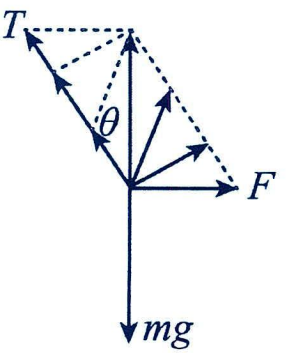
考点五：匀强电场

题型一：匀强电场中的平衡问题

【精选例题】：A　　2．(1)正电；(2)0.4 kg；(3)$\sqrt{5}$ m/s

【例 1】A

【详解】小球保持静止时受到重力 mg、电场力 F 和细线的拉力 T，作出力图如图所示

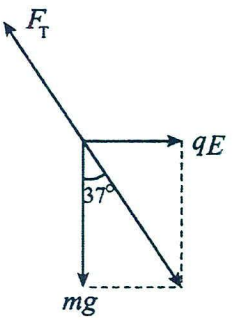


根据作图法可知，当电场力 F 与细线垂直时，电场力最小，最小值为 F=mgsinθ

因此电场场强的最小值为$E=\frac{F}{q}=\frac{mg\sin\theta}{q}$，A 正确，BCD 错误。故选 A。

【例 2】(1)正电；(2)0.4 kg；(3)$\sqrt{5}$ m/s

【详解】（1）由图可知，小球所受的电场力水平向右，与场强方向相同，故小球带正电。



（2）对小球受力分析，如图所示

根据受力平衡可知$\frac{qE}{mg}=\tan 37°$，代入数据，求得$m=0.4\text{kg}$

（3）小球所受重力与电场力的合力大小为$F=\frac{mg}{\cos\theta}=\frac{0.4\times10}{0.8}\text{N}=5\text{N}$

其方向与竖直方向成 37°角向右下方，所以，小球释放后摆动到原静止位置时的速率最大，

设最大速率为 v_m，在该过程中，由动能定理得$FL(1-\cos 37°)=\frac{1}{2}mv_m^2-0$

代入数据，求得$v_m=\sqrt{5}\text{ m/s}$

【跟踪训练】：A　　AC

1．A

【详解】以小球 A、B 整体为研究对象，整体受重力、电场力和上端丝线的拉力，设上端丝线与数值方向间的夹角为α，由平衡条件有：$5qE-2qE=(m_1+m_2)g\tan\alpha$，以小球 B 为研究对象，由平衡条件有：$2qE=m_2g\tan\alpha$

联立解得：$m_1:m_2=1:2$；故选项 A 正确；选项 BCD 错误；

2．AC

【详解】A．小球 A、B 所带电性如果相同，则受力方向一致，B 球不可能在 O 点正下方，故 A 正确。

B．B 带负电，受到的电场力水平向右，A 带正电，受到的电场力水平向左。以整体为研究对象，设绳子 OA 与竖直方向的夹角为α，则绳子 AB 与竖直方向的夹角也为α，对 AB 整体受力分析，则$\tan\alpha=\frac{Eq_A-Eq_B}{2mg}$

对 B 受力分析$\tan\alpha=\frac{Eq_B}{mg}$，则可知$q_A=3q_B$，小球 A 与小球 B 的电荷量之比一定是 3：1，故 B 错误；

C．细绳 OA 的拉力$F_1=\frac{2mg}{\cos\alpha}$，细绳 AB 的拉力$F_2=\frac{mg}{\cos\alpha}$

所以细绳 OA 的拉力大小是细绳 AB 的拉力大小的 2 倍，故 C 正确；

D．若只增加小球 A 的带电量，A 球受到电场力变大，根据以上分析可知，绳子 OA 与竖直方向的夹角变大，绳子 AB 与竖直方向的夹角不变，则装置平衡后小球 B 不可能位于 O 点正下方，故 D 错误。故选 AC。

题型二：匀强电场中的动力学问题

【精选例题】：C　　2．(1)$t=\frac{2mv_0}{mg+qE}$；(2)$v=\sqrt{5}v_0$

【例 1】C

【详解】D．电场向下时，小物块处于平衡状态，由于斜面光滑，若小物块受弹力，则不可能平衡，故小物块只能受重力和向上的电场力而处于平衡状态，故电场力$F=mg$

当电场方向水平向右时，电场力水平向左，因电场力等于重力，垂直斜面方向$mg\cos\theta>F\sin\theta$

故小物块不会脱离斜面运动，故 D 错误；

ABC．沿斜面方向，重力和电场力沿斜面方向的分力都是沿斜面向下，故小物块将沿斜面加速下滑，故 C 正确，AB 错误。故选 C。

【例 2】(1)$t=\dfrac{2mv_0}{mg+qE}$；(2)$v=\sqrt{5}v_0$

【详解】（1）从 P 到 Q 小球做类平抛运动,当到达 MN 连线上某点时，位移与水平方向的夹角为$\alpha=45°$

根据牛顿第二定律有$mg+qE=ma$，垂直电场方向的位移为$x=v_0t$，平行电场方向的位移为$y=\dfrac{1}{2}at^2$

根据几何关系$\tan 45°=\dfrac{y}{x}$，联立解得$t=\dfrac{2mv_0}{mg+qE}$

（2）在 Q 点$v_y=at$，得$v_y=2v_0$，即小球在 Q 点时的速度大小为$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{5}v_0$

【跟踪训练】：AC　　2．（1）7m/s；（2）7.7m

1．AC

【详解】ABD．对物块受力分析可知，

物块与轻质木板之间弹力为$F_N=Eq=10\text{N}$，最大静摩擦力为$F_f=\mu F_N=8\text{N}>F$

所以物块与轻质木板一起向上做匀加速直线运动，物块受到的摩擦力方向竖直向上，为静摩擦力$f=F=5\text{N}$

故 A 正确，BD 错误；

C．由牛顿第二定律得$f-mg=ma$，解得$a=2.5\text{m/s}^2$，故 C 正确。故选 AC。

2．（1）7m/s；（2）7.7m

【详解】（1）设电场力大小为 F，则$F=Eq=16\text{N}$

设匀强电场作用时物块的加速度大小为a_1，

根据牛顿第二定律有$F\cos 37°-\mu(mg\cos 37°-F\sin 37°)-mg\sin 37°=ma_1$，解得$a_1=\dfrac{14}{3}\text{m/s}^2$

根据匀变速直线运动速度与时间的关系可得撤去拉力前瞬间物块的速度大小为$v_1=a_1t=\dfrac{14}{3}\times 1.5=7\text{m/s}$

（2）电场作用期间物块的位移大小为$x_1=\dfrac{1}{2}a_1t^2=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{14}{3}\times 1.5^2=5.25\text{m}$

撤去电场后，物块的加速度大小为$a_2=\dfrac{mg\sin 37°+\mu mg\cos 37°}{m}=10\text{m/s}^2$

物块继续沿斜面滑行的位移大小为$x_2=\dfrac{v_1^2}{2a_2}=\dfrac{7^2}{2\times 10}=2.45\text{m}$

则物块沿着斜面上升的总距离为$x=x_1+x_2=7.7\text{m}$

题型三：电场力作用下的能量问题

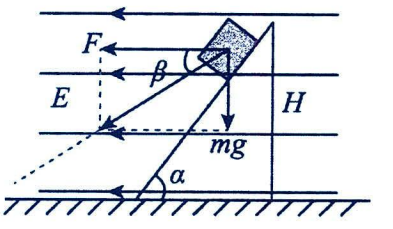
【精选例题】：C　　C　　3．（1）5m/s²，方向竖直向下；（2）$\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$m/s；（3）$\dfrac{1}{3}$J

【例 1】C

【详解】对物块进行受力分析：物块受重力 mg 和水平向左的电场力 F．物块从静止开始沿重力和电场力的合力方向做匀加速直线运动．

运用动能定理研究从开始到落地过程，得：mgH+F•Hcotβ=$\frac{1}{2}$mv²-0；又 F=QE，

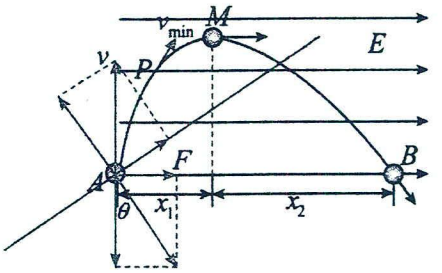
cotβ=$\dfrac{F}{mg}=\sqrt{3}$解得，v=$2\sqrt{2gH}$，故选 C.



【例 2】C

【详解】AB．将小球的运动沿水平和竖直方向正交分解，如图所示

水平分运动为初速度为零的匀加速直线运动，竖直分运动为竖直上抛运动，根据对称性，可知小球从 A 到 M 与从 M 到 B 的时间相等，则水平方向初速度为零的匀加速直线运动，在连续相等的时间间隔内位移之比为 1:3，则小球水平位移 x_2 与 x_1 的比值为 3:1，AB 错误；



C．物体从 A 到 M 有 $Fx_1-mgh=\frac{1}{2}mv_M^2-\frac{1}{2}mv^2$，物体从 M 到 B 有

$Fx_2+mgh=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_M^2$

在竖直方向上有 $v^2=2gh$，解得 $\frac{1}{2}mv_B^2$=32J，C 正确；

D．小球从 M 点运动到 B 点的过程中 $Fx_2+mgh=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_M^2$，解得 Fx_2=18J

即小球从 M 点运动到 B 点电场力做功为 18J，D 错误。故选 C。

【例 3】（1）5m/s²，方向竖直向下；（2）$\frac{2\sqrt{3}}{3}$m/s；（3）$\frac{1}{3}$J

【详解】（1）小球抛出后从 C 到 B 过程中受重力和竖直向上的电场力，做类平抛运动，则 $mg-qE=ma$

解得小球的加速度 $a=\frac{mg-qE}{m}=\frac{2\times10-1\times10^{-3}\times10^4}{2}$m/s²= 5m/s²

解得小球抛出后从 C 到 B 过程中加速度大小为5m/s²，方向为竖直向下；

（2）C 与 B 的高度差 $h=R\cos60°=0.4$m，设小球到 B 点时竖直分速度为 v_y，则 $v_y^2=2ah$

解得小球到 B 点时竖直分速度 $v_y=2$m/s，小球在 B 点时，速度方向与水平方向夹角为 60°，则 $\tan60°=\frac{v_y}{v_0}$

解得小球抛出时的初速度 $v_0=\frac{2\sqrt{3}}{3}$m/s

（3）小球在 B 点时 $\sin60°=\frac{v_y}{v_B}$，则 $v_B=\frac{4\sqrt{3}}{3}$m/s

小球在 A 点时，轨道对小球的支持力 $F_N'=F_N=32.5$N，则 $F_N'+qE-mg=m\frac{v_A^2}{R}$，解得 $v_A=3$m/s

小球从 B 到 A 过程，由动能定理得 $(mg-qE)(R-R\cos60°)-W_f=\frac{1}{2}mv_A^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

解得小球从 B 到 A 的过程中克服摩擦力所做的功 $W_f=\frac{1}{3}$J

【例 4】(1)2：1；(2)96J

【详解】(1)小物块从 A 到 B 过程中，由牛顿第二定律有 $a_1=\frac{F-qE}{m}$

发生的位移为 $x=\frac{1}{2}a_1t^2$，小物块从 B 到 A 过程中，由牛顿第二定律有 $a_2=\frac{F+qE}{m}$，则有 $a_1t\times t-\frac{1}{2}a_2t^2=-x$

联立解得 $\frac{F}{qE}=\frac{2}{1}$

(2)小物块从 A 到 B 过程中，由动能定理得 $(F-qE)x=\Delta E_{k1}$，小物块从 B 到 A 过程中，动能定理得 $(F+qE)x=\Delta E_{k2}$

则 $\Delta E_k=\Delta E_{k1}+\Delta E_{k2}=96$J，即 $E_{kA}=96$J

【跟踪训练】：A　　BD

1．A

【详解】小球从a到c的过程，根据动能定理可得$F(2R+R)-mgR=\frac{1}{2}mv_c^2$，结合$F=mg$解得$v_c=\sqrt{4gR}$，

小球从c点抛出后，竖直方向只受重力作用，之后上升到最高点时间为$t=\frac{v_c}{g}=\sqrt{\frac{4R}{g}}$

则水平方向上的速度为$v_x=at=\frac{F}{m}t=\sqrt{4gR}$，

小球从 a 点开始运动到其轨迹最高点，动能的增量为$\Delta E_k=E_k-E_0=\frac{1}{2}mv_x^2-0=2mgR$，故选 A。

2．BD

【详解】A、从 M 到 N，由动能定理得：$mgh+W_{电}=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，得：$W_{电}=2mgh$，故 A 错误；

B、小球在竖直方向做匀加速运动，从电场力做功上可以知道电场力在竖直方向上的分量为 2mg，则竖直方向上的加速度为 3g，由运动学公式得：$h=\frac{1}{2}3g\cdot t^2$，得：$t=\sqrt{\frac{2h}{3g}}$，故 B 正确；

C、小球在水平方向上先减速后加速，由运动的对称性可知：在 N 点水平方向上的速度大小还是$v_0=\sqrt{2gh}$，由运动学公式得：$a'=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_0-(-v_0)}{\Delta t}=\frac{2\sqrt{2gh}}{\sqrt{\frac{2h}{3g}}}=2\sqrt{3}g$，所以电场力在水平方向上的分力为$2\sqrt{3}mg$，则电场力的合力$F=\sqrt{(2mg)^2+(2\sqrt{3}mg)^2}=4mg$，故 C 错误；

D、当水平方向上速度为零时离 MN 最远，在水平方向上$v_0^2=2a's$，得$s=\frac{2gh}{2\times2\sqrt{3}g}=\frac{\sqrt{3}}{6}h$，故 D 正确；

故选 BD.

3．（1）$\frac{1}{2}mgR$；（2）$v_0=\sqrt{3gR}$；（3）$y^2=6Rx$

【详解】（1）小球从 A 到 B，根据能量守恒定律得$E_p=\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mgR$

（2）小球从 B 到 O，根据动能定理有$-mgR+qE\cdot\sqrt{2}R=\frac{1}{2}mv_O^2-\frac{1}{2}mv_B^2$，解得$v_O=\sqrt{3gR}$

（3）小球运动至 O 点时速度竖直向上，受电场力和重力作用，将电场力分解到 x 轴和 y 轴，

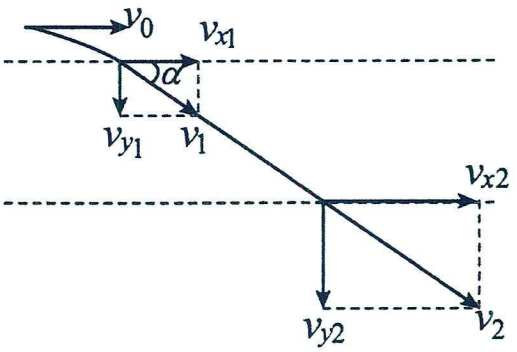
则 x 轴方向有$qE\cos45^\circ=ma_x$，竖直方向有$qE\sin45^\circ-mg=ma_y$，解得$a_x=g$，$a_y=0$

说明小球从 O 点开始以后的运动为 x 轴方向做初速度为零的匀加速直线运动，y 轴方向做匀速直线运动，即做类平抛运动，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$y^2=6Rx$

4. （1）$s_1:s_2=3:1$；（2）$h=\frac{1}{3}H$；（3）$\sqrt{2}$；（4）$E=\frac{\sqrt{2}mg}{2q}$

【详解】（1）设小球 M、N 在 A 点水平射出时的初速度大小为v_0，则它们进入电场时的水平速度仍然为v_0。M、N 在电场中运动的时间 t 相等，电场力作用下产生的加速度沿水平方向，大小均为 a，在电场中沿水平方向的位移分别为 s_1 和 s_2，由题给条件和运动学公式得$v_0-at=0$，$s_1=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，$s_2=v_0t-\frac{1}{2}at^2$，解得$s_1:s_2=3:1$

（2）M 的运动轨迹如图所示

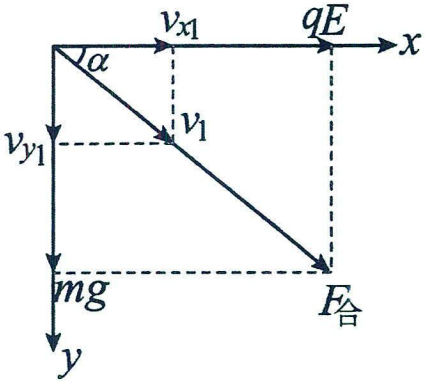


将 M 进出电场的瞬时速度v_1、v_2分解，设轨迹与水平方向夹角为α，则有$\tan\alpha=\frac{v_{y1}}{v_{x1}}=\frac{v_{y2}}{v_{x2}}$

由（1）可知$v_{x1}=v_0$，$v_{x2}=v_0+at=2v_0$，由此可得$v_{y2}=2v_{y1}$

设 A 距电场上边界的高度为h，小球在竖直方向做自由落体运动，可得$v_{y1}^2=2gh$，$v_{y2}^2=2g(h+H)$，解得$h=\frac{1}{3}H$

（3）（4）如图



设电场强度的大小为 E，小球 M 进入电场后做直线运动，则$\frac{v_{x1}}{v_{y1}}=\frac{qE}{mg}$

设 M、N 离开电场时的动能分别为 E_{k1}、E_{k2}，则$E_{k1}=\frac{1}{2}m(v_{x2}^2+v_{y2}^2)$，$E_{k2}=\frac{1}{2}mv_{y2}^2$

由已知条件得$E_{k1}=1.5E_{k2}$，解得$E=\frac{\sqrt{2}mg}{2q}$

则带电小球进入电场时速度方向与水平方向夹角的正切值$\tan\alpha=\frac{mg}{Eq}=\sqrt{2}$

考点六：静电屏蔽

题型一：静电平衡

【精选例题】：B　　C　　B

【例 1】B

【详解】AB．处于静电平衡时，导体内部场强处处为零，点电荷在 B 点产生的场强比在 C 点产生的场强大，因此感应电荷在 B 点产生的场强比在 C 点产生的场强大，故 A 错误，B 正确；

CD．将开关闭合，点电荷在 B、C 两点产生的场强不变，感应电荷在 B、C 两点产生的场强不变，故 CD 错误。故选 B。

【例 2】C

【详解】ABC．由于静电感应，金属球壳 B 内壁感应出负电荷，A 带正电，则 B 的空腔内电场强度不为零；金属球壳 B 外表面接地，大地中电子跑到球壳 B 上将正电荷中和，所以 B 带负电；故 AB 错误，C 正确；

D．达到静电平衡后，由于金属球壳 B 起到静电屏蔽作用，使得金属壳 B 外的场强为零，即金属壳 B 外 C 点电场强度为零，故 D 错误。故选 C。

【例 3】B

【详解】由于金属空腔可以屏蔽外部电场，所以小球 B 的电场对金属空腔 C 内无影响，即金属空腔 C 把小球 A 屏蔽了，使得小球 A 不受空腔外电场的影响，故小球 B 向 C 靠近，小球 A 的位置不变。而小球 A 在金属空腔 C 内，由于静电感应使得金属空腔 C 外表面带正电而与小球 B 互相吸引，所以小球 B 向 C 靠近，小球 B 由于被吸引而向右偏离竖直线。故选 B。

【跟踪训练】：C　　AC　　D

1．C

【详解】A B．若 Q、M 不带电，M 不接地，则 N 带电时，由于静电屏蔽，Q 上无感应电荷；若 M 接地，M 与大地组成一个大导体，靠近 N 的一端和大地将出现感应电荷，Q 上无感应电荷，故 A、B 正确；

C D．若 Q、N 不带电，M 不接地，则 Q 带电时，Q 产生的电场会影响 N，N 上有感应电荷；若 M 接地，Q 产生的电场不会影响 N，N 上无感应电荷，故 C 错误，D 正确。故选 C。

2．AC

【详解】A．若 A 球带电，则 B 球相当于放置在金属球壳内，B 球处的电场强度为零，故 A 正确；

B．若 B 球带电，则 A 球相当于放置在金属球壳和大地构成的导体球壳内，A 球处的电场强度也为零，B 错误；

CD．由于静电屏蔽，A、B 两球彼此不会相互影响，故 C 正确，D 错误。故选 AC。

3．D

【详解】AB．图甲中，空腔不接地，空腔内外均有电场；根据负电荷的电场线是汇聚的，沿着电场线的方向电势降低，所以 $\varphi_A<\varphi_B<\varphi_C$，AB 错误；

CD．图乙中，空腔接地，空腔内有电场；根据负电荷的电场线是汇聚的，沿着电场线的方向电势降低，所以 $\varphi_D<\varphi_E$

图乙中，空腔接地，空腔外没有电场，所以、$\varphi_E=\varphi_F$，综上得 $\varphi_D<\varphi_E=\varphi_F$，C 错误，D 正确。故选 D。

题型二：静电屏蔽

【精选例题】：B

【例 1】B

【详解】静电屏蔽是为了避免外界电场对仪器设备的影响，或者为了避免电器设备的电场对外界的影响，用一个空腔导体把外电场遮住，使其内部不受影响，也不使电器设备对外界产生影响，用金属网把验电器罩起来，再使带电金属球靠近验电器，由于金属网的静电屏蔽作用，箔片不张开，金属网罩内部电场强度为零。故选 B。

【跟踪训练】：C　　B

1．C

【详解】A．金属罩 B 处于静电平衡状态，电荷分布在其外表面上；

B．由于静电屏蔽，金属网罩内电场强度为零，所以验电器 C 上无感应电荷，所以验电器的金属箔片不会张开；

C．由于静电感应，使金属罩 B 的左侧外表面感应出负电荷，所以金属罩 B 的右侧外表面感应出正电荷；

D．将 B 接地，金属罩仍然处于静电屏蔽，所以验电器 C 无感应电荷，金属箔片不会张开。

故 C 正确，ABD 错误。故选 C 。

2．B

【详解】A．金属网可以屏蔽网外电荷产生的电场，验电器的两金属箔片不带电，不会张开，故 A 错误；

B．金属网没有接地，网内带电体可以使验电器发生静电感应，使金属箔片张开，故 B 正确；

CD．金属网接地，网内的带电体对网外无影响，网外的带电体对网内也无影响，不能使验电器发生静电感应现象，金属箔片不能张开，故 CD 错误。故选 B。

题型三：静电吸附

【精选例题】：C　　D

【例 1】C

【详解】静电能吸引轻小物体，含有病毒的飞沫靠近熔喷布后，会被静电吸附在表面，无法通过，从而起到隔离病毒的作用。故选 C。

【例 2】D

【详解】A．由题图知，工件带正电，涂料微粒在静电力作用下向工件靠近，可知涂料微粒带负电，A 错误；

B．离工件越近，涂料微粒所受库仑力越大，B 错误；

CD．涂料微粒在静电力作用下向工件运动，则电场力对涂料微粒做正功，其动能增大，C 错误，D 正确。选 D。

【跟踪训练】：B　　C　　AD

1．B

【详解】A．金属丝 A 与高压电源负极相连，故向金属丝 A 处运动的粉尘带正电，A 项错误；

B．由于在受到电场力作用前，粉尘的初速度可忽略不计，所以粉尘会在电场力的作用下加速运动，电场力做正功，电势能减小，B 项正确；

C．由于形成的电场不是匀强电场，则粉尘的运动不是匀加速直线运动，C 项错误；

D．由题意可知，电场强度方向由筒壁 B 指向金属丝 A，越靠近金属丝 A 电场强度越大，故粉尘运动过程中，带负电的粉尘加速度减小，带正电的粉尘加速度增大，D 项错误。故选 B。

2．C

【详解】AB．复印机复印利用了静电吸附的原理，OPC 是一种光敏半导体材料，在光照后由绝缘体变为导体，故 AB 正确，不符合题意；

C．在显影过程中，墨粉受到的静电力随着与 OPC 的距离改变面改变，加速度不断改变，故 C 错误，符合题意；

D．光照射到 OPC 表面时，材料中的电子被激发而远离原子核，从而变为导体，所以只有当光子能量（频率）大于某一数值时才可以导电，故 D 正确，不符合题意。故选 C。

3．AD

【详解】AC．除尘过程中，锯条和金属片之间存在强电场，它使空气电离成负离子和正离子，负离子在电场力作用下，向正极移动时，碰到烟尘使它带负电，带电烟尘在电场力作用下，向正极移动，烟尘最终被吸附到金属片上，这样消除了烟尘中的尘粒，所以带电量为 q 且能到达金属片的烟尘减小的电势能最大值为 qU，故 A 正确，C 错误；

B．根据俯视图可以看出塑料瓶内存在的是辐射状的电场，不是匀强电场，故 B 错误；

D．质量为 m、带电量为 q 的烟尘被金属片吸附前瞬间水平方向速度为 v，则烟尘受到电场力做的功与速度的关系为 $qU \geq \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$，根据动量定理 $I = \Delta p = p$，则吸附时水平方向受到的冲量最大为 $\sqrt{2mqU}$，故 D 正确。

故选 AD。

题型四：尖端放电

【精选例题】：E　　ABE　　B

【例 1】E【详解】A．根据电荷守恒定律，甲图中，将带正电的小球C靠近不带电的导体，再沿图中虚线将导体分割成A、B两部分后，A所带电荷量等于B所带电荷量，故A错误；

B．乙图中，处于静电平衡状态的导体腔的外表面感应出等量异种电荷，内表面没有电荷，导体壳内空腔C电场强度为0，故B错误；

C．丙图中左为验电器，右为静电计，静电计也能检验物体是否带电，故C错误；

D.利用丁图仪器探究带电小球间库仑力大小相关因素时只需要知道小球带电量的关系，不需要测出小球电荷量，选项D错误。

E．如图戊，高压电气设备的金属元件，表面有静电，尖锐的地方更容易积累更多的电荷，金属元件表面要很光滑，这样做的目的是避免尖端放电，故E正确；故选E。

【例 2】ABE【详解】A．静电除尘是利用静电回收水泥粉尘，属于静电应用。故A正确；

B．印刷厂里纸张之间因摩擦带电而吸附在一起，给印刷带来麻烦，属于静电的危害。故B正确；

C．图甲，静电除尘是利用静电力去除空气中的带电尘埃的，通过使空气中的尘埃带电，在静电力作用下，尘埃到达电极而被收集起来。故C错误；

D．摩擦过的琥珀能够吸引羽毛说明带电物体具有吸引轻小物体的性质，故D错误。

E．机翼上有多条针一样的装置是利用尖端放电导走飞机与大气摩擦产生的静电荷，E正确；故选ABE。

【例 3】B【详解】根据题意可知，优质的话筒线的原理是静电屏蔽

A．在燃气灶中的电子点火器原理是尖端放电，故A错误；

B．高压输电线的上方还有两条导线，这两条导线的作用是它们与大地相连，形成稀疏的金属“网”把高压线屏蔽起来，免遭雷击，故B正确；

C．使空气中的尘埃带电，在静电力作用下尘埃到达电极而被收集起来原理是静电除尘，属于静电的利用，C错；

D．汽车喷漆中常采用让油漆微粒与待喷工件分别带异种电荷实现均匀喷涂，是静电喷漆，属于静电的利用，故D错误。故选B。

【跟踪训练】：AD

1．AD【详解】A．避雷针的工作原理主要是利用尖端放电避免雷击，故A正确；

B．点火器是利用尖端放电的原理进行点火的，故B错误；

C．点火器是利用尖端放电的原理，工作服内掺入的金属丝的工作原理是静电屏蔽，故C错误；

D．与大地相连的两条导线所起的作用和图丁中工作服内的金属丝所起的作用是相同的，均为静电屏蔽，故D正确。故选AD。

第二讲：静电场中能的性质

考点一：电场力做功与电势能

题型一：概念辨析

【精选例题】：D　　A　　D

【例 1】D

【详解】A．力是矢量，负号表示力的方向，则3N的力比−5N的力小，故A错误；

B．加速度是矢量，负号表示加速度的方向，则$3\mathrm{m/s^2}$的加速度比$-5\mathrm{m/s^2}$的加速度小，故B错误；

C．功是标量，但负号表示克服力做功，不是表示功的大小，做3J 的功比做−5J的功少，故C错误；

D．电势能是标量，负号表示大小，则3J的电势能比−5J的电势能大，故D正确。故选D。

【例 2】A

【详解】静电力做功与电荷经过的路径无关，电荷沿直线AB、折线ACB运动，其初、末位置相同，静电力做功一样多。故选A。

【例 3】D

【详解】A．重力做功和电场力做功均与路径无关，与初、末位置有关，A错误；

B D．由电场力对电荷做功特点可知，电场力对电荷做正功时，电荷具有的电势能将减少，电场力对电荷做负功时，电荷具有的电势能将增加，B错误，D正确；

C．电势能是标量，电势能的正或负表示电荷在该点的电势能比零电势能点的电势能大或小，则有$E_{pA}>E_{pB}$，C错误。故选D。

【跟踪训练】：AD　　C　　ACD

1．AD

【详解】由电场力做功和电势能变化的关系$W=-\Delta E_{\mathrm{p}}$

AB．电场力做正功，电势能一定减少，故A正确，B错误；

CD．电场力做负功，电势能一定增加，故C错误，D正确；故选AD。

2．C

【详解】把点电荷从A点移动到B点，克服电场力做功$6\times10^{8}\mathrm{J}$，

根据电场力与电势能关系$\Delta E_{\mathrm{p}}=-W_{AB}=-(-6\times10^{8}\mathrm{J})=6\times10^{8}\mathrm{J}$，可知该电荷的电势能增加了$6\times10^{8}\mathrm{J}$；由于不知道B点的电势，所以不能确定该电荷在B点具有的电势能。故选C。

3．ACD

【详解】A．静电力做功与电荷运动路径无关，只与初、末位置有关，电荷从电场中的A点运动到B点，路径不同，静电力做功的大小相同，故A正确；

B．沿着电场线电势降低，则B点电势低于A点电势，负电荷在B点的电势能比在A点的电势能大，故B错误；

C．B点电势低于A点电势，正电荷从A运动到B，静电力做正功；负电荷从A运到B，静电力做负功，C正确；

D．根据$W_{\text{电}}=-\Delta E_{\mathrm{p}}$可得无论是正电荷还是负电荷，电场力做负功时其电势能一定增加，故D正确。故选ACD。

题型二：电势能与电场力做功的关系

【精选例题】：D　　C　　D　　AC

【例 1】D

【详解】A．根据矢量的合成法则可以知道，在点电荷 a、b 连线的中垂线上的点（O 点除外），其电场强度的方向都是沿着中垂线背离 O 点，从 O 点到无穷远，电场强度先增大后减小， 负点电荷从 c 向 d 运动的过程中，电场力变化，故 A 错误；

B．负点电荷从 c 向 d 运动的过程中，电场力先做正功，越过 O 点后，电场力做负功，电势能先减小后增大；

C．从c到d，受到的电场力始终指向 O 点，因此速度先增大后减小，故 C 错误。

D．负点电荷由c点静止释放，只受到电场力作用，根据矢量的合成法则可以知道，在点电荷a、b连线的中垂线上的点（O点除外），其电场强度的方向都是沿着中垂线背离O点，从O点到无穷远，电场强度先增大后减小，则该负点电荷在cd间做往复运动，由题意可知，从c到O的电场强度可能减小，也可能先增大后减小，则加速度可能越来越小，也可能先增大后减小，根据对称性，从O到d加速度可能越来越大，也可能先增大后减小，故 D 正确；故选 D。

【例 2】C

【详解】A．物料在竖直方向都做自由落体运动，有$h=\frac{1}{2}gt^2$，h 相同，所用时间一定相同，故 A 错误；

BCD．无论物料带正电还是负电，电场力对物料均做正功，电势能一定减少，机械能一定增大；同时重力对物料也做正功，则合外力做正功，物料的动能一定增加，速度一定增加，故 C 正确，BD 错误。故选 C。

【例 3】D

【详解】A．根据等量异种点电荷周围的电场分布和对称性可知，b、d 两点电场强度大小相等，方向相同；

B．根据等量异种点电荷周围的电场分布和对称性可知，e、f 两点电场强度大小相等，方向相同，O 点场强大于 e、f 两点的场强，故 B 错误；

C．根据等量异种电荷周围电势分布特点可知圆弧 egf 为等势线，所以将一正电荷由 e 点沿圆弧 egf 移到 f 点，电场力做功为零，故 C 错误；

D．根据等量异种电荷周围电势分布特点可知圆弧 egfd 和 O 点所在的平面为等势面，所以将一正电荷由 a 点分别移到圆心 O 和圆周上 g 点，电势能的变化量相同，故 D 正确。故选 D。

【例 4】AC

【详解】A．分别画出 AC 在 B、B'、D、D'各点的场强，然后进行场强的合成可以得到两个点电荷在这四点的电场强度方向均平行于 AC，方向由 A 指向 C，故 A 正确；

B．$A'C'$沿线电场强度方向由A'指向C'，电势降低，但试探电荷为负电荷，故电势能增加，故 B 错误；

CD．几何体为正三棱柱，D、D'点分别 AC 为、$A'C'$边的中点，所以 BD$B'D'$为 AC 的中垂面，也就是等势面，各处电势相等，电势能相等，电场力不做功，故 C 正确，D 错误；故选 AC。

【跟踪训练】：AD　　AD　　A　　C

1．AD

【详解】A．功是能量变化的量度，根据$\Delta E_P=-W$可知，带电粒子从 A 点运动到 B 点的过程中，电场力做正功为W_1，则电势能减少了W_1，故 A 正确；

B．重力做正功为W_2，则重力势能减少了W_2，故 B 错误；

C．根据功能关系可知，除重力外，其它外力所做的功等于机械能的变化量，则有$\Delta E_{机}=W_{其他}=W_1+W_3$，可知带电粒子的机械能变化了$W_1+W_3$，故C错误；

D．根据动能定理可得$\Delta E_k=W_1+W_2+W_3$，可知该过程中带电粒子动能的变化量为$W_1+W_2+W_3$，故D正确。

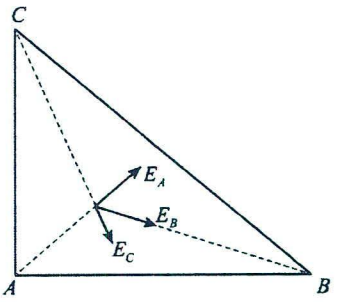
故选AD。

2．AD

【详解】依题意，云层带负电，避雷针带正电，根据带电粒子的运动轨迹可知，带电粒子所受电场力指向避雷针尖端，所以带电粒子带负电，由M点到N点电场力做正功，电势能降低，则带电粒子在M点的电势能大于在N点的电势能。故选AD。

3．A

【详解】A．由图可知，AB两点的正负电荷在E点的电势之和为零，C点的正电荷在E点的电势为正，可知E点的电势为正，可知负试探电荷在E点的电势能小于0，选项A正确；



B．AC两点的正电荷在F点的电势之和为正，B处的负电荷在F点的电势为负，因小于AC两处的正电荷的电势，可知F点电势为正，则负试探电荷在F点的电势能小于0，选项B错误；

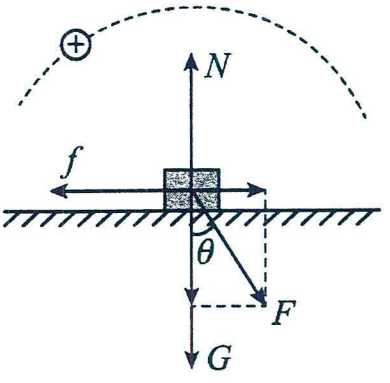
C．在三角形内部任取一点，其电场强度如图所示：

由图可知，合电场强度都是指向右侧的，合场强不可能为0，故C错误；

D．由C的分析可知，若将正试探电荷从F点移到D点，电场力做正功，电势能减小，可知在D点的电势能小于其在F点的电势能，选项D错误。故选A。

4．C

【详解】ABC．当质点乙由M点运动到最高点过程中，对物体甲受力分析，如图，受重力G、地面的支持力N、摩擦力f以及静电力F



将静电力正交分解，由共点力平衡条件得到

$F\sin\theta-f=0$，$N-F\cos\theta-mg=0$

联立解得$N=mg+F\cos\theta$，$f=F\sin\theta$

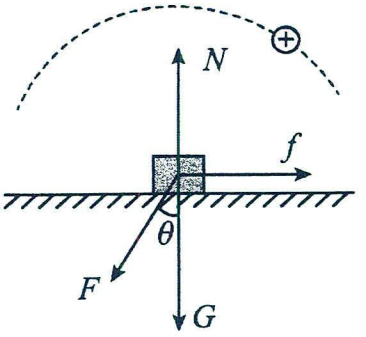
其中G与F不变，θ逐渐减小为零，因而支持力N逐渐变大，f逐渐变小；

当质点乙由最高点运动到N点的过程中，再次对物体甲受力分析，如下图，受重力G、地面的支持力N、摩擦力f以及静电力F

将静电力正交分解，由共点力平衡条件得到

$F\sin\theta-f=0$；$N-F\cos\theta-mg=0$

联立解得$N=mg+F\cos\theta$；$f=F\sin\theta$



其中G与F不变，θ由零逐渐增大，因而支持力N逐渐变小，f逐渐变大；综合以上两个过程可知：物体甲受到地面的支持力N先增大后减小，物体甲受到地面的摩擦力先减小后增大，故AB错误，C正确；

D．质点甲对质点乙的静电力与质点乙的速度方向总是垂直，因而电场力不做功，则乙的电势能不变，故D错误。故选C。

考点二：电势

题型一：概念辨析

【精选例题】：D

【例 1】D

【详解】A．电势具有相对性，电场强度为零的地方，电势不一定为零，故 A 错误；

B．电势具有相对性，电势为零的地方，电场强度不一定为零，故 B 错误；

C．电场线分布的密集程度表示电场强弱，沿电场线电势降低，可知，电场强度较大的地方，电势不一定较高，故 C 错误；

D．根据$E=\frac{U}{d}$可知，匀强电场中电势降低最快的方向一定是沿电场强度的方向，故 D 正确。故选 D。

【跟踪训练】：B　　CD

1．B

【详解】AB．沿电场线的方向，电势一定越来越低，电场线的疏密代表电场的强弱，沿电场线的方向，场强不一定越来越小，例如负的点电荷产生的电场，沿电场线方向场强越来越大，故 A 错误，B 正确；

C．电荷的电性不明确，正电荷沿电场线方向移动，电场力做正功，电势能逐渐减小，负电荷则相反，故 C 错误；

D．电场线的分布情况不知道，正电荷的初速度不确定，所以在电场力作用下，正电荷不一定沿电场线运动，故 D 错误。故选 B。

2．CD

【详解】A．由库仑定律$F=\frac{kQ_1Q_2}{r^2}$可知，$r\to 0$时，该公式已经不再适用，则选项 A 错误；

B．电场强度 E 是由电场本身决定的，与试探电荷的电荷量 q 无关，选项 B 错误；

C．由点电荷场强公式$E=\frac{kQ}{r^2}$可知，r 一定时，电荷量 Q 越大，场强 E 越大，选项 C 正确；

D．电势$\varphi=\frac{E_p}{q}$是电势的比值定义法，可知电势φ可以通过试探电荷在电场中拥有的电势能与其电量 q 的比值求得，选项 D 正确。故选 CD。

题型二：电势的性质及简单应用

【精选例题】：A　　AD

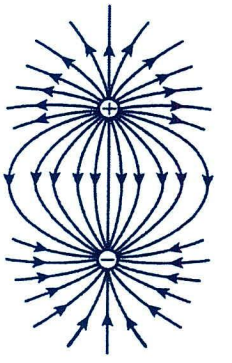
【例 1】A

【详解】由于带负电的试探电荷由 P_1 运动到 P_2 做减速运动，则试探电荷受到向左的电场力，所以电场强度方向向右，则场源电荷为正电荷，根据点电荷电场分布特点可知，越靠近场源电荷场强越大，电势越高，

所以$E_1>E_2$，$\varphi_1>\varphi_2$，故选 A。

【例 2】AD

【详解】A．等量异种点电荷的电场分布如图所示，



由此可知，左侧红方“炮”所在位置与棋盘右侧黑方“砲”所在位置关于两电荷连线中点对称，则电场强度大小相等方向相同。故 A 正确；

B．棋盘黑方棋子所在位置更靠近正电荷，电势较高，棋盘红方棋子所在位置靠近负电荷，电势较低。故 B 错误；

C．质子从红方正中间“兵”所在位置运动到黑方正中间“卒”所在位置，静电力的方向与位移方向相反，静电力做负功。故 C 错误；

D．根据 $E_p=-e\varphi$，得电子在棋盘红方棋子所在位置的电势能大于在黑方棋子所在位置的电势能。故 D 正确。

故选 AD。

【跟踪训练】：D　　CD

1．D

【详解】A．电场强度是矢量，甲图中 A 点和 B 点电场强度大小相等，方向不同，所以电场强度不相同，A 错；

B．孤立的带电导体本身是一个等势体，其表面是一个等势面，所以乙图中带电体表面上 C 点和 D 点电势相等，由电场线疏密程度知电场强度大小不相等，故 B 错误；

C．丙图中下极板带正电，上极板带负电，电场线方向向上，沿电场线方向电势降低，所以丙图中 F 点电势高于 E 点电势，故 C 错误；

D．根据 $E_p=q\varphi$ 可知，负电荷在电势高的地方电势能小，所以电子在 F 点电势能比较小，故 D 正确。故选 D。

2．CD

【详解】A．根据场强叠加原理和对称性可知，O 处合场强为零，OQ 连线上各处场强方向均由 O 指向 Q。由于沿电场线方向电势降低，无限远处电势为零，所以 O 处电势大于零。故 A 错误；

B．由 O 到 P 电势降低。故 B 错误；

C．OQ 连线上各处 P 点电场强度最大，由 O 到 Q 场强先增加后减小，电子受电场力先增大后减小，所以电子从 O 到 Q 加速度先增大后减小。故 C 正确；

D．电子从 O 到 Q 根据动能定理有 $-eU_{OQ}=E_{kQ}-E_{kO}$，可得 $U_{OQ}=\dfrac{E_{kQ}-E_{kO}}{-e}=2\text{V}$，又 $U_{OQ}=\varphi_O-\varphi_Q=2\text{V}$

所以 Q 处电势比 O 处低 2V。故 D 正确。故选 CD。

考点三：电势差

题型一：概念辨析

【精选例题】：CD　　B　　B

【例 1】CD

【详解】A．电场中某一位置的电势是相对的，与零电势点的选取有关，而电场中两点间的电势差等于电势之差，由电场本身决定，具有绝对性，与零电势点的选取无关，A 错误；

B．电势差有正、负之分，其正、负表示电势的高低，是一个标量，B 错误；

C．根据 $U_{AB}=\dfrac{W_{AB}}{q}$ 可知，由于静电力做功跟移动电荷的路径无关，所以电势差也跟移动电荷的路径无关，只跟这两点的位置有关，C 正确；

D．电场中两点间的电势差等于电势之差，由电场本身决定，具有绝对性，与零电势点的选取无关，

既有 $U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，$U_{BA}=\varphi_B-\varphi_A$，因此 $U_{AB}=-U_{BA}$，D 正确。故选 CD。

【例 2】B

【详解】AB．电场中某两点间的电势差是由电场及两点的位置决定的，与移动电荷的电荷量、零电势面的选取以及电场力做功均无关，A、B两点间的电势差是恒定的，但有正负之分$U_{AB}=-U_{BA}$，故 A 错误，B 正确；

C．把负电荷从 A 点移动到B点电场力做正功，则 A 点电势较低，有$U_{AB}<0$，故 C 错误；

D．电场中A、B两点间的电势差U_{AB}等于把单位正电荷q从 A 点移动到B点时静电力所做的功，故 D 错误。

故选 B。

【例 3】B

【详解】AB．A、B 间的电势差为$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}=\frac{-3\times10^{-5}}{-6\times10^{-6}}\text{V}=5\text{V}$，故 A 错误，B 正确；

CD．从 A 到 B 电荷克服电场力做功，电势能增加$3\times10^{-5}\text{J}$，若$E_{pA}=0$，则$E_{pB}=3\times10^{-5}\text{J}$，故 CD 错误。故选 B。

【跟踪训练】：D　　B

1．D

【详解】A．电势能与电势的关系为$E_p=q\varphi$，电势能是标量，上式中电量q要带正负号，则负电荷在电势越高的位置，电势能反而越小，故 A 错误；

B．在电势一定的位置，放入某点电荷的电荷量越大，该点电荷的电势能不一定越大，如电势小于 0，放入的正点电荷的电荷量越大，电势能反而越小，故 B 错误；

C．电势差是标量，可正，可负。正负表示两点电势的高低，故 C 错误；

D．根据电场力做功与电势能的关系可知，在电场中移动一电荷，若电场力对其做负功，其电势能一定增大，故 D 正确。故选 D。

2．B

【详解】根据$W=qU$可知$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}=\frac{2\times10^{-6}}{1\times10^{-8}}\text{V}=200\text{V}$，又$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B=200\text{V}$

同理可知$U_{BC}=\frac{W_{BC}}{q}=\frac{3\times10^{-6}}{1\times10^{-8}}\text{V}=300\text{V}$，$U_{CD}=\frac{W_{CD}}{q}=\frac{-4\times10^{-6}}{1\times10^{-8}}\text{V}=-400\text{V}$

又因为$U_{BC}=\varphi_B-\varphi_C=200\text{V}$，$U_{CD}=\varphi_C-\varphi_D=-400\text{V}$，所以$\varphi_A>\varphi_D>\varphi_B>\varphi_C$。故选 B。

题型二：电势的性质及简单应用

【精选例题】：AC　　AD

,**【例 1】**AC

【详解】AC．以 O 点为球心，则 a、b、c、d、e、f 所在球面为等势面，该球面上的所有点电势相等，Oa 和 Od 之间的电势差$U_{Oa}=\varphi_O-\varphi_a=U_{Od}=\varphi_O-\varphi_d$，故 AC 正确；

B．根据库仑定律以及点电荷的场强规律可知$E=\frac{F}{q}=k\frac{Q}{r^2}$，a、b 两点与电荷的距离相等，则场强大小相等，但电场强度是矢量 a、b 两点场强的方向不同，则场强不同，故 B 错误；

D．点电荷＋q 在球面（等势面）上移动，电势能不变，则电场力不做功，故 D 错误。故选 AC。

【例 2】AD

【详解】A．在匀强电场中，两长度相等且相互平行的线段两端的电势差相等，则$\varphi_A-\varphi_D=2（\varphi_B-\varphi_C）$得$\varphi_D=7V$，故 A 正确；

B．同理可求得$\varphi_F=-1V$，$\varphi_E=2V$，电子在 A 点的电势能$E_{PA}=\varphi_A q=-1eV$，在 E 点的电势能$E_{PE}=\varphi_E q=-2eV$所以电子在 A 点的电势能比在 E 点的高 1eV，故 B 错误；

C．电子从 C 点运动到 F 点，电场力做功$W_{CF}=U_{CF}q=（\varphi_C-\varphi_F）=-10eV$，故 C 错误；

D．DF 电势差$U_{DF}=\varphi_D-\varphi_F=8V$，故 D 正确。故选 AD。

【例 3】(1)20V，60V；(2)40V，-4.0×10^{-8}J

【详解】（1）由题可知$W_{AB}=qU_{AB}$，解得$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}=20V$

电荷从 B 点移动到 C 点，电势能增加了4.0×10^{-8}J，说明在此过程中，电场力也是做负功，

同理可得$U_{BC}=\frac{W_{BC}}{q}=40V$，根据电势差的关系可得$U_{AC}=U_{AB}+U_{BC}=60V$

（2）因为$\varphi_B-\varphi_C=U_{BC}$且$\varphi_C=0$所以，B 点的电势$\varphi_B=40V$，B 点的电势能$E_{pB}=q\varphi_B=-4.0\times10^{-8}$J

【例 4】(1)$a_c=\frac{g}{2}$，方向沿杆向上；(2)$-\frac{kQ}{d}$

【详解】（1）带电小球在 B 点时，由牛顿第二定律得$mg\sin30°-\frac{kQq}{d^2}=m\frac{g}{4}$

带电小球在 C 点时，由牛顿第二定律得$\frac{kQq}{(\frac{d}{2})^2}-mg\sin30°=ma_c$，可计算得出时$a_c=\frac{g}{2}$，方向沿杆向上

（2）由 B 点到 C 点应用动能定理得$mg\frac{d}{2}\sin30°+qU_{BC}=0$

在 B 点，由牛顿第二定律得$mg\sin30°-\frac{kQq}{d^2}=m\frac{g}{4}$，联立可求得 BC 间的电势差$U_{BC}=-\frac{kQ}{d}$

【例 5】(1)$\varphi_M=-\frac{3mgr}{2q}$；(2)$v_P=3\sqrt{gr}$

【详解】(1)小球从M点到N点过程，由动能定理可得$mg\cdot\frac{3r}{2}-qU_{MN}=\frac{1}{2}mv_N^2$，又$v_N=\sqrt{6gr}$，解得$U_{MN}=-\frac{3mgr}{2q}$

又由$\varphi_N=\varphi_P=0$，$U_{MN}=\varphi_M-\varphi_N$，解得$\varphi_M=-\frac{3mgr}{2q}$

（2）由几何关系可得NP段的竖直高度$h_{NP}=\frac{3}{2}r$，小球从N点到P点过程，静电力做功为零，

根据动能定理可得$mg\cdot\frac{3}{2}r=\frac{1}{2}mv_p^2-\frac{1}{2}mv_N^2$，解得$v_P=3\sqrt{gr}$

【跟踪训练】：BC　　BC　　CD　　CD

1．BC

【详解】A．电场线的疏密表示场强的大小，电场线越密，电场强度越大，根据图象知 P 点的电场强度比 Q 点的小；根据电场线与等势面垂直，可知 ab 与 cd 是两条等势线，则 P 与 O 的电势相等，Q 与 O 的电势也相等，所以 P、Q 两点的电势相等，故 A 错误；

B．ab 连线上各点的电势相等，根据沿着电场线方向电势逐渐降低，因此 M 点比 ab 连线上各点的电势低，则 M

点的电势比 P 点的低，故 B 正确；

C．由于 P、Q 两点电势相等，所以 PM 两点间的电势差等于 QM 间的电势差，故 C 正确；

D．P、Q 两点的电势相等，则 Q 点的电势高于 M 点的电势，而负电荷在电势高处电势能小，所以带负电的试探电荷在 Q 点的电势能比在 M 点小，故 D 错误。故选 BC。

2．BC

【详解】AB．设 O 点的电场强度为 E_0，则某点的电场强度 E 随到 O 点的距离 r 变化规律为 $E=-kr+E_0$

分别代入 AB 两点的数值得 $E_1=-kr_1+E_0$，$E_2=-kr_2+E_0$，联立解得 $E_0=\frac{E_1r_2-E_2r_1}{r_2-r_1}$，$k=\frac{E_1-E_2}{r_2-r_1}$，A 错误，B 正确；

CD．由于任一条射线电场强度均随到 O 点距离的增大而均匀减小，且每条射线上电场强度变化的规律都相同，方向背离 O 点,所以 AB 两点间的电势差为 $U_{AB}=\frac{E_1+E_2}{2}(r_2-r_1)$，故 C 正确，D 错误。故选 BC。

3．CD

【详解】A．依题意，该过程中库仑力对小金属块做正功，所以小金属块的电势能减小。故 A 错误；

B．由动能定理可得 $W_{AB}-\mu mgL=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，A、B 两点间的电势差为 $U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$

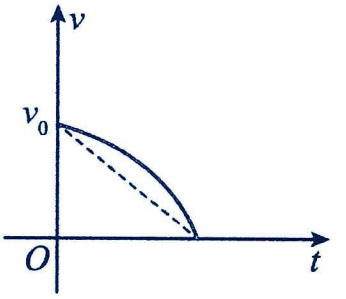
联立，解得 $U_{AB}=\frac{m(2\mu gL-v_0^2)}{2q}$，故 B 错误；

C．若在 A 处库仑力大于摩擦力，则小金属块速度最大时，其受力平衡，有 $\mu mg=k\frac{Qq}{x^2}$，解得 $x=\sqrt{\frac{kQq}{\mu mg}}$

故 C 正确；

D．若在 A 处库仑力小于摩擦力，由牛顿第二定律可得 $a=\frac{\mu mg-k\frac{Qq}{r^2}}{m}$

则小金属块由 A 向 B 运动过程做加速度增大的减速运动，v-t 图像如图所示



在图中做出初速度为 v_0，末速度为 0 的匀减速匀速直线运动图线，根据平均速度公式 $\overline{v}=\frac{x}{t}$，可知小金属块由 A 向 B 运动过程的平均速度大于 $\frac{v_0}{2}$。故 D 正确。

故选 CD。

4．CD

【详解】A．由题意可知，A 点电场强度为 0，两个点电荷电荷量不等，所以关于 A 点对称的 M、N 两点电势不相等，动能不相等，故 A 错误；

B．由 M 到 B 点列动能定理 $qU_{MB}=-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得 $U_{MB}=-\frac{mv_0^2}{2q}$。故 B 错误；

C．由于 A 点电场强度为 0，所以 A 点的电势最低，带正电的小球在 A 点的电势能最小，动能最大，故 C 正确；

D．若两点电荷的电荷量均变为原来的 2 倍，由 $\varphi=\frac{kQ}{r}$ 可知，M、B 点电势均变为原来的 2 倍，电势差也变为原来的 2 倍，小球不能到达 B 点，故 D 正确。

故选 CD。

考点四：等势面

题型一：概念辨析

【精选例题】：D

【例 1】D

【详解】电场是客观存在的，电场线和等势面是人们为了研究问题方便引入的，所以电场线和等势面都不是客观存在的。故选 D。

【跟踪训练】：D　　D

1．D

【详解】A．两个电势不同的等势面不可能相交，若相交，表明电势相等，故 A 错误；

B．同一等势面上各点所在位置的电场线分布密集程度不一定相同，则电场强度大小不一定相等，故 B 错误；

C．电势具有相对性，相对于零电势点而言，电势为零的等势面上，电场强度可能为零，故 C 错误；

D．沿等势面移动试探电荷，电场力不做功，可知，任何电场中，电场线与等势面都处处相互垂直，故 D 正确。故选 D。

2．D

【详解】A．若为等高线，则 B、D 两点高度相同，则重力加速度相同，选项 A 错误；

B．若为等势线，因 D 点等差等势线密集，则 D 点电场线密集，则 D 点电场强度较大，选项 B 错误；

C．若为等势线，则 A、C 两点不在同一等势线上，则两点的电势不相同，选项 C 错误；

D．若为等势线，A 点电势高于 D 点，则将一正电荷从 A 点移动到 D 点电势能减小，则电场力做正功，选项 D 正确。故选 D。

题型二：几种常见等势面的性质

【精选例题】：D　　CD　　D　　A

【例 1】D

【详解】A．因 cd 两点电势相等，可知负点电荷从 c 点沿圆弧移到 d 点，电势能不变，选项 A 错误；

B．b 点的等差等势面较 c 点密集，可知电场线也密集，则 b 点的电场强度比 c 点的大，选项 B 错误；

C．c 点电势低于 b 点，则正点电荷从 c 点移到 b 点，电势能增加，则静电力做负功，选项 C 错误；

D．由图可知，a 点的电势比 d 点的高，选项 D 正确。故选 D。

【例 21】CD

【详解】A．该电场是等量异种电荷的电场，中垂面是等势面，无穷远处电势为零，故中垂面电势也为 0，e 点的电势等于 0，故 A 错误；

B．等量异种电荷的电场，它具有对称性，a 点和 b 点的电场强度大小相等，而方向不同，故 B 错误；

C．b 点离正电荷的距离更近，所以 b 点的电势较高，高于 d 点的电势，故 C 正确；

D．a 点离正电荷近，a 点电势高于 c 点，根据负电荷在电势高处电势能小，知负电荷从 a 点移到 c 点，电势能增加，故 D 正确。

故选 CD。

【例 3】D

【详解】A．等差等势面分布的密集程度能够间接表示电场的强弱，根据图形可知，b 点与 c 点处的等势面分布密集程度相同，则这两点的电场强度大小相等，根据等量负电的点电荷电场线的分布规律可知，这两点的电场强度方向相反，因此 b 点的场强与 c 点的场强不相同，A 错误；

B．等差等势面分布的密集程度能够间接表示电场的强弱，根据图形可知，a 点处等势面分布比 d 点处等势面分布稀疏一些，则 a 点的场强比 d 点的场强小，B 错误；

C．沿电场线电势降低，根据等量负电的点电荷电场线的分布规律可知，a 点的电势比 b 点的电势低，C 错误；

D．沿电场线电势降低，根据等量负电的点电荷电场线的分布规律可知，a 点的电势比 c 点的电势低，即 $\varphi_a < \varphi_c$

由于 $E_{pa} = -e\varphi_a$，$E_{pc} = -e\varphi_c$，则有 $E_{pa} > E_{pc}$，D 正确。故选 D。

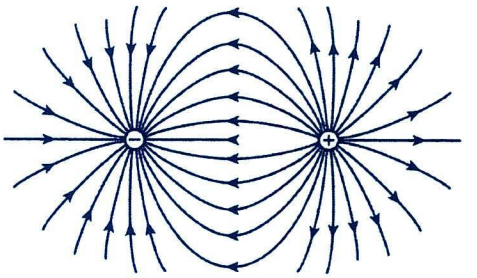
【例 4】A

【详解】因 N 点的等势面较 M 点密集，可知 N 点电场线较 M 点密集，则 N 点场强比 M 点较大，即 $E_M < E_N$

电场线的方向由金属板指向负电荷，沿电场线电势降低，可知 $\varphi_M > \varphi_N$，故选 A。

【跟踪训练】：AD　　B　　A　　AB　　A

1．AD



【详解】该瞬时电势分布图可等效为等量异种电荷产生的，等量异种电荷的电场线分布如图

A．d、a 两点的电势差 $U_{da} = \varphi_d - \varphi_a = -1.5\text{mV}$，选项 A 正确；

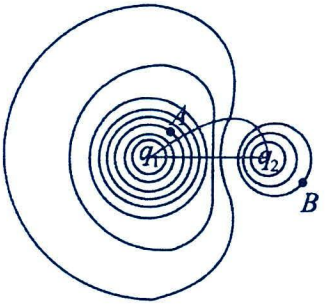
B．从 b 点移到 d 点电势升高，但由于是负电荷所以电势能减小，选项 B 错误；

C．a、b 为两电荷连线上对称的两点，所以 a、b 两点的电场强度大小、方向相同，C 错误；

D．c、d 为两电荷连线中垂线上对称的两点，c、d 两点的电场强度大小方向都相同，根据等势线的密程度可判断出从 c 到 d 的直线上电场强度先变大后变小，选项 D 正确。

故选 AD。

2．B



【详解】A．由等势面作出电场线，可知两个点电荷为异种电荷，故 A 错误；

B．因左侧点电荷等势面比右侧密集，左侧点电荷带电量较多，故 B 正确；

C．A 点等势面比 B 点密集，可知 A 点场强较大，故 C 错误；

D．两点电荷的带电情况不知，因此无法判断电势的高低，故 D 错误。故选 B。

3．A

【详解】A．等势面疏密程度表示强度大小，则 A、B、C 三个位置中 A 点处的电场强度最大，故 A 正确；

B．积雨云的底部积聚负电荷，根据静电感应可知避雷针带正电，故 B 错误；

C．图中的虚线为等势线，则 B、A 两点间的电势差等于 B、C 两点间的电势差，故 C 错误；

D．等势线与电场线垂直，且从正电荷指向带负电的云层，则空气中一电子由 B 运动到 C 点，逆着电场线运动，电场力做正功，电势能减小，故 D 错误。故选 A。

4．AB

【详解】A．电工全身要穿上用金属丝线编织的衣服是为了屏蔽高压线周围的电场，使体内电场强度保持为零，选项 A 正确；

B．因 f 点处的等势面较 d 点密集，可知 f 点的电场线较 d 点密集，可知 f 点的场强比 d 点大，选项 B 正确；

C．若将一带电体从 c 移到 f，因不确定带电体的电性，则不能确定其电势能的变化，选项 C 错误；

D．若将一带电体沿着其中任一等势面移动，电场力不做功，选项 D 错误。故选 AB。

5．A

【详解】电场线越密集的地方，电场强度越大，则电场力越大，故 $F_a < F_b$，沿着电场线方向，电势逐渐降低，故 b 点电势较高，电荷带负电，根据 $E_p = q\varphi$ 可知，$E_{pa} > E_{pb}$。故选 A。

题型三：带电粒子穿越等势面中的能量转化

【精选例题】：ABD　　A

【例 1】ABD

【详解】A．虚线 a、b、c、d、f 代表匀强电场内间距相等的一组等势面，一电子经过 a 时的动能为 10eV，从 a 到 d 的过程中克服电场力所做的功为 6eV，动能减小了 6eV，电势能增加了 6eV，因此 a、b、c、d、f 相邻两个等势面间的电势差为 2V，因平面 b 上的电势为 2V，由于电子的电势能增加，等势面电势由 a 到 f 是降低的，因此平面 c 上的电势为零，故 A 正确；

B．匀强电场的场强大小为 $E = \dfrac{U}{d} = \dfrac{2}{0.05}\text{V/m} = 40\text{V/m}$，故 B 正确；

C．在平面 b 上电势为 2V，则电子的电势能为-2eV，动能为 8eV，电势能与动能之和为 6eV，当电子经过平面 d 时，动能为 4eV，其电势能为 2eV，故 C 错误；

D．由于题目中没有说明电子如何运动，因此也可能电子在匀强电场中做抛体运动，则可能不会到达平面 f，故 D 正确。故选 ABD。

【例 2】A

【详解】由动能定理可知，小球由 a 到 b 的过程中，动能减少 $\Delta E_k = 20\text{eV} - 5\text{eV} = 15\text{eV}$，故电场力做功 $W_{ab} = -15\text{eV}$

小球电势能增加量 $\Delta E_{pab} = 15\text{eV}$，因相邻两等势面间的电势差相等，选 c 点为零电势点，则 a 点电势能 $E_{pa} = -10\text{eV}$

只有电场力做功，故小球运动过程中，电势能与动能的和不变，由 $E_{pa} + E_{ka} = -10\text{eV} + 20\text{eV} = 10\text{eV}$

可知，当小球电势能为-6eV 时，它的动能为 16eV。故选 A。

【跟踪训练】：AD　　C

1．AD

【详解】A．由带负电的粒子的运动轨迹可知，靠近点电荷时受到阻力作用，所以 O 位置的点电荷带负电；

B．等差等势面的疏密表示场强强弱，b 处的场强比 a 处大，所以该粒子在 b 点的加速度大于在 a 点的加速度，故 B 错误；

C．由 O 位置的点电荷带负电，所以 b 点电势在 a、b、c、d 四点中最低，由 $E_p = q\varphi$，可知该粒子在 b 处的电势能最大，故 C 错误；

D．由动能定理可知，该粒子从 b 点飞到 c 点动能的变化量 $\Delta E_{kbc}=qU_{bc}=q(\varphi_1-\varphi_2)$

该粒子从 c 点飞到 d 点动能的变化量 $\Delta E_{kcd}=qU_{cd}=q(\varphi_2-\varphi_3)$，由 $\varphi_1-\varphi_2=\varphi_2-\varphi_3$ ，可得 $\Delta E_{kbc}=\Delta E_{kcd}$

所以该粒子从 b 点飞到 c 点动能的变化量等于从 c 点飞到 d 点动能的变化量，故 D 正确。故选 AD。

2．C

【详解】AD．电子经过 bd 等势面时动能分别为 6eV 和 2eV，则动能减小 4eV，电势能增大 4eV，根据 $\varphi=\frac{E_p}{q}$

可知电势减小 4V，取 φ_c=0V，a，b、c，d，e 为间距相等的一组等势面，

可知 φ_a=4V，φ_b=2V，φ_c=0，φ_d=-2V，φ_e=-4V，电子经过 a 等势面时电势能为-4eV，故 AD 错误；

BC．电子经过 b 等势面时动能为 6eV，根据能量守恒定律可知，电子经过 a 等势面时动能为 8eV，则有 $\frac{1}{2}mv_0^2=8\,\text{eV}$

电子运动过程中，根据动能定理有 $eU=\frac{1}{2}m(v_0\cos\theta)^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得 $U=-6\,\text{V}$，由于 $\varphi_d-\varphi_a=-6\,\text{V}$

所以电子刚好可到达 d 等势面，故 C 正确，B 错误；故选 C。

题型四：电场中粒子运动轨迹中的定性分析

【精选例题】：C　　C　　C　　D

【例 1】C

【详解】A．根据电场线的分布情况可知，a 点的电场强度小于 d 点的电场强度，根据牛顿第二定律可知，a 点的加速度小于 d 点的加速度，A 错误；

B．由于粒子受力方向指向运动轨迹的内侧，故粒子带正电，但由于不知到粒子的运动方向，无法确定粒子动能的变化，B 错误；

C．由于 b 点的电势高于 d 点的电势，由于粒子带正电，故粒子在 b 点的电势能大于在 d 点的电势能，C 正确；

D．沿电场线的方向是电势降低的方向，故 c 点电势高于 d 点电势，D 错误。故选 C。

【例 2】C

【详解】AB．电场线的疏密表示场强的大小，则电子从 O 点运动到 Q 点的过程中，场强先变大后变小，则电子受到的电场力先增大后减小，加速度先增大后减小，故 A 错误，B 错误；

C．电场力的方向沿电场线的切线方向，且根据曲线运动的合力方向位于轨迹的凹侧，可知电子受到的电场力的方向与速度方向的夹角大于 90°，则电场力对电子做负功，电子的电势能增大，在 O 点电势能比在 Q 点电势能小，故 C 正确；

D．从 O 点到 P 点电场力做功与从 P 点到 Q 点电场力做功谁大谁小无法判断，所以 D 错误。故选 C。

【例 3】C

【详解】A．沿电场线方向电势降低，A 点电势低于 B 点电势，故 A 错误；

B．由图可知，C 点与 B 点关于放电极对称，B 点处的电场线与 C 点处的电场线疏密相同，即电场强度大小相等，但方向相反，故 B 错误；

CD．烟尘颗粒受到的电场力方向指向轨迹的凹侧，由图可知，烟尘颗粒带负电，从 A 到 B 的过程中，电场力做正功，电势能减小，动能增加，则烟尘颗粒在 A 点的动能小于在 B 点的动能，烟尘颗粒在 A 点的电势能大于在 B 点的电势能，故 C 正确，D 错误。故选 C。

【例 4】D

【详解】A．电场线由正电荷发出，负电荷接收，则 B 处的电荷为负电荷，相距两电荷相等的距离，电场线越密集代表场强越大，则 A 处电荷的电荷量大于 B 处电荷的电荷量，故 A 错误；

B．根据运动轨迹可知电场力大致向左，与电场线方向相反，则带电粒子 X 为负电荷，故 B 错误；

C．电场线越密集，电场强度越大，根据牛顿第二定律可知带电粒子 X 在运动过程中的加速度先减小，后增大，故 C 错误；

D．带电粒子运动过程中，电场力做负功，电势能增大，故 D 正确；故选 D。

【跟踪训练】：B　　ABD　　AD　　D

1．B

【详解】A．由于粒子仅在电场力作用下运动，电场力指向曲线弯曲的凹测，则粒子受到的电场力与电场方向相同，则粒子带正电，故 A 错误；

B．由电场线越密电场强度越大可知，A 点电场强度比 B 点电场强度小，因此粒子在 A 点的加速度比在 B 点的加速度小，故 B 正确；

C．无法确定粒子的运动方向，可能从 B 向 A 运动，也可能从 A 向 B 运动，故 C 错误；

D．假设粒子从 A 向 B 运动电，则场力做正功，电势能减小，因此粒子在 A 点电势能比在 B 点电势能大，故 D 错误。故选 B。

2．ABD

【详解】A．粒子做曲线运动，所受合力指向轨迹的内侧，由带电粒子在正点电荷的电场中运动的轨迹可知，M 受到的是库仑引力，N 受到的是库仑斥力，所以 M 带负电，N 带正电，故 A 正确；

B．在正点电荷的电场中，离正点电荷越近电势越高，则 a 点电势高于 b 点电势，M 带负电，带负电粒子从高电势到低电势，电场力做负功，动能减小，所以 M 在 b 点的动能小于它在 a 点的动能，故 B 正确；

C．由带电粒子在正点电荷的电场中运动的轨迹可知，N 受到的是库仑斥力，粒子 N 从 c 到 d 的过程中电场力做正功，所以电势能减小，所以 N 在 d 点的电势能小于 N 在 c 点的电势能，故 C 错误；

D．N 从 e 点运动到 c 点的过程中，是从低电势到高电势，因 N 带正电，带正电粒子从低电势到高电势，电场力做负功，所以该过程 N 克服电场力做功，故 D 正确。故选 ABD 。

3．AD

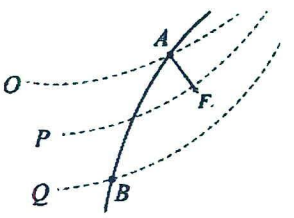
【详解】A．粒子所受电场力为其合力，则电场力方向指向轨迹内侧，即电场力方向与电场强度方向相同，粒子带正电，故 A 正确；

B．根据图像可知，靠近正电荷附近的电场线分布密集一些，即靠近正电荷附近的电场强度大一些，可知，正电荷的电荷量大于负电荷的电荷量，故 B 错误；

C．结合上述可知，粒子从 a 运动到 b，电场力做负功，可知，粒子在 b 点的速度小于在 c 点的速度，故 C 错误；

D．电场线分布的疏密程度表示电场强弱，b 点的电场线分布比 c 点的密集，则 b 点的电场强度比 c 点大，b 点的电场力比 c 点大，则粒子在 b 点的加速度大于在 c 点的加速度，故 D 正确。故选 AD。

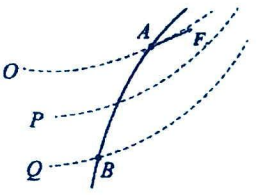
4．D



【详解】A C．电子做曲线运动，所受电场力指向轨迹内侧。如图，若 O、P、Q 三条线是等势面，电子受力方向斜向右下方。

由于电子带负电，则电场线方向斜向右上方，根据沿电场线电势降低，可知 O 等势面

的电势最低，电子从 A 到 B 电场力做正功，动能增加，故 AC 错误；



B D．若 O、P、Q 三条线是电场线，电子受力方向如图

从 A 到 B 过程中电场力做负功，动能减少，电势能增加，即 A 点的电势能大于 B 点的电势能，电子带负电，A 点的电势高于 B 点，故 B 错误，D 正确；故选 D。

考点五：电势差与电场强度的关系

题型一：匀强电场中电势差与电场强度的定量计算

【精选例题】：AB

【例 1】AB

【详解】A．$E=\frac{U}{d}$仅适用于匀强电场，故 A 正确；

B．电势差的比值定义式$U_{ab}=\frac{W_{ab}}{q}$适用于任何电场，且 Uab 跟 Wab、q 无关，故 B 正确；

C．电势的比值定义式为$\varphi=\frac{E_p}{q}$，但电场中某点的电势φ与 q 无关，故 C 错误；

D．Uab = Ed 中的 d 指的是 a、b 两点沿场强方向的距离，所以电场中任意两点 a、b 间的距离越大，a、b 两点沿场强方向的距离不一定越大，则两点间电势差不一定越大，故 D 错误。故选 AB。

【例 2】(1)8V；(2)4V/m；(3) 4 V，-8×10^{-6}J

【详解】（1）A、B 间的电势差为$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$，解得U_{AB}=-8V，则$U_{BA}=-U_{AB}=8\text{V}$

（2）匀强电场的电场强度大小为$E=\frac{U_{BA}}{L\cos60^\circ}=4\text{ V/m}$

（3）根据电势差的定义式有$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，解得$\varphi_B=4\text{ V}$，根据电势能的计算公式有$E_{pA}=Q\varphi_A=-8\times10^{-6}\text{J}$

【跟踪训练】：C　　A

1．C

【详解】A．a、b 两点的电势差 Uab=20V，则电场强度的大小为$E=\frac{U_{ab}}{ab\cos60^\circ}=200\text{ V/m}$，故 A 错误；

B．b、d 两点的电势差为$U_{ab}=E\times\frac{ab}{2}(1-\cos60^\circ)=10\text{ V}$，又$U_{bd}=\varphi_b-\varphi_d$

所以 b 点的电势比 d 点的高 10V，故 B 错误；

C．将电子从 c 点移到 d 点，电场力做功为$W=-eEcd=-200\times0.2\text{eV}=-40\text{eV}$，故 C 正确；

D．根据沿电场线电势降低，则有$\varphi_a<\varphi_c$，电势能$E_p=q\varphi$，由于电子带负电，则有$E_{pa}>E_{pc}$

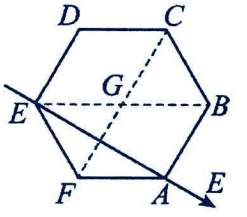
即电子在 a 点的电势能大于在 c 点的电势能，故 D 错误。故选 C。

2．A

【详解】A．点 B 的电势为 2V，E 点的电势为 4V，故 BE 连线的中点 G 的电势为 3V，故直线 CGF 为等势面，DE 为等势面，BA 也是等势面，故 D 点电势为 4V，故 A 正确；

B．B 点电势比 C 点电势低 1V，电子带负电荷，故电子在 B 点的电势能比在 C 点高 1eV，故 B 错误；

C．电子从 B 点到 E 点电场力做功为$W_{BE}=-eU_{BE}=-(2-4)\text{eV}=2\text{eV}$，故 C 错误；

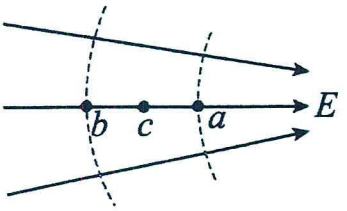


D．连接 AE 则为一条电场线，根据$U_{EA}=Ed$，解得场强为$E=\frac{U_{EA}}{2l\sin60^\circ}=\frac{2\sqrt{3}}{3}\text{V/m}$，故 D 错误。

题型二：非匀强电场中电势差与电场强度的定性分析

【精选例题】：B　　D

【例 1】B



【详解】电场线垂直于等势面，所以将其题图变为

若在匀强电场中，根据公式$U=Ed$可知，bc 间的电压等于 ca 间电压，由上述图可知 ca 段电场线比 bc 段电场线密，所以 ac 段电场强度大小大于 bc 段电场强度大小。所以有$U_{ca}>U_{bc}$，即$\varphi_c-\varphi_a>\varphi_b-\varphi_c$，整理有$\varphi_c>\frac{\varphi_a+\varphi_b}{2}=-35\text{V}$，故选 B。

【例 2】D

【详解】A．根据点电荷周围的场强决定式$E=\frac{kQ}{r^2}$可知，因 r_A：r_B：r_C=1：2：3，则有 E_A：E_B：E_C=36：9：4；

B．由$U=\overline{E}d$可知，沿着电场线AB 与BC的d相等，而平均场强$\overline{E}_{AB}>\overline{E}_{BC}$，则有$U_{AB}>U_{BC}$，即$\varphi_A-\varphi_B>\varphi_B-\varphi_C$；

C．试探电荷只在点电荷 Q 的静电力作用下开始运动，则静电力做正功，电势能一直减小，则有 $E_{pA}>E_{pB}>E_{pC}$，；

D．根据动能定理可知$qU=\Delta E_k$，因$U_{AB}>U_{BC}$，则可知$\Delta E_{kAB}>\Delta E_{kBC}$，即 $E_{kC}-E_{kB}<E_{kB}-E_{kA}$，

故 ABC 错误，D 正确。故选 D。

【跟踪训练】：C　　CD

1．C

【详解】A．A、B、C 三点处在一根电场线上，沿着电场线的方向电势降落，故$\varphi_A>\varphi_B>\varphi_C$，故 A 错误；

B．电场线越密集场强越大，由电场线的密集程度可看出电场强度大小关系为 $E_C>E_B>E_A$ 故 B 错误；

C．电场线密集的地方相等距离时电势降落较多，故 $U_{BC}>U_{AB}$，故 C 正确；

D．正电荷在高电势点的电势能较大，则某正电荷电势能 $E_{pA}>E_{pB}>E_{pC}$，选项 D 错误。故选 C。

2．CD

【详解】A．根据点电荷的场强公式$E=\frac{kQ}{r^2}$可知:A、B、C 三点的电场强度大小相同，但电场强度的方向不同，由于电场强度是矢量，则 A、B、C 三点的电场强度不同，故 A 错误；

B．根据点电荷的电场强度的特点可知，OA 段的平均电场强度的大小要大于 AD 段平均电场强度，所以 O、A 和 A、D 两点间的电势差不相等，故 B 错误；

C．根据点电荷周围等势面的特点可以知道，A、B、C 三点在同一等势面上，故将一电子由 C 点分别移动到 A、B 两点，电场力做功都为零，故 C 正确；

D．将电子从 A 点移动到 D 点，电场力做负功，电势能增加，电子在 A 点的电势能小于在D点的电势能，故 D 正确。故选 CD。

题型三：平面内的场强叠加与电势叠加

【精选例题】：B　　BC　　B

【例 1】B

【详解】A．在等量同种正电荷连线中垂线 O 点上方，电场强度方向由 O 指向 a，从 a 点到 O 点运动的过程中，电场力方向由 a 指向 O，粒子的速度会越来越大，但 O 点场强为 0，无穷远处场强为 0，从 a 点到 O 点运动时电场线可能一直变稀疏，也可能先变密再变稀疏，故 A 错误；

B．从 a 点到 O 点运动的过程中，电场力做正功，粒子的速度会越来越大，从 O 点到 b 点运动的过程中，电场力做负功，粒子的速度会越来越小，因此 O 点对应速度最大，故 B 正确；

C．从 a 点到 O 点运动的过程中，电场力做正功，电势能不断减小，故 C 错误；

D．沿电场线方向电势逐渐降低，若规定无穷远处为零电势点，则粒子在 O 点处的电势为正值，但粒子带负电，电势能为负值，故 D 错误。故选 B。

【例 2】BC

【详解】A．设 O 点到各个顶点的距离为 r，则 AC 在 O 点的合场强 $E_{AC}=2\frac{kq}{r^2}\cos 60^\circ=\frac{kq}{r^2}$，与 B 在 O 点的场强等大反向，可知 O 点的电场强度为 0；因 AB 处的电荷在 O 点的合电势为零，可知 O 点的电势高于零，A 错误；

B．由对称性可知，D 点和 F 点电势相同，选项 B 正确；

C．若去掉 B 处点电荷，则 AC 两处的正电荷在 OE 连线上的场强沿 OE 指向 E，则将正电子从 O 点移动到 E 点，电场力做正功，选项 C 正确；

D．若去掉 A 处点电荷，因 O 点在 BC 两处的等量异种电荷连线的中垂面上，可知电子从 O 点由静止释放，将做曲线运动，选项 D 错误。故选 BC。

【例 3】B

【详解】A．$+q$，$-2q$ 在 E 点的电场强度为 $E_1=\frac{2kq}{(\sqrt{3}r)^2}+\frac{kq}{(\sqrt{3}r)^2}=\frac{kq}{r^2}$，$-q$ 在 E 点的场强为 $E_2=\frac{kq}{(3r)^2}=\frac{kq}{9r^2}$

则总场强为 $E=\sqrt{E_1^2+E_2^2}=\frac{\sqrt{82}kq}{9r^2}$，故 A 错误；

B．由于 $-2q$ 的点电荷在 E、D 的电势相等，但 $-q$、$+q$ 在 E 点电势高于 D 点，则 E 点电势高于 D 点，负试探电荷在 E 点电势能小于 D 点电势能，B 正确；

C．由于 A、B 上的电荷为等量异种电荷，则两者连线的中垂线为等势线，将 C 点的点电荷沿虚线移动到 AB 连线上，电场力不做功，C 错误；

D．BC 连线上电场线为直线，因此电荷 A 若在 BC 连线上由静止释放，可能做直线运动，D 错误。故选 B。

【跟踪训练】：D　　ABC

1．D

【详解】A．试探电荷在 O 点静止，即 O 点的电场强度为零，所以 a、O 两点间场强方向是由 a 指向 O 的，所以 a 点电势高于 O 点，故 A 错误；

B．与 A 选项分析同理可知，c 点电势高于 O 点的电势；又因为 O 点与 b 点间的电场强度有竖直向上的分量，所以 O 点的电势高于 b 点的电势，则 c 点的电势高于 b 点的电势，故 B 错误；

CD．与 B 选项分析同理可知，a 点的电势高于 b 点的电势，c 点的电势高于 d 点的电势，又根据 $E_p=q\varphi$ 可知，带负电的试探电荷在电势高处电势能较小，故 C 错误，D 正确。故选 D。

2．ABC

【详解】AC．　根据电荷分布的对称性可知，c、d 两点电场强度大小相等，方向竖直向下，a、b 两点电场强度大小相等方向向下，故同一电荷在 a、b 两点的电场力相等，在 c、d 两点的电场力相等，AC 正确；

B．根据电势分布的对称性可知，a、b 两点的连线为一条等势线，a、b 两点电势相等，因此电荷从 a 点沿直线移动到 b 点，电场力的总功为零，B 正确；

D．根据电荷分布的对称性可知，电场线方向从 c 点指向 d 点，c 点电势高于 d 点电势，因此电荷从 c 点沿直线移动到 d 点，电场力做总功不为零，D 错误；故选 ABC。

题型四：立体空间的场强叠加与电势叠加

【精选例题】：AC　　D　　B　　B

【例 1】AC

【详解】A．根据等量异种电荷的电场线的分布，C、D、E 两点电场强度大小相等，方向相同，A 正确；

BCD．根据等量异种电荷的等势线的分布，CDE 平面为等势面，所以三点电势相等，在等势面上移动电荷，电场力不做功，BD 错误、C 正确。故选 AC。

【例 2】D

【详解】A．P 点的场强方向沿 OP 方向，C 点的场强方向沿 OC 方向，两点的场强方向不同，A 错误；

B．因为 P-ABC 为正四面体，故 P、C 两点在 AB 的中垂面上且到 AB 的距离相同，故 P、C 的电势相等，但 PC 不是一条等势线，B 错误；

C．根据等量正点电荷周围电场线的分布特点，将带正电的试探电荷从 O 点沿 OC 移到 C 点的过程中，电场力一直做正功，电势能一直减小，C 错误；

D．根据电场的叠加原理，可知，O 点的电场强度为 0，C 点的电场强度不为零，从 O 到 C 的过程中，离场源电荷越来越远，电场强度又逐渐减小，故从 O 点沿着 OC 移动到 C 点的过程中，电场强度先增加后减少，D 正确。故选 D。

【例 3】B

【详解】A．分别画出两点电荷在 B、B'、D、D'四点的场强，然后进行场强的合成可以得到两个点电荷在这四点的电场强度方向均平行于 AC，方向由 A 指向 C，但各点到两电荷距离不同，则电场强度大小不同，A 错误；

B．$A'C'$沿线电场强度方向由 A' 指向 C'，电势降低，但试探电荷为负电荷，故电势能增加，故 B 正确；

CD．几何体为正三棱柱，D、D'点分别为 AC、$A'C'$ 边的中点，所以 $BDB'D'$ 为 AC 的中垂面，也就是等势面，各处电势相等，电势能相等，电场力不做功，故 CD 错误；故选 B。

【例 4】B

【详解】A．4 个正电荷在 P 点的合场强为零，则 P 点的合场强为 4 个负电荷在该点场强的矢量和，同理 4 个负电荷在 Q 点的合场强为零，则 Q 点的合场强为 4 个正电荷在该点场强的矢量和，根据对称性可知，P、Q 两点场强相等，故 A 正确；

B．因为 P 点比 Q 点据正电荷更近，据负电荷更远，故 P 点电势高于 Q 点 ，故 B 错误；

C．根据对称性可知，M、N 两点场强相等，故 C 正确；

D．将所有电荷看成是 4 对等量异种电荷，则 M、N 两点均在等量异种电荷中垂线上，则电势相等，故 D 正确。本题选择错误的，故选 B。

【跟踪训练】：D　　D　　AD

1．D

【详解】A．由 $AD=AC=BD=BC$ 可知，A 、B 处的点电荷分别在 C 、D 两点处产生的电势相等，电势是标量，故 D 、C 两点的电势相同，A 错误；

B．电场强度是矢量，由等量同种点电荷的电场分布可知D、C两点的电场强度大小相等、方向不同，B 错误；

C．射线ED上电场强度方向沿ED方向，故正试探电荷在D点受到的静电力沿ED方向，正试探电荷自D点由静止释放后沿ED方向运动，C 错误；

D．若给质量为m、电荷量为q的负试探电荷沿圆弧过D点切线方向的初速度v_0，且满足$E_0q=m\frac{v_0^2}{DE}$（E_0为D点的电场强度）时，该负试探电荷可沿圆弧DGC做匀速圆周运动，D 正确。故选 D。

2．D

【详解】A．根据等量同种点电荷产生的电场的对称性，可知E点和C点的电势相等，故 A 错误；

B．根据电场的叠加，可知E点和C点的电场强度大小相等，方向相反，故 B 错误；

CD．BH在等量异种电荷连线的中垂线上，而中垂直线上电场线分布为由连线中点向外的直线，故检验电荷从B点沿直线运动到H点，先加速后减速，到达H点速度恰好为零，此过程电场力先做正功再做负功，电势能先减小后增大，故 C 错误，D 正确。故选 D。

3．AD

【详解】A． A′、B′、C′三点到 O 点的距离相等，根据点电荷的场强公式$E=k\frac{Q}{r^2}$可知，A′、B′、C′三点的电场强度大小相等，但方向不同，故 A 正确；

B．根据点电荷电势分布特点可知，与点电荷距离相等的点电势相等，A、B、C 三个点到场源电荷的距离相等，在同一等势面上，$\triangledown ABC$所在平面内的其它点到场源电荷的距离与 A、B、C 三点到场源电荷的距离不等，故$\triangledown ABC$所在平面不是等势面，故 B 错误；

C．将一正的试探电荷从 A′点沿直线 A′B′移到 B′点，电势先升高后降低，电势能先增大后减小，则静电力对该试探电荷先做负功后做正功，故 C 错误；

D．离点电荷越近，电场强度越大，可知 A′D 间场强大于 DA 间场强，由$U=Ed$可知，A′D 间的电势差大于 DA 间的电势差，则有$\varphi_{A'}-\varphi_D>\varphi_D-\varphi_A$，可得$\varphi_D<\frac{\varphi_{A'}+\varphi_A}{2}$，故 D 正确。故选 AD。

题型五：等分法求电势和场强

【精选例题】：C　　C　　ABD　　BCD

【例 1】C

【详解】AB．将 AB 二等分，由于$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B=14V-6V=8V$

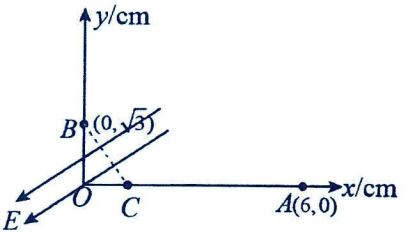
则每等分两端的电势差为 4V，所以$U_{AD}=\varphi_A-\varphi_D=4V$，可知$\varphi_D=10V$，则$U_{DC}=\varphi_D-\varphi_C=10V-6V=4V$，故 AB 错误；

CD．由于$\varphi_B=\varphi_C=6V$，B、C 两点位于同一等势面上，根据沿电场线方向，电势降低，故电场线即沿 AC 方向，场强$E=\frac{U_{AC}}{AC}=\frac{8}{4}V/m=2V/m$，故 C 正确，D 错误。故选 C。

【例 2】C

【详解】把 OA 分成六点，则 C 点的电势为 1V，将 C 点与 B 点连接，如图电场线与等势线垂直，根据几何关系得$\angle OBC=30°$，则 OB 沿电场线方向上的距离为$d=OB\sin 30°=\frac{\sqrt{3}}{2}cm$

所以电场强度为$E=\frac{U}{d}=\frac{1}{\frac{\sqrt{3}}{2}\times 10^{-2}}V/m=\frac{200\sqrt{3}}{3}V/m$，故选 C。



