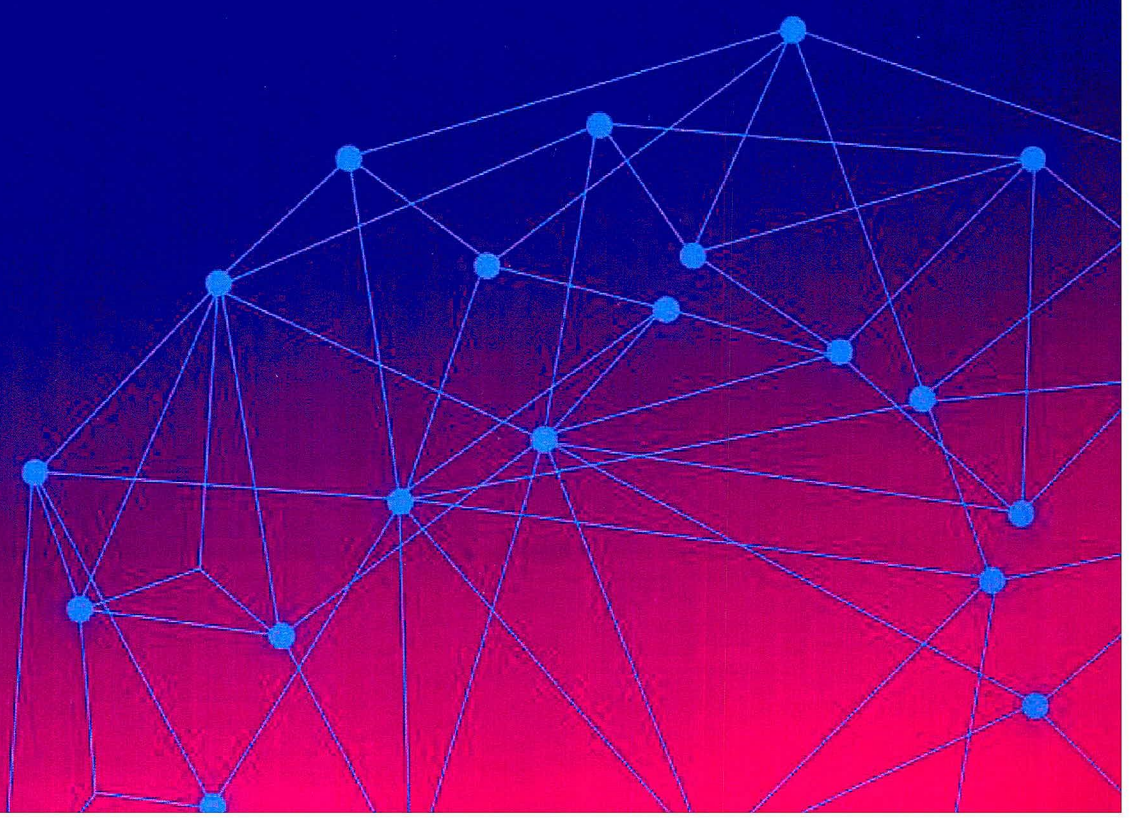
物理星空

高中物理
题型全练一本通
选修第二册

拔高首选 强效提分

学生讲义册



目录

第一讲：安培力 6
考点一：磁场对通电导线的作用——安培力 6
题型一：概念辨析 6
题型二：安培力的方向判断——左手定则 7
题型三：安培力的大小计算 9
考点二：安培力作用下的动力学问题 12
题型一：安培力作用下的运动趋势判断 12
题型二：安培力作用下的平衡问题 16
题型三：解答题 19
题型四：安培力作用下的匀变速运动 21
考点四：安培力中的能量动量问题 23
题型一：安培力作用下的能量、能量问题 23
考点五：安培力的综合应用 25
题型一：磁电式电流表 25
题型二：电磁炮 27
题型三：直流电动机 30
题型四：其他 30
第二讲：洛伦兹力 33
考点一：洛伦兹力 33
题型一：概念辨析 34
题型二：洛伦兹力的方向 35
题型三：洛伦兹力的大小 36
题型四：洛伦兹力与静电力的比较 38
考点二：洛伦兹力作用下的动力学问题 39
题型一：带电体在磁场中的运动 39
题型二：带电粒子在磁场中的运动 42
题型三：显像管 44
第三讲：带电粒子在磁场中的运动 46
考点一：带电粒子在有界磁场中的运动 47
题型一：直线边界 47
题型二：平行边界 49
题型三：矩形边界 50
题型四：圆形边界 52
题型五：三角形边界 55
考点二：带电粒子在磁场中运动的多解问题 56
题型一：粒子电性不确定引起的多解 56
题型二：磁场方向不确定引起的多解 57
题型三：临界条件不确定引起的多解 58
题型四：运动的往复性引起的多解 59
考点三：磁场中粒子源问题分析 61
题型一：定圆平移问题 61
题型二：动圆缩放问题 63
题型三：定圆旋转问题 67
题型四：圆形边界磁场的动态圆问题 71

第四讲：带电粒子在复合场中的运动 75