【例 3】ABD

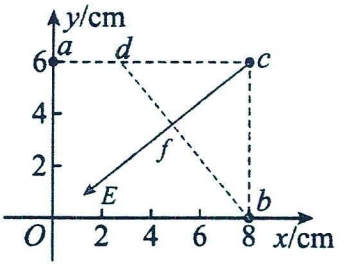
【详解】A．如图所示

设a、c之间的d点电势与b点电势相同，则有$\frac{ad}{dc}=\frac{U_{ad}}{U_{dc}}=\frac{10\text{V}-17\text{V}}{17\text{V}-26\text{V}}=\frac{7}{9}$

所以d点的坐标为$(3.5\text{cm},6\text{cm})$，过$c$点作等势线$bd$的垂线，电场强度的方向由高电势指向低电势，

由几何关系可得，dc的长度为$dc=8\text{cm}-3.5\text{cm}=4.5\text{cm}$，

bd的长度为$bd=\sqrt{dc^2+bc^2}=7.5\text{cm}$



根据直角三角形 bcd 面积相等，有$\frac{1}{2}\cdot bc\cdot cd=\frac{1}{2}\cdot bd\cdot cf$

代入数据解得 cf 的长度$cf=3.6\text{cm}$

电场强度的大小$E=\frac{U}{d}=\frac{26-17}{3.6}\text{V/cm}=2.5\text{V/cm}$，故 A 正确；

B．因为$Oacb$是矩形，$Oa\parallel cb$，且$Oa=cb$，则有$U_{aO}=U_{cb}$，即$10\text{V}-\varphi_O=26\text{V}-17\text{V}$

可得坐标原点O处的电势为$\varphi_O=1\text{V}$，故 B 正确；

C．a点电势比b点电势低 7V，电子带负电，所以电子在a点的电势能比在b点的高 7eV，故 C 错误；

D．b点电势比c点电势低 9V，电子从b点运动到c点，电场力做功$W_{bc}=-eU_{bc}=9\text{eV}$，故 D 正确。故选 ABD。

【例 4】BCD

【详解】A．由图中几何关系可知$OD=\frac{1}{3}CD$，则有$\varphi_O-\varphi_D=\frac{1}{3}(\varphi_C-\varphi_D)$，可得 O 点电势为$\varphi_O=8\text{V}$，故 A 错误；

C．由于 F 为 AC 边的中点，则 F 点电势为$\varphi_F=\frac{\varphi_A+\varphi_C}{2}=\frac{4+12}{2}\text{V}=8\text{V}=\varphi_O$，可知$OF$连线为等势线，

根据电场方向与等势线垂直且由高电势指向低电势，可知匀强电场的场强由 C 指向 A，

大小为$E=\frac{U_{CA}}{d_{CA}}=\frac{8}{0.1}\text{V/m}=80\text{V/m}$，故 C 正确；

B．由于OF连线为等势线，可知 B 点电势为8V，则 E 点电势为$\varphi_E=\frac{\varphi_B+\varphi_C}{2}=\frac{8+12}{2}\text{V}=10\text{V}$

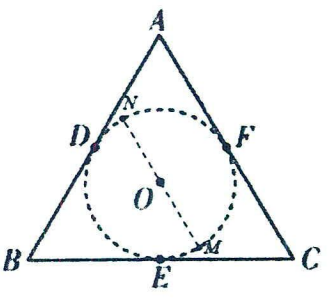
电子由 E 点移到 C 点，电场力做功为$W_{EC}=-eU_{EC}=2\text{eV}$，则电势能减少 2eV，故 B 正确；

D．过 O 点做平行于电场方向的直径（平行于 CA 方向），如图所示

根据几何关系可知，M点是三角形ABC内切圆的圆周上，电势最高的点，

则有$U_{MO}=\varphi_M-\varphi_0=Er$

其中$r=\frac{1}{3}a\cos 30°=\frac{1}{3}\times 0.1\times\frac{\sqrt{3}}{2}\text{m}=\frac{0.1\sqrt{3}}{6}\text{m}$



联立解得在三角形ABC内切圆的圆周上，电势最高点的电势是$\varphi_M=\frac{24+4\sqrt{3}}{3}\text{V}$

故 D 正确。故选 BCD。

【跟踪训练】：BC　　AC　　B　　B

1．BC

【详解】A．O 点的电势 $U_{0O}=\frac{W_{0O}}{q}=\frac{5\times10^{-7}}{1\times10^{-7}}\text{V}=5\text{V}$，$U_{0O}=0-\varphi_O$，解得，O 点的电势为-5V，故 A 错误

B．根据题意 $U_{OA}=\frac{W_{OA}}{q}=\frac{-3\times10^{-7}}{1\times10^{-7}}\text{V}=-3\text{V}$，$U_{OA}=\varphi_O-\varphi_A$，解得，A 点的电势为-2V，故 B 正确；

C．将该电荷沿圆弧从 A 移到 C 克服电场力做功 $3\times10^{-7}\text{J}$，$U_{AC}=\frac{W_{AC}}{q}=\frac{-3\times10^{-7}}{1\times10^{-7}}\text{V}=-3\text{V}$，

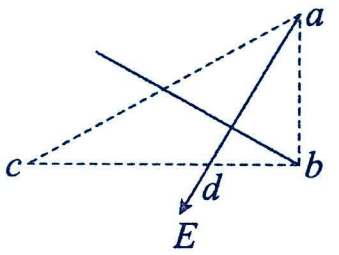
所以 $\varphi_C=1\text{V}$，且 $U_{AC}=U_{OB}$，解得，B 点的电势为-2V，故电荷在 B 点的电势能为 $E_p=\varphi_B q=-2\times10^{-7}\text{J}$，C 正确。

D．故 AB 是一条等势线，$E=\frac{U_{CO}}{R}=\frac{6}{2}\text{V}=3\text{V/m}$，故 D 错误。故选 BC。

2．AC

【详解】A．由 b 到 a 由动能定理可得 $-eU_{ba}=E_{ka}-E_{kb}=2100\text{eV}-2000\text{eV}$，解得 $U_{ba}=-100\text{V}$

则 a 点的电势比 b 点的电势高100V，A 正确；



BC．由 b 到 c 由动能定理可得 $-eU_{bc}=E_{kc}-E_{kb}=1900\text{eV}-2000\text{eV}$，解得 $U_{bc}=100\text{V}$

可知 bc 间的电势差为100V，所以 ac 间的电势差为 $U_{ac}=100\text{V}-(-100\text{V})=200\text{V}$

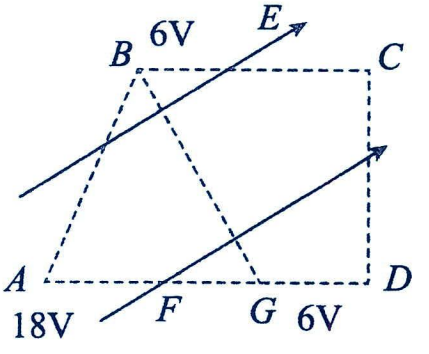
则 b 点与 ac 中点电势相等，连接 b 点与 ac 中点即为等势线，如图所示

由几何关系可知，电场线方向沿 ad 方向，且电场线由电势高的等势面指向电势低的等势面，则电场线方向由 a 指向 d，电场强度大小为 $E=\frac{U_{ab}}{bc\tan30°\times\cos30°}=\frac{100}{20\times10^{-2}\times\frac{\sqrt{3}}{3}\times\frac{\sqrt{3}}{2}}\text{V/m}=1000\text{V/m}$，B 错误，C 正确；

D．电场线方向沿 ad 方向且由 a 指向 d，则图中的虚线框内，顶点 a 的电势最高，D 错误。故选 AC。

3．B

【详解】A．将线段 AD 三等分，等分点分别为 F、G，如图所示，则 G 点的电势与 B 点电势相等，都为6V，连接 B、G，则 B、G 的连线所在直线为匀强电场的等势线，连接 A、C，根据几何关系可知，AC 垂直于 BG，故场强方向垂直于 BG（即平行于 AC）指向 C 的方向，故 A 错误；



B．因 A 与 B、B 与 C 沿场强方向的距离相等，故 $U_{AB}=U_{BC}$

即 $\varphi_A-\varphi_B=\varphi_B-\varphi_C$，所以 $\varphi_C=2\varphi_B-\varphi_A=(2\times6-18)\text{V}=-6\text{V}$，故 B 正确；

C．B、C 中点为 H，则其电势为 $\varphi_H=\frac{\varphi_B+\varphi_C}{2}=\frac{6+(-6)}{2}\text{V}=0$，故 C 错误；

D．电场强度的大小为 $E=\frac{U_{AB}}{AB\cdot\cos30°}=\frac{18-6}{\sqrt{3}\times10^{-2}\times\frac{\sqrt{3}}{2}}\text{V/m}=800\text{V/m}$

故 D 错误。故选 B。

4．B

【详解】A．由电势差与电场力做功的关系 W=qU

正点电荷从 A 点移至 D 点 $U_{AD}=\frac{W_{AD}}{q}=\frac{-2.0\times10^{-8}}{2.0\times10^{-9}}\text{V}=-10\text{V}=\varphi_A-\varphi_D$，同理得 $U_{DB}=\frac{-2.0\times10^{-8}}{-2.0\times10^{-9}}\text{V}=10\text{V}=\varphi_D-\varphi_B$

故点 A 和点 B 电势相等,且低于 D 点电势，场强方向与 AB 垂直，不一定由 D 指向 E，故 A 错误；

B．若场强沿着 DE 方向时，场强最小为 $E=\frac{U_{DB}}{DE}=\frac{10}{l\times\cos 30^{\circ}}=\frac{200\sqrt{3}}{3}\mathrm{V/m}$

场强方向与 AB 垂直但不是场强沿着 DE 方向时,则有 $E\geq\frac{200\sqrt{3}}{3}\mathrm{V/m}$，故 B 正确；

CD．以上分析可知 $U_{AD}=-10\mathrm{V}$，$U_{BD}=-U_{DB}=-10\mathrm{V}$，故 CD 错误。故选 B 。

考点六：图像问题

题型一：静电场中的 v-t 与 x-t

【精选例题】：BC　　C　　AB　　AD

【例 1】BC

【详解】由题意，电子从 A 点处静止释放，电子沿电场线从 A 运动到 B，说明电子所受的电场力方向从 A 到 B，则电场线方向从 B 到 A，根据顺着电场线电势降低得知 $\varphi_A<\varphi_B$

而负电荷在电势高处电势能小，则有 $E_{PA}>E_{PB}$

根据速度图像的斜率等于加速度，则知电子在 B 处的加速度较小，说明 B 处场强较小，即有 $E_A>E_B$

故 BC 正确，AD 错误。故选 BC。

【例 2】C

【详解】等量的两个正电荷的连线的中垂线上，O 点的场强为零，O 点上方的电场方向向上，O 点下方的电场方向向下，中垂线上任意一点与关于 O 点对称的点的电势相等，即 AB 电势相等，所以负电荷由 A 点运动到 B 点的过程中电场力先使负电荷速度增加，过了 O 点速度又逐渐减小，到达 B 点速度减为 0 ，然后又向上先加速，再减速，如此往复运动；由于等量的两个正电荷的连线的中垂线上，关于 O 点对称的上下有两个位置电场强度大小最大，第一种情况若负电荷所在位置 A 点在场强最大的位置之上，则释放负电荷后，由 A 点运动到 B 点的过程中电场力先变大，后变小，再反向先变大，后变小，其加速度也是同步变化；第二种情况若负电荷所在位置 A 点在场强最大的位置之下，则释放负电荷后，由 A 点运动到 B 点的过程中电场力先变小，再反向变大，其加速度也是同步变化，由于 $v-t$ 图像的斜率表示加速度，可知 C 正确，ABD 错误。故选 C。

【例 3】AB

【详解】A．在 b 点前做减速运动，b 点后做加速运动，在 b 点的加速度为 0，则在 b 点受到两点电荷的电场力平衡，Q_1 带正电荷，则 Q_2 带负电，且根据库仑定律知 $|Q_2|<|Q_1|$，A 正确；

B．粒子通过 b 点的加速度为零，说明电场力为零，则 b 点的场强一定为零，B 正确；

CD．粒子从 a 运动到 b 的过程中，粒子的动能减小，根据能量守恒知其电势能增大，根据正电荷在电势高处电势能大，可知粒子在 a 点的电势能比 b 点的电势能小，a 点的电势比 b 点的电势低，CD 错误。故选 AB。

【例 4】AD

【详解】A．由乙图可知，斜率先增加后减小，即加速度 a 先增加后减小，由 $a=\frac{F}{m}=\frac{qE}{m}$

其中 q、m 是定值，可知 E 也是先增加后减小，故 A 正确；

B．电场线由 C 指向 A，沿电场线方向电势降低，因此由 C 到 A 电势一直降低，故 B 错误；

C．根据动能定理可知 $qU_{CB}=\frac{1}{2}mv_B^2-0$，解得 $U_{CB}=0.9\mathrm{V}$，故 C 错误；

D．根据牛顿第二定律得 Eq=ma，解得 E=1.2V/m，故 D 正确。故选 AD。

【跟踪训练】：C　　A　　D　　CD

1．C

【详解】由 v-t 图像可知，粒子做加速度逐渐减小的加速运动，负电荷受力与电场方向相反，故电场线由 A 指向 B，且该电荷所受电场力越来越小，所处位置电场强度越来越小，电场线疏的地方电场强度小。故选 C。

2．A

【详解】B．由图象知 A 处的加速度大于 B 处的加速度，则 A 处的场强一定大于 B 处的场强，故 B 错；

ACD．由图可知正电荷从 A 到 B 的过程中速度在减小，所以电场力做负功，电势能增大，即 $E_{pA}<E_{pB}$

正电荷一定是从低电势运动到高电势，即 $\varphi_A<\varphi_B$，故 A 正确，CD 错误。故选 A。

3．D

【详解】A．由图知，由 A 到 C 的过程中，电场力一直做负功，故物块的电势能一直增大，故 A 错误；

B．从 A 到 B 点，由动能定理得 $qU_{AB}+mgh=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，由于 AB 间高度差 h 未知，故 AB 两点电势差无法确定，故 B 错误；

C．等量同种电荷在 O 点的场强等大反向，故两点电荷在 O 点的合电场强度为 0，沿电场线方向电势降低，O 点的电势最高，故 C 错误；

D．由 $v-t$ 图可知，B 点切线斜率最大，故运动时加速度最大。在 B 点 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=2\text{m/s}^2$

由牛顿第二定律得 $Eq-mg=ma$，解得 $E=12\text{N/C}$，故 D 正确；故选 D。

4．CD

【详解】A．由 $v-t$ 图像可知，从 $t_1\sim t_3$ 时间内，小球做加速运动，可知小球受到排斥力作用，因此小球带正电；

B．t_2 时刻，曲线切线斜率最大，即小球的加速度最大，则小球所受的电场力最大，

由牛顿第二定律可得 $qE_{\text{m}}-\mu mg=ma_1$

其中 $a_1=k_2$，已知 0 时刻图线斜率绝对值是 4，联立得 $E_{\text{m}}=\frac{m(k_1+k_2)}{q}=20\text{N/C}$，B 错误；

C．小球与水平轨道因摩擦产生的热量为 $Q=\mu mgL=3.2\text{J}$，C 正确；

D．设小球从 O 点运动到 O' 点停止，根据动能定理可得 $qU_{OO'}-\mu mgL=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，其中 $U_{OO'}=\varphi_O-\varphi_{O'}$，$\varphi_{O'}=0$

联立得 $\varphi_O=\frac{mk_1L}{q}-\frac{mv_0^2}{2q}=5.4\text{V}$，D 正确。故选 CD。

题型二：E-x 图像

【精选例题】：D　　B　　A

【例 1】D

【详解】A．从 a 至 d 场强沿 x 轴负方向，则从 b 到 d 处逆着电场线方向移动，电势升高，选项 A 错误；

B．带正电的点电荷由 a 运动到 d 的过程中，由图可以看出电场强度先增大后减小，故电场力先增大后减小；

C．从 a 到 d 过程中逆着电场线方向移动，电势升高，正电荷的电势能一直增大，选项 C 错误；

D．由图可知，a 和 b 之间的平均电场强度小于 b 和 c 之间的平均电场强度，根据公式 $W=qEd$ 可知，带正电的点电荷从 b 运动到 a 过程中电场力做的功小于从 c 运动到 b 过程中电场力做的功，选项 D 正确。故选 D。

【例 2】B

【详解】A．由图可知，A 处电场强度不为 0，故 A 错误；

B．因为场强沿 x 轴正方向，所以，U_{OA}、U_{AB} 和 U_{BC} 均为正，$E-x$ 图像与横轴所包围的面积表示电势差，所以 $U_{OA}=U_{AB}<U_{BC}$，故 B 正确；

C．由图可知，沿着 x 轴由 O 点到 C 点电场强度一直在变化，粒子所受电场力为变力，故 C 错误；

D．因题目未明确图中的 B 点与 C 点之间的图像是直线，所以无法求出这两点间的电势差，也就无法求出粒子到达 C 点时的速度大小，故 D 错误。故选 B。

【例 3】A

【详解】AB．沿电场线电势降低，无穷远处电势为零，故 x 轴上所有点的电势都大于零，x_2 电势高于 x_3 电势；

C．带正电的粒子由 x_2 运动到 x_3 的过程中，电场力的方向始终沿 x 轴正方向，粒子做加速运动，C 错误；

D．电子在 x_1 处静止释放后，受到的电场力沿 x 轴正方向，将沿 x 轴正方向运动，过 O 点后，受到的电场力沿 x 轴负方向，做减速运动，所以电子先加速后减速，到 x_3 处速度为零，最终在 x_1 和 x_3 之间做往复运动。故选 A。

【跟踪训练】：A　　C　　AD

1．A

【详解】A．质子仅在电场力的作用下从静止开始，由 A 点沿 x 轴运动到 B 点，说明质子所受电场力沿 x 轴正方向，而质子带正电，所以 x 轴上的电场强度方向沿 x 轴正方向，故 A 正确；

B．沿电场线电势逐渐降低，电场线由 A 指向 B，则 A 点电势高于 B 点电势，故 B 错误；

C．根据牛顿第二定律得 $a=\frac{F}{m}$，由图知，质子从 A 点运动到 B 点的过程中电场强度先增大后减小，所以质子的加速度先增大后减小，故 C 错误；

D．质子从 A 点运动到 B 点的过程中，质子所受电场力沿 x 轴正方向，与位移方向相同，故电场力一直做正功，故 D 错误。故选 A。

2．C

【详解】A．$E-x$ 图像与 x 轴围成的面积代表电势差，可知 x_1、x_2 两点间和 x_2、x_3 两点间的电势差不相等；

BC．根据电场分布可知，x 轴的正半轴场强为正，电场线指向 x 轴正方向；x 轴的负半轴场强为负，电场线指向 x 轴负方向。沿电场线方向电势降低，故 O 点的电势最高，x_1 点电势高于 x_3 点电势，x_1 点电势高于 x_2 点电势，根据对称性可知-x_1 和 x_1 两点的电势相等，所以 $-x_1$ 点的电势高于 x_2 点的电势，故 B 错误，C 正确；

D．从 O 点由静止释放一正电荷，向 x 轴正方向运动，电场力一直做正功，电荷动能一直增大，电荷经过 x_2 点时动能不是最大，故 D 错误。故选 C。

3．AD

【详解】A．由图可知，AB 左侧场强为正方向，可知 A、B 带等量负电荷，选项 A 正确；

B．沿电场线电势降低，可知 O 点处的电势高于 x_1 处电势，可知正点电荷 q 在 O 点的电势能高于 x_1 处电势能，

即 x_1 处电势能不是最大的，选项 B 错误；

C．P 点左侧场强向右，正电荷从 O 点释放后被加速，P 点右侧场强向左，可知过了 P 点后正电荷做减速运动，则经过 P 点时速度最大，即点电荷 q 在 x_3 处动能不是最大，选项 C 错误；

D．因 x_2 点对应于 P 点，由对称性可知，电荷从 O 点释放能运动到 P 点右侧距离 P 点 x_2 的位置，即电荷 q 沿 x 轴正向运动的最远距离为 $2x_2$，选项 D 正确。故选 AD。

题型三：φ-x 图像

【精选例题】：C　　D　　D　　BD

【例 1】C

【详解】ACD．根据电势降低的方向，可知 x_2 的左侧场强向左，右侧场强向右，故电子从原点O到 x_3，电场力方向先向右后向左，电场力先做正功后做负功，电子在 x_2 处速度最大，因 x_1 与 x_3 的电势相等，故电子在这两点的电势能相等，根据能量守恒可知，电子在这两个位置的动能相等，故 AD 错误，C 正确；

B．$\varphi-x$ 图像的斜率的绝对值（图像越陡，斜率的绝对值越大）表示电场强度的大小，而 x_1 处图像比 x_3 处的图像要陡，故 x_1 处的电场强度大于 x_3 处的电场强度，且电场强度方向不同，故 B 错误。故选 C。

【例 2】D

【详解】AC．根据沿着电场线方向电势逐渐降低，可知 a、b 之间场强方向沿 x 轴的正方向，b、c 之间场强方向沿 x 轴的负方向，则 O' 点的点电荷带负电，O 点的点电荷带正电，故 AC 错误；

B．由 $\varphi-x$ 图像的斜率的绝对值表示场强的大小，由图可知，b 点的场强为零，由点电荷场强的公式以及电场强度的叠加原理可知 $k\frac{q}{(Ob)^2}=k\frac{q'}{(O'b)^2}$，又 $OO':Ob=3:2$，解得 $q:q'=4:25$，故 B 错误；

D．电子在 ab 段所受的电场力沿 x 轴的负方向，则电子从 a 到 b 电场力做负功，电子在 bc 段所受的电场力沿 x 轴正方向，则电子从 b 到 c 电场力做正功，故 D 正确。故选 D。

【例 3】D

【详解】A．根据 $E=\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$，可知 $\varphi-x$ 图像的斜率表示电场强度，由图可知，场强先减小为 0，再反向增大，再减小为 0，再正向增大，再减小，最后减为 0，故 A 错误；

B．根据电势分布可知，$x_0\sim0$ 电场方向沿 x 轴负方向，$0\sim x_1$ 电场方向沿 x 轴正方向，$x_1\sim x_3$ 电场方向沿 x 轴负方向，故 B 错误；

CD．带负电的试探电荷在 x_2 处动能为 1.5eV，电势能为 -1eV，总能量为 0.5eV，且试探电荷速度沿 x 轴正方向，在 $x_2\sim x_3$ 区域试探电荷受到沿 x 轴正方向的静电力，做加速运动，在 x_3 处速度最大，试探电荷继续运动到 x_3 右侧，做减速运动，当速度为零时，电势能为 0.5eV，即运动到电势为 -0.5V 处减速到零，开始向 x 轴负方向运动，后反向回到 x_2 处动能仍为 1.5eV，继续向左运动，在电势为 -0.5V 处减速到零又反向，不会运动到 x_0、x_1 处，即试探电荷在 x_3 点两侧往复运动，故 C 错误，D 正确。故选 D。

【例 4】BD

【详解】A．电荷所在位置为原点，根据图像，电荷 A 周围的电势为正值，可知电荷 A 带正电；B 电荷所在位置 $x=2L$，根据图像，电荷 B 周围的电势为负值，所以 $x=2L$ 点电势不可能为零，A 错误；

B．分析可知电荷 B 带负电，两点电荷为异种电荷，在 x 轴上 $2L<x<3L$ 的区域内，电势逐渐升高，电场强度沿 x 轴负方向，在 x 轴上 $x>3L$ 的区域内，电势逐渐降低，电场强度沿 x 轴正方向，即 x_2 与 x_4 点场强方向相反；

CD．$\varphi-x$ 图像中图线的斜率绝对值表示电场强度大小，则 $x=3L$ 处的电场强度为零，有 $k\frac{Q_A}{(3L)^2}=k\frac{Q_B}{L^2}$

由题图可知 x_1、x_3 处的电势为零，根据电势公式有 $k\frac{Q_A}{x_1}=k\frac{Q_B}{2L-x_1}$，$k\frac{Q_A}{x_3}=k\frac{Q_B}{x_3-2L}$，

解得 $Q_A:Q_B=9:1$，$x_1=\frac{9}{5}L$，$x_3=\frac{9}{4}L$，C 错误，D 正确。故选 BD。

【跟踪训练】：BD　　BC　　AD　　ACD

1．BD

【详解】AB．根据题意，由公式 $E_p=\varphi q$ 可知，负电荷在高电势位置的电势能较小，由图可知，a 点的电势最大，则在 a 点电势能最小，同理可知，c 点的电势最小，则在 c 点时电势能最大，电荷仅在电场力作用下，电荷的电势能和动能之和不变，可知，电势能最大时，动能最小，则在 c 点时，电荷的动能最小，即速度最小；

CD．根据沿电场线方向电势逐渐降低，结合题图可知，c 点左侧电场方向沿 x 轴正方向，c 点右侧电场方向沿 x 轴负方向，可知，c 点右侧负电荷受沿 x 轴正方向的电场力，c 点左侧负电荷受沿 x 轴负方向的电场力，可知，在 a 点受静电力沿 x 轴负方向，从 d 点开始沿 x 轴负方向运动到 a 点，电场力先做负功再做正功。

故 AC 错误，BD 正确。故选 BD。

2．BC

【详解】A．由图可知由 A 到 B 电势先升高后降低，故 A 错误；

B．$\varphi-x$ 图像的切线斜率绝对值表示电场强度的大小，由图像可知，从 A 到 B 的过程中，图像的斜率的绝对值先减小后增大，由此可知从 A 到 B 的过程中，电场强度的大小先减小后增大，故 B 正确；

C．由图像可知，两电荷之间的电势均为负值，可知两电荷均为负电荷；根据 $\varphi-x$ 图像的切线斜率绝对值表示电场强度的大小，可知最高点 P 的场强为 0；则两电荷在 P 点的场强大小相等，方向相反，由于 $AP<PB$，由此可知电荷量 $q_1<q_2$，故 C 正确；

D．电子仅在电场力作用下运动，电势能和动能之和守恒，由图可知，x_1 处的电势高于 x_2 的电势，则电子在 x_1 处的电势能低于 x_2 的电势能，若一电子在 x_1 处由静止释放，电子不能到达 x_2 位置，故 D 错误。故选 BC。

3．AD

【详解】A．根据电场强度与电势的关系 $E=\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$ 可知，图线的斜率可以表达电场强度的大小，由题知，a'、b' 这两点切线斜率的绝对值相等。说明场强大小相同，但该两点在 y 轴左右两侧，故场强方向不相同，A 正确；

B．若两电荷为等量的正电荷，两电荷的垂直平分线与 y 轴的交点处的电势最高，而图乙中可知，两电荷的垂直平分线与 y 轴的交点处的电势最低。则为等量的负电荷；M 从 a 点运动到 b 点的过程中电场力先做正功后做负

功，故电势能先减小后增大，B 错误；

C．电荷量为 q 的正点电荷 M 从 a 点由静止释放，由图乙分析知，图线的斜率先增大后减小再增大，故 M 从 a 点运动到 b 点的过程中加速度大小先增大后减小再增大，C 错误；

D．M 从 a 经过 b 点的过程，由动能定理知 $qU_{ab}=\frac{1}{2}mv_b^2-0$，设初动量为 p，$a\to b$ 为正方向，则 $p=mv_b$

解得 $p=\sqrt{2mq(\varphi_a-\varphi_b)}$

设末动量为 p'，M 从 b 点经过一段距离返回 b 点的过程，由对称性知 $p'=-\sqrt{2mq(\varphi_a-\varphi_b)}$

电场力的冲量为 $I=p'-p=-2\sqrt{2mq(\varphi_a-\varphi_b)}$

故 M 先后两次经过 b 点的过程，电场力的冲量大小为 $2\sqrt{2mq(\varphi_a-\varphi_b)}$，D 正确；故选 AD。

4．ACD

【详解】A．根据匀强电场场强与电势差的关系可知 $E=\frac{U}{d}=\frac{\varphi_1-(-\varphi_2)}{2R}=\frac{\varphi_1+\varphi_2}{2R}$

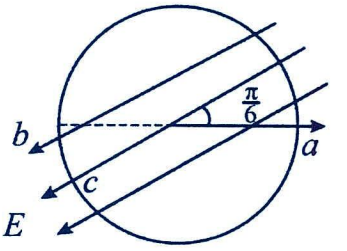
带电微粒做圆周运动的周期为 $T=2\times(7t_1-t_1)=12t_1$，

t_1 时刻，带电微粒所在位置电势最高，此时带电微粒转过的角度为 $\theta=\frac{t_1}{T}\times2\pi=\frac{\pi}{6}$

根据沿电场线电势降低，可知电场方向与 x 轴正方向成 $\frac{5\pi}{6}$，故 A 正确；

B．根据沿电场线电势降低，由图可知 c 点的电势最低，故该微粒在 c 点的电势能最小，故 B 错误；

C．当变力 F 方向与电场方向相同时，变力 F 达到最小值，由图可知该微粒在 t_1 时刻所受的变力 F 方达到最小值，故 C 正确；



D．b 点与 a 点的电势差为 $U_{ba}=-2ER\cos30°=\frac{-\sqrt{3}(\varphi_1+\varphi_2)}{2}$

故 D 正确。故选 ACD。

题型四：E_p-x 与 E_k-x 图像

【精选例题】：A　　ACD　　ABD　　D

【例 1】A

【详解】A．由图可知，在 x 轴上 O 点，试探电荷的电势能最大，试探电荷带负电，在 x 轴上 O 点的电势最低，故 A 正确；

B．在 x 轴上 O 点的电势最低，可知 P 点处点电荷带负电，O 点的电场强度沿 y 轴正方向，故 B 错误；

CD．根据 $E_p=Fx$ 图像为带负电的试探电荷在 x 轴上具有的电势能 E_p 随 x 变化的曲线，可知图像上某点的斜率表示试探电荷在该点受到的电场力沿 x 轴的分量，故 CD 错误。故选 A。

【例 2】ACD

【详解】A．由电场力做功与电势能变化的关系有 $F\Delta x=\Delta E_p$，解得 $F=\frac{\Delta E_p}{\Delta x}$，即 E_P-x 图像的斜率大小等于电场力 F，由图知，在 x_0 处试探电荷所受的电场力为零，则该处电场强度为零，A 正确；

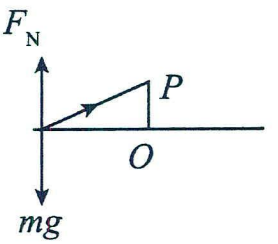
B．在 x 轴上 $x>x_0$ 的点试探电荷的电势能增加，电场力做负功，电场力向左，场强方向向左，B 错误；

CD．在 x_0 处，两个点电荷的合场强为 0，说明两个点电荷一定是一正一负；当 $x\to 0$ 时，电势能 $E_p\to\infty$；说明了 x = 0 处一定是正电荷。由 $E=k\frac{Q}{r^2}$ 和场强的方向，可以进一步判定，正电荷的电荷量一定是 Q，离开 x_0 点的距离近；负电荷的电荷量是 4Q。设 4Q 和 Q 点电荷到 x_0 点的距离分别为 r_1 和 r_2，根据 $E=k\frac{Q}{r^2}$，解得 $\frac{r_1}{r_2}=2$

即点电荷 $-4Q$ 到 x_0 的距离是 Q 到 x_0 的距离的 2 倍，则 $-4Q$ 的位置坐标是 $(-x_0,0)$，CD 正确。故选 ACD。

【例 3】 ABD

【详解】A．根据题意可以等效成在 P 点放一点电荷，使一带负电的小环在点电荷形成的电场中运动，设 OP=h，小环与 P 点连线与水平方向夹角为 θ，距离为 r，如图所示，小环沿 x 轴方向的电场力



则有 $F_{x电}=\frac{kQq}{r^2}\cos\theta$，$r=\frac{h}{\sin\theta}$，解得 $F_{x电}=\frac{kQq}{h^2}\cos\theta\sin^2\theta$

在 E_p-x 图像中，其斜率为电场力，根据均值不等式可得 $\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{3}$

电场力最大，此时 $r=\sqrt{3}x_0$，故 P 点到细杆的距离为 $h=\sqrt{r^2-x_0^2}=\sqrt{2}x_0$，A 正确；

B．此时水平方向电场力最大为 x_0 处的斜率 $F_{x电}=\frac{kQq}{h^2}\cos\theta\sin^2\theta=\frac{\sqrt{3}kQq}{9x_0^2}$，B 正确；

C．电场力最大时，加速度也最大，由牛顿第二定律可知 $a=\frac{F_{x电}}{m}=\frac{\sqrt{3}kQq}{9mx_0^2}$，C 错误；

D．实际电场力 $F=\frac{F_{x电}}{\cos\theta}=\frac{kQq}{3x_0^2}$，故电场强度 $E=\frac{F}{q}=\frac{kQ}{3x_0^2}$，D 正确。故选 ABD。

【例 4】 D

【详解】AD．粒子仅受电场力作用，做初速度为零的加速直线运动，电场力做功等于电势能的减小量，

则有 $F=\left|\frac{\Delta E_p}{\Delta x}\right|$，即 E_p—x 图像上某点的切线的斜率表示电场力，故电场力逐渐减小，

根据 $E=\frac{F}{q}$，故电场强度也逐渐减小，由 $a=\frac{F}{m}$ 可知，加速度也减小，故 A 错误，D 正确；

B．根据动能定理有 $F\cdot\Delta x=\Delta E_k$，故 E_k—x 图线上某点切线的斜率表示电场力，由于电场力逐渐减小，与 B 图矛盾，故 B 错误；

D．按照 C 图，速度随着位移均匀增加，相同位移速度增加量相等，又是加速运动，故增加相等的速度需要的时间逐渐减小，故加速度逐渐增加；而电场力减小导致加速度减小，故矛盾，故 C 错误。故选 D。

【跟踪训练】：ACD　　AD　　ABD　　B

1．ACD

【详解】A．根据题意，由图可知，从 a 到 c 的过程中，电子的电势能减小，则电场力对电子做正功，故 A 正确；

B．由图可知，电子在 a 点电势能高于在 b 点电势能，由 $E_p=\varphi q$ 可知，a 点电势低于 b 点电势，故 B 错误；

C．根据E_p-x图像的斜率表示电场力，由图可知，电子在a点所受电场力大于在c点所受电场力，则电子在a点加速度大于在c点加速度，故C正确；

D．电子仅在电场力作用下运动，电子的电势能和动能之和保持不变，由于电子在a点电势能高于在b点电势能，则电子经过a点的动能小于经过b点的动能，故D正确。故选ACD。

2．AD

【详解】A．电势能的表达式有$E_p=q\varphi$，而电场强度为$E=\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$，联立解得$E=\frac{1}{q}\cdot\frac{\Delta E_p}{\Delta x}$

由数学知识可知E_p-x图象切线的斜率等于$\frac{\Delta E_p}{\Delta x}=qE$，由图可知$x_1$处切线斜率为零，则知$x_1$处电场强度为零，故A正确；

BD．由题图看出在0～x_1段图象切线的斜率不断减小，故电场强度减小，粒子所受的电场力减小，加速度减小，做非匀变速运动，x_1～x_2段图象切线的斜率不断增大，电场强度增大，粒子所受的电场力增大，做非匀变速运动，x_2～x_3段斜率不变，电场强度不变，即电场强度大小和方向均不变，是匀强电场，粒子所受的电场力不变，做匀变速直线运动，故B错误，D正确；

C．根据$E_p=q\varphi$，而粒子带负电，即q<0，则知电势能越大，粒子所在处的电势越低，所以有$\varphi_1>\varphi_2=\varphi_0>\varphi_3$

故C错误。故选AD。

3．ABD

【详解】AB．根据$W=F\Delta x=-\Delta E_p$，可知E_p-x图像的斜率的绝对值表示电场力，在0~x_0范围内斜率不变，电场力不变，加速度不变，则粒子在0~x_0范围内做匀加速直线运动，AB正确；

C．粒子的电势能减小了E_{p0}，根据能量守恒有$E_{p0}=E_k=\frac{1}{2}mv^2$，解得粒子离开电场时的速度大小$v=\sqrt{\frac{2E_{p0}}{m}}$；

D．根据$x_0=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\frac{F}{m}t^2=\frac{1}{2}\frac{E_{p0}}{mx_0}t^2$，解得粒子在电场中运动的时间为$t=\sqrt{\frac{2mx_0^2}{E_{p0}}}$，D正确。故选ABD。

4．B

【详解】A．y_0处为重力势能零点，则在y_0处重力势能为0，重力势能变化与下落高度成线性关系，故A错误；

BD．设正电荷Q的正上方x处电场强度为0，则$\frac{k\cdot4Q}{(y_0+x)^2}=\frac{kQ}{x^2}$，解得$x=y_0$，即A点场强为0；机械能的变化对应电场力做功，结合图可知，A点上方场强方向向下，A点到正电荷场强方向向上。则小球从O点到B点，电场力先做正功后做负功，机械能先增大后减小，电势能先减小后增加并且在y_0处为零，故D错误，B正确；

C．小球初末速度为0，中间过程不为0，所以动能先增加后减小。分析可知，则动能最大的位置在y_0下方不在y_0处，故C错误。

故选B。

第三讲：静电场中粒子偏转

考点一：电容器

题型一：电容器及电容

【精选例题】：C　　C　　D

【例 1】C

【详解】由两个互相靠近、彼此绝缘的导体组成电容器。故选 C。

【例 2】C

【详解】A．电容的大小与电容器两端的电压及电容器所带的电量无关，只取决于电容器本身的性质，A 错误；

B．电容器充电后，由于静电感应，两极板一定带有等量异种电荷，故 B 错误；

C．照相机闪光灯应用电容器放电发出强光，故 C 正确；

D．电容器与电源相连时，电容器将充电，而电容器两极板间用导线相连时，电容器放电，故 D 错误。故选 C。

【例 3】D

【详解】AB. 电容器的电容决定式$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，电容器的电容由电容器本身决定，与所加电压无关，由公式$C=\frac{Q}{U}$电容器的电压越大说明储存的电荷量越多，故 AB 错误；

C. 电容器上标的是电容器的额定电压，而击穿电压都要大于额定电压，当电容器电压超过击穿电压时，电容器会立刻被击穿，而大于 80V 的电压未必超过击穿电压，故 C 错误；

D. 由公式$Q=CU=1000\times10^{-6}\times80=8\times10^{-2}\text{C}$，当给该电容器两端加上 80V 电压时，电容器所带的电荷量为$8\times10^{-2}\text{C}$，故 D 正确。故选 D。

【跟踪训练】：C　　AD

1．C

【详解】A．电容器可以储存电荷，电容是描述电容器容纳电荷本领的物理量，其大小与电压和电量无关。故 A 错误；

B．电容器的额定电压为 2.7V，说明工作电压不超过 2.7V，可以小于 2.7V，加在这个电容器两端的电压低于 2.7V 时它能工作。故 B 错误；

C．这个电容器充电时，板间的电压增大，距离不变，根据$E=\frac{U}{d}$可知，两极板间的电场强度增大。故 C 正确；

D．若这个电容器两端的电压变化 1V，根据$C=\frac{\Delta Q}{\Delta U}$，解得$\Delta Q=3000\text{C}$，则它所带的电荷量变化 3000C。故 D 错误。故选 C。

2．AD

【详解】A．甲图所示的可变电容器，动片旋出时可以使其与定片正对面积变小，由电容的决定式$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$可知电容会变小，故 A 正确；

B．乙图所示装置的“莱顿瓶”主要用于贮存电能，不是用来检验物体是否带电的，故 B 错误；

C．丙图中电容器与电源相连，此时电容器正处于充电过程，故 C 错误；

D．丁图所示的电容器，1000μF 表示电容器电容的大小，80V 表示电压最大值，故 D 正确。故选 AD。

题型二：电容的影响因素

【精选例题】：B　　A

【例 1】B

【详解】电容器的电容是由电容器内部结构决定的，与电容器两端所加的电压无关，则当该电容器接电压为 U/2 的电源时，电容器的电容仍为 C。故选 B。

【例 2】A

【详解】A．根据电容的定义式可知，该电容器的电容$C=\frac{Q}{U}$，故 A 错误；

B．在国际单位制中，电容的单位是法拉，简称为法，故 B 错误；

C．$C=\frac{Q}{U}$是电容的比值定义式，电容与电荷量、电压没有本质的决定关系，可知，放电时，电容器电压降低，其电容不变，故 C 错误；

D．结合上述可知，充电时，电容器电荷量增多，其电容不变，故 D 错误。故选 A。

【跟踪训练】：D　　D　　B

1．D

【详解】A．　$I=\frac{U}{R}$是部分电路欧姆定律的表达式，导体中的电流与导体两端的电压成正比，与导体的电阻成反比，故 A 错误；

B．$C=\frac{\Delta Q}{\Delta U}$是由电容的定义式推导出的二级结论，不是比值法定义电容的比例式，故 B 错误；

C．$E=\frac{U}{d}$是匀强电场中场强与电压的关系式，　不是电场强度的比值定义式，故 C 错误；

D．$\varphi=\frac{E_{\mathrm{P}}}{\mathrm{q}}$为电势的比值法定义式，D 正确。　故选 D。

2．D

【详解】AB．电容器的电容是由电容器本身结构性质所决定的，与其所带电荷量的多少无关，所以 C－Q 图像应该是和横轴平行的直线，故 AB 错误；

CD．根据$C=\frac{Q}{U}$可得$U=\frac{Q}{C}$，因为电容器的电容是一个定值，所以 U－Q 图像是一条经过原点的倾斜直线，故 C 错误，D 正确。故选 D。

3．B【详解】A．根据电容的定义式与决定式有$C=\frac{Q}{U}$，$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，解得$Q=\frac{U\varepsilon S}{4\pi kd}$

甲图中，电容器极板之间电压一定，力 F 增大过程中，电容器两极板之间间距减小，可知电容器极板所带电荷量增大，电容器上极板带正电，可知，上极板失电子，电流计中的电流从 b 流向 a，故 A 错误；

B．手指是导体，可以作为电容器的一个电极，绝缘笔是绝缘体，不能够作为电极，即绝缘笔在电容式触摸屏上不能正常操作，故 B 正确；

C．根据$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，丙图中，油箱液位上升时，电容器间电介质增多，介电常数变大，则电容变大，C 错；

D．根据上述有$Q=\frac{U\varepsilon S}{4\pi kd}$，丁图中，电容器极板之间电压不变，当传感器由静止突然向左加速时，电介质加速度方向向左，电介质相对传感器向右移动，介电常数变大，则极板所带电荷量增大，电容器处于充电状态，故 D 错误。故选 B。

题型三：电容的简单计算

【精选例题】：A　　A　　C

【例 1】A

【详解】根据电容的定义式有$C=\frac{Q}{U}=\frac{\Delta Q}{\Delta U}$，解得$C=2.0\times10^{-8}\text{F}$，故选 A。

【例 2】A

【详解】由$C=\frac{Q}{U}$，得$\Delta Q=C\Delta U=1.5\times10^{-8}\times\left[40-(-60)\right]\times10^{-3}\text{C}=1.5\times10^{-9}\text{C}$，故选 A。

【例 3】C

【详解】AB．由题图乙知 a 的电容是 1000μF，b 的电容是 10000μF，

所以 a、b 两个电容器的电容之比为$\frac{C_a}{C_b}=\frac{1000}{10000}=\frac{1}{10}$，AB 错误；

C．b 电容器最多能容纳电荷 $Q_b = C_bU_b = 10000 \times 10^{-6} \times 10\text{C} = 0.1\text{C}$，C 正确；

C．a 电容器最多能容纳电荷 $Q_a = C_aU_a = 1000 \times 10^{-6} \times 80\text{C} = 0.08\text{C}$，D 错误。故选 C。

【跟踪训练】：B　　D　　B

1．B

【详解】AB．电容器的电容由电容器本身性质决定，与极板所带电荷量及两极板间的电势差无关，所以当极板上所带电量为 3Q 时，电容器的电容仍为 C，选项 A 错误，B 正确；

CD．当极板上所带电量为 Q 时，有$C=\frac{Q}{U}$，则当极板上所带电量为 3Q 时，有$C=\frac{3Q}{U'}$

可得电容器两极板间的电势差为$U'=\frac{3Q}{C}=3U$，选项 CD 错误。故选 B。

2．D

【详解】当 S 接 A 时，上极板带正电荷 $Q_1=CU_1=2\times10^{-6}\times6\text{C}=1.2\times10^{-5}\text{C}$

当 S 接 B 时，上极板带负电荷 $Q_2=CU_2=2\times10^{-6}\times8\text{C}=1.6\times10^{-5}\text{C}$

故流过电流计的电荷量 $Q=Q_1+Q_2=2.8\times10^{-5}\text{C}$，故 D 正确，ABC 错误。故选 D。

3．B

【详解】A．由$C=\frac{q}{u}$，得$u=\frac{1}{C}q$，$u-q$图线的斜率为$\frac{1}{C}$，故$u-q$图线的斜率越大，电容C越小，故 A 错误；

B．由$W=uq$，类比速度—时间图像的面积表示位移，则$u-q$图像的面积代表克服电场力所做的功，所以搬运Δq的电量，克服电场力所做的功近似等于Δq上方小矩形的面积，故 B 正确；

C．电容器储存的能量等于把电荷从一个极板搬运到另一个极板过程中克服电场力所做的功，也等于图像所围的面积$E=\frac{1}{2}QU$，$U=\frac{Q}{C}$，解得$E=\frac{1}{2}CU^2=\frac{Q^2}{2C}$，从上面的式子看出，对同一电容器，电容器储存的能量E与电容器两极板间电压U的平方成正比，故 C 错误；

D．根据 C 项分析知，电容器储存的能量与电荷量Q的平方成正比，故若电容器电荷量为 Q 时储存的能量为 E，则电容器电荷量为$\frac{Q}{2}$时储存的能量为$\frac{E}{4}$，故 D 错误。

故选 B。

题型四：电容器的充电放电

【精选例题】：C　　ABD

【例 1】C

【详解】A．充电过程中，随着电容器带电量的增加，电容器两极板间电势差增加，充电电流在减小，A 错误；

B．根据电路图可知，充电过程中，电容器的上极板带正电荷、流过电阻 R 的电流由 N 点流向 M 点，故 B 错误；

C．放电过程中，随着电容器带电量的减小，电容器两极板间电势差减小，放电电流在减小，故 C 正确；

D．根据电路图可知，放电过程中，电容器的上极板带正电荷，流过电阻 R 的电流由 M 点流向 N 点，故 D 错误。

故选 C。

【例 2】ABD

【详解】A．用欧姆表直接连接待测电容两端，表内部电源给电容器充电，在开始时电流较大，所以指针的偏转角度很大，随着电容器所带电荷量不断增大，充电电流逐渐减小，所以指针的偏转角度逐渐减小，故 A 正确；

B．开关接“1”时，电容器开始充电，A 板与电源正极相连，电流方向由右向左流过 R，所以 A 板带正电，电容器开始充电过程中，电容器带电量逐渐增大，由 $C=\frac{Q}{U}$ 可知电压也逐渐增大，由 $E=\frac{U}{d}$ 可知板间的电场强度逐渐增大，故 B 正确；

C．电容器在放电过程中释放的电荷量在数值上等于图像与坐标轴所包围的面积。

每个小方格所对应的电荷量为 $q=0.2\times10^{-3}\times0.2\mathrm{C}=4\times10^{-5}\mathrm{C}$

所以电容器所带的电荷量 $Q=40\times4\times10^{-5}\mathrm{C}=1.6\times10^{-3}\mathrm{C}$，电容器的电容 $C=\frac{Q}{E}=\frac{1.6\times10^{-3}}{8}\mathrm{F}=200\mu\mathrm{F}$，故 C 错误；

D. 不改变电路其他参数，只增大电阻，将开关掷向 1 时，电容器的电压不变，由于电容器的电容不变，根据 $Q=CU$ 可知电容器的充电量或放电量不变，即 $I-t$ 曲线与横轴所围成的面积将不变。由闭合电路欧姆定律知，电容器开始充电（或开始放电）的电流减小，则曲线的位置将向下移动，而充电（或放电）时 $I-t$ 曲线与横轴所围成的面积将不变，所以充电（或放电）时间将变长，要大于 2.4s，故 D 正确。故选 ABD。

【跟踪训练】：A　　A

1．A

【详解】A．$i-t$ 图像面积表示电荷量，所以两阴影面积分别表示充放电电荷总量，一定相等，故 A 正确；

B．电容器下极板与电源负极相连，所以下极板带负电，故 B 错误；

C．电容器所带的电荷量 Q＝CU，由于电源电动势不变，电容不变，所以减小电阻，只是增大了充电的电流，但电容器的电荷量不变，故 C 错误；

D．充电过程中，减小 R 可缩短充电时间，放电过程中，电阻是负载，减小 R 可缩短放电时间，故 D 错误。

故选 A。

2．A

【详解】闭合开关 S_1 后，电容器充电，电容器电压与电源电压差值越来越小，则通过传感器的电流越来越小，充电完成后，电容器电压等于电源电压，此时电路中电流为零；

再闭合开关 S_2，因为电容器电压大于 R_2 电压，则电容器放电，电容器电压与 R_2 电压差值越来越小，则通过传感器的电流越来越小，且电流方向与开始充电时的方向相反，当电容器电压等于 R_2 电压，此时电路中电流为零。

故选 A。

题型五：探究电容的充电放电

【精选例题】：

【例 1】．(1)正；(2)4.4×10^{-4}

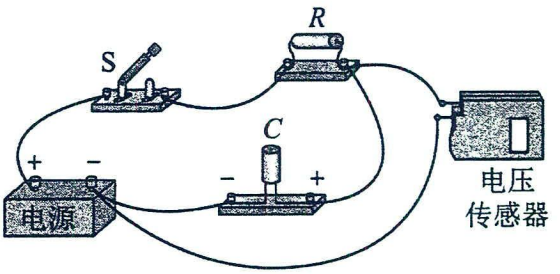
【详解】（1）开关 K 与 1 端相连，电容器上极板与电源连接，故充满电的电容器上极板带正电。

（2）由图乙可知电容器充满电时，电容器两极板间的电压为8V，$I-t$ 图像与坐标轴围成的面积表示电量，图中约14小格，则电容器充满电的电荷量为$Q=14\times1\times0.25\times10^{-3}\text{C}=3.5\times10^{-3}\text{C}$

电容器的电容约为$C=\dfrac{Q}{U}=\dfrac{3.5\times10^{-3}}{8}\text{F}\approx4.4\times10^{-4}\text{F}$

【例 2】 图略　40　充电　B　1.8×10^{-5}

【详解】（1）[1]根据电路图连接实物图，如图所示



（2）[2]由图（c）可知周期$T=25\times10^{-3}\text{s}$，

所以该矩形波的频率为$f=\dfrac{1}{T}=40\text{Hz}$

（3）[3][4]由图（d）可知，B 点后电容器两端的电压慢慢增大，即电容器处于充电状态；从图中可得出，A 点为放电快结束阶段，B 点为充电开始阶段，所以在 B 点时通过电阻 R 的电流更大。

（4）[5]由图（e）可知当$f=45\text{Hz}$时，电容器此时两端的电压最大值约为$U_{\text{m}}=3.75\text{V}$

根据电容的定义式$C=\dfrac{Q}{U}$得此时电容器所带电荷量的最大值为$Q_{\text{m}}=CU_{\text{m}}=4.7\times10^{-6}\times3.75\text{C}\approx1.8\times10^{-5}\text{C}$

【例 3】由 a 到 b　=　变短　$8.0\times10^{-3}/7.8\times10^{-3}$　1.0×10^{-3} /$9.7\times10^{-4}/9.8\times10^{-4}$

【详解】（1）[1]电容器充电时上极板接电源正极，故上极板带正电荷，放电时上极板正电荷通过电阻流向下级板，故流过电阻 R 的电流方向为由 a 到 b。

（2）[2]根据电流的定义式$I=\dfrac{q}{t}$，则$q=It$，乙图中，阴影部分的面积等于充、放电的电荷量，而充放电的电荷量相等，故$S_1=S_2$

（3）[3] 根据电流的定义式$I=\dfrac{q}{t}$，可得$t=\dfrac{q}{I}$，如果不改变电路其他参数，只减小电阻 R，则放电电流将增大，由上式可知放电时间将变短。

（4）[4]根据$I-t$图像的面积表示电容器充电完毕后的电荷量，由图知，

每小格代表的电荷量为$q=It=\dfrac{1}{2}\times10^{-3}\times\dfrac{1}{2}\text{C}=2.5\times10^{-4}\text{C}$

数出图线包围的格数，满半格或超过半格的算一格，不满半格的舍去，数得格数为 32 格，则电容器充电完毕后的电荷量为$Q=32\times2.5\times10^{-4}\text{C}=8.0\times10^{-3}\text{C}$

因从图中数格数有一定误差，故结果也可能为$Q=31\times2.5\times10^{-4}\text{C}=7.8\times10^{-3}\text{C}$

[5]根据电容的定义知，电容器的电容为$C=\dfrac{Q}{U}=\dfrac{8.0\times10^{-3}}{8}\text{F}=1.0\times10^{-3}\text{F}$

因电荷量有一定误差，故电容的计算值也可以是$q=9.7\times10^{-4}\text{C}$或$q=9.8\times10^{-4}\text{C}$。

【例 4】(1) 电容器放电过程，通过电流传感器的电荷量　　=；(2) 220　　480　　6.6×10^{-4}

【详解】（1）①[1]根据 $q=It$，可知 I-t 图像与对应时间轴所围成的面积表示的物理意义是电荷量，即电容器放电过程，通过电流传感器的电荷量。

②[2] S_1 和 S_2 均表示电容器放电的电荷量，所以 $S_1=S_2$

（2）[1]根据 $C=\frac{Q}{U}$，可得 $C=\frac{S_1}{E}=220\mu F$

[2]根据 $I_m=\frac{U}{R}$ 可知，两次放电过程的最大电流与电路电阻成反比，即 $\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}\times100mA=R_2\times75mA$

解得 $R_3=480\Omega$

[3]开关 K_2 闭合时，电容器放电过程中通过 R_3 的电量为 $Q_{R_3}=\frac{R_2}{R_2+R_3}\times S_1=0.66mA\cdot s=6.6\times10^{-4}C$

【跟踪训练】：

1．(1)D；(2) AC　　不变　　变短 ；(3)3.2×10^{-3}C

【详解】（1）A．A 板与静电计的指针带的是同种电荷，选项 A 错误；

B．甲图中将 B 板上移，两极板相对面积减小，根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，可知电容 C 减小，因 Q 一定，根据 Q=CU 可知两极板电压 U 变大，可知静电计的指针偏角变大，选项 B 错误；

C．乙图中将 B 板左移，两极板间距 d 变大，根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，可知电容 C 减小，因 Q 一定，根据 Q=CU 可知两极板电压 U 变大，静电计的指针偏角变大，选项 C 错误；

D．丙图中将电介质插入两板之间，根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，可知电容 C 变大，因 Q 一定，根据 Q=CU 可知两极板电压 U 变小，静电计的指针偏角减小，选项 D 正确。故选 D。

（2）①[1]电容器充电过程中电容器所带电荷量 Q 从零开始逐渐变大，随时间增加电量增加的逐渐变慢最终趋于定值，则随时间 t 变化的图像为 A；电容器两极间电压 U 从零开始逐渐变大，随时间增加电压增加的越来越慢，最终趋于定值，则图像如 C 所示。故选 AC。

②[2][3]如果不改变电路其他参数，只减小电阻 R，因电容器带电量不变，而 I-t 图像与坐标轴围成的面积等于电量，遏制充电时 $I-t$ 曲线与横轴所围成的面积将不变；因充电电流变大，可知充电时间将变短。

（3）电容器带电量为 $Q=40\times0.4\times0.2\times10^{-3}C=3.2\times10^{-3}C$

2．放电　　不变　　575　　BD/DB

【详解】（1）[1]开关 S 改接 2 后，电容器进行的是放电过程；

[2]因 $I-t$ 图像与坐标轴所围成的面积等于电容器的带电量，则如果不改变电路其他参数，只减小电阻 R 的阻值，则此过程的 $I-t$ 曲线与坐标轴所围成的面积将不变。

（2）[3]该电容器的电容为 $C=\frac{Q}{U}=\frac{3.45\times10^{-3}}{6}F=575\mu F$

（3） [4]AB．电源给电容器充电时，刚开始电荷量的变化率较大，后来变化率减小，放电时，电荷量变化率刚开始比较大，后来变化率减小，故 A 错误、B 正确；

CD．根据 $C=\frac{Q}{U}$，且 C 不变可知，Q 与 U 的变化情况相同，故 C 错误、D 正确。故选 BD。

3．A　　C　　①　　BD/DB

【详解】（1）[1]充电电流与放电电流方向相反，放电过程中极板的电荷量逐渐减小，电势差逐渐减小；充电工程中极板的电势差逐渐增大，与电源电动势逐渐接近，所以不论充电还是放电电流都在减小，故选 A。

[2]充电过程和放电过程，电流都在逐渐的减小，根据 I=q/t 可知

电容器的带电量随时间变化的图像中图线的斜率在充电的过程中和放电的过程中都是逐渐减小的，故选 C。

（2）[3]A．由题可知，放电过程中电荷量逐渐减小，根据公式$I=\frac{q}{t}$可知，电流逐渐减小，A 错误；

B．由$C=\frac{Q}{U}$可知，通过人体组织的电荷量为$Q=CU=0.2\mathrm{C}$，B 正确；

C．电容器的电容只跟自身结构有关，C 错误；

D．根据电功的表达式$W=UIt=UQ$，电容器电容的表达式 C=Q/U，可知电容器充放电时Q与U成正比，故放电时的电能$W=\frac{1}{2}UQ=\frac{1}{2}\times0.2\times1.0\times10^{4}\mathrm{J}=1.0\times10^{3}\mathrm{J}$，D 正确。故选 BD。

4．①　　④　　5　　7.2×10^{-3}　　9.2×10^{2}　　8.0　　b

【详解】（1）[1]充电过程，电压逐渐增大，且增大的越来越慢，故电压随时间变化的图线为①；

[2]放电过程电压逐渐变小，减小的越来越慢，电容器放电，放电电流与充电电流方向相反，电流逐渐变小，且减小的越来越慢，故电流随时间变化的图像为④。

（2）[3]由图（b）可以看出，充电完成时，电容器两端电压约为 7.8V，

设至少需要将 n 节干电池串联作为电源$n\geq\frac{7.8}{1.6}\approx4.9$，知至少需要将 5 节干电池串联作为电源。

（3）[4]由图（b）图线④表示电容器放电过程的$I-t$图线，图线与坐标轴围的面积表示放电的总电荷量，即电容器充电完毕时所带的电荷量$Q=9\times2\mathrm{mA}\times0.4\mathrm{s}=7.2\times10^{-3}\mathrm{C}$；[5]电容器的电容为$C=\frac{Q}{U}=\frac{7.2}{7.8}\times10^{-3}\mathrm{F}=9.2\times10^{2}\mu\mathrm{F}$

[6]该值与C_0的差异为$\left|\frac{C_0-C}{C_0}\right|\times100\%=\frac{1000-920}{1000}\times100\%=8.0\%$

（4）[7]由于干电池个数保持不变，充电完成时电容器两端电压不变，电荷量不变，减小电阻，则放电初始电流增大，电荷量不变即图线与坐标轴所围面积不变，则图线可能是虚线 b。

考点二：电容器的动态分析

题型一：U 不变

【精选例题】：B　　D　　A　　C

【例 1】B

【详解】A．根据平行板电容器电容决定式$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，可知，上极板向下运动的过程中，d 减小，C 增大；

B．根据电容定义式$C=\frac{Q}{U}$可知，上极板向下运动的过程中，d 减小，C 增大，U 不变，Q 增大，电容器将充电；

C．上极板向上运动的过程中，U 不变，d 增大，场强减小；

D．上极板向上运动的过程中，d 增大，C 减小，U 不变，Q 减小，电容器将放电，G 表中有自左向右的电流；

故 B 正确，ACD 错误。故选 B。

【例 2】D

【详解】A．根据平行板电容器的电容计算公式$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$得知，按键过程中，板间距离 d 减小，电容 C 增大；

B．电容 C 变大，由于 U 不变，根据 Q=CU，可知 Q 增大，故 B 错误；

C．因 C 增大，U 不变，根据 Q=CU 知 Q 增大，电容器充电，电流方向从 b 流向 a，故 C 错误；

D．按键过程中，板间距离 d 减小，由于 U 不变，根据$E=\frac{U}{d}$可知，电容器两极板间的电场强度增大，D 正确。

故选 D。

【例 3】A

【详解】A．材料温度升高，材料膨胀，电容器两板间距减小，根据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，可知电容增大；由于电容器两板电势差不变，根据$C=\frac{Q}{U}$，可知极板所带电荷量增大，故 A 正确；

B．滑动变阻器滑片向下滑动，接入电路阻值减小，根据闭合电路欧姆定律可知，电路总电流增大，路端电压减小，则检测仪的工作电压降低，故 B 错误；

C．检测到灵敏电流计的电流方向为从 a 到 b，则电容器在充电，极板所带电荷量增大，由 A 选项分析可知，材料温度升高，故 C 错误；

D．检测结束，断开开关，电容器放电，则灵敏电流计上有从 b 到 a 的短暂电流，故 D 错误。故选 A。

【例 4】C

【详解】A．根据电容的决定式$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$可知，B 板向上平移一小段距离，d 变小，则电容值变大，A 错误；

B．由于电容器与电源相连，U 不变，C 变大，根据电容的定义式 C=Q/U，可知此时电容正在充电，即电阻 R 中有向左的电流，B 错误；

C．因 B 极板接地，电势不变，电容器上下极板电势差不变，故 A 极板电势不变，根据 E=U/d，知电场强度变大，由$\varphi_A-\varphi_M=U_{AM}=Ed_{AM}$，可知$\varphi_M$减小；

带电油滴在重力和电场力的作用下 处于平衡状态，可知，油滴带负电，负电荷在电势低的地方电势能大，故 M 点电势能将增大，C 正确；

D．带电油滴受到竖直向下的重力和竖直向上的电场力，由于场强变大，则电场力变大，故油滴将沿竖直方向向上运动，D 错误 。故选 C。

【跟踪训练】：A　　BD　　B　　BC

1．A

【详解】电流表 G 中有从 a 到 b 的电流，说明电容器放电，电容器的电荷量减少，由于电压一定，根据电容的定义式$C=\frac{Q}{U}$可知，电容器的电容减小，根据电容的决定式$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$可知，可能是正对面积减小、介电常数减小、两极板间的距离增大。故选 A。

2．BD

【详解】AB．由电容的定义式$C=\frac{Q}{U}$，以及决定式$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，可得$\frac{Q}{U}=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$

当U相同时，凹处d较大，Q较小，凸处d较小，Q较大，A 项错误，B 项正确；

CD．当Q相同时，凹处d较大，U较大，凸处d较小，U较小，C 项错误，D 项正确。故选 BD。

3．B

【详解】A．根据电容器的决定式$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，在液面升高的过程中，两极间填充电介质增加，即电容器的电容增大，故A错误；

BC．根据$C=\frac{Q}{U}$可知，由于电容器电压不变，电容增大，则电容器的带电量增加，电容器充电，电路中有逆时针方向的电流，故B正确，C错误；

D．液面升高后，保持在某一稳定高度时，电容将保持不变，电势差也不变，所以电容器的带电量将不变，故D错误。故选B。

4．BC

【详解】A．油滴在电场中处于静止状态，受到的重力与电场力平衡，由于电容器上极板带正电，故油滴带负电，A错误；

B．根据电容的公式$C=\frac{\varepsilon S}{4k\pi d}$可知，当上极板向上移动一小段距离时，两极板间的距离d变大，电容器的电容减小，B正确；

C．上极板向左平移一小段距离，由于电容器始终与电源连接，两极板间的电势差U不变，根据$E=\frac{U}{d}$可知，极板间的电场强度不变，油滴受到的电场力不变，油滴依然处于静止状态，C正确；

D．断开开关S电容器的电荷量Q不变，当将上极板向下平移一小段距离时，根据$C=\frac{\varepsilon S}{4k\pi d}$，$C=\frac{Q}{U}=\frac{Q}{Ed}$

解得$E=\frac{4k\pi Q}{\varepsilon S}$

由此可知，电容器的电荷量Q不变，极板间的电场强度跟极板间的距离无关，即电场强度的大小不变，结合电场强度与电势差的关系$U_p=Ed'$，P点到下极板距离d'不变，故P点电势不变，D错误。故选BC。

题型二：Q不变

【精选例题】：C　　C　　C　　AB　　BC

【例1】C

【详解】据题，电容器所带电量Q不变。根据$C=\frac{Q}{U}$，$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，$E=\frac{U}{d}$，得$E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$

则知电场强度E不变；P与下板间的距离不变，E不变，则由$U=Ed$分析P点与下板间电势差不变，下板电势为零，所以φ不变。故选C。

【例2】C

【详解】AB．MN间的电场强度$E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，从位置“1”到位置“2”，S变大，其余各量不变，所以MN间的电场强度变小；从位置“2”到位置“4”，d减小，其余各量不变，但E与d无关，所以MN间的电场强度不变，故AB错误；

C．从位置“1”到位置“2”，MN间的距离d不变，而MN间的电场强度变小，由$U=Ed$可知，MN间的电势差变小，而N板电势始终是零，且M板带正电，电势高于N板电势，所以该过程中M板电势降低，故C正确；

D．从位置“2”到位置“4”，MN间的距离d减小，而MN间的电场强度不变，由$U=Ed$可知，MN间的电势差

变小，而N板电势始终是零，且M板带正电，电势高于N板电势，所以该过程中M板电势降低，故D错误。故选C。

【例3】C

【详解】A．静电计是测量电容器两板间电压的装置，不是测量电容器带电量的装置，故A错误；

B．静电器指针与外壳绝缘，指针的电势等于右极板的电势，外壳的电势等于左板的电势，则两者的电势不相等，故B错误；

C．若薄板是陶瓷，则插入后电容增大，电量不变，电压减小，指针的偏角变小，故C正确；

D．若薄板是金属板，相当于变成两个电容器，每个电容器的间距变成原来的一半，每个电容器的电容变为原来的两倍，即插入后的电容大于插入前，故D错误。故选C。

【例4】AB

【详解】B．电容器的上极板竖直向下移动一小段距离，根据平行板电容器电容的决定式可知，电容器的电容增大，而电容器所带电荷量不变，根据$C=\frac{Q}{U}$可知，两极板间的电压U减小，即静电计指针张角减小，故B正确；

AC．电容器两极板间的场强$E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，因$Q$不变，所以两极板间的场强E与距离d无关，即场强不变，油滴所受电场力不变，仍静止不动，故A正确，C错误；

D．因P点到下极板的距离不变，两极板间的场强E不变，所以P点与下极板间的电势差不变，又下极板接地，电势保持为零不变，所以P点的电势不变，故D错误。故选AB。

【例5】BC

【详解】A．闭合电键S时，平行板电容器极板之间电压一定，上极板A与电源正极连接，极板间电场方向向下，极板间电场强度$E_0=\frac{U}{d}$，将A极板向下平移一小段距离，极板间距减小，电场强度增大，则带电油滴向上运动，故A错误；

B．结合上述，电场强度方向向下，将A极板向下平移一小段距离，极板间距减小，电场强度增大，根据$U_{PB}=\varphi_P-0=E_0 d_{PB}$，解得$\varphi_P=E_0 d_{PB}$，可知，将A极板向下平移一小段距离，$P$点电势将升高，故B正确；

C．若断开电键S，极板所带电荷量一定，根据$C=\frac{Q}{U}$，$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，将B极板向下平移一小段距离，极板间距增大，电容减小，极板之间的电压增大，即静电计指针张角变大，故C正确；

D．将B极板向下平移一小段距离，根据$E_0=\frac{U}{d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$可知，极板之间的电场强度不变，结合上述有$\varphi_P=E_0 d_{PB}$由于$d_{PB}$增大，则将B极板向下平移一小段距离，$P$点电势将增大，故D错误。故选BC。

【跟踪训练】：B　　C　　D　　BD　　BC

1．B

【详解】A．多晶硅悬臂梁的右侧可发生如图所示的弯曲形变，多晶硅悬臂梁与上电极间距增加，下电极距离减小，根据电容器电容决定式$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，可得电容器$C_1$的电容减小，电容器$C_2$的电容增加，故A错误；

B．因电荷量不变，根据$U=\frac{Q}{C}$可知电容器C_2两板间电压减小，故B正确；

CD．根据$E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{C}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$可知，当板间距变化时，电场强度不变，故CD错误。故选B。

2．C

【详解】A．N极板与静电计外壳均接地，电势一定相等且均为0，故A错误；

B．因为电容器两极板间的电势差等于指针所指示的电势差，所以静电计指针偏角的变化表征了电容器两极板间电势差的变化，故B错误；

C．根据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$C=\frac{Q}{U}$，把有机玻璃板插入极板间，可知电容器的电容增大，电容器极板上的电荷量可认为保持不变，则容器两极板间的电势差减小，静电计指针的张角会减小，故C正确；

D．根据$E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，把N极板向左平移，可知板间场强$E$不变，根据$U_{AN}=E\cdot d_{AN}$由于$AN$间距变大，则A点与N板间电势差变大，A点电势升高，故D错误。故选C。

3．D

【详解】A．根据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，保持开关S闭合，A板竖直上移一小段距离，电容器的电容减小，故A错误；

B．保持开关S闭合，A板竖直上移一小段距离，电容器的电容减小，根据$C=\frac{Q}{U}$可知电量减小，电容器放电，电流表中有从b向a的电流通过，故B错误；

C．断开开关，由$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}=\frac{Q}{U}$，$U=Ed$，A板竖直上移一小段距离，电场强度不变，则带电油滴静止，C错；

D．初始状态电荷静止，则电荷带正电。断开开关，B板竖直下移一小段距离，根据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}=\frac{Q}{U}$，$U=Ed$可知电场强度不变，极板间电势差增大，根据$U'=Ed'$，可知P点与上极板的电势差不变，则P点与下极板的电势差增大，P点电势减小，电荷带正电，故带电油滴的电势能减小，故D正确。故选D。

4．BD【详解】A．根据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，风力越大，两板间的距离d越小，电容器电容C越大，A错误；

B．根据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$C=\frac{Q}{U}$，解得$U=\frac{4\pi kdQ}{\varepsilon_r S}$，风力越大，两板间的距离d越小，两板之间的电势差越小，静电计指针张角越小，B正确；

C．根据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$C=\frac{Q}{U}$，$E=\frac{U}{d}$，解得$E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$；风力越大，两板间的距离d越小，极板间电场强度与距离d无关，电场强度不变，C错误；

D．根据$E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，$\varphi_P=U_{P到负极板}=Ex_{P到负极板}$，解得$\varphi_P=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}\cdot x_{P到负极板}$

风力越大，P点到负极板之间的距离越小，P点的电势越小，D正确。故选BD。

5．BC

【详解】A．由电容器的决定式$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，可知C与两极板间距离d成反比，故C与x不是线性关系，A错误；

B．电容器充电后与电源断开，电荷量Q不变，由$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，$Q=CU$，$U=Ed$，可得$E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$

所以可知电场强度E是定值，B正确；

C．因负极板接地，电势为零，所以P点电势为$\varphi=E(L-x)$，L为P点到负极板的初始距离，因为E不变，φ

随 x 增大而线性减小，C 正确；

D．由 $E_p=q\varphi$，可知 E_p 与 φ 成正比，故也随 x 增大而线性减小，D 错误。故选 BC。

题型三：电容器中的平衡

【精选例题】：D　　AD

【例 1】D

【详解】A．只将 N 板水平向右平移稍许，由公式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，电容器的电容将变小，而又由 $C=\frac{Q}{U}$，$E=\frac{U}{d}$ 可知，两板间的电场强度 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$ 将不变，电场力不变，故夹角θ将不变，选项 A 错误；

B．只将 N 板竖直向上平移稍许，由公式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，电容器的电容将变小，而又由 $C=\frac{Q}{U}$，$E=\frac{U}{d}$ 可知，两板间的电场强度 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，将变大，电场力变大，故夹角θ将变大，选项 B 错误；

C．若将细线烧断，小球受电场力和重力都为恒力，则小球将沿绳的方向斜向下做初速度为零的匀加速直线运动，选项 C 错误；

D．只将 M 板水平向左平移稍许，由公式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，电容器的电容将变小，而又由 $C=\frac{Q}{U}$，$E=\frac{U}{d}$ 可知，两板间的电场强度 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$ 将不变，电场力不变，将细线烧断，小球与 C 选项情景中运动位移、加速度均不变，到达 N 板的时间不变，故 D 正确。故选 D。

【例 2】AD

【详解】A．由图可知，电容器左极板带负电，右极板带正电，电场向左，则小球带负电荷。故 A 正确；

B．改变变阻器 R_1 的电阻，不影响电容器电势差，则细线与竖直方向的夹角不变，故 B 错误；

C．将绝缘细线剪断，小球所受重力与电场力的合力与绳拉力等大、反向，则小球做匀加速直线运动。故 C 错误；

D．S 断开后，电容器所带电荷量不变，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$C=\frac{Q}{U}$，$E=\frac{U}{d}$，解得 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，将右极板向右平移少许，电场强度不变。由于左极板接地，电势为零。且小球与左极板间距不变，则 A 点电势不变。故 D 正确。故选 AD。

【跟踪训练】：C　　AC

1．C

【详解】A．小球所受拉力为 0，表明电场力与重力平衡，则电场力方向竖直向上，小球带正电，则电场方向竖直向上，可知，A 板带负电，故 A 错误；

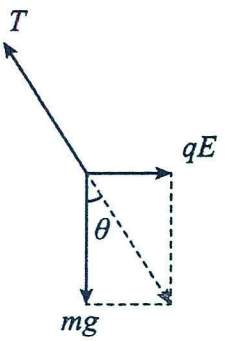
B．箱子竖直向上做匀加速运动，加速度方向向上，稳定时，弹簧弹力增大，即 B 板下移，极板之间间距增大，根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 可知，箱子运动过程中，电容器的电容变小，故 B 错误；

C．极板所带电荷量一定，根据 $C=\frac{Q}{U}$ 结合上述可知，电容减小，则两板间的电压变大，故 C 正确；

D．根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，$C=\frac{Q}{U}$，解得电场强度为 $E=\frac{U}{d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$，可知，电场强度不变，小球所受电场力不变，为使加速度向上，则细线对小球的拉力不为零，故 D 错误。故选 C。

2．AC

【详解】A．对小球受力分析，如图所示



根据受力平衡可知，任意两个力的合力与第三个力等大反向，故$\frac{qE}{mg}=\tan\theta$

求得$E=\frac{mg\tan\theta}{q}$，故A正确；

B．将R_1的滑片向右移，平行金属板间的电压不变，场强不变，θ角不变，故B错误；

C．将S断开后，平行金属板所带电荷量不变，则$E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}\cdot d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$

即在平行金属板所带电荷量保持不变的条件下，平行金属板间的场强大小与金属板间的距离无关，故将右极板向右平移少许，平行金属板间的场强大小不变，θ角不变，故C正确；

D．将绝缘细线烧断后，小球所受合力为$F_{合}=\frac{mg}{\cos\theta}$，小球将沿合力的方向做初速度为零的匀加速直线运动，

其加速度和位移大小分别为$a=\frac{F_{合}}{m}=\frac{g}{\cos\theta}$，$x'=\frac{x}{\sin\theta}$，又$x'=\frac{1}{2}at^2$，求得$t=\sqrt{\frac{2x}{g\tan\theta}}$，故D错误。

故选AC。

题型四：含二极管的动态分析

【精选例题】：C　　C　　AC

【例1】C

【详解】A．将极板A稍向上平移，板间距离d增大，根据电容的决定式$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$可知，电容C减小；若电容器的电压不变时，则电容器所带电量将要减小，由于二极管具有单向导电性，电容器上电荷放不掉，电荷不能流回电源，所以电容器的电量保持不变，根据$E=\frac{U}{d}=\frac{\frac{Q}{C}}{d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$可知板间场强E不变，故A错误；

B．由于电容C减小，由电容的定义式$C=\frac{Q}{U}$可知，U变大，故B错误；

CD．板间场强E不变，电荷所受的电场力不变，仍保持静止状态，P与B板间电势差$U_{PB}=Ed_E$、d都不变，U_{PB}保持不变，P点的电势保持不变，则电荷在P点电势能E_p不变，故C正确，D错误。故选C。

【例2】C

【详解】A．若电容器充电，电流沿顺时针方向，通过二极管的电流从左向右，与二极管的导通方向相同，所以电容器能充电，故A错误；

B．A、B间电势差$U_{AB}=E_0$，则A、C间电势差$U_{AC}=\frac{(d-0.75d)U_{AB}}{d}=0.25E_0$，$\varphi_A=0$，$U_{AC}=\varphi_A-\varphi_C$

可得点电荷的电势能为$E_p=-0.25E_0 q$，故B错误；

C．由二极管的单向导电性可知，电容器只能充电，不能放电，当两板的正对面积减小时，电容器的带电荷量Q不变，由$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$C=\frac{Q}{U_{AB}}$，$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，得$\varphi_B=-\frac{4\pi kdQ}{\varepsilon_r S}$

当两板的正对面积减小，其他量不变时，B 板的电势降低，故 C 正确；

D．由 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$C=\frac{Q}{U_{AB}}$，$E=\frac{U_{AB}}{d}$，可得板间电场强度 $E=-\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$

则把 A 板向下移动，两板间的电场强度不变，点电荷受到的电场力不变，故 D 错误。故选 C。

【例 3】AC

【详解】A．断开开关 S，电量保持不变，根据电容决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，M 板稍微上移，d 变大，电容减小，

根据电容定义式 $C=\frac{Q}{U}$ 可知板间电压 U 变大，所以静电计指针偏角变大，故 A 正确；

B．根据电容决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，电容定义式 $C=\frac{Q}{U}$，板间场强为 $E=\frac{U}{d}$，联立可得 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$

断开开关 S，电量保持不变，所以板间场强不变；P 与下极板间电势差为 $U=Ed_{PN}$，可知 P 与下极板间电势差变大，而 N 板的电势始终为零，所以 P 点电势降低，且为负值。由图可知 N 板为正极板，液滴处于静止状态，根据平衡条件可知液滴带正电；根据 $E_P=q\varphi$ 可知 N 板稍微下移，带电油滴的电势能降低，故 B 错误；

C．保持开关 S 闭合，电容器两板间电压等于电阻 R_0 两端的电压，当增大 R_1 的阻值，R_0 两端的电压减小，电容器两板间电压降低，根据 $C=\frac{Q}{U}$ 可知电容器将会放电，因为二极管单向导电性，电容器的电量不能减少，所以保持电量不变，根据电容决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，电容定义式 $C=\frac{Q}{U}$，板间场强为 $E=\frac{U}{d}$，

联立可得 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，由此可知板间场强不变，所以液滴仍然静止不动，故 C 正确；

D．保持开关 S 闭合，电容器两板间电压等于电阻 R_0 两端的电压，当增大 R_2 的阻值，电容器两板间电压与 R_2 的阻值无关，根据 $C=\frac{Q}{U}$ 可知平行板电容器的带电荷量保持不变，故 D 错误。故选 AC。

【跟踪训练】：D　　D　　A

1．D

【详解】A．若两板间插入人造蓝宝石，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，ε_r 增大，电容器的电容 C 增大，故 A 错误；

B．若两板间插入一块金属板，相当于两电容器串联，则电容器的电容增大，故 B 错误；

C．减小极板间的正对面积，则电容器的电容 C 减小，由于二极管具有单向导电性，电容器不会放电，

根据 $C=\frac{Q}{U}$，$E=\frac{U}{d}$，可得 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，由此可知，极板间的电场强度变大，则油滴所受电场力变大，油滴将向上移动，故 C 错误；

D．将 A 板向上移动一小段距离，则 d 增大，电容器的电容减小，由于二极管具有单向导电性，电容器不会放电，根据 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$ 可知，两极板间的电场强度不变，油滴所受电场力不变，所以油滴处于静止状态，但 P 点到上极板的距离增大，所以上极板与 P 点的电势差变大，但上极板始终接地，电势为零，所以 P 点电势降低，油滴带负电，所以油滴在 P 点的电势能增大，故 D 正确。故选 D。

2．D

【详解】A．断开开关，电容器的电荷量不变，将两极板正对面积变小，根据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$C=\frac{Q}{U}$，$E=\frac{U}{d}$可知，电容器的电容C减小，U增大，两极板间电场强度增大，液滴受到的电场力变大，液滴向上运动，故A错误；

B．断开开关，电容器的电荷量不变，增大两个极板间的距离d，则电容器的电容C减小，U增大，静电计指针张角增大，故B错误；

C．保持开关闭合，U不变，在两极板间插入电介质，电容器电容C增大，Q增大，电容器继续充电，电流正向通过二极管，二极管正向电阻很小，则电容器两极板电压不变，静电计张角不变，故C错误；

D．保持开关闭合，若U不变，增大两极板间的距离，电容减小，Q减小，电容器放电，由于二极管的单向导电性可知，此时电容器无法放电，则电量Q不变，根据$E=\frac{U}{d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$可知，电容器两极板间电场强度不变，液滴保持静止，故D正确。故选D。

3．A

【详解】A．仅将滑片P_1向左移动时，电路中总电阻将增大，电流将减小，与电容器并联部分电阻的电压将减小，电容器本应放电，但由于二极管的存在，电容器不能放电，因而电容器两极板电压不变，板内电场强度不变，液滴仍静止不动，A正确；

B．仅将滑片P_2向上移动时，电路总电阻不变，电流不变，与电容器并联部分电阻的电压增大，从而将对电容器充电，使电容器板内的电场强度增大，液滴将向上运动，B错误；

C．仅将A板向上移动时，据$C=\frac{\varepsilon_r s}{4\pi kd}$可知$C$将减小，再据$C=\frac{Q}{U}$，因二极管的存在，$Q$不能减小而将保持不变，$U$将增大，则有$E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon_r sd}{4\pi kd}}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}=$定值，说明液滴仍静止不动，C错误；

D．仅将B板向右移动时，据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$可知$C$将减小，同理可知$Q$不变，$U$增大，而$U=\varphi_A-\varphi_B=\varphi_A-0=\varphi_A$，说明A板的电势将升高，D错误。故选A 。

题型五：双电容的动态分析

【精选例题】：BC　　AD　　BD　　B

【例1】BC

【详解】AB．如果将MN间的绝缘介质抽出，根据$C=\frac{\varepsilon s}{4\pi kd}$，则电容$C_2$减小，因$Q$不变，$MN$端的电势差$U=\frac{Q}{C}$，知电势差增大，所以$MN$两端的电势差$U_2$增大，电场强度增大，则电场力变大，所以向上运动，当U_2增大，U_1也增大，故A错误；故B正确；

C．如果将N板下移，即增大M、N间的距离，根据$C=\frac{\varepsilon s}{4\pi kd}$，则电容 C_2 减小，假设 Q_2不变，则MN板间的电压U_2将增大，大于AB间的电压，故MN板将向AB板充电，故Q_2减小，Q_1增大，故C正确；

D．充电完成稳定后，MN及AB间的电压均增大，故D错误。故选BC。

【例 2】AD

【详解】开关 S_1 先接 1，电源对电容 C_1 充电，两端电压为 U_1，再接 2，两电容并联，总电荷量不变，相当于增大横截面积，由 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，$U=\frac{Q}{C}$ 可知，总的电容变为原来 2 倍，电压变为原来 $\frac{1}{2}$，即 $U_2=\frac{1}{2}U_1$

然后断开 S_1，电容 C_1 的电荷量是原来的一半，闭合 S_2，电容 C_2 的电荷量被中和，电容 C_1 在电容不变的情况下，电压变为最初的一半，即 $U_3=U_2=\frac{1}{2}U_1$，断开 S_2 且 S_1 接 2，同理可知 $U_4=\frac{1}{2}U_3$，故选 AD。

【例 3】BD

【详解】将绝缘介质抽出，由电容的决定式 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，可知 C_2 变小，C_1 不变，其中 $C_1=\frac{Q_1}{U_1}$，$C_2=\frac{Q_2}{U_2}$，$U_1=U_2$

$Q_1+Q_2=Q_{总}$ $Q_{总}$ 不变，综合以上分析可知：Q_1 增加，Q_2 减小，U_1、U_2 均增大。故选 BD。

【例 4】B

【详解】两电容器极板间的电压始终大小相等，对电容器 A 有 $C_A=\frac{Q_A}{U}=\frac{\varepsilon S_1}{4\pi kd}$，对电容器 B 有 $C_B=\frac{Q_B}{U}=\frac{\varepsilon S_2}{4\pi kd}$

解得两电容器所带总的电荷量为 $Q_{总}=Q_A+Q_B=\frac{\varepsilon(S_1+S_2)}{4\pi kd}U$；

$Q_{总}$ 一定，当电容量 B 的两板水平地错开之前，由于两电容器相同，即 $S_1=S_2$，解得 $U=\frac{2\pi kdQ_{总}}{\varepsilon S_1}$

当电容器 B 的两板水平地错开，使两板相对的面积减小为原来的一半，即 $S_2=\frac{1}{2}S_1$，解得 $U'=\frac{8\pi kdQ_{总}}{3\varepsilon S_1}$，$\frac{U'}{U}=\frac{4}{3}$

电压增大，即微粒所受电场力增大，微粒将向上加速运动，

B 电容器没有错开后 $\frac{U'q}{d}-mg=ma$，B 电容器没有错开前 $\frac{Uq}{d}=mg$，解得 $a=\frac{g}{3}$。故选 B。

【跟踪训练】：AC　　D　　A　　A

1．AC

【详解】ABC．假设 Q 不变，则由 $C=\frac{Q}{U}$ 知 AB 板间的电压 U_1 将增大，大于 MN 间的电压，故 AB 板将向 MN 板充电；故 Q_1 减小，Q_2 增大；

由 $U=\frac{Q}{C}$ 知 U_2 变大，两个电容器电压相同则 U_1 变大；充电完成，稳定后，MN 及 AB 间的电压均增大，故对 P 分析可知，P 受到的电场力增大，故 P 将上移；对 AB 分析可知 $E_1=\frac{U_1}{d}=\frac{Q_1}{Cd}=\frac{4\pi kQ_1}{\varepsilon S}$，电场强度减小，O 受到的电场力减小，所以 O 将向下运动，故 B 错误，A、C 正确。

D．将 B 板下移时，由 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 可知知 C_1 将减小，而 MN 板不动，故 MN 的电容 C_2 不变，故 D 错误；故选 AC。

2．D

【详解】电容器 ab 与平行金属板 MN 并联，M，b 是等势面，因此 C_1、C_2 电压相等，即 $U_{ab}=U_{MN}=U$

Q 总量不变，即 $C_1U_{ab}+C_2U_{MN}=(C_1+C_2)U=Q$，故 $U=\frac{Q}{C_1+C_2}$

因此 MN 两板间的场强为 $E_2=\frac{U}{d_2}=\frac{Q}{(C_1+C_2)d_2}=\frac{Q}{C_1d_2+C_2d_2}=\frac{Q}{C_1d_2+\frac{\varepsilon_2 S_2}{4\pi k}}$ ①

A．当增大 ab 间的距离，根据电容决定式可知电容 C_1 减小，由①式可知 MN 板间的场强变强，P 向上运动，A 错；

B．减小 MN 间的距离 d_2 时，由①式可知 MN 板间的场强变强，P 向上运动，故 B 错误；

C．取出 ab 两极板间的电介质，电容 C_1 减小，由①式可知 MN 板间的场强变强，P 向上运动，故 C 错误；

D．换一块形状大小相同，介电常数更大的电介质，电容 C_1 增大，由①式可知 MN 板间的场强变弱，P 向下运动，故 D 正确。故选 D。

3．A【详解】对小球根据平衡条件，可知电场力为 $F=mg\tan\alpha$，若 α 角变小，则电场力变小。

A．根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 可知，换一块形状大小相同、介电常数更大的电介质，则电容增大，Q 不变，ab 端的电势差 $U=\frac{Q}{C}$ 知电势差减小，所以 PQ 两端的电势差减小，根据 $E=\frac{U}{d}$ 可知，电场强度减小，则电场力变小，故 A 正确；

B．根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 可知，若增大 a、b 间的距离，则电容减小，Q 不变，ab 端的电势差 $U=\frac{Q}{C}$ 知电势差增大，所以 PQ 两端的电势差增大，根据 $E=\frac{U}{d}$ 可知，电场强度增大，则电场力变大，故 B 错误；

C．根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 可知，若将 a 板向下平移，则电容减小，Q 不变，ab 端的电势差 $U=\frac{Q}{C}$ 知电势差增大，所以 PQ 两端的电势差增大，根据 $E=\frac{U}{d}$ 可知，电场强度增大，则电场力变大，故 C 错误；

D．根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 可知，若取出 a、b 间的电介质，则电容减小，Q 不变，ab 端的电势差 $U=\frac{Q}{C}$ 知电势差增大，所以 PQ 两端的电势差增大，根据 $E=\frac{U}{d}$ 可知，电场强度增大，则电场力变大，故 D 错误。故选 A。

4．A【详解】两电容器两极板间电势差始终相等，并且两电容器极板间的电荷量总和总是保持不变，设开始时两电容器两极板间电势差为 U，两电容器极板间的电荷量为 Q，则有

对 A 电容器有电容器 A 中的带电粒子恰好静止时有 $q\frac{U_A}{d}=mg$

A 中带电粒子的加速度大小为 $\frac{g}{3}$，方向向上时有 $q\frac{U_A'}{d}-mg=\frac{1}{3}mg$

A 中带电粒子的加速度大小为 $\frac{g}{3}$，方向向下时有 $mg-q\frac{U_A'}{d}=\frac{1}{3}mg$

联立解得 $U_A'=\frac{2}{3}U_A=\frac{2}{3}U$ 或 $U_A'=\frac{4}{3}U_A=\frac{4}{3}U$

由于 A 的电容的决定公式 $C_A=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 可知，C_A 不变，则有 $C_A=\frac{Q_A}{U_A}$

则电容器 A 极板的电荷量为$Q_A'=\frac{2}{3}Q_A=\frac{2}{3}Q$ 或$Q_A'=\frac{4}{3}Q_A=\frac{4}{3}Q$

两电容器极板间的电荷量总和为$Q_{总}=Q_A+Q_B=2Q$

由于两电容器极板间的电荷量总和总是保持不变，则有$Q_B'=\frac{4}{3}Q$或$Q_B'=\frac{2}{3}Q$

由于两电容器两极板间电势差始终相等，则有$U_B'=U_A'=\frac{2}{3}U$ 或$U_B'=U_A'=\frac{4}{3}U$

根据电容的定义公式有$C_B=\frac{Q_B}{U_B}$，可知 B 电容器变化后的电容为$C_B'=\frac{Q_B'}{U_B'}=\frac{\frac{4}{3}Q}{\frac{2}{3}U}=2C_B$ 或$C_B'=\frac{Q_B'}{U_B'}=\frac{\frac{2}{3}Q}{\frac{4}{3}U}=\frac{1}{2}C_B$

根据 B 的电容的决定公式$C_B=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$可知，电容 C 与两板间的距离 d 成反比，则有$d'=\frac{1}{2}d$或$d'=2d$，故 A 正确；BCD 错误；故选 A。

考点三：带电粒子在静电场中的运动

题型一：加速运动

【精选例题】：B　　A　　C

【例 1】B

【详解】由动能定理得$qU=\frac{1}{2}mv^2=E_k$，可知 U 相同，α粒子带的正电荷多，电荷量最大，所以α粒子获得的动能最大。故选 B。

【例 2】A

【详解】AB．根据题意，设电子到达 Q 板的速率为v，由动能定理有$eU=\frac{1}{2}mv^2$，解得$v=\sqrt{\frac{2eU}{m}}$

若将两极板间距 d 增大一倍，两板间电压不变，则电子到达 Q 板的速率保持不变，故 B 错误，A 正确；

CD．若将两极板间电势差 U 增大一倍，由公式$E=\frac{U}{d}$可得，极板间电压增大一倍，

由牛顿第二定律有$\frac{U}{d}e=ma$可知，电子运动的加速度增大一倍，由运动学公式$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，有$d=\frac{1}{2}at^2$，解得$t=\sqrt{\frac{2d}{a}}$可知，电子到达 Q 板的时间变为原来的$\frac{\sqrt{2}}{2}$倍，故 CD 错误。故选 A。

【例 3】C

【详解】A．释放出一个无初速度电荷量为 e 的电子，在电压为 U 电场中被加速运动，当出电场时，所获得的动能等于电场力做的功，即 eU，故 A 正确，不符合题意；

B．由图可知，BC 间没有电压，则没有电场，所以电子在此处做匀速直线运动，则电子的动能不变。故 B 正确；

C．电子以 eU 的动能进入 CD 电场中，在电场力的阻碍下，电子作减速运动，由于 CD 间的电压为 2U，所以电子的速度减为零后，还没有到达 D 板，就开始反向运动。故 C 错误，符合题意；

D．由上可知，电子将会在 A 板和 D 板之间加速、匀速再减速，回头加速、匀速再减速，这样往复运动，故 D 正确，不符合题意；故选 C。

【跟踪训练】：C　　D　　BC

1．C

【详解】A．根据电容器的决定式$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$可知增大M、N两极板间的距离时，电容值C变小，由题可知电容器两极板间的电压始终为U，根据$C=\frac{Q}{U}$可知电容值C减小，电压U不变，所以电容器的电荷量减小，A错误；

B．根据$E=\frac{U}{d}$可知，当两极板间的距离增大时，两极板间的电场强度减小，由牛顿第二定律$a=\frac{qE}{m}$，可知粒子运动的加速度减小，B错误；

C．粒子在两极板间做匀加速直线运动，由运动学公式$x=\frac{1}{2}at^2$可知粒子从M板附近静止释放到N极板，位移变大，加速度减小，故所用时间变长，C正确；

D．粒子从M板运动到N板，电场力做功为$W=qU$两极板电势差不变，可知电场力做功不变，粒子运动到N板时的电势能一样，D错误。故选C。

2．D

【详解】由O点静止释放的电子恰好能运动到P点，表明电子在薄板A、B之间做加速运动，电场力做正功，电场方向向左，在薄板B、C之间做减速运动，电场力做负功，电场方向向右，到达P点时速度恰好为0，之后，电子向左加速至M点，再向左减速至O点速度为0，之后重复先前的运动，

根据动能定理有$-eU_{OM}-eU_{MP}=0$，解得$U_{MP}=-U_{OM}=U_{MO}$

根据$C=\frac{Q}{U}=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，当C板向左平移到$P'$点，B、C间距减小，B、C之间电压减小，则有$U_{MP}=U_{MO}>U_{MP}$

结合上述有$-eU_{OM}-eU_{MP}>0$可知，电子减速运动到P'的速度不等于0，即电子穿过P'点后继续向右运动。

3．BC

【详解】A．粒子到达原点速度最大为v，由动能定理有$E_1qx=\frac{1}{2}mv^2$，解得$v=4\text{m/s}$，故A错误；

B．粒子运动到原点右侧最远点时电势最低点为φ，由$\frac{1}{2}mv^2=\varphi q$，解得$\varphi=-1.6\text{V}$，故B正确；

C．粒子在电场E_1中单程运动的时间为$t_1=\frac{x}{\frac{v}{2}}=0.2\text{s}$，粒子在电场$E_2$中受电场力$F_2=E_2q=-4\times10^{-5}x=-kx$

则$k=4\times10^{-5}\text{N/m}$，粒子在电场$E_2$中做简谐振动，根据简谐振动周期公式$T_2=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=\frac{\sqrt{5}\pi}{5}\text{s}$

粒子运动周期为$T=2t_1+\frac{T_2}{2}=\frac{4+\sqrt{5}\pi}{10}\text{s}$，故C正确；

D．从O点向右最远运动距离x，由动能定理有$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}qE_2\cdot x$，解得$x=\frac{2\sqrt{5}}{5}\text{m}$，D错误。故选BC。

题型二：偏转运动——类平抛

【精选例题1】：

【例1】(1)$-qU$；(2)$\frac{2\sqrt{3}U}{3d}$

【详解】（1）根据题意有$U_{PQ}=U=\varphi_P-\varphi_Q$，其中$\varphi_P=0$，所以$\varphi_Q=-U$

则带电粒子在 Q 点的电势能为 $E_{pQ}=q\varphi_Q=-qU$

（2）根据类平抛运动知识可知 Q 点速度的反向延长线过水平位移的中点，则 $\tan 30°=\dfrac{\frac{d}{2}}{y_{PQ}}$

可得 P、Q 两点间的竖直距离为 $y_{PQ}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}d$

此匀强电场的电场强度大小为 $E=\dfrac{U}{y_{PQ}}=\dfrac{2\sqrt{3}U}{3d}$

【例 2】 (1) $t=\dfrac{2mv_0}{qE}$；(2) $v_Q=\sqrt{5}v_0$；(3) $d=\dfrac{2\sqrt{2}mv_0^2}{qE}$

【详解】（1）粒子从 P 点垂直电场方向出发到达 MN 连线上某点时，粒子在电场中做类平抛运动，

水平方向 $x=v_0t$；竖直方向 $y=\dfrac{1}{2}at^2$，其中，根据牛顿第二定律 $qE=ma$，由题意可知 $\dfrac{y}{x}=\tan 45°$，解得 $t=\dfrac{2mv_0}{qE}$

（2）粒子到达 Q 点时，竖直分速度为 $v_y=at=2v_0$，故粒子的速度大小为 $v_Q=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{5}v_0$

（3）PQ 两点的距离为 $d=\dfrac{x}{\cos 45°}=\sqrt{2}v_0t=\dfrac{2\sqrt{2}mv_0^2}{qE}$

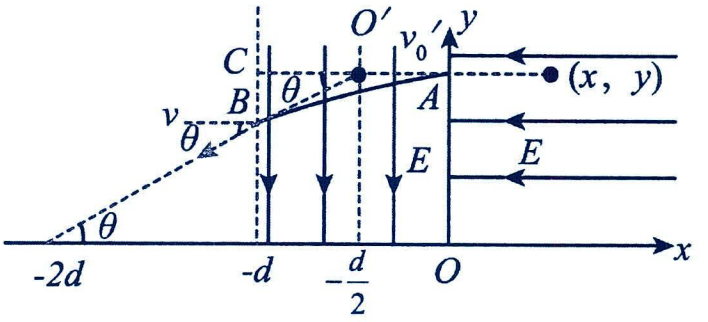
【例 3】 (1) $x=\dfrac{d}{4}$；(2) $xy=\dfrac{3}{4}d^2$

【详解】（1）粒子在两个电场中运动的加速度大小相等，设为 a，设粒子通过 y 轴时的速度大小为 v_0，则 $v_0^2=2ax$

粒子在第二象限运动过程，有 $d=v_0t$，$d=\dfrac{1}{2}at^2$，

以上三式联立，求得 $x=\dfrac{d}{4}$

（2）粒子的运动轨迹如图所示



粒子在第一象限运动过程，有 $v_0'^2=2ax$

粒子在第二象限电场中运动过程，有 $d=v_0't$，$y_1=\dfrac{1}{2}at^2$

粒子离开第二象限电场时速度的反向延长线必过 AC 的中点 O'，所以 $\dfrac{\frac{y_1}{d}}{\frac{2}{}}=\tan\theta$，$\tan\theta=\dfrac{y}{-\frac{d}{2}-(-2d)}=\dfrac{2y}{3d}$

以上五式联立，求得 $xy=\dfrac{3}{4}d^2$

【跟踪训练 1】：

1．(1) $\dfrac{1}{2}$；(2) $\dfrac{E}{8}$

【详解】（1）左侧电场中速度从 0 匀加速至 v，则有 $d=\dfrac{v}{2}t_1$，右侧电场中做类平抛运动，水平方向有 $4d=vt_2$

解得 $\dfrac{t_1}{t_2}=\dfrac{1}{2}$

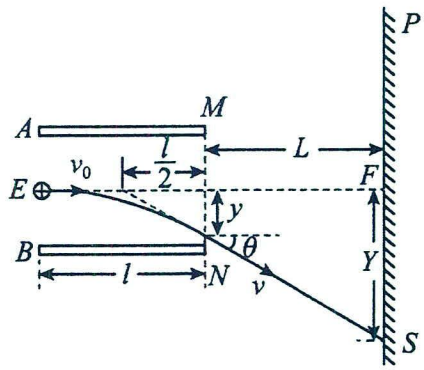
（2）在左侧电场中匀加速过程，根据位移公式有 $d=\frac{1}{2}a_1t_1^2$，右侧电场中做类平抛运动，沿电场方向有 $\frac{1}{2}d=\frac{1}{2}a_2t_2^2$

左侧电场中 $a_1=\frac{qE}{m}$，右侧电场中 $a_2=\frac{qE'}{m}$，解得 $E'=\frac{E}{8}$

2．（1）450V；（2）$\sqrt{10}\times10^6$m/s，速度方向与水平方向夹角为 $\tan\theta=\frac{1}{3}$；（3）0.06m

【详解】（1）在加速电场中，由动能定理有 $qU=\frac{1}{2}mv_0^2-0$，解得 $U=450$V

（2）粒子的运动轨迹如图所示，在偏转电场中，粒子做类平抛运动



平行于极板方向有 $l=v_0t$，解得 $t=2\times10^{-8}$s

垂直于极板方向，由牛顿第二定律有 $a=\frac{qE}{m}=\frac{qU_{AB}}{md}=5\times10^{13}$m/s^2

设粒子从偏转电场中飞出时沿电场方向的速度大小为 v_y，则 $v_y=at=1\times10^6$m/s

所以粒子经过界面 MN 时的速度大小为 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{10}\times10^6$m/s

设粒子经过界面 MN 时的速度方向与水平方向夹角为 θ，则 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{1}{3}$

（3）带电粒子在离开电场后做匀速直线运动，垂直于极板方向有 $y=\frac{1}{2}at^2=0.01$m

由相似三角形知识得 $\frac{y}{Y}=\frac{\frac{l}{2}}{\frac{l}{2}+L}$，解得 $Y=0.06$m

【精选例题 2】：BC　　B　　AD　　ABC

【例 1】BC

【详解】A．由于墨汁微滴带负电，由左手定则可知受力方向向正极板；故微滴在极板间电场中向正极板偏转，故 A 错误；

B．由于电场对带负电墨汁微滴做正功，故微滴在极板间电场中电势能减少，故 B 正确；

C．由于墨汁微滴在电场中做类平抛运动，水平方向速度保持不变，故墨汁微滴在板间的运动时间由水平方向的运动决定，与电场强度无关；故 C 正确；

D．由侧向位移 $y=\frac{1}{2}at^2=\frac{qEl^2}{2mv^2}$

若增大两极板间的电场，墨汁微滴的侧向位移变大；墨汁微滴偏转角的正切值 $\tan\theta=\frac{v_y}{v}=\frac{qEl}{mv}$

若增大两极板间的电场，墨汁微滴偏转角增大，射出电场后做匀速直线运动，所以若增大两极板间的电场，微粒不会到达纸上同一位置，故 D 错误。故选 BC。

【例 2】B

【详解】A．依题意，带电粒子的比荷、匀强电场的场强均相同，根据牛顿第二定律 $ma=qE$，解得 $a=\frac{qE}{m}$

可知它们运动的加速度相同。故 A 错误；

C．带电粒子在竖直方向都做初速度为零的匀加速直线运动，由 $y=\frac{1}{2}at^2$，解得 $t=\sqrt{\frac{2y}{a}}$

由图可知 $y_a<y_b=y_c$，则得 $t_a<t_b=t_c$，故 C 错误；

B．速度变化量 $\Delta v=a\Delta t$，联立，解得 $\Delta v_b=\Delta v_c>\Delta v_a$，故 B 正确；

D．电场力做功为 $W=qEy$，由于电荷量关系不能确定，所以不能确定电场力做功的大小，也就不能确定电势能减少量的大小。故 D 错误。故选 B。

【例 3】AD

【详解】A．由于粒子在水平方向做匀速直线运动，故有 $t_1=\frac{\frac{1}{2}L}{v_0}$，$t_2=\frac{L}{v_0}$，所以 $t_1:t_2=1:2$，A 正确；

B．粒子在竖直方向上做匀加速直线运动，故有 $y=\frac{1}{2}a_1t_1^2$，$\frac{1}{2}y=\frac{1}{2}a_2t_2^2$，解得 $a_1:a_2=8:1$，B 错误；

C．由于粒子在电场中只受到电场力的作用，根据牛顿第二定律可知 $q_1E=ma_1$，$q_2E=ma_2$

解得 $q_1:q_2=a_1:a_2=8:1$，C 错误；

D．根据动能定理可得 $\Delta E_{k1}=q_1E\bullet y$，$\Delta E_{k2}=q_2E\bullet\frac{y}{2}$，解得 $\Delta E_{k1}:\Delta E_{k2}=2q_1:q_2=16:1$，D 正确。故选 AD。

【例 4】ABC

【详解】A．设粒子运动到 P 点射入电场的速度大小为 v_0，由动能定理得 $qU=\frac{1}{2}mv_0^2$

可得粒子运动到 P 点射入电场的速度大小 $v_0=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$，故 A 正确；

B．粒子在第一象限的匀强电场中做类平抛运动，则水平方向有 $d=v_0t_1$，竖直方向有 $\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at_1^2$

根据牛顿第二定律有 $Eq=ma$，得电场强度的大小 $E=\frac{mv_0^2}{qd}=\frac{2U}{d}$，故 B 正确；

C．若仅将带电粒子电荷量变为-2q，粒子从 x 轴离开电场的过程中，与 AB 选项同理可知，粒子运动到 P 点射入电场的速度大小为 $v_0'=\sqrt{\frac{4qU}{m}}$，之后再电场中做类平抛运动 $x=v_0't$，$\frac{d}{2}=\frac{1}{2}a't^2$，$a'=\frac{4qU}{md}$

得出电场时的水平位移，即横坐标为 $x=d$，粒子仍从 A 点射出，故 C 正确；

D．若仅将带电粒子电荷量变为-2q，粒子从 x 轴离开时 y 轴方向的分速度 $v_y'=a't=\sqrt{\frac{4qU}{m}}$

粒子从 x 轴离开电场的速度 $v=\sqrt{v_0'^2+v_y'^2}=2\sqrt{\frac{2qU}{m}}$，故 D 错误。故选 ABC。

【跟踪训练 2】：AD　　BD　　AD　　BD

1．AD

【详解】设电子被加速后获得初速为 v_0，则由动能定理得：$qU_1=\frac{1}{2}mv_0^2$

又设极板长为 L，则电子在电场中偏转所用时间 $t=\frac{L}{v_0}$

又设电子在平行板间受电场力作用产生加速度为 a，由牛顿第二定律得 $a=\frac{F}{m}=\frac{qU_2}{md}$

电子射出偏转电场时，平行于电场方向的速度$v_y=at$，可得$v_y=\frac{qU_2L}{dmv_0}$

偏转角正切$\tan\varphi=\frac{v_y}{v_0}=\frac{qU_2L}{dmv_0^2}=\frac{qU_2L}{2dqU_1}=\frac{U_2L}{2dU_1}$，故$U_2$变大或$U_1$变小都可能使偏转角θ变大；故选 AD。

2．BD

【详解】AB．带电粒子在加速电场中加速，根据动能定理可得$qU_1=\frac{1}{2}mv_0^2$

可得带电粒子进入偏转电场时的速度大小为$v_0=\sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$

带电粒子进入偏转电场做类平抛运动，则有$L=v_0t$，$y=\frac{1}{2}at^2$，$a=\frac{qU_2}{md}$

联立解得带电粒子进入偏转电场后的偏转距离为$y=\frac{U_2L^2}{4dU_1}$，可知两粒子的偏移距离 y 相等，故 A 错误，B 正确；

CD．设粒子离开板时，垂直板方向的速度为 vy，则有$v_y=at=\frac{qU_2L}{mdv_0}$

粒子速度偏转的角度满足$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{qU_2L}{mdv_0^2}=\frac{U_2L}{2dU_1}$

可知两粒子速度偏转的角度θ相等，故 C 错误，D 正确。故选 BD。

3．AD

【详解】B．设加速电场 AB 间距离为 d，偏转极板长度为 l，偏转极板间的距离为 h，屏到偏转电场右边缘距离为 s，粒子在加速过程中，根据$U_1q=\frac{1}{2}mv_0^2$，可得$v_0=\sqrt{\frac{2U_1q}{m}}$，在加速电场中运动的时间$t_1=\frac{d}{\frac{v_0}{2}}$

进入偏转电场，以及离开偏转电场后到打到屏上，水平方向速度保持不变，因此打到屏的时间$t_2=\frac{l+s}{v_0}$

从开始到荧光屏所经历时间$t=\frac{d}{\frac{v_0}{2}}+\frac{l+s}{v_0}$，可知运动时间与$v_0$成反比，由于$m_1:m_2:m_3=1:2:4$，$q_1:q_2:q_3=1:1:2$

设质子、氘核和α粒子三种粒子离开加速度电场的速度分别为v_1,v_2,v_3。

因此$t_1:t_2:t_3=\frac{1}{v_1}:\frac{1}{v_2}:\frac{1}{v_3}=\sqrt{\frac{m_1}{q_1}}:\sqrt{\frac{m_2}{q_2}}:\sqrt{\frac{m_3}{q_3}}=1:\sqrt{2}:\sqrt{2}$，故 B 错误；

A．粒子进入偏转电场之后，做类平抛运动$L=v_0t$，$y=\frac{1}{2}at^2$，其中$\frac{U_2}{h}q=ma$，可得$y=\frac{U_2L^2}{4U_1h}$

可知所有粒子在偏转电场中，偏转距离相等，即三种粒子打到荧光屏上的位置相同，故 A 正确；

CD．根据动能定理$U_1q+\frac{U_2q}{h}y=E_k$，可知打在荧光屏时的动能仅仅与粒子的带电量成正比，

因此$E_{k1}:E_{k2}:E_{k3}=q_1:q_2:q_3=1:1:2$，故 D 正确，C 错误。故选 AD。

4．BD

【详解】A．三个粒子在电场中均做类平抛运动，则水平方向的分运动均为匀速直线运动，

则由公式$x=v_0t$可知$t=\frac{x}{v_0}$，由题意可知粒子 1、2、3 的水平位移之比为$x_1:x_2:x_3=2:2:1$

则三个粒子在电场中的运动时间之比为$t_1:t_2:t_3=2:2:1$，故 A 错误；

B．三个粒子在竖直方向均做初速度为零的匀加速直线运动，则有$y=\frac{1}{2}at^2$，$qE=ma$，整理得$q=\frac{2ym}{Et^2}$

粒子 1、2、3 的竖直位移之比为$y_1:y_2:y_3=1:2:2$，则粒子 1、2、3 的电荷量之比为$q_1:q_2:q_3=1:2:8$，B 正确；

C．在竖直方向上有$v_y=at$，$qE=ma$，整理得$v_y=\frac{qEt}{m}$

则粒子 1、2、3 经过 f、c、g 瞬间的竖直速度之比为$v_{y1}:v_{y2}:v_{y3}=1:2:4$，故 C 错误；

D．电场力做的功为$W=qEy$，则电场力对粒子 1、2、3 做功之比为$W_1:W_2:W_3=1:4:16$，故 D 正确。故选 BD。

题型三：示波器

【精选例题】：B　　C　　B　　D

【例 1】B

【详解】由题意知，偏转电极 XX'间电势差$U_{XX'}=-U_0$，电子会向 X′方向偏转，偏转电极 YY'间电势差$U_{YY'}=U_0$，电子会向 Y 方向偏转，故荧光屏上出现亮斑的区域是 II。故选 B。

【例 2】C

【详解】因为在电极 XX′之间所加的电压保持不变，可知在 XX′方向上的偏转位移保持不变，在 YY′方向上电压按正弦规律变化，即 YY′方向上偏转位移在正负最大值之间变化。故选 C。

【例 3】B

【详解】A．若$U_{YY'}>0$，则电子受到的电场力竖直向上，所以电子打在荧光屏中心位置上方，故 A 错误；

B．电子在水平方向做匀速直线运动，在竖直方向做匀加速直线运动，所以若仅增大偏转电压$U_{YY'}$，所以电子从进入偏转电场到打在荧光屏上的时间 t 不变，故 B 正确；

C．电子在水平方向做匀速直线运动，在竖直方向做匀加速直线运动，偏转位移$y=\frac{1}{2}at_1^2=\frac{qU}{2md}t_1^2$，时间不变，若仅减小 YY'极板间距离 d，偏转位移 y 变大，故 C 错误；

D．若$U_{YY'}>0$，则电子受到的电场力竖直向上，所以电子打在荧光屏中心位置上方，若$U_{XX'}<0$，则电子受到的电场力水平向左，所以电子打在荧光屏中心位置左方，所以电子不会打在荧光屏正中心处，故 D 错误。故选 B。

【例 4】D

【详解】AC．如果在 XX' 之间不加电压，则在 X 轴方向不偏转，在 YY'（Y 正 Y' 负）加图 a 恒定电压，电压值为正，Y 极板电势高于 Y' 极板电势，板间的匀强电场由 Y 极板指向 Y' 极板，所有电子运动的轨迹都相同，向着 Y 极板一侧偏转，即所有电子都打在荧光屏的正 Y 轴上的同一点，因此在正 Y 轴上将出现一个亮斑，因此可知，如果在 XX'（X 正 X' 负）之间加图 a 的电压，则会在正 X 轴上将出现一个亮斑；若只在 YY'（Y 正 Y' 负）之间加图 c 的正弦变化规律的电压，电子将在 Y 轴发生偏转，电压越大，侧移量越大，在一个周期内的$0\sim\frac{T}{4}$时间内，

电子由原点向 Y 轴正方向扫描到正向侧移量最大的位置，紧接着$\frac{T}{4}\sim\frac{3T}{4}$时间内，电子由正向侧移量最大的位置向 Y 轴负方向扫描，经过原点继续扫描到负向侧移量最大的位置，$\frac{3T}{4}\sim T$时间内，电子由负向侧移量最大的位置向 Y 轴正方向扫描回到原点，之后周而复始，在荧光屏的 Y 轴上会看到一条竖直亮线，现在同时在XX'之间和在YY'（Y 正Y'负）之间分别加上图 a、图 c 所示电压，由运动的合成，会在荧光屏上看到过正 X 轴上某点平行于 Y 轴的一条竖直亮线，故 AC 正确，不符合题意；

B．如果在XX'（X 正X'负）之间加图 b 的电压，电子在一个周期内会在 X 轴方向上，由负 X 轴上某点向正 X 轴方向扫面到关于原点对称的某点，在荧光屏上会看到 X 轴上的一条水平亮线，若只在YY'（Y 正Y'负）之间加上图 c 所示电压，根据以上分析可知，Y 轴方向上发生周而复始与电压变化一致的偏转，根据运动的合成可知，若在XX'之间加图 b 的电压，在YY'之间加图 c 的电压，在荧光屏上看到的亮线是正弦曲线，故 B 正确，不符合题意；

D．根据以上分析可知，如果在XX'之间和YY'之间都加图 b 的电压，由运动的合成可知，在荧光屏上将出现一条夹在 X 轴与 Y 轴之间倾斜的亮线，故 D 错误，符合题意。故选 D。

【跟踪训练】：A　　C　　D　　D

1．A

【详解】A．若$U_{YY'}>0$，$U_{XX'}=0$，电子带负电，向电势高的地方偏移，则电子向 Y 极板偏移，故 A 错误，符合题意；

B．若$U_{YY'}=0$，$U_{XX'}>0$，电子带负电，向电势高的地方偏移，则电子向 X 极板偏移，故 B 正确，不符合题意；

CD．如果$T_2=T_1$，荧光屏上显示的是待测信号在一个周期内完整的稳定图像，如果$T_2=2T_1$，荧光屏上显示的是待测信号在两个周期内完整的稳定图像，故 CD 正确，不符合题意。故选 A。

2．C

【详解】A．电子在加速电场，电场力做功为 10eU，根据动能定理可知射出电子枪时动能为 10eU，A 错误；

B．根据牛顿第二定律可知，在YY'极板间的加速度大小为$a=\frac{eU}{dm}$，B 错误；

C．在加速电场，根据动能定理有$\frac{14}{2}mv^2=e\cdot 10U$，在$YY'$极板间运动的时间为$t=\frac{l}{v}$

沿电场方向的位移为$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{eU}{md}\cdot t^2$，联合解得位移与水平方向的夹角$\theta$的正切值为$\tan\theta=\frac{y}{l}=\frac{l}{40d}$

设此时速度与水平方向夹角为α，根据平抛运动规律可得$\tan\alpha=2\tan\theta=\frac{l}{20d}$，C 正确；

D．若$U_{YY'}<0$，则电子受到的电场力竖直向下，故电子将打在荧光屏的下半区域，D 错误。故选 C。

3．D

【详解】电子在偏转场中运动时，只受电场力作用，那么在初速度方向做匀速运动，即电子运动时间始终不变。

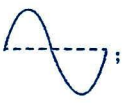
根据牛顿第二定律$eU=ma$，得$a=\frac{eU}{m}$，可知电子在偏转场中加速度 a 与电压成正比，

根据$x=\frac{1}{2}at^2$可知，电子偏转的位移与电压成正比。故由$U_Y=a\sin\frac{\pi t}{t_0}$，$a>0$，$U_X=b(t-t_0)$，$b>0$

可得$Y=a'\sin\frac{\pi t}{t_0}$，$a'>0$，$X=b'(t-t_0)$，$b'>0$

所以$Y=a'\sin\frac{\pi t}{t_0}=a'\sin\frac{\pi}{t_0}\left(\frac{X}{b'}+t_0\right)=-a'\sin\left(\frac{\pi}{b't_0}X\right)=-a'\sin c'X$，$a'>0$，$c'>0$故选 D。

4．D

【详解】在 0～t 时间内，扫描电压扫描第一次，信号电压完成 0～t 的变化，荧光屏图形为；在 t～2t 时间内，扫描电压扫描第二次，信号电压完成 t～2t 的变化，荧光屏图形为；在 2t～3t 时间内，扫描电压扫描第三次，信号电压完成 2t～3t 的变化，荧光屏图形为；以后重复上述波形，则示波管屏幕上呈现的图形应该是 D 选项形状。故选 D。

题型四：轨迹方程与边界方程

【精选例题】：A

【例 1】A

【详解】由带电小球运动的轨迹方程为$x=\frac{5}{4}y^2$，由题意可知，小球在 y 轴方向做匀速直线，在 x 轴方向匀加速直线运动，在 y 轴方向上$y=v_0t$；在 x 轴方向上$x=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}a\frac{y^2}{v_0^2}=\frac{a}{2v_0^2}y^2$，对比可得$\frac{a}{2v_0^2}=\frac{5}{4}$

可知带电小球做加速度$a=10\text{m/s}^2$

小球做类平抛运动，对小球受力分析可得，小球受到的电场力竖直向上分力与重力平衡，水平向右的分力为合外力，则$F_{电}=qE=\sqrt{(ma)^2+(mg)^2}$，解得$E=\frac{\sqrt{2}mg}{q}$，方向与 x 轴正向夹角为$\theta$，则$\tan\theta=\frac{mg}{ma}=1$，解得$\theta=45°$，故选 A。

【例 2】（1）$\sqrt{\frac{qEL^2}{2bm}}$；（2）$y=\frac{L^2}{4x}(x>0)$；（3）eEL

【详解】（1）（2）电子在加速电场中，根据动能定理得$qEx=\frac{1}{2}mv^2$

进入电场II后，电子做类平抛运动，则$y=\frac{1}{2}at^2$，$ma=qE$，$L=vt$，综上可得$y=\frac{L^2}{4x}(x>0)$

当电子从$M(0,\ b)$点进入第二象限时$b=\frac{L^2}{4x}$，即$x=\frac{L^2}{4b}$，所以电子经过M点时的速度为$v=\sqrt{\frac{qEL^2}{2bm}}$

（3）在电场 I 中$E_{k1}=Eex$，在电场II中$W_2=eEy$，电子从静止到 P 点射出过程根据动能定理得$eE(x+y)=E_k$

根据数学关系可知当$x=y$时电子离开P点时的动能最小，即$E_{k\min}=eEL$

【例 3】（1）30°，$\frac{3mv_0^2}{2q}$；（2）$\frac{3\sqrt{3}v_0T}{4}$，$y=\frac{v_0T}{4}-\frac{\sqrt{3}}{9}x$；

【详解】（1）粒子 M 点垂直于电场方向入射，粒子在电场中做类平抛运动，沿电场方向做匀加速直线运动，垂直于电场方向做匀速直线运动，在 N 点将速度沿电场方向与垂直于电场方向分解，

在垂直于电场方向上有$2v_0\cos 2\alpha=v_0$，解得$\alpha=30^\circ$

粒子从$M\to N$过程，根据动能定理有$qU_{MN}=\frac{1}{2}m(2v_0)^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$U_{MN}=\frac{3mv_0^2}{2q}$

（2）对于从 M 点射入的粒子，沿初速度方向的位移为$x_0=v_0T$，沿电场方向的位移为$y_0=\frac{2v_0\sin 2\alpha}{2}T$

令 N 点横坐标为x_N，根据几何关系有$x_N=x_0\cos\alpha+y_0\sin\alpha$，解得$x_N=\frac{3\sqrt{3}v_0T}{4}$

根据上述与题意可知，令粒子入射速度为 v，则通过 N 点进入磁场的速度为 2v，令边界上点的坐标为（x，y）

则在沿初速度方向上有$(x_N-x-y\tan\alpha)\cos\alpha=vt$，在沿电场方向有$\frac{y}{\cos\alpha}+(x_N-x-y\tan\alpha)\sin\alpha=\frac{2v\sin 2\alpha}{2}t$

解得$y=\frac{v_0T}{4}-\frac{\sqrt{3}}{9}x$

【例 4】（1）$800\sqrt{5}\text{m/s}$；（2）$800\sqrt{2}\text{m/s}$，方向斜向右下，与水平方向成 45°角；（3）$y=\frac{1}{2}x(4-x)$（$0\le x\le 4\text{m}$）

【详解】（1）由动能定理$qE_2\Delta x+qE_1\Delta y=\frac{1}{2}mv^2$，得到达 A 点的速度大小为$v=800\sqrt{5}\text{m/s}$

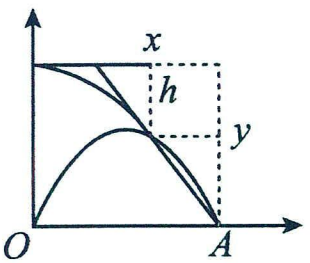
（2）粒子进入第一象限时的速度可由动能定理$qE_2\Delta x=\frac{1}{2}mv_0^2$，得$v_0=800\text{m/s}$

粒子在第二象限的电场部分做类平抛运动，由水平方向分运动可求运动时间$t=\frac{2\text{m}}{800\text{m/s}}=\frac{1}{400}\text{s}$

竖直方向加速度$a_y=\frac{E_1q}{m}=3.2\times10^5\text{m/s}^2$，因此竖直方向分速度$v_y=a_yt=800\text{m/s}$

合速度$v'=800\sqrt{2}\text{m/s}$，方向斜向右下，与水平方向成 45°角。

（3）设粒子从 MN 线上某点由静止释放，经第一象限电场边界交点$Q(x,y)$，后做匀速直线运动到 A 点，在电场区域内做类平抛运动，如图



水平方向$x=v_0t$，竖直方向$h=\frac{qE_1}{2m}t^2$，由几何关系知$\frac{\frac{x}{2}}{l_{OA}-x}=\frac{h}{y}$

推出边界方程$y=\frac{1}{2}(4x-x^2)=\frac{1}{2}x(4-x)$（$0\le x\le 4\text{m}$）

【例 5】(1)24N；(2)3.75m；(3)（1m，−5m）

【详解】(1)小物块由 A 运动到 B 的过程，由动能定理得（mg+qE）R=$\frac{1}{2}mv_B^2$

小物块经过 B 点时，由向心力公式 F_N−（mg+qE）=$\frac{mv_B^2}{R}$，解得 F_N=24N，vB=4m/s

由牛顿第三定律，小物块对轨道压力大小为 24N

(2)小物块由 B 运动到 O 的过程，由动能定理有$-\mu(mg+qE)l=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_B^2$，解得 l=3.75m

(3)小物块从 O 点水平抛出后满足 y=$-\frac{1}{2}gt^2$，x=vt，解得小物块的轨迹方程 y=$-5x^2$

和 $y=x^2-6$ 联立，解得 x=1m，y=−5m，所以 P 点坐标为（1m，−5m）。

【例 6】（1）$\sqrt{3}qER$；（2）$\frac{\sqrt{15}}{3}qER$；（3）$\left(\sqrt{\frac{2}{5}}+2\sqrt{\frac{2}{3}}\right)R$

【详解】（1）只有初速度为零的离子才能沿电场方向做匀加速运动，打在 O′处，有 $\frac{x^2}{3R^2}+\frac{y^2}{2R^2}=1$

当 y=0 时，得 $x=\sqrt{3}R$，所以离子打在 O' 处的动能 $E_{k1}=qE\cdot\sqrt{3}R=\sqrt{3}qER$

（2）离子垂直电场方向发射，做类平抛运动，有 $y=v_0t$，$x=\frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2$，由几何关系有 $\frac{x^2}{3R^2}+\frac{y^2}{2R^2}=1$

根据动能定理有 $E_k-\frac{1}{2}mv_0^2=Eqx$，联立得 $E_k=\frac{qE}{6}\left(\frac{3R^2}{x}+5x\right)$，可见当 $x=\sqrt{\frac{3}{5}}R$

此处飞出的动能最小，最小动能 $E_{k\min}=\frac{\sqrt{15}}{3}qER$

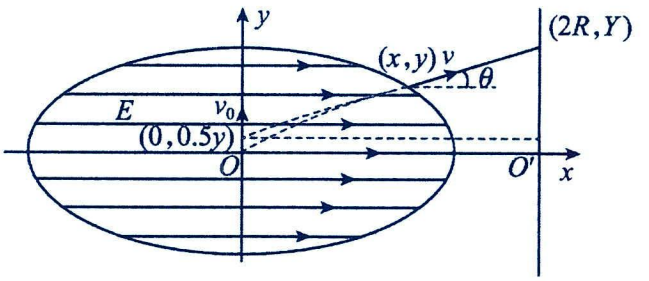
（3）由前面分析知当 $x=\sqrt{\frac{3}{5}}R$ 处飞出的动能最小，由 $\frac{x^2}{3R^2}+\frac{y^2}{2R^2}=1$ 得此时轨迹与椭圆的交点 $y=2\sqrt{\frac{2}{5}}R$

如图所示：

飞出椭圆时的速度方向与 x 轴正向夹角 $\tan\theta=\frac{\frac{y}{2}}{x}=\sqrt{\frac{2}{3}}$

则离子与荧光屏交点 $Y=\frac{y}{2}+2R\tan\theta$

解得 $Y=\sqrt{\frac{2}{5}}R+2R\sqrt{\frac{2}{3}}=\left(\sqrt{\frac{2}{5}}+2\sqrt{\frac{2}{3}}\right)R$



【跟踪训练】：A BD

1．ABD

【详解】A．小球做类平抛运动，则电场力与重力的合力沿 y 轴正方向，可知 $qE\sin45°=mg$

电场强度的大小为 $E=\frac{\sqrt{2}mg}{q}$，选项 A 错误；

B．小球竖直方向做匀速运动 $\frac{1}{k}=v_0t$，小球水平方向上做匀加速 $\frac{1}{k}=\frac{1}{2}at^2$，

水平方向的合力提供加速度 $qE\cos45°=ma$，解得：$v_0=\sqrt{\frac{g}{2k}}$，选项 B 错误；

C．有动能定理可知：$qE\cos45°\frac{1}{k}=E_k-\frac{1}{2}mv_0^2$，所以小球通过点 P 时的动能为 $E_k=\frac{5mg}{4k}$，故选项 C 正确；

D．小球从 O 到 P 过程中电势能减少，且减少的电势能等于电场力做的功，即 $W=qE\frac{\frac{1}{k}}{\cos45°}=\frac{2mg}{k}$，选项 D 错误。此题选择错误的选项，故选 ABD。

2．(1) $E=\frac{5mg}{3q}$，(2) $U_{AB}=\frac{4mgx_0}{3q}$，(3) $x=\frac{2gy^2}{3v^2}$ 或者 $y^2=\frac{x_0x}{2}$ 或者 $y=\sqrt{\frac{x_0}{2}x}$

【详解】（1）小球在此竖直面内沿水平方向加速运动到与 A 点距离为 x_0 的 B 点，小球做匀加速直线运动，合

力方向由 A 指向 B，对小球进行受力分析，竖直方向上有 $qE\sin 37°=mg$，解得 $E=\dfrac{5mg}{3q}$

（2）根据电场强度与电势差的关系有 $U_{AB}=Ex_0\cos 37°$，结合上述解得 $U_{AB}=\dfrac{4mgx_0}{3q}$

（3）对小球受力分析，由牛顿第二定律得 $a=\dfrac{qE\cos 37°}{m}=\dfrac{4}{3}g$

水平方向做匀加速直线运动 $x=\dfrac{1}{2}at^2$，竖直方向做匀速直线运动 $y=vt$，联立得 $x=\dfrac{2gy^2}{3v^2}$，

代入数据得 $x=\dfrac{2y^2}{x_0}$ 或者 $y^2=\dfrac{x_0x}{2}$ 或者 $y=\sqrt{\dfrac{x_0}{2}x}$

3．（1）$E_0=\dfrac{mv_0^2}{qR}$；（2）$t=\left(\dfrac{\pi}{2}+2\right)\dfrac{R}{v_0}$；$v=3v_0$；（3）$y=\dfrac{1}{3}x$

【详解】（1）粒子在电场中做圆周运动，则 $qE_0=m\dfrac{v_0^2}{R}$，解得场强 $E_0=\dfrac{mv_0^2}{qR}$

（2）粒子进入右边两电场中，水平方向匀速运动，则运动的总时间为 $t=\dfrac{\pi R}{2v_0}+\dfrac{2d}{v_0}=\left(\dfrac{\pi}{2}+2\right)\dfrac{R}{v_0}$

打在屏上时沿 x 方向的速度 $v_x=at=\dfrac{qE}{m}\dfrac{d}{v_0}$，沿 y 方向的速度 $v_y=at=\dfrac{qE}{m}\dfrac{d}{v_0}$，合速度 $v=\sqrt{v_0^2+v_x^2+v_y^2}=3v_0$

（3）设粒子速度为 v，区域II内：$d=vt_2$，$x_2=\dfrac{1}{2}\dfrac{qE}{m}t_2^2$，区域III内：$d=vt_3$，x 方向 $\dfrac{\frac{3}{2}d}{\frac{1}{2}d}=\dfrac{x}{x_2}$，y 方向 $y=\dfrac{1}{2}\dfrac{qE}{m}t_3^2$

解得 $x=\dfrac{3qEd^2}{2mv^2}$，$y=\dfrac{qEd^2}{2mv^2}$，故所有带电粒子在接收板的落点位置的轨迹方程为 $y=\dfrac{1}{3}x$

4．(1)$U_2\le$-80V 或 $U_2\ge$80V，(2)-16V$\le U_2\le$16V，(3) $y=-\dfrac{5}{4}x^2+\dfrac{7}{80}$

【详解】（1）在加速电场 U_1 中，根据动能定理 $U_1q=\dfrac{1}{2}mv_0^2$，$v_0=\sqrt{\dfrac{2U_1q}{m}}=\sqrt{10}\times10^3\text{m/s}$

进入偏转 U_2 电场，沿 AD 方向，恰好到达 A 点或 D 点，水平位移 $x_1=\dfrac{L}{2}$

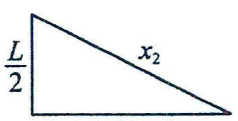
若向上偏 $y=\dfrac{1}{2}at^2$，$a=\dfrac{U_2q}{mL}$，$t=\dfrac{x_1}{v_0}$，解得 $U_2=80\text{V}$

若向下偏两板电压 $U_2=-80\text{V}$，即两板电压 $U_2\le$-80V 或 $U_2\ge$80V

（2）若均能飞出极板，则

则水平位移大于 P 点（B、C、Q 三点）射出的水平位移 $x_2=\dfrac{\sqrt{5}}{2}L$

竖直方向位移 $y=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{U_2q}{Lm}\left(\dfrac{x_2}{v_0}\right)^2$，解得 $U_2=16\text{V}$



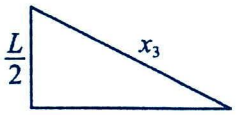
俯视图



轨迹侧视图

两极板电压 U_2 的范围 $-16\text{V}\le U_2\le 16\text{V}$

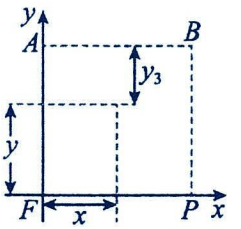
（3）当 U_2 等于 10V 时，在面 FABP 射出的粒子坐标为 (x,y)，如图



俯视图



轨迹侧视图



则水平位移 x_3 $x_3=\sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2+x^2}$，竖直方向位移 $y_3=\frac{1}{2}\times\frac{U_2q}{Lm}\left(\frac{x_3}{v_0}\right)^2$，解得 $y_3=\frac{1}{80}+\frac{5}{4}x^2$

则粒子从面 FABP 飞出的点的轨迹方程 $y=\frac{L}{2}-y_3=-\frac{5}{4}x^2+\frac{7}{80}$

5. （1） $4mg$，方向水平向右；（2） $y^2=6Rx$；（3） $2\sqrt{3}mgR$

【详解】（1）小球从 B 到 O 过程，根据动能定理有 $-mgR+qE\cdot\sqrt{2}R=\frac{1}{2}mv_O^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

由牛顿第二定律有 $F-qE\cos45^\circ=m\frac{v_O^2}{R}$，由牛顿第三定律可知小球对轨道的压力 $F'=F$，

解得 $F'=4mg$，方向水平向右。

（2）小球运动至 O 点时速度竖直向上，受电场力和重力作用，将电场力分解到 x 轴和 y 轴，

则 x 轴方向有 $qE\cos45^\circ=ma_x$，竖直方向有 $qE\sin45^\circ-mg=ma_y$，解得 $a_x=g$，$a_y=0$

说明小球从 O 点开始以后的运动为 x 轴方向做初速度为零的匀加速直线运动，y 轴方向做匀速直线运动，即做类平抛运动，则有 $x=\frac{1}{2}a_xt^2$，$y=v_Ot$，联立解得小球过 O 点后运动的轨迹方程为 $y^2=6Rx$

(3) 设小球平抛类初速度为 v_O'，结合上述斜坡运动的规律可以解得 $v_O'=y'\sqrt{\frac{g}{2x'}}=\sqrt{r^2-x^2}\cdot\sqrt{\frac{g}{2x'}}$

则落到曲面上时动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv_O'^2+mgx'=\frac{1}{4}mg\left(\frac{r^2}{x'}+3x'\right)$

根据数学函数规律，当 $\frac{r^2}{x'}=3x'$ 时，动能取最小值为 $E_{kmin}=\frac{\sqrt{3}}{2}mgr=2\sqrt{3}mgR$

6.(1) $y_m=\frac{2qER^2}{mv^2}$；(2) $\tan\alpha=\frac{qER}{mv^2}$；(3) 图像的形状为椭圆的在 x 轴上方的部分，$\frac{y_0^2}{k^2R^2}+\frac{x_0^2}{R^2}=1$（其中，$k=\frac{2qEd}{mv^2}$，$-R\le x_0\le R$，$0\le y_0\le\frac{2qERd}{mv^2}$）

【详解】（1）每个粒子均能飞出电场，所以从 Q 点飞出的粒子，在电场运动时间最长，竖直方向偏转距离最大，则有 $qE=ma$，$2R=vt$，$y_m=\frac{1}{2}at^2$，可得 $y_m=\frac{2qER^2}{mv^2}$

（2） AB 上距 Q 点 $\frac{\sqrt{3}}{2}R$ 处的粒子，根据几何关系有 $\frac{x}{2}=\sqrt{R^2-\left(\frac{\sqrt{3}}{2}R\right)^2}=\frac{1}{2}R$

解得该粒子在电场中沿水平方向运动的距离为 $x=R$，则有 $qE=ma$，$R=vt_1$，$v_y=at_1$，可得 $v_y=\frac{qER}{mv}$

则粒子刚出电场时的速度偏向角的正切值 $\tan\alpha=\frac{v_y}{v}=\frac{qER}{mv^2}$

（3）由（1）可得 Q 点的粒子落在屏上的位置为 $x=0$，$y_1=y_m+\frac{d-R}{v}v_y=\frac{2qER^2}{mv^2}+\frac{d-R}{v}\frac{qE}{m}\frac{2R}{v}=\frac{2qERd}{mv^2}$

距Q点$\frac{\sqrt{3}}{2}R$处的粒子，落在屏上的位置为$x_2=\pm\frac{\sqrt{3}}{2}R$，$y_2=\frac{1}{2}\cdot\frac{qE}{m}\cdot\frac{R^2}{v^2}+v_y\frac{d-\frac{R}{2}}{v}=\frac{qERd}{mv^2}$

令粒子在AB上的射出点离开Q点的距离为x_0，

由几何关系可得粒子在电场中运动沿水平方向运动的距离为$l=2\sqrt{R^2-x_0^2}$

则粒子的在竖直方向偏转的位移为$y_0=\frac{1}{2}a(\frac{l}{v})^2+a\times\frac{l}{v}\times\frac{d-\frac{l}{2}}{v}=\frac{qEdl}{mv^2}=\frac{2qEd\sqrt{R^2-x_0^2}}{mv^2}$

令$k=\frac{2qEd}{mv^2}$，则方程可化简为$\frac{y_0^2}{k^2R^2}+\frac{x_0^2}{R^2}=1$，其中，$-R\le x_0\le R$，$0\le y_0\le\frac{2qERd}{mv^2}$

即屏上所得图像的形状为椭圆的在x轴上方的部分。

题型五：带电粒子偏转综合

【精选例题】：

【跟踪训练】：

1．(1)$\sqrt{\frac{2qU}{m}}$；(2)$\frac{3}{4}$；(3)$\frac{3}{4}d$

【详解】（1）质子在平行金属板 A、B 间做加速运动，由动能定理有$qU=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$v_0=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$

（2）质子在平行金属板 C、D 间做类平抛运动，平行于金属板方向上有$d=v_0t$

垂直于板面方向$a=\frac{q\frac{3}{2}U}{md}=\frac{3qU}{2md}$，$v_y=at$，$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}$，联立解得$\tan\theta=\frac{3}{4}$

（3）质子垂直于板面方向的位移为$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{3}{8}d$，由几何关系可知$x_{OM}=y+\frac{d}{2}\tan\theta$，所以$x_{OM}=\frac{3}{4}d$

2．（1）1×10^{-17}J；（2）−15cm；（3）100V，30cm

【详解】（1）电子在加速电场加速，由动能定理有$eU_0=\frac{1}{2}mv_0^2$

电子在偏转电场中做类平抛运动$L=v_0t$，$y_1=\frac{1}{2}\frac{eU}{md}t^2$，得$y_1=\frac{UL^2}{4dU_0}=5\text{cm}$

由动能定理$e\frac{U}{d}y_1=E_k-\frac{1}{2}mv_0^2$，电子离开偏转电场时的动能为$E_k=1\times10^{-17}$J

（2）电子离开屏幕后做类平抛运动，由几何关系有$\frac{y_1}{y}=\frac{\frac{L}{2}}{D+\frac{L}{2}}$，得$y=15\text{cm}$，

电子打在屏幕上的位置坐标$y=-15\text{cm}$

（3）由$y_1=\frac{UL^2}{4dU_0}$，当$y_1=\frac{d}{2}$时$U_m=100\text{V}$，打在屏幕上最大侧偏位移$\frac{\frac{d}{2}}{y_m}=\frac{\frac{L}{2}}{D+\frac{L}{2}}$，得$y_m=30\text{cm}$

3．(1)$\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$，(2)$\frac{UL^2}{4U_0d}$，(3)$v=\sqrt{\frac{eU^2L^2}{2mU_0d^2}+\frac{2eU_0}{m}}$，$\tan\theta=\frac{UL}{2U_0d}$

【详解】（1）电子由静止开始穿过加速电场的过程中，根据动能定理$eU_0=\frac{1}{2}mv_0^2$

可解得电子射入偏转电场时的初速度$v_0=\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$

（2）在偏转电场中，粒子在电场中做类平抛运动，粒子在水平方向做匀速直线运动，

则电子的运动时间$t=\frac{L}{v_0}=L\sqrt{\frac{m}{2eU_0}}$

电子在偏转电场中运动时竖直方向加速度$a=\frac{eE}{m}=\frac{eU}{md}$

电子从偏转电场射出时沿垂直板面方向的偏转距离$\Delta y=\frac{1}{2}at^2=\frac{UL^2}{4U_0d}$

（3）分析可知，粒子出电场时有最大速度，故最大速度为 $v=\sqrt{v_y^2+v_0^2}$，

因为此时竖直方向速度为 $v_y=at=\dfrac{eUL}{mdv_0}$，解得 $v=\sqrt{\dfrac{eU^2L^2}{2mU_0d^2}+\dfrac{2eU_0}{m}}$

设粒子出电场时速度方向与水平方向的夹角为 θ，其正切值为 $\tan\theta$，由类平抛规律可知，速度的反向延长线交与水平位移的中点，得 $\tan\theta=\dfrac{\Delta y}{\frac{L}{2}}=\dfrac{UL}{2U_0d}$ 或 $\tan\theta=\dfrac{v_y}{v_0}=\dfrac{eUL}{mdv_0^2}=\dfrac{UL}{2U_0d}$

4. （1）$v_0=\sqrt{\dfrac{2qU_0}{m}}$；（2）$U_1=\dfrac{2}{3}U_0$；（3）$b=\sqrt{3}L$

【详解】（1）根据题意，粒子加速到 O 点的过程，由动能定理有 $qU_0=\dfrac{1}{2}mv_0^2$，解得 $v_0=\sqrt{\dfrac{2qU_0}{m}}$

（2）记 M、N 两板间距离为 $d=\dfrac{\sqrt{3}L}{3}$，则水平方向上有 $L=v_0t$，竖直方向上有 $\dfrac{1}{2}d=\dfrac{1}{2}at^2$

由牛顿第二定律有 $ma=\dfrac{qU_1}{d}$，解得 $U_1=\dfrac{2}{3}U_0$

（3）根据题意可知，粒子刚好从 M 板的右边缘离开偏转电场时，垂直于中心线 OO' 方向的速度 $v_y=at$

偏转角度的正切 $\tan\theta=\dfrac{v_y}{v_0}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，由几何关系有 $b=2(\dfrac{d}{2}+L\tan\theta)$，解得 $b=\sqrt{3}L$

5. （1）$\sqrt{\dfrac{2eU_0}{m}}$；（2）$\tan\theta=\dfrac{UL_1}{2U_0d}$；（3）$\dfrac{UL_1^2}{2dU_0}$，$e(U_0+\dfrac{U^2L_1^2}{4U_0d^2})$

【详解】（1）电子在加速电场中，根据动能定理得 $eU_0=\dfrac{1}{2}mv_0^2$，解得 $v_0=\sqrt{\dfrac{2eU_0}{m}}$

（2）电子在偏转电场中，做类平抛运动，在水平方向上有 $L_1=v_0t$

在竖直方向上有 $y=\dfrac{1}{2}at^2$，$a=\dfrac{eU}{md}$，联立解得 $y=\dfrac{UL_1^2}{4dU_0}$

电子射出时竖直方向速度为 $v_y=at=\dfrac{eUL_1}{mdv_0}$

电子做类平抛运动，速度反向延长线过水平位移中点，速度夹角正切值为位移夹角正切值二倍，离开偏转电场时速度偏转角的正切值为 $\tan\theta=\dfrac{v_y}{v_0}=2\dfrac{y}{x}$，联立解得 $\tan\theta=\dfrac{UL_1}{2U_0d}$

（3）电子打在荧光屏上的 P 点到 O' 点的距离为 $h=v_y\dfrac{\frac{L_1}{2}}{v_0}+y=\dfrac{UL_1^2}{2dU_0}$

根据动能定理可得 $E_k=eU_0+e\dfrac{U}{d}y$

带入数据 $E_k=e\left(U_0+\dfrac{U^2L_1^2}{4U_0d^2}\right)$

6．(1)$\frac{1}{4}E_0eL$，(2)$\frac{E_0}{3}\le E\le\frac{1}{2}E_0$

【详解】（1）水平方向$L=v_0t$，竖直方向$L=\frac{1}{2}at^2$，其中$E_0e=ma$，解得$v_0=\sqrt{\frac{eE_0L}{2m}}$

则正电子的初动能$E_k=\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{4}E_0eL$

（2）恰好到达M时，设电场强度为E_1，在电场中，正电子运动时间$t=\frac{L}{v_0}=\sqrt{\frac{2mL}{eE_0}}$

则正电子在电场中沿着电场方向的位移和速度分别为$y_1=\frac{1}{2}\frac{eE_1}{m}t^2$，$v_{y1}=\frac{eE_1}{m}t$

离开电场后做匀速直线运动，则$0.5L=v_0t_2$，$y_2=v_{y1}t_2$，$L=y_1+y_2$，联立得$E_1=\frac{1}{2}E_0$

同理，打在N点时，设电场强度为E_2，在竖直方向上有$L=\frac{1}{2}\frac{E_2e}{m}\left(\frac{L}{v_0}\right)^2+\frac{E_2e}{m}\frac{L}{v_0}\frac{L}{v_0}$，代入数据得$E_2=\frac{1}{3}E_0$

综上$\frac{E_0}{3}\le E\le\frac{1}{2}E_0$

7．（1）$v=\sqrt{\frac{eE_1L}{m}}$；（2）$\tan\theta=3$；（3）$2\le\frac{E_2}{E_1}\le4$

【详解】（1）从A点到MN的过程中，由动能定理$eE_1\cdot\frac{L}{2}=\frac{1}{2}mv^2$，得得电子到MN的速度大小为$v=\sqrt{\frac{eE_1L}{m}}$

（2）设电子射出电场E_2时沿平行电场线方向的速度为vy，

根据牛顿第二定律得电子在电场中的加速度为$a=\frac{eE_2}{m}=\frac{3eE_1}{m}$，运动时间为$t=\frac{L}{v}$，沿电场方向的速度为$v_y=at$

电子离开电场E_2时速度与水平方向的夹角的正切值为$\tan\theta=\frac{v_y}{v}=3$

（3）电子在电场E_2中做类平抛运动，沿电场方向的位移为$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{eE_2L^2}{mv^2}=\frac{E_2L}{2E_1}$

设电子打在屏上的位置为K，根据平抛运动的推论可知，速度的反向延长线交于水平位移的中点，电子打到屏幕上K点到O的距离为d，根据三角形相似，有$\frac{\frac{L}{2}}{\frac{3L}{2}}=\frac{d}{y}$，可得$d=3y=\frac{3E_2L}{2E_1}$

现要保证K点到O点的距离d满足3L≤d≤6L，则$2\le\frac{E_2}{E_1}\le4$

8．（1）2cm；（2）5cm；（3）75%

【详解】（1）AB上Q点发出的粒子，在电场运动的时间为$t=\frac{2R}{v}=2\times10^{-5}\text{s}$

粒子在电场中运动时竖直方向的加速度为$a=\frac{qU}{dm}=1\times10^8\text{m/s}^2$

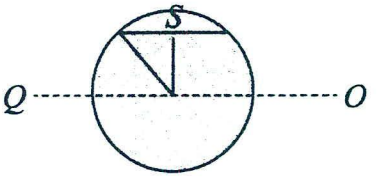
则粒子刚出电场时在竖直方向上偏移量y为$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times1\times10^8\times\left(2\times10^{-5}\right)^2=0.02\text{m}=2\text{cm}$

（2）AB上距Q点$\frac{\sqrt{3}}{2}R$处的粒子，俯视图如下图所示，根据几何关系有$\frac{1}{2}s=\sqrt{R^2-\left(\frac{\sqrt{3}}{2}R\right)^2}=\frac{1}{2}R$

则该粒子在电场中沿水平方向运动的距离满足$s=R=vt_1$，解得该粒子在电场中的运动时间为$t_1=1\times10^{-5}$s

则该粒子离开电场时竖直方向的速度为$v_y=at_1=1\times10^3$m/s

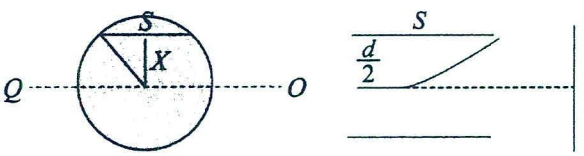
则粒子刚出电场时的速度偏向角的正切值为$\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{1}{4}$



速度反向延长线交与水平位移中点所以，由几何关系得$\tan\theta=\frac{Y}{L}=\frac{1}{4}$

解得粒子打在屏上的位置与x轴的距离为$Y=5$cm

（3）若AB上出射粒子的速率调节为$\sqrt{15}\times10^3$m/s，Q点发出的粒子沿电场方向的位移满足$y=\frac{1}{2}a\left(\frac{2R}{v}\right)^2=\frac{32}{15}>2$cm



故总有部分粒子会打在上极板上，假设AB上距Q点x处的粒子恰好从极板边缘射出电场，根据几何关系作出俯视图及侧视图如下。该粒子在电场中沿水平方向运动的距离满足$S=2\sqrt{R^2-x^2}$，$S=vt$

沿竖直方向运动的距离满足$\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2$，联立解得$x=1$cm

线段AB上粒子均匀分布，则打在荧光屏上的粒子占发射源发射粒子总数的百分比为$\eta=\frac{2(R-X)}{2R}\times100\%=75\%$

9．(1)$E_1=\frac{mg}{2q}$，(2)（1.5L，0），$v_C=2\sqrt{2gL}$

【详解】（1）设A点初速度与x轴正方向间的夹角为θ，由牛顿第二定律$mg-qE_1=ma_1$

水平方向$2L=v_0\cos\theta\cdot t_1$，竖直方向$L=\frac{v_0\sin\theta}{2}t_1$，$v_0\sin\theta=a_1t_1$，解得$\theta=45°$，$a_1=\frac{g}{2}$，$E_1=\frac{mg}{2q}$

（2）小球经过B点时的速度$v_B=v_0\cos\theta=\sqrt{gL}$

设第一象限匀强电场的水平分量为Ex，竖直分量为Ey，C点的水平分速度为vx，竖直分速度为vy，小球从B点运动到C点的时间为t_2，则$qE_x=ma_x$，$E_x=E_2\cos45°$，$mg+qE_y=ma_y$，$E_y=E_2\sin45°$

$v_x=v_B+a_xt_2$，$x_C=\frac{v_B+v_x}{2}t_2$；$v_y=a_yt_2$，$L=\frac{1}{2}a_yt_2^2$；$v_C=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

解得$a_x=g$，$a_y=2g$，$v_x=2\sqrt{gL}$，$v_y=2\sqrt{gL}$，$x_C=1.5L$，$v_C=2\sqrt{2gL}$

则C点的位置坐标为（1.5L，0），速度大小为$2\sqrt{2gL}$。

10．(1)$E_1=\frac{2\sqrt{3}mv_0^2}{qd}$，(2)$E_2=\frac{3mv_0^2}{2qd}$，(3)$v_0'=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$，$\sqrt{\frac{19}{2}}v_0$

【详解】（1）根据几何关系可知，OP长度为$l_{OP}=d\tan60°=\sqrt{3}d$，带电粒子在第一象限中做类平抛运动，

在水平方向$d=v_0t_1$，在竖直方向$l_{OP}=\frac{1}{2}a_1t_1^2$，其中$qE_1=ma_1$，联立解得$E_1=\frac{2\sqrt{3}mv_0^2}{qd}$

（2）带电粒子经过 Q 点时沿 y 轴方向的分速度 $v_y = a_1 t_1 = 2\sqrt{3}v_0$，带电粒子在第四象限内运动时沿 y 轴方向的速度不变，根据粒子经过 S 点时速度方向与 y 轴间的夹角 $\alpha = 30°$，可得 $\frac{v_x}{v_y} = \tan\alpha = \frac{\sqrt{3}}{3}$，解得 $v_x = 2v_0$

根据运动学公式，在 x 轴方向有 $-d = \frac{(-2v_0)^2 - v_0^2}{2a}$，在电场力作用下满足 $ma = -qE_2$，可得 $E_2 = \frac{3mv_0^2}{2qd}$

（3）根据题意可得在水平方向 $\frac{d}{2} = v_0' t'$，在竖直方向 $\frac{\sqrt{3}d}{2} = \frac{1}{2}a_1 t'^2$，可得 $v_0' = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0$

出第一象限时，在竖直方向的速度大小为 $v_y' = a_1 t' = \sqrt{6}v_0$，在第四象限中，水平方向上有 $-2ad = v_x'^2 - v_0'^2$

可得 $v_x' = \sqrt{\frac{7}{2}}v_0$，粒子通过 y 轴时的速度大小 $v = \sqrt{v_x'^2 + v_y'^2} = \sqrt{\frac{19}{2}}v_0$

11．(1)$\frac{2U}{E_0}$，(2)$\frac{3U}{d}$，(3)$\frac{4U}{d}$

【详解】（1）离子在加速电场中加速，根据动能定理有 $qU = \frac{1}{2}mv^2$

解得离子从加速电场射出时的速度为 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$

离子在辐向分布的电场中做匀速圆周运动，电场力提供向心力，根据牛顿第二定律有 $qE_0 = m\frac{v^2}{R}$

联立解得圆弧 GH 的半径为 $R = \frac{2U}{E_0}$

（2）粒子在矩形区域 QNCD 内做类平抛运动，若离子恰好能打在 Q 点上，

根据类平抛运动规律有 $2d = vt$，$3d = \frac{1}{2}at^2$，根据牛顿第二定律有 $qE = ma$

联立解得矩形区域 QNCD 内匀强电场场强为 $E = \frac{3U}{d}$

（3）若仅在矩形区域 PMCD 内存在水平向左的匀强电场，且 $MH = d$，其它条件不变，为使该离子仍能打在 Q 点，粒子在偏转电场中仍做类平抛运动，则有 $d = \frac{1}{2}a't'^2$，$qE_1 = ma'$，$y = vt'$，$v_x = a't'$

粒子离开电场时的速度与电场方向夹角满足 $\tan\theta = \frac{v}{v_x}$

粒子离开电场后到打在 Q 点过程，根据几何关系有 $\tan\theta = \frac{2d - y}{2d}$

联立解得 PMCD 区域内匀强电场场强的大小 $E_1 = \frac{4U}{d}$

12．(1)2×10^{-13} N；(2)6.4×10^{-14} J；(3)0.06 s；(4)$\frac{3\pi}{125}$ m^2

【详解】（1）微粒所受电场力的大小 $F = |q|E = 2\times10^{-13}$N

（2）根据动能定理可得 $|q|Ed = E_{kB} - \frac{1}{2}mv_0^2$，代入数据解得 $E_{kB} = 6.4\times10^{-14}$J

（3）油滴受到的电场力方向竖直向下，所以速度垂直极板时的时间最短，设到达极板时速度为 v_1，有 $v_1^2 - v_0^2 = 2ad$，$a = \frac{|q|E}{m}$，解得 $a = 100\text{m/s}^2$，$v_1 = 8\text{m/s}$，所以有最短时间为 $t_{min} = \frac{v_1 - v_0}{a} = 0.06\text{s}$

（4）油滴落下的图形为一个圆，当油滴初速度垂直电场线方向时，落地水平距离最大，为圆的半径，

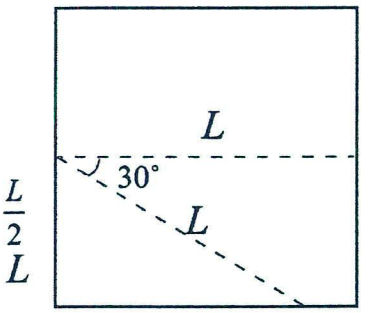
此时有 $d=\frac{1}{2}at_0^2$，$x_0=v_0t_0$，得微粒最后落在 B 板上所形成图形的面积为 $S=\pi x_0^2$，代入数值解得 $S=\frac{3\pi}{125}\text{m}^2$

13．$(1)U_1=\frac{mv^2}{e}$；$(2)U_2=\frac{2mv^2}{e}$；$(3)W=2mv^2$（$0°\le\theta<30°$），$W=\frac{mv^2}{2\sin^2\theta}$（$30°\le\theta\le90°$）

【详解】（1）由题可知 沿 MO_1 或 MA_1 方向的粒子恰好无法到达平面，则有 $\frac{1}{2}U_1e=\frac{1}{2}mv^2$，解得 $U_1=\frac{mv^2}{e}$

（2）水平方向，有 $L=vt_1$，竖直方向，有 $L=\frac{1}{2}at_1^2$，$U_2=EL$，

根据牛顿第二定律有 $Ee=ma$，解得 $U_2=\frac{2mv^2}{e}$

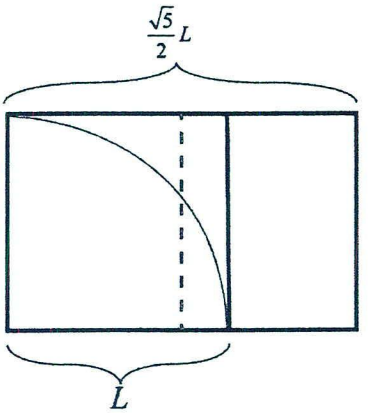


（3）当水平距离 x≥L 时，电子将落入 OABC 平面。设夹角为 θ_0 刚好落在水平距离为 L 的竖直平面底边，易得 $sin\theta_0=\frac{\frac{L}{2}}{L}$，得 $\theta_0=30°$

当 0°≤θ＜30°，电子落入底面，则电场力做功为 $W_1=U_2e$，解得 $W_1=2mv^2$

当 30°≤θ≤90°，电子落入竖直平面。设水平位移为 x，竖直位移为 y

则有 $x=vt_2=\frac{\frac{L}{2}}{\sin\theta}$，$y=\frac{1}{2}at_2^2$



故做功为 $W_2=Eey$

解得 $W_2=\frac{mv^2}{2sin^2\theta}$

14．（1）$\sqrt{\frac{2U_0e}{m}}$；（2）$\frac{2\sqrt{3}U_0}{3L_0}$；（3）$\sqrt{3}H-\frac{L_0}{2}$

【详解】（1）根据动能定理有 $U_0e=\frac{1}{2}mv^2$，电子刚进入偏转场时的速度大小为 $v=\sqrt{\frac{2U_0e}{m}}$

（2）电子在偏转场运动的时间为 $t=\frac{L_0}{v}$，电子射出偏转场 S 时速度方向与水平方向夹角为 30°，可得 $\tan30°=\frac{at}{v}$，

电子在偏转场的加速度为 $a=\frac{Ee}{m}$，匀强电场的电场强度 E 的大小为 $E=\frac{2\sqrt{3}U_0}{3L_0}$

（3）作电子离开偏转电场的速度反向延长线，由电子束离开偏转场时速度偏转角正切值 $\tan\alpha=\frac{v_y}{v}=\frac{at}{v}$

速度偏转角正切值 $\tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}at^2}{vt}=\frac{at}{2v}$，则 $\tan\alpha=2\tan\theta$

所以电子离开偏转场时速度反向延长线与进入偏转场时的速度方向交于偏转电场宽度的中点，

可知 $(L+\frac{L_0}{2})\tan30°=H$，可得 $L=\sqrt{3}H-\frac{L_0}{2}$

考点四：带电体在电场中的运动

题型一：带电体在电场中的直线运动

【精选例题】：C　　B

【例 1】C

【详解】AB．小球沿直线运动，故合力一定沿该直线方向上，电场力只能水平向左或者向右，故小球必定受到重力，重力竖直向下，故电场力方向水平向左，合力沿轨迹直线方向斜向下，所以小球带负电，AB 错误；

C．根据前面分析可知合力大小不变，方向与运动方向相同，故做匀加速直线运动，C 正确；

D．小球在运动中除重力做功外，还有电场力做功，所以机械能不守恒，D 错误。故选 C。

【例 2】B

【详解】根据 $E=\frac{U}{d}$ 可知，场强增大，所以电场力大于重力，粒子向上做匀加速运动。故选 B。

【跟踪训练】：BC　　C

1．BC

【详解】A．从撤去 F 到小球离开弹簧，设除重力以外其他力做功为 W' $W'+W_1=\frac{1}{2}mv^2$

解得 $W'=\frac{1}{2}mv^2-W_1$，小球的机械能增加量 $\Delta E=W'=\frac{1}{2}mv^2-W_1$，故 A 错误；

B．重力势能增加量等于物体克服重力做的功，故小球的重力势能增加－W_1，故 B 正确；

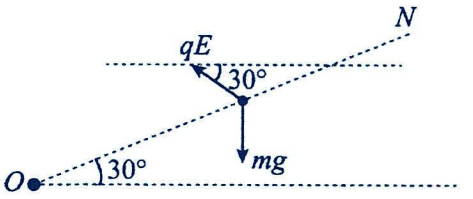
C．小球的电势能减少量等于电场力做的功，故小球的电势能减少 W_2，故 C 正确；

D．从撤去 F 到小球离开弹簧，由电场力做功和弹簧弹力做功，故机械能不守恒，故 D 错误。故选 BC。

2．C

【详解】AB．小球做匀变速直线运动，合力应与速度在同一直线上，即在 ON 直线上，因 $mg=qE$

电场力与重力关于 ON 对称，根据数学知识得，电场强度方向与水平方向的夹角应为 $30°$，受力情况如图所示。



合力沿 ON 方向向下，大小为 mg，加速度为 g，方向沿 ON 向下，小球做匀减速直线运动，故 AB 错误；

C．小球做匀减速直线运动，由运动学公式可得最大位移为 $x_m=\frac{v_0^2}{2g}$，

则最大高度为 $h_m=x_m\sin 30°=\frac{v_0^2}{4g}$，故 C 正确；

D．若小球在初始位置的电势能为零，当小球处于最高点时，则小球电势能的最大，

根据能量守恒有 $\frac{1}{2}mv_0^2=mgh_m+E_p$，解得小球电势能的最大值为 $E_{pm}=\frac{1}{4}mv_0^2$，故 D 错误。故选 C。

题型二：带电体在电场中的曲线运动

【精选例题】：C　　BD　　BC

【例 1】C

【详解】粒子从 A 到 B，根据动能定理有 $qU_{ab}-mgh=\frac{1}{2}m\left(2v_0^2\right)-\frac{1}{2}mv_0^2$，在竖直方向只受重力，有 $v_0^2=2gh$

解得 $U_{ab}=\frac{2mv_0^2}{q}$，故选 C。

【例 2】BD

【详解】A．根据牛顿第二定律可知$a=\frac{qE}{m}$，茶叶的比荷$\frac{q}{m}$小于茶梗的比荷，故在任一位置茶叶茶梗的加速度大于茶叶的加速度，二者水平方向都做加速运动，故相等时间内茶梗的水平位移大于茶叶的水平位移，即茶梗落入右桶，茶叶落入左桶，故 A 错误；

B C．电场线的疏密程度反映了电场强度的大小，M 点的电场强度小于 N 点的电场强度，沿电场线方向电势降低，所以 M 点的电势高于 N 点的电势，故 B 正确，C 错误；

D．茶梗 P 由 O 点开始到落入桶底过程，根据动能定理，有$mgh+qU=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，其中$U=\varphi_O-0=1\times10^4\text{V}$代入数据，解得$v=\sqrt{17}\,\text{m/s}$，故 D 正确。故选 BD。

【例 3】BC

【详解】A．小球从 A 点到 C 点的动能变化为 0，故合外力做功为 0，因为重力做的是正功，故电场力做负功，即小球受到方向斜向下的电场力，该小球又带正电，故电场线的方向斜向下，选项 A 错误；

B．由动能定理可得 $W_G-W_{电}=0$，故 mg×AB×cos30°－Eq×BC×cos30°=0，解得 E=$\frac{mg}{q}$，选项 B 正确；

C．在竖直方向上，小球受重力与电场力在竖直方向的分力，故 F=mg+Eq×sin30°=$\frac{3mg}{2}$

所以小球沿竖直方向的加速度为 a=$\frac{3g}{2}$，故小球下落的高度 h=$\frac{1}{2}at^2=\frac{3gt^2}{4}$，选项 C 正确；

D．电势能的增加量等于电场力做的功，即 W=Eq×BC×cos30°=mg×$\frac{h}{\cos30°}$×cos30°=$\frac{3mg^2t^2}{4}$，D 错误。故选 BC。

【跟踪训练】：BC　　D　　D

1．BC

【详解】ABD．小球在水平方向做初速度为零的匀加速直线运动，在竖直方向上做竖直上抛运动，由竖直上抛的对称性可知，小球被抛出后上升过程所用时间等于下降过程所用的时间；小球上升时间内水平方向的距离与下降时间内水平方向的距离之比为 1∶3；小球上升到最高点用时$t=\frac{v_0}{g}$，小球在最高点沿竖直方向的分速度为 0，在水平方向的速度$v_x=at$，其中$a=\frac{Eq}{m}$，解得$v_x=\frac{qv_0E}{mg}$，故 B 正确，AD 错误；

C．小球在水平方向做匀加速运动，则有$x=\frac{1}{2}a\times(2t)^2$，解得$x=\frac{2qEv_0^2}{mg^2}$，故 C 正确。故选 BC。

2．D

【详解】A．电场线的疏密程度可表示电场强度大小，B 处的电场线较密，所以$E_A<E_B$；根据沿电场线方向电势降低结合等势面与电场方向垂直可知，$\varphi_A>\varphi_B$，故 A 错误；

B．如果$v_2>v_1$，可知运动过程中小球的动能增加，根据动能定理可知，合力做正功，但由于重力对小球做正功，所以电场力不一定做正功，故 B 错误；

CD．小球从 A 运动到 B 点的过程中，根据动能定理可得 $mgh+W_{电}=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$

可得电场力做的功为 $W_{电}=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2-mgh$，根据 $W_{电}=qU_{AB}$

可得 A、B 两点间的电势差为 $U_{AB}=\frac{m\left(v_2^2-v_1^2-2gh\right)}{2q}$，故 C 错误，D 正确。故选 D。

3．D

【详解】A．在 A 点，根据速度分解有 $v_0\tan 30^\circ=gt_1$，在 OA 过程，根据位移分解有 $2L=v_0t_1$，解得 $v_0=\sqrt{2\sqrt{3}gL}$，

B．根据图像可知，小球进入电场后在水平方向做双向匀变速直线运动，水平方向有 $2L=v_0t_{OA}$，$0=v_0-\frac{qE}{m}t_{AB}$

解得 $t_{OA}:t_{AB}=1$，故 AB 错误；

C．小球在竖直方向做自由落体运动，则有 $v_B=g\left(t_{OA}+t_{AB}\right)$，小球过 B 点时的动能为 $E_{kB}=\frac{mv_B^2}{2}$

结合上述解得 $E_{kB}=\frac{2mv_0^2}{3}$，故 C 错误；

D．由于 $E=\frac{\sqrt{3}mg}{q}$，令电场力与重力合力方向与电场力方向夹角为 θ，则有 $\tan\theta=\frac{mg}{qE}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，解得 $\theta=30^\circ$

由于电场力与重力合力方向垂直于速度方向时，小球动能最小，结合上述可知，此时速度方向与水平方向夹角为 $90^\circ-30^\circ=60^\circ$，此时速度最小，则有 $v_{\min}\cos 60^\circ=v_0-\frac{qE}{m}t_2$，$v_{\min}\sin 60^\circ=v_0\tan 30^\circ+gt_2$，解得 $v_{\min}=v_0$

则小球在电场中运动的最小动能 $E_{k\min}=\frac{1}{2}mv_{\min}^2=\frac{mv_0^2}{2}$，故 D 正确。故选 D。

4．（1）$\frac{\sqrt{3}mg}{3q}$；（2）$8mg$，方向向下；（3）坐标为 $(-15L,0)$

【详解】（1）小球释放后在重力和电场力的作用下做匀加速直线运动，小球从 A 点沿切线方向进入，

则 $\frac{mg}{Eq}=\frac{OP}{OA}=\sqrt{3}$，解得 $E=\frac{\sqrt{3}mg}{3q}$

（2）连接 O_1A、AP，可知 $\triangle O_1OA\sim\triangle AOP$，则 $\frac{AO}{OO_1}=\frac{PO}{AO}$，$OO_1=\frac{\sqrt{3}}{3}L$

根据勾股定理可知，圆弧的半径 $r=\frac{2\sqrt{3}}{3}L$

从 P 到 B 点的过程中，根据动能定理得 $\frac{1}{2}mv_B^2-0=mg(\sqrt{3}L+\frac{\sqrt{3}L}{3}+\frac{2\sqrt{3}L}{3})+EqL$

在 B 点，根据牛顿第二定律得 $N-mg=\frac{mv_B^2}{r}$，联立解得 $N=8mg$，方向向上

根据牛顿第三定律可得小球运动到 B 点时对管的压力的大小 $N'=8mg$，方向向下

（3）从 P 到 A 的过程中，根据动能定理得 $\frac{1}{2}mv_A^2=mg\cdot\sqrt{3}L+EqL$，解得 $v_A=\sqrt{\frac{8\sqrt{3}}{3}gL}$

小球从 C 点抛出后做类平抛运动，抛出时的速度 $v_C=v_A=\sqrt{\frac{8\sqrt{3}}{3}gL}$

将小球抛出的运动按受力的方向分解，竖直方向做竖直上抛，水平向左做匀加速直线运动，故在竖直方向的初速度 $v_y=\frac{\sqrt{3}}{2}v_C=\sqrt{2\sqrt{3}gL}$

根据对称性，小球落回 x 轴时，竖直方向的末速度 $v_y'=-v_y=-\sqrt{2\sqrt{3}gL}$，故运动时间 $t=\frac{v_y'-v_y}{-g}=2\sqrt{\frac{2\sqrt{3}L}{g}}$

在水平方向，加速度 $a=\sqrt{3}g$，水平初速度 $v_x=\frac{1}{2}v_C=\sqrt{\frac{2\sqrt{3}}{3}gL}$，水平位移 $x=v_xt+\frac{1}{2}at^2$，解得 $x=16L$

所以小球从 C 点飞出后落在 x 轴上的坐标 $x'=L-16L=-15L$，小球落在 x 轴上的位置坐标为 $(-15L,0)$。

题型三：动力学问题

【精选例题】：AD

【例 1】AD

【详解】A．对木块受力分析，根据牛顿第二定律有 $(mg-qE)\sin\theta=ma$，其中 $a=\frac{1}{4}g$，解得 $E=\frac{mg}{2q}$，A 正确；

B．斜面对木块的支持力大小 $N=(mg-qE)\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{4}mg$，故 B 错误；

CD．对木块和斜面体整体受力分析，在水平方向，根据牛顿第二定律可知

地面对斜面体的摩擦力大小为 $f=ma\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{8}mg$，方向水平向右，故 C 错误，D 正确。故选 AD。

【例 2】(1) $k=\frac{m_0^{\frac{2}{3}}gt}{h_1}$；(2)油滴 A 不带电，油滴 B 带负电，$q=\frac{m_0gd(h_1+h_2)}{h_1U}$，(3) $\Delta E_p=-\frac{m_0gh_2(h_1+h_2)}{h_1}$

【详解】（1）未加电压时，油滴匀速时的速度大小 $v_1=\frac{h_1}{t}$，匀速时 $m_0g=f$，又 $f=km_0^{\frac{1}{3}}v_1$，联立可得 $k=\frac{m_0^{\frac{2}{3}}gt}{h_1}$

（2）加电压后，油滴 A 的速度不变，可知油滴 A 不带电；油滴 B 最后速度方向向上，可知油滴 B 所受电场力向上，极板间电场强度向下，可知油滴 B 带负电。油滴 B 向上匀速运动时，速度大小为 $v_2=\frac{h_2}{t}$

根据平衡条件可得 $m_0g+km_0^{\frac{1}{3}}v_2=\frac{U}{d}q$，解得 $q=\frac{m_0gd(h_1+h_2)}{h_1U}$

（3）根据电场力做功与电势能变化关系有 $\Delta E_p=-W_{电}$，又 $W_{电}=\frac{U}{d}\cdot qh_2$，联立解得 $\Delta E_p=-\frac{m_0gh_2(h_1+h_2)}{h_1}$

【跟踪训练】：AC　　ACD　　BC

1．AC

【详解】AB．质量为 m、电荷量为 q 的带正电小球从电场上边界 M 的 P 点由静止释放，小球在电场 M、N 之间运动时，小球受重力和电场力，小球在竖直方向做自由落体运动，在水平方向做初速度是零的匀加速直线运动，可知小球在 M、N 之间区域做匀加速直线运动，故 A 正确，B 错误；

CD．在电场中运动时，小球受重力和电场力，小球在竖直方向做自由落体运动，在水平方向在 M、N 区域做

初速度是零的匀加速直线运动，设M、N之间运动时间为t_1，在N、Q之间运动时间为t_2，则有$h=\frac{1}{2}gt_1^2$，$qE=ma$

水平方向位移$x=\frac{1}{2}at_1^2$，因小球在两电场区域内受电场力大小相等，且小球到达电场下边界Q时的速度方向恰好竖直向下，说明此时小球在水平方向的速度是零，则有$at_1-at_2=0$，解得$t_1=t_2$，由题意可得$E_{k2}=0.8E_{k1}$

则有$\frac{1}{2}m(2gt_1)^2=0.8\left[\frac{1}{2}m(gt_1)^2+\frac{1}{2}m(at_1)^2\right]$，解得$a=2g$；由$qE=ma$，可得$qE=2mg$，则有$E=\frac{2mg}{q}$

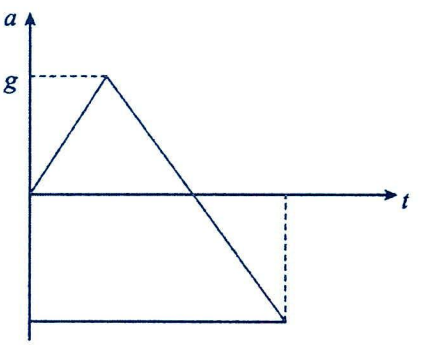
故C正确，D错误。故选AC。

2．ACD

【详解】A．小环受到的电场力为$F=qE_0=\frac{mg}{\mu}$，则此时的最大静摩擦力为$f=\mu F=mg$

随着电场强度的减小，小环和细杆的弹力减小，最大静摩擦力减小，小环开始运动，故A正确；

B．由题意可知，小环开始运动后电场强度表达式为$E=E_0-kt=\frac{mg}{\mu q}-kt$，所以，



当$t_1=\frac{mg}{\mu qk}$时，电场强度为$E_1=0$，此时小环只受重力，加速度为重力加速度g。

此后电场强度反向，小环继续向下加速最后减速到零，可得小环的$a-t$图线为

因为$a-t$图线的面积表示速度变化量，因为加速的速度变化量等于减速时的速度变化量，所以最终减速的加速度一定大于g，故此时不是最大的加速度，故B错误

C．当$t_2=\frac{2mg}{\mu qk}$时，电场强度为$E_2=-\frac{mg}{\mu q}$，

此时小环受到的摩擦力大小为$f'=\mu|qE|=mg$，即，此时小环合力为零，此后小环开始减速，$0\sim t_2$时间内，根据动量定理$mgt_2-\overline{f}t_2=mv$

因为弹力先均匀减小后反向均匀增大，所以摩擦力先均匀减小后均匀增大，即$\overline{f}=\frac{mg}{2}$，解得$v=\frac{mg^2}{\mu qk}$，C正确；

D．由B选项可知，可得到准确的$a-t$图线，根据$v=at$可知，可得到准确的$v-t$图线，$v-t$图线的面积表示位移。所以根据运动学规律和数学积分知识，可以求出小环运动过程的总位移，故D正确。故选ACD。