考点一：粒子在组合场中运动 75
题型一：不同磁场组合 76
题型二：先电后磁组合 78
题型三：先磁后电组合 83
题型四：交变电磁场 86
题型五：最小面积问题 89
题型六：边界轨迹问题 92
考点二：粒子在叠加场中运动 95
题型一：直线运动 95
题型二：匀速圆周 98
题型三：变速圆周 100
题型四：一般曲线运动 102
题型五：应用配速法解决叠加场问题 104
题型六：应用正则动量定理解决叠加场问题 108
考点三：带电粒子在立体空间的运动 113
题型一：带电粒子在立体空间偏转 113
题型二：带电粒子在立体空间的螺旋线运动 117
题型三：带电粒子在立体空间的旋进运动 119
考点四：洛伦兹力与现代科技 120
题型一：速度选择器 120
题型二：质谱仪 121
题型三：回旋加速器 125
题型四：磁流体发电机 127
题型五：电磁流量计 129
题型六：霍尔元件 131
第五讲：楞次定律 133
考点一：楞次定律 133
题型一：探究影响感应电流方向的因素 133
题型二：利用楞次定律判断感应电流方向 135
题型三：利用楞次定律判断受力情况及运动趋势 137
题型四：楞次定律与能量转化 139
题型五：楞次定律与实际应用 140
考点二：右手定则 142
题型一：利用右手定则判断感应电流方向 143
题型二：安培定则、左手定则、右手定则、楞次定律综合应用 144
题型三：二次感应问题 146
第六讲：法拉第电磁感应定律 147
考点一：电磁感应定律 147
题型一：概念理解 148
题型二：感生电动势的简单计算 149
考点二：动生电动势 152
题型一：理解应用动生公式 BLv 152
题型二：旋转切割问题 154
题型三：动生电动势的简单计算 156
考点三：电磁感应中的电路问题 158
题型一：电流、电压、安培力的计算 159
题型二：电荷量的计算 160