3．BC

【详解】AB．假设小物块与长木板相对滑动，小物块刚释放时的加速度是a_1，长木板的加速度是a_2，根据牛顿第二定律得$qE-\mu mg=ma_1$，$\mu mg=Ma_2$，代入数据得$\begin{matrix}a_1=5\text{m/s}^2\\a_2=0.5\text{m/s}^2\end{matrix}$，$a_1>a_2$，所以假设成立，故A错误；

设小物块从长木板的左端滑到右端的时间为t，则$\frac{1}{2}a_1t^2-\frac{1}{2}a_2t^2=L$，代入数据得$t=2\text{s}$，故B正确；

C．小物块从长木板的左端滑到右端的过程中的位移为$x_1=\frac{1}{2}a_1t^2=10\text{m}$

小物块从长木板的左端滑到右端，电场力对小物块做功$W_1=qEx_1=60\text{J}$，故电势能减少60J，C正确；

D．长木板的位移$x_2=\frac{1}{2}a_2t^2=1\text{m}$

小物块从长木板的左端滑到右端的过程中摩擦力对长木板做的功$W_2=\mu mgx_2=1\text{J}$，D错误。故选BC。

题型四：等效重力问题

【精选例题】：C　　A　　A

【例 1】C

【详解】B．小球在竖直面内做圆周运动，只有电场力和重力做功，则小球的电势能、动能和重力势能之和守恒，根据沿着电场线方向电势降低，可知 d 点的电势最低，根据 $E_p=q\varphi$ 可知在 d 点时的电势能最小，可知在 d 点时的机械能最大，选项 B 错误；

A．小球所受电场力方向水平向右，重力方向竖直向下，重力和电场力的合力方向为斜向右下，在 bd 之间，当小球经过重力和电场力的合力方向与圆弧的交点时，在等效最低点，小球的速度最大，此时动能最大，A 错误；

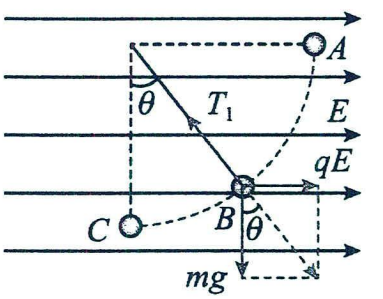
C．小球从 a 点到 d 点过程中电场力做功 $W=Eql$，选项 C 正确；

D．若小球顺时针从 a 点到 b 点，电场力方向先与速度方向的夹角为锐角，后为钝角，根据 $W=Fx\cos\theta$ 可知小球从 a 点到 b 点过程中电场力先做正功后做负功，由于 ab 两点电势相等，电场力总功为零，选项 D 错误。

故选 C。

【例 2】A

【详解】AB．小球在 B 点处于静止状态，对小球进行受力分析，如图所示



小球所受电场力方向与电场强度方向相同，可知小球带正电；

根据平衡条件有 $qE=mg\tan\theta$，解得 $E=\dfrac{3mg}{4q}$，故 A 正确，B 错误；

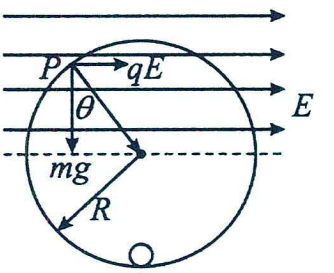
C．若将小球从 A 点由静止释放，小球将做圆周运动到达 C 点，电场力做负功，电势能增加了 $\Delta E_p=qEl=0.75mgl$，故 C 错误；

D．根据动能定理有 $mgl-qEl=\dfrac{1}{2}mv_C^2-0$，小球在 C 点，根据牛顿第二定律有 $T-mg=m\dfrac{v_C^2}{l}$

解得 $T=1.5mg$，故 D 错误。故选 A。

【例 3】A

【详解】由题可知，小球受到的电场力 $F=qE=\dfrac{3mg}{4}$



当小球受到重力和电场力的合力指向圆心时，该点为小球运动的等效最高点，设该点为 P 点，如图所示

根据几何知识可得 $\tan\theta=\dfrac{qE}{mg}=\dfrac{3}{4}$，故 $\theta=37°$

小球恰好能在竖直轨道内完成圆周运动，则小球在 P 点受到电场力与重力的合力为其圆周运动提供向心力，根据牛顿第二定律可得 $F_n=\dfrac{mv_P^2}{R}$，其中 $F_n=\dfrac{mg}{\cos\theta}=\dfrac{5}{4}mg$

由于小球带正电，故小球从最低点到 P 点的过程中，重力与电场力均做负功，

根据动能定理可得 $-mgR(1+\cos\theta)-qER(1+\sin\theta)=\dfrac{1}{2}mv_P^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$

联立解得 $v_0=\dfrac{\sqrt{29gR}}{2}$

故选 A。

【例 4】(1)$\frac{\sqrt{3}mg}{q}$；(2)12mg

【详解】（1）小滑块恰能静止于 C 点，由平衡条件可得 $mg\tan 60°=qE$，解得 $E=\frac{\sqrt{3}mg}{q}$

（2）重力与电场力的合力 $\sqrt{(Eq)^2+(mg)^2}=2mg$，方向与 AB 平行，则 D 与 C 分别为等效物理最高点与最低点，滑块沿圆弧轨道运动恰好能通过 D 点，则满足 $2mg=m\frac{v_D^{\ 2}}{R}$

设滑块经过 C 点时速度为 v_C，则由 C 到 D 的过程，由动能定理得 $-2mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_C^2$

在 C 点，由牛顿第二定律得 $F_{NC}-2mg=m\frac{v_C^2}{R}$，解得 $F_{NC}=12mg$，由牛顿第三定律得压力大小为 $F_N=12mg$

【跟踪训练】：C　　ABD　　BD

1．C

【详解】A．由题意，可知小球在受力平衡位置时动能最大，由于小球重力跟电场力的合力斜向左下方，可知该位置应在运动轨迹的最低点与 B 点之间某一位置，所以其在 B 点时的动能不是最大，故 A 错误。

BD．设小球在 A 点和 B 点时细线的拉力分别为 T 和 $6T$。根据牛顿第二定律有 $6T-Eq=m\frac{v_B^2}{L}$，$T+Eq=m\frac{v_A^2}{L}$

小球从 A 点运动到 B 点，根据动能定理有 $Eq\cdot 2L=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，联立求得 $E_{kA}=\frac{11EqL}{10}$，$E_{kB}=\frac{31EqL}{10}$

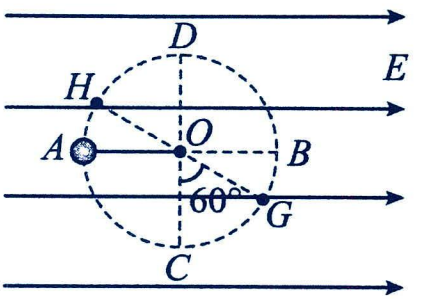
则小球在 A 点和 B 点时的动能之比为 11：31，故 BD 错误；

C．小球运动到 B 点时，向心加速度大小为 $a_B=\frac{v_B^2}{L}=\frac{2E_{kB}}{mL}=\frac{31Eq}{5m}$，故 C 正确。故选 C。

2．ABD

【详解】A．从小球从 A 到 B 过程，电场力对小球一直做正功，小球电势能减小，小球从 B 到 A 过程，电场力对小球一直做负功，小球电势能增大，则小球运动到 B 点时的电势能最小，小球运动到 B 点时的机械能最大，故 A 正确；

BC．带正电的电荷量为 q 的小球受到的电场力大小为 $F=qE=\sqrt{3}mg$，



则重力和电场力的合力大小为 $F_{合}=\sqrt{F^2+(mg)^2}=2mg$

重力和电场力的合力方向与竖直方向的夹角满足 $\tan\theta=\frac{F}{mg}=\sqrt{3}$，可得 $\theta=60°$

如图所示，可知小球运动等效最低点 G 时速度最大，细线的拉力最大；

小球运动等效最高 H 点时速度最小，则有 $F_{合}=2mg=\frac{mv_{min}^2}{R}$，解得小球运动过程中的最小速度为 $v_{min}=\sqrt{2gR}$

由于 D 点不是等效最高点，则绳子存在拉力，故 B 正确，C 错误；

D．小球从 H 点运动到 C 点，根据动能定理有 $mg(R+R\sin 30°)+qER\sin 60°=\frac{1}{2}mv_C^{\ 2}-\frac{1}{2}mv_{min}^{\ 2}$

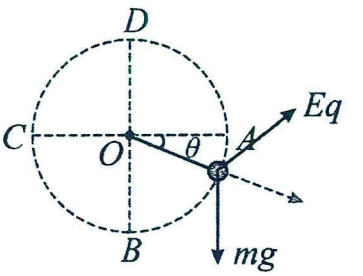
根据牛顿第二定律有 $T-mg=m\frac{v_C^2}{R}$，解得 $T=9mg$，故 D 正确；故选 ABD。

3．BD

【详解】AB．由图像知$\theta=\frac{\pi}{6}$为等效最低点，$\theta=\frac{7\pi}{6}$为等效最高点，根据动能定理可知$W_{合}=mgl-3mgl$

解得$W_{合}=-2mgl$，重力和电场力的合力在等效最低点与等效最高点连线上，运动距离为2l，则合力大小为mg，

根据余弦定理可知$(Eq)^2=(mg)^2+(mg)^2-2mg\cdot mg\cos 60°$，解得$E=\frac{mg}{q}$，



根据几何关系可知，电场强度方向和重力方向夹角为120°，方向斜向上，如图。

由于为匀强电场，则可知BD不是电场的等势线，故A错误，B正确；

C．在等效最低点拉力最大，

根据牛顿第二定律可得$F_{Tmax}-mg\cos 60°-Eq\cos 60°=m\frac{v^2}{l}$

此时动能为$3mgl=\frac{1}{2}mv^2$，解得$F_{Tmax}=7mg$，故C错误；

D．从等效最低点到A点过程，根据动能定理得$-mg(L-L\cos 30°)=\frac{1}{2}mv_A^2-3mgl$

在A点根据牛顿第二定律$T_A-mg\cos 30°=\frac{mv_A^2}{L}$，联立得$T_A=\left(4+\frac{3\sqrt{3}}{2}\right)mg$

从等效最低点到C点过程，根据动能定理得$-mg(L+L\cos 30°)=\frac{1}{2}mv_C^2-3mgl$

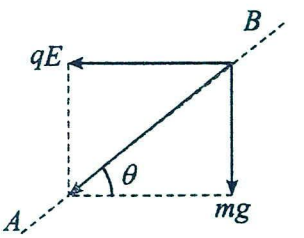
在C点根据牛顿第二定律得$T_C+mg\cos 30°=\frac{mv_C^2}{L}$，联立得$T_C=\left(4-\frac{3\sqrt{3}}{2}\right)mg$

轻绳在A、C两点拉力的差值为$\Delta T=T_A-T_C=3\sqrt{3}mg$，故轻绳在A、$C$两点拉力的差值为$3\sqrt{3}mg$，故D正确。

故选BD。

4．(1)$\sqrt{\frac{16}{3}gR}$；(2)$\frac{7}{3}mg$；(3)$7R$

【详解】（1）小球做直线运动时的受力情况如图所示，则$\tan\theta=\frac{mg}{qE}$，$\theta=37°$



小球从A点运动到B点的过程，根据动能定理有$-\frac{mg}{\sin\theta}\cdot R=\frac{1}{2}mv_B{}^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

（或$-mg\cdot R\sin\theta-Eq\cdot R\cos\theta=\frac{1}{2}mv_B{}^2-\frac{1}{2}mv_0{}^2$），解得$v_B=\sqrt{\frac{16}{3}gR}$

（2）小球从B点运动到D点的过程，根据动能定理有$-\frac{mg}{\sin\theta}\cdot R\sin\theta=\frac{1}{2}mv_D{}^2-\frac{1}{2}mv_B{}^2$

（或$-mg\cdot R(1+\cos\theta)+Eq\cdot R\sin\theta=\frac{1}{2}mv_D{}^2-\frac{1}{2}mv_B{}^2$），解得$v_D=\sqrt{\frac{10}{3}gR}$

在D点小球所受弹力与重力的合力提供小球做圆周运动的向心力，则$mg+F_D=m\frac{v_D{}^2}{R}$，解得$F_D=\frac{7}{3}mg$

（3）小球水平飞出后，在水平方向上做初速度为v_D的匀加速运动，竖直方向上做自由落体运动，设小球从管口D飞出到首次落地所用的时间为t，则$R+R\cos\theta+R\sin\theta=\frac{1}{2}gt^2$，解得$t=\sqrt{\frac{24R}{5g}}$

水平方向上的加速度$a_x=\frac{qE}{m}=\frac{4g}{3}$，水平分位移$x=v_Dt+\frac{1}{2}a_xt^2$，解得$x=\frac{36R}{5}$

首次落地点到A点的距离$s=x-R(\cos\theta-\sin\theta)$，解得$s=7R$

题型五：能量、动量问题

【精选例题】：

1．(1)）2.4m，140N/C；(2)$R\geq 9\text{m}$或$0<R\leq 3.6\text{m}$

【详解】（1）设小球在区域I中运动的加速度大小为a，则由牛顿第二定律得$qE_1+mg=ma$

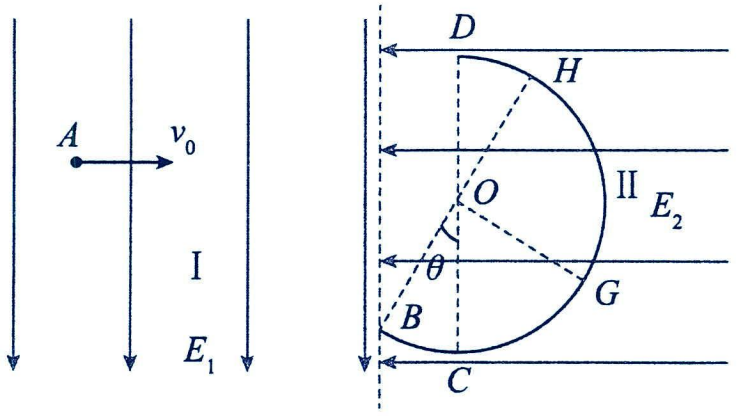
由题意可知，小球运动到B点时的速度与圆轨道相切，即速度与水平方向的夹角为$\alpha=\theta=37^\circ$

在水平方向上有$x=v_0t$；竖直方向上有$y=\frac{1}{2}at^2$，$v_y=at$，又$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}$，由以上解得$x=2.4\text{m}$，$E_1=140\text{N/C}$

（2）小球在B点的速度大小为$v=\frac{v_0}{\cos 37^\circ}=15\text{m/s}$，小球在区域II中运动时，电场力大小为$E_2q=3\text{N}$

重力为$G=mg=4\text{N}$，则电场力与重力的合力大小$F=\sqrt{(E_2q)^2+G^2}=5\text{N}$，斜向左下方与竖直方向的夹角$\theta=37^\circ$

小球沿弧形轨道BCD段运动的过程中，小球不脱离轨道的情形有二：



①小球刚好运动到等效最高点，等效最高点如图的H点

小球在H点时，小球与弧形轨道之间的作用力为零，则有$F=m\frac{v_H^2}{R_1}$

小球由B点到H点的过程中，由动能定理得$-F\cdot 2R_1=\frac{1}{2}mv_H^2-\frac{1}{2}mv^2$，解得$R_1=3.6\text{m}$

②小球运动到与BH相垂直的G点时速度减为零，则对小球由B到G的过程中，

由动能定理得$-FR_2=-\frac{1}{2}mv^2$，解得$R_2=9\text{m}$

由以上分析可知，小球在BCD段不脱离轨道的条件是$R\geq 9\text{m}$或$0<R\leq 3.6\text{m}$。

2．(1)$\frac{mg\sin\theta}{2}$，(2)$-2mgL\sin\theta$，(3)$\sqrt{5gL\sin\theta}$

【详解】（1）以A、B整体为研究对象，薄板A上端到达M时$2mg\sin\theta-Eq=2ma$

以B为研究对象得$mg\sin\theta-F=ma$，联立解得$F=\frac{mg\sin\theta}{2}$

（2）进入过程平均电场力$\overline{F}=qE$，电场力做功$W=-\overline{F}\cdot 2L$，解得$W=-2mgL\sin\theta$

（3）设 B 上端进入电场时的速度为v_1，从释放至 B 上端进入电场，由动能定理得$2mgs\cdot\sin\theta\cdot 3L+W=\frac{1}{2}\cdot 2mv_1^2$

B 完全进入电场后 A、B 间不再有力的作用，B 出电场以前在电场中匀速运动，B 上端离开电场的速度为v_2，对 B 出电场过程，由动能定理得$mgL\sin\theta-\frac{EqL}{2}=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，联立解得$v_2=\sqrt{5gL\sin\theta}$

3．(1)250N/C；(2)240N/C

【详解】（1）物块沿斜面匀速下滑，由平衡条件$mg\sin37°=\mu mg\cos37°$，解得$\mu=0.75$

物块沿水平面做匀速直线运动，水平方向有$qE\cos53°=\mu F_N$，竖直方向$qE\sin53°+F_N=mg$，联立得$E=250\text{N/C}$

（2）木块沿水平面做匀速直线运动，设场强与水平方向角度为θ、电场力大小为F，

水平方向$F\cos\theta=\mu F_N$，竖直方向$F\sin\theta+F_N=mg$，整理得$F=\frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}\sin(\theta+53°)}$

所以，当$\theta=37°$时，电场力F最小，最小值为$F_{\min}=2.4\text{N}$，此时场强大小为$E_{\min}=\frac{F_{\min}}{q}=240\text{N/C}$

4．(1)6m/s；(2)2.2N，方向竖直向上；(3)1.8m

【详解】（1）由动能定理$(mg+qE)\sin\theta\cdot L=\frac{1}{2}mv_B^2$，得$v_B=6\text{m/s}$

（2）由机械能守恒$\frac{1}{2}mv_B^2=mg\cdot 2R+\frac{1}{2}mv_D^2$，得$v_D=4\text{m/s}$，由牛顿第二定律$F'_N+mg=m\frac{v_D^2}{R}$

由牛顿第三定律$F_N=F'_N$，得$F_N=2.2\text{N}$，方向竖直向上

（3）滑块加速度大小$a_1=\mu_1 g=6\text{m/s}^2$，平板加速度大小$a_2=\frac{\mu_1 mg-\mu_2(M+m)g}{M}=4\text{m/s}^2$

两者相对静止时$v_F-a_1t=a_2t$，且$v_F=v_B$，得 t=0.6s

滑块最终停止时相对平板滑行的距离$x=v_Bt-\frac{1}{2}a_1t^2-\frac{1}{2}a_2t^2=1.8\text{m}$

5．(1)6m/s，$1.8\sqrt{3}$m；(2)$(54-10\sqrt{3})$N；(3)4.8m，7.2m

【详解】（1）A 到 B 过程，由动能定理可得$-mgL_1\sin30°=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$v_B=6\text{m/s}$，

B 到 E 过程，小球做斜抛运动，由运动的分解有，竖直方向$t=\frac{2v_B\sin30°}{g}$，水平方向$x=v_B\cos30°\cdot t$

联立解得 CD 长度为$x=1.8\sqrt{3}\text{m}$

（2）在区域 2 中对小球受力分析，重力和电场力合成后记为等效重力，等效重力大小为$G'=\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$

等效重力恰好与 FG 直线垂直向下，相当于小球在等效的水平面运动，受到摩擦力大小为$f=\mu F_N$，$F_N=G'$

由机械能守恒，从 F 运动到 G 有$-fL_2=\frac{1}{2}mv_G^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$v_G=6\text{m/s}$

从 G 点到最低点有$mgR(1-\cos30°)=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_G^2$，在最低点有$F-mg=\frac{mv_1^2}{R}$，联立解得$F=(54-10\sqrt{3})\text{N}$

由牛顿第三定律知小球对轨道的压力大小为$F'=(54-10\sqrt{3})\text{N}$

（3）小球在区域 3 的运动无机械能损失，在斜面 HI 上折返后返回 G 点，且速度大小仍为 6m/s，从第一次通过区域 2 到最后静止有 $-fs_1=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，所以小球在 FG 上运动的路程为 $s_1=4.8\text{m}<6.3\text{m}$

所以小球无法第二次到达区域 3，所以小球在 HI 上运动的路程为 $s_2=2\cdot\frac{v_G^2}{2g\sin30°}$，解得 $s_2=7.2\text{m}$

6．(1) $E=\frac{mg}{q}$；(2) $F_D=2\sqrt{2}mg$；(3) $t=2\sqrt{\frac{2L}{g}}$

【详解】（1）依题可知，x_{AC}=L，对小球 P 到 A 过程，小球受重力和电场力，且电场力方向水平向左，设线 AB 上方匀强电场的电场强度的大小 E，则水平方向 $x_{AC}=\frac{1}{2}\frac{Eq}{m}t^2=L$，竖直方向 $y_{AC}=\frac{1}{2}gt^2=L$，联立两式 $E=\frac{mg}{q}$

（2）从 P 到 A 过程，由动能定理 $mgL+EqL=\frac{1}{2}mv_A^{\ 2}$，解得 $v_A=2\sqrt{gL}$

小球在管中运动时，因为 E_2q=mg，故小球在管中左匀速圆周运动，故 $v_A=v_D=2\sqrt{gL}$

在 D 点，设管给球的支持力 F_N，则由牛顿第二律 $F_N=m\frac{v_D^2}{r}$，解得 $F_N=2\sqrt{2}mg$

根据牛顿第三定律可知，小球在 ADB 管中运动经过 D 点时对管的压力 $F_D=2\sqrt{2}mg$

（3）又对称性可知，小球回到 B 点时速度与在 A 点大小相同，即 $v_A=v_B=2\sqrt{gL}$，

分析可知，小球从管口 B 离开后加速度为 $a=\sqrt{2}g$，当小球从 B 点飞出后，当小球沿抛出方向和垂直抛出方向位移大小相等时恰回到虚线 AB 上的 N 点，则 $v_Bt=\frac{1}{2}at^2$，解得 $t=2\sqrt{\frac{2L}{g}}$

7．(1) $t=5\sqrt{\frac{R}{g}}$；(2) $W=6mgR$；(3) $\frac{mg}{10q}\le E\le\frac{11mg}{2q}$

【详解】（1）小滑块在 AB 间做匀加速直线运动，根据运动学公式有 $x_1=\frac{v_B}{2}t$，解得 $t=5\sqrt{\frac{R}{g}}$

（2）小滑块在 AB 间运动，根据牛顿第二定律有

$qE\cos37°-F_f=ma_1$，$a_1=\frac{v_B}{t}$，$qE\sin37°+F_N=mg$，$F_f=\mu F_N$，$W=qEx_1\cos37°$，联立解得 $W=6mgR$

（3）小滑块从 B 点运动到 C 点的过程，根据动能定理有 $-\mu mgx_2=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$，解得 $v_C=\sqrt{\frac{9gR}{2}}$

小滑块在圆形轨道中运动，若电场强度较大，从 C 点运动到 D 点的过程中，小滑块在 C 点容易脱离轨道，设电场强度为 E_1 时，滑块刚好能够过 C 点，根据牛顿运动定律，有 $qE_1-mg=m\frac{v_C^2}{R}$，解得 $E_1=\frac{11mg}{2q}$

小滑块在圆形轨道中运动，若电场强度较小，从 C 点运动到 D 点的过程中，小滑块在 D 点容易脱离轨道，设电场强度为 E_2 时，滑块刚好能够过 D 点，根据动能定理有 $-(mg-qE_2)\cdot2R=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_C^2$

根据牛顿运动定律，有 $mg-qE_2=m\frac{v_D^2}{R}$，解得 $E_2=\frac{mg}{10q}$，满足题意的电场强度为 $\frac{mg}{10q}\le E\le\frac{11mg}{2q}$

8．(1)2×10^{-4}C；(2)1.5×10^{4}N/C；(3)-400V；(4)0.052m

【详解】（1）由图可知，当 x=0.3m 时 $F_1=\frac{kQq}{x^2}=1.8\text{N}$，解得 q=2×10^{-4}C，

小球 B 所受电场力沿 x 轴正方向，所以小球 B 带正电；

（2）设在 x=0.3m 处点电荷与小球间作用力为 $F_{合}$=-1.2N，$F_{合}=F_1+qE$，因此 E=-1.5×10^{4}N/C

电场在 x=0.3m 处沿细杆方向的电场强度大小为：1.5×10^{4}N/C，方向水平向左。

（3）根据图象可知在 x=0.4m 与 x=0.6m 之间合力做功大小 $W_{合}$=-0.4×0.2=-8×10^{-2}J，由 $W_{合}=qU$，可得 U=-400V

（4）由图可知小球从 x=0.16m 到 x=0.2m 处，电场力做功 $W_1=\frac{3.0}{2}\times 0.04\text{J}=0.06\text{J}$

小球从 x=0.2m 到 x=0.4m 处，电场力做功 $W_2=-\frac{1}{2}mv^2=-\frac{1}{2}\times 0.02\times 4^2\text{J}=-0.16\text{ J}$

由图可知小球从 x=0.4m 到 x=0.8m 处，电场力做功 W_3=-0.4×0.4=-0.16 J

由动能定理可得 $W_1+W_2+W_3+F_{外}s=0$，解得 s=0.052m

9．（1）$\sqrt{2gh}$；（2）3h；（3）$0\le L\le\left(6+4\sqrt{3}\right)h$，$E_k=mg\left(6h+2L-4\sqrt{Lh+h^2}\right)$

【详解】（1）设小球在抛出点 P 的速度大小为 v_0，从 P 点到 ab 边运动时间为 t，到 ab 边时竖直方向速度大小为 v_y，小球从 P 点运动到 ab 的过程中，做平抛运动，则竖直方向有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，$v_y=gt$，水平方向位移为 $x=v_0t$

刚进入 ab 边时，根据题意有 $\tan 45°=\frac{v_y}{v_0}$，联立解得 $v_0=v_y=\sqrt{2gh}$，$x=2h$

（2）由于小球 B 离开电场的矩形区域时，速度方向竖直向下，即离开电场时，小球 B 水平方向速度为零，故小球 B 一定从 dc 边离开电场，即两球从开始运动到离开电场时，在竖直方向上位移相等。由于两球的质量相等，在竖直方向上均只受重力，故两球刚进入电场的速度一致，且两球在电场中运动时间相等均为 t_1，对 A 球，小球在电场中做直线运动，故小球所受合外力方向与射入电场的速度方向共线，故有 $\tan 45°=\frac{mg}{F_{电}}$

设小球 A 从 c 点离开电场时水平速度为 v_{x1}，竖直速度为 v_{y1}，

水平方向上有 $F_{电}=ma$，$v_{x1}=v_0+at_1$，$x_1=\frac{v_0+v_{x1}}{2}t_1$；竖直方向上有 $v_{y1}=v_y+gt_1$，$L=\frac{v_y+v_{y1}}{2}t_1$

由于两球电荷量相等，故两球所受电场力大小相等，即水平方向加速度大小相等，对 B 球在电场中做类平抛运动，从进入到离开电场过程中，水平方向有 $F_{电}=ma$，$v_0=at_1$，联立解得 $L=3h$，$x_1=3h$

（3）根据以上分析可知，矩形区域的总长度 $L_{ab}=x+x_1=5h$，且小球的射入点距 b 点距离为 3h。小球 B 水平方向向右减速到速度为零，在水平方向位移为 $s_1=\frac{v_0^2}{2a}$，解得 $s_1=h<x_1=3h$

即不论矩形区域高 L 多大，B 都到不了 bc 边。若小球 B 恰好从下边界 d 点离开电场，则小球在电场中运动时，水平方向的位移为 $x_2=-2h=v_0t_2-\frac{1}{2}at_2^2$，竖直方向上有 $L_1=v_yt_2+\frac{1}{2}gt_2^2$，联立解得 $L_1=\left(6+4\sqrt{3}\right)h$

故 L 的大小范围为 $0\le L\le\left(6+4\sqrt{3}\right)h$

设小球 B 离开下边界 cd 时的动能为 E_k，在电场中运动时水平方向位移为 x_3，规定向右为正，

则由动能定理可得 $E_k=\frac{1}{2}mv_0^2+mg(h+L)-qEx_3$

在电场中运动时，水平方向有 $x_3=v_0t_4-\frac{1}{2}at_4^2$，竖直方向有 $L=v_yt_4+\frac{1}{2}gt_4^2$，联立得 $E_k=mg\left(6h+2L-4\sqrt{Lh+h^2}\right)$

【跟踪训练】：

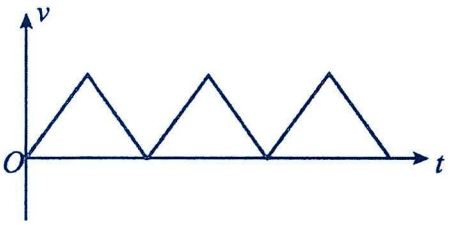
考点五：交变电场

题型一：带电粒子在交变电场中的直线运动

【精选例题】：C

【例 1】C

【详解】在前半个周期内，B 板的电势高，电场的方向向右，电子受到的电场力方向水平向左，电子向左做初速度为零的匀加速直线运动，在后半个周期，电场水平向左，电子所受的电场力水平向右，电子向左做匀减速直线运动直到速度为零，然后进入第二个周期，重复之前的运动，由此可知，电子在每个周期内先向左做初速度为零的匀加速直线运动，然后向左做匀减速直线运动，如此反复，由图示图象



所以电子一直向 B 板运动。故选 C。

【跟踪训练】：AB　　BD

1．AB

【详解】A．金属圆筒中电场为零，质子不受电场力，做匀速运动。故 A 正确；

C．质子进入第 n 个圆筒时，经过 n 次加速，根据动能定理 $neU_0=\frac{1}{2}mv_n^2-0$，解得 $v_n=\sqrt{\frac{2neU_0}{m}}$，故 C 错误；

B．只有质子在每个圆筒中匀速运动时间为 $\frac{T}{2}$ 时，才能保证每次在缝隙中被电场加速，

则第 n 个圆筒长度 $L_n=v_n\cdot\frac{T}{2}=\frac{T}{2}\sqrt{\frac{2neU_0}{m}}$，所以各金属筒的长度之比为 $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}$。故 B 正确；

D．由 B 选项的分析可知，保持 L_n 和 U_0 不变，荷质比 $\frac{e}{m}$ 增大，则 T 必须减小。故 D 错误。故选 AB。

2．BD

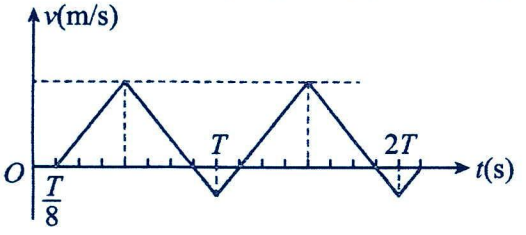
【详解】

A．由图像可知，运动过程中粒子速度方向未发生改变，带电粒子在两板间做单向直线运动，A 错误；

B．速度—时间图像与坐标轴围成的面积表示位移，由图像可知两板间距离为 $d=4\times\frac{v_mT}{2}=2v_mT$，B 正确；

C．设板间电压为 U，则粒子加速度为 $a=\frac{qU}{md}=\frac{qU}{2mv_mT}$，则 $v_m=a\cdot\frac{T}{2}=\frac{qU}{4mv_m}$，解得 $U=\frac{4mv_m^2}{q}$，C 错误；

D．$t=\frac{T}{8}$ 开始进入电场的粒子，速度—时间图像如图，由图像可知，粒子正向位移大于负向，故运动方向时而向右，时而向左，最终打在右板上，D 正确。故选 BD。

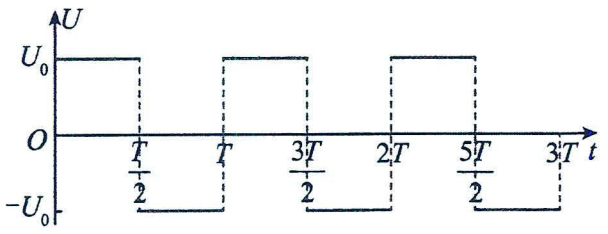


题型二：带电粒子在交变电场中的往返运动

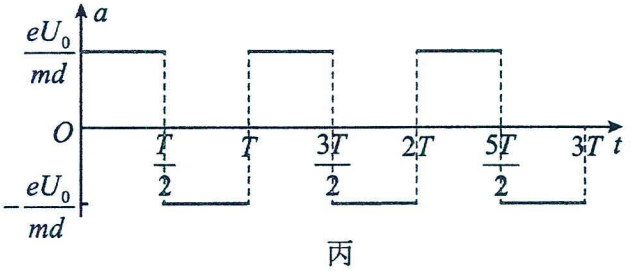
【精选例题】：AB

【例 1】AB

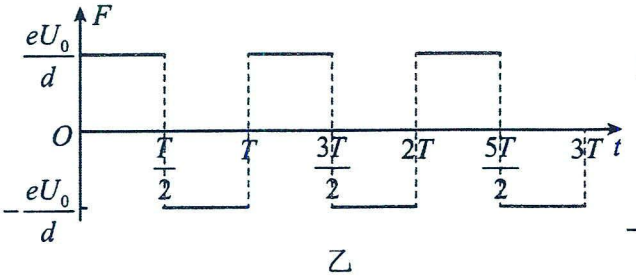
【详解】根据电子进入电场后的受力和运动情况，作出电子在极板间的 $F-t$，$a-t$，$v-t$ 图像如图乙，丙，丁。



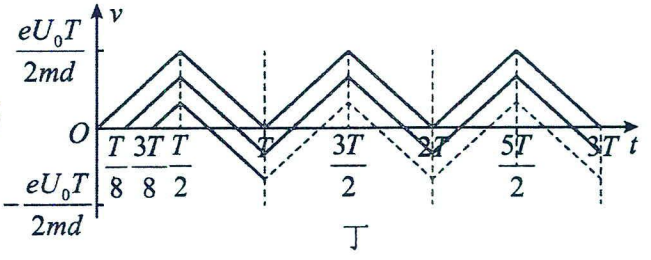
甲



丙



乙



丁

A．根据 $v-t$ 图像围成的面积表示位移，由图丁 $v-t$ 图像可知，当电子在 0 时刻进入电场时，电子一直向 B 板运动，故 A 正确；

B．若电子在 $t=\frac{T}{8}$ 时刻进入，则由 $v-t$ 图像知，向 B 板运动的位移大于向 A 板运动的位移，因此它可能时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，最后打在 B 板上，故 B 正确；

C．若电子在 $t=\frac{3}{8}T$ 时刻进入电场，则由图像知，在第一个周期电子即返回至 A 板，故 C 错误；

D．由前面分析可知，若电子在 $t=\frac{T}{4}$ 时刻进入，则电子向 B 板运动的位移等于向 A 板运动的位移，则它可能时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，即可能在 AB 之间往复运动。由于 $\frac{T}{8}<\frac{T}{7}<\frac{T}{4}$，可推知电子向 B 板运动的位移仍然大于向 A 板运动的位移，因此它可能时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，最后打在 B 板上，故 D 错误。故选 AB。

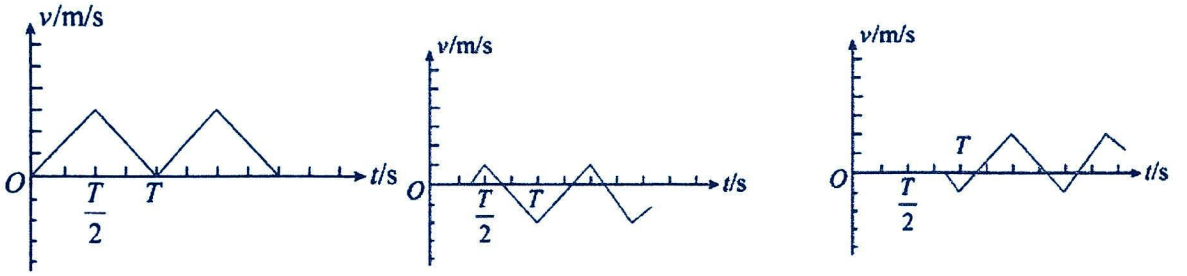
【跟踪训练】：AC

1．CD

【详解】AB．从 0 时刻释放粒子，根据静止粒子所受电场力方向及作用时间，画出电子的 v-t 图像如图：

由图可知，粒子在向右的电场力的作用下，向右做匀加速运动，若在 $\frac{T}{2}$ 时刻恰好到达右极板，则此时有最大速度，根据动能定理有 $q\frac{U_0}{2}=\frac{1}{2}mv_m^2$，解得 $v_m=\sqrt{\frac{qU_0}{m}}$

若在 $\frac{T}{2}$ 时刻未到达右极板，板间距足够大的情况下，则此后 $\frac{T}{2}$ 时间内再向右做匀减速运动直至速度减为零，之后重复上述运动，运动的方向始终向右，因此粒子始终向右运动，直至到达右极板，故 AB 错误；



C．若粒子从$\frac{3}{8}T$时刻由静止释放，根据静止电子所受电场力方向及作用时间，画出电子的 v–t 图像如图：

由图可知，粒子在电场力的作用下，时而右，时而左，一个周期内向左运动的位移大于向右运动的位移，每个周期都会向左移动一定距离，故 C 正确；

D．若粒子从$\frac{7}{8}T$时刻由静止释放，根据静止电子所受电场力方向及作用时间，画出电子的 v–t 图像如图：

由图可知，粒子在电场力的作用下，时而左，时而右，一个周期内向右运动的位移大于向左运动的位移，每个周期都会向右移动一定距离，故 D 正确。

故选 CD。

2．（1）$t=\frac{\sqrt{6}}{8}T$；（2）速度大小为零；（3）300个。

【详解】（1）因为微粒开始做匀加速直线运动，根据公式可得$L=\frac{1}{2}at^2$，解得$t=\frac{\sqrt{6}}{8}T$

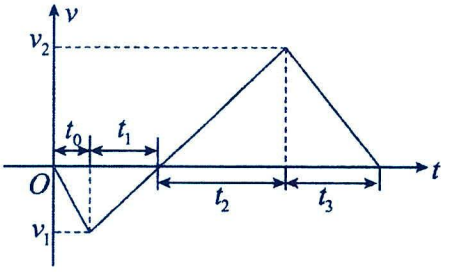
（2） 因为$\frac{T}{4}<\frac{\sqrt{6}}{8}T$，所以$t=\frac{T}{4}$时产生的微粒，先做匀加速再做匀减速，$\frac{T}{4}$内加速运动的位移为$x=\frac{1}{2}a(\frac{T}{4})^2$

即$x=\frac{1}{32}aT^2=\frac{2}{3}L$，此时粒子的速度为$v=\frac{1}{4}aT$

当粒子减速为零，需要的时间为$t=\frac{v}{2a}=\frac{T}{8}$，减速阶段粒子运动的位移为$s=vt-\frac{1}{2}\times 2at^2=\frac{1}{64}aT^2=\frac{1}{3}L$

由此可得$L=x+s$，则$t=\frac{T}{4}$时产生的微粒到达 A 板时的速度大小为零。

（3）设在 T-t_0时刻产生的粒子恰好能到达 A 板，



有$2at_0=at_1$，$t_1=2t_0$，$t_2=\frac{T}{2}-2t_0$，$t_1+t_2=\frac{T}{2}$，$t_3=\frac{t_2}{2}=\frac{T}{4}-t_0$；

$at_2=2at_3$，$v_1=2at_0$，$v_2=at_2$；$\frac{1}{2}v_2(t_2+t_3)-\frac{1}{2}v_1(t_0+t_1)=L$；

$t_0=\frac{3}{32}T$，$N=\frac{t_0}{T}\times 3200=300$个

题型三：带电粒子在交变电场中的偏转

【精选例题】：BD　　BC　　A

【例 1】BD

【详解】A．粒子进入电场后，水平方向做匀速运动，则$t=0$时刻进入电场的粒子在电场中运动时间$T=\frac{2d}{v_0}$

此时间正好是交变电场的一个周期；粒子在竖直方向先做加速运动后做减速运动，经过一个周期，粒子的竖直速度为零，故粒子离开电场时的速度大小等于水平速度v_0，A 错误；

B．粒子在竖直方向，在$\frac{T}{2}$时间内的位移为$\frac{d}{2}$，则有$\frac{1}{2}d=\frac{U_0q}{2dm}(\frac{d}{v_0})^2$，解得$q=\frac{mv_0^2}{U_0}$，B 正确；

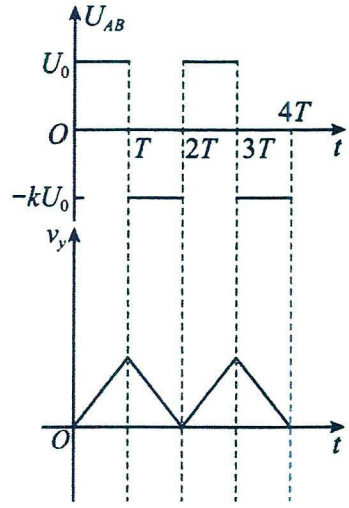
C．$t=\frac{T}{8}$时刻进入电场的粒子，离开电场时在竖直方向上的位移为$d'=2\times\frac{1}{2}a(\frac{3T}{8})^2-2\times\frac{1}{2}(\frac{T}{8})^2=\frac{1}{8}aT^2=\frac{1}{2}d$

即粒子恰好从 P、Q 两板正中间离开电场，C 错误；

D．$t=\frac{T}{4}$时刻进入的粒子，在竖直方向先向下加速运动$\frac{T}{4}$，然后向下减速运动$\frac{T}{4}$，再向上加速$\frac{T}{4}$，向上减速$\frac{T}{4}$，

由对称可知，此时竖直方向的位移为零，故粒子从 P 板右侧边缘离开电场，D 正确。故选 BD。

【例 2】BC



【详解】A．k=1，粒子在竖直方向的速度变化如图所示

则 4T 时电子速度不变，动能不变，则电场力做功为零，故 A 错误；

B．电子在 2T 时速度竖直速度为零，水平速度为 v_0，则在 2T 时的速度为 v_0，故 B 正确；

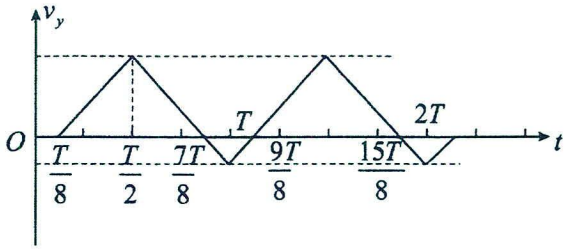
CD．若$k=\frac{5}{4}$且电子恰好在$2T$时刻射出电场，$a_1=\frac{U_0e}{dm}$，$a_2=\frac{5U_0e}{4dm}=\frac{5}{4}a_1$

0～2T 内，电子在竖直方向上先做匀加速直线运动再做匀减速直线运动到零再反向做匀加速直线运动，最大偏移距离$y=\frac{1}{2}a_1T^2+\frac{(a_1T)^2}{2a_2}=\frac{9U_0eT^2}{10dm}\le\frac{d}{2}$，则$d\ge\sqrt{\frac{9U_0eT^2}{5m}}$

射出时竖直方向的速度$v_y=a_1T-a_2T=-\frac{U_0e}{4dm}T$

则射出时的速度$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+\left(\frac{U_0eT}{4dm}\right)^2}$，故 C 正确 D 错误。故选 BC。

【例 3】A



【详解】A．依题意，可知所有电子离开极板所用时间$t=\frac{L}{v_0}=2T$，

$t=\frac{T}{8}$时刻进入电场的电子在垂直极板方向的速度时间图像如图，

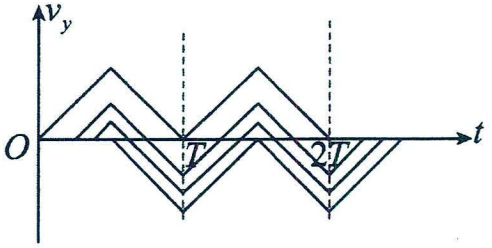
$v-t$图像与时间轴围成的面积代表位移

在$t=\frac{15T}{8}$时刻侧位移最大，最大位移为$y_{max}=4\times\frac{1}{2}a(\frac{3T}{8})^2-2\times\frac{1}{2}a(\frac{T}{8})^2$

在$t=0$时刻进入电场的电子侧位移最大为$\frac{1}{2}d$，则有$\frac{1}{2}d=4\times\frac{1}{2}a(\frac{T}{2})^2$，联立可得$y_{max}=\frac{17d}{64}$，故 A 正确；

B．$t=\frac{T}{4}$时刻进入电场的电子，在$t=\frac{3T}{4}$时刻侧位移最大，最大侧位移为$y'_{max}=2\times\frac{1}{2}a(\frac{T}{4})^2=\frac{d}{16}$，故 B 错误；

C．在$t=\frac{n}{2}T(n=0,1,2,3\cdots)$时刻进入电场的电子侧位移最大为$\frac{1}{2}d$，故 C 错误；



D．电子进入电场后做类平抛运动，不同时刻进入电场的电子竖直方向分速度图像如图所示，所有电子离开极板所用时间$t=\frac{L}{v_0}=2T$

由图看出，所有电子离开电场时竖直方向分速度$v_y=0$，所以所有电子离开电场时速度都等于，故 D 错误。故选 A。

【例 4】（1）$U_0=\dfrac{mL^2}{8et_0^2}$；（2）$U_1=\dfrac{md^2}{2et_0^2}$；（3）$t=(2n+1)t_0\pm\dfrac{5}{6}t_0$，$n\in\mathrm{N}$

【详解】(1)电子加速后速度为v_0，有$eU_0=\dfrac{1}{2}mv_0^2$，电子通过两板之间的时间为$2t_0$，有$L=v_0\times 2t_0$，解得$U_0=\dfrac{mL^2}{8et_0^2}$

（2）电子在偏转电场中做类平抛运动，加速度为a，有$e\dfrac{U_1}{d}=ma$

在$t=nt_0$时刻进入偏转电场的电子偏转位移最大，恰好从两板间射出，有$\dfrac{d}{2}=\dfrac{1}{2}at_0^2\times 2$，解得$U_1=\dfrac{md^2}{2et_0^2}$

（3）当电子进入偏转电场时$U>0$，设电子先向上加速运动t_1时间电场反向，后再向上减速运动t_1时间速度恰为0，然后向下加速运动t_0-t_1时间电场反向，后向下减速运动t_0-t_1时间，

出偏转电场时正好位于中线上方$\dfrac{d}{3}$处，$\dfrac{d}{3}=\dfrac{1}{2}at_1^2\times 2-\dfrac{1}{2}a(t_0-t_1)^2\times 2$，解得$t_1=\dfrac{5}{6}t_0$

即电子进入偏转电场的时刻为$t=(2n+1)t_0-t_1=(2n+1)t_0-\dfrac{5}{6}t_0$，$n\in\mathrm{N}$

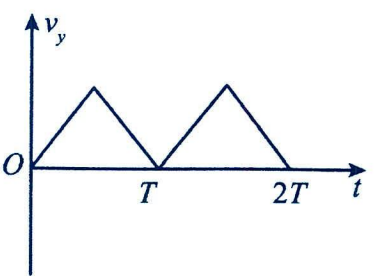
当电子进入偏转电场时$U<0$，设电子先向下加速运动t_2时间电场反向，后再向下减速运动t_2时间速度恰为0，然后向上加速运动t_0-t_2时间电场反向，后向上减速运动t_0-t_2时间，出偏转电场时正好位于中线上方$\dfrac{d}{3}$处，

有$\dfrac{d}{3}=\dfrac{1}{2}a(t_0-t_2)^2\times 2-\dfrac{1}{2}at_2^2\times 2$，解得$t_2=\dfrac{1}{6}t_0$

即电子进入偏转电场的时刻为$t=(2n+2)t_0-t_2=(2n+1)t_0+\dfrac{5}{6}t_0$，$n\in\mathrm{N}$

综合可知，电子进入偏转电场的时刻为$t=(2n+1)t_0\pm\dfrac{5}{6}t_0$，$n\in\mathrm{N}$

【例 5】(1)$\dfrac{\sqrt{3}mv_0^2}{ql}$；(2)4；(3)$\dfrac{3l}{32v_0}<t_x<\dfrac{5l}{32v_0}$



【详解】（1）粒子在电场中做类平抛运动，有$l=v_0t$；$\dfrac{\sqrt{3}}{2}l=\dfrac{1}{2}at^2$，

根据牛顿第二定律有$qE_0=ma$，联立可得$E_0=\dfrac{\sqrt{3}mv_0^2}{ql}$

（2）换成交变电场后，粒子 P 运动至 M 点的运动时间仍为$t=\dfrac{l}{v_0}$，结合题图 2 可知，交变电场在此期间经历了两个周期，粒子 P 沿 y 轴的分速度随时间变化的图像如图所示

所以整个运动过程其在 y 轴方向运动的距离为$\dfrac{\sqrt{3}l}{2}=4\times\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{qE'}{m}(\dfrac{T}{2})^2$，可解得$E'=\dfrac{4\sqrt{3}mv_0^2}{ql}$，故$\dfrac{E'}{E}=4$

（3）粒子 P 运动至 M 点的运动时间仍为$t=\dfrac{l}{v_0}=2T$

设t_x时刻发射出的粒子，在$t_x\sim\dfrac{T}{2}$时间内，沿 y 轴正方向做初速度为 0 的匀加速，

沿 y 轴方向的位移大小 $y_1=\frac{1}{2}\times\frac{qE'}{m}(\frac{T}{2}-t_x)^2$

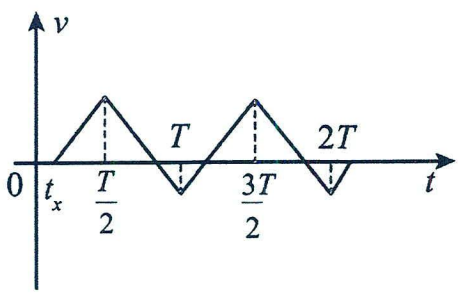
根据对称性可知，粒子在 $\frac{T}{2}\sim(T-t_x)$ 时间内，沿 y 轴正方向减速为 0。

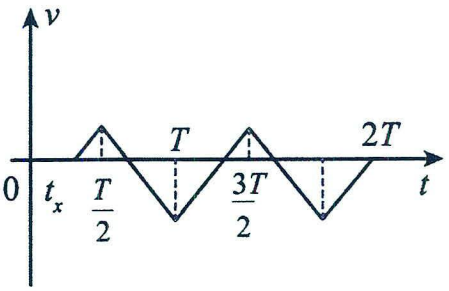
$(T-t_x)\sim T$ 时间内，粒子沿 y 轴负方向做初速度为 0 的匀加速，沿 y 轴方向的位移大小 $y_2=\frac{1}{2}\times\frac{qE'}{m}t_x^2$

由对称性可知，粒子 $T\sim(T+t_x)$ 时间内，沿 y 轴负方向匀减速至 0，因此 Δt=T 时间内，粒子沿 y 轴正方向的运动距离 $\Delta y=2(y_1-y_2)$；若粒子恰好打在挡板上沿，则 $2\Delta y=\frac{1}{2}\times\frac{\sqrt{3}}{4}l$，解得 $t_x=\frac{3l}{32v_0}$

若粒子恰好打在挡板下沿，则 $2\Delta y=-\frac{1}{2}\times\frac{\sqrt{3}}{4}l$，解得 $t_x=\frac{5l}{32v_0}$

可知在 $\frac{3l}{32v_0}<t_x<\frac{5l}{32v_0}$ 时间范围内射出的粒子能打到挡板上。





【跟踪训练】：AC　　ABC　　AD

1．AC

【详解】A．若电子在 t=0 时刻进入的，在一个周期内，前半个周期受到的电场力向上，向上做加速运动，后半个周期受到的电场力向下，继续向上做减速运动，T 时刻速度为零，接着周而复始，所以电子一直向 B 板运动，一定会到达 B 板。故 A 正确；

B．若电子是在 $t=\frac{1}{8}T$ 时刻进入的，在一个周期内，在 $\frac{T}{8}\sim\frac{T}{2}$，电子受到的电场力向上，向上做加速运动，在 $\frac{T}{2}$~T 内，受到的电场力向下，继续向上做减速运动，$\frac{7T}{8}$ 时刻速度为零，接着继续向下加速运动，在 T~$\frac{3}{2}T$ 内受到电场力向上，继续向下减速运动，$\frac{9T}{8}$ 时刻速度为零，周而复始，所以电子时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，最后打在 B 板上，故 B 错误；

C．若电子是在 $t=\frac{3}{8}T$ 时刻进入的，与在 $t=\frac{1}{8}T$ 时刻进入时的情况相似，在运动一个周期的时间内，时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，总的位移向下，最后穿过 A 板。故 C 正确；

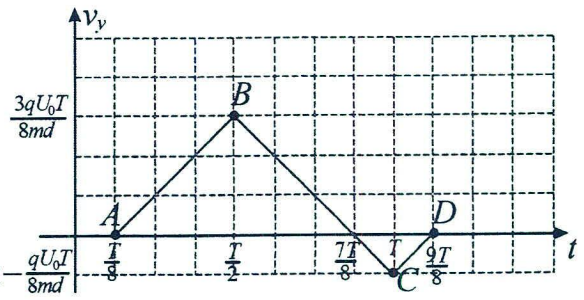
D．若电子是在 $t=\frac{1}{2}T$ 时刻进入的，则它一靠近小孔便受到排斥力，根本不能进入电场。故 D 错误。

故选 AC。

2．ABC

【详解】A．加电场后，竖直方向上的加速度大小为 $a=\frac{U_0q}{dm}$

变换电场方向时速度大小为 $v=at=\frac{U_0q}{dm}(\frac{T}{2}-\frac{T}{8})=\frac{3qU_0T}{8md}$，



$\frac{1}{2}T$ 时变换电场方向，做减速运动，则经过$\frac{3}{8}T$速度减为0，

后从$\frac{7}{8}T\sim T$反向加速速度大小为$v'=at'=\frac{qU_0T}{8md}$，如图所示

由于$l=v_0T$，可知粒子飞离极板所需时间为$t=\frac{l}{v_0}=T$

则由v_y-t图可知a粒子飞离极板时竖直方向的分速度为零，a粒子飞离极板时的速度与进入时相同，故A正确；

B．由竖直方向的速度图像可得，从$\frac{T}{8}$到$\frac{7T}{8}$竖直方向的位移$d=\frac{1}{2}\times\frac{3qU_0T}{8md}\times\left(\frac{7T}{8}-\frac{T}{8}\right)=\frac{9aT^2}{64}$

从$\frac{7T}{8}$到$\frac{9T}{8}$竖直方向的位移$y_1=-\frac{1}{2}\times\frac{qU_0T}{8md}\times\left(\frac{9T}{8}-\frac{7T}{8}\right)=-\frac{aT^2}{64}=-\frac{d}{9}$，

a粒子飞离极板时竖直偏移量$y=d+y_1=\frac{8}{9}d$，故B正确；

CD．设极板长度为l，a粒子在水平方向的位移$l=v_0\left(\frac{9}{8}T-\frac{1}{8}T\right)=v_0T$

设b粒子在电场中运动时间为t_b，其水平方向的位移$l=2v_0t_b$，解得$t_b=\frac{1}{2}T$

设$0\sim\frac{T}{2}$内的t时刻，b粒子从下极板左端下边缘进入电场，然后从下极板右端边缘飞离极板，

则$y=\frac{1}{2}a\left(\frac{T}{2}-t\right)^2+a\left(\frac{T}{2}-t\right)\cdot t-\frac{1}{2}at^2=0$，解得$t=\frac{\sqrt{2}}{4}T$，故C正确，D错误。故选ABC。

3．AD

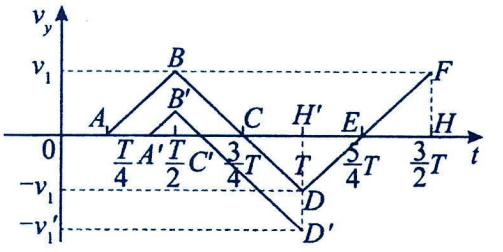
【详解】A．设板长为L，粒子甲的运动时间为$t=\frac{L}{v_0}=\frac{3}{2}T-\frac{1}{4}T=\frac{5}{4}T$

粒子乙因入射速度为甲的两倍，则运动时间为$t'=\frac{L}{2v_0}=\frac{5}{8}T$

因乙在$\frac{3}{8}T$时刻飞入电场，则在T时刻离开电场，故A正确；

CD．设两板间距离为d，则有$a_{甲}=\frac{U_0q}{md}=\frac{U_0k}{d}$为定值，

则在竖直方向做初速度为零的匀加速直线运动，以竖直方向位移和时间关系，可得$v_y=a_{甲}t$，作出竖直方向上速度—时间图像，如图。



则图线与时间轴围成的面积代表竖直方向上的位移，若恰好不与极板碰撞，则表示粒子在电场中竖直方向的最大位移大小刚好为$\frac{d}{2}$，根据图像可知在$\frac{3}{4}T$时刻粒子甲会恰好不碰到极板，此时刻会达到最大位移的大小，而在$\frac{3}{2}T$时刻，粒子出电场，此时位移是最大位移的一半，为$\frac{d}{4}$，即甲在竖直方向上的位移为$\frac{d}{4}$；

同理，对粒子乙，其图线为$A'B'C'D'$的形状，因乙粒子在运动过程中也恰好不与极板碰撞，根据图像可知在T时刻会恰好不与极板相撞，此时乙刚好飞出电场，即乙在竖直方向上的位移为$\frac{d}{2}$，则偏转位移之比为$\frac{y_{甲}}{y_{乙}}=\frac{\frac{d}{4}}{\frac{d}{2}}=\frac{1}{2}$；

B．对乙有 $y_{乙}=\frac{1}{2}a_{乙}\left(T-\frac{5}{8}T\right)^2-2\times\frac{1}{2}a_{乙}\times\left(\frac{T}{2}-\frac{3}{8}T\right)^2=\frac{7a_{乙}T^2}{128}$，对甲有 $y_{甲}=\frac{1}{2}a_{甲}\left(\frac{3}{2}T-\frac{5}{4}T\right)^2=\frac{a_{甲}T^2}{32}$

因 $\frac{y_{甲}}{y_{乙}}=\frac{1}{2}$，则有 $\frac{\frac{a_{甲}T^2}{32}}{\frac{7a_{乙}T^2}{128}}=\frac{1}{2}$，可得 $\frac{a_{乙}}{a_{甲}}=\frac{8}{7}$，又 $a_{甲}=\frac{U_0q}{md}=\frac{U_0k}{d}$，$a_{乙}=\frac{U_0q'}{m'd}$，可得乙粒子的比荷为 $\frac{q'}{m'}=\frac{8k}{7}$

故 B 错误。故选 AD。

4．(1) $t_0=\frac{T}{4}$，(2) $y=\frac{14d}{25}$，(3) $\left(\frac{3}{8}+n\right)T\le t\le\left(\frac{2+\sqrt{2}}{8}+n\right)T$（其中 n=0，1，2，3…）

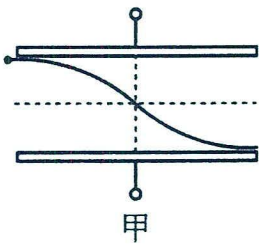
【详解】（1）能从板间飞出的粒子，平行于板的方向做匀速直线运动，在板间运动的时间为 $t_0=\frac{2d}{v_0}=\frac{T}{4}$

（2）设粒子在金属板间运动时的加速度为 a，则 $a=\frac{qU_0}{md}=\frac{64d}{T^2}$

粒子在 $t=\frac{2T}{5}$ 时刻进入两板之间，则它在竖直方向先加速向下 $\frac{T}{10}$，偏移量为 $y_1=\frac{1}{2}a\left(\frac{T}{10}\right)^2=\frac{8d}{25}$

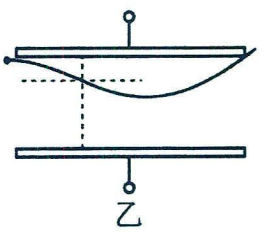
经过 $\frac{T}{10}$ 时间后电场反向，粒子开始在竖直方向减速向下，经过 $\frac{T}{10}$ 时间，竖直分速度减为零，根据对称性可知偏移量为 $y_2=y_1=\frac{8d}{25}$，接着粒子向上加速 $t=t_0-\frac{T}{10}-\frac{T}{10}=\frac{T}{20}$，偏移量为 $y_3=\frac{1}{2}a\left(\frac{T}{20}\right)^2=\frac{2}{25}d$

所以粒子飞出两板间时的偏移量为 $y=y_1+y_2-y_3=\frac{14d}{25}$


甲

（3）在第一个周期内，设带电粒子在 t_1 时刻进入两金属板间，它在竖直方向上先加速向下，经过 Δt_1 时间后电场反向，开始在竖直方向上减速向下，又经过 Δt_1 时间，竖直分速度减为零，恰好从下金属板右端飞出，画出其运动轨迹，如图甲所示：

可知 $d=2\times\frac{1}{2}a(\Delta t_1)^2$，解得 $\Delta t_1=\frac{T}{8}$，所以 $t_1=\frac{T}{2}-\Delta t_1=\frac{3T}{8}$


乙

在第一个周期内，设带电粒子在 t_2 时刻进入两金属板间，它在竖直方向上先加速向下，经过 Δt_2 时间后电场反向，开始在竖直方向上减速向下，又经过 Δt_2 时间，竖直分速度减为零，然后加速向上直到恰好从上金属板右端飞出，画出其运动轨迹，如图乙所示：

可知 $2\times\frac{1}{2}a(\Delta t_2)^2=\frac{1}{2}a(t_0-2\Delta t_2)^2$，解得 $\Delta t_2=\frac{2-\sqrt{2}}{8}T\left(\Delta t_2=\frac{2+\sqrt{2}}{4}T\text{舍去}\right)$，所以 $t_2=\frac{T}{2}-\Delta t_2=\frac{2+\sqrt{2}}{8}T$

考虑到周期性，带电粒子不碰到金属板而能够飞出两金属板间的时刻 t 满足

$\left(\frac{3}{8}+n\right)T\le t\le\left(\frac{2+\sqrt{2}}{8}+n\right)T$（其中 n=0，1，2，3…）

5．（1）$t=T$，$a=\frac{25d}{8T^2}$；（2）$\frac{5d}{32}$；（3）62%

【详解】（1）若粒子未碰板而飞出，则其在板间运动的时间为 $t=\frac{L}{v_0}=T$

根据牛顿第二定律可得$\frac{qU_0}{d}=ma$，解得加速度大小为$a=\frac{qU_0}{md}=\frac{25d}{8T^2}$

（2）若粒子在$t=\frac{T}{5}$时刻进入，可知

粒子在$\frac{T}{5}\sim\frac{T}{2}$时间内在竖直方向向下加速运动，则有$t_1=\frac{T}{2}-\frac{T}{5}=\frac{3T}{10}$，$y_1=\frac{1}{2}at_1^2=\frac{9d}{64}$

粒子在$\frac{T}{2}\sim\frac{4T}{5}$时间内在竖直方向向下减速运动，根据对称性可得$y_1'=y_1=\frac{9d}{64}$

粒子在$\frac{4T}{5}\sim T$时间内在竖直方向反向向上加速运动，则有$t_2=T-\frac{4T}{5}=\frac{T}{5}$，$y_2=\frac{1}{2}at_2^2=\frac{d}{16}$

粒子在$T\sim\frac{6T}{5}$时间内在竖直方向向上减速运动，根据对称性可得$y_2'=y_2=\frac{d}{16}$

则粒子在$t=\frac{T}{5}$时刻进入，其飞出极板时的偏移量为$y=y_1+y_1'-y_2-y_2'=\frac{5d}{32}$

（3）设在$0\sim\frac{T}{2}$内的某一时刻t_0进入的粒子刚好未与下极板碰撞，则有$2y_0=2\times\frac{1}{2}a(\frac{T}{2}-t_0)^2=\frac{1}{2}d$，解得$t_0=\frac{T}{10}$

设在$0\sim\frac{T}{2}$内的某一时刻t_0'进入的粒子刚好未与上极板碰撞，则有$-2\times\frac{1}{2}a(\frac{T}{2}-t_0')^2+2\times\frac{1}{2}at_0'^2=\frac{1}{2}d$，解得$t_0'=\frac{41T}{100}$

则在$0\sim\frac{T}{2}$内从$\frac{T}{10}\sim\frac{41T}{100}$进入的粒子可以未碰板而飞出，根据对称性可得一个周期内可能由粒子飞出对应的进入时间间隔为$\Delta t=2(\frac{41T_0}{100}-\frac{T_0}{10})=\frac{31T}{50}$

则发射时间足够长，未碰板而飞出的粒子数占总粒子数的百分比为$\eta=\frac{\Delta t}{T}=62\%$

静电场综合

1．$\frac{9}{2}$m

【详解】题中$m_1=m_2$，令$m_1=m_2=m$，对小物块受力分析$qE_1-\mu_2 mg=ma_1$，解得$a_1=4\text{m/s}^2$

对长木板受力分析$\mu_2 mg-\mu_1\times 2mg=ma_2$，解得$a_2=1\text{m/s}^2$

小物块运动到$\frac{l}{2}$处的速度为$v_1^2=2a_1\times\frac{l}{2}$，解得$v_1=4\text{m/s}$；运动时间$t_1=\frac{v_1}{a_1}=1\text{s}$

长木板的速度为$v_2=a_2t_1=1\text{m/s}$，长木板的位移为$x_1=\frac{1}{2}a_2t_1^2=\frac{1}{2}\text{m}$

当物块进入竖直向下的电场后对小物块受力分析$\mu_2(qE_2+mg)=ma_1'$，解得$a_1'=6\text{m/s}^2$，做减速运动

长木板的加速度$\mu_2(qE_2+mg)-\mu_1(qE_2+2mg)=ma_2'$，解得$a_2'=3\text{m/s}^2$，做加速运动

当两者达到共同速度，有$v=v_1-a_1't_2=v_2+a_2't_2$，解得$t_2=\frac{1}{3}\text{s}$；$v=v_1-a_1't_2=2\text{m/s}$

这段时间长木板的位移为$x_2=\frac{v_2+v}{2}t_2=\frac{1}{2}\text{m}$，这段时间小物块的位移为$x=\frac{v_1+v}{2}t_2=1\text{m}$

小物块没有出竖直向下的电场，长木板的总位移为$x_1+x_2=1\text{m}$

共速后两物体一起向右减速，加速度为$\mu_1(qE_2+2mg)=2ma$，解得$a=1.5\text{m/s}^2$

减速到零时的位移为$x_3=\frac{v^2}{2a}=\frac{4}{3}\text{m}$，$x+x_3=\frac{7}{3}\text{m}>\frac{l}{2}$，出电场时的速度为$v'$，则$v^2-v'^2=2a\left(\frac{l}{2}-x\right)$，解得$v'=1\text{m/s}$

出电场E_2后，两物体共同减速到零的加速度为$\mu_1 2mg=2ma'$，解得$a'=1\text{m/s}^2$

出电场E_2后，则最终停下来的位移为$x'=\frac{v'^2}{2a'}=\frac{1}{2}\text{m}$，静止时小物块距离出发点的距离为$d=l+x'=\frac{9}{2}\text{m}$

2．(1)1m/s；(2)$a_1=5\text{m/s}^2$，$a_2=2.5\text{m/s}^2$；(3)$\frac{16}{15}\text{J}$

【详解】（1）由题意知滑块与长木板保持相对静止共同向右运动，以滑块与长木板为整体，

根据牛顿第二定律可得$qE+\mu_1(m+M)g=(m+M)a$，解得$a=2\text{m/s}^2$

根据运动学公式可得$v_1^2-v_0^2=-2ax_0$，解得长木板与墙碰撞前瞬间的速度大小为$v_1=1\text{m/s}$

（2）长木板与墙碰后瞬间，对滑块由牛顿第二定律得$qE+\mu_2 mg=ma_1$，解得滑块的加速度大小为$a_1=5\text{m/s}^2$

对长木板由牛顿第二定律得$\mu_2 mg+\mu_1(m+M)g=Ma_2$，解得长木板的加速度大小为$a_2=2.5\text{m/s}^2$

（3）设长木板与墙碰后，经过t时间滑块与长木板达到共速，设向左为正方向，

则有$v_{共}=v_1-a_2t=-v_1+a_1t$，解得$t=\frac{4}{15}\text{s}$，$v_{共}=\frac{1}{3}\text{m/s}$

此时间内两者的对地位移分别为$x_{滑}=\frac{-v_1+v_{共}}{2}t=-\frac{4}{45}\text{m}$，$x_{板}=\frac{v_1+v_{共}}{2}t=\frac{8}{45}\text{m}$

此时间内两者的相对位移大小为$\Delta x=x_{板}-x_{滑}=\frac{8}{45}\text{m}-(-\frac{4}{45}\text{m})=\frac{4}{15}\text{m}$

滑块与长木板共速后，对滑块由牛顿第二定律得 $qE-\mu_2 mg=ma_1'$

解得滑块的加速度大小为 $a_1'=1\text{m/s}^2$，方向向左，可知滑块向左做匀加速直线运动；

对长木板由牛顿第二定律得 $\mu_1(m+M)g-\mu_2 mg=Ma_2'$

解得长木板的加速度大小为 $a_2'=0.5\text{m/s}^2$，方向向右，可知长木板向左做匀减速直线运动；

最终滑块将从长木板左端离开长木板，则整个运动过程中滑块与长木板发生的相对路程为 $s=2\Delta x=\frac{8}{15}\text{m}$

滑块与长木板间因摩擦产生的热量为 $Q=\mu_2 mgs=\frac{16}{15}\text{J}$

3．(1) $t_0=4\text{s}$；(2) $W=14\text{J}$；(3) $d_5=6\text{m}$

【详解】（1）在物块未进入电场时设其最大加速度大小为 a_0，则由牛顿第二定律有 $\mu_1 mg=ma_0$，解得 $a_0=4\text{m/s}^2$

当给木板施加恒力时，假设物块和木板能够保持相对静止，一起做匀加速直线运动，设共同加速度的加速度大小为 a，则对整体由牛顿第二定律有 $F-\mu_2(m+M)g=(m+M)a$，代入数据解得 $a=2\text{m/s}^2<a_0$

则假设成立，在未撤去力 F 的时间内物块的位移 $x_0=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times 2\times 5^2\text{m}=25\text{m}$，可知 $x_0>d_1+d_2$

则可知在力 F 撤去前的某一时间内物块已经进入电场，设从开始运动到物块进入电场的施加为 t_0，由位移与时间的关系可得 $d_1+d_2=\frac{1}{2}at_0^2$，解得 $t_0=4\text{s}$

（2）当物块进入电场 E_1 后由于电场力竖直向下，增加了物块对木板的正压力同时也增加了木板对地面的正压力，因此可知木块仍相对于木板静止，在电场 E_1 中，在力 F 未撤去时，设物块和木板共同运动的加速度大小为 a_1，由牛顿第二定律有 $F-\mu_2[(m+M)g+Eq]=(m+M)a_1$，解得 $a_1=0$

即在物块进入电场 E_1 中的 1s 时间内物块和木板一起做匀速直线运动，

物块对长木板的摩擦力所用的功为 $W=\mu_1 mgx_1=0.4\times 1\times 10\times(11.5-8)\text{J}=14\text{J}$

（3）此时距进入电场 E_2 的距离为 $x_2=d_3-x_1=11.5\text{m}-8\text{m}=3.5\text{m}$

设在这段位移内物块和木板共同运动的加速度大小为 a_1'，

由牛顿第二定律有 $\mu_2[(m+M)g+Eq]=(m+M)a_1'$，解得 $a_1'=4\text{m/s}^2$

设物块和木板共同进入电场 E_2 时的速度大小为 v_2，则由速度与位移的关系可得 $v_2^2-v_1^2=-2a_1'x_2$，解得 $v_2=6\text{m/s}$

当进入匀强电场 E_2，电场力竖直向上，对物块在竖直方向有 $mg=E_2 q$ 可知，物块在电场 E_2 中做匀速直线运动，因此，物块离开匀强电场 E_2 时速度的大小为 6m/s。设物块出电场 E_2 所用的时间为 t_2，在物块出电场 E_2 的过程中木板在电场 E_2 中做匀减速直线运动的加速度大小为 a_2，则 $d_4=v_2 t_2$，$\mu_2 Mg=Ma_2$，解得 $t_2=1\text{s}$，$a_2=2\text{m/s}^2$

设该过程中木板的位移为x_3，可得$x_3=v_2t_2-\frac{1}{2}a_2t_2^2=5\text{m}$

则可得物块出电场E_2时距离木板右端的距离为$d_5=d_1-(d_4-x_3)=6\text{m}$

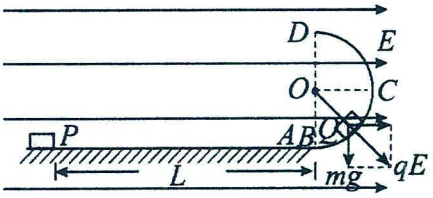
4．(1)$\frac{\sqrt{3}}{3}$；(2)$\frac{15-10\sqrt{3}}{6}mgR$，$5gR$；(3)$\sqrt{\left(\frac{4\sqrt{3}}{3}+3\right)gR}$

【详解】（1）由题图乙可知，在A处滑块的加速度为零，则$\mu_A mg=qE$，解得$\mu_A=\frac{\sqrt{3}}{3}$

（2）由于滑块恰能到达D点，由牛顿第二定律有$mg=\frac{mv_D^{\ 2}}{R}$

滑块从B点到D点，由机械能守恒定律有$\frac{1}{2}mv_B^{\ 2}=\frac{1}{2}mv_D^{\ 2}+mg\cdot 2R$，解得$v_B=\sqrt{5gR}$

则$a=5gR$，由动能定理可知$qE\cdot L+W_{\text{f}}=\frac{1}{2}mv_B^{\ 2}$，解得$W_{\text{f}}=\frac{15-10\sqrt{3}}{6}mgR$



（3）滑块在半圆轨道上等效最低点Q的速度最大，

OQ与竖直方向的夹角为θ，如图所示，则$\tan\theta=\frac{\sqrt{3}}{3}$

由动能定理有$qER\cdot\sin\theta-mgR(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_Q^{\ 2}-\frac{1}{2}mv_B^{\ 2}$，解得$v_Q=\sqrt{\left(\frac{4\sqrt{3}}{3}+3\right)gR}$

5．(1)$2mgR$；(2)$\left(2+3\sqrt{2}\right)mg$，方向与竖直方向成45°角斜向右下；(3)$mgR$，$-\frac{7}{2}mgR$

【详解】（1）小球从A点开始到达B点的过程中电场力做的功为$W=qEx=q\times\frac{mg}{q}\times 2R=2mgR$

（2）小球在光滑绝缘圆弧轨道上运动时，设电场力与重力的合力与竖直方向的夹角为θ，则有$\tan\theta=\frac{qE}{mg}=1$

可得$\theta=45°$，可知当小球运动到圆弧轨道的中点时，小球的速度最大，

根据动能定理可得$qE\left(2R+R\sin 45°\right)-mg\left(R-R\cos 45°\right)=\frac{1}{2}mv_{\text{m}}^2-0$

根据牛顿第二定律可得$F_{\text{N}}-mg\cos 45°-qE\sin 45°=m\frac{v_{\text{m}}^2}{R}$，联立解得$F_{\text{N}}=\left(2+3\sqrt{2}\right)mg$

根据牛顿第三定律可知，小球对轨道的压力大小为$\left(2+3\sqrt{2}\right)mg$，方向与竖直方向成45°角斜向右下。

（3）小球从A到C点，根据动能定理有$Eq\times 3R-mgR=\frac{1}{2}mv_C^2$，解得$v_C=2\sqrt{gR}$

小球从C点飞出后，当合力与速度方向垂直时，速度最小即动能最小；

水平方向有$a=\frac{Eq}{m}=g$，$v_x=gt$；竖直方向有$v_y=v_C-gt$

可知当合力与速度方向垂直时，即水平速度大小等于竖直速度大小时，

设为D点 $v_y=v_x$，$v_{\text{min}}=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$，解得$E_{\text{kmin}}=\frac{1}{2}mv_{\text{min}}^{\ 2}=mgR$

小球从C到D点水平方向有$x=\frac{1}{2}gt^2$

小球从A点开始到达D点的过程中，根据功能关系可知$W=-\Delta E_{\text{p}}=Eq(3R+x)$，解得$\Delta E_{\text{p}}=-\frac{7}{2}mgR$

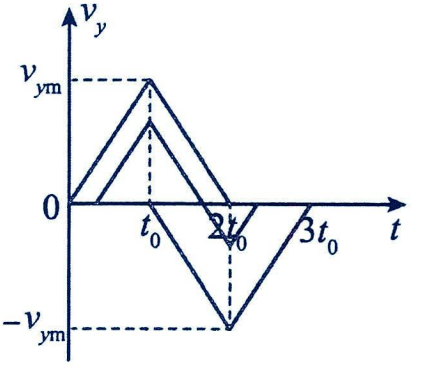
6. （1）$U_1=\frac{ml^2}{8et_0^2}$；（2）$d=\sqrt{\frac{2U_0e}{m}}t_0$，$a=\sqrt{\frac{eU_0}{2m}}\cdot\frac{1}{t_0}$；（3）$t=2nt_0\pm\frac{t_0}{3}(n=0,1,2,3...)$；（4）$\frac{t_0}{3}\cdot\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$

【详解】（1）电子经过加速电场后的速度为$v_0=\frac{l}{2t_0}$，根据动能定理，有$eU_1=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得电压$U_1=\frac{ml^2}{8et_0^2}$

（2）电子在偏转电场中做分段类平抛运动，其中水平方向匀速运动，速度为$v_x=v_0$

竖直方向做分段匀变速运动，其$v-t$图像如图所示从图看出在

$t=nt_0(n=0,1,2,3...)$，时刻进入偏转电场电子，出偏转电场时偏移量最大。



电子刚进入偏转电场时的加速度$a=\frac{eU_0}{dm}$

偏移量最大的电子就是 0 时刻刚进入偏转电场的电子，恰从两极板右边缘射出，所以$\frac{d}{4}=\frac{1}{2}at_0^2$，解得$d=\sqrt{\frac{2U_0e}{m}}t_0$，$a=\sqrt{\frac{eU_0}{2m}}\cdot\frac{1}{t_0}$

（3）设t_x时刻进入偏转电场的电子，会从中线上方$\frac{d}{6}$处飞出偏转电场，

由运动公式可得$\frac{d}{6}=\frac{1}{2}a(t_0-t_x)^2\times2-\frac{1}{2}at_x^{\ 2}\times2$，解得$t_x=\frac{t_0}{3}$

所以在$t=2nt_0+\frac{t_0}{3}(n=0,1,2,3...)$时刻进入偏转电场的电子，会从中线上方$\frac{d}{6}$飞出偏转电场；

同理可得在$t=2nt_0-\frac{t_0}{3}(n=0,1,2,3...)$时刻进入偏转电场的电子，也会从中线上方$\frac{d}{6}$飞出偏转电场。

（4）从$\frac{3}{2}t_0-2t_0$内对电子分析$mg+\frac{eU_0}{d}=d'm$，解得$a'=\frac{4eU_0}{3dm}$

这段时间竖直方向上位移为$y_1=\frac{1}{2}a'\left(\frac{t_0}{2}\right)^2=\frac{eU_0t_0^2}{6dm}$，这段时间末速度为$v_1=a'\frac{t_0}{2}=\frac{2eU_0t_0}{3dm}$

从$2t_0-3t_0$内对电子分析$mg-\frac{eU_0}{d}=a''m$，解得$a''=-\frac{2eU_0}{3dm}$

这段时间竖直方向上位移为$y_2=v_1t_0+\frac{1}{2}a''t_0^2=\frac{eU_0t_0^2}{3dm}$，这段时间末速度为$v_2=v_1+a''t_0=0$

同理$3t_0-\frac{7}{2}t_0$内电子竖直方向上位移也为$y_3=y_1=\frac{eU_0t_0^2}{6dm}$

则$t=\frac{3}{2}t_0$时射入偏转电场的电子离开偏转电场时距两板间中线的距离为$y=y_1+y_2+y_3=\frac{2eU_0t_0^2}{3dm}=\frac{t_0}{3}\cdot\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$

7. (1)$E_1=\frac{mv_0^2}{qd}$；(2)$y_Q=d$，$Q=\frac{8mdv_0^2}{kq}$；(3)$\left(2\sqrt{2}+1\right)\frac{d}{v_0}$

【详解】（1）离子在第三象限做类平抛运动，则有$qE_1=ma_1$

竖直方向有$y=\frac{1}{2}a_1t^2=\frac{3}{2}d$，水平方向有$x=v_0t=\sqrt{3}d$，解得$E_1=\frac{mv_0^2}{qd}$

（2）离子在第三象限完成类平抛运动时，速度的偏转角为θ。有$\tan\theta=\frac{a_1t}{v_0}$，解得$\theta=60°$

离子在第二象限做匀速圆周运动，半径为r，由几何关系得$r=2d$，负点电荷的位置为$y_Q=r\cos\theta=d$

离子在第二象限做匀速圆周运动，速度为v，有$v=\frac{v_0}{\cos\theta}=2v_0$

离子在第二象限做匀速圆周运动，静电力充当向心力，有$\frac{kQq}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$，解得$Q=\frac{8mdv_0^2}{kq}$

（3）离子到y轴正半轴时距坐标原点$3d$，第1、4象限加速度大小$a=\frac{qE_2}{m}=\frac{2v_0^2}{d}$

以向下为正方向，作出离子运动的$v-t$图像。如图所示

①在$0-\frac{T}{3}$，离子向上位移$y_0=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{8}d$，其速度为$v_1=at=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$

②在$0-\frac{4T}{3}$，离子竖直方向的总位移为0，之后竖直方向一直沿着y轴负半轴运动；

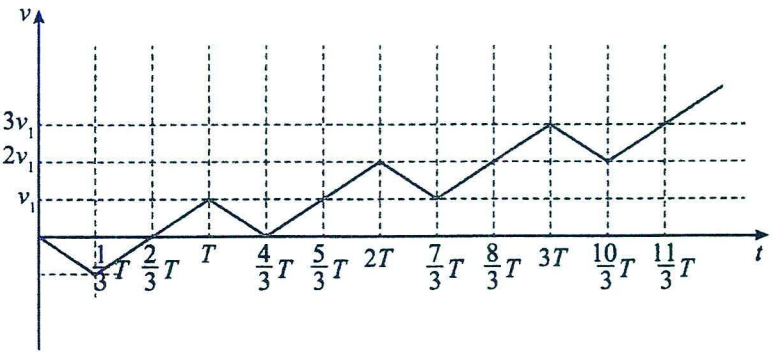
③在$\frac{4T}{3}-\frac{7T}{3}$，其位移有$y_1=(1+3+3)y_0=\frac{7}{8}d$

④在$\frac{7T}{3}-\frac{10T}{3}$，其位移有$y_2=(3+5+5)y_0=\frac{13}{8}d$

在$0-\frac{10T}{3}$，竖直向下总位移为$\frac{5d}{2}$；

⑤还剩下$\frac{d}{2}$，则接下来$\frac{10T}{3}-\frac{11T}{3}$，

其位移为$y_3=5y_0=\frac{5}{8}d>\frac{1}{2}d$



说明离子在此期间穿过x轴，设$\frac{10T}{3}$后经过t到达x轴，有$\frac{1}{2}d=2v_1t+\frac{1}{2}at^2$，解得$t=\frac{(2-\sqrt{2})d}{2v_0}$

从y轴正半轴到x轴的时间$t_{总}=\frac{10}{3}T+t=(2\sqrt{2}+1)\frac{d}{v_0}$

第四讲：电路

考点一：电源与电流

题型一：概念辨析

【精选例题】：B　　C　　C　　C　　AB

【例 1】B

【详解】A．电流虽然既有大小，又有方向，但电流的合成遵循的是算术运算法则，而不是矢量合成的平行四边形定则或三角形定则，因此电流是标量，A 错误；

B．根据电流的计算公式 $I=\frac{q}{t}$ 可知，单位时间内通过导体横截面的电荷量越多， 电流就越大，B 正确；

C．规定正电荷定向移动的方向为电流方向，那么，负电荷定向移动的方向跟电流方向相反，而金属导体中，定向移动的是自由电子，自由电子带负电，故电流方向与自由电子定向移动的方向相反，C 错误；

D．根据 I=nevS 可知，电流的大小不单单与自由电荷定向移动的速率有关，还与单位体积自由电荷的数量、导体的横截面等因素有关，D 错误。

故选 B。

【例 2】C

【详解】A．电源外部电流的方向从电源正极流向电源负极，所以电源外部电流的方向从高电势点流向低电势点，电源内部，电流由负极流向正极，方向从低电势点流向高电势点，故 A 错误；

B．正电荷的运动方向与其形成的电流方向相同，负电荷的运动方向与其形成的电流方向相反，故 B 错误；

C．电流既有大小又有方向，但电流合成与分解时，不满足平行四边形定则，因此电流为标量，故 C 正确；

D．$I=\frac{q}{t}$ 是电流定义式，电流与通过导体横截面的电荷量无关，故 D 错误。

故选 C。

【例 3】C

【详解】根据电流的定义式，播放视频时产生的电流 $I=\frac{q}{t}=\frac{7000\text{mA}\cdot\text{h}}{20\text{h}}=350\text{mA}$，故选 C。

【例 4】C

【详解】AB．电流的方向与正离子定向移动方向相同，与负离子定向移动方向相反，所以正离子定向移动形成电流，方向从 A 到 B，负离子定向移动形成电流方向也从 A 到 B，不会相互抵消，故 AB 错误；

CD．溶液内电流方向从 A 到 B，2 s 时间内通过溶液截面的电荷量 $q=n_1e+n_2e=(n_1+n_2)e$

则根据电流的定义式 $I=\frac{q}{t}=\frac{(n_1+n_2)e}{t}=\frac{2\times1\times10^{18}\times1.6\times10^{-19}}{2}\text{A}=0.16\text{A}$，故 C 正确，D 错误。故选 C。

【例 5】AB

【详解】截取圆环的任一横截面，在橡胶圆环运动一周的时间 T 内，通过这个横截面的电荷量为 Q，根据电流的定义式，有 $I=\frac{q}{t}=\frac{Q}{T}$，又有 $T=\frac{2\pi}{\omega}$，联立可得 $I=\frac{Q\omega}{2\pi}$

可知电流的大小只与 Q 和ω有关。所以当ω不变而使电荷量 Q 变为原来的 2 倍时，电流将变为原来的 2 倍；当电荷量 Q 不变而使ω变为原来的 2 倍，电流也将变为原来的 2 倍；当ω、Q 不变，将橡胶环半径增大或减小时，电流则保持不变。

故选 AB。

【跟踪训练】：AC　　C　　D　　A

1．AC

【详解】A．电流的强弱程度用电流这个物理量表示，电流越大，单位时间内通过导体横截面积的电荷量越多，故 A 正确；

B．恒定电流指大小、方向都不随时间变化的电流，故 B 错误；

C．恒定电场是指由稳定分布的电荷所产生的稳定的电场，其电荷分布和电场强度不随时间变化，故 C 正确；

D．恒定电场中的电荷分布、电场强度不随时间变化，与静电荷产生的电场规律一致，静电场中的电势、电势差、电场强度等关系，在恒定电场依然适用，故 D 错误。

故选 AC。

2．C

【详解】A．电路接通后，瞬间产生电场，电荷在电场力作用下定向移动形成电流，电子定向移动的速度是很小的，不是以接近光速的速度运动到电器，故 A 错误；

B．外电路中的电子在电场力作用下运动，是逆着电场线方向运动，故向电势高的地方，故 B 错误；

C．根据电流决定式 $I=\frac{U}{R}$ 可知通过导体的电流与导体两端的电压成正比，与导体的电阻成反比，故 C 正确；

D．电流虽然有大小有方向，但电流加减满足代数法则，故为标量，故 D 错误；

故选 C。

3．D

【详解】电解池中，会有等量的正、负离子经过截面，根据 $I=\frac{q}{t}$ 可知电路中的电流大小是 6A，则在 1s 的时间内，共有 3C 的正离子和 3C 的负离子通过截面 xy。

故选 D。

4．A

【详解】根据题意原子核对电子的库伦力提供向心力，由牛顿第二运动定律及库伦定律得 $k\frac{e^2}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$

解得 $T=\frac{2\pi r}{e}\sqrt{\frac{mr}{k}}$；根据电流的定义得 $I=\frac{Q}{t}=\frac{e}{T}$，代入得 $I=\frac{e^2}{2\pi r}\sqrt{\frac{k}{mr}}$

故选 A。

题型二：电流的微观表达式

【精选例题】：BC　　D　　A　　B

【例 1】BC

【详解】在 Δt 时间内，通过导体横截面的自由电子数目 $N=v\Delta tSn$，或者 $N=\frac{q}{e}=\frac{I\Delta t}{e}$

故选 BC。

【例 2】D

【详解】单位体积的电子数为 $N=\frac{n}{V}=\frac{n}{\frac{m}{\rho}}=\frac{n\rho}{m}$

根据 $I=NeSv$，可得电子定向移动的平均速率为 $v=\frac{I}{NeS}=\frac{mI}{n\rho eS}$，故选 D。

【例 3】A

【详解】A．根据电流的定义式有$q=It$，则 t 时间内通过导体某个横截面的电子数$N=\frac{It}{e}$，故 A 正确；

BD．一小段时间Δt内，流过导线横截面的电子个数为$N=nSv\Delta t$，电荷量为$Q=Ne=nSve\Delta t$

根据电流的定义有$I=\frac{Q}{\Delta t}=nSve$，解得$v=\frac{I}{neS}$，故 BD 错误；

C．自由电子热运动的速率是无规则的，故 C 错误；

故选 A。

【例 4】B

【详解】因为金属棒中单位长度的自由电子数为 n，所以金属棒中电荷量为$q=neL$

全部通过某一横截面所用时间为$t=\frac{L}{v}$，根据电流的定义式，得$I=\frac{q}{t}=\frac{neL}{\frac{L}{v}}=nev$，故选 B。

【跟踪训练】：C　　BCD　　B　　CD

1．C

【详解】根据电流的微观表达式$I=neSv$，可得该铜线中自由电子定向移动的平均速率为$v=\frac{I}{neS}\approx 2.9\times10^{-4}\text{m/s}$

故选 C。

2．BCD

【详解】根据电流定义式可得$I=\frac{q}{t}=\frac{n_3e\cdot t}{t}=n_3e$，根据电流微观表达式可得$I=n_2eSv$

根据电流定义式可得$I=\frac{q}{t}=\frac{n_1e\cdot vt}{t}=n_1ev$，故选 BCD。

3．B

【详解】A．单位体积的导电的电子数为$N=\frac{\rho}{M}\times N_A=\frac{\rho N_A}{M}$，故 A 错误；

B．单位质量的导电的电子数为$N_1=\frac{1}{M}\times N_A=\frac{N_A}{M}$，故 B 正确；

CD．设自由电子定向移动的速率为 v，根据 I=NeSv，可知$v=\frac{I}{NeS}=\frac{IM}{\rho SN_Ae}$，故 CD 错误。

故选 B。

4．CD

【详解】A．电流是由自由电子定向移动形成的，与自由电子做无规则热运动的速率无关，故 A 错误；

BD．由电流的微观表达式可得，t时间内通过的电荷量为$q=nvte$，由电流的定义式可知$I=\frac{q}{t}=nev$

可得自由电子定向移动的速率为$v=\frac{I}{ne}$，故 B 错误，D 正确；

C．电场在真空中传播的速率与电磁波在真空中传播的速率相同，等于光速 c，故 C 正确。

故选 CD。

考点二：电阻

题型一：影响电阻的因素

【精选例题】：CD

【例 1】CD

【详解】A．图示所用电路为“限流式”电路，没有电表，无法测量电阻，故 A 错误；

BD．根据电阻定律有 $R=\rho\frac{L}{S}$，则如果横截面积最大的电阻丝为 c，那么 c 的阻值最小，若三根电阻丝的材料相同，则长度最大、横截面积最小的电阻丝 b 的阻值最大，故 B 错误，D 正确；

C．电阻的影响因素较多，实验运用控制变量法探究电阻的影响因素，故 C 正确；

故选 CD。

【跟踪训练】：D　　C

1．D

【详解】

A．本实验控制一些物理量不变，研究其他物理量之间的关系，应用了控制变量法，故 A 错误；

B．如果 a、b 的长度不同，根据 $R=\frac{\rho L}{S}$ 可知，电阻与长度成正比，由 $U=IR$ 可知，电压与长度成正比，故 B 错；

C．根据电阻定律 $R=\frac{\rho L}{S}$ 可知截面积不同，导线超粗电阻越小，结合 $U=IR$ 可知电压与截面积成反比，故 C 错；

D．由于电阻为串联关系，所以无论如何改变滑片位置，电流都是相等的，则由 $U=IR$ 可知，电压之比不会发生变化，故 D 正确。

故选 D。

2．C

【详解】电路为串联电路，通过 a、b、c 的电流相等．设 a 的长度为 L，横截面积为 S，因为 R=$\frac{U}{I}$

所以 $\frac{R_a}{R_b}=\frac{U_1}{U_2}=1$；而 $R=\rho\frac{l}{S}$，即 $\frac{\rho_a\frac{L}{S}}{\rho_b\frac{L}{2S}}=1$，解得ρb=2ρa，同理 $\frac{R_a}{R_c}=\frac{U_1}{U_3}=\frac{1}{2}$，所以 $\frac{\rho_a\frac{L}{S}}{\rho_c\frac{2L}{S}}=\frac{1}{2}$，解得ρa=ρc

由上述可知ρb=2ρc，故 C 正确，ABD 错误。

题型二：电阻定律

【精选例题】：A　　A　　C

【例 1】A

【详解】①式为电流的定义式，采用比值定义法；②式为欧姆定律；③式为电阻的定义式，采用比值定义法；④式为电阻定律；⑤式为电容的定义式，采用比值定义法；⑥式为电容的决定式，所以采用比值定义法的是①③⑤。

故选 A。

【例 2】A

【详解】由题可知 $R=\rho\frac{L}{S}=10\Omega$，导线截去 $\frac{3}{4}$，再拉长至 3m，电阻率和长度不变，横截面积变为原来的 $\frac{1}{4}$，由电阻定律可知导线的电阻变为 $R'=4\rho\frac{L}{S}=40\Omega$，故选 A。

【例 3】C

【详解】AB．根据电阻定律可知$R=\rho\frac{l}{S}$，得$\rho=\frac{RS}{l}$，故电流沿 AB 方向时有$\rho=\frac{Rbc}{a}$，AB 错误；

CD．若电流沿 CD 方向，样品的电阻$R'=\rho\frac{b}{ac}=\frac{b^2}{a^2}R$，C 正确，D 错误。故选 C。

【跟踪训练】：D　　D　　C

1．D

【详解】导体的电阻由导体本身决定，与加在其两端的电压及通过它的电流无关，即无论导体两端的电压何电流变为多少，电阻也不变。

故选 D。

2．D

【详解】由电阻定律$R=\rho\frac{L}{S}$可知，金属棒拉长为原来 2 倍，横截面积为原来的$\frac{1}{2}$，电阻率不变，电阻为原来 4 倍。故选 D。

3．C

【详解】由电阻公式$R=\rho\frac{l}{S}$，则当长方体以AB端接入电路时，电阻为$R_{AB}=\rho\frac{a}{bc}=\frac{3\rho}{2c}$

当长方体以CD端接入电路时，电阻为$R_{CD}=\rho\frac{c}{ab}=\frac{\rho}{6c}$，当长方体以$EF$端接入电路时，电阻为$R_{EF}=\rho\frac{b}{ac}=\frac{2\rho}{3c}$

其电阻比$R_{AB}:R_{CD}:R_{EF}=9:1:4$。故选 C。

题型三：电阻率

【精选例题】：C　　BD

【例 1】C

【详解】A．电阻是导体对电流的阻碍作用，是导体本身的一种特性，其大小与导体的材料、长度、横截面积、温度有关，与导体中有无电流没有关系。故 A 错误；

BC．导体的电阻率是由导体材料本身和温度决定的，与导体的长度和横截面积没有关系，电阻率是表征材料导电能力强弱的物理量。故 B 错误；C 正确；

D．根据电阻定律$R=\rho\frac{L}{S}$，可知将一根导线截去一半，则半根导线的电阻变为原来的一半，而导体的电阻率与导体的材料，温度有关，与其他因素无关，所以电阻率不变。故 D 错误。

故选 C。

【例 2】BD

【详解】A．电阻率是表征材料导电性的物理量，电阻率越大，则电阻越大，导电性能越差；A 错误；

B．各种材料的电阻率都与温度有关，金属导体的电阻率随温度升高而增大．B 正确；

C．材料的电阻率越大，导体的电阻不一定越大，C 错误；

D．有些合金的电阻率几乎不受温度的影响，通常用它们制成标准的电阻，D 正确。

故选 BD。

【跟踪训练】：AB　　D

1．AB

【详解】A．材料的电导率越小，电阻率越大，其导电性能越弱，A 错误；

B．材料的电阻率与材料的形状无关，材料的电导率与材料的形状也无关，B 错误；

C．根据$R=\rho\frac{l}{S}$，得$\rho=\frac{RS}{l}$，又$\sigma=\frac{1}{\rho}$，得$\sigma=\frac{l}{RS}$，则电导率的单位是$\frac{\mathrm{m}}{\Omega\cdot\mathrm{m}^2}=\frac{1}{\Omega\cdot\mathrm{m}}$，C 正确；

D．电导率大小与温度有关，D 正确。

选不正确的，故选 AB。

2．D

【详解】A．导体对电流的阻碍作用叫作导体的电阻，导体的电阻与导体中有无电流无关，选项 A 错误；

B．将一根导线一分为二，则半根导线的电阻是原来的二分之一，电阻率由导体材料决定，则电阻率不变，选项 B 错误；

C．电阻率由导体材料决定，与导体的横截面积以及导体的长度无关，选项 C 错误；

D．导体的电阻$R=\rho\frac{L}{S}$，则电阻率越大的导体，电阻不一定越大，选项 D 正确。

故选 D。

题型四：简单计算

【精选例题】：D　　C　　C　　C

【例 1】D

【详解】AB．金属棒的电阻$R=\rho\frac{l}{S}$，故 AB 错误；

C．由微观电流表达式得通过金属棒的电流为 I=nevS，故 C 错误；

D．金属棒两端的电压$U=IR=neSv\rho\frac{l}{S}=nev\rho l$，故 D 正确。故选 D。

【例 2】C

【详解】A．同种材料制成的导体，电阻率相同，故电阻率之比应为1:1，A 错误；

B．设R_1导体的边长为 2a，R_2导体的边长为 a，厚度均为 d，根据电阻的公式可得

$R_1=\rho\frac{2a}{2a\cdot d}=\frac{\rho}{d}$，$R_2=\rho\frac{a}{a\cdot d}=\frac{\rho}{d}$，故电阻之比为1:1，B 错误；

C．在串联电路中，电压之比就等于电阻之比，根据上述分析可知，两电阻两端的电压之比为1:1，C 正确；

D．在并联电路中，电流之比等于电阻的倒数之比，由于电阻相等，故电流之比为1:1，D 错误。故选 C。

【例 3】C

【详解】A．流过 A 的电流为$I=\frac{q}{t}=\frac{5\times10^{18}\times1.6\times10^{-19}}{5}\mathrm{A}=0.16\mathrm{A}$，故 A 正确，不符合题意；

B．根据电阻定律$R_\mathrm{A}=\frac{\rho l}{S_\mathrm{A}}$，$R_\mathrm{B}=\frac{\rho l}{S_\mathrm{B}}$，可得$\frac{R_\mathrm{A}}{R_\mathrm{B}}=\frac{S_\mathrm{B}}{S_\mathrm{A}}=\frac{2}{1}$，故 B 正确，不符合题意；

C．因两段串联，通过两棒的电流相等，所以在相等时间内通过每段导线横截面的电荷量是相等的，故 C 错误，符合题意；

D．因两段串联，通过两棒的电流相等，又$I=neSv$，则有$\frac{v_\mathrm{A}}{v_\mathrm{B}}=\frac{S_\mathrm{B}}{S_\mathrm{A}}=\frac{2}{1}$，故 D 正确，不符合题意。故选 C。

【例 4】C

【详解】AB．由欧姆定律$R=\frac{U}{I}$，根据电阻定律，可得$R=\rho\frac{a}{ah}+\rho\frac{b}{bh}$，联立，解得$\rho=\frac{Uh}{2I}$，故 AB 错误；

CD．根据$I=neSv$，又$S_{大圆柱体}=ah>S_{小圆柱体}=bh$，可得$v_{大圆柱体}<v_{小圆柱体}$，故 C 正确；D 错误。故选 C。

【跟踪训练】：C　　B　　D　　A

1．C

【详解】由电流的微观表达式得，导体中的电流为$I=neSv$，由电阻定律得，导体的电阻为$R=\rho\frac{L}{S}$

根据欧姆定律得$U=IR$，联立解得$U=\rho nevL$。故选 C。

2．B

【详解】A．由于导线 A 和 B 串联在电路中，则 A 和 B 导线中的电流之比为1:1，故 A 错误；

B．由题图可知导线 A 两端电压和导线 B 两端电压分别为$U_A=10V-4V=6V$，$U_B=4V-0=4V$

则 A 和 B 导线两端的电压之比为$U_A:U_B=6:4=3:2$，故 B 正确；

C．根据$R=\frac{U}{I}$，可得 A 和 B 导线的电阻之比为$R_A:R_B=U_A:U_B=3:2$

根据$R=\rho\frac{L}{S}$，可得$S=\frac{\rho L}{R}$，则 A 和 B 导线的横截面积之比为$S_A:S_B=\frac{L}{R_A}:\frac{2L}{R_B}=1:3$，故 C 错误；

D．根据电流微观表达式$I=neSv$，可得 A 和 B 导线中自由电荷定向移动的平均速率之比为$v_A:v_B=S_B:S_A=3:1$

故 D 错误。故选 B。

3．D

【详解】A．根据题意，由电阻定律$R=\rho\frac{l}{S}$可得，R_1、R_2的电阻之比为$\frac{R_1}{R_2}=\frac{\rho a}{ad_1}:\frac{\rho b}{bd_2}=\frac{d_2}{d_1}$，故 A 错误；

B．两个电阻串联，则通过R_1、R_2的电流之比为 1:1，故 B 错误；

CD．根据题意，由欧姆定律可得，R_1、R_2两端的电压之比为$\frac{U_1}{U_2}=\frac{IR_1}{IR_2}=\frac{d_2}{d_1}$，故 C 错误，D 正确。故选 D。

4．A

【详解】A．在导体两端加上电压 U，导体内的匀强电场场强为$E=\frac{U}{l}$，故 A 错误符合题意；

B．由欧姆定律得导体的电阻为$R=\frac{U}{I}$，故 B 正确不符合题意；

C．根据题意知，电子受到电场力和碰撞的阻力平衡时，导体中形成了恒定电流，即$f_{阻}=F_{电}$

又$f_{阻}=kv$，$F_{电}=Ee=\frac{U}{l}e$，由欧姆定律知$U=IR$，电流微观表达式$I=nevS$，联立以上式子求得$R=\frac{kl}{ne^2S}$

故 C 正确不符合题意；

D．根据$R=\rho\frac{l}{S}$，导体的电阻率$\rho=\frac{RS}{l}=\frac{US}{Il}$，故 D 正确不符合题意。

故选 A。

考点三：部分电路欧姆定律

题型一：电阻的 U-I 线

【精选例题】：CD　　C　　A　　A

【例 1】CD

【详解】AB．根据电阻定律 $R=\rho\frac{L}{S}$，导体电阻的大小，取决于导体的长度、横截面积和导体的电阻率，而与流过导体的电流、导体两端的电压大小无关，故 AB 错误；

CD．根据欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$，可得，电压一定时，导体的电流与电阻成反比；对某一导体来说，通过导体的电流与导体两端的电压成正比，故 CD 正确。故选 CD。

【例 2】C

【详解】AB．电解液的电阻为 $R=\frac{U}{I}=\frac{10}{5\times10^{-3}}\Omega=2000\Omega$，故 AB 错误；

CD．根据 $R=\rho\frac{L}{S}=\rho\frac{c}{ab}$，解得 $\rho=160\Omega\cdot\mathrm{m}$，故 C 正确；D 错误。故选 C。

【例 3】A

【详解】AB．伏安特性曲线的斜率的倒数表示电阻，由图像可得 $R=\frac{\Delta U}{\Delta I}=\frac{10}{5}\Omega=2\Omega$，故 A 正确，B 错误；

C．由于横纵坐标的标度不同，不能根据夹角的正切值求解电阻，故 C 错误；

D．在 R 两端加上 6V 的电压时，电流 $I=\frac{U}{R}=\frac{6}{2}\mathrm{A}=3\mathrm{A}$

根据电流的定义式得，每秒通过电阻横截面的电荷量是 $q=It=3\times1\mathrm{C}=3\mathrm{C}$，故 D 错误。故选 A。

【例 4】A

【详解】A．两线的交点处，U 和 I 相等，此时电阻 $R=\frac{U}{I}$ 也相等，故 A 正确；

BCD．因为 A 元件的伏安特性曲线是直线，所以 A 是线性元件，其斜率的倒数等于其电阻，但因为横纵坐标轴标度不一定相同，则斜率不能用倾角的正切值求解，A 元件的电阻值不随电压变化而变化；因为 B 元件的伏安特性曲线是弯曲的曲线，所以导体 B 是非线性元件，各点与原点的连线的斜率表示电阻的倒数，不是某点切线的斜率表示电阻的倒数，B 的电阻值随电压的增大而减小。故 BCD 错误。故选 A。

【跟踪训练】：B　　CD　　C　　D

1．B

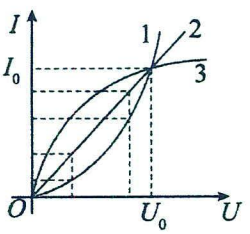
【详解】根据欧姆定律可知 $R=\frac{U}{I}=\frac{a}{b}$，与该点切线的斜率无关。故选 B。

2．CD

【详解】A．表示元件 1 的曲线反应的特征是，随着电压、电流的增大，电阻逐渐减小，说明该元件是半导体元件。故 A 错误；

B．元件 2 是线性元件，其阻值等于 I-U 图像中图线斜率的倒数。故 B 错误；

C．根据 I-U 图像中图线上某点与原点连线斜率的倒数表示电阻，可知将三个元件串联，通过它们的电流相等，当电路中电流小于 I_0 时，有 $R_1>R_3$，随着电流增大，元件 1 的阻值减小、元件 3 的阻值增大，二者电阻差 $\Delta R=R_1-R_3$ 减小。故 C 正确；



D．将三个元件并联，三个元件的电压相等，当电路两端电压小于 U_0 时，电压从零开始逐渐增大，由图可知，元件 1、2 的电流差先增大，当表示元件 1、2 的图线与原点连线斜率相等时，达到最大，然后减小。故 D 正确。故选 CD。

3．C

【详解】A．根据图线的斜率表示电阻的倒数，可得电阻之比为 $\frac{R_a}{R_b}=\frac{\frac{U_a}{I_a}}{\frac{U_b}{I_b}}=\frac{\frac{4}{2}}{\frac{3}{5}}=\frac{10}{3}$，根据电阻定律 $R=\rho\frac{L}{S}$

其中 $S=\frac{\pi}{4}d^2$，由于长度相同，材料相同，可得电阻丝 a 的直径与 b 直径之比为 $\frac{d_a}{d_b}=\sqrt{\frac{3}{10}}$，故 A 错误；

B．由上可知将 a、b 并联后，其并联电阻小于 Rb，所以图线的斜率最大，其位于 b 的左侧，故 B 错误；

C．将 a、b 串联后接入电路，根据串联电流相等，则电阻两端的电压与电阻成正比，所以有 $U_a:U_b=R_a:R_b=10:3$

故 C 正确；

D．将 a、b 并联后接入电路，根据并联电压相等，则通过 a、b 的电流大小与电阻成反比，通过 a、b 的电流之比为 $I_a:I_b=R_b:R_a=3:10$，故 D 错误。故选 C。

4．D

【详解】ABC．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=1V 时，b 的电阻为 $R_b=\frac{U_1}{I_1}=2.5\Omega<5\Omega$，故 ABC 错误；

D．U=3V 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。故选 D。

考点四：电阻的串并联

题型一：串并联电路中电阻的关系

【精选例题】：AC　　C

【例 1】AC

【详解】A．根据电阻定律 $R=\rho\frac{L}{S}$，它们的电阻之比为 $\frac{R_A}{R_B}=\frac{\rho\frac{L}{\frac{\pi d_1^2}{4}}}{\rho\frac{L}{\frac{\pi d_2^2}{4}}}=\frac{1}{4}$，故 A 正确；

B．串联电路各处电流相等，它们的电流之比为 1:1，故 B 错误；

C．它们两端的电势差之比为 $\frac{U_A}{U_B}=\frac{IR_A}{IR_B}=\frac{1}{4}$，故 C 正确；

D．根据 $I=nqSv$，得 $nq(\frac{1}{4}\pi d_1^2)v_1=nq(\frac{1}{4}\pi d_2^2)v_2$，解得 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{1}{4}$

它们的电子移动速率之比为 1:4，故 D 错误；故选 AC。

【例 2】C

【详解】图（a）可以视为两个$\frac{1}{4}$圆导体并联，图（b）可以视为两个$\frac{1}{4}$圆导体串联，设$\frac{1}{4}$圆导体电阻为 R，

则$R_a=\frac{R^2}{R+R}=\frac{1}{2}R$，Rb=R+R=2R，所以$R_a$：$R_b=1:4$，故选 C。

【跟踪训练】：D　　AD

1．D

【详解】A．根据电阻定律，可得$R_A=\rho\frac{L}{S}$，$R_B=\rho\frac{2L}{4S}=\frac{1}{2}\rho\frac{L}{S}$，故 A 错误；

B．根据并联电路电压相等，可得$I_A=\frac{U}{R_A}=\frac{US}{\rho L}$，$I_B=\frac{U}{R_B}=\frac{2US}{\rho L}$，故 B 错误；

C．c、d间的电阻为$R=\frac{1}{\frac{1}{R_A}+\frac{1}{R_B}}=\frac{1}{3}\rho\frac{L}{S}$，故 C 错误；

D．根据$I_A=ne\cdot Sv_A$，$I_B=ne\cdot 4Sv_B$，联立，解得v_A：$v_B=2:1$，故 D 正确。

故选 D。

2．AD

【详解】A．图丙的等效电阻为$R_{丙}=R_3+\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}=30\Omega$，图丁的等效电阻为$R_{丁}=\frac{(R_1+R_2)R_3}{(R_1+R_2)+R_3}=\frac{40}{3}\Omega$

故 A 错误，符合题意；

B．由于R_3分别在图甲、图丙中干路上，且R_3允许通过的电流最大为 1A，即图甲和图丙中干路最大电流相等，

故 B 正确，不符合题意；

C．先根据$U=IR$，计算出各元件的额定电压U_1=40V，U_2=30V，U_3=20V

图乙分析：三个电阻最小的额定电压为 20V，20V 就是并联电路允许加的最大电压值，即U_{max}=20V 电路允许通

过的最大总电流$I_{max甲}=\frac{U_{max}}{R_1}+\frac{U_{max}}{R_2}+\frac{U_{max}}{R_3}=3A$

图丁分析：并联电路允许加的最大电压值为 20V，即U_{max}=20V 电路允许通过的最大总电流

$I_{max丁}=\frac{U_{max}}{R_1+R_2}+\frac{U_{max}}{R_3}=1.5A$

图乙干路最大电流为 3A，图丁干路最大电流为 1.5A，则图乙和图丁干路最大电流之比为 2:1，故 C 正确，不符合题意；

D．图甲的最大电压为$U_1=I_3(R_1+R_2+R_3)=60V$，图乙的最大电压为$U_2=20V$

图丙的最大电压为$U_3=I_3R_{丙}=30V$，图丁的最大电压为$U_4=20V$

则个电路两端最大电压之比为 6:2:3:2，故 D 错误，符合题意。

故选 AD。

题型二：串并联电路中综合计算

【精选例题】：BC　　AB　　C

【例 1】BC

【详解】AB．串联电路中的电流处处相等，根据欧姆定律可得电路中的电流 $I=\frac{U_1}{R_1}=\frac{6}{10}\text{A}=0.6\text{A}$，A 错误，B 正确；

C．电阻 R_2 的阻值为 $R_2=\frac{U_2}{I}=\frac{12}{0.6}\Omega=20\Omega$，C 正确；

D．电阻 R_3 两端的电压 $U_3=IR_3=0.6\times5\text{V}=3\text{V}$，三只电阻两端的总电压为 $U=U_1+U_2+U_3=(6+12+3)\text{ V}=21\text{V}$ D 错误。故选 BC。

【例 2】AB

【详解】A．R_2 与 R_3 并联的电阻为 $R_{23}=\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}=3\Omega$，故 M、N 间的总电阻为 $R=R_1+R_{23}+R_4=12\Omega$，A 正确；

B．由图可知，R_1 与 R_4 串联，电流相等，则电压与电阻成正比，即 4∶5，故 B 正确；

C．R_2 与 R_3 并联，电压相等，则电流与电阻成反比，即 1：3，故 C 错误；

D．设流过干路的电流为 I，由 C 项分析，可知流过 R_2 的电流为 $\frac{I}{4}$，根据 R_1 和 R_2 两端的电压比为 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{4I}{12\times\frac{I}{4}}=\frac{4}{3}$ 故 D 错误。故选 AB。

【例 3】C

【详解】A．R_1、R_2 和 R_3 并联的电阻值为 $\frac{1}{R_{123}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$，解得 $R_{123}=1.5\Omega$

再和 R_4 串联，总电阻为 $R_{1234}=R_{123}+R_4=4.5\Omega$，故 A 错误；

B．R_1 和 R_2 并联，两端的电压比为 1∶1，故 B 错误；

C．R_2 和 R_3 并联，两端的电压相等，流过两电阻的电流与电阻成反比，

即流过 R_2 和 R_3 的电流比为 $I_2:I_3=R_3:R_2=1:2$，故 C 正确；

D．R_{123} 和 R_4 串联，电流相等，则电压与电阻值成正比，又 R_{123} 两端的电压，所以 R_1 和 R_4 两端的电压比为 $U_1:U_4=U_{123}:U_4=R_{123}:R_4=1:2$，故 D 错误。故选 C。

【跟踪训练】：D　　D　　BC

1．D

【详解】由于三个电阻阻值相同，且 R_1、R_2 允许的最大电压相同，结合电路的连接方式可知，当电路的电压最大时，R_1 两端的电压为 5V，R_2、R_3 并联，电压相等，二者的总电流等于流过 R_1 的电流，则 $\frac{5}{R}=2\frac{U}{R}$，解得 $U=2.5\text{V}$ 电路中允许的最大电压为 $U_\text{m}=U+5\text{V}=7.5\text{V}$，故选 D。

2．D

【详解】AB．因为理想电压表内阻无穷大，所以 CD 端接理想电压表时，R_3相当于导线，所以当 AB 端接电源时，电路的总电阻为$R=R_1+\dfrac{(R_2+R_5)\cdot R_4}{(R_2+R_5)+R_4}=1.5\Omega+4.5\Omega=6\Omega$

所以 CD 两端电压即为电阻R_5两端电压，所以电压表示数为$U=\dfrac{2}{3}\times\dfrac{3}{4}E=6\text{V}$，故 AB 错误；

CD．同理当 AB 端接理想电压表时，R_1相当于导线，所以当 CD 端接电源时，电路总电阻为$R'=R_3+\dfrac{(R_2+R_4)\cdot R_5}{(R_2+R_4)+R_5}=4\Omega+4\Omega=8\Omega$

所以 AB 两端电压即为电阻R_4两端电压，所以电压表示数为$U'=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{3}{4}E=4.5\text{V}$，故 C 错误，D 正确。故选 D。

3．BC

【详解】A B．MN间的电路为R_3与R_2串联再与R_1并联，故$R_3=10\Omega$时MN间阻值最大，最大值为$R_{MN\max}=\dfrac{(R_3+R_2)R_1}{R_3+R_2+R_1}=\dfrac{(10+2)\times6}{10+2+6}\Omega=4\Omega$；

$R_3=0$时MN间阻值最小，最小值为$R_{MN\min}=\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}=\dfrac{6\times2}{6+2}\Omega=1.5\Omega$

CD．PQ间的电路为R_1与R_2串联再与R_3并联，故$R_3=10\Omega$时PQ间阻值最大，最大值为$R_{PQ\max}=\dfrac{(R_1+R_2)R_3}{R_1+R_2+R_3}=\dfrac{(6+2)\times10}{6+2+10}\Omega=\dfrac{40}{9}\Omega$；

$R_3=0$时PQ间阻值最小，此时R_1与R_2被短路，最小值为$R_{MN\min}=0$。故选 BC。

题型三：补充：

【精选例题】：A　　B　　BC　　A　　A

【例 1】A

【详解】S 闭合前，有$U=I_1(R_1+R_2)$，S 闭合后，有$U=I_2R_1$，联立可得$\dfrac{I_1}{I_2}=\dfrac{1}{3}$，故选 A。

【例 2】B

【详解】根据串、并联电路电流关系，可知$I_1=I_4=I_2+I_3$，$I_2R_{L_2}=I_3R_{L_3}$

联立，解得 $I_1:I_2:I_3:I_4=3:2:1:3$，故选 B。

【例 3】BC

【详解】AB．通过 R_2 的电流为$I_2=I-I_1=1\text{A}$

设 R_1 和 R_2 左边电路分支点的电势为φ，则 a、b 两点的电势分别为$\varphi_a=\varphi-I_1R_1$，$\varphi_b=\varphi-I_2R_2$；

a、b 两点间的电势差为$U_{ab}=\varphi_a-\varphi_b=-15\text{ V}$，则通过 R_3 的电流为$I_3=\frac{|U_{ab}|}{R_3}=0.5\text{ A}$

因为 a 点电势低于 b 点电势，所以电流方向为 b→a，故 A 错误，B 正确；

CD．I_2 在 b 点发生分流，则通过电流表的电流为$I_A=I_2-I_3=0.5\text{ A}$

方向为从左向右流过电流表，故 C 正确，D 错误。故选 BC。

【例 4】A

【详解】左图中，理想电压表内阻无穷大，相当于断路，R_1和R_2串联，R_3和R_4串联，然后两条支路并联，所以

流过R_1、R_2的电流$I_1=\frac{U}{R_1+R_2}=0.7\text{A}$；流过$R_3$、$R_4$的电流$I_2=\frac{U}{R_3+R_4}=\frac{7}{15}\text{A}$

则R_1两端的电压为$U_1=I_1R_1=2.1\text{V}$；R_3两端的电压为$U_2=I_2R_3=1.4\text{V}$

所以电压表的读数为$U=U_1-U_2=0.7\text{V}$

右图中，R_1和R_3并联，R_2和R_4并联，然后整体串联，所以干路中的电流为$I=\frac{U}{\frac{R_1R_3}{R_1+R_3}+\frac{R_2R_4}{R_2+R_4}}=\frac{4.2}{1.5+2}\text{A}=1.2\text{A}$

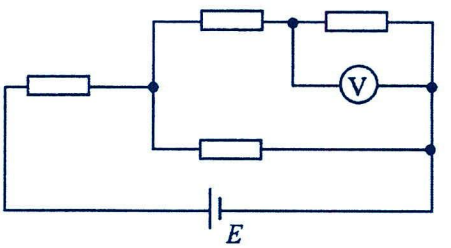
则R_1和R_3两端的电压为$U_3=I\cdot\frac{R_1R_3}{R_1+R_3}=1.8\text{V}$；$R_2$和$R_4$两端的电压为$U_4=I\cdot\frac{R_2R_4}{R_2+R_4}=2.4\text{V}$

流过R_1的电流为$I_3=\frac{U_3}{R_1}=0.6\text{A}$；流过$R_2$的电流为$I_4=\frac{U_4}{R_2}=0.8\text{A}$

所以电流表的读数为$I_A=I_4-I_3=0.2\text{A}$，故选 A。

【例 5】A

【详解】当开关 S 断开时，等效电路图如图所示

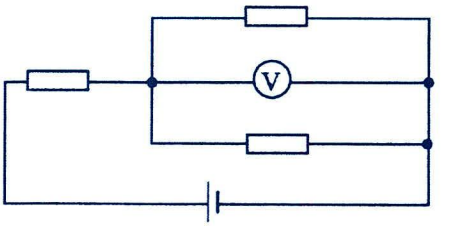


电路总阻值$R_{总}=R+\frac{2R\times R}{2R+R}=\frac{5R}{3}$，则干路电流$I=\frac{E}{R_{总}}$

电压表的示数$U_1=\frac{1}{2}(E-IR)$，解得$U_1=\frac{1}{5}E$

当开关 S 闭合时，等效电路图如图所示

电路总阻值$R_{总}'=R+\frac{R}{2}=\frac{3R}{2}$



则干路电流$I'=\frac{E}{R_{总}'}$

电压表的示数$U_2=(E-I'R)=\frac{1}{3}E$

电压表读数的比值为$\frac{U_1}{U_2}=\frac{3}{5}$，故选 A。

【跟踪训练】：C　　B　　BC　　BD

1．C

【详解】A．并联部分，其等效电阻为$R_{234}=\frac{(R_2+R_3)\times R_4}{(R_2+R_3)+R_4}=2R$，电路中的总电阻为$R_{总}=R_1+R_{234}=3R$，A 错误；

B．根据串联电路电压和电阻成正比可知，并联部分电压为 R_1 的 2 倍，即 $2U_1$，且 $I_1=\frac{U_1}{R}$

通过电阻 R_2 的电流为 $I_2=\frac{2U_1}{R_2+R_3}=\frac{2U_1}{3R}=\frac{2}{3}I_1$，故 B 错误；

C．通过电阻 R_4 的电流为 $I_4=\frac{2U_1}{R_4}=\frac{2U_1}{6R}=\frac{1}{3}I_1$，故 C 正确；

D．根据 B 选项分析可知，电阻 R_4 两端的电压为 $2U_1$，故 D 错误。故选 C。

2．B

【详解】当开关 S 置于位置 1 时，R_1 与 R_0 串联，此时电压表测 R_1 两端电压 $U_1=3\text{V}$

当开关 S 置于位置 2 时，R_2 与 R_0 串联，此时电压表测 R_2 两端电压 U_2，因为 $R_2<R_1$，

根据串联分压可知 $U_2<3\text{V}$

当开关 S 置于位置 1 时，电路中电流 $I_1=\frac{U_1}{R_1}=\frac{3\text{V}}{12\Omega}=\frac{1}{4}\text{A}$，$R_0$ 两端电压 $U_0=I_1R_0=\frac{1}{4}\text{A}\times R_0$

电源电压 $U=U_1+U_0=3\text{V}+\frac{1}{4}\text{A}\times R_0$

当开关 S 置于位置 2 时，此时电压表测 R_2 两端电压，则 $U_2=I_2R_2=\frac{U}{R_0+R_2}\times R_2$

整理得 $U_2=1.5\text{V}+\frac{9}{R_0+6}\text{V}$，因为 $R_0>0$，所以 $U_2>1.5\text{V}$。故选 B。

3．BC

【详解】AC．当并联电路中两支路的阻值相等时，总电阻最大，电流表示数最小，

则有 $R_1+R_a=R_2+R_b$，$R_a+R_b=R_3=5\Omega$，所以电路中的最大电阻为 $R_{\max}=\frac{R_1+R_a}{2}=2\Omega$

由欧姆定律解得电流表示数的最小值为 $I_{\min}=\frac{U}{R_{\max}}=2.5\text{A}$，故 A 错误，C 正确；

BD．当滑片滑到 a 端时总电阻最小 $R_{\min}=\frac{R_1(R_2+R_2)}{R_1+R_2+R_3}=\frac{7}{8}\Omega$，由闭合电路欧姆定律 $I_{\max}=\frac{U}{R_{\min}}=\frac{40}{7}\text{A}$

故 B 正确，D 错误。故选 BC。

4．BD

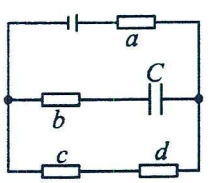
【详解】设定值电阻的阻值均为 R，电源的电动势为 E，当仅闭合开关 K_1 时，等效电路如图甲所示，则电路的

总电阻 $R_1=3R$，电容器两极板间的电压 $U_1=\frac{2R}{3R}E=\frac{2}{3}E$，则电容器所带的电荷量 $q_1=CU_1=\frac{2}{3}EC$

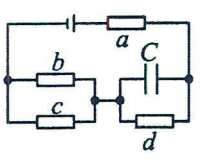
当两个开关 K_1、K_2 均闭合时，等效电路如图乙所示，电路的总电阻 $R_2=2R+\frac{R}{2}=\frac{5}{2}R$

电容器两极板间的电压 $U_2=\frac{R}{\frac{5}{2}R}E=\frac{2}{5}E$，电容器所带的电荷量 $q_2=CU_2=\frac{2}{5}EC$

由以上分析可知 $R_1:R_2=6:5$、$q_1:q_2=5:3$，故选 BD。



甲



乙

考点五：电表改装

题型一：电流表改装

【精选例题】：BCD　　AD

【例 1】BCD

【详解】AB．当使用 a、b 两个端点时，量程为 $I_{1m}=I_g+\frac{I_g(R_2+R_g)}{R_1}$

当使用 a、c 两个端点时，量程为 $I_{2m}=I_g+\frac{I_gR_g}{R_1+R_2}$，则有 $I_{1m}>I_{2m}$

可知当使用 a、b 两个端点时，量程为 10 A，当使用 a、c 两个端点时，量程为 1 A，故 A 错误，B 正确；

CD．根据 $I_{1m}=I_g+\frac{I_g(R_2+R_g)}{R_1}=10A$，$I_{2m}=I_g+\frac{I_gR_g}{R_1+R_2}=1A$，联立代入数据解得 $R_1=20\Omega$，$R_2=180\Omega$

故 CD 正确。故选 BCD。

【例 2】AD

【详解】CD．用 a、b 两个接线柱时电流表的量程为：$I_b=I_g+\frac{I_g(R_g+R_2)}{R_1}$，代入解得 Ib=3A，C 错误，D 正确；

AB．用 a、c 两个接线柱时电流表的量程为 $I_c=I_g+\frac{I_gR_g}{R_1+R_2}$

用 a、b 两个接线柱时电流表的量程为 $I_b=I_g+\frac{I_g(R_g+R_2)}{R_1}$

由上可知，若只增大 R_1，两个量程都减小；若只增大 R_2，a、c 间的量程减小，a、b 间的量程增大，故 A 正确，B 错误。故选 AD。

【跟踪训练】：C　　D

1．C

【详解】AB．接“A、B”时，R_1为分流电阻，接“A、C”时，R_1与 R_2 串联的总电阻为分流电阻，故此为电流表，

根据串并联规律，接“A、B”时，其量程为 $I=I_g+\frac{I_g(R_2+R_g)}{R_1}$；接“A、C”时，其量程为 $I'=I_g+\frac{I_gR_g}{R_1+R_2}$

显然 $I>I'$，即接“A、B”时量程更大，AB 均错误；

CD．由以上分析可知，若 R_2 被短路，接“A、B”时，电流表量程变小，测量值将偏大，若被 R_1 短路，接“A、C”时，电流表量程变大，测量值将偏小，C 正确，D 错误。故选 C。

2．D

【详解】A．开关接 a 时，其量程为 $I=I_g+\frac{I_g(R_g+R_2)}{R_1}$，开关接 b 时，其量程为 $I'=I_g+\frac{I_gR_g}{R_1+R_2}$

显然 $I>I'$，即开关接 b 时电流表量程较小，A 正确，不符题意；

B．根据上述分析可得$R_1+R_2=\frac{I_gR_g}{I'-I_g}=100\Omega$，B 正确，不符题意；

C．联立上述各式，解得$R_1=10\Omega$，$R_2=90\Omega$；开关接 a 时，电路中的电流为 4mA 时$I=I_g'+\frac{I_g'(R_g+R_2)}{R_1}$

代入数据解得$I_g'=200\mu A$，C 正确，不符题意；

D．根据上述分析可知，R_2减小时，开关接 b 的量程增大，但开关接 a 的量程减小，D 错误，符合题意。故选 D。

题型二：电压表改装

【精选例题】：D　　B

【例 1】D

【详解】当使用 A、B 两个端点时，有$U_{AB}=I_g(R_g+R_2)=10V$，代入数据解得$R_2=9500\Omega$

当使用 A、C 两个端点时，有$U_{AC}=I_g(R_g+R_2+R_1)=100V$，代入数据解得$R_1=90000\Omega$，故选 D。

【例 2】B

【详解】AB．改装为 3V 量程的电压表，应该选择图乙，串联一个大电阻，起到分压的作用，

分压电阻的阻值$R_0=\frac{U}{I_g}-R_g=990\Omega$，故 A 错误；B 正确；

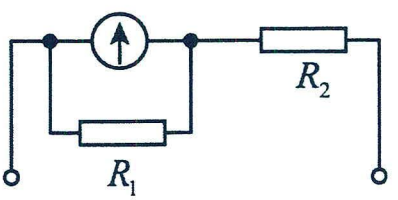
CD．若改装成 0.6A 的电流表，应该选择图甲，并联一个小电阻，起到分流的作用，

分流电阻的阻值$R_0=\frac{I_gR_g}{I-I_g}=0.05\Omega$，故 CD 错误。故选 B。

【跟踪训练】：B　　BC

1．B

【详解】由题意可知$I_g\left(R_g+R_1\right)=2V$，$I_g\left(R_g+R_1+R_2\right)=10V$，



解得$R_1=1000\Omega$，$R_2=8000\Omega$

当如图连接时

电压表最大量程为$U=I_gR_g+\left(I_g+\frac{I_gR_g}{R_1}\right)R_2=17V$，故选 B。

2．BC

【详解】AB．当S_1和S_2均断开时，电流计与电阻R_1串联，虚线框中可等效为电压表，其量程为$U=\left(R_1+R_g\right)I_g=3V$

故 A 错误，B 正确；

CD．当S_1和S_2均闭合时，电流计与电阻R_2并联，虚线框中可等效为电流表，其量程为$I=I_g+\frac{R_gI_g}{R_2}=0.1A$

故 C 正确，D 错误。故选 BC。

题型三：改装电表校准

【精选例题】：C　　B

【例 1】C

【详解】电压表由表头 G 和电阻 R 串联而成，发现此电压表的读数比准确值稍微小一些，说明加上相同电压时，要使电流适当大些，故需要略微减少电阻 R 的值，可以与电阻 R 并联电阻实现，但电压表的读数比准确值稍微小一些，故并联电阻要比 R 大得多，故 ABD 错误，C 正确；故选 C。

【例 2】B

【详解】A．甲由一个灵敏电流表 G 和一个变阻器 R 并联，利用并联电阻的分流，改装成电流表，乙由一个灵敏电流表 G 和一个变阻器 R 串联，利用串联电阻的分压，改装成电压表，故 A 错误；

B．由公式 $I=I_g+\frac{I_gR_g}{R}$ 知，在甲图中，若改装成的电流表的量程为 2.5mA，则 $R=50\Omega$，

由公式 $U=I_g(R_g+R)$ 知，在乙图中，若改装成的电压表的量程为 3V，则 R=5800Ω，故 B 正确；

C．安培表的量程 $I=I_g+\frac{I_gR_g}{R}$，若使用中发现甲表的示数总比准确值稍小一些，说明改装后的量程偏大，导致偏角小，示数偏小，所以应当增大 R，减小量程，故 C 错误；

D．电压表的量程 $U=I_g(R_g+R)$，若使用中发现乙表的示数总比准确值稍小一些，说明改装后的量程偏大，导致偏角小，示数偏小，所以应当减小 R，减小量程，故 D 错误；故选 B。

【跟踪训练】：A　　C　　B

1．A

【详解】电流表的读数总是比准确值稍大一点，表明通过表头 G 的电流稍微大了一点，引起的原因在于并联电阻 R 稍微大了一点，为了校准，需要将电阻 R 稍微减小一点，即可以在 R 上并联一个比 R 大得多的电阻。

故选 A。

2．C

【详解】AB．接 A、B 两个端点时，串联的阻值较小，分压较小，是量程较小的电压表；接 A、C 两个端点时，分压较大，是量程较大的电压表，AB 错误；

CD．接 A、B 两端时读数总是略偏小，说明 R_1 偏大导致分压偏大，需在 R_1 上并联一个大电阻，使并联后阻值减小；由于总阻值减小，则需在 R_2 上串联一个小电阻，使 A、C 两个端点时读数准确，C 正确，D 错误。故选 C。

3．B

【详解】A．图甲、乙分别是电压表、电流表的改装图，故 A 错误；

B．若改装后的电流表示数比标准表稍大一些，说明流过表头的电流大，可以减小分流电阻使其分流大些，从而减小流过表头的电流使其准确，故 B 正确；

C．若改装后的电压表示数比标准表稍小一些，说明流过表头的电流小，应该减小串联电阻，或给串联电阻再并联一个较大的电阻，故 C 错误；

D．小量程电流表内阻为 R_g，给它串联一个电阻 R，改装后的电压表量程为 $U_m=I_g(R_g+R)$，则有 $\frac{U_m}{U_g}=\frac{R_g+R}{R_g}$

故 D 错误。故选 B。

题型四：电表偏转角度与读数比较

【精选例题】：D　　ABC

【例 1】D

【详解】A．电压表是用灵敏电流计串联一个分压电阻改装而成的，而两个电压表串联 ，故电流相等，指针偏角相同，故 A 错误；

B．电流表是用灵敏电流计并联一个分流电阻改装而成，由于两电流表串联，电流表电流相等，但电流表 A_1 的量程小于 A_2 的量程，所以 A_1 指针的偏角大于 A_2 指针的偏角，故 B 错误；

C．以上分析可知两电压表指针指针偏角相同，但由于电压表 V_1 的量程大于 V_2 的量程，V_1 的读数大于 V_2 的读数，由于两电流表串联，故读数相同，故 C 错误；

D．图中可知，两电压表串联再去 R 并联，故 R 的电压为两电压表读数之和，由串并联关系可知，A_1 电流大小等于通过 R 的电流与通过两电压表的电流之和，故通过 R 电流小于 A_1 的读数，故 D 正确。故选 D 。

【例 2】ABC

【详解】A．在图（a）中，两块电表两段电压相同，因为量程不同，内阻不同，示数一定不同，A 正确；

B．在图（a）中，内部结构为四个电阻并联，加在被改装小量程电流表上的电压是一样的，则它们的偏角一样；

C．在（b）图中，串联的电流表示数相同，C 正确；

D．因量程不同，流过表头的电流不同，则偏角不相同，D 错误。故选 ABC。

【跟踪训练】：AC　　AC　　D

1．AC

【详解】A．电流表 A_1、A_2 串联，流过电流表的电流相同，A_1 的读数与 A_2 的读数相同，故 A 正确；

B．电流表 A_1、A_2 是由相同的电流表改装而成的，A_1 的读数与 A_2 的读数相同，A_1 的量程较大，指针偏转的角度较小，故 B 错误；

CD．电压表 V_1、V_2 是相同电流表改装而成的，串联时流过表头的电流相同，指针偏转的角度相同，V_1 的量程大于 V_2 的量程，所以 V_1 读数比 V_2 读数大，故 C 正确，D 错误。故选 AC。

2．AC

【详解】电流表 A_1 量程大于 A_2 的量程，则电流表 A_1 内阻小于 A_2 的内阻，电压表 V_1 的量程大于 V_2 的量程，则电压表 V_1 的内阻大于 V_2 的内阻。

A．甲图中电压表 V_1 与 V_2 在同一条支路上，电流大小相等，则电压之比等于电压表内阻之比，电压表 V_1 的内阻大于 V_2 的内阻，则 V_1 的读数大于电压表 V_2 的读数，故 A 正确；

B．甲图中 A_1 和 A_2 两表由同一电流表改装而成，而将电流表扩大量程时为并联一小电阻，故相当于四个电阻并联，故两表头中电流相同，故两表的偏角相同，故 B 错误；

C．乙图中电压表 V_1 和 V_2 并联，则电压相等，即两电压表读数相同，但电压表 V_1 的量程大于 V_2 的量程，则电压表 V_1 的指针偏转角小于电压表 V_2 的指针偏转角，故 C 正确；

D．乙图中电流表 A_1 和 A_2 串联，则电流大小相等，即两电流表读数相同，但由于电流表 A_1 量程大于 A_2 的量程，所以电流表 A_1 的指针偏转角小于电流表 A_2 的指针偏转角。故 D 错误。故选 AC。

3．D

【详解】A．灵敏电流计内阻较小，承担最大电压减小，根据串联分压原理，灵敏电流计与大于R_g的电阻串联改装成电压表，故A错误；

B．灵敏电流计允许通过的最大电流较小，根据并联分流原理，改装电流表时，通过并联电阻的电流较大，即并联电阻较小，可知，灵敏电流计与小于R_g的电阻并联改装成电流表，量程越大，与灵敏电流计并联的电阻越小，电流表的电阻越小，A_1的量程小于A_2的量程，则A_1的电阻大于A_2的电阻；结合上述可知，灵敏电流计与大于R_g的电阻串联改装成电压表，量程越大，与灵敏电流计串联的电阻越大，电压表的电阻越大，电压表V_1的量程大于V_2的量程，则V_1的电阻大于V_2的电阻，故B错误；

C．根据图像，V_1、V_2串联，电流相同，流过灵敏电流计的电流相同，V_1、V_2指针的偏转角相同，V_1的量程大于V_2的量程，V_1的读数大于V_2的读数，故C错误；

D．A_1、A_2并联，电压相同，流过灵敏电流计的电流相同，指针的偏转角相同，A_1的电阻大于A_2的电阻，由欧姆定律可知，A_1的电流小于A_2的电流，读数不相等，故D正确。

故选D。

第五讲：实验

考点一：实验基础

题型一：游标卡尺的使用与读数

【精选例题】：甲：5.26cm　乙：5.015cm　丙：1.114cm　丁：2.500cm　戊：1.35cm

【详解】甲：游标卡尺的精确度为 0.1 mm，游标尺上第 6 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 52 mm＋0.1 mm×6＝52.6 mm=5.26cm；

乙：游标卡尺的精确度为 0.05 mm，游标尺上第 3 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 50mm＋0.05 mm×3＝50.15 mm=5.015cm；

丙：游标卡尺的精确度为 0.02 mm，游标尺上第 7 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 11mm＋0.02 mm×7＝11.14 mm=1.114cm；

丁：游标卡尺的精确度为 0.05mm，游标尺上第 0 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 25mm＋0.05 mm×0＝25.00 mm=2.500cm；

戊：游标卡尺的精确度为 0.1mm，游标尺上第 5 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 18mm-0.9 mm×5＝13.5 mm=1.35cm。

【跟踪训练】：甲：3.335cm　乙：10.230cm　丙：3.975cm　丁：2.060cm　戊：0.192cm

【详解】甲：游标卡尺的精确度为 0.05mm，游标尺上第 7 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 33 mm＋0.05 mm×7＝33.35 mm=3.335cm；

乙：游标卡尺的精确度为 0.05 mm，游标尺上第 6 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 102mm＋0.05 mm×6＝102.30 mm=10.230cm；

丙：游标卡尺的精确度为 0.02 mm，游标尺上第 15 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 39mm＋0.05 mm×15＝39.75 mm=3.975cm；

丁：游标卡尺的精确度为 0.05mm，游标尺上第 12 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 22mm-0.95 mm×12＝20.60 mm=2.060cm；

戊：游标卡尺的精确度为 0.02mm，游标尺上第 46 条刻度线（不计 0 刻度线）与主尺上的刻度线对齐，则读数为 1mm-0.02 mm×46＝1.92mm=0.192cm；

题型二：螺旋测微器的使用与读数

【精选例题】：甲：5.805mm　乙：0.920mm　丙：1.600mm

【详解】甲：螺旋测微器的读数规则：测量值＝固定刻度读数（注意半毫米刻度线是否露出）＋精确度（0.01 mm）×可动刻度读数（一定要估读），图甲读数为 5.5 mm＋0.01 mm×30.5＝5.805mm；

乙：螺旋测微器的读数规则：测量值＝固定刻度读数（注意半毫米刻度线是否露出）＋精确度（0.01 mm）×可动刻度读数（一定要估读），图乙读数为 0.5 mm＋0.01 mm×42.0＝0.920mm；

乙：螺旋测微器的读数规则：测量值＝固定刻度读数（注意半毫米刻度线是否露出）＋精确度（0.01 mm）×可动刻度读数（一定要估读），图丙读数为 1.5 mm＋0.01 mm×10.0＝1.600mm。

【跟踪训练】：甲：4.700mm　乙：1.500mm　丙：5.000mm

甲：螺旋测微器的读数规则：测量值＝固定刻度读数（注意半毫米刻度线是否露出）＋精确度（0.01 mm）×可动刻度读数（一定要估读），图甲读数为 4.5 mm＋0.01 mm×20.0＝4.700mm；

乙：螺旋测微器的读数规则：测量值＝固定刻度读数（注意半毫米刻度线是否露出）＋精确度（0.01 mm）×可动刻度读数（一定要估读），图乙读数为 1.5 mm＋0.01 mm×0.0＝1.500mm；

丙：螺旋测微器的读数规则：测量值＝固定刻度读数（注意半毫米刻度线是否露出）＋精确度（0.01 mm）×可动刻度读数（一定要估读），图甲读数为 5.0 mm＋0.01 mm×0.0＝5.000mm。

题型三：电表读数

【精选例题】：

【例 1】 0.34　　1.70　　2.20　　11.0

电流表和电压表的接线柱上的数字表示其量程，由图甲知，当使用电流表的“—”和“0.6”两接线柱时，能测量的最大电流是 0.6A，对应刻度盘上的每一小格为 0.02A，电流表示数为所以$17\times0.02\text{A}=0.34\text{A}$；

当使用电流表的“—”和“3”两接线柱时，对应刻度盘上的每一小格为 0.1A，电流表示数为$17.0\times0.1\text{A}=1.70\text{A}$；

由图乙知，电压表的较小量程为 0~3V，所以测量电压的最大值不得超过 3V，对应刻度盘上的每一小格为 0.1V，电压表示数为$22.0\times0.1\text{V}=2.20\text{V}$；

若使用的是较大量程时，则对应刻度盘上的每一小格表示 0.5V，电压表示数为$22\times0.5\text{V}=11.0\text{V}$。

【例 2】19.0Ω　　65370.0Ω

【跟踪训练】：

1． 0.80　　0.27　　4.0　　1.35

【详解】[1]电压表的量程为 0~3V，最小刻度为 0.1V，读到最小刻度下一位,故电压表读数为 0.80V；

[2]电流表的量程为 0~0.6A，最小刻度为 0.02A，读到最小刻度那位即可，则电流表的读数为 0.27A；

[3]电压表的量程为 0~15V，最小刻度为 0.5V，读到最小刻度那位,则读数为 4.0V；

[4]电流表的量程为 0~3A,最小刻度为 0.1A，读到最小刻度下一位,则电流值为 1.35A。

2．521Ω

题型四：电流表内外接

【精选例题】：AD　　A　　D

【例 1】AD

【详解】AC．若采用甲图，电压表测量的是待测电阻和电流表串联后两端的电压，误差是由电流表分压引起的，电压的测量值偏大，根据欧姆定律可知电阻的测量值大于真实值，故 A 正确，C 错误；

BD．若采用乙图，电流表测量的是通过电压表和待测电阻的电流和，误差是由电压表分流引起的，电流的测量值大于真实值，根据欧姆定律可知电阻的测量值小于真实值，故 B 错误，D 正确。故选 AD。

【例 2】A

【详解】由题意可知$\frac{R_x}{R_A}=\frac{300}{10}=30$；$\frac{R_V}{R_x}=\frac{2000}{300}=\frac{20}{3}$；$\frac{R_x}{R_A}>\frac{R_V}{R_x}$；应采用电流表内接法；

因此采用图甲所示电路测出的电阻阻值更接近真实值；

由图甲所示可知，由于电流表分压作用，所测电压偏大，电阻测量值大于真实值，故 A 正确，BCD 错误；

故选 A。

【例 3】D

【详解】根据题意可知$\frac{\Delta U}{U_1}=\frac{12-10}{10}=0.2$，$\frac{\Delta I}{I_1}=\frac{0.2-0.15}{0.2}=0.25$，由于$\frac{\Delta I}{I_1}>\frac{\Delta U}{U_1}$；说明电压表的分流作用比较明显，故应采用电流表的内接法，即 S 应接在 b 点，此时待测电阻的测量值为$R_{测}=\frac{U}{I_2}=80\Omega$，故选 D。

【跟踪训练】：BD　　BC　　B　　4．乙　　不能

1．BD

【详解】A．根据欧姆定律可知，电阻的测量值$R_{测}=\frac{U_{测}}{I_{测}}$；图甲采用内接法，由于电流表分压，待测电阻两端的电压小于测量值$U_{测}$，因此有$R_1>R_x$，故A错误；

B．图乙采用外接法，由于电压表分流，通过待测电阻的电流小于测量值$I_{测}$，结合上述有$R_2<R_x$，故B正确；

CD．结合上述可知$R_1>R_2$，故C错误，D正确。故选BD。

2．BC

【详解】AB．若电压表示数变化明显，说明电流表的分压作用明显，说明R_x的阻值与电流表内阻相差不大，电流表应采用外接法，应将a连接b，A错误，B正确；

CD．当a连接b时，由于电压表的分流作用，电流表的读数偏大，由$R_x=\frac{U}{I}$可知此时测量值小于真实值，造成系统误差的原因不是电流表的分压作用，C正确，D错误；

故选BC。

3．B

【详解】电流表示数从甲图的4.60mA变为了乙图的5.00mA，变化百分比为$\eta_1=\frac{5.00\text{mA}-4.60\text{mA}}{4.60\text{mA}}\times 100\%\approx 8.7\%$

电压表示数从甲图的2.50V变为了乙图的2.45V，变化百分比为$\eta_2=\frac{2.50\text{V}-2.45\text{V}}{2.50\text{V}}\times 100\%=2\%$

所以电流表的示数变化较为明显，也就是电压表的分流效果较为明显，为了减小误差，我们选择甲图来计算电阻的阻值$R_x=\frac{2.50\text{V}}{4.60\times10^{-3}\text{A}}\approx 543\Omega$，考虑到电流表有内阻，543Ω中包括了电流表的内阻，所以电阻的阻值小于543Ω。故选B。

4．乙　　不能

【详解】[1]题图甲为电流表的外接法，电压表的分流使得电流表的示数大于通过待测电阻的实际电流，根据欧姆定律可得$R=\frac{U}{I}$，则电阻测量值比真实值小；题图乙为电流表的内接法，电流表的分压使得电压表的示数大于待测电阻的实际电压，则电阻测量值比真实值大，测量值比真实值大的应是题图乙所示的电路；

[2]根据上述分析，实验的误差是由测量原理引起的，系统误差不能通过多次测量取平均值来减小。

题型五：分压与限流

【精选例题】：C　　D　　B　　CD

【例1】C

【详解】A．R_1与R是串联关系，故A错误；

B．滑片在最上端时，滑动变阻器接入电路阻值最大，电路电流最小，即电流表示数最小，故B错误；

C．滑片向下滑动时，滑动变阻器接入电路阻值减小，电路电流增大，根据$U_R=IR$可知电压U_R增大，C正确；

D．改变滑片位置，电路电流不可能为0，则U_R的最小值不可以为0，故D错误。故选C。

【例 2】D

【详解】A．甲图是电流表内接法，误差由电流表分压引起，为了减小误差，应使$R_x \gg R_A$，故 A 错误；

B．乙图是电流表外接法，误差由电压表分流引起，为了减小误差，应使$R_x \ll R_V$，故 B 错误；

CD．丙图中滑动变阻器R_0属于限流接法，丁图中滑动变阻器R_0属于分压接法，若$R_0 \ll R_x$，且要求R_x的电压有较大的调节范围，应采用分压接法，即选用丁图较好，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

【例 3】B

【详解】A．图甲电路中滑动变阻器为限流接法，电压和电流不可以从 0 开始调节，故 A 错误；

B．图甲电路中为电流表内接法，由于电流表的分压导致电阻的测量值大于真实值，故 B 正确；

C．图乙的电阻测量值不一定比图甲的电阻测量值更接近真实值，如果待测电阻较大，远大于电流表内阻时，图甲的电阻测量值更接近真实值，故 C 错误；

D．图乙电路中，闭合开关之前滑动变阻器滑片应放到c端，用导线短路电表，避免闭合开关烧坏电表，D 错误。

故选 B。

【例 4】CD

【详解】A．图 A、C 为分压电路，图 B、D 为限流电路，故 A 错误；

B．图 A 电路，电压表与定值电阻 R_0 的电压之和等于 R_x 两端的电压，电压表的示数小于 Rx 两端的电压，电流表的示数大于 Rx 的电流，Rx 的测量值小于真实值；即使 R_0 取零，A 电路为外接法电路，测量值仍然小于真实值，故 B 错误；

C．根据串并联电路的特点，在图 B、C 中，若“电压表内阻与 R_0 之比”等于“Rx 与电流表内阻之比”，电压表与 Rx 获得的电压相等，可以消除测量 Rx 的系统误差；故 C 正确；

D．图 D 为外接法电路，R_x的测量值小于真实值，产生误差的原因是电压表的分流作用，故 D 正确；

故选 CD。

【跟踪训练】：C　　AD　　B

1．C

【详解】A．开关 S 断开时，滑片 P 在 a 处，R_2两端的电压最大，为 U，滑片 P 在 b 处，R_2两端的电压最小，为$\frac{R_2}{R_1+R_2}U$。A 错误；

B．开关 S 闭合时，滑片 P 在 a 处，R_2两端的电压最大，为 U，滑片 P 在 b 处，R_2被短路，两端的电压最小，为 0。U_2从 U 变化到 0。B 错误；

C．开关 S 断开时，滑片 P 从 a 移动到 b，U_2的改变量为$\Delta U_2 = U - \frac{R_2}{R_1+R_2}U = \frac{R_1}{R_1+R_2}U$，由于 R_1 比 R_2 小很多，所以$\Delta U_2 \ll U$，C 正确；

D．开关 S 闭合时，滑片 P 从 a 移动到 b，U_2的改变量为$\Delta U_2 = U - 0 = U$，D 错误。

故选 C。

2．AD

【详解】A．若将 a、c 两端接入电路中，aP 段接入电路，当滑片 P 向右移动时，有效阻值增大，A 正确；

B．若将 a、d 两端接入电路中，aP 段接入电路，当滑片 P 向右移动时，有效阻值增大，B 错误；

C．将滑动变阻器以限流式接入，必须连接入三个接线柱（ac、ad、bc、bd），C 错误；

D．将滑动变阻器以分压式接法接入电路时，必须连入三个接线柱（abc、abd），D 正确。故选 AD。

3．B

【详解】A．乙图电路中的滑动变阻器电阻全部连入电路，采用并联分压接法，没有采用“一上一下”的连接方式，故 A 错误；

B．在闭合开关前，为了保护电路，要保证 R_x 两端的电压最小，即甲图中滑动变阻器连入电路的阻值应该最大，乙图中 R_x 与滑动变阻器 Pb 部分并联，所以甲、乙两图中滑片 P 都应置于 b 端，故 B 正确；

C．当 R_x 阻值远远大于滑动变阻器阻值时，如果选择甲图电路连接，则通过待测电阻的电流变化很小，所以应选择分压式电路，即选择乙图电路，故 C 错误；

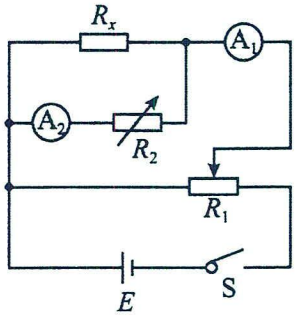
D．甲图电路为限流式电路，滑片滑到 b 端时，加在 R_x 两端的电压最低但达不到零，故 D 错误。故选 B。

题型六：电路设计与实验仪器选择

【精选例题】：D　　A_2；9000；见解析

【例 1】D

【详解】因为 $R_x<\sqrt{R_AR_V}$，所以电路应该选用外接法，由于滑动变阻器 R 的最大至大于待测电阻阻值，所以滑动变阻器要用限流式接法，故选 D。



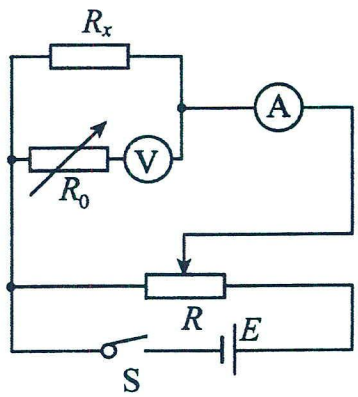
【例 2】 A_2；9000；见解析

【详解】（2）[1][2][3]根据电表的改装原理可知，应将电流表 A_2 与电阻箱串联，改装成一个量程为 0~3.0V 的电压表，根据欧姆定律有 $R=\frac{U}{I_{A2}}-R_{A2}$=9000Ω。

因为改装电表内阻已知，电流表采用外接法，滑动变阻器最大阻值较小，采用分压式接法，如图

【跟踪训练】：

1．(1) C　　D；(2)见解析；(3) $\frac{U(R_V+R_0)}{IR_V-U}$



【详解】（1）[1]流过待测电阻的最大电流为 $I_m=\frac{E}{R_x}=\frac{3}{90}A=0.033A$，所以电流表应选用 C；

[2]滑动变阻器采用分压接法，为了调节方便，使电表示数变化明显，滑动变阻器应选用阻值较小的 D。

（3）由于电压表内阻已知，所以电流表应采用外接法，实验电路图如图所示

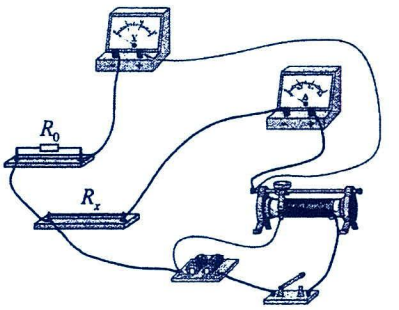
（4）根据欧姆定律可得 $R_x=\frac{U+\frac{U}{R_V}R_0}{I-\frac{U}{R_V}}=\frac{U(R_V+R_0)}{IR_V-U}$

考点二：电阻的测量

题型一：伏安法测电阻

【精选例题】：

【例 1】(1)12000；(2)R_1；(3)见解析；(4)左；(5)1400



【详解】（1）若要改装成量程为 15V 的电压表，

则需串联的定值电阻 $R_0=\frac{U'}{U}R_V-R_V=\frac{15}{3}\times 3000\Omega-3000\Omega=12\text{k}\Omega$

（2）滑动变阻器用分压电路，则选择阻值较小的 R_1；

（3）连接如图

（4）闭合开关前，滑动变阻器滑片 P 应置于最左端。

（5）某次实验中电压表读数为 1.20V，则此时待测电阻两端电压为 U=6V，电流表读数为 4mA，

则 $R_x=\frac{U}{I}-R_\text{A}=\frac{6}{4\times10^{-3}}\Omega-100\Omega=1400\Omega$。

【例 2】(1)B　　C　　甲；(2)见解析；(3)5.2Ω；(4) B　　D

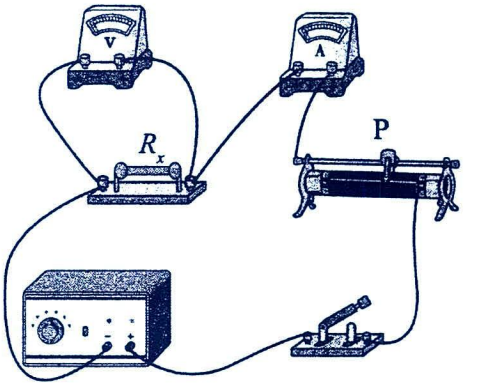
【详解】（1）[1][2][3]由于电源电动势为 3V，所以电压表应选 C；

根据欧姆定律可知，通过待测电阻的最大电流为 $I_\text{m}=\frac{U}{R}=\frac{3}{5}\text{A}=0.6\text{A}$，所以电流表应选 B；

根据闭合电路欧姆定律，电路中需要的最大电阻为 $R_{max}=\frac{E}{\frac{I_\text{A}}{3}}=\frac{3}{\frac{0.6}{3}}\Omega=15\Omega$

所以变阻器可以采用限流式接法；由于待测电阻满足 $\frac{R_\text{V}}{R_x}>\frac{R_x}{R_\text{A}}$

所以电流表应用外接法，即电路图应是“限流外接”，所以应采用图甲电路。



（2）实物连线图如图所示

（3）电流表的读数为 $I=0.50\text{A}$：，电压表的读数为 $U=2.60\text{V}$，

所以待测电阻为 $R=\frac{U}{I}=5.2\Omega$

（4）[1]根据欧姆定律和串并联规律可知，采用甲电路时由于电压表 V 的分流作用，导致电流表的测量值大于流经 Rx 的电流，所以产生误差的主要原因是 B。故选 B。

[2]若采用乙电路，由于电流表的分压作用，导致电压表的测量值大于 Rx 两端的电压值，所以产生误差的主要原因是 D。故选 D。

【跟踪训练】：1．(1) C　　D　　F　　D　　2．(1)偏小；(3) 最左端　　$\frac{U_1I_2-U_2I_1}{I_1I_2}$

1．【详解】（1）[1]由于电路中的最大电流为 $I_\text{m}=\frac{E}{R}=0.25\text{A}$，可知电流表应选择量程为 0~0.3A，即选择 C；

[2]电源的电动势为 3V，所以电压表应选择量程为 0~3V，即选择 D；

[3]由于金属丝的电阻大约为12Ω，为调节方便，使电表示数变化明显，滑动变阻器应选择阻值较小的，即选 F。

[4]为使待测电阻两端的电压调节范围尽量大，滑动变阻器采用分压接法，由于 $R\ll\sqrt{R_\text{A}R_\text{V}}$，故应选择电流表外接法。故选 D。

2．(1)偏小；(2 最左端　　$\frac{U_1I_2-U_2I_1}{I_1I_2}$

【详解】（1）由于电路采用电流表外接法，电压表要分流，电流测量值大于真实值，根据欧姆定律可知，电阻测量值比真实值偏小。

（2）[1]在闭合开关前，应将 R_1 的滑动触头滑到最左端；

[2]当单刀双掷开关接 2 时，有 $\frac{U_1}{I_1}=R_x+R_A+R_2$，当单刀双掷开关接 1 时，有 $\frac{U_2}{I_2}=R_A+R_2$

则 $R_x=\frac{U_1}{I_1}-\frac{U_2}{I_2}=\frac{U_1I_2-U_2I_1}{I_1I_2}$

题型二：双安法测电阻

【精选例题】：

【例 1】 R_3　　$\frac{I_2(R_1+r_2)}{I_1-I_2}$　　250

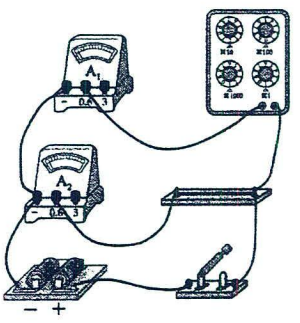
【详解】[1]图乙中滑动变阻器连接方式为分压式，为了调节方便，应选择总阻值较小的滑动变阻器，即选 R_3。

[2]由并联电路规律得 $(I_1-I_2)R_x=I_2(R_1+r_2)$，求得 $R_x=\frac{I_2(R_1+r_2)}{I_1-I_2}$

[3]由图丙可知 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{12.5}{2.5}=5$，所以 $R_x=\frac{I_2(R_1+r_2)}{I_1-I_2}=\frac{(R_1+r_2)}{\frac{I_1}{I_2}-1}=\frac{900+100}{5-1}\Omega=250\Omega$

【例 2】(1)见解析；(2) $\frac{I_2}{I_1}=\frac{R_1}{R_2+R_0}+\frac{R}{R_2+R_0}$；(3) $\frac{1}{k}-R_0$　　$\frac{b}{k}$

【详解】（1）根据电路图，连接实物图



（2）由欧姆定律及并联电路两端电压相等可得 $I_1(R_1+R)=I_2(R_2+R_0)$

整理可得，图乙的函数表达式为 $\frac{I_2}{I_1}=\frac{R_1}{R_2+R_0}+\frac{R}{R_2+R_0}$

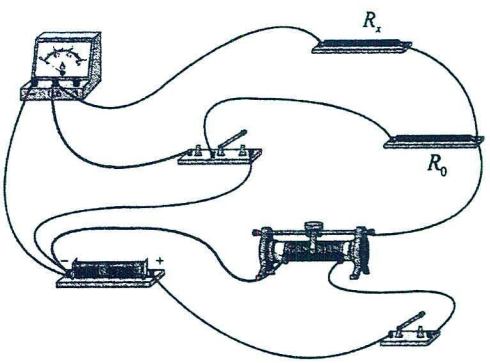
（3）由图乙可知，图像的斜率为 $k=\frac{1}{R_2+R_0}$，解得 $R_2=\frac{1}{k}-R_0$

图乙的纵截距为 $b=\frac{R_1}{R_2+R_0}$，解得 $R_1=\frac{b}{k}$

【跟踪训练】：

1．(1)见解析；(2)最左端　　偶然；(3) $I_2+\frac{I_2R_x}{R_0}$　　$(k-1)R_0$

【详解】（1）根据电路图连接实物图如图



（2）[1] 合上开关 S_1 之前，为保护电路可知，R 触头应置于最左端；

[2] 多测几组 I_1、I_2 作 I_1-I_2 图像的目的是减小偶然误差。

（3）[1]根据欧姆定律可知 $I_1=I_2+\frac{I_2R_x}{R_0}$

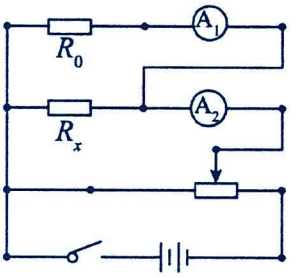
[2]上式变形可得 $I_1=I_2(1+\frac{R_x}{R_0})$

根据图像斜率可知 $k=1+\frac{R_x}{R_0}$，解得 $R_x=(k-1)R_0$

2．(1)3.0；(2)见解析；(3)$R_x=\dfrac{I_1(R_0+r_1)}{I_2-I_1}$

【详解】（1）根据电压表改装原理，可知改装后的电压表量程为$U=I_g(R_0+r_1)$，代入得$U=0.03\times100\text{V}=3.0\text{V}$

（2）由题意可知，电流表A_1改装成电压表，且改装后的电压表流过的电流和内阻已知，电流表A_2的量程较大，则电流表A_2应采用外接法，实验电路图如图所示



（3）根据图示电路图，若某次测量中电流表A_1的示数为I_1，电流表A_2的示数为I_2，可知待测电阻阻值为$R_x=\dfrac{U_x}{I_x}$，代入得$R_x=\dfrac{I_1(R_0+r_1)}{I_2-I_1}$

题型三：双伏法测电阻

【精选例题】：

【例 1】(1)R_1；(2)$\dfrac{UR_0}{U_1-U}$

（1）图丙的电路，滑动变阻器采用的是分压式连接，为了方便调节，应选最大阻值较小的滑动变阻器即R_1。

（2）通过待测电压表的电流大小与定值电阻电流相同为$I=\dfrac{U_1-U}{R_0}$

根据欧姆定律得待测电压表的阻值为$R_V=\dfrac{U}{I}=\dfrac{UR_0}{U_1-U}$

【例 2】(1)左；(2)$\dfrac{U_1-U_2}{U_2}R_0$　存在；(3)320

【详解】（1）根据图甲正确连接电路，闭合开关 S 前，确保实验仪器的安全，滑动变阻器的滑片应置于左端。

（2）[1]闭合开关 S 后，由串联电路的特点和欧姆定律可知，通过待测电阻R_x的电流为$I_x=\dfrac{U_2}{R_0}$

则待测电阻为$R_x=\dfrac{U_1-U_2}{I_x}=\dfrac{U_1-U_2}{U_2}R_0$

[2]由于电压表V_2的分流作用，由计算得出待测电阻R_x的电流与实际值偏小，因此计算得出待测电阻R_x的值比实际值偏大，因此该实验方法，存在理论上的实验误差。

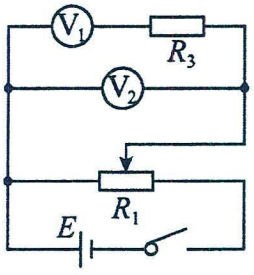
（3）由串联电路的特点和欧姆定律可得$U_1=U_2+\dfrac{U_2}{R_0}R_x=\left(1+\dfrac{R_x}{R_0}\right)U_2$

由图乙可知U_1-U_2图像的斜率为$\left(1+\dfrac{R_x}{R_0}\right)=\dfrac{14.0}{10.0}$，解得$R_x=\left(\dfrac{14.0}{10.0}-1\right)\times800\Omega=320\Omega$

【例 3】(1)D　B　F；(2)见解析；(3)$\dfrac{R}{k-1}$

【详解】（1）[1][2][3]为了精确测量和方便电路调节，电路控制部分应该采用分压接法，因此滑动变阻器选总阻值小的R_1，即选择 D；电流表因为量程太大，无法使用，因此另一个电表应该选择V_2，即选择 B；由于V_1、V_2两者量程差别较大，为了能够更好使用，需要给V_1串联一个分压电阻，再和V_2并联，根据电压分配关系，分

压电阻选择R_3，即定值电阻应选择 F。



（2）根据（1）问分析，实验电路图如图所示

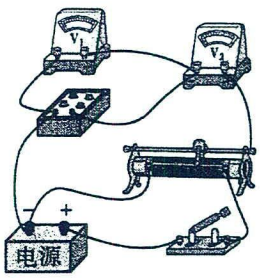
（3）根据欧姆定律有$\frac{X_2-U_1}{R}\cdot R_V=U_1$，整理得$X_2=\frac{R_V+R}{R_V}U_1$

可知X_2-U_1图像的斜率为$k=\frac{R_V+R}{R_V}$，可得$R_V=\frac{R}{k-1}$

【跟踪训练】：

1．(1)见解析；(2)R_1　左；(3) 12.0　$\frac{U_1r_2R_0}{U_2R_0-U_1r_2}$

【详解】（1）根据电路图可得实物连接如图所示



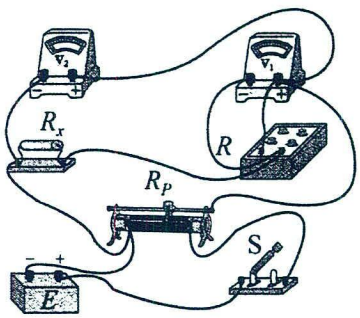
（2）[1][2]根据题意可知，滑动变阻器采用分压接法，为了方便调节，应选用R_1，为了保护电压表V_1，闭合 S 前应将滑动变阻器的滑片调到最左端。

（3）[1]电压表V_2的分度值为 1V，需要估读到分度值下一位，读数为 12.0V；

[2]根据电路图，由电流关系可得$\frac{U_2}{r_2}=\frac{U_1}{R_0}+\frac{U_1}{r_1}$；解得$r_1=\frac{U_1r_2R_0}{U_2R_0-U_1r_2}$

2．(1)见解析图；(2)$-\frac{bU_0}{a}$　$\frac{bU_0}{a-abU_0}$

【详解】（1）根据题图甲所示电路图，连接题图乙所示的实物，如图。

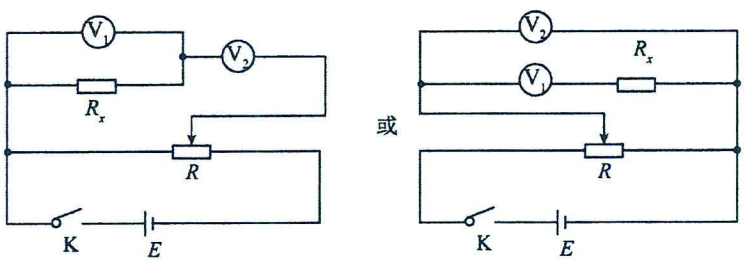


（2）[1][2]根据欧姆定律有$\frac{U_0-U}{R_x}=\frac{U}{\frac{RR_{V_1}}{R+R_{V_1}}}$，变形可得$\frac{1}{R}=\frac{U_0}{R_x}\cdot\frac{1}{U}-\frac{1}{R_x}-\frac{1}{R_{V_1}}$

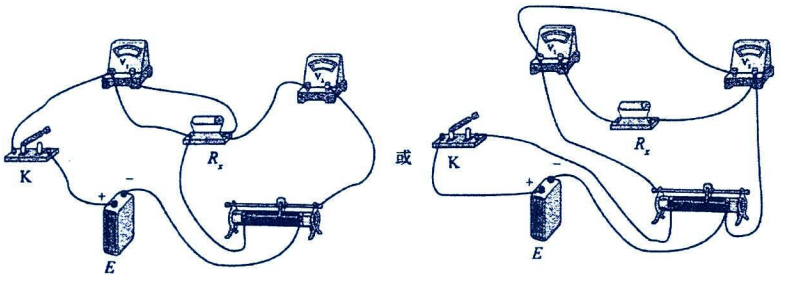
结合题图丙可得$\frac{U_0}{R_x}=-\frac{a}{b}$；$-\frac{1}{R_x}-\frac{1}{R_{V_1}}=a$，解得$R_x=-\frac{bU_0}{a}$；$R_{V_1}=\frac{bU_0}{a-abU_0}$

3．(1)见解析；(2)见解析；(3)$\frac{U_1r_1r_2}{U_2r_1-U_1r_2}$或$\frac{(U_2-U_1)}{U_1}r_1$

【详解】（1）在实验中测定的电阻R_x的阻值$(900\sim1000\Omega)$接近电压表 V_1 和 V_2 的内阻，属于测定大电阻，所以采用串联分压法，此外滑线变阻器 R 的最大阻值很小，必须采用分压接法，故实验电路原理图如答案中的左图或右图；左图中电压表 V_1 和 R_x 并联电阻约为420Ω，两图都满足题中要求“电压表的读数不小于其量程的$\frac{1}{3}$；



（2）按实验电路原理图连接实物图如图



（3）在左图中$\frac{U_1}{r_1}+\frac{U_1}{R_x}=\frac{U_2}{r_2}$；在右图中$U_2=U_1+R_x\frac{U_1}{r_1}$，化简得$R_x=\frac{U_1r_1r_2}{U_2r_1-U_1r_2}$或$\frac{(U_2-U_1)}{U_1}r_1$

题型四：等效法测电阻

【精选例题】：

【例 1】(1)A；(2)3.3　　90.9；(3)无误差　　无误差

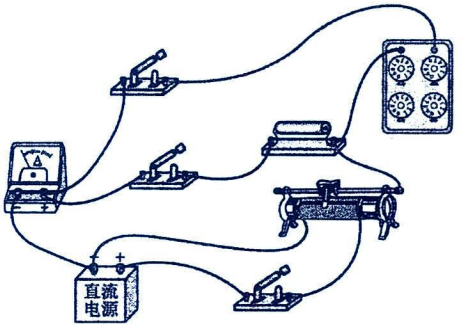
【详解】（1）要求测量范围大，应选择分压电路，待测电阻$R_x=\frac{\rho L}{dL}\approx3\Omega$，待测电阻阻值较小，应选择电流表外接法。故选 A。

（2）[1][2]分析题图丙所示电路可知，实验采用了等效替代法，电阻箱的示数即为待测电阻的阻值，则待测电阻阻值$R_x=3.3\Omega$，代入（2）中公式可得$d=90.9\text{nm}$

（3）[1][2]根据（2）中公式可知，正方形电阻的阻值与正方形边长无关，因此边长测量误差不会影响样品玻璃薄膜厚度的测量，即无误差；等效替代法中电表内阻不会对电阻测量结果产生影响，样品玻璃的薄膜厚度测量无误差。

【例 2】(1)见解析；(2)R_2；(3)左；(4)I_1

【详解】（1）根据图甲连线：



（2）该同学采用了分压电路及等效替代法测电阻，采用分压电路时滑动变阻器的阻值小于并联部分的电阻，便于实验调节，故选择 R_2。

（3）为保护电流表，应使并联部分电压从 0 开始，滑动触头应处于左端。

（4）由于实验采用了等效替代法，必须满足两次电流表的示数相同，即为 I_1。

【跟踪训练】：

1．(1)滑动变阻器 R 阻值　　R_1；(2)r；(3)3.81

【详解】（1）[1][2]当电流表 G_2 有某一合理的示数时，记下电流表 G_1 的示数 I；然后将开关 S_2 与 b 相连，保持滑动变阻器 R 阻值不变，调节 R_1，使电流表 G_2 的示数仍为 I 时，读取电阻箱的读数 r。

（2）电流表 G_2 的内阻与电阻箱的阻值相同，阻值为 r。

（3）将电流表改装成电压表要串联电阻分压，串联的阻值为$R=\frac{U}{I_g}-r_g=3.81\text{k}\Omega$

2．(1)①　最左端；(2)kR_0-R_0；(3)B　　小于　　电阻通过的电流

【详解】（1）[1][2]根据电路图可知电压表 V_1 与定值电阻 R_0 连接的两根导线中应选择①导线；闭合电键 S 前，滑动变阻器的滑片应置于最左端。

（2）根据欧姆定律有 $R_x=\dfrac{U_1-U_2}{\dfrac{U_2}{R_0}}$，变形可得 $U_1=(\dfrac{R_0+R_x}{R_0})U_2$，根据图像的斜率可知 $k=\dfrac{R_0+R_x}{R_0}$，解得 $R_x=kR_0-R_0$

（3）[1]根据实验原理可知 ◆ 打到 1，观察 V_2 示数，然后 ◆ 打到 2，通过同时调节滑动变阻器 R 和电阻箱 R'，使 V_2 示数不变，此时电阻箱阻值即为待测电阻阻值，示数不清，但刻线清晰的电压表 V_2 也可以在本实验中使用，只要满足 V_2 的指针有较大偏转，而其内阻对实验没有影响。C 选项应该保持滑动变阻器 R 不动。

故选 B。

[2][3] 经过正确实验操作，测得的阻值小于图 1 电路测得的阻值，产生误差的原因是图 1 电路，由于电压表 V_1 的内阻未知，不能准确确定电阻通过的电流。

题型五：半偏法测电阻

【精选例题】：

【例 1】(1)右端；(2)1893；(3)小于；(4)BC

【详解】（1）滑动变阻器是限流式接法，闭合开关前，滑动变阻器 R 的滑片应置于右端，使滑动变阻器接入电路中的阻值最大。

（2）设电流表的满偏电流为 I_g，内阻为 R_g；灵敏电流表 G 的指针半偏时，通过电流表的电流为 $\dfrac{1}{2}I_g$，通过 R_0 的电流为 $I_0=I_g-\dfrac{1}{2}I_g=\dfrac{1}{2}I_g$，由 $\dfrac{1}{2}I_gR_g=\dfrac{1}{2}I_gR_0$，所以该灵敏电流表的内阻为 $R_g=R_0=1893\Omega$

（3）闭合开关 S_2 后，电流表与 R_0 并联，电流表与 R_0 并联后的总电阻比电流表的内阻变小，电路中的总电阻变小，由 $I=\dfrac{E}{R_{总}}$，可知电路中的电流变大，当电流表指针半偏时，电阻 R_0 中的电流大于通过电流表的电流，则 R_0 接入电路中的阻值实际比电流表的阻值小，所以该实验中电流表内阻的测量值小于真实值。

（4）AC．本实验的误差来自 S_2 闭合后，电路中因电阻发生减小导致电路中电流变大造成的；设电流表的满偏电流为 I_g，内阻为 R_g；电源电动势为 E，内阻为 r，S_2 闭合前 $I_g=\dfrac{E}{r+R+R_g}$，

S_2 闭合后 $\dfrac{1}{2}I_g=\dfrac{E}{r+R+\dfrac{R_gR_0}{R_g+R_0}}\times\dfrac{R_0}{R_0+R_g}$，解得 $R_0=\dfrac{R+r}{R+r+R_g}R_g=\left(1-\dfrac{I_gR_g}{E}\right)R_g$，

由 $R_0=\dfrac{R+r}{R+r+R_g}R_g=\dfrac{1}{1+\dfrac{R_g}{R+r}}R_g$，可知 $R_0<R_g$；当 $R+r\gg R_g$ 时，即 $R\gg R_g$ 时，$R_0=R_g$ 近似成立。

所以更换阻值较大的滑动变阻器，能减小误差。更换内阻较小的电源，增大误差，故 A 错误，C 正确；

B．R_g 与 R_0 的相对误差 $\eta=\dfrac{R_g-R_0}{R_g}=\dfrac{I_gR_g}{E}$，所以更换电动势较大的电源能减小误差。故 B 正确。故选 BC。

【例 2】(1)D　　E；(2)最左端　　断开开关 K_2，调节电阻箱的阻值　　R

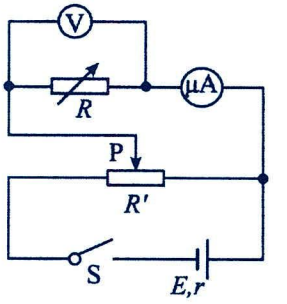
【详解】（1）[1]在半偏法测电阻的实验中，电阻箱的阻值应与待测电压表的阻值相近，故电阻箱应选 D；

[2]电路图可知滑动变阻器采用分压式接法，为了调节方便，滑动变阻器应选最大阻值较小的 E；

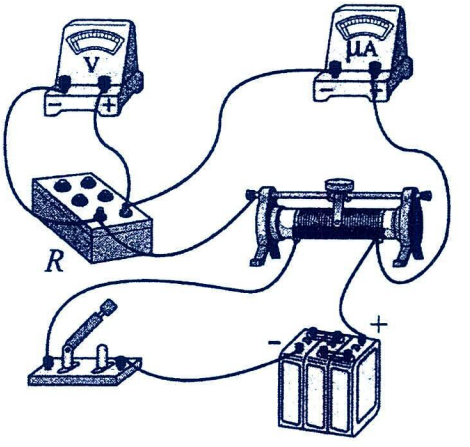
（2）[1]在测量数据时，电压要从较小数值开始变化，因而滑动变阻器的滑片开始时应在最左端；

[2][3]由于采用半偏法测量，因而应断开开关 K_2，调节电阻箱的阻值，使电压表的指针恰好指在中间刻度，即半偏，由串联电路知识可知，电压表与电阻箱电压近似相等、电流相等，因而电压表的内阻的测量值为 R。

【例 3】见解析　见解析　右　　大　$\dfrac{(2I_2-I_1)R_1R_2}{R_1-R_2}$　$\dfrac{(2I_2-I_1)R_1R_2}{I_1R_1-2I_2R_2}$



【详解】[1] 电压表量程未知，不能直接读取电压表的示数，微安表与电压表串联用伏安法无法测定电压表内阻。电压表与电阻箱串联，用半偏法虽可以测定电压表内阻，但无法确定其量程。微安表内阻未知，不能改装成电压表，也不能确定电压表量程。根据所给器材考虑电压表与电阻箱并联后与微安表串联，通过改变电阻箱阻值可得到两组电压表偏转格数、电阻箱阻值和微安表示数的对应数据，根据欧姆定律列出电压表指针偏转格数、电阻箱阻值和微安表示数关系，联立可求得电压表量程和内阻。因滑动变阻器阻值远小于电压表内阻，应采用分压法。设计电路图如图所示。



[2] 根据设计电路连接实物图，如图所示

[3][4]闭合开关之前，为使测量电路分压最小，保护微安表，应使滑动变阻器的滑片滑到最右端，电阻箱的阻值调到最大。

[5][6] 根据欧姆定律，当电压表指针满偏时 $U_V=I_1\dfrac{R_VR_1}{R_V+R_1}$，

当电压表指针半偏时有 $\dfrac{1}{2}U_V=I_2\dfrac{R_VR_2}{R_V+R_2}$

联立解得 $U_V=\dfrac{(2I_2-I_1)R_1R_2}{R_1-R_2}$，$R_V=\dfrac{(2I_2-I_1)R_1R_2}{I_1R_1-2I_2R_2}$

【跟踪训练】：

1．(1) G　B　198　偏小；(2) $3r_0$；(3)串联　5742

【详解】（1）[3]闭合开关 K_1 后调节 R_2 的阻值，使毫伏表 V 的指针满偏，闭合开关 K_2，保持 R_2 不变，调节 R_1 的阻值，使毫伏表 V 的示数为 50mV，即流经毫伏表 V 的电流变为原来的一半，即总电阻变为原来的一半，则 $\dfrac{R_VR_1}{R_V+R_1}=\dfrac{R_V}{2}$，所以 $R_V=R_1=198\Omega$

[4]并联 R_1 后，电路中的总电阻变小，则电路中的电流变大，所以通过 R_1 的电流大于毫伏表 V 满偏电流的一半，则测量值小于真实值；

[1][2]毫伏表 V 的满偏电流为 $I_g=\dfrac{U_g}{R_V}\approx0.51\text{mA}$

若滑动变阻器选择 r_1，则不计电源内阻时，电源的最大电压为 $E_m=I_g(R_V+r_1)\approx0.20\text{V}$

此时无合适的电源；若滑动变阻器选择 r_2，则不计电源内阻时，电源的最大电压为 $E_m=I_g(R_V+r_2)\approx30.4\text{V}$

此时有合适的电源；若滑动变阻器选择 r_3，则不计电源内阻时，电源的最大电压为 $E_m=I_g(R_V+r_3)\approx15.3\text{V}$

此时有合适的电源；为使误差较小，则应使得并联 R_1 时对电路的影响较小，即滑动变阻器 R_2 应接入电路中的电阻尽可能大些，故滑动变阻器应选 r_2，即选 B；电源应选 G。

（2）若步骤 c 中，闭合开关 K_2，保持 R_2 不变，调节 R_1 的阻值，使毫伏表 V 的示数为 25mV，则毫伏表 V 中的电流变为 $I_V=\frac{25}{100}I_g=\frac{I_g}{4}$，此时，$R_1$ 的电流为 $I_1=I_g-I_V=\frac{3}{4}I_g$，根据并联关系 $\frac{R_V}{R_1}=\frac{I_1}{I_V}$，解得 $R_V=3r_0$

（3）毫伏表 V 改装成量程为 3V 的电压表，需要串联一个阻值，根据欧姆定律 $\frac{U_g}{R_V}=\frac{U}{R_V+R_0}$，解得 $R_0=5742\Omega$。

2．(1)b；(2)500　　100；(3)小于

【详解】（1）考虑实验的安全性，闭合 S_1 之前，滑动变阻器接入电路阻值应最大，则应使 R_0 的滑片移至 b 端。

（2）[1][2]已知 R_0 的阻值远大于 R_g，因此在闭合 S_2 后，可认为电路中通过 R_0 的电流保持不变，保持 R_0 不变，闭合 S_2，调节 R，使微安表读数等于 I，则有 $I_g=I+\frac{IR_g}{R}$，变形得 $\frac{1}{I}=\frac{R_g}{I_g}\cdot\frac{1}{R}+\frac{1}{I_g}$

由图 2 可得，纵轴截距表示 $\frac{1}{I_g}=2.0\times10^3\mathrm{A}^{-1}$，可得 $I_g=\frac{1}{2.0\times10^3}\mathrm{A}=500\mu\mathrm{A}$

斜率为 $k=\frac{R_g}{I_g}=\frac{(4.0-2.0)\times10^3}{1.0\times10^{-2}}\Omega/\mathrm{A}=2\times10^5\Omega/\mathrm{A}$，解得微安表内阻为 $R_g=100\Omega$

（3）在（2）问分析中认为闭合 S_2 后，电路总电流仍为 I_g，则当微安表半偏时，即读数为 $I=\frac{1}{2}I_g$ 时，认为此时通过电阻箱的电流也为 $\frac{1}{2}I_g$，设此时电阻箱的阻值为 R_0，则微安表内阻的测量值为 $R_{测}=R_0$，考虑到闭合 S_2 后，由于电阻箱 R 的并联，使得电路总电阻变小，电路总电流增大；则当微安表半偏时，即读数为 $I=\frac{1}{2}I_g$ 时，此时通过电阻箱的实际电流大于 $\frac{1}{2}I_g$，由于微安表与电阻箱并联，分到的电流与电阻成反向，则有 $R_{真}>R_0=R_{测}$

可知微安表内阻的测量值小于真实值。

3．(1) C　　B　　300.0　　小于；(2)2700.0；(3)2623.1

【详解】（1）①[1]本实验误差来自闭合开关 S_2，电阻箱 R_0 并入电路后，干路电流会发生变化，为使干路电流变化较小，应使干路中滑动变阻器接入电路的阻值尽量大，为使电流表能够满偏，相应的电源电动势应较大，故电源选择电动势为9V 的电源 E_1，故电源应选用 C；

[2]毫安表 G 的满偏电流为1mA，则干路中滑动变阻器接入电路的最小阻值约为 $\frac{9\mathrm{V}}{1\times10^{-3}\mathrm{A}}=9\mathrm{k}\Omega$，故滑动变阻器应选用 B。

②[3][4]由实验操作步骤可知，通过微安表的电流等于通过电阻箱的电流，可知两部分电阻相等，即微安表 G 内阻的测量值 $R_g=300.0\Omega$，因闭合开关 S_2，电阻箱 R_0 并入电路后，电路的总电阻变小，干路电流会变大，即干路电流大于 I_g，而流过微安表 G 的电流为 $\frac{1}{2}I_g$，则流过电阻箱 R_0 的电流大于 $\frac{1}{2}I_g$，即流过电阻箱 R_0 的电流大于流过微安表 G 的电流，根据并联电路的特点，可知微安表 G 内阻真实值大于电阻箱 R_0 的阻值，可知测量值偏小，即测量值小于微安表内阻的真实值。

（2）若按照（1）中测算的R_g，将上述微安表G改装成量程为3V的电压表需要串联一个的电阻，

阻值为$R_0=\frac{U}{I_g}-R_g=\frac{3}{1\times10^{-3}}\Omega-300.0\Omega=2700.0\Omega$

（3）当微安表G的示数为0.78mA时，有$R_{01}+R_g=\frac{2.4}{0.78\times10^{-3}}\Omega\approx3076.9\Omega$

若想调整准确，则需将微安表读数变为0.8mA，则$R_{02}+R_g=\frac{2.4}{0.8\times10^{-3}}\Omega=3000\Omega$

即将改装后的电压表内阻减小76.9Ω，即将R_0的阻值变为$2700.0\Omega-76.9\Omega=2623.1\Omega$

题型六：电桥法测电阻

【精选例题】：

【例1】(1)A　　C；(2)2000.0Ω；(3)$\frac{U}{I}$；(4)等于

【详解】（1）[1]由于电源E的电动势为5V，则电路中电压表应选A；

[2]根据$I_m=\frac{U_m}{R}=\frac{5}{20}A=0.25A$，可知电流表应选C。

（2）根据实验原理，当满足$\frac{R}{R_V}=\frac{R_A}{R_x}$，通过灵敏电流计的电流为0，则有$R\approx2000\Omega$，为确保灵敏电流计G的安全，闭合S前电阻箱应调整至2000.0Ω。

（3）闭合S后，调节电阻箱的阻值，当灵敏电流计G的示数为零时，电阻箱的阻值为R、电压表的示数为U以及电流表的示数为I，则的测量值为$R_x=\frac{U}{I}$

（4）当灵敏电流计G的示数为零时，电压表的示数U等于R_x两端电压，电流表的示数I等于通过R_x的电流，由于U、I都是准确的，所以用这种方法测得的电阻值等于真实值。

【例2】(1)乙　　A；(2)$L=\frac{\pi d^2R_1R_3}{4\rho R_2}$

【详解】（1）[1]根据题意可得$R_x=\rho\frac{L}{S}=\frac{4\rho L}{\pi d^2}\approx0.7\Omega$，由图可知，电阻箱接入电路的阻值为$R_3=140\Omega$

该实验用电桥电路测量电阻，当灵敏电流计指针为零时，电桥电路平衡，此时满足四个电阻对角线乘积相等，但由于$R_1R_3=1\times140\Omega^2=140\Omega^2\neq R_2R_x=70\Omega^2$；$R_1R_2=1\times100\Omega^2=100\Omega^2\approx R_3R_x=98\Omega^2$

可知用甲电路不合理，则实验电路应选图2中的乙。

[2]开关闭合前，应将待测电路短路，故滑动变阻器滑片应置于A端。

（2）甲电路中，当电流计读数为零时满足$\frac{R_1}{R_x}=\frac{R_2}{R_3}$，$R_x=\rho\frac{L}{S}=\frac{4\rho L}{\pi d^2}$，导线的长度计算公式为$L=\frac{\pi d^2R_1R_3}{4\rho R_2}$

【跟踪训练】：

1．左　　=　　$\frac{I_1}{I_2}R_0$　　调低　　无

【详解】（2）[1]为了保护电表，闭合开关前应将R滑片置于分压为零处，故滑至最左端；

（3）[2][3]灵敏电流计示数为零，即$U_{MN}=0$，故$\varphi_M=\varphi_N$，因此$U_{R_1}=U_{R_x}$，即$I_1R_0=I_2R_x$，$R_x=\frac{I_1}{I_2}R_0$

①[4]电流由 N 流向 M，说明$\varphi_M<\varphi_N$，调低电阻R_1，可提高 M 点电势。

②[5]在利用测量数据计算R_x的原理中未体现出电流表A_1、A_2的内阻，故无影响。

2．$\frac{1}{b}$　　无　　偏小　　3.0×10^3

【详解】（1）[1][2]由题意可知，此方法是电桥法测电阻，当电流表示数为零时，R 与 Rx 串联，R 与 AK 并联；同时 Rx 与 BK 并联，所以有$I_1R=I_2R_{AK}$，$I_1R_x=I_2R_{BK}$，化简可得$\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_{AK}}{R}$，$\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_{BK}}{R_x}$

最后，得被测电阻的阻值为$R_x=\frac{RR_{BK}}{R_{AK}}=\frac{R(\pi-\theta)}{\theta}$，整理得$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_x}\frac{\pi}{\theta}-\frac{1}{R_x}$，由此可求得$R_x=\frac{1}{b}$

则 Rx 与灵敏电流计的内阻无关，故若考虑电流计的内阻，Rx 测量值无系统误差。

（2）[3]若使灵敏电流计示数为零，则需减小θ（或增大电阻箱阻值 R），由$R_x=\frac{R(\pi-\theta)}{\theta}$知，此时测出 Rx 的值小于真实值。

（3）[4]由（1）可知$\frac{L_1}{L}=\frac{x}{2d}$，解得 x = 3.0 × 10³m

考点三：测量电阻丝的电阻率

题型一：实验原型

【精选例题】：

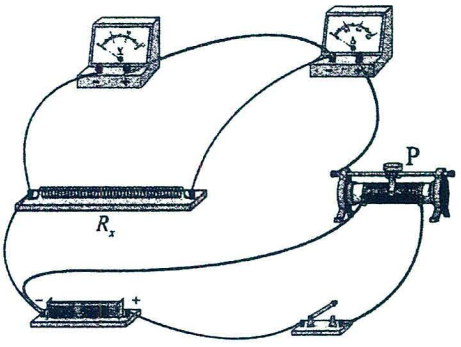
【例 1】(1)62.50/62.49/62.51　0.400/0.399/0.401；(2)A；(3)；(4)$9.0\times10^{-7}/9.1\times10^{-7}/9.2\times10^{-7}/8.9\times10^{-7}/8.8\times10^{-7}$

【详解】（1）[1]刻度尺读数精确到 0.1cm，读数时估读到 0.1mm，读数为 62.50cm。

[2]由图乙所示螺旋测微器可知，其示数为 0mm+40.0×0.01mm=0.400mm

（2）由于电压从零开始测量，所以滑动变阻器用分压式；由电压表与电流表读数可知，所测电阻阻值较小，应采用电流表外接法，故选 A。

（3）实物电路图如图所示



（4）由电阻定律$R=\rho\frac{L}{S}$，得$\rho=\frac{RS}{L}=\frac{\pi Rd^2}{4L}\approx9.0\times10^{-7}\Omega\cdot m$

【例 2】$\frac{\pi d^2I_2U}{4LI_2'(I_1-I_2)}$

【详解】（1）待测电阻与滑动变阻器并联，当闭合开关S_1，断开开关S_2，有$\frac{I_1-I_2}{I_2}=\frac{R_2}{R_x}$

闭合S_2时，有$U=I_2'R_2$，联立解得$R_x=\frac{UI_2}{I_2'(I_1-I_2)}$

根据电阻定律可得，电阻率为$\rho=R_x\frac{S}{L}=R_x\frac{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}{L}=\frac{\pi d^2I_2U}{4LI_2'(I_1-I_2)}$

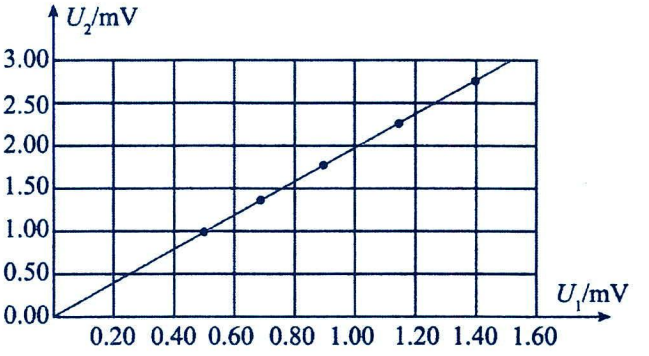
【例 3】 $\frac{U_2-U_1}{R_0}$　　$\frac{U_1R_0}{U_2-U_1}$　　$\frac{R_0}{k-1}$　　9.0/10/11　　$\frac{R_0\pi D^2}{4(k-1)L}$

【详解】（2）由电路可知，流过待测金属丝的电流 $I=\frac{U_2-U_1}{R_0}$，金属丝的电阻 $r=\frac{U_1}{I}=\frac{U_1R_0}{U_2-U_1}$

（3）根据 $r=\frac{U_1R_0}{U_2-U_1}$，解得 $U_2=\frac{R_0+r}{r}U_1$，则 $k=\frac{R_0+r}{r}$，解得 $r=\frac{R_0}{k-1}$

做出 U_2-U_1 图像，则 $k=\frac{3.00\times10^{-3}}{1.50\times10^{-3}}=2$

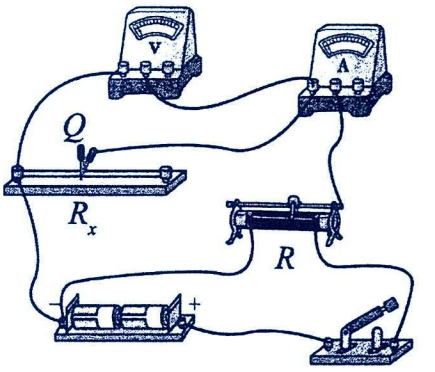
解得 $r=\frac{10}{2-1}\Omega=10\Omega$



（4）根据 $r=\rho\frac{L}{\frac{1}{4}\pi D^2}$，解得 $\rho=\frac{R_0\pi D^2}{4(k-1)L}$

【例 4】(1)见解析；(2)R_2　　A；(3)$\frac{k\pi d^2}{4}$

【详解】（1）电路连线如图



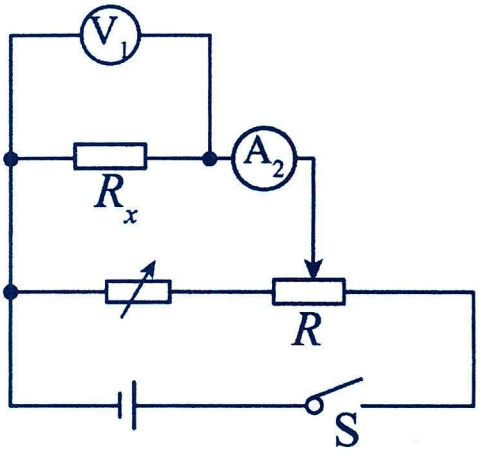
（2）[1][2]滑动变阻器接成分压电路，为方便调节则应该选择阻值较小的 R_1，但是该滑动变阻器允许的最大电流偏小，为安全起见，则应该选 R_2。图甲中开关 S 闭合之前，应将滑动变阻器的滑片 P 置于 A 端。

（3）根据 $R_x=\rho\frac{L}{S}=\frac{4\rho}{\pi d^2}L$，由题意可知 $k=\frac{4\rho}{\pi d^2}$，解得 $\rho=\frac{k\pi d^2}{4}$

【跟踪训练】：

1．(1) A　　D；(2)见解析；(3)小于

【详解】（1）[1][2]由于电源电压为3V，则电压表应选择 A；该金属丝的电阻约为10Ω，根据 $I_m=\frac{U_m}{R_x}=\frac{3}{10}A=0.3A$，则电流表应选择 D。



（2）要求实验过程电压有较大的调节范围，则滑动变阻器应采用分压接法，由于两表与电阻关系 $\frac{R_V}{R_x}>\frac{R_x}{R_A}$，为减小系统误差，电流表应采用外接法。另需要在控制电路中串个电阻箱，若不使用电阻箱可能会导致测量时滑动变阻器超过最大限制电流。综上所述，电路图如图所示

（3）因为采用的电流表外接法，电压测量值准确，电流值偏大，所以根据欧姆定律可知，电阻测量值偏小。

2．C　　$Ub-R_{A1}$　　相等

【详解】（1）[1]电路中最大电流约为 $I_m=\frac{E}{R_x}=0.025A=25mA$

为了使电流表指针能够达到适当的幅度以减小读数误差，应选择量程为 0~25mA 的电流表 C。

（2）[2]根据题意有 $U=I(R+R_x+R_{A1})$，整理得 $\frac{1}{I}=\frac{1}{U}R+\frac{R_x+R_{A1}}{U}$，结合图像可知 $\frac{R_x+R_{A1}}{U}=b$，解得 $R_x=Ub-R_{A1}$

[3]本实验中所用电流表内阻已知，不存在由于电表内阻引入的系统误差，所以测得电阻丝的阻值与真实值相等，进而根据电阻定律计算出的电阻率等于真实值。

3. $\frac{U_1}{I_1}-\frac{U_2}{I_2}$　　$\frac{\pi d^2 R_x}{4L}$　　不变

【详解】（1）[1]设电流表内阻为R_A。当S_2接a时，电压表测R_x、R_0和电流表的总电压，电流表测三者所在支路的电流，根据欧姆定律有$R_x+R_0+R_A=\frac{U_1}{I_1}$；当$S_2$接b时，电压表测$R_0$和电流表的总电压，电流表测通过$R_0$的电流，则$R_A+R_0=\frac{U_2}{I_2}$，联立两式可得$R_x=\frac{U_1}{I_1}-\frac{U_2}{I_2}$；

[2]根据电阻定律可知$R_x=\frac{\rho L}{S}$，解得$\rho=\frac{R_x S}{L}=\frac{\pi d^2 R_x}{4L}$。

（3）[3]由题中分析可知，电流表内阻对实验结论无影响，无系统误差，故电阻的测量值与真实值相比不变。

考点四：使用多用电表

题型一：认识多用电表

【精选例题】：

【例1】(1)S　　22.0；(2)T　　×100　　重新进行欧姆调零　　1900；(3)C

【详解】（1）[1]需要调整指针定位螺丝，即图中的部件S，使指针对准电流的“0”刻线。

[2]将部件K拨至“50mA”挡，最小刻度为1mA，由图（乙）可知电路中电流为22.0mA。

（2）[1]使用多用表测电阻时，将部件K拨至“×10”挡，将两表笔短接，旋动部件T，使指针对准电阻的“0刻线”。

[2][3][4]若多用电表读数如图（甲）所示，可得待测电阻较大，为了使多用电表测量的结果更准确，该同学将部件K拨至“×100”挡；之后要重新进行欧姆调零，再将待测电阻接到两表笔之间测量其阻值，此时指针如图（乙）所示，则待测电阻为$19\times100\Omega=1900\Omega$

（3）A．多用电表要满足电流方向由“红进黑出”，A与内部电源的负极相连是红表笔、B与内部电源的正极相连是黑表笔，故A错误；

B．作电流表时1是微安表先与电阻串联再与电阻并联，2是两电阻串联后再与微安表并联，根据并联电路的分流特点可知1比2量程大；作电压表时6是串联两个电阻，5是串联一个电阻，根据串联电路的分压特点可知6比5量程大，故B错误；

C．当选择开关与3或4相连是欧姆表，测量电阻之前需欧姆调零，故C正确。故选C。

【跟踪训练】：

1．(1) 1、2　　1　　A；(2)B；(3) 160　　880；(4) 1.47/1.46　　110　　2.93/2.94

【详解】（1）[1]当S调到1时，表头与R_2串联后再与R_1并联，改装成电流表，当S调到2时，R_1与R_2串联后再与表头并联，改装成电流表，即当S调到1、2时多用电表测的是电流；

[2]S调到1时，改装电流表的量程$I_1=I_g+\frac{I_g(r_g+R_2)}{R_1}$，S调到2时，改装电流表的量程$I_2=I_g+\frac{I_g r_g}{R_1+R_2}$

可知，S调到1时电流表量程较大；

[3]由电源正负极可知，电路中电流从表笔A进入，从表笔B流出，结合“红进黑出”规律可知，图中A是红表笔。端与黑表笔相连接。

（2）A．在使用多用电表之前，需要机械调零。通过调节表上的指针定位螺丝，使指针指在表盘左端电流“0”位置，故 A 错误；

B．使用欧姆挡时，需要欧姆调零。先将两表笔短接，调整 R_6 使电表指针指在表盘右端电阻“0”位置，故 B 正确；

C．使用电流挡时，不需要调节 R_6，故 C 错误。故选 B。

（3）[1]当 B 端接“2”时，电流挡的量程为小量程，即此时电流挡的量程为 $I_2=1\text{mA}$，由题可知，表头的满偏电流为 $I_g=250\mu\text{A}$，表头的内阻为 $R_g=480\Omega$，由电路的串并联结构可得 $R_1+R_2=\dfrac{I_gR_g}{I_2-I_g}=160\Omega$

[2]当 B 端接“4”时，电压挡的量程为小量程，即此时电压挡的量程为 $U_4=1\text{V}$

由[1]分析可知，当 B 端接“2”时，电流挡的内阻为 $R_A=\dfrac{I_gR_g}{I_2}=120\Omega$

则根据电路结构可得 $R_4=\dfrac{U_4}{I_2}-R_A=880\Omega$

（4）[1]多用电表指针位置如图（b）所示，若 B 端与“1”相连，电流挡的量程为 2.5mA，最小刻度为 0.05mA。则多用电表的读数为 1.46mA 或 1.47mA；

[2]若 B 端与“3”相连，则为欧姆挡，且由题意可知，欧姆挡为×10Ω 挡，所以读数为 110Ω；

[3]若 B 端与“5”相连，电压挡的量程为 5V，最小刻度为 0.1V。则多用电表的读数为 2.93V 或 2.94V。

题型二：使用多用电表测电阻

【精选例题】：（建议闭合电路欧姆定律之后完成）

【例 1】(1)直流电压 5V　　直流电流 2.5mA；(2)小于；(3) 500　　大于

【详解】（1）[1][2]与 5 相连时与电流计串联的电阻最大，则应为较大量程的电压表，所以为直流电压 5V 挡；与 1 相连时电流计并联的电阻最小，则为较大量程的电流表，为直流电流 2.5mA 挡。

（2）1V 挡和 5V 挡共用相同表头，量程之比即为电表等效内阻之比，设表头和 R_1、R_2 串联后的并联值为 r，所以有 $\dfrac{r+R_4}{r+R_4+R_5}=\dfrac{1}{5}$；解得 $\dfrac{R_5}{r+R_4}=4$；所以 $\dfrac{R_4}{R_5}<\dfrac{1}{4}$

（3）[1]由闭合电路欧姆定律 $I_g=\dfrac{E}{R_{内}}$；$\dfrac{3}{4}I_g=\dfrac{E}{R_{内}+R_x}$，由于欧姆×100Ω挡，且欧姆挡“中值”为“15”，

因此则有 $R_{内}=1500\Omega$，计算可得 $R_x=500\Omega$

[2]电源电动势变小、内阻变大时，欧姆表得重新调零，由于满偏电流 I_g 不变，由下式 $I_g=\dfrac{E}{R_{内}}$

电动势变小，$R_{内}$ 变小，待测电阻的测量值是通过电流表的示数体现出来的，由 $I=\dfrac{E}{R_{内}+R_x}=\dfrac{I_gR_{内}}{R_{内}+R_x}=\dfrac{I_g}{1+\dfrac{R_x}{R_{内}}}$

可知当 $R_{内}$ 变小时，I 变小，指针跟准确位置相比偏左了，欧姆表的示数变大了。

【例 2】(1)b　　a　　90；(2)80；(3)大于

【详解】（1）[1][2]滑动变阻器 A 的滑片调至 b 时，干路中的最大电流 $I_1=I_g+\dfrac{I_g\left(R_g+R_A\right)}{R}=\dfrac{I_g\left(R_g+R_A+R\right)}{R}$

调至 a 时，干路的中最大电流 $I_2=I_g+\dfrac{I_gR_g}{R_A+R}=\dfrac{I_g\left(R_g+R_A+R\right)}{R_A+R}$，则 $I_1>I_2$

由题意可知，倍率越大，欧姆表的内阻越大，电路中电流越小，则滑动变阻器 A 的滑片在 a 时是“×10”挡，滑片在 b 时是“×1”挡，故应从 b 滑向 a。

[3]由 $I_1=10I_2$，解得 $R_A=90\Omega$

（2）被测电阻的阻值为 $8\times10\Omega=80\Omega$

（3）调为“×1”挡时，应使通过表头的电流尽可能小，则右侧滑动变阻器应全接入电路，挡位“×10”挡时右侧滑动变阻器应短路，由“×10”挡调为“×1”挡时，未重新进行短接调零，即未将右侧滑动变阻器接入电路，则所测值应等于真实值加上右侧变阻器阻值，即所测值偏大。

【例 3】(1)黑；(2)1；(3)　　30　　小于

【详解】（1）根据电流从红表笔流入多用电表，从黑表笔流出多用电表可知，A 为黑表笔，B 为红表笔。

（2）由于欧姆表的中值电阻与内阻相等，即 $R_{内}=R_{中}$，而中值电阻等于欧姆表刻线的中值刻度乘以倍率，所以倍率越大，欧姆表内阻越大，又由于红黑表笔短接进行欧姆调零时，电路总电阻即为欧姆表内阻，

根据闭合电路欧姆定律有 $R_{内}=\dfrac{E}{I_{max}}$，当开关 K 拨到 1 时，干路电流最大值为 $I_{max}=I_g+\dfrac{I_g(R_g+R_2)}{R_1}$

当开关 K 拨到 2 时，干路电流最大值为 $I'_{max}=I_g+\dfrac{I_gR_g}{R_1+R_2}$

显然 $I_{max}>I'_{max}$，所以 $R_{内1}<R_{内2}$，即开关 K 拨到 1 时倍率为“×1”。

（3）[1] 结合上述（2）分析可知，当开关 K 拨到 1 时 $15\Omega=\dfrac{E}{I_{max}}$

当开关 K 拨到 2 时 $150\Omega=\dfrac{E}{I'_{max}}$，联立解得 $R_1=1.0\Omega$，$R_2=9.0\Omega$

将 K 拨到“×1”挡时，指针指向 $\dfrac{1}{3}I_g$ 位置时，电路中总电流为 $I=\dfrac{1}{3}I_g+\dfrac{\frac{1}{3}I_g(R_g+R_2)}{R_1}=\dfrac{100}{3}\times10^{-3}\text{A}$，

故有 $R_x+15\Omega=\dfrac{E}{I}$，解得 $R_x=30\Omega$

[2] 测量电阻时，令测量时电路的干路电流为 Ix，闭合电路欧姆定律有 $I_x=\dfrac{E}{R_{内1}+R_x}=\dfrac{E}{\frac{E}{I_{max}}+R_x}=\dfrac{1}{\frac{1}{I_{max}}+\frac{R_x}{E}}$

由于电池的电动势偏高，则电路的干路电流 Ix 偏大，测量时，指针所指位置偏右，可知待测电阻值小于真实值。

【例 4】5500　　50　　180

【详解】（1）[1]要将此灵敏电流计改装成量程为 3V 的电压表，

需要串联一个电阻为 $R=\dfrac{U}{I_g}-R_g=\dfrac{3}{0.5}\times10^3\,\Omega-500\,\Omega=5500\,\Omega$

（2）[2]由图可以看出，当选择开关 S 接 a、b、c、d 时分别表示测电阻、测电流、测电流、测电阻，且电流计并联电阻越小，改装电流表量程越大，故 b、c 挡位分别为“20mA”和“5mA”；且电流表量程越大，欧姆表内阻越

小，则倍率越小，即a、d倍率分别为“×1”和“×10”。所以将选择开关置于a测量某电阻R'时，电流表量程为“20mA”，若通过灵敏电流计G的电流为0.3mA，则此时干路电流为12mA，所以电路总电阻为$R=\frac{E}{I}=\frac{1.5}{12}\times10^{3}\Omega=125\Omega$

又因为欧姆表内阻为$R_{内}=\frac{E}{I_{满}}=\frac{1.5}{20}\times10^{3}\Omega=75\Omega$，则所测电阻阻值为$R'=R-R_{内}=50\Omega$

（3）[3]因为当电动势和内阻都发生变化，测量电阻时电路中电流I是不变的，

根据闭合电路欧姆定律知$E=IR_{内}+IR_{测}$，其中$R_{内}=\frac{E}{I_{d满}}=300\Omega$，所以$E=IR_{内}+IR_{测}=500I$，解得$I=3\text{mA}$

同理电池的电动势内阻变化后，满足$E'=IR_{内}'+IR_{真}$，$R_{内}'=\frac{E'}{I_{d满}}=270\Omega$，解得$R_{真}=\frac{1.35}{0.3}\times10^{3}\Omega-270\Omega=180\Omega$。

【跟踪训练】：

1．(1)红　　闭合；(2)11；(3)5

【详解】（1）[1]欧姆表黑表笔接电源正极，红表笔接电源负极，由电路图可知图中的A表笔为红表笔。

[2]设欧姆表中值刻度为$R_{中}$，则欧姆表为“×1”倍率时的欧姆内阻为$R_{欧1}=R_{中}\times1=R_{中}$

欧姆表为“×10”倍率时的欧姆内阻为$R_{欧10}=R_{中}\times10=10R_{中}$，欧姆表进行欧姆调零时，有$I_{m}=\frac{E}{R_{欧}}$

欧姆表倍率越高，欧姆表的内阻越大，可知电路的满偏电流越小，由电路图可知，当开关S闭合时，电路电阻较小，路的满偏电流较大，欧姆表的倍率是“×1”挡。

（2）已知欧姆表为“×1”倍率时的中值电阻为15Ω，可知开关S闭合时，欧姆表的倍率是“×1”挡，此时欧姆调零时，满偏电流为$I_{m1}=\frac{E}{R_{欧1}}=\frac{3}{15}\text{A}=0.2\text{A}=200\text{mA}$，又$I_{m1}=I_{g}+\frac{I_{g}R_{g}}{R_{0}}$，解得$R_{0}=11\Omega$

（3）当开关S闭合，电流计指针指向15mA的位置，流经干路的电流为$I_{1}=150\text{mA}$，

由闭合回路欧姆定律得$I_{1}=\frac{E}{R_{中}+R_{x}}$，解得$R_{x}=5\Omega$

2．(1)红；(2)×100；(3)1400；(4)$\frac{500}{3}$；(5)1740

【详解】（1）根据欧姆表的使用规则“红进黑出”可知，表笔1是红表笔。

（2）欧姆表的内阻$R_{内}=\frac{E}{I_{干}}$，由于低倍率内部总电阻小于高倍率内部总电阻，即电流表G满偏时干路电流越小，倍率越高，因此，电路中开关K断开时对应高倍率，即×100。

（3）使用“×100”挡位时，开关断开，回路的总电阻为$R_{总}=R_{g}+R=1500\Omega$，故$R=1400\Omega$

（4）使用“×10”挡位时，欧姆表总内阻$R_{内}=\frac{E}{I_{干}}=150\Omega$，使用“×100挡”位时$R_{内}'=\frac{E}{I_{g}}=1500\Omega$

则$I_{干}=10I_{g}$，又$I_{干}R_{内}=\left(I_{干}-I_{g}\right)R_{0}$，可得$R_{0}=\frac{500}{3}\Omega$

（5）由$E=I_{g}R_{内}$，可知$\frac{R_{测}}{R_{真}}=\frac{E}{E'}$，解得$R_{真}=1740\Omega$

3．(1)黑；(2)4；(3)“×1”　　向上　　100Ω

【详解】（1）根据欧姆表的“红入黑出”原则，c端接黑表笔。

（2）由串并联电路特点及欧姆定律得 $\begin{aligned}10\text{mA}&=1\text{mA}+\frac{I_gR_g}{R_1+R_2}\\100\text{mA}&=1\text{mA}+\frac{I_gR_g+I_gR_2}{R_1}\end{aligned}$，由以上两式得 $\begin{aligned}R_1&=4\Omega\\R_2&=36\Omega\end{aligned}$

（3）[1]由题意及闭合电路欧姆定律得，

开关S_2接 1 时$R_{内1}=\frac{E}{100\text{mA}}$；开关$S_2$接 2 时$R_{内2}=\frac{E}{10\text{mA}}$，由以上两式得$R_{内1}<R_{内2}$

因为欧姆表内阻大的挡位大，所以再将开关S_2接 1 时，欧姆表的挡位为“×1”

[2]设欧姆调零，S_2接 1 时，滑动变阻器电阻大小为R'，S_2接 2 时，滑动变阻器电阻大小为R''

由闭合电路的欧姆定律得，S_2接 1 时$R'=\frac{E-I_g(R_g+R_2)}{100\text{mA}}$；$S_2$接 2 时$R''=\frac{E-I_gR_g}{10\text{mA}}$

由以上两式比较可得$R''>R'$；所以，将开关S_2接 1 时换成 2 时，滑动变阻器电阻变大，滑片向上滑动。

[3] 开关S_2接 2 时，由闭合电路的欧姆定律得$R''=\frac{E-I_gR_g}{10\text{mA}}$，$R''+R_x=\frac{E-0.6\text{mA}R_g}{I}$，$I=0.6\text{mA}+\frac{0.6\text{mA}R_g}{R_1+R_2}$

由以上三式并代入数据得$R_x=100\Omega$

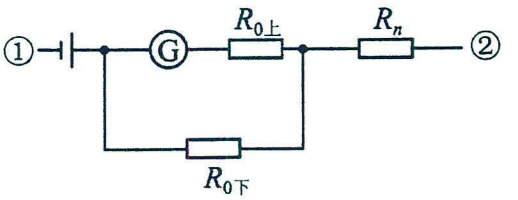
4．大于　　×10　　向上　　400

【详解】（1）[1]根据题意可知$R_m<R_n$，所以开关拨向m时电路的总电阻小于开关拨向n时电路的总电阻，电源电动势E不变，根据$I=\frac{E}{R_{总}}$可知$I_m>I_n$；

（2）[2]当开关拨S向n时，全电路的总电阻较大，中值电阻较大，能够接入待测电阻的阻值也更大，所以开关拨S向n时对应欧姆表的挡位倍率较大，即×10；

（3）[3]从“×1”挡位换成“×10”挡位，即开关S从m拨向n，全电路电阻增大，干路电流减小，①②短接时，为了使电流表满偏，则需要增大通过电流计G所在支路的电流，所以需要将R_0的滑片向上调节；

（4）[4]在“×10”挡位，令R_0与R_s串联部分的总电阻为$R_{0下}$，R_0上半部分单独叫$R_{0上}$，电路图结构简化如图



第一次，当①②短接，全电路的总电阻为$R=R_n+\frac{(R_G+R_{0上})R_{0下}}{R_G+R_{0m}}$

通过干路的电流为$I=\frac{E}{R}$

电流表满偏，根据并联电路中电流之比等于电阻反比可知$\frac{I_G}{I-I_G}=\frac{R_{0下}}{R_G+R_{0上}}$

第二次，①②之间接入$R_1=100\Omega$，全电路总电阻为$R+R_1$，通过干路的电流为$I_1=\frac{E}{R+R_1}$

电流表偏转了量程的$\frac{2}{3}$，则$\frac{\frac{2}{3}I_G}{I_1-\frac{2}{3}I_G}=\frac{R_{0下}}{R_G+R_{0上}}$，结合第一次和第二次解得$R=2R_1=200\Omega$

第三次，①②之间接入R_x，全电路总电阻为R_x+R，通过干路的电流为$I_x=\dfrac{E}{R_x+R}$

电流表偏转了量程的$\dfrac{1}{3}$，则$\dfrac{\frac{1}{3}I_G}{I_x-\frac{1}{3}I_G}=\dfrac{R_{0下}}{R_G+R_{0上}}$，结合第二次和第三次，解得$R_x=R+2R_1=400\Omega$

题型三：黑箱问题

【精选例题】：BD　　A

【例 1】【详解】A．甲图是用多用电表直流电压挡测量小灯泡两端的电压，表笔的红黑表笔接错，电流应从红表笔流进，黑表笔流出，故 A 错误；

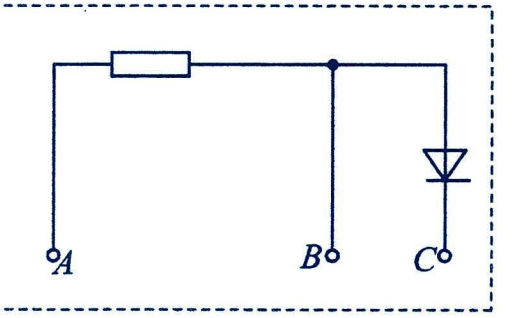
B．乙图是用多用电表直流电流挡测量电路中的电流，电流从红表笔流入，从黑表笔流出，黑表笔电势低于红表笔，故 B 正确；

CD．欧姆表内置电源正极与黑表笔相连，负极与红表笔相连，由图丙所示电路图可知，黑表笔接二极管正极，红表笔接二极管负极，多用电表测二极管正向电阻，由图丁所示电路图可知，黑表笔接二极管负极，红表笔接二极管正极，多用电表测二极管反向电阻，测量值较大，故 C 错误，D 正确。故选 BD。

【例 2】【详解】由表格中的数据可知，红黑表笔在 b、c 点互换时，阻值不变，故 b、c 间应为定值电阻300Ω，红b黑a时阻值为80Ω，说明 a、b 间接二极管，二极管处于导通状态，a 端接正极，b 端接负极，结合多用表的内部结构可知，黑表笔与电源正极相接。故选 A。

【例 3】见解析　$\dfrac{1}{a}$　　$\dfrac{a}{k_1}$　　$\dfrac{a}{k_2}-\dfrac{a}{k_1}$

【详解】（1）AB与BA间电阻相同，说明AB间是定值电阻，在测量BC之间电阻时，黑表笔接B时电阻很小，接C时电阻很大，说明BC之间有二极管，而且B接二极管的正极，则电路如图所示



（4）将e、f按照正确方式与 A、B 相连时，设电源电动势为E，定值电阻为R_0，则$U_1=\dfrac{E}{R+R_0}R_0$；即$\dfrac{1}{U_1}=\dfrac{1}{ER_0}R+\dfrac{1}{E}$，

则$a=\dfrac{1}{E}$，$k_1=\dfrac{1}{ER_0}$

将e、f按照正确方式与A、C相连，此时AC之间的电压表测的是二极管和定值电阻的总电压，设电源电动势为E，二极管正向电阻的电压为R_D，定值电阻阻值为R_0，

则由题意得$U_2=\dfrac{E}{R+R_0+R_D}(R_0+R_D)$，$\dfrac{1}{U_2}=\dfrac{1}{E(R_0+R_D)}R+\dfrac{1}{E}$；

则$a_2=\dfrac{1}{E}$，$k_2=\dfrac{1}{E(R_0+R_D)}$，故电源电动势$E=\dfrac{1}{a}$，电阻$R_0=\dfrac{a}{k_1}$；二极管正向电阻$R_D=\dfrac{a}{k_2}-\dfrac{a}{k_1}$

【例 4】(1)a；(2)3.1/3.2；(3)0.9k/900　　1.9k/1900；(4)见解析

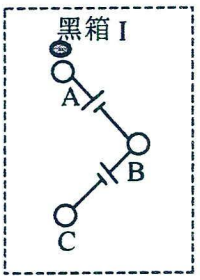
【详解】（1）如图乙，在使用多用电表之前，发现指针未指左侧“0”刻度线，应机械调零，故应先调节 a。

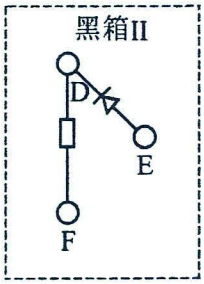
（2）电压表示数为$U=3.2$V

（3）[1]红表笔接 D、黑表笔接 E，ED 间的阻值为$R_{ED}=9\times100\Omega=900\Omega=0.9\text{k}\Omega$

[2]红表笔接 F，黑表笔接 E，FE 间的阻值为 $R_{EF}=R_{ED}+R_{DF}=0.9+1.0\text{k}\Omega=1.9\text{k}\Omega$

（4）红表笔接 A，AB 间的电压为1.5V，则 AB 间接入干电池，干电池正极与 A 相连，同理可得，BC 间接入干电池，干电池正极与 B 相连，黑箱I内部结构如图所示。





不管是红黑表笔正接还是反接，DF 间的电阻都为1.0kΩ，可知 DF 间接入定值电阻。红表笔接 D，黑表笔接 E，DE 间阻值较小，红表笔接 E，黑表笔接 D，DE 间阻值无穷大，可知 DE 间接入二极管，且二极管的正极与 E 相连，黑箱II内部结构如图所示。

【跟踪训练】：

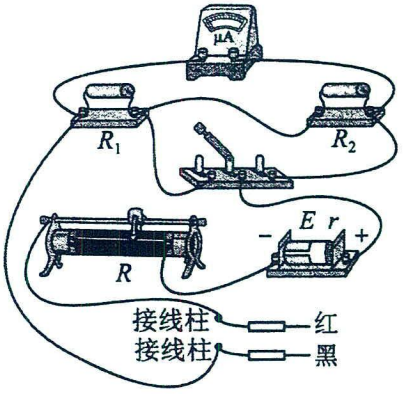
1．B

【详解】二极管具有单向导电性，红表笔接 F，电阻很小，此时二极管导通，电流从黑表笔流出通过二极管从红表笔流进，电流方向从 E 到 F，只有图 B 符合要求。故选 B。

2．C

【详解】黑笔接 1 红笔接 2 时，表示电流从 1 流入黑箱，示数为零，只有 ACD 选项符合实验结果；黑笔接 1 红笔接 3 时，示数为 0.5 kΩ，A 选项的黑箱结果是 2 kΩ，C 选项符合实验结果；黑笔接 2 红笔接 1 时，示数为 2 kΩ，C 选项符合实验结果 D 不符合。故选 C。

3．(1)见解析　　上；(2)$\frac{1}{4}R_0$；(3)见解析



【详解】（1）[1]由多用电表红黑表笔的特点，红黑表笔的电流“红入黑出”，B 点接红表笔，A 点接黑表笔，按照电路图连接实物图如下

[2] 电表调零时,红黑表笔短接，电流表应达到最大值，需要调节滑动变阻器滑片，使电流表指针满偏，当电流表电流增大时，由欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$ 可得，电流表两端电压 $U_g=I_gR_g$；I_g 增大，R_g 不变时，电流表两端电压 U_g 增大。

由并联电路特点知，R_1、R_2 两端的总电压也等于 U_g，通过 R_1、R_2 的电流 $I_{12}=\frac{U_g}{R_1+R_2}$；$U_g$ 增大时，I_{12} 也增大，

电路中总电流 $I_{总}=I_{12}+I_g$，电路总电流增大，

由闭合电路电压特点可得，滑动变阻器和电源内阻的总电压 $U=E-U_g$

滑动变阻器和电源内阻的总电压 U 减小，又有欧姆定律可得滑动变阻器和电源内阻的总电阻 $R_P+r=\frac{U}{I_{总}}$

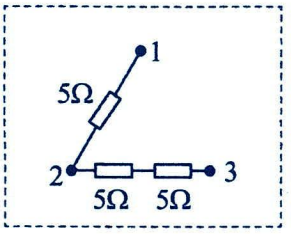
由以上可知滑动变阻器和电源内阻的总电阻减小，滑动变阻器电阻减小，滑动变阻器滑片向上移动。

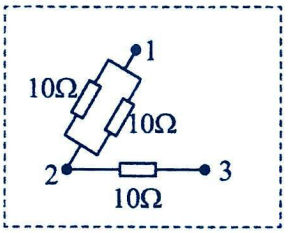
（2）由欧姆表电路的特点及闭合电路的欧姆定律得，当红黑表笔短接时 $E=I_{gm}R_{内}$

当电流表处于 a、b 两位置时 $\begin{aligned}E&=I_a(R_{内}+R_0)\\E&=I_b(R_{内}+R_x)\end{aligned}$

将 $I_{gm}=100\mu A$、$I_a=50.0\mu A$、$I_b=80.0\mu A$ 带入以上三式解得 $R_x=\frac{1}{4}R_0$

（3）由题意可得 1、3 之间的电阻可为 1、2 和 2、3 之间电阻的串联值，所以第一情况：1、2 之间接一个 5Ω 电阻，2、3 之间接两个 5Ω 电阻串联。





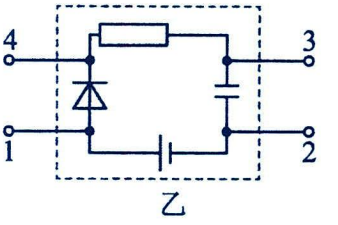
所以第二情况：1、2 之间接两个10Ω电阻并联，2、3 之间接一个10Ω电阻。

4．B　　欧姆　　见解析

【详解】（1）[1]已知电路中有一节干电池，应用电压挡试测，为避免试触时电压表反接而损坏电压表，应采用较大量程试测。确定电源的正、负极位置后，可以利用 1.5 V 挡测量。ACD 错误，B 正确。故选 B。

[2] 1、2 之间示数为 1.5 V，则电压表测量值为电源电压，且 1 接电源正极。去掉电源后，应用欧姆挡检测电路；

[3]红表笔接多用电表内部电源负极，黑表笔接多用电表内部电源正极，红表笔接 1，黑表笔接 2、3、4 显示电阻很大，说明二极管处于反接状态；黑表笔接 1，红表笔接 4 显示电阻很小，说明二极管处于 1、4 之间，且处于正向导通状态；而红表笔接 3、黑表笔接 1 显示电阻较小，说明 3、4 间有电阻存在；由于电容器充电，导致红表笔接 2、黑表笔接 1 时先有电阻，然后变为很大，说明在 2、3 间有电容器，电路图如下所示



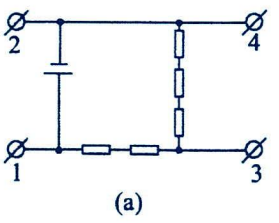
乙

5．　欧姆表内的电池对电容器充电，接通瞬间的充电电流最大，之后充电电流逐渐减小至零

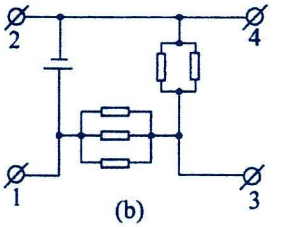
【详解】

(1)[1]出现题意现象是由欧姆表内的电池对电容器充电，接通瞬间的充电电流最大，之后充电电流逐渐减小至零；

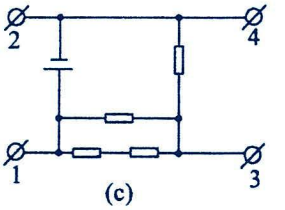
(2)[2]根据 $U_{42}=0$ 可知，2、4 间无电势差，即不能接有电阻，且 1、2 间电势差最大，即为路端电压，根据电路中电压分配与电阻的关系得如图



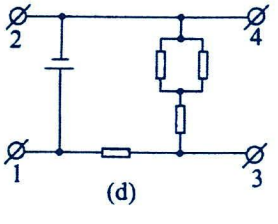
(a)



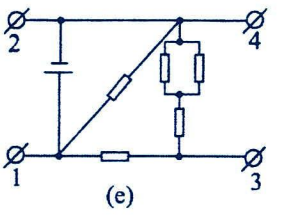
(b)



(c)



(d)



(e)

第六讲：电能

考点一：电功与电功率

题型一：纯电阻中电功与电功率的计算

【精选例题】：D　　BD　　C　　A　　5．(1)27V；(2)3.2W

【例 1】D

【详解】A．使用外部电源对此便携式移动电源充电时，是将电能转化为化学能，故 A 错误；

B．使用外部电源对此便携式移动电源充电时，最大输入功率可达 $P=UI=5\times2\text{W}=10\text{W}$，故 B 错误；

C．此便携式移动电源充满电后，1A 额定输出容量 6900mAh，2A 额定输出容量 6400mAh，C 错；

D．使用此便携式移动电源对外进行 2A 额定输出时，最大使用时间 $t=\dfrac{6400\text{mAh}}{2\text{A}}=\dfrac{6.4\text{Ah}}{2\text{A}}=3.2\text{h}$

故 D 正确。故选 D。

【例 2】BD

【详解】A．由于图线的斜率表示电阻的倒数 $R_1:R_2=1:3$，故 A 错误；

B．串联电路电流相等，所以将 R_1 与 R_2 串联后接于电源上，电流比 $I_1:I_2=1:1$，又由于 $R_1:R_2=1:3$

根据 $P=UI=I^2R$，则功率之比为 1:3，故 B 正确；

C．将 R_1 与 R_2 并联后接于电源上，并联电路电压相等，电流比等于电阻之反比 $I_1:I_2=3:1$，

由电流公式 $I=\dfrac{q}{t}$，得 $q=It$，则相同时间内通过的电量比为 $q_1:q_2=3:1$，故 C 错误；

D．并联电路电压相等， 根据 $P=\dfrac{U^2}{R}$，则功率之比为 $P_1:P_2=R_2:R_1=3:1$，故 D 正确；故选 BD。

【例 3】C

【详解】由图可知 R_1、R_2 串联，再和 R_3 并联，

根据串并联规律可知电路总电阻为 $R=\dfrac{(R_1+R_2)\times R_3}{R_1+R_2+R_3}=\dfrac{(4+4)\times8}{4+4+8}\Omega=4\Omega$；

所以电路的总功率 $P=\dfrac{U^2}{R}=\dfrac{8^2}{4}\text{W}=16\text{W}$；

通过 R_1 的电流 $I_1=\dfrac{U}{R_1+R_2}=\dfrac{8}{4+4}\text{A}=1\text{A}$；$R_1$ 的功率为 $P_1=I_1^2R_1=1^2\times4\text{W}=4\text{W}$。故选 C。

【例 4】A

【详解】根据并联电路中总电阻的求法可知，R_3、R_4 的总电阻为 $R_{34}=\dfrac{1}{\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}}=2\Omega$

AB．根据串并联电路中的电流和电压规律和欧姆定律 $I=\dfrac{U}{R}$，可知在串联电路中电流相等，则电压与电阻成正比；在并联电路中，支路两端电压相等，则电流与电阻成反比。即 $I_3:I_4=R_4:R_3=1:2$，$U_1:U_2:U_{34}=R_1:R_2:R_{34}=4:2:1$，代入题中数据解得电流 $I_1=I_2=3\text{A}$，$I_3=1\text{A}$，$I_4=2\text{A}$，电压 $U_1=24\text{V}$，

$U_2=12\text{V}$，$U_3=U_4=U_{34}=6\text{V}$，故R_1、R_2、R_3、R_4的电压之比等于4:2:1:1，R_1、R_2、R_3、R_4的电流之比等于3:3:1:2。故A正确，B错误；

C．根据上述分析及$P=UI$，可知R_1、R_2、R_3、R_4的功率之比等于$P_1:P_2:P_3:P_4=12:6:1:2$，故C错误；

D．电路的总电阻等于$R_{总}=R_1+R_2+R_{34}=14\Omega$，总功率等于$P_{总}=UI_{总}=42\text{V}\times3\text{A}=126\text{W}$，故D错误。

故选A。

【例5】(1)27V；(2)3.2W

【详解】（1）灯泡L的电阻$R_{\text{L}}=\dfrac{U_{\text{L}}^2}{P_{\text{L}}}=\dfrac{3^2}{1.5}\Omega=6\Omega$，灯泡正常发光时$I_{\text{L}}=\dfrac{U_{\text{L}}}{R_{\text{L}}}=\dfrac{3}{6}\text{A}=0.5\text{A}$；

L与滑动变阻器左端R_a部分并联，则R_a的电流$I_a=\dfrac{U_{\text{L}}}{R_a}=\dfrac{3}{\frac{1}{3}\times30}\text{A}=0.3\text{A}$

通过右端R_b的电流$I_b=I_a+I_{\text{L}}=0.8\text{A}$，电源电压$U_0=U+I_br=27\text{V}$

（2）电压表两端电压$U=U_{\text{L}}+I_b(R_b+R_x)$，解得$R_x=5\ \Omega$；此时电阻$R_x$消耗的功率$P=I_b^2R_x=3.2\text{W}$

【跟踪训练】：C　　B　　B　　AD

1．C

【详解】A．根据$W=UIt$，可得充电电流为$I=\dfrac{\frac{60\times10^3}{95\%}}{400\times4.5}\text{A}=35\text{A}$，故A错误；

B．当汽车匀速行驶时，牵引力等于阻力的大小，即$F=kmg=0.03\times2\times10^3\times10\text{N}=600\text{N}$

则牵引力的功率为$P=Fv=600\times\dfrac{108}{3.6}\text{W}=18\text{kW}$，故B错误；

C．汽车能匀速行驶的时间为$t=\dfrac{W}{P}=\dfrac{60\times90\%}{18}\text{h}=3\text{h}$，

则汽车匀速行驶的最大距离为$x=vt=108\times3\text{km}=324\text{km}$，故C正确；

D．按电价0.80元/kW·h来计算，从电池电能耗尽到充满电需要电费$\dfrac{60}{95\%}\times0.80\text{元}=50.52\text{元}$，D错误。

故选C。

2．B

【详解】根据题意，R_1的额定电压为$U_1=\sqrt{P_1R_1}=\sqrt{10\times10}\text{V}=10\text{V}$，$R_1$的额定电流为$I_1=\dfrac{U_1}{R_1}=\dfrac{10}{10}\text{A}=1\text{A}$

同理可得$U_2=40\text{V}$，$I_2=2\text{A}$；$U_3=10\text{V}$，$I_3=2\text{A}$

A．由以上分析可知，图甲两端允许加的最大电压为10V，故A错误；

B．当图甲所示电路两端加10V电压时，通过的电流为最大电流为$I_4=\left(\dfrac{10}{10}+\dfrac{10}{20}+\dfrac{10}{5}\right)\text{A}=3.5\text{A}$

故B正确；

C．图乙所示电路图，R_1与R_2并联的两端允许加的最大电压为10V，

此时允许通过的最大电流为$I_5=\left(\frac{10}{10}+\frac{10}{20}\right)\mathrm{A}=1.5\mathrm{A}<\mathrm{I}_3$

故此时图乙所示电路两端所加最大电压为$U_4=(10+1.5\times5)\mathrm{V}=17.5\mathrm{V}$，故C错误；

D．当图乙两端加17.5V电压时，图乙消耗的功率最大，为$P=U_4I_5$，代入数据$P=17.5\times1.5\mathrm{W}=26.25\mathrm{W}$

故D错误。故选B。

3．B

【详解】灯泡规格相同且正常发光，甲图灯泡并联，电流为$I_1=2I_{额}$，乙图灯泡串联，电流为$I_2=I_{额}$

电阻R_1的电压为$U_1=U-U_{额}$，消耗的功率为$P_1=U_1I_1=(U-U_{额})\cdot2I_{额}$

电阻R_2的电压为$U_2=U-2U_{额}$，消耗的功率为$P_2=U_2I_2=(U-2U_{额})\cdot I_{额}=\frac{1}{2}(U-2U_{额})\cdot2I_{额}$，

所以有$P_1>2P_2$，故选B。

4．AD

【详解】A．灯泡的电阻分别为$R_{\mathrm{A}}=\frac{U_{\mathrm{A}}^2}{P_{\mathrm{A}}}=\frac{110^2}{100}\Omega=121\Omega$，$R_{\mathrm{B}}=\frac{U_{\mathrm{B}}^2}{P_{\mathrm{B}}}=\frac{110^2}{40}\Omega=302.5\Omega$

所以在电流相同时，B更亮，在串联加最大电压时，B正常发光，电路中电流为$\frac{4}{11}\mathrm{A}$，此时A分到的电压为44V，B分到的电压为110V，于是串联能加的最大电压为154V，A正确；

B．题图乙中电阻的作用为分流，其功率为$P=\left(\frac{P_{\mathrm{A}}}{U}-\frac{P_{\mathrm{B}}}{U}\right)U=60\mathrm{W}$，B错误；

C．题图丙中，对A所在支路，灯泡A与电阻两端电压相等，所以二者功率相等，均为100W，同理，灯泡B与电阻两端电压相等，所以二者功率相等，均为40W，C错误；

D．题图丁中电路的总功率可以直接利用等效思想，得出电路的总功率为280W，D正确。

故选AD。

5．（1）6V；（2）5Ω；（3）10Ω；（4）9W，1.2W

【详解】（1）因为电源两端的电压保持不变，当闭合开关$\mathrm{S_1}$、$\mathrm{S_2}$，断开$\mathrm{S_2}$时，R_3被短路，R_2支路为断路，所以此时只有电阻R_1接入电路中，即R_1两端电压即为电源两端的电压，

根据欧姆定律有$U=I_1R_1=6\mathrm{V}$

（2）当闭合开关$\mathrm{S_2}$、$\mathrm{S_3}$，断开$\mathrm{S_1}$时，电阻R_3被短路，R_1支路为断路，所以此时只有电阻R_2接入支路中，因为电源两端的电压保持不变，所以有$R_2=\frac{U}{I_2}=5\Omega$

（3）闭合$\mathrm{S_1}$，断开$\mathrm{S_2}$、$\mathrm{S_3}$时，电阻R_2支路为断路，

此时R_1、R_3电阻为串联，电路消耗的电功率为$P_1=\frac{U^2}{R_1+R_3}$

闭合S_2，断开S_1、S_3时，电阻R_1支路为断路，此时R_2、R_3电阻为串联，电路消耗的电功率为$P_2=\frac{U^2}{R_2+R_3}$

又因为$P_1:P_2=1:2$，带入整理数据得$R_3=10\Omega$

（4）因为电源两端的电压保持不变，所以整个电路中的电压都是不变的，根据$P=\frac{U^2}{R}$可知，电路中电阻最大的时候就是电路功率最小的时候，根据串联电路的总电阻总是大于其中任一电阻，并联电路的总电阻总是小于其中最小的电阻的规律可知，

当R_1、R_3串联时，电路的功率最小，为$P_{\min}=\frac{U^2}{R_1+R_3}=1.2\text{W}$

当R_1、R_2并联时，电路的功率最大，为$P_{\max}=\frac{U^2}{\frac{R_1\cdot R_2}{R_1+R_2}}=9\text{W}$

题型二：焦耳定律

【精选例题】：BCD　　D　　C　　B

【例 1】BCD

【详解】A．电功率越大，表示电流做功越快，但是电路中产生的焦耳热的多少还与做功时间的长短有关，故 A 错误；

B. 公式$W=UIt$是计算电路的总功的大小，适用于任何电路，当为纯电阻电路时，根据欧姆定律$I=\frac{U}{R}$可得$W=I^2Rt$，$\boldsymbol{W=\frac{U^2}{R}t}$；所以$W=I^2Rt$和$\boldsymbol{W=\frac{U^2}{R}t}$只能适用于纯电阻电路，故 B 正确；

C．在非纯电阻的电路中，UI 表示的是总的功率的大小，而I^2R只是电路中发热的功率，除发热功率外，还有其他形式的有用功率，所以在非纯电阻电路中$U>I^2R$，故 C 正确；

D．焦耳热$Q=I^2Rt$适用于任何电路中的热量的计算，故 D 正确。故选 BCD。

【例 2】D

【详解】电功公式 W=UIt、焦耳定律公式 Q=I²Rt 都适合于任何电路，欧姆定律$R=\frac{U}{I}$适用于纯电阻电路，所以$Q=\frac{U^2}{R}t$也适用于纯电阻电路。故选 D。

【例 3】C

【详解】A．由电阻定律知$R=\rho\frac{L}{S}$，两电阻丝材料、长度相同，但是a的横截面积小，故$R_a>R_b$，I–U 图线中某点与原点连线的斜率的倒数表示电阻，图线 1 的斜率大，表示电阻丝b，故 A 错误；

B．a、b串联，总电阻$R>R_a>R_b$，应该在区域 III，故 B 错误；

C．由电流的微观表达式知$I=nevS$，两电阻丝材料相同，但是a的横截面积小，故a、b中自由电荷定向移动速率$v_a>v_b$，故C正确；

D．热功率$P=I^2R$，两电阻串联，电流相等，a的热功率大于b的热功率，故D错误。故选C。

【例4】B

【详解】AC．根据电阻定律$R=\rho\frac{L}{S}$，可知材料和长度相同时，横截面积越大，电阻越小，则图2中，cd段的电阻最小，故AC错误；

BD．该实验利用了电流的热效应，和“钻木取火”的原理不相同，故B正确，D错误。故选B。

【跟踪训练】：D　　A　　B

1．D

【详解】烧开初始温度相同的一杯水需要电流做功相同，根据$W=\frac{U^2}{R}t$可知，电压变为一半，时间变为4倍，即8分钟。故选D。

2．A

【详解】在通过2C的电量时，消耗的电能为4J，则有$I_1=\frac{q_1}{t}$，$E_1=I_1^2Rt$

在相同时间内通过4C的电量过程有$I_2=\frac{q_2}{t}$，$E=I_2^2Rt=UI_2t$，解得U=4V，E=16J，故选A。

3．B

【详解】A．根据电阻定律可得，超导体电阻为零，电阻率为零，故A错误；

B．电流流经超导体时，由于没有电阻，根据焦耳定律可得不会有热能产生，故无电流的热效应现象，故B正确；

C．电流流经超导体时，由于没有电阻，根据欧姆定律可得超导体两端电压为零，故C错误；

D．电流将无损耗的持续下去，故D错误。故选B。

题型三：非纯电阻中电功与电功率的计算——电动机、电解槽

【精选例题】：D　　D　　3．(1)0.3A；(2)64.2W，97.3%；(3)见解析

【例1】D

【详解】AB．电动机停止转动时，电流表和电压表的示数分别为0.5A和1.0V，

则电动机的电阻$r=\frac{U_1}{I_1}=2\Omega$，AB错误；

CD．电动机恢复正常运转时，电流表和电压表的示数分别为I_2=2.0A和U2=15.0V；

电动机的总功率为$P=U_2I_2=15\text{V}\times2\text{A}=30\text{W}$，电动机内电阻消耗的热功率为$P_r=I_2^2r=2^2\times2\text{W}=8\text{W}$

电动机正常运转时的输出功率是$P_{输出}=P-P_r=30\text{W}-8\text{W}=22\text{W}$；C错误D正确。故选D。

【例2】D

【详解】A．手机电池不是纯电阻，则输出电压U≠Ir，A错误；

B．充满电后不再有电流，则E＝U，B错误；

C．手机电池内阻为r，电流I，根据焦耳定律，时间t内，手机电池产生的焦耳热为I^2rt，C错误；

D．根据能量守恒定律，手机电池储存的化学能为$UIt-I^2rt$，D正确。故选D。

【例 3】(1)0.3A；(2)64.2W，97.3%；(3)见解析

【详解】（1）因为 $P_{入}$=IU，所以 $I=\frac{P_{入}}{U}=\frac{66}{220}\text{A}=0.3\text{A}$

（2）电风扇正常工作时转化为内能的功率 $P_{内}=I^2R=0.3^2\times20\text{W}=1.8\text{W}$

电风扇正常工作时转化为机械能的功率 $P_{机}=P_{入}-P_{内}=66\text{W}-1.8\text{W}=64.2\text{W}$

电风扇正常工作时的效率 $\eta=\frac{64.2}{66}\times100\%\approx97.3\%$

（3）电风扇的风叶被卡住后，电动机不转时可视为纯电阻电路，

通过电风扇的电流 $I_2=\frac{U}{R}=\frac{220}{20}\text{A}=11\text{A}$；发热功率 $P_{热}=I_2^2R=11^2\times20\text{W}=2420\text{W}$

此时电流 $I_2\gg I$，电流过大，发热功率过大，所以此时电动机容易被烧毁。

【例 4】(1)6A；(2)1.33Ω；(3)1.33Ω；(4)5m/s

【详解】(1)正常工作时电源输出电压为 40V，额定输出功率 240W，则电动机的额定电流 $I=\frac{P}{U}=6\text{A}$

（2）电源内阻 $r=\frac{E-U}{I}=\frac{48-40}{6}\Omega\approx1.33\Omega$

（3）设电动机的内阻为 R，电动机的效率为 80%，则有 $P-0.8P=I^2R$；求得 $R=\frac{4}{3}\Omega\approx1.33\Omega$

（4）当合力为零时，速度最大，此时 $0.8P=fv$，解得 $v=5\text{m/s}$

【跟踪训练】：D　　C　　BD　　4．(1)2.2W；(2)5Ω

1．D

【详解】A．灯泡正常发光，灯泡两端电压为 40V，电路中的电流为 $I=\frac{P_L}{U_L}=\frac{20}{20}\text{A}=1\text{A}$

电路消耗的总功率为 P=UI=60×1W=60W，故 A 错误；

B．电解槽与灯泡串联，电解槽两端的电压为 $U_{电}$=U-U_L=60V-20V=40V

电解槽消耗的电功率为 $P_{电}=U_{电}I=40\times1\text{W}=40\text{W}$，故 B 错误；

C．电解槽的发热功率 $P_{热}=I^2R=1^2\times4\text{W}=4\text{W}$，故 C 错误；

D．电解槽的输出功率为 $P_{出}=P_{电}-P_{热}=40\text{W}-4\text{W}=36\text{W}$，故 D 正确；故选 D。

2．C

【详解】A．当电动机正常工作时，有 $U>IR$，所以 $R<\frac{U}{I}$，故 A 错误；

B．电动机正常工作时，产生的热量为 $Q=I^2Rt$，故 B 错误；

C．电动机正常工作时，输出功率为 $P_{出}=UI-I^2R$，$R=\frac{U_0}{I_0}$，所以 $P_{出}=UI-\frac{I^2U_0}{I_0}$，故 C 正确；

D．电动机正常工作时，效率为 $\eta=\frac{P_{出}}{UI}\times100\%=(1-\frac{IU_0}{UI_0})\times100\%$，故 D 错误。

故选 C。

3．BD

【详解】A．该风扇正常工作时的电流为$I=\frac{P}{U}=\frac{4.44}{3.7}$A=1.2A，A 错误；

B．该风扇正常工作时电动机的发热功率为$P_{热}=I^2r=1.2^2\times0.5$W=0.72W，B 正确；

C．根据题意可得机内电池容量为$q=1800$mAh，可得该风扇连续正常工作的时间为$t=\frac{q}{I}=1.5$h，C 错误；

D．当风扇叶片卡住不动，此时电动机相当于纯电阻，正常工作时的电压全部加载在内阻上所以有此时电动机的发热功率为$P_{热}'=\frac{U^2}{r}=\frac{3.7^2}{0.5}$W=27.38W，D 正确。故选 BD。

4．(1)2.2W；(2)5Ω

【详解】（1）物体做匀速直线运动，则拉力 F=G=10N，物体上升的速度$v=\frac{x}{t}=\frac{1.1}{5}=0.22$m/s

电动机提升重物的机械功率为 $P_{机}=Fv=10\times0.22=2.2$W

（2）电动机的输入功率为 $P_{入}=UI=12\times0.2$W=2.4W，根据能量关系 $P_{入}=P_{机}+PQ$

得生热的功率为 $P_Q=P_{入}-P_{机}=2.4-2.2=0.2$W，又 $P_Q=I^2R$，得线圈电阻 R=5Ω

5．（1）2A；（2）1W；（3）1.9A

【详解】（1）加在电阻 R 两端的电压为$U_R=U-U_L=14\text{V}-4\text{V}=10\text{V}$

因此流过电阻 R 的电流为$I=\frac{U_R}{R}=2\text{A}$

（2）根据$P=UI$可知流过灯泡的电流为$I_L=\frac{P_L}{U_L}=\frac{4}{4}\text{A}=1\text{A}$

因此流过电机的电流为$I_M=I-I_L=2\text{A}-1\text{A}=1\text{A}$；电动机的发热功率为$P_{热}=I^2r=1\text{W}$

（3）灯泡的电阻为$R_L=\frac{U_L}{I_L}=\frac{4}{1}\Omega=4\Omega$

转子突然被卡住后，整个回路为纯电阻电路，总电阻为$R_{总}=R+\frac{rR_L}{r+R_L}$，解得$R_{总}=5.8\Omega$

整个回路的总电流为$I_{总}=\frac{U}{R_{总}}=\frac{14V}{5.8\Omega}\approx2.4\text{A}$，因此流过电动机的电流为$I_M'=\frac{R_L}{r+R_L}I_{总}=\frac{4}{1+4}\times2.4\text{A}\approx1.9\text{A}$

考点二：闭合电路欧姆定律

题型一：电动势与内阻

【精选例题】：C　　D

【例 1】C

【详解】A．根据$q=It$，“毫安时”（mA·h）是电量的单位，故 A 错误；

B．电源中每通过 1C 电量非静电力做功为 3.6J，电源把 3.6J 的化学能转变为电能，不是单位时间内将 3.6J 的化学能转变成电能，故 B 错误；

CD．图中 Li+向正极移动，克服电场力做功，是在非电场力的作用下从负极返回正极，说明非静电力做正功，表明电池处于放电状态，故 C 正确，D 错误。故选 C。

【例 2】D

【详解】A．电源的电动势越大代表电源将其他形式能转化为电能的本领越强，故 A 错误；

B．在电池内部，电源依靠非静电力搬移电荷，故 B 错误；

C．在电源内部，电流的方向是由负极流向正极，故 C 错误；

D．电动势的定义式为$E=\frac{W}{q}$，故干电池的电动势为 1.5 V，表示当 1 C 的电荷量通过干电池时有 1.5 J 的化学能转化为电能，故 D 正确。故选 D。

【跟踪训练】：C　　D

1．C

【详解】A．$E=\frac{W}{q}$电动势的定义式，电源电动势反映电源本身的一种性质，与非静电力做的功 W 以及所移动的电荷量 q 无关，故 A 错误；

B．电动势是反映电源把其他形式的能转化为电能本领的物理量，故 B 错误；

C．电动势在数值上等于电源没有接入外电路时两极间的电压，故 C 正确；

D．电源电动势反映电源本身的一种性质，与外电路的组成无关，在数值上等于内、外电路上的电压之和，故 D 错误。故选 C。

2．D

【详解】A．规定正电荷定向移动的方向就是电流方向，故 A 错误；

B．$E=\frac{W_{非}}{q}$是电动势的定义式，电动势由电源自身决定，与 W、q 无关，故 B 错误；

C．将一根粗细均匀的电阻丝均匀拉长，其电阻增大，但电阻率由材料与稳定决定，电阻率不变，故 C 错误；

D．在串、并联组合的电路中，任意一个电阻增大而其余电阻不变时，电路的总电阻增大。故 D 正确。故选 D。

题型二：理解闭合电路欧姆定律

【精选例题】：C　　C

【例 1】C

【详解】电压表为理想电表，断开S后，电路为断路，电压表所测电压为电动势，有$U_1=E=6\text{V}$

闭合S后，电压表的读数为$U_1=2\text{V}$，有$\frac{U_2}{E}=\frac{R}{R+r}$，联立解得$r=4\Omega$，故选 C。

【例 2】C

【详解】A．小球恰能从 B 到 A，由动能定理可得$-qU_{\text{AB}}-mgd=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$U_{\text{AB}}=4\text{V}$，A 错误；

B．两极板间的电场强度大小为$E=\frac{U_{\text{AB}}}{d}=40\text{V/m}$，故 B 错误；

C．由闭合电路欧姆定律可得$E=I(R+r)+U_{\text{AB}}$，解得$I=0.8\text{A}$，故 C 正确；

D．滑动变阻器接入电路的阻值为$R_{\text{P}}=\frac{U_{\text{AB}}}{I}=5\Omega$，故 D 错误。故选 C。

【跟踪训练】：ACD　　BC

1．ACD

【详解】A．当开关 S 接 b 点时，通过电阻 R 的电流为 1A，这时电阻 R 两端的电压为 4V，则电阻 R 的值为 $R=\frac{U_2}{I_2}=\frac{4}{1}\Omega=4\Omega$，故 A 正确；

BCD．当开关 S 接 a 点时，小灯泡 L 正常发光，故通过的电流为 $I_1=\frac{P_1}{U_1}=\frac{2.5}{5}\text{A}=0.5\text{A}$

根据闭合电路欧姆定律可得 $E=U_1+I_1r$，$E=U_2+I_2r$，联立解得 $E=6\text{V}$，$r=2\Omega$，B 错误，CD 正确。

故选 ACD。

2．BC

【详解】A．玩具汽车正常工作时，流过小灯泡的电流为 $I_\text{L}=\frac{U_\text{M}}{R}=\frac{6}{6}\text{A}=1\text{A}$

根据闭合电路的欧姆定律 $E=U_\text{M}+(I_\text{L}+I_\text{M})r$

解得玩具汽车正常工作时，流过电动机的电流为 $I_\text{M}=1\text{A}$，故 A 错误；

B．玩具汽车正常工作时，电动机的输出功率为 $P=U_\text{M}I_\text{M}-I_\text{M}^2R_\text{M}=6\times1-1^2\times1\text{W}=5\text{W}$，故 B 正确；

C．玩具汽车被卡住后，电动机当做纯电阻，电动机和灯泡并联后的总电阻 $R_{并}=\frac{RR_\text{M}}{R+R_\text{M}}=\frac{6}{7}\Omega$

回路中的电流为 $I=\frac{E}{r+R_{并}}=\frac{10}{2+\frac{6}{7}}\text{A}=3.5\text{A}$，玩具汽车被卡住后，电动机两端的电压为 $U=IR_{并}=3\text{V}$

玩具汽车被卡住后，流过电动机的电流为 $I'_\text{M}=\frac{U}{R_\text{M}}=\frac{3}{1}\text{A}=3\text{A}$，故 C 正确；

D．玩具汽车被卡住后，小灯泡的实际功率为 $P_\text{L}=\frac{U^2}{R}=\frac{3^2}{6}\text{W}=1.5\text{W}$，故 D 错误。故选 BC。

题型三：电源的 U-I 线

【精选例题】：C　　C　　C　　D

【例 1】C

【详解】AB．根据闭合电路欧姆定律可得 $U=E-Ir$，图线与纵轴交点表示电动势，图线的斜率绝对值表示内阻，可得 $E=1.4\text{V}$，$r=\frac{\Delta U}{\Delta I}=1.00\Omega$，故 AB 错误；

C．，由图可知，当 $U=1.20\text{V}$ 时，电流为 0.2A，设外电阻为 R，在有 $R=\frac{U}{I}=\frac{1.20}{0.2}=6\Omega$，故 C 正确；

D．由于图象的纵坐标不是从零开始的，图象与横坐标的交点 0.4A 不是短路电流，故 D 错误。

故选 C。

【例 2】C

【详解】AB．根据 U－I 图像中直线 A 的纵轴截距为该电源的电动势，则电源的电动势为 $E=6\text{V}$

直线 A 斜率的绝对值表示电源内阻，则电源的内阻为 $r=\left|\frac{0-6}{6}\right|\Omega=1\Omega$，故 AB 正确，不符合题意；

C．由直线 B、C 可知，定值电阻阻值分别为 $R_1=\frac{4}{2}\Omega=2\Omega$，$R_2=\frac{2}{4}\Omega=0.5\Omega$，则 $R_1:R_2=4:1$

故 C 错误，符合题意；

D．电源的 U－I 图像与定值电阻图像的交点为电阻与电源组成闭合回路时，电路中的电流与路端电压，故电源与 R_1 组成闭合回路时，电源的输出功率为 $P_1=U_1I_1=4\text{V}\times2\text{A}=8\text{W}$

电源与 R_2 组成闭合回路时，电源的输出功率为 $P_2=U_2I_2=2\text{V}\times4\text{A}=8\text{W}$，解得 $P_1:P_2=1:1$

故 D 正确，不符合题意。故选 C。

【例 3】C

【详解】AB．由闭合电路的欧姆定律得 $E=U+Ir$

将图线上 A、B 两点的 U、I 值代入可得 $E=16+0.2r$，$E=4+0.8r$，解得 $E=20\text{V}$，$r=20\Omega$

故 AB 正确，不符合题意；

C．当 R_3 的滑片自左向右滑动时，R_3 的有效阻值变小，电路中的总电阻变小，总电流变大，由此可知，图线上的 A、B 两点分别对应滑片位于最左端和最右端，当滑片位于最右端时，有 $R_3=0$

所以 R_1 被短路，外电路电阻即为 R_2，故由 B 点的 U、I 值得 $R_2=\frac{U_B}{I_B}=\frac{4}{0.8}=5\Omega$，C 错误，符合题意；

D．当滑片在最左端时，R_3 的有效阻值最大，并对应着图线上的 A 点，故由 A 点的 U、I 值可求出此时外电路的电阻，再根据串、并联电路的规律求出 R_3 的最大值，

则 $R_{外}=\frac{U_A}{I_A}=\frac{16}{0.2}=80\Omega$，$R_{外}=\frac{R_1R_{3m}}{R_1+R_{3m}}+R_2$；代入数据解得滑动变阻器的最大值 $R_{3m}=300\Omega$

故 D 正确，不符合题意。故选 C。

【例 4】D

【详解】A．根据 $U=E-Ir$，结合甲图知，电源的电动势为的 $U-I$ 图像中图线的纵轴截距，即 $E=1.50\text{V}$

电源内阻为图线斜率的绝对值，即 $r=\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=\left|\frac{1.00-1.50}{0.30}\right|\Omega=1.67\Omega$，故 A 错误；

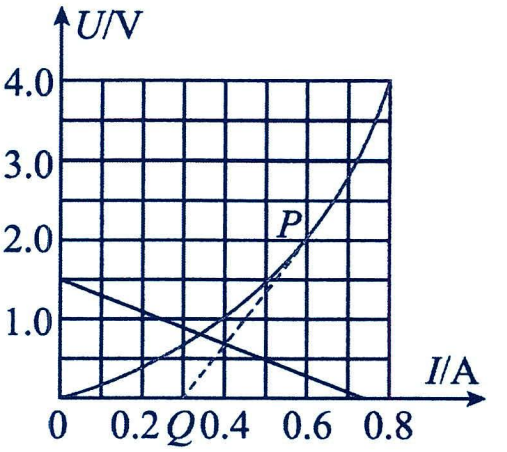
B．由乙图知，当小灯泡两端的电压为 2.0V 时，通过小灯泡的电流为 0.6A，

它的电阻为 $R=\frac{U}{I}=\frac{2.0}{0.6}\Omega=3.3\Omega$，故 B 错误；

CD．根据 A 选项分析可得 $U=1.5-1.67I$，把电源和小灯泡组成闭合回路，则将电源的 U-I 图线画在灯泡的 U-I 图像上，则交点为电路的工作点，如图所示

可知小灯泡两端的电压为 0.75V，通过小灯泡的电流为 0.36A，则小灯泡的功率为 $P=UI=0.27\text{W}$，

故 C 错误；D 正确。故选 D。



【跟踪训练】：B　　D　　ACD　　BC

1．B

【详解】AB．根据 U=E-Ir 可知，U-I 图像在纵轴上的截距等于电源电动势，则电动势 $E_1 < E_2$

图像的斜率等于电源内阻，可知内阻 $r_1 < r_2$，选项 A 错误，B 正确；

C．在两图像的交点处表面，当两电源的路端电压相同时，电流相同，则两电路所接外电阻一定相同，选项 C 错误；

D．图像 2 的斜率较大，则当两电源的电流变化量相同时，电源 2 的路端电压变化较大，D 错误。

2．D

【详解】由图可知，电源电动势为 $E=6\text{V}$，电源内阻为 $r=\dfrac{\Delta U}{\Delta I}=\dfrac{6-4}{4}\Omega=0.5\Omega$，对 A 图有 $R_{外}=\dfrac{1}{3}\Omega$

由闭合电路欧姆定律得 $I=\dfrac{E}{R_{外}+r}=7.2\text{A}$，路端电压为 $U=IR_{外}=2.4\text{V}$

对 B 图有 $R_{外}=\dfrac{2\times1}{2+1}\Omega=\dfrac{2}{3}\Omega$，由闭合电路欧姆定律得 $I=\dfrac{E}{R_{外}+r}=\dfrac{36}{7}\text{A}$，路端电压为 $U=IR_{外}\approx3.45\text{V}$

对 C 图有 $R_{外}=3\Omega$，由闭合电路欧姆定律得 $I=\dfrac{E}{R_{外}+r}\approx1.71\text{A}$，路端电压为 $U=IR_{外}\approx5.14\text{V}$

对 D 图有 $R_{外}=1.5\Omega$，由闭合电路欧姆定律得 $I=\dfrac{E}{R_{外}+r}=3\text{A}$，路端电压为 $U=IR_{外}=4.5\text{V}$，故选 D。

3．ACD

【详解】A B．电源的 $U-I$ 图像纵截距表示电源电动势，斜率的绝对值表示电源内阻，由图可知，电源的电动势和内阻分别为 $E=3\text{V}$，$r=\dfrac{3-0}{6}\Omega=0.5\Omega$，故 A 正确，B 错误；

C．两个电阻串联的总电阻比任何一个电阻都大，所以将 R_1、R_2 串联后接到电源两端，外电阻最大，总电流最小，内电压最小，外电压（即电源两端电压）最大，故 C 正确；

D．两个电阻并联的总电阻比任何一个电阻都小，所以将 R_1、R_2 并联后接到电源两端，外电阻最小，总电流最大，内电压也最大，故 D 正确。故选 ACD。

4．BC

【详解】AB．由闭合电路欧姆定律可知 $U=E-Ir$，在电源的 $U-I$ 图像中，图像的纵轴截距表示电动势、斜率的绝对值表示电源的内电阻，

可知电源 1、电源 2 的电动势与内阻分别为 $E_1=10\text{V}$，$r_1=\dfrac{10}{8}\Omega=\dfrac{5}{4}\Omega$；$E_2=10\text{V}$，$r_1=\dfrac{10}{12}\Omega=\dfrac{5}{6}\Omega$

则电源 1、电源 2 的电动势与内阻之比分别为 $E_1:E_2=1:1$，$r_1:r_2=3:2$；故 A 错误、B 正确；

CD．灯泡伏安特性曲线与电源的伏安特性曲线的交点即为灯泡与这电源连接时的工作状态，则连接电源 1 时有 $I_1=5\text{A}$，$U_1=3.75\text{V}$，连接电源 2 时有 $I_2=6\text{A}$，$U_2=5\text{V}$

则在这两种连接状态下，小灯泡的电阻之比与消耗的功率之比分别为：

$R_1:R_2=\dfrac{U_1}{I_1}:\dfrac{U_2}{I_2}=9:10$，$P_1:P_2=U_1I_1:U_2I_2=5:8$；故 C 正确、D 错误。故选 BC。

题型四：电源效率与输出功率

【精选例题】：C　　A　　C　　BC　　B

【例 1】C

【详解】A．根据$P=I^2R$可知当电流最大时，定值电阻消耗的功率最大，由闭合电路欧姆定律$I=\frac{E}{R_1+R_2+r}$，可知当$R_2=0$时，电路电流最大，定值电阻 R_1 消耗的功率最大，故 A 错误；

B．根据$P=I^2R$可知$P_2=I^2R_2=\frac{E^2R_2}{(R_1+R_2+r)^2}=\frac{E^2}{\frac{(R_2-R_1-r)^2}{R_2}+4(R_1+r)}$

故当$R_2=r+R_1$时，可变电阻 R_2 消耗的功率最大，B 正确。

C．电源的效率为$\eta=\frac{UI}{EI}\times100\%=\frac{R_1+R_2}{R_1+R_2+r}\times100\%=\frac{1}{1+\frac{r}{R_1+R_2}}\times100\%$

当闭合电路的外电路电阻越大，电源的效率越大，故 C 错误；

D．根据$P=I^2R$可知$P=I^2(R_1+R_2)=\frac{E^2(R_1+R_2)}{(R_1+R_2+r)^2}=\frac{E^2}{\frac{(R_2+R_1-r)^2}{R_1+R_2}+4r}$，故当$r=R_1+R_2$时，电源输出功率越大，由于 $R_1<r$，则电源输出功率随R_2的增大而先增大后减小，故 D 错误。故选 B。

【例 2】A

【详解】ABD．电动机两端的电压为$U_M=E-I(R+r)=\left[24-2\times(5+1)\right]\text{V}=12\text{V}$

电动机正常工作时消耗的功率为$P_M=U_MI=12\times2\text{W}=24\text{W}$，

电动机的输出功率为$P_{出}=P_M-I^2R_M=\left(24-2^2\times1\right)\text{W}=20\text{W}$，故 A 正确，BD 错误；

C．路端电压为$U=E-Ir=(24-2\times1)\text{V}=22\text{V}$，

所以，电源的效率为$\eta=\frac{UI}{EI}\times100\%=\frac{U}{E}\times100\%=\frac{22}{24}\times100\%\approx91.7\%$，故 C 错误。故选 A。

【例 3】C

【详解】AB．电池的输出功率$P=EI-I^2r$，变形可得$\frac{P}{I^2}=E\frac{1}{I}-r$

图像斜率表示电动势，纵截距表示电源内阻，可得$r=0.25\Omega$

短路电流为横截距，则有$I=\frac{E}{r}=\frac{12}{0.25}\text{A}=48\text{A}$，AB 错误；

C．根据闭合电路的欧姆定律可知，电源的输出功率$P_{输出}=I^2R=\frac{E^2}{(R+r)^2}R=\frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R}+4r}$

故当外电阻等于内阻时，电源有最大输出功率$P_{max}=\frac{E^2}{4r}=144\text{W}$，C 正确；

D．若该蓄电池仅与内阻为5.75Ω的一个座椅加热电阻丝相连，每分钟消耗电能为$Q=\frac{E^2}{R+r}t=1440\text{J}$

【例 4】BC

【详解】A．根据电路图，把定值电阻 R 等效看成电源内阻的一部分，即 $r_{等}=R+r=6\Omega$

由闭合电路欧姆定律的推论可知，当电源外电阻等于内阻时，电源输出功率最大，即 $R_P=r_{等}=6\Omega$

时，滑动变阻器此时消耗的功率最大为 $P_2=\dfrac{E^2}{4r_{等}}=\dfrac{6^2}{4\times6}=1.5\text{W}$，故 A 错误；

B．由选项 A 分析可知 $R_1=r_{等}=6\Omega$ 时，滑动变阻器此时消耗的功率达最大，

根据图乙，可知当 $R_P=3\Omega$ 时，滑动变阻器消耗的功率等于 R_2 消耗的功率，根据 $P=\left(\dfrac{E}{R_P+r_{等}}\right)^2\cdot R_P$

即 $\dfrac{E^2}{(3+6)^2}\times3=\dfrac{E^2}{(R_2+6)^2}\times R_2$，解得 $R_2=12\Omega$，故 B 正确；

C．对于定值电阻电流越大功率越大，因此滑动变阻器的阻值为零时功率最大，故 C 正确；

D．电源的效率为 $\eta=\dfrac{UI}{EI}\times100\%=\dfrac{R_{外}}{R_{外}+r}\times100\%=\dfrac{1}{1+\dfrac{r}{R_{外}}}\times100\%$，调整滑动变阻器的阻值从最右端滑到

最左端时，R_P 变大，则 $R_{外}$ 变大，电源的效率一直变大，故 D 错误。故选 BC。

【例 5】B

【详解】AD．当滑片在最右端时，设通过 R_0 的电流为 I_0，则 $\dfrac{U_V}{R_1+\dfrac{R_2R_0}{R_2+R_0}}=I_2+\dfrac{I_2R_2}{R_0}$，

其中 $U_V=8.25\text{V}$，$I_2=0.45\text{A}$，代入可得 $R_0=15\Omega$，故 $I_0=\dfrac{R_2I_2}{R_0}=0.3\text{A}$，因此 $I_{总}=I_0+I_2=0.75\text{A}$

由闭合电路欧姆定律可得 $E=U_V+I_{总}r=8.25+0.75r(\text{V})$，电源输出功率为 $P_{出}=U_VI_{总}=6.1875\text{W}$，AD 错；

BC．滑片在最左端时，R_2 被短路 $R_{外}=R_1=5\Omega$，根据闭合电路欧姆定律可得 $\dfrac{E}{R_1+r}\cdot R_1=U_1$

代入数据可得 $E=7.5+1.5r(\text{V})$，联立可得 $E=9.0\text{V}$，$r=1.0\Omega$，此时流经 R_1 的电流大小为 $I=1.5\text{A}$

电源内阻消耗功率 $P_{内}=I^2r=2.25\text{W}$，故 B 正确，C 错误。故选 B。

【跟踪训练】：C　　C　　B　　ACD　　BC

1．C

【详解】A．滑动变阻器的电阻变小，外电路的总电阻也变小，电路的总电流逐渐的增大，由 $P=I^2r$

可知，电源内部消耗的功率越来越大，电源的供电效率 $\eta=\dfrac{UI}{EI}=\dfrac{R_{外}}{R_{外}+r}\times100\%$，可知供电效率越来越

低，所以 A 错误；

BCD．滑动变阻器的电阻变小，外电路的总电阻也变小，电路的总电流逐渐的增大，由$P=I^2R_0$可知，R_0上功率越来越大，当$R=R_0+r$的时候，滑动变阻器的功率最大，由于$R>R_0+r$，所以当滑动变阻器的电阻不断减小的过程中，R 上功率先变大后变小，所以 C 正确，BD 错误。故选 C。

2．C

【详解】A．由$U=E-Ir$可知，图线 A 纵截距等于电源的电动势，斜率的绝对值等于电源的内阻，则$E=3\text{V}$，$r=\left|\dfrac{\Delta U}{\Delta I}\right|=0.5\Omega$，故 A 错误；

B．两图线的交点表示电阻丝的工作点，此时电路中电流为 I=2A

电阻丝两端的电压，即路端电压为$U=2\text{V}$，所以电阻丝的电阻为$R=\dfrac{U}{I}=1\Omega$，故 B 错误；

C．电源的效率是$\eta=\dfrac{UI}{EI}\times100\%=66.7\%$，故 C 正确；

D．电阻丝的功率为$P=UI=4\text{W}$，故 D 错误；故选 C。

3．B

【详解】根据$P_{输出}=\dfrac{E^2}{\dfrac{(R-r)^2}{R}+4r}$可知，当电路的外电阻等于内阻时，

电路的输出功率最大为$P_{\max}=\dfrac{E^2}{4r}=12\text{W}$，所以甲图则有$R_1+R_0=r$，解得$R_1=2\Omega$

对于乙图，输出的功率最大时，电路中电流为 I， 则有$P_{\max}=P_0+I^2R_0^{'}+I^2R_2$

由欧姆定律可知电阻R_2两端的电压为$U_2=E-Ir-\dfrac{P_0+I^2R_0^{'}}{I}$，整理可得$I=\dfrac{12-3I-\dfrac{2+I^2}{I}}{R_2}$

联立上述各式可得$R_2=1.5\Omega$，故选 B。

4．ACD

【详解】A．电压表测量的是R_1两端电压，电流表测量干路电流，

因此图线 a 的斜率表示R_1的电阻$R=\dfrac{U}{I}=\dfrac{2\text{V}}{0.1\text{A}}=20\Omega$，故 A 正确；

B．根据图甲可得$E=U+I(R_2+r)$，故$U=E-I(R_2+r)$，得$U-I$图像，斜率$k=R_2+r=\dfrac{2-1}{0.3-0.1}\Omega=5\Omega$

又$R_2=3\Omega$，故$r=2\Omega$，故$U=E-5I$，代入$I=0.1\text{A}$，$U=2\text{V}$，有$2=E-5\times0.1$，$E=2.5\text{V}$

因此图线AB斜率的绝对值表示电源内阻和R_2之和，故 B 错误；

C．根据$P_{R_2}=I^2R_2=3I^2=3\left(\dfrac{E}{R_1+R_2+r}\right)^2=3\left(\dfrac{E}{R_1+5}\right)^2$知$R_1=0$时，得$\left(P_{R_2}\right)_{\max}=\left(\dfrac{2.5}{5}\right)^2\times3\text{W}=0.75\text{W}$，C 正确；

D．电源的输出效率为$\eta=\dfrac{P_{出}}{P_{总}}\times100\%=\dfrac{(E-Ir)I}{EI}\times100\%$，

电流为0.3A时$\eta=\dfrac{E-Ir}{E}\times100\%=\left(1-\dfrac{0.3\times2}{2.5}\right)\times100\%=76\%$，故 D 正确；故选 ACD。

5．BC

【详解】A．当触头 P 滑到 a 端时，流过小灯泡的电流为 $I_{\mathrm{L}}=\frac{P_{\mathrm{L}}}{U_{\mathrm{L}}}=\frac{1.5}{3}\mathrm{A}=0.5\mathrm{A}$

流过滑动变阻器的电流为 $I_0=I_A-I_L=1\ \mathrm{A}-0.5\ \mathrm{A}=0.5\ \mathrm{A}$，滑动变阻器的最大阻值为 $R_0=\frac{U_{\mathrm{L}}}{I_0}=\frac{3}{0.5}\Omega=6\Omega$；

B．电源电动势为 $E=U_L+I_A(R_1+r)=3\ \mathrm{V}+1\times(2+1)\ \mathrm{V}=6\ \mathrm{V}$，故 B 正确；

CD．当 P 滑到 b 端时，滑动变阻器和小灯泡均被短路，电流总电流为 $I=\frac{E}{R_1+r}=\frac{6}{2+1}\mathrm{A}=2\mathrm{A}$

电源总功率为 $P_{总}=EI=6\times2\mathrm{W}=12\mathrm{W}$，内阻消耗的功率为 $P=I^2r=4\mathrm{W}$

则输出功率为 $P_{出}=12\mathrm{W}-4\mathrm{W}=8\mathrm{W}$，故 C 正确，D 错误。，故选 BC。

题型五：等效电源问题

【精选例题】： $E'=E$，$r+R_{\mathrm{A}}$，理由见解析　　D

【例 1】 $E'=E$，$r+R_{\mathrm{A}}$，理由见解析

【详解】(1)[1]将电源和电流表视为等效电源，电源电动势是电源本身具有的属性，电流表不具有产生电动势的本领，所以等效电源的电动势仍然为 $E'=E$

而电流表的内阻和电动势的内阻作为等效电源的内阻，即 $r'=r+R_{\mathrm{A}}$

【例 2】D

【详解】AB．甲图中 E′等于电源电动势 $E'=E$，内电阻 r′等于串联阻值 $r'=R+r$，故 AB 错误；

CD．乙图中 E′等于 MN 两端电压 $E'=\frac{R}{R+r}E$，内电阻 r′等于并联阻值即 $r'=\frac{Rr}{R+r}$，C 错误，D 正确。

【跟踪训练】：

1．$\frac{R}{R+r}E$　　$\frac{Rr}{R+r}$

【详解】（1）[1] [2]图中的 E' 等于 MN 间的电压，则有 $E'=\frac{R}{R+r}E$；

内电阻 r' 等于 R 与 r 并联阻值，即有 $r'=\frac{Rr}{R+r}$。

2．CD

【详解】当 CD 间未接入用电器时，由闭合电路欧姆定律得回路中电流 $I_1=\frac{E}{R_1+R_2+r}=1\mathrm{A}$，CD 间电压 $U_{CD}=E'=I_1R_2=3\mathrm{V}$，A 项错误；

若 CD 间用导线连接，通过电源的电流 $I_2=\frac{E}{R_1+R_{23}+r}=1.2\mathrm{A}$，$R_{23}=\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}$，根据并联电路电流分配关系可知流过 CD 间导线的电流即通过 R_3 的电流 $I_{短}=\frac{1}{3}\times I_2=0.4\mathrm{A}$，等效电源的短路电流为 0.4A，B 项错误；等效电源的内阻 $r'=\frac{E'}{I_{短}}=7.5\Omega$，C 项错误；

等效电源的输出功率 $P_{出}=IE'-I^2r'$，当 $I=\frac{E'}{2r'}=0.2\mathrm{A}$ 时，等效电源的输出功率最大，$P_{出}=\frac{E'^2}{4r'}=0.3\mathrm{W}$，D 项正确．

3．（1）6V；（2）1A；（3）6Ω；（4）1.5W

【详解】(1) C、D 之间连一个理想电压表，R_3 相当于导线，电压表测量 R_2 两端电压。根据闭合电路的欧姆定律可得电路中的电流为 $I_1=\frac{E}{R_1+R_2+r}=\frac{12}{4+6+2}\text{A}=1\text{A}$，理想电压表读数为 $U_V=I_1R_2=6\text{V}$

(2)若在 C、D 间连一个理想电流表，这时电阻 R_2 与 R_3 并联，并联电阻大小为 $R=\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}=2\Omega$

根据闭合电路欧姆定律，有 $I_2=\frac{E}{R_1+R+r}=\frac{12}{4+2+2}\text{A}=1.5\text{A}$，通过 R_3 的电流 $I=\frac{I_2R}{R_3}=\frac{1.5\times2}{3}\text{A}=1\text{A}$

(3)依题意得，等效电源电动势 E′=6V，短路电流 I′=1A，等效内阻 $r'=\frac{E'}{I'}=\frac{6}{1}\Omega=6\Omega$

(4)设外电阻为 R，则等效电源 E′的输出功率 $P_{外}=\left(\frac{E'}{R+r'}\right)^2R=\frac{36R}{(R+6)^2}=\frac{36}{R+12+\frac{36}{R}}$

易知当 R′=6Ω时等效电源的输出功率最大，则最大值为 $P_{外}=1.5\text{W}$

考点三：闭合电路欧姆定律相关计算——解答题

题型一：基础计算

【精选例题】：

【例 1】(1) $P=3.6\text{W}$；(2) $r=1.6\Omega$

【详解】（1）L 正常发光时的电功率 $P=UI=3.6\text{W}$

（2）根据闭合电路欧姆定律有 $E=U+Ir$，解得 $r=1.6\Omega$

【例 2】(1)2V；(2)30Ω

【详解】（1）只闭合开关 S_2 时，灯泡 R_1 与电阻 R_2 串联，电压表测 R_1 两端的电压，串联电路总电阻等于各部分电阻之和，所以电路总电阻 $R=R_1+R_2=10\Omega+20\Omega=30\Omega$

此时通过电路的电流 $I=\frac{U}{R}=\frac{6\text{V}}{30\Omega}=0.2\text{A}$，所以 R_1 两端的电压为 $U_1=IR_1=0.2\text{A}\times10\Omega=2\text{V}$

即电压表示数为 2V。

（2）将滑动变阻器滑片滑到最左端，闭合所有开关，电阻 R_2 与 R_3 的最大阻值并联，电流表 A 测干路电流，此时电流表示数为 0.5A，并联电路各并联支路两端电压相等，

所以通过 R_2 的电流 $I_2=\frac{U}{R_2}=\frac{6\text{V}}{20\Omega}=0.3\text{A}$

并联电路干路电流等于各支路电流之和，所以通过滑动变阻器的电流 $I_3=I_0-I_2=0.5\text{A}-0.3\text{A}=0.2\text{A}$

所以滑动变阻器的最大阻值为 $R_3=\frac{U}{I_3}=\frac{6\text{V}}{0.2\text{A}}=30\Omega$

【例 3】(1)3Ω，12Ω；(2)8V，1Ω；(3)4W

【详解】（1）由 AC 图像可知，定值电阻 $R_0=\frac{6.0-1.5}{2.0-0.5}\Omega=3\Omega$

当变阻器的滑片在最右端时电压表 V_2 读数最大，

此时滑动变阻器的总电阻 $R=\frac{U_{2B}}{I}-R_0=\frac{7.5}{0.5}\Omega-3\Omega=12\Omega$

（2）由 BC 直线可知，当 U=7.5V 时 I=0.5A；当 U=6.0V 时 I=2.0A；根据 U=E-Ir，

可得 7.5=E-0.5r；6.0=E-2.0r；解得 E=8V，r=1Ω

（3）将 R_0 看做是电源内阻，则当 R=R_0+r=4Ω时，变阻器 R 的功率最大，

最大功率为 $P_{\mathrm{m}}=\frac{E^2}{4R}=\frac{8^2}{4\times4}\mathrm{W}=4\mathrm{W}$

【跟踪训练】：

1．20V，12Ω

【详解】

当开关S_1接 1 时，R_1和R_3并联后与R_2串联，外电路总电阻 $R=\frac{R_1R_3}{R_1+R_3}+R_2=3\Omega$，路端电压 $U_1=E-\frac{U_1}{R}r$

当开关S_1接 2 时，R_1和R_2串联后与R_3并联，外电路总电阻 $R'=\frac{(R_1+R_2)R_3}{R_1+R_2+R_3}=\frac{4}{3}\Omega$，路端电压 $U_2=E-\frac{U_2}{R'}r$

联立解得 $E=20\mathrm{V}$，$r=12\Omega$

2．(1)12Ω；(2)8Ω；(3)0.4A

【详解】（1）当开关 S 断开时，理想电流表的示数为 0.5A，理想电压表的示数为 6V，根据欧姆定律有 $I_1=\frac{U_1}{R_3}$，解得 $R_3=12\Omega$

（2）当开关 S 断开时，根据闭合电路欧姆定律有 $I_1=\frac{E}{r+R_1+R_3}$，解得 $R_2=8\Omega$

（3）开关 S 闭合后，并联等效电阻 $R_{并}=\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}=8\Omega$

开关 S 闭合后，根据闭合电路欧姆定律有 $I_2=\frac{E}{r+R_1+R_{并}}$，解得 $I_2=0.6\mathrm{A}$

并联电路的电压 $U_2=E-I_2(r+R_1)$，开关 S 闭合后，流过电流表的电流 $I_3=\frac{U_2}{R_3}$；解得 $I_3=0.4\mathrm{A}$

3．(1)$U_{\mathrm{m}}=8\mathrm{V}$；(2)$R_x=10\Omega$，$P_{\mathrm{m}}=3.6\mathrm{W}$；(3)$U=\frac{120m}{1+10m}$，$(m\le0.2\mathrm{kg})$

【详解】（1）经分析知，当滑片在R最下方时，电压表示数最大，电路总电阻为 $R_{总}=R+R_0+r=30\Omega$

由闭合电路欧姆定律可得 $I_1=\frac{E}{R_{总}}=\frac{E}{R+R_0+r}=0.4\mathrm{A}$，联立解得 $U_{\mathrm{m}}=I_1R=8\mathrm{V}$

（2）滑动变阻器的功率 $P=\left(\frac{E}{R_x+R_0+r}\right)^2R_x=\frac{E^2}{\frac{(R_x-(R_0+r))^2}{R_x}+4(R_0+r)}$；将定值电阻当电源内阻，

当等效电源内阻与滑动变阻器有效电阻相等时，滑动变阻器消耗功率最大，即 $R_x=R_0+r=10\Omega$，

滑动变阻器的最大功率为 $P_{\mathrm{m}}=\frac{E^2}{4(R_0+r)}=3.6\mathrm{W}$

（3）由受力分析知 $mg=k\Delta x$，则当弹簧形变量增加 Δx 时有 $R_x=\frac{\Delta x}{L}R$，即 $R_x=\frac{mg}{kL}R$

由闭合电路的欧姆定律可得 $I=\frac{E}{R_x+R_0+r}$，又有 $U=IR_x=\frac{ER_x}{R_x+R_0+r}$

联立解得 $U=\frac{120m}{1+10m}$，$(m\le0.2\mathrm{kg})$

题型二：含容电路的计算

【精选例题】：

【例 1】(1)-2V；(2)2×10^{-5}C

【详解】（1）电路总电阻为$R_{总}=\dfrac{(3R+2R)\times(R+4R)}{(3R+2R)+(R+4R)}=2.5R$，总电流为$I=\dfrac{E}{R_{总}}=2\text{A}$

因两之路电阻相等，所以两支路电流相等，为1A，

$3R$左端比右端的电势高$U_1=3\text{V}$；R左端比右端的电势高$U_2=1\text{V}$；

所以电容器下极板的电势比上极板的电势高，上下两极板的电势差为$\Delta\varphi=-2\text{V}$

（2）由公式$Q=CU$，得电容器的电荷量$Q=2\times10^{-5}\text{C}$

【例 2】(1)2A；(2)4V；(3)1.6×10^{-5}C

【详解】（1）闭合开关 S，电路稳定后，外电路总电阻为$R_{外}=\dfrac{(R_1+R_2)R_3}{R_1+R_2+R_3}=\dfrac{(6+6)\times6}{6+6+6}\Omega=4\Omega$

根据闭合电路欧姆定律可知，电流表示数为$I=\dfrac{E}{R_{外}+r}=\dfrac{10}{4+1}\text{A}=2\text{A}$

（2）R_3两端的电压等于路端电压，为$U_3=U_{外}=IR_{外}=2\times4\text{V}=8\text{V}$

闭合开关 S，电路稳定后，电容器的电压等于R_1两端的电压，为$U_1=\dfrac{R_1}{R_1+R_2}U_{外}=\dfrac{6}{6+6}\times8\text{V}=4\text{V}$

（3）电容器所带的电荷量为$Q=CU_1=6\times10^{-6}\times4\text{C}=2.4\times10^{-5}\text{C}$，若 S 断开，电容器放电，相当于电源，

R_2与R_3串联后再与R_1并联，通过R_2、R_3的电流与R_1的电流之比为$\dfrac{I_{23}}{I_1}=\dfrac{R_1}{R_2+R_3}=\dfrac{1}{2}$

根据$Q=It$，所以通过R_1的电荷量为$Q_1=\dfrac{2}{3}Q=1.6\times10^{-5}\text{C}$

【例 3】(1)100V；(2)100Ω；(3)200Ω

【详解】（1）对小球，由动能定理得$-mgd-qU_{AB}=0-\dfrac{1}{2}mv_0^2$，解得$U_{AB}=100\text{V}$

（2）由闭合电路的欧姆定律$U_{AB}=E-I(r+R_1)$，解得 I=1A，滑动变阻器的阻值为$R_2=\dfrac{U}{I}=100\Omega$

（3）滑动变阻器的功率为$P=I^2R_P=\left(\dfrac{E}{r+R_1+R_P}\right)^2R_P=\dfrac{E^2}{\dfrac{(r+R_1)^2}{R_P}+R_P+2(r+R_1)}$

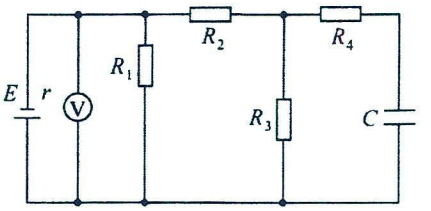
由基本不等式可知当$R_P=r+R_1=200\Omega$时其功率最大，最大功率为$P_m=\left(\dfrac{300}{200+200}\right)^2\times200\,\text{W}=112.5\text{W}$

【例 4】(1)$P=48\text{W}$；(2)$E=28\text{V}$，$r=2\Omega$；(3)$Q=6\times10^{-12}\text{C}$

【详解】(1)开关 S 断开时，等效电路图如图所示，电源的输出功率$P=\dfrac{U_1^2}{R_2+R_3}$，代入数据得$P=48\text{W}$

（2）开关 S 断开时，则有 $U_1=\dfrac{E}{R_2+R_3+r}\cdot(R_2+R_3)$

开关 S 闭合时，等效电路图如图所示



则有 $U_2=\dfrac{E}{\dfrac{R_1(R_2+R_3)}{R_1+R_2+R_3}+r}\cdot\dfrac{R_1(R_2+R_3)}{R_1+R_2+R_3}$

联立方程组解得 $E=28\text{V}$，$r=2\Omega$

（3）开关 S 断开时，电容器两端的电压 $U_{C1}=\dfrac{R_3}{R_2+R_3}\cdot U_1$

开关 S 闭合时，电容器两端的电压 $U_{C2}=\dfrac{R_3}{R_2+R_3}\cdot U_2$

开关 S 由断开到闭合，流过 R_4 的总电荷量 $Q=C(U_{C1}-U_{C2})$，代入数据得 $Q=6\times10^{-12}\text{C}$

【跟踪训练】：

1．(1)4V；(2)$2\times10^{-5}\text{C}$

【详解】（1）根据并联电路的电阻规律，可得 $R_{并}=\dfrac{R_2R_3}{R_2+R_3}$

设干路中的电流为 I，有 $I=\dfrac{E}{R_1+R_{并}+r}$，路端电压为 $U=E-Ir$，代入数据，解得 $U=4\text{V}$

（2）R_1 两端的电压为 $U_1=IR_1$，电容器所带电荷量为 $Q=CU_1$，代入数据，解得 $Q=2\times10^{-5}\text{C}$

断开开关后，电容器所带电荷量全部流过 R_1，故流过的 R_1 电荷量 $Q=2\times10^{-5}\text{C}$。

2．(1)3.2V；(2)$1.4\times10^{-3}\text{C}$

【详解】（1）S_1 闭合，S_2 断开时 $I=\dfrac{E}{R_1+R_3+r}$，$U_3=IR_3$，解得 $U_3=3.2\text{V}$

（2）S_1 闭合，S_2 断开时 $U_1=IR_1$，$C=\dfrac{Q_1}{U_1}$，电容器电荷量 $Q_1=1.6\times10^{-3}\text{C}$

S_1 闭合，S_2 闭合时，R_2、R_3 并联，再与 R_1 串联，电容器两端的电压为路端电压，则

$I_1=\dfrac{E}{R_1+\dfrac{R_2R_3}{R_2+R_3}+r}$，$U=E-I_1r$，$C=\dfrac{Q_2}{U}$，电容器电荷量 $Q_2=3.0\times10^{-3}\text{C}$

流过 R_4 的总电荷量为 $\Delta Q=1.4\times10^{-3}\text{C}$

3．(1)$U=14\text{V}$；(2)$m=5.6\times10^{-4}\text{kg}$

【详解】（1）外电路的总电阻为 $R=R_1+\dfrac{R_2R_3}{R_2+R_3}=7\Omega$，干路电流为 $I=\dfrac{E}{R+r}=2\text{A}$

由图可知，平行金属板左右板间的电势差等于电源的路端电压 $U=E-Ir=14\text{V}$

（2）平行金属板间电场强度为 $E'=\dfrac{U}{d}=140\text{V/m}$；根据平衡条件得 $qE'=mg\tan37°$

解得 $m=5.6\times10^{-4}\text{kg}$

4．(1)16V；(2)14V，6.0×10^{-12}C；(3)6.25×10^{-3}C/kg

【详解】（1）S 断开时，电阻 R_3 两端的电压为 $U_3=\dfrac{ER_3}{R_2+R_3+r}=16\text{V}$

电阻 R_3 与电容并联，则两极板间的电势差是 16V。

（2）S 闭合后，外电路的总电阻 $R=\dfrac{R_1(R_2+R_3)}{R_1+R_2+R_3}=6\Omega$，路端电压为 $U=\dfrac{ER}{R+r}=21\text{V}$

电阻 R_3 与电容并联，则两极板间的电势差是 21V。

所以电阻 R_3 两端的电压 $U_3'=\dfrac{R_3}{R_2+R_3}U=14\text{V}$，由于 $Q_1=CU_3=4.8\times10^{-11}\text{C}$，$Q_2=CU_3'=4.2\times10^{-11}\text{C}$

闭合开关后流过 R_4 的电荷量为 $\Delta Q=CU_3-CU_3'=6.0\times10^{-12}\text{C}$

（3）设带电微粒的质量为 m、带电荷量为 q，当开关 S 断开时，有 $q\dfrac{U_3}{d}=mg$

所以 $\dfrac{q}{m}=\dfrac{gd}{U_3}=6.25\times10^{-3}\text{C/kg}$

题型三：含非纯电阻电路的计算

【精选例题】：

【例 1】(1)2m/s；(2)5V；(3)5.5W

【详解】（1）由机械能守恒定律得 $mgr=\dfrac{1}{2}mv_B^2$，解得 $v_B=2\text{m/s}$

（2）根据平衡可知 $q\dfrac{U}{d}=mg$，解得 $U=5\text{V}$

（3）由欧姆定律 $I=\dfrac{U}{R}=1\text{A}$，电动机两端的电压 $U_M=E-U-Ir_{内}=6\text{V}$；

电动机的机械功率 $P_{机}=P_{总}-P_{热}=IU_{\text{M}}-I^2r_{\text{M}}=5.5\text{W}$

【例 2】(1)1A；(2)3A

【详解】（1）玩具汽车正常工作时，电路的总电流 $I=\dfrac{E-U_{\text{M}}}{r}=\dfrac{10-6}{2}\text{A}=2\text{A}$

流过电动机的电流 $I_{\text{M}}=I-\dfrac{U_{\text{M}}}{R}=2\text{A}-\dfrac{6}{6}\text{A}=1\text{A}$

（2）玩具汽车被卡住后，电动机变为纯电阻，则总电阻 $R_{总}=r+\dfrac{RR_{\text{M}}}{R+R_{\text{M}}}=\dfrac{20}{7}\Omega$

总电流 $I'=\dfrac{E}{R_{总}}=3.5\text{A}$；流过电动机的电流 $I_{\text{M}}'=\dfrac{R}{R+R_{\text{M}}}I'=3\text{A}$

【例 3】(1)$I_{\text{L}}=2\text{A}$；(2)$\eta=75\%$；(3)$t=0.73\text{s}$

【详解】（1）对图中电路，令干路电流为 I，根据闭合电路欧姆定律有 $E=U_{\text{M}}+Ir$

电动机正常工作时流过电动机的电流 $I_{\text{M}}=\dfrac{P}{U_{\text{M}}}=2\text{A}$，则流过车灯的电流为 $I_{\text{L}}=I-I_{\text{M}}$，代入得 $I_{\text{L}}=2\text{A}$

（2）电动机的输出功率 $P_{出}=P-I_{\text{M}}^2R_{\text{M}}$，代入得 $P_{出}=12\text{W}$

电动机的效率 $\eta=\dfrac{P_{出}}{P}\times100\%$，代入得 $\eta=75\%$

（3）玩具车从启动到开始做匀速直线运动过程，根据动能定理有 $P_{出}t-fL=\frac{1}{2}mv_m^2-0$

在匀速运动过程中，玩具车处于平衡状态，则有 $f=F_{牵}=\frac{P_{出}}{v_m}$，联立以上各式解得 $t=0.73\text{s}$

【跟踪训练】：

1．(1)20V；(2)15Ω

【详解】（1）由闭合电路欧姆定律得 $E=U+U_{内}$；解得 $U_{内}=20\text{V}$

则干路电流 $I=\frac{U_{内}}{r}=2\text{A}$；定值电阻 R 两端的电压 $U_R=IR=20\text{V}$

（2）对电动机有 $U_MI=mgv+I^2r_0$；解得 $r_0=15\Omega$

2．(1)120V；(2)20A；(3)1900W

【详解】（1）当 S_1 闭合、S_2 断开时，则通过电炉丝的电流满足 $P_1=I_1^2\cdot R$

根据闭合电流欧姆定律，电源的电动势为 $E=I_1(R+r)$，解得 $E=120\text{V}$

（2）当 S_1 闭合、S_2 闭合时，通过电炉丝的电流满足 $P_2=I_2^2\times R$，电炉两端电压为 $U=I_2R$

通过电源的电流为 $I_{总}=\frac{E-U}{r}$；通过电解槽的电流为 $I=I_{总}-I_2$，解得 $I=20\text{A}$

（3）电解槽消耗的电功率为 $P=UI$；解得 $P=1900\text{W}$

3．(1)$Q=4\text{C}$；(2)$r=1\Omega$；(3)$P_{出}=4.68\text{W}$

【详解】（1）灯泡 L 正常发光，其额定电压 $U_{\text{L}}=9\text{V}$，流过灯泡 L 的电流 $I_{\text{L}}=\frac{P_{\text{L}}}{U_{\text{L}}}$

通过灯泡 L 的电荷量 $Q=I_{\text{L}}t$，解得 $Q=4\text{C}$

（2）根据闭合电路欧姆定律有 $U_{\text{L}}=E-Ir$，解得 $r=1\Omega$

（3）流过电动机的电流 $I_{\text{M}}=I-I_{\text{L}}$，电动机消耗的总功率 $P_{\text{M}}=U_{\text{L}}I_{\text{M}}$，电动机的热功率 $P_{热}=I_{\text{M}}{}^2R_{\text{M}}$

电动机的输出功率 $P_{出}=P_{\text{M}}-P_{热}$；解得 $P_{出}=4.68\text{W}$

4．(1)10V；(2)2Ω；(3)12V，1Ω

【详解】（1）当开关 S 置于 b 处时，对灯泡有 $P_{\text{L}}=U_{\text{L}}\cdot\frac{I}{2}$，代入数据解得 $I=2\text{A}$

当开关 S 置于 a 处时，对电动机有 $U_{\text{M}}=\frac{P_{\text{M}}}{I}$，代入数据解得 $U_{\text{M}}=10\text{V}$

（2）设电动机线圈的内阻为 R_{M}，则有 $P_{\text{M}}=IR_{\text{M}}^2+mgv$，代入数据解得 $R_{\text{M}}=2\Omega$

（3）当开关 S 置于 a 处时，根据闭合电路欧姆定律有 $E=U_{\text{M}}+I(R+r)$

当开关 S 置于 b 处时，根据闭合电路欧姆定律有 $E=U_{\text{L}}+\frac{I}{2}(R+r)$，代入数据联立解得 $E=12\text{V}$，$r=1\Omega$

题型四：综合计算

【精选例题】：

【例 1】(1)10Ω，$\frac{10}{3}\Omega$；(2)0.9W；(3)1Ω

【详解】（1）根据电路图可知，通过L_1的电流$I_1=0.3\text{A}$，根据小灯泡的伏安特性曲线可知此时L_1两端电压$U_1=3\text{V}$；则此时L_1的电阻为$R_1=\frac{U_1}{I_1}=10\Omega$，通过$L_2$的电流为$I_2=\frac{I_1}{2}=0.15\text{A}$

根据小灯泡的伏安特性曲线可知此时L_2两端电压$U_2=0.5\text{V}$，则此时L_2的电阻为$R_2=\frac{U_2}{I_2}=\frac{10}{3}\Omega$

（2）L_1消耗的电功率大小为$P_1=U_1I_1=3\times0.3\text{W}=0.9\text{W}$

（3）此时路端电压为$U=U_1+U_2=3.5\text{V}$，根据闭合电路欧姆定律可得$E=U+I_1r$，解得内阻为$r=1\Omega$

【例 2】(1)3Ω，6Ω；(2)18V，1Ω；(3)90%

【详解】（1）两电键均闭合时，由欧姆定律得$R_1=\frac{U}{I_1}=3\Omega$，定值电阻$R_3$两端的电压为$U_3=I_2R_3=6\text{V}$

由于定值电阻R_2、R_3并联，则定值电阻R_2两端的电压为$U_2=U_3=6\text{V}$

流过定值电阻R_2的电流为$I_{R2}=I_1-I_2=1\text{A}$，则定值电阻R_2的电阻值为$R_2=\frac{U_2}{I_{R2}}=6\Omega$

（2）两电键均闭合时，外电路的总电阻为$R_{外1}=\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}+R_1=5\Omega$，闭合电路欧姆定律得$E=I_1\left(R_{外1}+r\right)$

电键S_2断开时，电压表的示数 5.4V，则回路的总电流为$I=\frac{U}{R_1}=1.8\text{A}$

外电路的总电阻为$R_{外2}=R_1+R_2=9\Omega$，由闭合电路欧姆定律得$E=I\left(R_{外2}+r\right)$，联立解得$E=18\text{V},r=1\Omega$

（3）电键S_2断开时电源的效率$\eta=\frac{P_{外}}{P_{总}}=\frac{I^2\left(R_1+R_2\right)}{I^2\left(R_1+R_2+r\right)}\times100\%=90\%$

【例 3】(1)2V，2Ω；(2)4.5Ω

【详解】（1）若微粒沿直线射出电场，则微粒做匀速直线运动，则有$q\frac{U_1}{d}=mg$，解得$U_1=2\text{V}$

根据闭合电路欧姆定律有$I_1=\frac{E-U_1}{R_1+r}$，对滑动变阻器 R_L 有$R_{L1}=\frac{U_1}{I_1}$，解得$R_{L1}=2\Omega$

（2）微粒恰好从上极板的右端边缘飞出，根据牛顿第二定律有$q\frac{U_2}{d}-mg=ma$

微粒做类平抛运动，则有$L=v_0t$，$\frac{1}{2}d=\frac{1}{2}at^2$，解得$U_2=4\text{V}$

根据闭合电路欧姆定律有$I_2=\frac{E-U_2}{R_1+r}$，对滑动变阻器 R_L 有$R_{L2}=\frac{U_2}{I_2}$，解得$R_{L2}=4.5\Omega$

【跟踪训练】：

1．(1)6 V，2 Ω；(2)3.6 W；(3)0.9 W

【详解】（1）根据闭合电路欧姆定律有$E=U_1+I_1R_1+I_1r$，$E=U_2+I_2R_1+I_2r$，解得$E=6\text{V}$，$r=2\Omega$

（2）根据闭合电路欧姆定律有 $I=\frac{E}{r+R_1+R_P}$

当 RP = 0 时，干路中的电流最大，电源消耗的功率最大，则有 $I_m=\frac{E}{r+R_1}=0.6\text{A}$

电源消耗的功率 $P_0=EI_m$，代入数据解得 $P_0=3.6\text{W}$

（3）滑动变阻器消耗的功率 $P=I^2R_P$，结合闭合电路欧姆定律有 $P=\frac{E^2}{\left(\sqrt{R_P}+\frac{R_1+r}{\sqrt{R_P}}\right)^2}$

根据数学知识可知，当 $\sqrt{R_P}=\frac{R_1+r}{\sqrt{R_P}}$（或 RP = r + R1）时，滑动变阻器消耗的功率最大，

代入数据解得 $P_m=0.9\text{W}$

2．(1)E=6V，r=2Ω，R1=2Ω；(2)P=2.25W；(3) $Q=2.1\times10^{-5}\text{C}$

【详解】（1）依题开关 S 闭合、S1 断开，根据闭合电路欧姆定律 $E=U+Ir$

结合图像，得 $E=0.5r+5$，$E=1.5r+3$；解得 E=6V，r=2Ω

图像可知，当滑动变阻器的滑片滑到 b 处时，R1 电压为 3V，流过 R1 电流为 1.5A，故 $R_1=\frac{U}{I}=\frac{3}{1.5}\Omega=2\Omega$

（2）将 R1 等效为电源内阻一部分，故电源等效内阻 $r_{等效}=R_1+r=4\Omega$

此时外电路只有滑动变阻器，结合闭合闭合电路欧姆定律可知，

滑动变阻器消耗功率 $P=\left(\frac{E}{R_{滑}+r_{等效}}\right)^2R_{滑}=\frac{E^2}{\frac{\left(R_{滑}-r_{等效}\right)^2}{R_{滑}}+4r_{等效}}$

可知 $R_{滑}=r_{等效}$ 时，功率最大，即 $P=\frac{E^2}{4r_{等效}}=\frac{6^2}{4\times4}\text{W}=2.25\text{W}$

（3）结合图像当滑动变阻器的滑片置于 a 端时，外电阻 $R_{外}=\frac{U}{I}=\frac{5}{0.5}\Omega=10\Omega$，$R_{外}=R_1+R_{滑}$ 得 $R_{滑}=8\Omega$

将滑动变阻器的滑片置于中间，电路稳定后，

此时电容器两端电压为滑动变阻器电压 $U_{C1}=\frac{E}{R_1+r+\frac{R_{滑}}{2}}\times\frac{R_{滑}}{2}=\frac{6}{2+2+4}\times4\text{V}=3\text{V}$

将滑动变阻器的滑片置于中间，电路稳定后，闭合开关 S1，

电路再次稳定后,干路电流 $I'=\frac{E}{r+\frac{R_2\times\left(R_1+\frac{R_{滑}}{2}\right)}{R_2+R_1+\frac{R_{滑}}{2}}}=1.2\text{A}$；故通过 R1 的电流为 $I_{R1}=\frac{I'}{2}=0.6\text{A}$

此时电容器两端电压为R1两端电压，又因为极板间所带正负电荷与之前相反，即 $U_{C2}=I_{R1}\times R_1=-1.2\text{V}$

故求通过电阻 R3 的电荷量 Q=C(UC1-UC2)，解得 $Q=2.1\times10^{-5}\text{C}$

3．(1)2A，1A；(2)5.5W；(3)2Ω，4.5W

【详解】（1）由闭合电路欧姆定律得$E=U_{\mathrm{M}}+I_1(R_1+r)$，代入数据解得$I_1=2\mathrm{A}$

流过 R_2 的电流为$I_2=\dfrac{U_{\mathrm{M}}}{R_2}=1\mathrm{A}$

（2）流过电动机 M 的电流为$I_{\mathrm{M}}=I_1-I_2=1\mathrm{A}$，电动机的总功率$P_{总}=U_{\mathrm{M}}I_{\mathrm{M}}=6\mathrm{W}$

电动机的热功率$P_{热}=I_{\mathrm{M}}^2R_{\mathrm{M}}=0.5\mathrm{W}$；电动机的机械功率$P_{机}=P_{总}-P_{热}=5.5\mathrm{W}$

（3）由闭合电路欧姆定律得，流过 R_1 的电流为$I_1'=\dfrac{E-U_{\mathrm{M}}}{R_1'+r}$；$R_1$ 消耗的电功率为$P_1=I_1'^2R_1'=\dfrac{(E-U_{\mathrm{M}})^2}{(\sqrt{R_1'}+\dfrac{r}{\sqrt{R_1'}})^2}$

由此可知，当$\sqrt{R_1'}=\dfrac{r}{\sqrt{R_1'}}$时，即$R_1'=2\Omega$，此时$P_{1\mathrm{m}}=4.5\mathrm{W}$

考点四：动态电路分析

题型一：电路中基础物理量变化规律判断

【精选例题】：D　　BD　　B　　AC

【例 1】D

【详解】当滑动变阻器 R 的滑片向左滑动时，R 阻值变大，总电阻变大，总电流减小，即电流表示数减小，内阻上的电压变小，可知路端电压变大，即电压表示数变大。故选 D。

【例 2】BD

【详解】当闭合开关 S 后，将滑动变阻器的滑片 P 向 b 滑动时，接入电路的电阻减小，外电路总电阻增小，干路电流增大，路端电压减小，则灯 L_1 变亮，电压表的示数减小；根据串联电路分压规律可知，并联部分的电压减小，则灯 L_2 的电流减小，灯 L_2 变暗；根据干路电流增大，灯 L_2 的电流减小，可知电流表的示数增大，故 AC 错误，BD 正确。故选 BD。

【例 3】B

【详解】ACD．闭合开关 S，电路总电阻变小，根据闭合电路欧姆定律可知，电路中总电流增大，即电流表 A_1 示数增大，则电源内电压增大，而路端电压减小，根据$P_{内}=I^2r$，$P_{总}=EI$可知，电源内阻消耗的功率增大，电源的总功率增大，故 ACD 错误；

B．由于通过 R_1 的电流增大，则 R_1 两端电压 U_1 增大，根据$U=U_1+U_2$，由于路端电压减小，可知 R_2 两端电压减小，则通过 R_2 的电流减小，电流表 A_2 示数减小，故 B 正确。故选 B。

【例 4】AC

【详解】当滑动变阻器片向左移动时，滑动变阻器接入电路的电阻变大，电路中的总电阻变大，总电流变小，电流表 A_1 示数变小，电源的内电压变小，外电压变大，即电压表 V 的示数变大，R_4 两端的电压变大，流过 R_4 的电流变大，则流过 R_2、R_3 的总电流减小，R_2、R_3 的总电压减小，则流过 R_2 的电流减小，即电流表 A_2 示数变小。故选 AC。

【跟踪训练】：A　　AC　　BC　　C　　BD

1．A

【详解】变阻器与灯 L_1 串联后与灯 L_2 并联，再与灯 L_3 串联；将滑动变阻器的滑片 P 向右移动的过程中变阻器接入电路的电阻增大，外电路总电阻增大，由闭合电路欧姆定律得知：干路电流 I 减小，则通过 L_3 的电流减小，L_3 变暗，　L_3 两端电压和内阻所占电压都减小，则并联部分电压增大，所以流过灯 L_2 电流变大，　L_2 变亮，故 $I_1=I-I_2$ I 减小，I_2 增大，则 I_1 减小，灯 L_1 变暗。故选 A。

2．AC

【详解】在变阻器 R_0 的滑动端向上滑动的过程中阻值变大，则总电阻变大，根据 $I=\dfrac{E}{R_{外}+r}$ 可知流过电源的电流减小，根据 $U=E-Ir$ 可知电源的路端电压增大，即电压表的示数增大，根据 $U'=E-I(r+R_1)$；

R_2 和 R_0 并联部分两端的电压增大，根据 $I_2=\dfrac{U'}{R_2}$ 可知通过 R_2 的电流一定增大，总电流减小，则流过 R_0 的电流减小，即电流表的示数减小。故选 AC。

3．BC

【详解】A．当滑动变阻器的滑片自题中图示位置向左缓慢滑动时，接入电路的电阻减小，外电路总电阻减小，由闭合电路欧姆定律知干路电流增大，电流表的示数增大，故 A 错误；

B．根据闭合电路欧姆定律可知，干路电流增大，则路端电压减小，R_1 两端电压增大，则 R_2 两端电压减小，流过 R_2 的电流减小，故 B 正确；

C．根据并联电路电流特点可知，流过 R_3 的电流增大，电压表 V_1 的示数增大，故 C 正确；

D．R_2 两端电压减小，R_3 两端电压增大，则 R 两端电压减小，即电压表 V_2 的示数减小，故 D 错误。故选 BC。

4．C

【详解】A．在滑动变阻器滑片 P 由 a 端滑动到 b 端的过程中，变阻器的阻值先增大后减小，电路的总电阻也是先增大后减小，根据闭合电路的规律可知电路的总电流先减小后增大，所以电流表的示数先减小后增大，A 错；

B．根据闭合电路欧姆定律 $U=E-IR$，因为电流先减小后增大，由此可知 U 先增大后减小，故 B 错误；

CD．根据欧姆定律可知 $\dfrac{U}{I}=R_{滑}$，在滑动变阻器滑片 P 由 a 端滑动到 b 端的过程中，变阻器的阻值先增大后减小，所以 $\dfrac{U}{I}$ 先增大后减小，故 C 正确，D 错误。故选 C。

5．BD

【详解】AB．S 闭合，电路中总电阻减小，根据闭合电路欧姆定律可知，电路总电流增大，路端电压减小，则 A_1 的示数变大，R 两端电压变大，所以电压表 V 示数变小，根据欧姆定律可知，通过 R_2 和 R_3 的电流减小，则 A_2 和 A_3 的示数变小，故 A 错误，B 正确；

C．若 R_2 的滑片向左移动，R_2 接入电路阻值变小，则电路中的总电阻减小，根据闭合电路欧姆定律可知，电路总电流增大，路端电压减小，则 A_1 的示数变大，R 两端电压变大，R_3 两端电压变小，通过 R_3 的电流变小，则通过 R_2 的电流变大，所以 A_2 的示数变大，A_3 示数变小，故 C 错误；

D．若 R_2 的滑片向左移动，根据闭合电路欧姆定律可得 $E=U+I_1(r+R)$，可知 $\dfrac{\Delta U}{\Delta I_1}=-(R+r)$，

即 V 和 A_1 的示数变化量之比不变，故 D 正确。故选 BD。

题型二：恒流电源的分析

【精选例题】：B　　D　　CD

【例 1】B

【详解】A．滑动变阻器的滑片向上移动，接入电路的电阻变大，根据并联电路的特征，电路中总电阻增大，A 错误；

BC．恒流源流出的总电流不变，滑动变阻器的滑片向上移动，接入电路的电阻变大，电路中总电阻增大，则并联部分总电压增大，即电压表示数增大，则流过 R 的电流增大，由于总电流不变，则流过 RL 的电流减小，即电流表示数减小，B 正确、C 错误；

D．根据 $P=I^2R_{总}$，由于恒流源电流大小不变，总电阻变大，所以恒流源输出功率增大，D 错误。

故选 B。

【例 2】D

【详解】A．当电源为恒流源时，通过 R2 的干路电流 $I_{总}$ 始终不变，当滑动触头向上滑动时，R_0 增大，总电阻也增大，由 $U=I_{总}R_{总}$，可知电压表示数 U 变大，A 错误；

B．当电源为恒流源时，由欧姆定律 $U-I_{总}R_2=(I_{总}-I)R_1$，整理得 $U=I_{总}(R_1+R_2)-IR_1$，所以 $\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=R_1$

当滑动触头向上滑动时，$\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|$ 不变。B 错误；

C．当电源为恒压源时，电压表示数 U 不变，当滑动触头向上滑动时，总电阻增大，由 $U=I_{总}R_{总}$

可知干路电流 $I_{总}$ 减小，所以由 $P=UI_{总}$ 可得电源的输出功率减小，C 错误；

D．当电源为恒压源时，因为 R_0 增大，并联电路两端电压增大，故流过 R_1 的电流增大，而干路电流 $I_{总}$ 减小，所以流过另一支路的电流减小，电流表示数减小，D 正确。

故选 D。

【例 3】CD

【详解】A．当滑动变阻器的滑动触头向上滑动时，滑动变阻器接入电路的电阻增大，滑动变阻器与 R_1 并联部分电阻变大，外电路总电阻增大。电源为恒流源，外电路总电流一定，外电路总电阻增大，则外电路两端的电压增大，电压表读数 V_1 变大，故 A 错误；

B．滑动变阻器与 R_1 并联部分电阻变大，外电路总电流 $I_{总}$ 一定，则并联部分两端电压变大，流过 R_1 的电流 I_1 增大，流过滑动变阻器的电流 $I=I_{总}-I_1$，所以流过滑动变阻器的电流减小，电流表读数 I 减小，故 B 错误；

C．电源为恒流源，则流过 R_2 的电流不变，R_2 两端的电压不变，电压表读数的变化量等于电阻 R_1 两端电压的变化量；外电路总电流 $I_{总}$ 一定，电流表读数为 I，则电阻 R_1 两端电压 $U_{R_1}=(I_{总}-I)R_1$，可得 $\Delta U_1=\Delta(I_{总}-I)R_1=\Delta IR_1$

即 $\frac{\Delta U_1}{\Delta I}=R_1$ 不变，故 C 正确；

D．由于电路中的总电流不变，故 R_2 两端的电压 $U_2=I_{总}R_2$ 不变，故 D 正确。

故选 CD。

【跟踪训练】：AB　　D　　AC

1．AB

【详解】D．总电流不变，滑动触头 P 向右移动时总电阻变大，由$U_{外}=I_{外}R_{外}$

则外部总电压变大，由$P_{出}=U_{外}I_{外}$，输出总功率变大，故 D 项错误；

AB．根据电路图可知$U_2=U_{外}$，由之前可知，外电路电压增加，所以R_2两端电压变大根据$I_2=\frac{U_2}{R_2}$

所以通过电阻R_2的电流也变大，由于其电路中的总电流不变，所以有$I_1=I-I_2$

即R_1中电流一定变小，由$U_1=I_1R_1$，R_1两端电压变小，故 AB 正确；

C．对于电阻R_1由于$U_1=I_1R_1$，所以对于电阻R_1整理有$\Delta U_1=\Delta I_1\cdot R_1$

由之前的分析可知，由于流过电阻R_1的电流变小，所以$\Delta U_1<0$，由电路图可知有$\Delta U_{外}=\Delta U_1+\Delta U_{滑}$

由之前的分析可知，外电路的电压增加，即$\Delta U_{外}>0$，所以有$\Delta U_{滑}>\Delta U_1$，故 C 项错误。故选 AB。

2．D

【详解】B．电源输出的电流是定值，当总电阻变化时，电流表的示数不变，故 B 错误；

A．增大 R 的光照强度，其电阻减小，总电阻变小，外电压变小，电压表的示数变小，故 A 错误；

D．电流表的示数不变，电压表的示数变小，故电压表的示数与电流表的示数的乘积减小，故 D 正确；

C．电压表的示数变小，R_2的电压变小，根据欧姆定律知，流过R_2的电流减小，电流表的示数不变，故R_1的电流变大，故 C 错误。故选 D。

3．AC

【详解】AB．当变阻器 R_0 的滑动触头向下滑动时，R_0 阻值减小，电路总电阻 R 减小，则由 $U=I_0R$ 可知，电压表 U 读数变小；R_2 上电压不变，则 R_1 上电压减小，电流变小，则 R_3 支路电流变大，即 I 变大；选项 A 正确，B 错误；

CD．由电路可知$I_0=I+\frac{U-I_0R_2}{R_1}$，即$I=I_0-\frac{U-I_0R_2}{R_1}=(I_0+\frac{I_0R_2}{R_1})-\frac{1}{R_1}U$，则$\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=R_1$，选项 C 正确，D 错误。

故选 AC。

题型三：ΔU/ΔI 的判定

【精选例题】：D　　AC　　ACD　　BD

【例 1】D

【详解】AB．当变阻器R_0的滑动触头 P 向上滑动时，阻值增大，则总电阻增大，总电流变小，路端电压增大，即 U 增大，I 变小，选项 AB 错误；

C．根据 U=E-Ir，可知$\frac{\Delta U}{\Delta I}=r$，选项 C 错误；

D．路端电压增大，总电流变小，R_1 电压变小，可知 R_2 两端电压增大，则R_2的功率变大，选项 D 正确。故选 D。

【例 2】AC

【详解】A．当滑动变阻器滑片 P 向右移动时，R_1的阻值减小，电路总电阻为$R_{总}=R_1+R_2+r$

即电路总电阻减小，由闭合回路欧姆定律可知总电流$I=\dfrac{E}{R_1+R_2+r}$

即回路的总电流变大，可知电流表 A 的示数变大，路端电压$U_{端}=U_3=E-Ir$

可知路端电压减小，即电压表V_3读数U_3减小；R_2两端的电压为$U_2=IR_2$可知R_2两端的电压变大，即电压表V_2读数U_2变大；因为$U_3=U_1+U_2$，所以电压表V_1的示数U_1减小，A 正确；

B．电源的效率为$\eta=\dfrac{P_{输出}}{P_{总}}=\dfrac{U_3I}{EI}=\dfrac{U_3}{E}$，通过上述分析可知，$U_3$减小，$E$不变，故电源的效率减小；电源的总功率为$P_{总}=EI$，回路中电流增大，可知电源的总功率变大，B 错误；

CD．电阻R_2为定值电阻，根据欧姆定律可知$R_2=\dfrac{\Delta U_2}{\Delta I}$，所以$\dfrac{\Delta U_2}{\Delta I}$保持不变，又因为电压表$V_3$的示数$U_3$为路端电压，故有$\dfrac{\Delta U_3}{\Delta I}=r$，可知$\dfrac{\Delta U_3}{\Delta I}$保持不变，将定值电阻$R_2$和电源串联作为新的电源，则新电源的内阻为$r'=R_2+r$

此时电压表V_1的示数为新电源的路端电压，故有$\dfrac{\Delta U_1}{\Delta I}=r+R_2$，联立以上三个表达式，可得$\Delta U_2+\Delta U_3=\Delta U_1$

C 正确，D 错误。故选 AC。

【例 3】ACD

【详解】A．滑动变阻器的滑片从 a 端滑到 b 端的过程中，外电路的电阻增大，总电流减小，把R_1等效为电源的内阻，可知路端电压变大，根据$P=\dfrac{U^2}{R}$可知，R_2的功率增大，A 正确；

B．当外电路的电阻等于电源的内阻时，电源的输出功率最大，而外电路的电阻$R_{外}=R_1+R_{并}>r$

故当滑动变阻器的滑片从 a 端滑到 b 端的过程中，$R_{并}$增大，外电路的电阻一直增大，故电源的输出功率一直减小，B 错误；

C．根据闭合电路的欧姆定律可知$U_1+U_2=E-I(R_1+r)$，故有$\dfrac{\Delta U_1+\Delta U_2}{\Delta I}=(R_1+r)=10\Omega$，C 正确；

D．将R_1和R_2等效为电源内阻，则当滑动变阻器的滑片从 a 端滑到 b 端的过程中，R_4变大，总电阻变大，总电流减小，路端电压变大，V_1读数变小，则V_2读数变大，且路端电压$U=U_1+U_2$，可知$|\Delta U_1|<|\Delta U_2|$，D 正确。

故选 ACD。

【例 4】BD

【详解】A．由图可知，R、R_2、R_3三个电阻并联，再与R_1串联，依题意，滑动变阻器的滑片从图示位置向左滑动的过程中电阻 R 增大，则外电路阻值增大，根据闭合电路欧姆定律可知$I_{干}=\dfrac{E}{r+R_{外}}$

可知干路电流减小，根据$U=E-I_{干}(r+R_1)$可知电压表的示数增大，故 A 错误；

B．由电路图可知，R_2两端的电压，即电压表的示数，根据$P_2=\frac{U^2}{R_2}$可知R_2消耗的功率增大，故B正确；

C．流过R_2、R_3的电流，分别为$I_2=\frac{U}{R_2}$，$I_3=\frac{U}{R_3}$可知I_2、I_3都增大，又干路电流$I_{干}$减小，且有$I_{干}=I+I_2+I_3$可知I减小，即电流表的示数减小，故C错误；

D．根据前面选项分析，干路电流减小，并联电路中，通过的电流表所在支路电流减小，通过另两个支路的电流均增大，所以电流表示数的减小量ΔI大于通过另两个支路的电流的增加量$\Delta I'$，则有$\frac{\Delta U}{\Delta I}<\frac{\Delta U}{\Delta I'}$，

又$U=I'\times\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}=I'\frac{R_0}{2}$，可得$\frac{\Delta U}{\Delta I'}=\frac{R_0}{2}$，故$\frac{\Delta U}{\Delta I}<\frac{R_0}{2}$，故D正确。故选BD。

【跟踪训练】：BC　　ABD　　AD　　C

1．BC

【详解】A．将滑片向下滑动，滑动变阻器阻值变大，电路中的总电阻变大，总电流减小，通过两串联灯泡的电流减小，两灯泡逐渐变暗，A错误；

B．电压表V_2测量的是路端电压U，电压表V_1测量的是灯泡L_1两端的电压U_1，

根据欧姆定律可知$U_1=IR_{L1}$，$U=E-Ir$，因为总电流减小，灯的电阻不变，所以V_1的示数减小，V_2的示数增大，

根据闭合电路欧姆定律可知$\frac{\Delta U_2}{\Delta I}=r$，$\frac{\Delta U_1}{\Delta I}=R_{L1}=2r$，则有$\frac{\Delta U_1}{\Delta I}=\frac{2\Delta U_2}{\Delta I}$，B正确；

C．电源的效率$\eta=\frac{UI}{EI}=\frac{IR}{I(R+r)}=\frac{R}{R+r}$，由于外电阻增大，则电源的效率增大，电源的总功率$P_{总}=EI$

由于电流减小，则总功率减小，C正确；

D．由于开始时滑动变阻器的阻值等于两灯泡和电源内阻之和，则滑动变阻器阻值变大时，其功率减小，D错误。故选BC。

2．ABD

【详解】A．滑片下移，则滑动变阻器的阻值减小，电路中的总电阻减小，电路中的总电流变大，即电流表A_1示数增大，由闭合电路欧姆定律可知，路端电压减小，即电压表V_1示数减小，故A正确；

B．电压表V_2示数与电流表A_3示数的比值为滑动变阻器的阻值，故电压表V_2示数与电流表A_3示数的比值减小，故B正确；

C．由串并联结构可知$I_1=I_2+I_3$，$I_1'=I_2'+I_3'$，电流表A_1示数增大，R_1两端电压增大，又因为路端电压减小，

故R_2两端电压变小，通过R_2的电流减小，即电流表A_2的示数减小，又因为干路电流增大，所以电流表A_3的示数增大，故有$\Delta I_1=\Delta I_3-\Delta I_2$，故C错误；

D．由闭合电路欧姆定律可知$E=U_1+I_1r$，$E=U_1'+I_1'r$，$E=U_2+I_1(r+R_1)$，$E=U_2'+I_1'(r+R_1)$，

解得$\frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}=r$，$\frac{\Delta U_2}{\Delta I_1}=r+R_1$，故D正确。

故选ABD。

3．AD

【详解】AB．由于两电流表与滑动变阻器均串联，滑动变阻器的滑片向左缓慢移动时，滑动变阻器的阻值减小，由串反并同法可知，两电流表的示数均增大，A 正确，B 错误；

C．由闭合电路的欧姆定律有 $E=U+I_1r$，得 $U=-I_1r+E$，则 $\frac{\Delta U}{\Delta I_1}=r$，即 $\frac{\Delta U}{\Delta I_1}$ 的比值保持不变，C 错误；

D．由电路图可知电流表 A_1 测量的是总电流 $I_{总}$，而电流表 A_2 测量的是定值电阻 R_2 所在支路的电流 I_{R_2}，

又 $I_{总}=I_{R_2}+I_{R_1}$，所以 $\Delta I_1>\Delta I_2$，D 正确。故选 AD。

4．C

【详解】将 R_1 和 R_2 等效为电源内阻，则等效电源的电动势 $E_1=\frac{ER_2}{R_1+R_2+r}=6\text{V}$，等效内阻 $r_1=\frac{(r+R_1)R_2}{r+R_1+R_2}=5\Omega$

A．当滑动变阻器的滑片从 a 端滑到 b 端的过程中，R_4 变大，总电阻变大，总电流减小，路端电压变大，V_1 读数变小，则 V_2 读数变大，因 $U_{路端}=U_1+U_2$，可知 $|\Delta U_1|$ 小于 $|\Delta U_2|$，故 A 错误；

B．根据欧姆定律 $U_1=IR_3$，则 $\left|\frac{\Delta U_1}{\Delta I}\right|=R_3=20\Omega$，根据闭合电路的欧姆定律 $E_1=U_2+I(R_3+r_1)$，

可得 $\left|\frac{\Delta U_2}{\Delta I}\right|=R_3+r_1=25\Omega$，故 B 错误；

C．将 R_3 等效为新电源的内阻，内阻为 $r_2=r_1+R_3=25\Omega$，当外电路电阻等于电源内阻时输出功率最大，则当滑动变阻器的滑片从 a 端滑到 b 端的过程中，电阻从 0 增加到 30Ω，可知的功率先增大后减小，当 $R_4=25\Omega$ 时功率最大，最大值为 $P=(\frac{E_1}{2r_2})^2r_2=0.36\text{W}$，故 C 正确；

D．当滑动变阻器的滑片在 a 端时，电源 E 的外电阻为 $R_{外1}=R_1+\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}=\frac{26}{3}\Omega$

当滑动变阻器的滑片在 b 端时，电源 E 的外电阻为 $R_{外2}=R_1+\frac{R_2(R_3+R_4)}{R_2+R_3+R_4}=\frac{31}{3}\Omega$

电源 E 的内阻 $r=8\Omega$，根据电源输出功率和外电阻关系可知，滑动变阻器的滑片从 a 端滑到 b 端的过程中，电源的输出功率一直减小，故 D 错误。故选 C。

题型四：含容电路分析

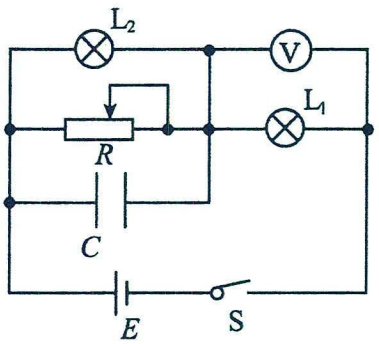
【精选例题】：B　　B　　A

【例 1】B

【详解】若将滑动变阻器的滑片 P 向上调节，则 R 接入电路的电阻变大，总电阻变大，总电流减小，则灯泡变暗，电流表示数减小，根据 $U_{内}=Ir$ 可知电源内阻上电压变小，根据 $U=E-Ir$ 可得路端电压变大，即电压表的示数增大。因灯泡和电源内阻上的电压减小，则电容器两极板间电压变大。故选 B。

【例 2】B

【详解】AC．简化电路如图所示



当滑动变阻器的滑片向右移时，滑动变阻器接入的阻值增大，电路中总电阻增大，干路电流减小，灯泡 L_1 变暗，电压表示数减小，故 AC 错误；

BD．滑动变阻器分得的电压增大，灯泡 L_2 变亮。原来油滴恰好保持静止，电场力和重力平衡。电容器与滑动变阻器并联，电容器 C 两端的电压也增大，根据 $U=Ed$，电容器极板间的场强 E 增大，则 $qE>mg$

带电油滴会向上运动，故 B 正确，D 错误；故选 B。

【例 3】A

【详解】A．将滑动变阻器滑片向上移动，滑动变阻器接入电路阻值增大，则电路总电阻增大，根据闭合电路欧姆定律可知，电路总电流减小，路端电压增大；通过 R_1 的电流减小，R_1 两端电压减小，则 U_1 减小；U_2 为路端电压，所以 U_2 增大；根据 $U_2=U_1+U_3$，可知 U_3 增大，故 A 正确；

B．理想电压表 V_1 测量定值电阻 R_1 两端的电压，根据欧姆定律可得 $U_1=IR_1$，理想电压表 V_2 测量电源的路端电压，根据闭合电路欧姆定律可得 $U_2=E-Ir$，理想电压表 V_3 测量滑动变阻器两端的电压，根据闭合电路欧姆定律可得 $U_3=E-I\left(R_1+r\right)$，则有 $\frac{\Delta U_1}{\Delta I}=R_1$，$\frac{\Delta U_2}{\Delta I}=r$，$\frac{\Delta U_3}{\Delta I}=R_1+r$，可知 $\frac{\Delta U_1}{\Delta I}$、$\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$、$\frac{\Delta U_3}{\Delta I}$ 均不变，故 B 错误；

C．电源的输出功率为 $P_{出}=I^2R=\left(\frac{E}{R+r}\right)^2\mathrm{R}=\frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R}+4r}$，可知当外电阻（即 R_1 与滑动变阻器接入电路的阻值之和）等于 r 时，电源的输出功率最大，由于 $R_1<r$，则滑动变阻器滑片上移，接入电路的阻值变大，外电阻变大。若滑片移动前，外电阻小于内阻，则滑片上移，电源的输出功率可能增大，可能先增大后减小；若滑片移动前，外电阻大于内阻，则滑片上移，电源的输出功率减小；电源效率为 $\eta=\frac{P_{出}}{P_{总}}=\frac{I^2R_{外}}{I^2(R_{外}+r)}=\frac{1}{1+\frac{r}{R_{外}}}$

由于外电阻增大，则电源效率增大，故 C 错误；

D．由 A 选项分析可知，U_3 增大，则电容器极板间电压增大，根据 $E=\frac{U}{d}$，可知板间场强增大，带电液滴受到的电场力增大，带电液滴将向上运动；根据 $C=\frac{Q}{U}$，可知电容器的电荷量 Q 增大，电容器充电，所以定值电阻 R_2 中有从 b 流向 a 的瞬间电流，故 D 错误。故选 A。

【跟踪训练】：AC　　D　　AC

1．AC

【详解】A．增大 R_1 的阻值，电路总电阻增大，干路电流减小，则 R_2 两端的电压减小，A 正确；

B．R_2 为定值电阻，电路电流越大其功率越大，因此 R_1 的阻值为零时功率最大，B 错误；

C．开关接 a 时，电容器左极板带负电，开关接 b 时，左极板带正电，电容器经历了先放电再充电的过程，所以流过 R_3 的电流流向为 c→d，C 正确；

D．因 R_1 接入的阻值未知，不能求出电容器上电压的变化，故不能求出流过 R_3 的电荷量，D 错误。故选 AC。

2．D

【详解】A．电路稳定时，电容器相当于开关断开，将 R_3 的滑片 P_2 向下端移动时，接入电路的总电阻不变，电源输出电流 I 不变，故电源消耗的功率不变，故 A 错误；

B．逐渐减小对 R_1 的光照强度，R_1 增大，接入电路的总电阻增大，电流减小，R_2 两端电压 U_2 减小，电容器 C 两端电压减小，根据 $Q=CU$ 知电容器上电荷量减小，放电，根据电路知，下极板电势高，故 R_3 中电流向下，故 B 错误；

C．增大电容器 C 极板间距离，对电路没有影响，接入电路的电阻不变，电压表读数不变，故 C 错误；

D．若断开开关 S，电容器放电，电容器所带电荷量变小，电容器两端电压减小，极板间电场强度减小，带电微粒所受电场力减小，合力向下，带电微粒向下运动，故 D 正确。故选 D。

3．AC

【详解】AB．油滴原来静止在电容器内，受向上的电场力与向下的重力且二力平衡，由题图可知，电容器内部电场方向向下，所以油滴带负电。当滑片向 b 端移动时，滑动变阻器接入电路的电阻减小，则电路中总电阻减小，由闭合电路欧姆定律可知，电路中的总电流增大，路端电压减小，所以 R_1 两端的电压增大，则电容器两端电压减小，即电压表示数变小，电容器内场强减小，油滴所受电场力小于重力，将向下运动，A 正确，B 错误；

C．若电容器上极板向上移动一段距离，则电容器两端电压不变，间距增大，根据 $U=Ed$ 可知电场减小，则 P 点与下极板的电势差减小，则 P 点的电势减小，由于油滴带负电，则油滴的电势能增加，故 C 正确；

D．根据闭合电路欧姆定律可知 $E=U+I(R_1+r)$，可得 $U=-I(R_1+r)+E$

若电压表、电流表的示数变化量分别为 ΔU 和 ΔI，则有 $|\frac{\Delta U}{\Delta I}|=R_1+r$，故 D 错误。故选 AC。

题型五：STSE

【精选例题】：D　　C

【例 1】D【详解】AB．当饮酒驾驶后对着测试仪吹气时，传感器电阻 R 的阻值减小，电路总电阻减小，根据闭合电路欧姆定律可得，电路总电流增大，路端电压减小，则电流表的示数变大，R_0 两端电压增大，所以传感器电阻两端的电压减小，即电压表的示数变小，故 AB 错误；

C．根据 $P_0=I^2R_0$ 由于通过 R_0 的电流增大，所以定值电阻功率增大，故 C 错误；

D．电源的输出功率为 $P=\frac{E^2}{(R+R_0+r)^2}(R+R_0)=\frac{E^2}{R+R_0+\frac{r^2}{R+R_0}+2r}$，当 $R+R_0=r$ 时，电源输出功率最大；由于 $R_0=r$，则当传感器电阻 R 的阻值减小时，电源对外输出功率增大，故 D 正确。故选 D。

【例 2】C

【详解】A．体内脂肪不容易导电，故水和脂肪两者中脂肪电阻率更大，选项 A 错误；

B．由电阻公式 $R=\rho\frac{L}{S}$ 可知，个子的高矮与电阻大小没有直接关系，选项 B 错误；

C．脂肪含量高者人体电阻较大，则对应的电流表示数较小，根据串并联电路特点可知，内电压和 R 分得的电压较小，则电压表示数较大，选项 C 正确；

D．刚沐浴后，人体水分增多，电阻减小，电压表示数减小，即脂肪测量仪显示人体脂肪所占比例的测量数据会偏小，选项 D 错误。故选 C。

【跟踪训练】：A　　AC

1．A

【详解】A．材料温度升高，材料膨胀，电容器两板间距减小，根据$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，可知电容增大；由于电容器两板电势差不变，根据$C=\frac{Q}{U}$，可知极板所带电荷量增大，故 A 正确；

B．滑动变阻器滑片向下滑动，接入电路阻值减小，根据闭合电路欧姆定律可知，电路总电流增大，路端电压减小，则检测仪的工作电压降低，故 B 错误；

C．检测到灵敏电流计的电流方向为从 a 到 b，则电容器在充电，极板所带电荷量增大，由 A 选项分析可知，材料温度升高，故 C 错误；

D．检测结束，断开开关，电容器放电，则灵敏电流计上有从 b 到 a 的短暂电流，故 D 错误。故选 A。

2．AC

【详解】A．随光照强度增加，R_3接入电阻减小，回路总电阻减小，干路电流增大，即 A_1 表示数增加，由于干路电流增大，电源内阻与定值电阻R_1承担电压增大，则并联部分电压减小，可知，由于电容器下极板与电源负极连接，下极板带负电，电容器两端电压减小，则电容器将放电，即极板所带电荷量减小，下极板将失电子，可知，A_2 表中电流方向向上，故 A 正确；

B．结合上述可知，随光照强度增加，干路电流增大，内电压增大，路端电压减小，即 V_1 示数减小，定值电阻R_1承担电压增大，即 V_3 示数增大，并联部分电压减小，即 V_2 示数减小，由于$U_1=U_2+U_3$，则有$\Delta U_1=\Delta U_2+\Delta U_3$

结合上述可知$\Delta U_1<0$，$\Delta U_2<0$，$\Delta U_3>0$，可知$|\Delta U_2|>|\Delta U_3|$，$|\Delta U_2|>|\Delta U_1|$

由于$U_1=E-Ir$，$U_3=IR_1$，则有$\Delta U_1=-r\Delta I$，$\Delta U_3=R_1\Delta I$

由于$R_1>r$，则有$|\Delta U_3|>|\Delta U_1|$；结合上述有$|\Delta U_2|>|\Delta U_3|>|\Delta U_1|$，故 B 错误；

C．电源输出功率$P=\left(\frac{E}{r+R_{外}}\right)^2 R_{外}=\frac{E^2}{R_{外}+\frac{r^2}{R_{外}}+2r}$，由于$R_1>r$可知，$R_{外}$始终大于电源内阻，根据数学规律可知，随光照强度减小，R_3接入电阻增大，$R_{外}$增大，电源输出功率减小，故 C 正确；

D．电源输出效率$\eta=\frac{I^2R_{外}}{I^2\left(R_{外}+r\right)}=\frac{1}{1+\frac{r}{R_{外}}}$，随光照强度减小，$R_3$接入电阻增大，$R_{外}$增大，则电源输出效率增大，故 D 错误。故选 AC。

题型六：故障电路的分析

【精选例题】：C　　B　　D

【例 1】C

【详解】A．若开关 S 接触不良，则电路断路，没有电流通过电压表，则有 $U_{ac}=U_{bd}=0$，故 A 错误；

B．若灯泡 L_1 灯丝断了，则有 $U_{ac}=6V$，$U_{bd}=0$，故 B 错误；

C．若灯泡 L_2 灯丝断了，则有 $U_{bc}=6V$，$U_{ac}=U_{bd}=6V$，故 C 正确；

D．若滑动变阻器 R 的电阻丝断了，则有 $U_{bd}=6V$，$U_{ac}=0$，故 D 错误。故选 C。

【例 2】B

【详解】A．若电阻 R_0 短路，总电阻减小，干路电流增大，两支路电流均增大，两灯均变亮，故 A 错误；

B．若电阻 R_A 短路，总电阻减小，干路电流增大，并联部分电压减小，b 灯变暗，由 b 灯支路电流减小知 a 灯支路电流增大，突然变亮，故 B 正确；

C．若电阻 R_B 短路，总电阻减小，干路电流增大，并联部分电压减小，a 灯变暗，由 a 灯支路电流减小知 b 灯支路电流增大，突然变亮，故 C 错误；

D．若电阻 R_A、R_B 同时短路，开始时两灯泡通过的电流相等，当总电阻减小，干路电流增大，流过两灯泡的电流也相同，故两支路电流均增大，则 a、b 灯均变亮，故 D 错误。故选 B。

【例 3】D

【详解】A．若 R_1 断路，则原来与之并联的 L_1 两端电压变大，电路中总电阻变大，总电流变小，则 L_2 并联这部分所分的电压变小，故 L_1 变亮，L_2 变暗，电流表的示数变小，故 A 错误；

B．若 R_2 断路，则整个电路断路，则 L_1、L_2 均不亮，电流表无示数，故 B 错误；

C．若 R_3 短路，电路中的总电阻减小，总电流增大，L_1 部分电路分得的电压增大，L_1 消耗的功率增大，L_1 变亮，电流表以及 L_2 所在的并联支路电压减小，则电流表读数减小，L_2 支路电流变大，可知 L_2 变亮，电流表读数变小，故 C 错误；

D．若 R_4 短路，电路中的总电阻减小，总电流增大，L_1 部分电路分得的电压增大，L_1 消耗的功率增大，L_1 变亮，又因为 R_2 两端电压变大，则 L_2 及与之并联的支路电压均减小，则流过 L_2 的电流减小，流过电流表的电流增大，则 L_2 变暗，电流表的示数变大，故 D 正确；故选 D。

【跟踪训练】：D　　C　　C

1．D

【详解】A．若 R_1 短路，则电流表、R_2 也被短路，外电路只有电阻 R_3 接在电源两端，电流表示数为 0，电压表测量路端电压，示数增大，故 A 不符合题意；

B．若 R_2 短路，则 R_1 也被短路，外电路只有电阻 R_3 接在电源两端，电流表示数增大，电压表测量路端电压，示数增大，故 B 不符合题意；

C．若 R_3 短路，则电压表被短路，示数为零，故 C 不符合题意；

D．若 R_1 断路，外电路电阻增大，干路电流减小，所以电源内电压减小，R_3 电压减小，即电压表示数减小，再根据 $E=U_3+U_r+U_2$. 可得 R_2 的电压增大，所以电流表示数增大，故 D 符合题意。故选 D。

2．C

【详解】A．电阻R_1单独在一个支路上，如果短路，两个灯泡都不会亮了，A 选项不符合题意；

B．电阻R_2与灯泡 A 是并联的，如果R_2断路，此处只有灯泡 A 一个电阻，根据并联电路总电阻与分电阻的关系，此处电阻相当于增大，所以灯泡 A 两端电压增大，灯泡 B 两端电压降低，由$P=\frac{U^2}{R}$知，功率变小，灯泡 B 变暗。B 选项不符合题意；

C．电阻R_3与灯泡 B 是并联的，如果R_3断路，此处只有灯泡 B 一个电阻，根据并联电路总电阻与分电阻的关系，此处电阻相当于增大，所以灯泡 B 两端电压增大，由$P=\frac{U^2}{R}$知，功率变大，灯泡 B 变亮。C 选项符合题意；

D．电源断路，电路没有电流，灯泡都不亮，D 选项不符合题意。故选 C。

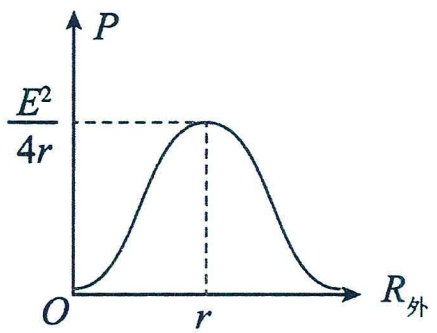
3．C

【详解】A．根据电路可知，平行金属板上极板带正电，电场方向向下，液滴受到重力与电场力，可知，电场力方向向上，电场力方向与电场方向相反，可知，液滴带负电，故 A 错误；

B．液滴向上运动，平行金属板间电场强度增大，极板之间电压增大，根据$U_C=E-I(R_1+r)$可知，干路电流减小，则电路总电阻增大，有可能是电路中并联部分电路中的某器件断路，若 R_2 断路，则电流表示数为 0，可知，不可能是 R_2 断路，故 B 错误；

C．若灯泡 L 被烧断，根据$I=\frac{U_C}{R_2+R_3}$，$U_2=IR_2=\frac{U_CR_2}{R_2+R_3}$结合上述，可知，电压表与电流表的示数均增大，故 C 正确；

D．电源的输出功率$P=\left(\frac{E}{R_{外}+r}\right)^2R_{外}=\frac{E^2}{R_{外}+\frac{r^2}{R_{外}}+2r}$，根据数学函数规律，作出输出功率与外电阻的关系图如图所示



由于外电路总电阻与电源内阻关系不确定，则电源输出功率变化情况也不确定，故 D 错误。故选 C。

题型七：综合分析

【精选例题】：AD　　C

【例 1】AD

【详解】A、B 项：当滑动变阻器的触头向左移动时，滑动变阻器接入电路中的电阻减小，外电路的电阻减小，总电阻也减小，由闭合电路欧姆定律可知，总电流增大，由公式$U=E-Ir$可知，路端电压减小即电压表示数减小，所以电流表的示数与增大，故 A 正确，B 错误；

C、D 项：当滑动变阻器的触头向左移动时，滑动变阻器接入电路中的电阻减小，滑动变阻器两端电压减小，即电势降落更小，所以 M 点电势高于 N 点电势，所以 MN 中有由 M 指向 N 的电流，故 C 错误，D 正确．

故应选：AD．

【例 2】C

【详解】A．变阻器滑片向右滑动，变阻器接入阻值变大，根据“串反并同”可知，与变阻器 R_2 等效串联的电流表 A 和电压表 V_1 的示数都变小；与变阻器 R_2 等效并联的电压表 V_2 和电压表 V_3 的示数都变大，故 A 错误；

B．当电源外电阻等于电源内阻时电源输出功率最大，因为 $R_1>r$，外电阻一定大于 r，故电源输出功率随着外电阻的增大而减小；电源的效率为 $\eta=\dfrac{UI}{EI}=\dfrac{U}{E}$，其中 U 为路端电压，E 为电源电动势，因为电压表 V_3 的示数变大，即路端电压 U 变大，所以电源的效率增大，故 B 错误；

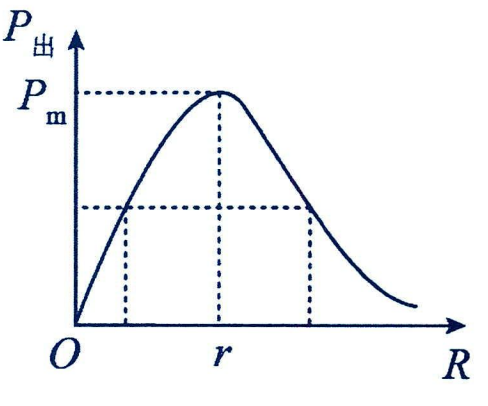
C．由闭合电路欧姆定律 $E=U+Ir$ 可知 $U_3=U=E-Ir$，所以 $\dfrac{\Delta U_3}{\Delta I}=r$，将电阻 R_1 看成电源的内阻，则 $U_2=U'=E-Ir'$，其中 $r'=r+R_1$，所以 $\dfrac{\Delta U_2}{\Delta I}=r'=R_1+r$，所以 $\dfrac{\Delta U_3}{\Delta I}$，$\dfrac{\Delta U_2}{\Delta I}$ 均不变，故 C 正确；

D．电容器的电压等于 V_1，V_1 变小，根据 $C=\dfrac{Q}{U}$，电荷量减小，但由于二极管的存在，电容器不能放电，故电容器所带电荷量不变，故 D 错误。故选 C。

【跟踪训练】：CD　　D　　BD

1．CD

【详解】AC．滑片 P 向 b 端移动，滑动变阻器阻值变小，电路总电阻变小，根据闭合电路欧姆定律：$I=\dfrac{E}{R+r}$ 可知干路电流增大，R_1 上分压增大，电压表示数变大，R_2 和 R_3 构成的并联电路分压减小，通过 R_3 的电流减小，则通过 R_2 的电流增大，电流表示数增大，根据电功率：$P=\dfrac{U^2}{R}$ 可知 R_3 上消耗的功率变小，A 错误，C 正确；



B．输出功率与外电路电阻的关系如图所示：

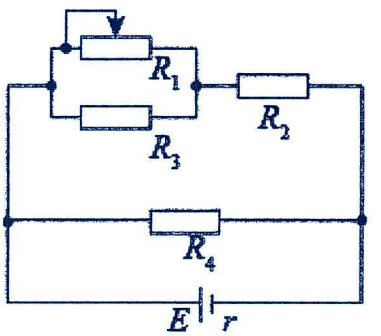
因为 $R_1>r$，所以总电阻减小，根据图像可知电源的输出功率变大，B 错误；

D．电容器和 R_3 并联，电容器两端电压与 R_3 两端电压相等，根据上述分析可知电容器两端电压减小，根据电容的定义：$C=\dfrac{Q}{U}$

C 不变，U 减小，带电量 Q 减小，平行板电容器之间为匀强电场，根据：$U=Ed$ 可知电场强度减小，液滴受到竖直向上的电场力减小，竖直向下的重力不变，液滴加速向下运动，D 正确。故选 CD。

2．D

【详解】将电路图改画等效图如图



AB．向右移动 R_1 的滑动触头 P，则 R_1 减小，总电阻减小，总电流变大，路端电压减小，R_4 的电流减小，R_2 电流变大，则 $\Delta U_2>0$，R_3 与 R_1 并联之路的电压减小，即 R_1 电压减小，即 $\Delta U_1<0$，选项 AB 错误；

C．因 $R_2=\left|\dfrac{\Delta U_2}{\Delta I_2}\right|=\left|\dfrac{\Delta U_2}{\Delta I_1+\Delta I_3}\right|\neq\left|\dfrac{\Delta U_3}{\Delta I_1+\Delta I_3}\right|$，选项 C 错误；

D．因 U=E-Ir，则 $r=\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=\left|\frac{\Delta U_4}{\Delta I_2+\Delta I_4}\right|$，选项 D 正确。故选 D。

3．BD

【详解】A．当滑动变阻器 R_3 的滑片向 a 端移动时，滑动变阻器 R_3 接入电路的电阻变大，外电路总电阻变大，根据闭合电路欧姆定律可得，总电流变小，则电流表 A 示数减小，内电压减小，路端电压增大，电阻 R_1、R_2 两端电压减小，即 V_1 的示数减小，R_3 两端电压增大，即 V_2 的示数增大，故 A 错误；

B．带电粒子 P 原来处于平衡状态，重力和电场力平衡，电流变小后，电容器两极板间电压增大，两极板间电场强度增大，粒子所受电场力增大，粒子将向上运动，故 B 正确；

C．由于 R_1 的阻值与内阻 r 相等，根据电源输出功率与外电路电阻的关系可知，随外电路电阻增大，输出功率应减小，故 C 错误；

D．根据欧姆定律可得 $\frac{\Delta U_1}{\Delta I}=R_2$，根据闭合电路欧姆定律可得 $U_2=E-I(R_1+R_2+r)$，则 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}=R_1+R_2+r$

所以 $\Delta U_1<\Delta U_2$，故 D 正确。故选 BD。

第七讲：电源电动势与内阻的测量

考点一：实验原型

题型一：实验原型

【精选例题】：

【例 1】(1) B　　D；(2) 4.50　　3.25　　相等　　相等

【详解】（1）[1]由题可知，待测电池组的电动势大约为 4.5V，选量程 0~15V 的电压表，测量误差较大，所以实验时需要选择量程 0~3V 的电压表，通过调节滑动变阻器可以保证不超量程，即电压表应选择 B。

[2]结合图 2 的 U-I 图像，可知实验过程电路中的电流取值范围为 0.4~0.8A，所以选择量程 0~1A 的电流表。即电流表选 D。

（2）[1][2]根据闭合电路欧姆定律$U=E-I\left(R_{\mathrm{A}}+r\right)$，

结合 U-I 图像可知$3=E-0.4\times\left(0.5+r\right)$，$1.5=E-0.8\times\left(0.5+r\right)$，联立，解得$E=4.50\mathrm{V}$，$r=3.25\Omega$

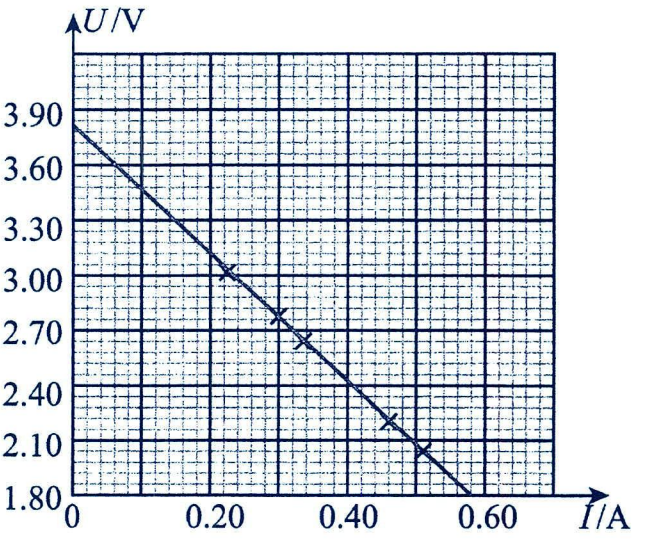
[3][4]由于电流表内阻已知，实验没有电压表分流、电流表分压的引起的误差，则计算出的电源的电动势测量值与真实值相等，电源内阻测量值和真实值也相等。

【例 2】(1)B　　E；(2)见解析　　3.82　　0.54；(3)偏小

【详解】（1）[1]由于电动势 E 约为 3.7 V，为使测量数据足够精确，则电压表应选用 B；

[2]为了调节方便，使电表示数变化明显，滑动变阻器应选择阻值较小，故选 E。

（2）[1]把数据点补充完整并作出 U－I 关系图像如图所示



[2][3]根据闭合电路欧姆定律可得$E=U+I(R_0+r)$

可得$U=E-I(R_0+r)$

可知 U－I 图像的纵轴截距等于电动势，则有$E=3.82\mathrm{V}$；

U－I 图像的斜率绝对值为$R_0+r=\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=\frac{3.82-1.80}{0.57}\Omega$

解得内阻为$r\approx0.54\Omega$

（3）由电路图可知，误差来源于电压表的分流，设电压表的内阻为 R_V，

根据闭合电路欧姆定律可得$E_{真}=U+\left(\frac{U}{R_{\mathrm{V}}}+I\right)(R_0+r_{真})$，

整理可得$U=\frac{R_{\mathrm{V}}}{R_{\mathrm{V}}+R_0+r_{真}}E_{真}-I\frac{R_{\mathrm{V}}(R_0+r_{真})}{R_{\mathrm{V}}+R_0+r_{真}}$

可知 U－I 图像的纵轴截距为$b=\frac{R_{\mathrm{V}}}{R_{\mathrm{V}}+R_0+r_{真}}E_{真}=E_{测}$，则由上述实验测得的电源电动势与真实值相比偏小。

【例 3】 左　　II　　乙　　$\frac{U_1}{I_1}-R_0-R_A$

【详解】（1）[1]闭合开关 S 前，应将滑动变阻器的滑片 P 移至最左端，保证开始时接入电路的滑动变阻器阻值最大，用以保护电路和仪器。

（3）[2]对题图甲，根据闭合电路欧姆定律可得$U=E-\left(\frac{U}{R_V}+I\right)(R_0+r)$可知，当 I 是零时$U_{甲}=E\cdot\frac{R_V}{R_V+R_0+r}$

对题图乙，根据闭合电路欧姆定律可得$U=E-I\cdot(R_A+R_0+r)$可知，当I是零时，对应$U_{乙}=E>U_{甲}$

则可知标记为I的图线是采用实验电路乙测量得到的。标记为II的图线是采用实验电路图甲测量得到的。

（4）[3][4]由于电流表的内阻已知，则宜选图乙所示实验电路，采用实验电路乙测量得到图丙中图线I对应的U_1和I_1满足$U_1=E$，$I_1=\frac{E}{R_A+R_0+r}$，解得$R_A+R_0+r=\frac{E}{I_1}=\frac{U_1}{I_1}$，则$r=\frac{U_1}{I_1}-R_0-R_A$

【例 4】(1)大　　$\frac{U_0}{I_0}-R_0$；(2)0.48　　1.5　　0.40

【详解】（1）[1]闭合开关前，为了保护电路，将滑动变阻器接入电路的电阻调到最大；

[2]由欧姆定律可知$U_0=I_0(R_0+R_A)$，可得电流表的内阻为$R_A=\frac{U_0}{I_0}-R_0$

（2）[1]由于电流表的量程为 0.6A，分度值为 0.02A，则电路中的电流为$I=0.48A$

[2][3]根据闭合电路欧姆定律$E=U+I(R_A+R_0+r)$，化简可得$U=-I(R_A+R_0+r)+E$

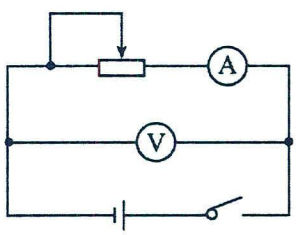
结合图像可知$b=E=1.5V$，$|k|=\left|\frac{0-1.5}{0.5-0}\right|=R_A+R_0+r$，代入数据解得，电池的电动势为$E=1.5V$，内阻为$r=0.40\Omega$

【跟踪训练】：

1．(1)E；(2)；(3)见解析　　左　　1.45　　0.67

【详解】（1）由于干电池的内阻较小，为了调节方便，使电表示数变化明显，滑动变阻器应选用阻值较小的 E。

（2）



（3）闭合开关前，应将滑动变阻器的滑片移动到最左端，使变阻器接入电路的阻值最大从而保护电流表。根据闭合电路欧姆定律，则有$E=U+Ir$，即$U=E-Ir$可知$U-I$图像的纵轴截距等于电动势，可解得$E=1.45V$；

$U-I$图像的斜率绝对值等于内阻，可解得$r=|k|=\frac{1.45-1.05}{0.60-0}\Omega\approx0.67\Omega$

2．(1)B　　E　　①；(2)2.9　　2.0；(3)小于　　小于

【详解】（1）[1]由于电池的电动势约为 3V，为了确保电压表的安全与精度，电压表选择量程为 3V，即电压表选择 B；

[2]由于干电池内阻较小，与电流表内阻相差不大，而电压表内阻远远大于干电池内阻，可知，电压表分流影响较小，实验中，为了排除电流表的分压影响，图中的导线应连接到①；

[3]干电池的内阻较小，实验中，为了使电压表和电流表的读数变化比较明显，且测量数据连续性强一些，滑动变阻器选择总阻值小一些的，即选择阻值为 0~10Ω，则滑动变阻器选择 E

（2）[1][2]令定值电阻$R=3\Omega$，结合上述，根据闭合电路欧姆定律有$U=E-I(R+r)$

结合图像有 $E=2.9\text{V}$，$R+r=\dfrac{2.9}{580\times10^{-3}}\Omega$，解得 $r=2.0\Omega$

（3）[1][2]将电压表与电源、定值电阻等效为一个新电源，实验测量的电动势为新电源的电动势，实验测得的内阻为新电源的内阻，由于是并联等效，可知，该电路测得的电动势小于真实值，测得的内阻小于真实值。

3．(1) C　　A　　E；(2)1.47/1.48/1.49/1.50　　1.78/1.79/1.80/1.81/1.82；(3)B　　A；(4)0.20

【详解】（1）[1]干电池的电动势约为 1.5V，所以电压表选 C；

[2]因为电源内阻一般为几欧，则短路电流为 $I=\dfrac{E}{r}$，估算短路电流不到 1A，为了精确测量，所以选小量程电流表，故应 A；

[3]滑动变阻器 F 的最大阻值过大，在调节时电路中电流都很小，所以滑动变阻器应选择最大阻值较小的滑动变阻器 E；

（2）[1]根据路端电压与电流的关系 $U=E-Ir$，可知图像纵截距表示电源电动势，则 $E=1.47\text{V}$

[2]以上分析可知，图像斜率绝对值表示电源内阻，则 $r=\dfrac{1.47-0.8}{0.38}\Omega\approx1.76\Omega$

（3）[1]小明实验时，引入系统误差的原因是电压表的分流作用，使电流表示数偏小，A 错误，B 正确；

[2]当外电路短路时，电压表分流为 0，短路电流相同，即小明作出的图线和真实图线与横轴交点相同，图线 a 表示真实图线，根据图线可知所测电动势和内阻均偏小，A 正确，B 错误；

（4）图戊中，根据闭合电路欧姆定律得 $U+2I(R_0+r)=E$，

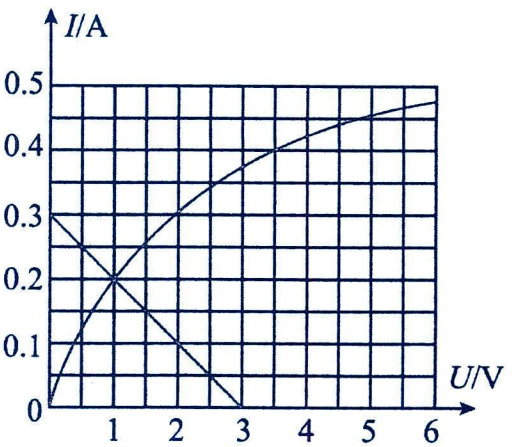
整理得 $I=-\dfrac{1}{2(R_0+r)}U+\dfrac{E}{2(R_0+r)}$

将其 $I-U$ 图像画在图丁中，如图所示，

蓝色图线与纵轴截距为 0.30A，与横轴交点为 3.00V

两线相交处 $I=0.20\text{A}$，$U=1.00\text{V}$

灯泡的实际功率为 $P=IU=0.20\text{A}\times1.00\text{V}=0.20\text{W}$



题型二：求小灯泡的实际功率

【精选例题】：

【例 1】 R_1　　A_1　　R_4　　见解析　　0.44/0.45/0.46/0.47/0.48/0.49/0.50/0.51/0.52/0.53/0.54

【详解】（1）[1][2][3]为方便实验操作，滑动变阻器应选择 R_1；灯泡额定电流为 $I=\dfrac{P}{U}=\dfrac{2.5}{5}\text{A}=0.5\text{A}$

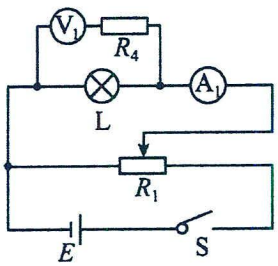
电流表 A_2 量程量程太大，所以选电流表 A_1；因为灯泡的额定电压为 5V，电压表的量程为 3V，所以应扩大其量程，可以把定值电阻 R_4 与电压表 V_1 串联；

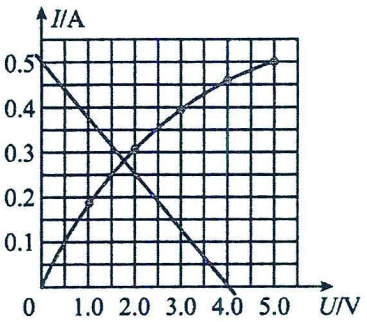
（2）[4]实验要求灯泡两端电压从零开始变化，滑动变阻器应选择分压接法，灯泡的阻值为 $R=\dfrac{U^2}{P}=\dfrac{5^2}{2.5}=10\Omega$

由于电压表内阻远大于灯泡内阻，为减小实验误差，电流表应采用外接法，实验电路图如图所示

（3）[5]在灯泡 I-U 坐标系内作出电源的 I-U 图线如图所示，由图示图线可知 U=1.75V；I=0.28A

灯泡实际功率为 P=UI=1.75×0.28=0.49W





【例 2】 0.72

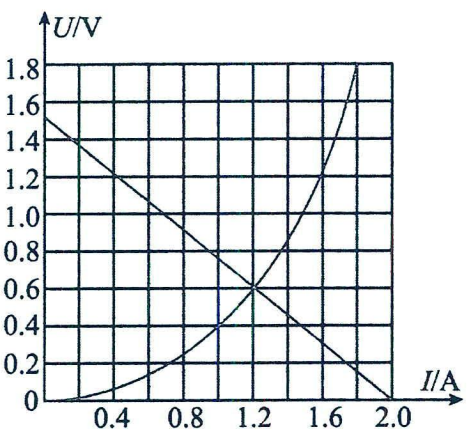
设灯泡两端的电压为U，通过灯泡的电流为I，由闭合电路欧姆定律得$E=U+(\frac{U}{R}+I)r$

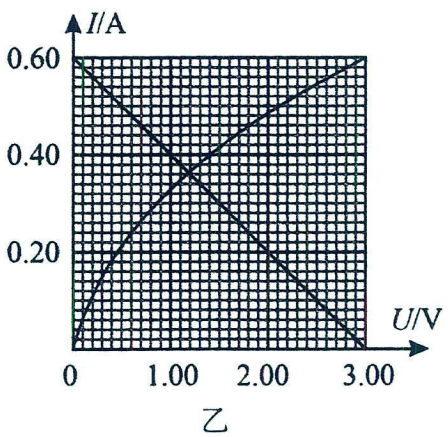
上式整理可得$U=\frac{R}{R+r}E-\frac{Rr}{R+r}I$

该电路的等效电路为等效电源电动势$E'=\frac{R}{R+r}E=1.5\text{V}$，等效内阻$r'=\frac{Rr}{R+r}=0.75\Omega$

在图乙上面做等效电源的外电路电压与电流的关系$U=E'-Ir'$图像

图中交点代表的是小灯泡两端的实际电压和电流，有图可得实际功率$P_L=U_LI_L=0.6\times1.2\text{W}=0.72\text{W}$





乙

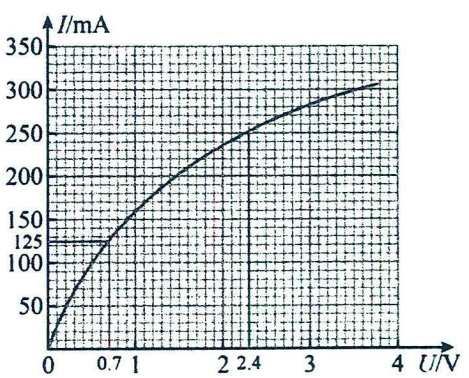
【例 3】 0.44（0.42～0.46）

【详解】设灯泡的实际电压为 U，实际电流为 I，则根据闭合电路的欧姆定律得$U+2Ir=E$，变形后得$U=-5I+3$，如图所示；则灯泡的实际功率为$P=UI=1.2\times0.36\text{W}=0.43\text{W}$

【例 4】 0.75W（0.69～0.81W）

【详解】

设并联的某个小灯泡的电压为 U，电流为 I，由串并联规律可得，与之串联的上灯泡电流为 2I，电压为U'，则有$U+U'=3\text{V}$；根据图像可得：当并联的某个小灯泡的电压为 U=0.7 V，电流为 I=0.125A 时，与之串联的上灯泡电流为 2I=0.25A，电压为U'=2.4V，恰好合适，则 3 个小灯泡的实际总电功率约为$P=3\times0.25=0.75\text{W}$（0.69～0.81W）



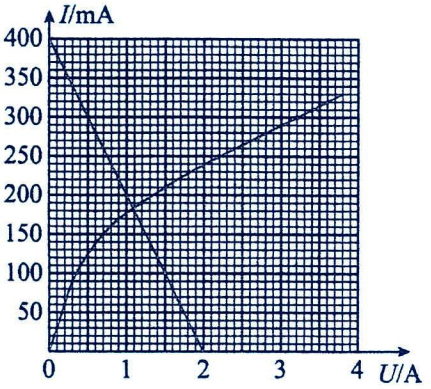
【跟踪训练】

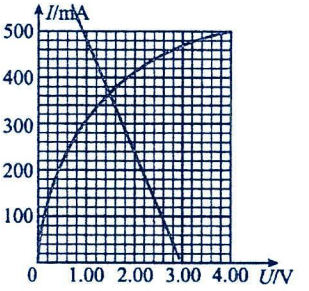
1．0.20/0.19/0.21

【详解】设每个灯泡两端电压为U，电流为I，则由闭合电路的欧姆定律$E=2U+I(R+r)$，整理得$U=2-5I$

将此函数关系画在灯泡的伏安特性曲线上，交点即为灯泡的实际电流和电压

此电路中每个小灯泡的两端的实际功率为$P=UI=1.1\times0.183\text{W}\approx0.20\text{W}$





2．0.56

【详解】两个完全相同的灯泡并联后通过滑动变阻器调节每个灯泡的电流I和电压U，滑动变阻器R的功率是一个小灯泡功率的两倍，则滑动变阻器R两端的电压和灯泡两端电压相同，根据串并联电流和电压的关系有$2U+2Ir=E$，代入数据并变形得到$U=3-4I$

将此电流与电压的关系画在小灯泡伏安特性曲线中，如图所示

两图象的交点坐标为（1.50V，0.375A），所以灯泡功率$P=UI=1.50\times0.375\text{W}=0.56\text{W}$

3．A_2　　R_1　　左　　b　　0.384

【详解】（1）[1]灯泡的额定电流为$I=\dfrac{P}{U}=\dfrac{1.5}{3}\text{A}=0.5\text{A}=500\text{mA}$

为了提高测量的准确度与有效性，应该选择电流表A_2；

[2]灯泡的电阻约为$R_x=\dfrac{U}{I}=\dfrac{3}{0.5}\Omega=6\Omega$，为了方便调节，滑动变阻器应选阻值较小的$R_1$。

（2）[3]为了使灯泡的电流最小，在实验过程中，应先将滑动变阻器的滑片P置于变阻器的左端；

[4]根据前面所选器材，分析有$\dfrac{R_V}{R_x}=\dfrac{6000}{6}=10000>\dfrac{R_x}{R_A}=\dfrac{6}{0.3}=20$

则电流表应选择外接法，调整好滑片位置后将单刀双掷开关S_3置b点。

（3）[5]由图（3）电路图，设灯泡的电压为U，电流为I，

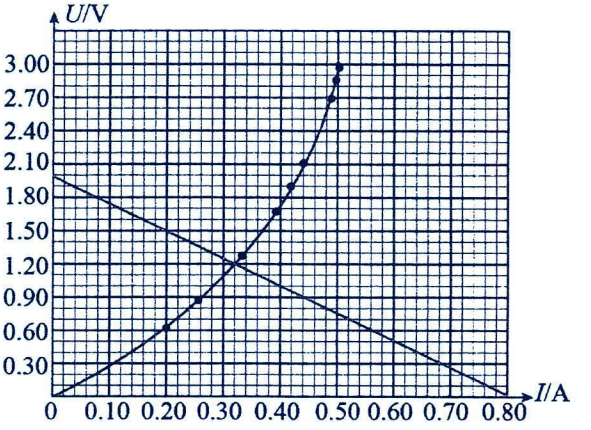
根据闭合电路欧姆定律可得$E=U+\left(\dfrac{U}{R_4}+I\right)R_3$

代入数据整理得$U=2-2.5I$

将此函数图像在图（2）中画出来，如图所示

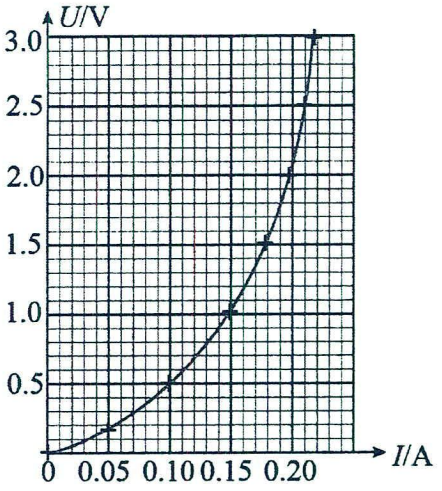
根据图线交点可知该小灯泡在该电路中的实际工作功率为

$P=UI=1.2\times0.32\text{W}=0.384\text{W}$



4．0.07

【详解】由电路的连接方式知，流过灯 a 的电流是流过灯 b 的 3 倍，这就相当于同一个灯泡两种不同的工作状态，这两种状态下，灯泡的电压之和为 3V，电流满足 3 倍的关系，再在灯泡的工作曲线上找这样的两种状态，可确定灯泡 b 的电流值约为 0.07A．



考点二：实验创新

题型一：安阻法测电动势和内阻

【精选例题】：

【例 1】(1)0.6；(2)　　6　　2.5

【详解】（1）因为电流表 A_1、A_2 是用相同的电流计改装而成的，则内阻与量程成反比，

电流表 A_1 的量程为 $0\sim0.6A$，电流表 A_2 的量程为 $0\sim3.0A$，A_1 内阻为 3.0Ω，由 $R_{A2}=\dfrac{I_{g1}R_{A1}}{I_{g2}}=0.6\Omega$

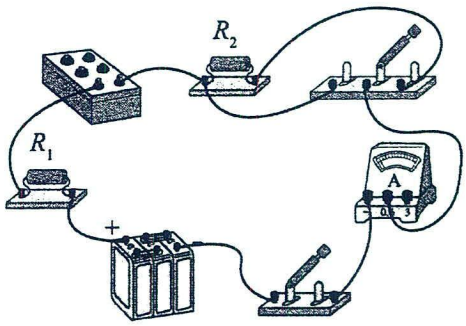
所以 A_2 内阻为 0.6Ω.

（2）根据闭合电路欧姆定律 $E=(I+5I)(R+r+r_A)$，其中 I 为电流表 A_1 的示数，r_A 为 A_1、A_2 并联总电阻，

则 $\dfrac{1}{I}=\dfrac{6}{E}R+\dfrac{6}{E}(r+r_A)$，由图像得 $\dfrac{6}{E}=1$，$\dfrac{6}{E}(r+r_A)=3$，而 $r_A=\dfrac{r_{A1}r_{A2}}{r_{A1}+r_{A2}}=0.5\Omega$，联立解得 $E=6V$，$r=2.5\Omega$

【例 2】(1)见解析；(2) 2.0　　2.0

【详解】（1）根据图甲电路图，完整的实物连线如图所示



（2）[1][2]闭合 S_1，将 S_2 切换到 b，

根据闭合电路欧姆定律可得 $E=I(R+R_1+R_2)$

可得 $\dfrac{1}{I}=\dfrac{1}{E}\cdot R+\dfrac{R_1+R_2}{E}$

结合 $\dfrac{1}{I}-R$ 图像可得 $\dfrac{R_1+R_2}{E}=3.0A^{-1}$，$\dfrac{1}{E}=\dfrac{5.0-3.0}{4.0}V^{-1}$

联立解得 $E=2.0V$，$R_1=2.0\Omega$

【例 3】(1)　1.0/1　　等于；(2) 9.1　　2.3

【详解】（1）[1][2]闭合开关 S_1，将开关 S_2 掷向 a，当开关 S_2 掷向 a 和掷向 b 电流表示数相同，说明 S_2 掷向 a 时没有电流通过开关，则有 $\dfrac{R}{R_1}=\dfrac{R_2}{R_A}$，可得 $R_A=\dfrac{R_1R_2}{R}=\dfrac{15\times25}{375}\Omega=1.0\Omega$

该同学用电桥法测电流表的内阻，从理论上分析 $R_A=\dfrac{R_1R_2}{R}$

是没有系统误差的，实验测得的电流表内阻值等于真实值。

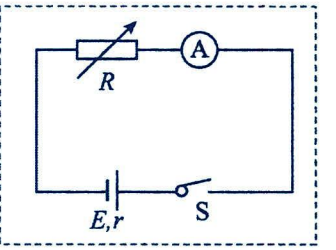
（2）[1][2]由闭合电路的欧姆定律有$E=I\left(R_2+R_{\mathrm{A}}\right)+\left[I+\frac{I\left(R_2+R_{\mathrm{A}}\right)}{R}\right]\cdot r$，变形得$\frac{1}{I}=\frac{\left(R_2+R_{\mathrm{A}}\right)r}{E}\cdot\frac{1}{R}+\frac{R_2+R_{\mathrm{A}}+r}{E}$

代入已知量有$\frac{1}{I}=\frac{16r}{E}\cdot\frac{1}{R}+\frac{16+r}{E}$，结合图乙有$\frac{16r}{E}=\frac{10-2}{2}=4$，$\frac{16+r}{E}=2$，解得$E=9.1\mathrm{V}$，$r=2.3\Omega$

【跟踪训练】：

1.(1)见解析；(2)$\frac{I_1I_2\left(R_1-R_2\right)}{I_2-I_1}$　　$\frac{I_1R_1-I_2R_2}{I_2-I_1}$；(3)2.0　　2.0；(4)AD

【详解】（1）题目中要求用安阻法测电动势和电源内阻，即应采用电流表与电阻箱串联的方式进行测量，电路图如图所示



（2）[1][2]根据闭合电路欧姆定律可知$I_1=\frac{E}{R_1+r}$，$I_2=\frac{E}{R_2+r}$

联立解得$E=\frac{I_1I_2(R_1-R_2)}{I_2-I_1}$，$r=\frac{I_1R_1-I_2R_2}{I_2-I_1}$

（3）[1]根据闭合电路欧姆定律可知$I=\frac{E}{R+r}$，变形得$\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R+\frac{r}{E}$

由图像可知$\frac{1}{E}=\frac{5.0-1.0}{8.0}=\frac{1}{2}$，解得电源电动势为$E=2.0\mathrm{V}$

[2]由图像可知$\frac{r}{E}=1.0$，代入解得电源内阻为$r=2.0\Omega$

（4）A．因电流表存在内阻，所以测出的内阻中包含电流表内阻，由于电流表的内阻，会使电源内阻的测量值存在系统误差，A 正确；

B．电流表内阻对图像的斜率没有影响，所以测出的电源的电动势准确，B 错误；

C．根据闭合电路欧姆定律可知，$I_1=\frac{E}{R_1+r+R_A}$，$I_2=\frac{E}{R_2+r+R_A}$，$I_3=\frac{E}{R_3+r+R_A}$

根据数学规律可知，联立三组数据无法求出电流表内阻， C 错误；

D．采用图像法可以避免因读数造成的偶然误差；故第二次可以减小偶然误差，D 正确。故选 AD。

2.(1)6.8　　等于；(2)$\frac{1}{I}$；(3)2.9　　1.7

【详解】（1）[1][2]根据闭合电路欧姆定律有$R_1+R_{\mathrm{A}}+r=\frac{E}{I}$，$R_2+R_{\mathrm{A}}+r+R_0=\frac{E}{I}$，其中$R_1=11.6\Omega$，$R_2=4.8\Omega$，两式相减可得$R_0=6.8\Omega$，从理论上分析，此实验方法实际测得$R_0$的阻值将等于其真实值。

（2）根据闭合电路欧姆定律有$R+R_{\mathrm{A}}+r+R_0=\frac{E}{I}$，则有$R=\frac{1}{I}E-(R_{\mathrm{A}}+r+R_0)$，则横轴$x$应为$\frac{1}{I}$。

（3）[1]由（2）的分析可知，。图像的斜率为电动势，则有$E=k=\frac{8.7}{3.0}\mathrm{V}=2.9\mathrm{V}$

[2]纵轴的截距为$-8.7=-(R_{\mathrm{A}}+r+R_0)$，可得电源内阻$r=1.7\Omega$

3．(1)$U_1=I_2(R_3+R_{A2})$　　偏小；(2)调大；(3)$U_2=I_3R_3$　　4；(4)$r=k-R_1$

【详解】（1）[1] [2] 方法一中，A_2与R_3可以看成一个电压表，即电流表外接法测电源电动势和内阻，所测路端电压为$U_1=I_2(R_3+R_{A2})$，干路电流为I_1，由于电流表A_2分流，测得干路电流偏小，图像所得纵截距表示测得电源电动势且小于真实值，内阻也偏小。

（2）误差来源于A_2的分流，所以应当减少A_2的分流，即调大R_3的阻值。

（3）方法二中当A_2为零时，表示其上下电势相等，则此时R_3两端的电压即为上部分的路端电压$U_2=I_3R_3$，上部分电路的干路电流即I_1，消除了A_2分流带来的系统误差，故方法二测得的电动势和内阻都等于真实值，故选虚线 4。

（4）图线斜率的绝对值表示等效内阻$k=r+R_1$，解得$r=k-R_1$

题型二：伏阻法测电动势和内阻

【精选例题】：

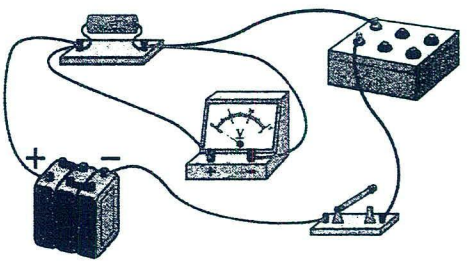
【例 1】(1) $\frac{1}{b}$　　$\frac{k}{b}$；(2)小于　　小于

【详解】（1）[1][2]根据$E=U+\frac{U}{R}r$，可得$\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R}$，可知$b=\frac{1}{E}$，$k=\frac{r}{E}$，解得$E=\frac{1}{b}$，$r=\frac{k}{b}$

（2）[1][2]电压表与电源并联，电压表测并联电压，由等效关系可知，测定的电源实际是电源与电压表并联组成的等效电源，因此电源电动势与内阻的测量值都小于电源电动势与内阻的真实值。

【例 2】(1)C；见解析；(2)R；(3)$\frac{1}{kR_0}$　　$\frac{b}{k}-R_0$　　小于

【详解】（1）因待测电源为蓄电池，所以电路中电压表应选择 C；实物图连接如图所示



（2）根据闭合电路欧姆定律有$E=U+\frac{U}{R_0}(R+r)$

变形得$\frac{1}{U}=\frac{1}{ER_0}R+\left(\frac{r}{ER_0}+\frac{1}{E}\right)$

所以，$\frac{1}{U}$与R是线性关系，为使得到的图线呈直线，若以$\frac{1}{U}$为纵坐标，则横坐标应为R。

（3）[1][2]由$\frac{1}{U}$与R的关系式可得$k=\frac{1}{ER_0}$，$b=\frac{r}{ER_0}+\frac{1}{E}$，联立解得$E=\frac{1}{kR_0}$，$r=\frac{b}{k}-R_0$

[3]若考虑电压表的分流作用，设电压表与R_0并联的电阻为$R_{并}$，则 U 与 R 的真实关系为$E=U+\frac{U}{R_{并}}(R+r)$

变形得$\frac{1}{U}=\frac{1}{ER_{并}}R+\left(\frac{r}{ER_{并}}+\frac{1}{E}\right)$，所以$E_{真}=\frac{1}{kR_{并}}$，而$E_{测}=\frac{1}{kR_0}$，因$R_{并}$小于$R_0$，由$E_{测}<E_{真}$

【例 3】(1)$\frac{k}{b}$　　$\frac{1}{b}$；(2)小于　　小于；(3)1.0　　2.8

【详解】（1）[1][2]根据闭合电路欧姆定律，可得$E=U+\frac{U}{R+R_0}r$，整理得$\frac{1}{R+R_0}=\frac{E}{r}\cdot\frac{1}{U}-\frac{1}{r}$

所以结合图像可得$\frac{E}{r}=k$，$-\frac{1}{r}=-b$，所以$r=\frac{1}{b}$，$E=\frac{k}{b}$

（2）[1][2]根据题意可知，实验误差来源于电压表内阻分流的影响，根据等效电源的知识可知

$E_{测}=\frac{R_V}{R_V+r}E_{真}$，$r_{测}=\frac{R_V}{R_V+r_{真}}r_{真}$；故$E_{测}<E_{真}$，$r_{测}<r_{真}$

（3）[3][4]根据$E=U+\frac{U}{R+R_0}r$；将数据代入得$E=2.40+\frac{2.40}{2.0+4}r$，$E=2.60+\frac{2.60}{9.0+4}r$，解得$r=1.0\Omega$，$E=2.8\,\mathrm{V}$

【跟踪训练】：

1．(1)4.41；(2)B　　$\frac{1}{a}$　　$\frac{k}{a}$　　偏小

【详解】（1）由图可知，量程为 5V，分度值为 0.1V，所以读数为 4.41V

（2）[1]该电源允许通过的最大电流为 25mA，所以排除 CD 选项，根据欧姆定律$R_{总}=\frac{E}{I_{max}}=\frac{4.41}{0.025}=176.4\Omega$。

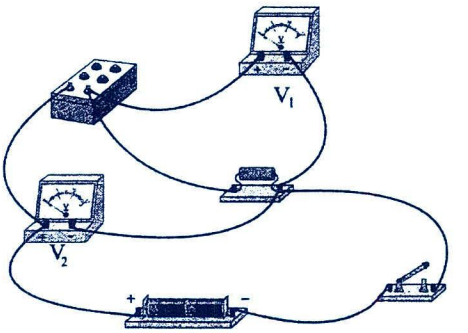
[2][3]由闭合电路欧姆定律$R_0=\frac{E-U}{I}-r$，化简可得$\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R_0+R}$，所以$a=\frac{1}{E}$，$k=\frac{r}{E}$

化简可得电源的电动势为$E=\frac{1}{a}$，内阻为$r=\frac{k}{a}$

[4]可用“等效电源法”分析误差大小：可以把电源与电压表看做一等效电源，则电动势测量值等于外电路断开时“等效电源”两极间的电压，由于电压表不是理想电表，所以有电流通过“电源”，因而路端电压要小于电动势，所以电动势测量值小于真实值，即电源电动势的测量值比真实值偏小。

2．(1)见解析；(2)逐渐减小；(3)12；(4)6　　1

【详解】（1）根据电路图，连线如下



（2）由电路图可知，电阻箱的阻值逐渐减小时，回路的总电流I逐渐增大，则定值电阻R_1两端的电压逐渐增大，电压表V_1的读数$U_1=IR_1$逐渐增大；电源内阻分得的电压逐渐增大，

则由闭合电路欧姆定律$U_2=E-Ir$

可知路端电压即电压表V_2的读数U_2逐渐减小。

（3）定值电阻R_1和电阻箱串联，则由串联电路的特点可知电流处处相等，则$I=\frac{U_1}{R_1}=\frac{U_2}{R_1+R}$

整理得$\frac{U_2}{U_1}=\frac{1}{R_1}\cdot R+1$，当$R=0$时$\frac{U_2}{U_1}=1$

所以图像在纵轴的截距为 1.0，图像的斜率为$k=\frac{1}{R_1}$，又由图像可知$k=\frac{3-1}{24}$，解得$R_1=12\Omega$

（4）[1][2]由题图 1 所示电路图结合闭合电路欧姆定律得$E=U_1+\frac{U_1}{R_1}(R+r)$，整理得$R=ER_1\cdot\frac{1}{U_1}-(r+R_1)$

结合图 4 得$-(r+R_1)=-13$，解得$r=1.0\Omega$，图线的斜率为$k=ER_1$，由题图 4 可知斜率的值为$k=\frac{13}{\frac{13}{72}}=72$，$E=6.0\mathrm{V}$

题型三：双电源法测电动势和内阻

【精选例题】

【例 1】0　　12.0V　　−12.0V　　1530Ω　　1.8Ω　　12.6V　　1.5Ω

【详解】(1)[1][2][3]当电流计示数为 0 时，A、B 两点电势相等，即 $U_{AB}=0$

电压表示数即为 A、C 两点电势差，即 $U_{AC}=12.0\text{V}$

由闭合电路欧姆定律可知，D、A 和 A、C 之间的电势差相等，故 $U_{AD}=-12.0\text{V}$

(2)[4][5]由欧姆定律可得 $\frac{U}{R_1}+\frac{U}{R_\text{V}}=I_1$，解得 $R_\text{V}=1530\Omega$，由 $U_{DA}=I_1\left(R_2+R_A\right)$，可得 $R_A=1.8\Omega$

(3)[6][7]由步骤①可得 $2E=24+2I_1r$，由步骤②可得 $2E=2\times11.7+2I_2r$，联立可解得 $E=12.6\text{V}$，$r=1.5\Omega$

【例 2】41.20　　$\frac{L}{L_0}E_0$　　$\frac{E_0r_x}{E_xL_0}\cdot\frac{1}{R}+\frac{E_0}{E_xL_0}$　　1.5

【详解】（1）[1]游标卡尺读数为 $d=4.1\text{cm}+10\times0.02\text{mm}=41.20\text{mm}$

（2）[2]由于电流计示数为零，则标准电池与铅笔芯、待测电池与电阻箱分别组成两个相对独立的电路，且 $U_R=U_{AP}$，对标准电池与铅笔芯组成的回路，由闭合电路欧姆定律可知 $U_R=U_{AP}=\frac{L}{L_0}E_0$

（3）[3]对待测电池与电阻箱组成的回路，由闭合电路欧姆定律可知 $U_R=\frac{E_x}{R+r_x}R$

则有 $\frac{L}{L_0}E_0=\frac{E_x}{R+r_x}R$，变形可得 $\frac{1}{L}=\frac{E_0r_x}{E_xL_0}\cdot\frac{1}{R}+\frac{E_0}{E_xL_0}$

[4]由 $\frac{1}{L}-\frac{1}{R}$ 图像可得纵截距为 $\frac{E_0}{E_xL_0}=8\text{m}^{-1}$，斜率为 $\frac{E_0r_x}{E_xL_0}=\frac{14-8}{0.5}\Omega\cdot\text{m}^{-1}$，解得 $r_x=1.5\Omega$

【跟踪训练】

1．甲　　2.4~2.6　　偏小　　$\frac{L_{AX}}{L_{AD}}E_S$

【详解】（1）[1]由于干电池的内阻较小，远远小于电压表的内阻，为尽可能减小测量内阻的相对误差，所以对电池来说应选用电流表外接法，故选用甲实验电路。

（2）[2]由丙图中图线的斜率表示电源内阻的大小，故有 $r=\frac{\Delta U}{\Delta I}=\frac{1.45-0.7}{0.3}\Omega=2.5\Omega$

（3）[3]采用甲图设计电路，我们其实是将甲图中电压表与电池并联部分看作了电源，即等效电源，故实际测量电池的内阻为 $r_{测}=\frac{rR_\text{V}}{r+R_\text{V}}<r$，故电池内阻测量值偏小。

（4）[4]由于两次流经电流计 G 的电流都为 0，所以第一次调节 E_s 等于 AD 两端的电压；第二次调节 E_x 等于 AX 两端的电压，即有 $\frac{E_s}{L_{AD}}=\frac{E_x}{L_{AX}}$，可得 $E_x=\frac{L_{AX}}{L_{AD}}E_s$

第八讲：基础磁现象

考点一：磁场

题型一：磁场与磁感线概念辨析

【精选例题】：AB　　B

【例 1】AB

【详解】AB．磁场和电场都是客观存在的特殊物质，磁场的基本性质是对放入其中的磁体或通电导体有力的作用，选项 AB 正确；

C．磁场虽然看不见、摸不着，但是它是客观存在的，选项 C 错误。

D．磁场是磁体周围或通电导体周围存在的一种物质，不管有无小磁针放入其中，磁场都是客观存在的，选项 D 错误。故选 AB。

【例 2】B

【详解】A．电荷在匀强电场中一定会受到电场力作用，电荷在匀强磁场中不一定会受到磁场力作用，只有当电荷运动且速度方向不与磁感线平行时才会受到磁场力作用，故 A 错误；

B．把同一试探电荷放入同一电场中的不同位置，所受电场力越大的位置，电场强度越大，故 B 正确；

C．根据安培力公式 $F = BIL\sin\theta$ 可知同一小段通电导线在磁场中所受磁场力的大小不仅和磁场强度有关，还和导线与磁感线间的夹角有关，所以把同一小段通电导线放入同一磁场中的不同位置，所受磁场力越大的位置，磁感应强度不一定越大，故 C 错误；

D．磁感线是为了形象地描述磁场而假想出来的线，并非磁场的客观反映，故 D 错误。

E．磁感线在磁体的外部是从磁体的 N 极出发回到 S 极；在磁体的内部，磁感线是从磁体的 S 极出发，回到 N 极，形成闭合曲线，故 E 错误。故选 B。

【跟踪训练】：B　　C

1．B

【详解】A．磁感线是为了更形象地描述磁场的强弱及方向而假想的一簇有方向的曲线，实际并不存在，A 错误；

B．磁感线上某点的切线方向与该点的磁场方向一致，故 B 正确；

C．沿着磁感线的方向磁场不一定减弱，磁感线变疏，则磁场减弱，若磁感线变密，则磁场增强，故 C 错误；

D．磁感线是闭合的曲线，故 D 错误。

故选 B。

2．C

【详解】A．电场线和磁感线是为了描述电场和磁场假想的曲线，都不是电场或磁场中实际存在的线， A 错误；

B．磁场中两条磁感线一定不相交，所有电场中的电场线也是不相交的， B 错误；

C．磁感线是一条闭合有方向的曲线，而电场线不是闭合的曲线， C 正确；

D．电场线越密的地方，电场越强，磁感线越密的地方，磁场也越强，同一试探电荷所受的磁场力不一定越大，如：通电导线与磁场方向平行，受到的磁场力为 0，D 错误；

E．电场线的切向方向为电场强度方向，即正电荷所受的电场力方向；磁感线方向为该点的磁感应强度方向，根据安培定则可知，磁感应强度方向并不是电流的受力方向，故 E 错误。

故选 C。

题型二：磁感线的性质

【精选例题】：B　　D

【例 1】B

【详解】小磁针静止时 N 极指向磁场方向，而磁场方向水平向右，因此小磁针 N 极指向水平向右。故选 B。

【例 2】D

【详解】AD．磁感线可以形象地描述磁场的强弱和方向，磁感线的疏密表示磁场的强弱，磁感线越密的地方磁场越强，所以 A 点的磁场最强，故 A 错误，D 正确；

B．磁感线疏密程度反映了磁场的强弱，没有画磁感线的地方不代表没有磁场，故 B 错误；

C．磁感线的切线方向就是磁场的方向，则 B 、 C 两点的磁场方向不同，故 C 错误。故选 D。

【跟踪训练】：D　　B

1．D

【详解】A．磁感线的疏密程度反应磁感应强度的大小，磁感线越密磁感应强度越大，所以 a 点的磁场最强，故 A 正确，不符合题意；

B．对称性可知，b、c 两点的磁感应强度大小相同，但方向不相同，由于磁感应强度为矢量，则 b、c 两点的磁感应强度不同，故 B 正确，不符合题意；

C．小磁针静止时 N 极指向为该点的磁场方向，由图可知 d 点的磁场方向向右，所以在 d 点放一小磁针，小磁针静止时 N 极指向右侧，故 C 正确，不符合题意；

D．图可知 a 点的磁感应强度大于 d 点的磁感应强度，同一段通电导线分别放在 a、d 两点时，由于导线如何放置题中未说明，所以无法确定导线在这两点所受磁场力的大小关系，故 D 错误，符合题意。故选 D 。

2．B

【详解】AB．由题意和图可看出，可能是两个等量异种点电荷产生的电场线，左正右负；也可能是条形磁铁或通电螺线管产生的磁感线，左 N 右 S，若是电场线，可能是两个异种电荷产生的电场线，若是磁感线，可能是条形磁铁产生磁场的磁感线，A 错误，B 正确；

C．若是电场线，A、P 处场的方向相反；若是磁感线，，A、P 处场的方向相同，C 错误；

D．由于 P、Q 关于中垂线对称，因此无论是电场还是磁场，P、Q 处场强的大小相等、方向相同，D 错误。选 B。

题型三：安培定则

【精选例题】：BD　　BCD

【例 1】BD

【详解】A．根据安培定则可知，该图中直导线右侧磁场向里，左侧向外，故 A 错误；

B．根据安培定则可知，直导线周围的磁场为图所示，故 B 正确；

C．根据安培定则可知，环形磁场内部磁场方向垂直纸面向外，故 C 错误；

D．根据安培定则可知，环形磁场内部磁场方向垂直纸面向外，故 D 正确。

故选 BD。

【例 2】BCD

【详解】A．根据安培定则可知，图中电流产生的磁场，在电流左侧磁场应垂直纸面向里，右侧应垂直纸面向外，故 A 错误；

B．根据安培定则，右手紧握螺线管，四指方向为电流方向，大拇指方向为螺线管内部磁场方向，故 B 正确；

C．根据安培定则，右手紧握环形电流，四指方向为电流方向，大拇指方向为螺线管内部磁场方向，故 C 正确；

D．根据安培定则，右手紧握螺线管，四指方向为电流方向，大拇指方向为螺线管内部磁场方向，两个螺线管相当于两个磁极相同并列的条形磁铁，上端为 N 极，下端为 S 极，在 O 点的合磁场方向向下，故 D 正确。

故选 BCD。

【跟踪训练】：D　　A

1．D

【详解】A．电流的方向竖直向上，根据安培定则可知，磁场的方向导线左侧为垂直纸面向外，导线右侧为垂直纸面向里，故 A 错误；

B．电流的方向竖直向上，根据安培定则可知，磁场的方向从上向下看应为逆时针方向，故 B 错误；

C．根据电流的绕向，结合安培定则知，螺线管内部的磁场方向向右，故 C 错误；

D．环形电流的方向从上往下看为逆时针方向，根据安培定则知，磁场的方向向上，故 D 正确。

故选 D。

2．A

【详解】外部小磁针的 N 极水平向右，知螺线管内部的磁场方向向左，根据右手螺旋定则知，电流在螺线管中的方向从 b 到 a，则 b 端为电源的正极，a 端为电源的负极；再由螺线管内部的磁场方向向左，故小磁针静止时 N 极指向磁场方向，从右向左，即 c 点处小磁针 N 极指向左方，故 A 正确， B、C、D 错误；

故选 A。

题型四：安培定则的应用

【精选例题】：C　　C　　C

【例 1】C

【详解】A．在磁体外部，磁感线是 N 极指向 S 极，故左端为条形磁铁的 S 极，故 A 错误；

B．磁感线的疏密表示磁场强弱，故在 c 点存在磁场，磁感应强度不为零，故 B 错误；

C．小磁针放在 a 点静止时，N 极与磁感线方向一致，向右，故 C 正确；

D．磁感线的疏密表示磁场强弱，a 处的磁感线比 b 处的磁感线密集，故 a 处的磁感应强度大于 b 处的磁感应强度，故 D 错误。

故选 C。

【例 2】C

【详解】闭合开关 S 后，环形导线中通有逆时针方向的电流，根据安培定则判断环形导线内部磁场垂直纸面向外，外部磁场垂直纸面向内，则小磁针 b 的 N 极向外偏转，a、c 两个小磁针向里偏转。

故选 C。

【例 3】C

【解答】A．根据同名磁极相斥，异名磁极相吸，则小磁针 N 极向右，故 A 错误；

B．伸开右手，四指环绕方向为电流方向，则大拇指方向为内部磁场方向，再由小磁针静止时，N 极即为磁场方向，则小磁针 N 极应向左，故 B 错误；

C．由安培定则知，用手握住螺线管，使四指所指的方向与电流方向相同，则螺线管的右端为 N 极，左端为 S 极，再根据小磁针 N 极指向即为磁场方向可知，小磁针 N 极的指向正确，故 C 正确；

D．根据右手螺旋定则可知，通电直导线的磁场方向，右边是垂直纸面向里，则小磁针 N 极应该垂直纸面向里，故 D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：A　　D　　AC　　C

1．A

【详解】磁感线的切线方向表示磁感应强度的方向，则 P、Q 两点的方向均水平向右；磁感线的疏密程度表示磁感应强度的大小，因 P 点周围的磁感线较多，则 $B_P > B_Q$。故选 A。

2．D

【详解】A．根据安培定则可判断出电流周围的磁场方向，再根据小磁针静止时 N 极的指向为磁场的方向可知，对 A 图，当开关闭合后，直线电流产生的磁场方向在小磁针处垂直纸面向外，因此小磁针的 N 极应指向外；

B．对 B 图，当开关闭合后，螺线管产生的磁场上端是 N 极，螺线管左侧磁场方向向下，小磁针的 N 极应指向下，螺线管下面小磁针位置的磁场方向应指向螺线管下端，因此小磁针 N 极应指向螺线管下端，B 错误；

C．对 C 图，当开关闭合后，环形电流的磁场方向在小磁针位置垂直纸面向里，因此小磁针的 N 极应指向里；

D．对 D 图，当开关闭合后，U 形电磁铁的左侧是 S 极，右侧是 N 极，因此小磁针的 N 极应指向左侧，D 正确。

故选 D。

3．AC

【详解】B．根据安培定则可知，螺线管的左端为 N 极，右端为 S 极，故 B 错误；

C．根据条形磁体的磁感线分布可知 C 点的磁感应强度方向水平向右，则在 C 点放置的小磁针静止后，小磁针的 N 极指向右侧，故 C 正确；

AD．根据通电螺线管的磁场特点，内部为匀强磁场且最强，则 B 点的磁感应强度等于 D 点的磁感应强度，管外为非匀强磁场，根据条形磁体的磁感线分布可知 A、B、D 三点的磁场方向相同且方向都是向左，故 A 正确，D 错误。故选 AC。

4．C

【详解】A．小磁针 N 极的指向为磁感线方向，直导线 AB 部分，电流从上到下，所以从上往下看，直导线产生的磁场方向应为顺时针方向，所以小磁针 a 的 N 极应指向纸面外，A 错误；

BC．在通电螺线管 E 部分，由安培定则可知，在内部磁感线从右到左，故右端为螺线管 S 极，左端为 N 极，在外部磁感线从 N 极到 S 极，所以小磁针 b 的 N 极应向右，小磁针 c 的 N 极向左，B 错误，C 正确；

D．在 U 形磁体 D 部分，由安培定则可知，左端为 S 极，右端为 N 极，在外部磁场方向从右端指向左端，所以小磁针 d 的 N 极应向左，D 错误。

故选 C。

题型五：安培分子电流假说

【精选例题】：A

【例 1】A

【详解】AB．由安培分子电流假说可知，不管磁体、非磁体，其内部均存在分子电流，故 A 错误，B 正确；

C．没有磁性的物体内分子电流的取向杂乱无章，分子电流形成的磁性彼此抵消，总体对外不显磁性，故 C 正确；

D．原来没有磁性的铁钉或铁块被磁化后，内部分子电流的取向变得大致相同，且不易再被打乱，故 D 正确。

本题选错误的，故选 A。

【跟踪训练】：B

1．B

【详解】A．根据“分子电流”的假说，未被磁化的物体，分子电流的方向非常紊乱，对外不显磁性，故 A 错误；

B．根据“分子电流”的假说，被磁化的物体，分子电流的方向大致相同，于是对外界显示出磁性，故 B 正确；

CD．根据磁化与退磁的特性可知，磁体在高温环境下磁性会减弱，故 CD 错误。

故选 B。

题型六：常见磁场及磁感线

【精选例题】：A　　D　　B

【例 1】A

【详解】A．指南鱼的鱼头指向南极，鱼头的磁极应标注“S”，A 正确；

B．磁感线是为了形象描述磁场而假想的曲线，不是客观存在，B 错误；

C．鱼形铁已经被磁化，是个磁体，磁体与磁体可以相互吸引，C 错误；

D．指南鱼是个磁体，类似条形磁铁，两极位置磁性最强，中间最弱，D 错误。

故选 A。

【例 2】D

【详解】A．用一个能自由转动的小磁针观察地磁场的方向，看到它的磁极一般指向地理的南北方向附近，不是正南北方向，故 A 错误；

B．地球磁体的 N 极位于地理的南极附近，地球磁体的 S 极在地理的北极附近，并不重合，故 B 错误；

C．在地球的内部磁感线由地磁的 S 极指向地磁的 N 极，故 C 错误；

D．从地理北极向地理南极看，环形电流的方向沿顺时针方向，故 D 正确。

故选 D。

【例 3】B

【详解】A．磁感线的疏密表示磁场的强弱。由磁感线分布情况可知，地面附近，赤道处的磁感应强度大小小于两极处的磁感应强度大小，A 错误；

B．地球的磁场由南向北，当带正电粒子垂直于地面向赤道射来时，根据左手定则可以判断粒子的受力的方向为向东，所以粒子将向东偏转，B 正确；

CD．磁场是闭合的曲线，地球磁场从南极附近发出，从北极附近进入地球，组成闭合曲线，曲线的切线为该点磁场的方向，所以地面附近的磁场方向不是都与地面平行，CD 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：B　　CF

【例 1】B

【详解】地磁的南极在地理北极的附近，故在用安培定则判定环形电流的方向时右手的拇指必需指向南方（图的下方）；而根据安培定则：拇指与四指垂直，而四指弯曲的方向就是电流流动的方向，故四指的方向应该向西。故 B 正确。

故选 B。

【例 2】CF

【详解】AB．地球是一个巨大的磁体，周围存在磁场，地球赤道处也有磁场，不同的位置的磁感应强度的大小与方向都不同，地球两极附近磁场最强，故 AB 错误；

C．地磁南北极和地理南北极不完全重合，地磁的北极在地理南极附近，地磁南极在地理的北极附近，指南针能够指向南北是因为地磁场的存在，故 C 正确。

D．地理南、北极与地磁场的南、北极并没有重合，之间存在一定的偏角，该偏角叫磁偏角，故 D 错误；

E．磁感线是一系列闭合的曲线，可知，地球内部也存在磁场，地球本身就是一个巨大的磁体，类似于条形磁体，但地球本身不是磁铁，故 E 错误；

F．地球的磁场与条形磁铁的磁场分布比较相似，因地球自西向东转，地理南极是地磁的 N 极，由右手定则可知，可以将地磁场类比成一个带负电荷的天体自转形成的，选项 F 正确；

故选 CF。

考点二：磁感应强度

题型一：对磁感应强度的理解

【精选例题】：A　　AB　　C

【例 1】A

【详解】A．根据 $B=\frac{F}{IL}$ 可知，一小段通电直导线放在磁感应强度为零处，它所受磁场力一定为零，A 正确；

B．一小段通电导线在某处不受磁场力，可能是导线与磁场平行，而该处的磁感应强度不一定为零，B 错误；

C．磁感应强度的方向一定是小磁针静止时 N 极所指的方向，C 错误；

D．磁感应强度的方向，与一小段通电导线在该处受磁场力的方向垂直，D 错误。故选 A。

【例 2】AB

【详解】根据磁感应强度的定义 $B=\frac{F}{IL}$，可知其单位为 $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}\cdot\mathrm{m}}$，又因为 $I=\frac{q}{t}$，

故上述单位又可转化为 $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}\cdot\mathrm{m}}=\frac{\mathrm{N}}{\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}}\cdot\mathrm{m}}=\frac{\mathrm{N}\cdot\mathrm{s}}{\mathrm{C}\cdot\mathrm{m}}$，故选 AB。

【例 3】C

【详解】P 处的磁感应强度与磁场本身有关，与是否通电导线移走无关，故将该通电导线从磁场中撤走后，P 处的磁感应强度不变，则 P 处的磁感应强度大小为 $B=\frac{F}{IL}=\frac{1.0}{1.0\times0.5}\mathrm{T}=2\mathrm{T}$，故选 C。

【跟踪训练】：AC　　AC　　AB

1．AC

【详解】A．一小段通电直导线放在磁感应强度为零处，它所受磁场力一定为零，故 A 正确；

B．一小段通电导线在某处不受磁场力的作用，可能是电流方向与磁场方向平行，该处的磁感应强度不一定为零，故 B 错误；

C．磁感应强度的方向，就是小磁针静止时 N 极所指的方向，故 C 正确；

D．磁感应强度的方向，与一小段通电导线在该处受磁场力的方向垂直，故 D 错误。故选 AC。

2．AC

【详解】A．电场强度和磁感应强度分别是描述电场和磁场的物理量，反映了电场和磁场的性质，A 正确；

BC．电场强度和磁感应强度分别由电场和磁场本身决定，B 错误，C 正确；

D．正电荷所受电场力方向才是该处电场的方向，电流元受到的磁场力方向不是该处磁场的方向，D 错误。

故选 AC。

3．AB

【详解】当导线和磁场垂直时，磁感应强度大小为，$B=\frac{F}{Il}=2T$

若导线与磁场不垂直时，磁场的磁感应强度应大于 2T。故选 AB。

题型二：磁场叠加

【精选例题】：B　　A　　D　　A　　A

【例 1】B

【详解】AB．根据题意，c 点处磁感应强度为 2B，说明通电导线在 c 点产生的磁场水平向右，与匀强磁场的磁感应强度大小相等、方向相同，故通电直导线中的电流方向为垂直于纸面向里，a 点的磁感应强度为 0，故 A 错误，B 正确；

CD．b、d 两点的磁感应强度大小均为$\sqrt{2}B$、方向不同，b 点的磁感应强度方向斜向右上方，与 B 的夹角为45°，d 点的磁感应强度方向斜向右下方，与水平方向的夹角为45°，故 CD 错误。故选 B。

【例 2】A

【详解】由于三条导线到 A 点距离相等，且导线中的电流相同，所以三条导线在 A 处的磁感应强度均为 B_0，根据右手螺旋定则可知，B 导线在 A 处的磁感应强度方向沿 AC 向下，C 导线在 A 处的磁感应强度方向沿 AD 向右，D 导线在 A 处的磁感应强度方向沿 CA 向上，所以 A 点的磁感应强度的大小为 B_0，方向沿 AD 向右。

故选 A。

【例 3】D

【详解】B．由地磁场特点，可知地磁场从南方指向北方，即 B_0 的方向由南向北，故 B 错误；

A．由题意可知，小磁针稳定时的 N 极指向为北偏西，而地磁场方向为由南至向北，故电流产生的磁场方向为由东向西，结合安培定则，可知电流方向为由南向北，故 A 错误；

CD．由于电流的磁场方向指向西，地磁场的方向指向北，两个磁场的合磁场方向为北偏西 53°，可得到两个磁感应强度的大小关系为 $\tan53^\circ=\frac{B}{B_0}$，即 $B=\frac{4}{3}B_0$，方向为指向西，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

【例 4】A

【详解】根据安培定则，两直导线在 O 点产生的磁场相互垂直的，设 Q 到 O 点的距离为 L，已知通电长直导线在空间某点产生的磁感应强度大小 $B=k\frac{I}{r}$

则直导线 a 在 O 点产生的磁感应强度大小为 $B_0=k\frac{I_a}{L\sin\theta}=\frac{2kI_a}{L}$

则直导线 b 在 O 点产生的磁感应强度大小为 $B_b=k\frac{I_b}{L}=\frac{2kI_a}{L}=B_0$

两直导线在 O 点产生的磁场相互垂直，根据磁感应强度合成法则，

则 O 点的磁感应强度大小为 $B=\sqrt{B_0^2+B_b^2}=\sqrt{2}B_0$

故选 A。

【例 5】A

【详解】设 L_1 中的电流在 a、b 两点产生的磁感应强度大小为 B_1，L_2 中的电流在 a、b 两点产生的磁感应强度大小为 B_2，由安培定则可知 L_1 中的电流在 a 点产生的磁场方向垂直于纸面向里，L_2 中的电流在 a 点产生的磁场方向垂直于纸面向里；L_1 中的电流在 b 点产生的磁场方向垂直于纸面向里，L_2 中的电流在 b 点产生的磁场方向垂直于纸面向外，所以根据已知条件得到 $B_0-(B_1+B_2)=\frac{B_0}{3}$；$B_0-B_1+B_2=\frac{B_0}{2}$；解得 $B_1=\frac{7B_0}{12}$，$B_2=\frac{B_0}{12}$。故选 A。

【跟踪训练】：A　　A　　B　　A　　A

1．A

【详解】A．M 点处导线在 N 点处的磁感应强度方向垂直 MN 连线向下，由左手定则可知，N 点处导线受到安培力方向指向 M 导线；N 点处导线在 M 点处的磁感应强度方向垂直 MN 连线向上，由左手定则可知，M 导线受到的安培力方向指向 N 导线；则两根导线互相吸引，故 A 正确；

B．根据右手螺旋定则结合叠加原则可知 a 点处的磁感应强度方向垂直于 *MN* 连线向下，b 点处的磁感应强度方向垂直于 *MN* 连线向上，由对称性可知，a、b 两点处的磁感应强度大小相等、方向相反，故 B 错误；

CD．根据对称性结合手螺旋定则可知 M 点处导线与 N 点处导线在 O 点产生的磁感应强度大小相等，方向相反，则 O 点处的磁感应强度为 0；从 O 点沿直线至 a 点，M 点处导线产生的磁感应强度不断增大，N 点处导线产生的磁感应强度不断减小，根据叠加原则可知，合磁感应强度不断增大，故 CD 错误。

故选 A。

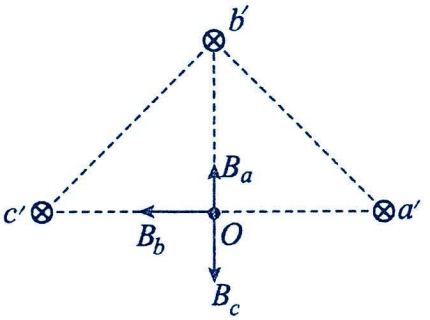
2．A

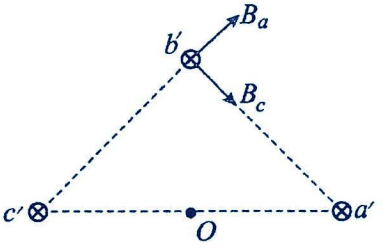
【详解】三根导线均通有垂直纸面向外的电流，在三角形中心 O 处产生的磁感应强度大小均为 B_0，根据安培定则可知，P、M、N 三根通电导线产生的磁感应强度方向分别垂直于 PO、MO、NO，由三角形内部指向外部，且磁感应强度方向之间的间距均为 120°，根据矢量叠加可知，三角形中心 O 处的磁感应强度大小为 0。

故选 A。

3．B

【详解】AB．由题意可知，通电导线 a、b、c 在 O 处产生的磁感应强度大小均为 B，方向分别为竖直向上、水平向左、竖直向下，如图所示，根据磁场强度的叠加原理可知，O 点的磁感应强度大小为 B，方向从 O 指向 c′，故 A 错误，B 正确；



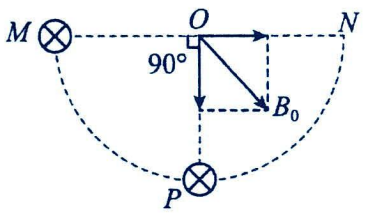


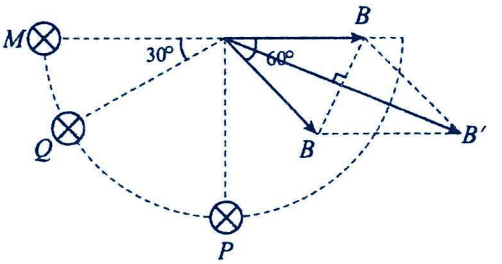
C．导线 a、c 在 b 导线位置产生的磁感应强度如图，导线 b 处的合磁感应强度水平向右，大小为$\sqrt{2}B$，故 C 错；

D．根据左手定则可知导线 b 受到的安培力方向竖直向下，故 D 错误。故选 B。

4．A

【详解】根据安培定则可知，两导线在 O 点形成的磁感应强度如图所示





合磁感应强度大小为 B_0，.则根据几何关系可知，两导线单独形成的磁感应强度大小为$B=\frac{\sqrt{2}}{2}B_0$

当 M 处的导线移到 Q 点时，两导线在 O 点形成的磁感应强度如图所示

由几何关系可知，O 点的磁感应强度大小为$B'=2B\cos 30°=\frac{\sqrt{6}}{2}B_0$。故选 A。

5．A

【详解】根据右手螺旋定则可知，导线 B 和 D 的电流在 A 点产生的磁感应强度方向由 A 点指向 C 点，导线 C 的电流在 A 点产生的磁感应强度方向由 A 点指向 D 点；

则 A 点的磁感应强度大小为$B_A=\sqrt{(k\frac{I}{r}+k\frac{I}{r})^2+(k\frac{I}{r})^2}=\frac{\sqrt{5}kI}{r}$，方向与 BD 的夹角为θ且指向右下方，

且$\tan\theta=\frac{k\frac{I}{r}+k\frac{I}{r}}{k\frac{I}{r}}=2$，故选 A。

考点三：磁通量

题型一：磁通量的概念

【精选例题】：D　　C

【例 1】D

【详解】A．磁感应强度是矢量，磁通量是标量，故 A 错误；

B．由$\Phi=BS\cos\theta$，当磁感应强度方向与线圈平行时，穿过线圈的磁通量为零，则该处的磁感应强度不为零，故 B 错误；

C．由安培力公式$F=IBL\sin\theta$，当导线与磁场方向平行时，导线不受磁场力，但此处磁感应强度不一定为零，故 C 错误；

D．磁感应强度的大小与磁场本身性质有关，与放入该处的通电导线无关，故 D 正确。故选 D。

【例 2】C

【详解】在磁感应强度大的地方，若某平面与磁场平行，即使是增大平面的面积，穿过该平面的磁通量也一直为零；由磁通量$\Phi = BS$知，穿过某垂直于磁场方向投影面的磁感线条数越多，磁通量越大。故选 C。

【跟踪训练】：D

1．D

【详解】A．线圈面积不变，但线圈与磁场的夹角可以变化；当相互垂直时，磁通量也可以大，故 A 错误；

B．若线圈与磁场平行，则线圈的面积 S 越大，穿过线圈的磁通量依然为 0，故 B 错误；

C．将线圈翻转 180°，穿过线圈的磁通量与原磁通量互为相反数，故 C 错误；

D．穿过线圈的磁通量与线圈匝数无关，则仅增加线圈的匝数，穿过线圈的磁通量一定不变，故 D 正确；

故选 D。

题型二：磁通量的计算

【精选例题】：AB　　A　　B　　D　　A

【例 1】AB

【详解】A．根据安培定则，电流I_1在第一象限磁场方向是垂直纸面向里，I_2在第一象限磁场方向是垂直纸面向外，所以磁通量可能为零，A 正确；

B．根据安培定则，电流I_1在第一象限磁场方向是垂直纸面向外，I_2在第一象限磁场方向是垂直纸面向里，所以磁通量可能为零，B 正确；

C．根据安培定则，电流I_1在第一象限磁场方向是垂直纸面向里，I_2在第一象限磁场方向是垂直纸面向里，所以磁通量不可能为零，C 错误；

D．根据安培定则，电流I_1在第一象限磁场方向是垂直纸面向外，I_2在第一象限磁场方向是垂直纸面向外，所以磁通量不可能为零，D 错误。

故选 AB。

【例 2】A

【详解】穿过线圈的磁通量为$\Phi = BS = \pi Br^2$，故选 A。

【例 3】B

【详解】因平面 MEFD 在 yOz 平面内的投影面积等于平面 MNCD 的面积，根据$\Phi = BS$可知可知$\Phi_1 = \Phi_3$

因平面 NEFC 与磁场方向平行，可知$\Phi_2 = 0 < \Phi_1 = \Phi_3$，故选 B。

【例 4】D

【详解】圆环从 M 到 N 过程中，穿过线圈的磁感线条数增多，则磁通量变大；由 N 到 P 的过程，线圈包含了所有的内部磁感线及部分外部磁感线，内外磁感线相互抵消，因越到中间外部磁感线越少，故本过程磁通量是变大的。而 P→Q 的过程是 N 到 P 的过程的相反过程，磁通量是变小的；Q→L 的过程中远离磁铁，磁通量变小；故穿过圆环的磁通量，M 到 P 增大，P 到 L 减小。故选 D。

【例 5】A

【详解】磁铁内部穿过环面的磁感线方向向上，外部穿过环面的磁感线方向向下，由于磁感线是闭合曲线，磁铁内部的磁感线条数等于磁铁外部磁感线的总条数，而磁铁外部磁感线分布在无限大的空间，所以穿过环面的磁铁外部向下的磁感线将磁铁内部向上的磁感线抵消一部分，a 的面积小，抵消较少，则磁通量较大，所以 $\Phi_a > \Phi_b$，故选 A。

【跟踪训练】：C　　A　　ABD　　AC　　A

1．C

【详解】A．根据条形磁体的磁感线分布特点及对称性可知，P、Q 两点的磁感线疏密程度相同，故两点的磁感应强度大小相等，故 A 错误；

B．P 点附近的磁感线比 P' 点附近的磁感线密，则 P 点的磁感应强度比 P' 点的大，故 B 错误；

CD．由题图可知，穿过 S_1 的磁感线条数比穿过 S_2 的磁感线条数多，则穿过 S_1 的磁通量比穿过 S_2 的大，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

2．A

【详解】根据磁通量表达式 $\Phi = BS$，由于磁通量与匝数无关，a、b 两线圈中磁场的有效面积相同，则穿过 a、b 两线圈磁通量相同。

故选 A。

3．ABD

【详解】A．磁通量的公式 $\Phi = BS$ 中 S 为正方形平面 abcd 投影到垂直磁场方向的有效面积，

则 $\Phi = B \cdot L^2 \cdot \cos 45° = \frac{\sqrt{2}}{2} BL^2$，故 A 正确；

BD．磁场穿过矩形 abcd 的有效面积和穿过矩形 abfe 的有效面积相等，则在匀强磁场中，穿过矩形 abcd 的磁通量和穿过矩形 abfe 的磁通量相等，均为 $\frac{\sqrt{2}}{2} BL^2$。故 BD 正确；

C．磁通量有正负，但其加减运算规则并不满足平行四边形定则，所以是标量，故 C 错误。

故选 ABD。

4．AC

【详解】A．根据安培定则可知，两导线在 D、F 两点的合磁感应强度都沿平行于 HF 连线，且方向都由 H 指向 F，根据磁场的矢量叠加可知，DF 点的磁感应强度大小也相等，故 A 正确；

B．两导线在 H 点的磁感应强度大小相等，相互垂直，则 H 点的磁感应强度大小为 $\sqrt{2}B_0$，故 B 错误；

C．根据Φ=BS 可知，正方体的上、下表面的磁通量等于零，故 C 正确；

D．两导线的磁场与平面 BDHF 平行，电流增大时，穿过面 BDHF 的磁通量总为 0，故 D 错误。

故选 AC。

5．A

【详解】根据磁通量的定义计算出磁通量的大小，磁通量 $\Phi = BS_1$，故选 A。

题型三：磁通量的变化量

【精选例题】：C　　D　　D

【例 1】C

【详解】设在位置I时磁通量大小为Φ_1，位置II时磁通量大小为Φ_2。

第一次将金属框由II平移到I，穿过线框的磁感线方向没有改变，磁通量变化量$\Delta\Phi_1=\Phi_1-\Phi_2$

第二次将金属框绕 *cd* 边翻转到I，穿过线框的磁感线的方向发生改变，磁通量变化量$\Delta\Phi_2=\Phi_1+\Phi_2$

综上分析可得$\Delta\Phi_1<\Delta\Phi_2$

故选 C。

【例 2】D

【详解】AB．此时只有一半的线圈在磁场中，穿过线圈的磁通量为$\Phi_1=\frac{1}{2}BS$，故 AB 错误；

C．线圈绕 ab 边旋转 60° 角时，根据几何关系可知，线圈整个进入磁场，

线圈在垂直于磁场方向的投影面积为$S_1=S\cos 60°=\frac{1}{2}S$

穿过线圈的磁通量为$\Phi_2=BS_1=\frac{1}{2}BS$，磁通量不变，穿过线圈 abcd 的磁通量变化量为零，故 C 错误；

D．线圈绕 ab 边旋转180° 角时，根据几何关系可知，线圈整个进入磁场，

线圈在垂直于磁场方向的投影面积为$S_2=S$，穿过线圈的磁通量为$\Phi_3=-BS_2=-BS$

磁通量为标量，则穿过线圈磁通量的变化量为$\Delta\Phi=\left|\Phi_3-\Phi_1\right|=\frac{3}{2}BS$

故 D 正确。

故选 D。

【例 3】D

【详解】A．穿过线圈的磁通量大小与线圈匝数无关，则穿过线圈的磁通量是$\Phi_0=BS_{有效}=B\pi r^2$，故 A 错误；

B．若线圈绕直径翻转180°，则末状态线圈磁通量是$\Phi_1=-BS_{有效1}=-B\pi r^2$

则线圈磁通量的变化量$\Delta\Phi=\Phi_1-\Phi_0=-2B\pi r^2$

即线圈磁通量的变化量的大小为$2B\pi r^2$，故 B 错误；

CD．若线圈绕直径翻转120°，则末状态线圈磁通量是

$\Phi_2=-BS_{有效2}=-B\pi r^2\cos\left(180°-120°\right)=-\frac{1}{2}B\pi r^2$

则线圈磁通量的变化量$\Delta\Phi'=\Phi_2-\Phi_0=-\frac{3}{2}B\pi r^2$

即线圈磁通量的变化量的大小为$\frac{3}{2}B\pi r^2$，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：AC　　AB　　B

1．AC

【详解】A．如图所示位置时磁通量等于BS，选项A正确；

B．若使线框绕OO'转过60°角，磁通量为$\Phi = BS\cos 60^\circ = 0.5BS$，选项B错误；

C．若从初始位置绕OO'转过90°角时磁通量为零，则磁通量的变化量为$\Delta\Phi = |0 - BS| = BS$，选项C正确；

D．若从初始位置线框翻转180°，磁通量为BS，选项D错误。故选AC。

2．AB

【详解】A．根据安培定则可知，长直导线右侧的磁场方向垂直纸面向里，故A正确；

B．若线框中通以顺时针方向的电流，根据左手定则及安培力计算公式可知，左边受到向左的安培力大于右边受到向右的安培力，可知线框受到的安培力方向向左，故B正确；

C．离长直导线越近的位置，磁感应强度越大，若线框从I位置平移到II位置，则磁通量减小，故C错误；

D．设线框在I位置的磁通量为Φ，则线框在III位置的磁通量为$-\Phi$，磁通量变化量大小为2Φ，故D错误。

故选AB。

3．B【详解】ABC.初、末状态的磁通量分别从两个面穿过，且磁通量与匝数无关，

故磁通量变化量大小为$\Delta\Phi = BS\cos 45^\circ - (-BS\cos 45^\circ) = \sqrt{2}BS$，故AC错误，B正确；

D.该过程磁通量发生变化，故有感应电流产生，故D错误。故选B。

考点四：电磁感应现象

题型一：电磁感应现象与感应电流产生条件

,【精选例题】：A　　D　　C　　D　　A

【例1】A

【详解】AC．根据右手螺旋定则可知，两直导线在线圈a、c中的合磁场不为零，a中的合磁场垂直纸面向里，c中的合磁场垂直纸面向外，当两直导线中的电流都增大时，线圈a、c中的磁通量都变大，所以线圈a、c中有感应电流，故A正确，C错误；

BD．根据右手螺旋定则可知，两直导线在线圈b、d中的磁场始终相互抵消，即线圈b、d中的磁通量始终为零，故线圈b、d中没有感应电流，故BD错误。故选A。

【例2】D

【详解】A．当磁铁静止在螺线管中时，穿过螺线管的磁通量不变，可知闭合回路中没有电流，故A错误；

BCD．将磁铁插入或拔出螺线管时，穿过螺线管的磁通量在变化，可知闭合回路中都有电流，故BC错误，D正确。故选D。

【例3】C

【详解】根据安培定则判断知在通电直导线下侧产生垂直纸面向里的磁场，且离导线越近磁场越强，离导线越远磁场越弱。当穿过闭合线圈中的磁通量发生改变时，线圈中将产生感应电流。

A．若线圈在纸面内远离导线，线圈内的磁通量减小，有感应电流产生，故A错误；

B．若线圈在纸面内沿轴线向右运动，线圈内磁通量不变，没有感应电流产生，故B错误；

C．若线圈绕着虚线匀速转动，线圈内的磁通量发生改变，有感应电流产生，故C正确；

D．若线圈垂直纸面向外运动，线圈内的磁通量减小，有感应电流产生，故D错误。故选C。

【例 4】D

【详解】ABC．线框运动过程中，磁通量未发生变化，则不会产生感应电流，故 ABC 错误；

D．线框转动过程中，磁通量发生改变，会产生感应电流，故 D 正确；

故选 D。

【例 5】A

【详解】A．将 abcd 以 ad 为轴持续转动过程中，磁通量持续发生变化，所以能够产生持续的感应电流，故 A 对；

B．将 abcd 以 cd 为轴持续转动，在转动 60°时，磁通量由最大值变为零，磁通量发生变化，产生感应电流，此后转动再转动 240°，穿过线圈的磁通量不变，没有产生感应电流，故 B 错误；

C．将 abcd 以 ab 为轴持续转动，由几何关系可知，在转动 60°时，穿过线框的磁通量不变，没有产生感应电流，故 C 错误；

D．将 abcd 沿 O_1O_2 向上平移，穿过线框的磁通量不变，没有产生感应电流，故 D 错误。

故选 A。

【跟踪训练】：C　　BD　　BC　　D　　AD

1．C

【详解】ABD．线框运动过程中，磁通量未发生变化，则不会产生感应电流,故 ABD 错误；

C．线框转动过程中，磁通量发生改变，会产生感应电流，故 C 正确。

故选 C。

2．BD

【详解】A．要使线圈中产生感应电流，则穿过线圈的磁通量要发生变化，回路要闭合。因为线圈不闭合，不能产生感应电流，故 A 错误；

B．两导体棒向左右两侧运动，闭合回路面积增大，且闭合，又在匀强磁场中，磁通量发生变化，故产生感应电流，故 B 正确；

C．通电直导线在导体环的正上方，根据安培定则可知，穿过环的磁通量始终是 0，增大电流不能在铁环中产生感应电流，故 C 错误；

D．线框向右运动，穿过线圈的磁通量减小，所以产生感应电流，故 D 正确。

故选 BD。

3．BC

【详解】A．按住按钮不动，稳定后，穿过螺线管的磁通量保持不变，不会产生感应电流，门铃不会响，故 A 错误；

B．按下按钮过程，穿过螺线管的磁通量增加，螺线管中产生感应电流，故 B 正确；

C．松开按钮过程，穿过螺线管的磁通量减少，螺线管中产生感应电流，故 C 正确；

D．若磁铁两磁极反转，按下按钮过程或松开按钮过程，穿过螺线管的磁通量均会发生变化，螺线管中均会产生感应电流，门铃能正常工作，故 D 错误。

故选 BC。

4．D

【详解】A．根据安培定则判断线圈所在位置磁场垂直纸面向里，线圈绕CC'转动，磁通量发生变化，回路有电流，故A正确，不符合题意；

B．线圈绕DD'转动，磁通量发生变化，线圈有电流，故B正确，不符合题意；

C．线圈沿EE'方向运动，靠近导线磁场增大，远离导线磁场变小，回路磁通量发生变化，线圈有电流，故C正确，不符合题意；

D．线圈绕导线AB转动，与导线相对距离不变，回路磁通量不发生变化，线圈无电流，故D错误，符合题意。

故选D。

5．AD

【详解】A．线圈产生的磁场全部集中在铁芯内，所以穿过a、b两个环的磁通量始终相同，故A正确；

BCD．根据安培定则可知，穿过a的磁感线方向向左，穿过b的磁感线方向向上，当滑动变阻器的滑片向右滑动时，线圈中电流将发生改变，产生的磁场随之改变，穿过a、b两环的磁通量会发生改变，故a、b两环中都会产生感应电流；而向左和向右穿过c环的磁感线条数相等，完全抵消，总的磁通量为零，不发生变化，故c环中没有感应电流产生，故BC错误，D正确。

故选AD。

第九讲：电磁波与能量子

考点一：电磁波

题型一：电磁场与电磁波

【精选例题】：ABC　　C

【例 1】ABC

【详解】A．变化的磁场产生电场，与闭合电路是否存在无关，故 A 正确；

B．周期性变化的磁场产生的电场一定也是周期性变化的，且频率相同，故 B 正确；

C．交替变化的电场和磁场，形成不可分割的统一体，即为电磁场，故 C 正确；

D．稳定的电场不能激发磁场，稳定的磁场不能激发电场，故 D 错误；

故选 ABC。

【例 2】C

【详解】A．由电磁场理论，结合图像，可知选项 A 中磁场不变，则不会产生电场，故 A 错误；

B．选项 B 中磁场方向变化，而大小不变，则不会产生恒定的电场，故 B 错误；

C．选项 C 中磁场随着时间均匀变化，则会产生恒定的电场，故 C 正确；

D．选项 D 中磁场随着时间非均匀变化，则会产生非均匀变化的电场，故 D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：D　　C

1．D

【详解】AB．非均匀变化的电场（或磁场）产生的磁场（或电场）一定是变化的，而均匀变化的电场（或磁场）产生的磁场（或电场）才是恒定的，故 AB 错误；

CD．周期性变化的电场（或磁场）产生的磁场（或电场）一定是周期性变化的，一定可以产生电磁波，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．C

【详解】A．若甲、乙两图中的磁场均匀变化，就会产生稳定的电场，稳定的电场不会产生磁场，就不会产生电磁波，故 A 错误；

B．甲图从上向下看，感应电流沿顺时针方向，电子在回路中沿逆时针方向运动，故 B 错误；

CD．变化的磁场周围产生电场是一种普遍存在的现象，与闭合电路是否存在无关，甲图中闭合电路的存在只是提供了观测电场存在的手段，即使没有闭合电路空间仍能产生电场，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

题型二：电磁波谱

【精选例题】：B　　AC　　BD

【例 1】B

【详解】A．根据麦克斯韦电磁场理论，变化的磁场产生电场，变化的电场产生磁场。故 A 正确，与题意不符；

B．红外线、可见光、紫外线都是电磁波，超声波是机械波，不是电磁波。故 B 错误，与题意相符；

C．赫兹通过实验捕捉到了电磁波，证实了电磁场理论。故 C 正确，与题意不符；

D．根据熵增原理，在孤立体系中，系统的总熵可能不变，可能增大，不可能减小。故 D 正确，与题意不符。

本题选不正确的，故选 B。

【例 2】AC

【详解】A．根据麦克斯韦的电磁场理论可知，变化的电场会产生磁场，变化的磁场会产生电场，故 A 正确；

B．水波、声波的传播离不开介质，电磁波的传播不需要介质，故 B 错误；

C．电磁波是一种物质，具有能量，故 C 正确；

D． 麦克斯韦预言了电磁波的存在，赫兹通过实验捕捉到了电磁波，故 D 错误。

故选 AC。

【例 3】BD

【详解】A．麦克斯韦预言了电磁波的存在，赫兹通过实验捕捉到了电磁波，故 A 错误；

BC．由图可知，甲、乙两波的波长都比可见光波长大，电磁波在真空中的传播速度均为光速 c，由 $c=\lambda f$ 可知，波长越大频率越小，所以甲、乙两波的频率都比可见光的频率小，故 B 正确，C 错误；

D．手机通信使用的是无线电波，故 D 正确。

故选 BD。

【跟踪训练】：A　　ABC　　D

1．A

【详解】A．机场、车站用来检查旅客行李包的透视仪利用了 X 射线的穿透本领，故 A 正确；

B．遥控器发出的光是红外线，不是紫外线，故 B 错误；

C．微波炉是利用微波的频率与水分子的频率相接近，从而使水分子振动而发热的，故 C 错误；

D．手机通话使用的无线电波，其波长要大于可见光的波长，故 D 错误。

故选 A。

2．ABC

【详解】A．声音的产生是由于声带的振动，A 正确；

B．音色由发声体本身决定，利用音色可以区分航天员，B 正确；

CD．声音的传播需要介质，太空中没有空气，所以航天员之间以及他们和地面的交流都需要通过电磁波传递信息，故 C 正确，D 错误。

故选 ABC。

3．D

【详解】A．蓝牙通信的电磁波频率不在可见光频率范围内，不是蓝光，故 A 错误；

B．蓝牙通信的电磁波频率比手机通信的电磁波频率大，由公式 $c=\lambda f$ 可知其波长比手机通信的电磁波短，故 B 错误；

CD．电磁波在真空中的传播速度为 $3.0\times10^{8}\text{m/s}$ ，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

考点二：能量子

题型一：热辐射与黑体辐射

【精选例题】：A　　D

【例 1】A

【详解】A．根据黑体辐射规律可以知道一定温度下，黑体辐射强度随波长的分布有一个极大值，故 A 正确；

B．一般物体的热辐射，除与温度有关外，还与材料的种类及表面状况有关，故 B 错误；

C．黑体只吸收电磁波，不反射电磁波，但不是所有黑体一定是黑的，故 C 错误；

D．温度升高时,黑体辐射强度的极大值向波长减小的方向移动，故 D 错误。故选 A。

【例 2】D

【详解】A．黑体能够完全吸收入射的各种波长的电磁波而不发生反射，选项 A 错误；

B．根据黑体辐射规律：黑体辐射电磁波的强度，按波长的分布，只与黑体的温度有关，与材料及表面状况无关，故 B 错误；

C．黑体辐射中温度越高，辐射强度极大值向波长较短的方向移动，选项 C 错误；

D．普朗克提出能量子假说完美解释了黑体辐射实验规律，选项 D 正确。故选 D。

【跟踪训练】：AD　　B

1．AD

【详解】A．能完全吸收照射到它上面的各种频率的电磁波而不发生反射的物体称为黑体，选项 A 正确；

B．由题图可知，随温度的降低，各种波长的光辐射强度都有所减小，选项 B 错误；

C．随着温度的升高，黑体辐射强度的极大值向波长较短的方向移动，选项 C 错误；

D．一般物体辐射电磁波的情况除了与温度有关，还与材料的种类及表面情况有关，但黑体辐射电磁波的情况只与它的温度有关，选项 D 正确。故选 AD。

2．B

【详解】A．黑体只吸收电磁波，不反射电磁波，但是黑体能够自身辐射电磁波，可知，黑体不一定是黑的，故 A 错误；

B．科学家在研究黑体辐射的实验规律时发现，随着温度的升高，各种波长的辐射强度都有增加，另一方面， 辐射强度的极大值向波长较短的方向移动，故 B 正确；

C．普朗克提出能量子概念，成功地解释了黑体辐射的实验规律，故 C 错误；

D．黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与黑体的温度有关，与材料的种类及表面状况无关，故 D 错误。

故选 B。

题型二：能量子与能级

【精选例题】：C　　ABD　　A

【例 1】C

【详解】A．穿过闭合线圈的磁通量发生变化才能产生感应电流，闭合线圈放在变化的磁场中或垂直磁感线运动磁通量都不一定变化，所以不一定有感应电流产生，故 A 错误；

B．电磁波是横波，每一处的电场强度方向与磁感应强度的方向总是互相垂直的，且与波的传播方向垂直，B 错；

C．最早的发电机是利用电磁感应现象制成的，发明者是法拉第，故 C 正确；

D．爱因斯坦提出了能量量子化理论就是指微观粒子的能量值只能是最小能量单位的整数倍，故 D 错误。

故选 C。

【例 2】ABD

【详解】根据普朗克提出的理论知带电微粒辐射和吸收的能量是不连续的，是量子化的，故 ABD 正确，C 错误。

故选 ABD。

【例 3】A

【详解】A．普朗克认为微观粒子的能量是不连续的，故 A 错误，满足题意要求；

B．一切物体都在辐射电磁波，这种辐射与物体的温度有关，所以叫作热辐射，故 B 正确，不满足题意要求；

C．通常情况下，原子处于能量最低的状态，这是最稳定的，故 C 正确，不满足题意要求。故选 A。

【跟踪训练】：B　　B　　D

1．B

【详解】AB．微观粒子的能量变化是不连续的，只能是某一最小能量值的整数倍，故 A 错误，B 正确；

C．根据 $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ 磁波的波长越长，其能量子越小，故 C 错误；

D．能量子假说与宏观世界中对能量的认识相矛盾，但它是正确的观点，故 D 错误。

故选 B。

2．B

【详解】A．能量子假设是由普朗克最早提出来的，故 A 错误；

B．能量子表示微观世界的不连续性观念，故 B 正确；

C．由 $\varepsilon = h\frac{c}{\lambda}$ 可知，电磁波波长越长，其能量子的能量越小，故 C 错误；

D．能量子是不可再分的最小能量值，不是指类似于原子的微观粒子，故 D 错误。

故选 B。

3．D

【详解】A．紫外线具有杀菌消毒的功能，红外线不具有该功能，夜视仪利用了红外线成像技术，A 错误；

B．X 射线具有辐射性，不能用来通信和广播，B 错误；

C．能量量子化是指微观粒子的能量值只能是一个最小能量单位（普朗克常量）和能量子辐射的频率的乘积，C 错误；

D．普朗克提出了能量子假说，它认为，电磁波的发射和吸收都是不连续的，是一份一份进行的。它不但解决了黑体辐射的理论困难，而且更重要的是提出了“量子”概念，揭开了物理学史上崭新的一页，D 正确。

故选 D。


物理星空高中物理好资料
要刷就刷题型全练一本通
练最好的题型提最狠的分