题型三：电功及焦耳热的计算 161
题型四：含电容的电路问题 163
考点四：电磁感应中的动力学问题 164
题型一：平衡问题 164
题型二：动力学问题 165
考点五：电磁感应中的能量与动量问题 167
题型一：能量问题 167
题型二：动量问题 170
考点六：涡流、电磁驱动及电磁阻尼 173
题型一：电子感应加速器 173
题型二：涡流 175
题型三：电磁驱动及电磁阻尼 177
补充 179
考点七：自感与互感 182
题型一：互感现象 182
题型二：自感概念理解 184
题型三：通电自感与断电自感 185
题型四：含容自感 187
题型五：自感现象中的图像 188
第七讲：法拉第电磁感应定律应用——图像专题 190
考点一：感生电动势相关图像 191
题型一：感生电动势相关图像 191
考点二：动生电动势相关图像 194
题型一：i-t 图像与 i-x 图像 194
题型二：E-t 图像与 E-x 图像 197
题型三：F-t 图像与 F-x 图像 198
题型四：图像综合 200
第八讲：法拉第电磁感应定律应用——线框模型与杆模型 203
考点一：导轨间距不变的单杆模型 203
题型一：阻尼式单杆模型 203
题型二：发电式单杆模型 205
题型三：无外力充电单杆模型 209
题型四：无外力放电单杆模型 211
题型五：有外力充电单杆模型 213
题型六：含源电动单杆模型 215
考点二：线框进出磁场 217
题型一：无外力线框模型 218
题型二：恒定外力线框模型 221
题型三：线框中的连接体问题 226
考点三：导轨间距变化的单杆模型 227
题型一：无外力 227
题型二：有外力 229
考点四：等间距双杆模型 232
题型一：无外力 232
题型二：有外力 236
考点五：不等间距双杆模型 239
题型一：无外力 239
题型二：有外力 242

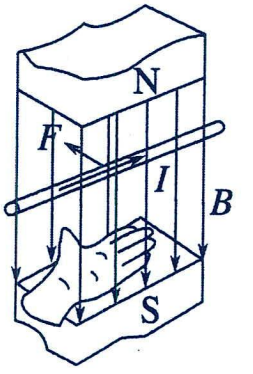
第九讲：交变电流 246
考点一：交变电流的产生 246
题型一：交变电流的判断与产生条件 247
题型二：中性面的特点 248
题型三：平均电动势与瞬时电动势 250
考点二：描述交变电流 252
题型一：交变电流的图像 252
题型二：周期与频率 255
题型三：有效值的内涵 256
题型四："四值"计算 258
题型五：含电容、含电感的电路分析 261
题型六：产生正弦式交变电流的特殊情形 262
第十讲：变压器与远程输电 266
考点一：变压器 266
题型一：变压器的原理 266
题型二：探究变压器原、副线圈电压与线圈匝数的关系 267
题型三：理想变压器中电流、电压、功率的分析 270
题型四：多个副线圈的理想变压器 272
题型五：互感器的应用 273
题型六：理想变压器中电感、电容和二极管 275
题型七：理想变压器中电阻等效与电源等效 276
题型八：原线圈串联用电器 277
题型九：原线圈并联用电器 279
考点二：变压器中的动态分析 279
题型一：负载电阻变化 279
题型二：线圈匝数变化 280
题型三：电路结构变化 281
题型四：自耦变压器 282
考点三：远程输电 284
题型一：远程输电中的电压与功率的损失分析 284
题型二：远程输电中的电路分析 286
题型三：用户端相关分析 288
第十一讲：电磁振动与电磁波 290
考点一：电磁振荡 290
题型一：电磁振动中各物理量的变化 290
题型二：电磁振动中的图像分析 292
题型三：电磁振动中的周期公式应用 294
考点二：电磁波 296
题型一：麦克斯韦电磁场理论 296
题型二：电磁波的产生与传播 297
考点三：无线电波与电磁波谱 298
题型一：无线电波的发射与接受 298
题型二：无线电波的应用 301
题型三：电磁波的相关物理量 302
题型四：红外线及紫外线的应用 304

第十二讲：传感器.....306
考点一：传感器的类别及工作原理.....306
题型一：传感器概念.....306
题型二：光敏传感器.....307
题型二：热敏传感器.....309
题型三：力敏传感器.....310
考点二：实验中的传感器问题.....312
题型一：光控开关.....312
题型二：报警器.....314

第一讲：安培力

考点一：磁场对通电导线的作用——安培力

一、安培力的方向



1．安培力：通电导线在磁场中受的力。

2．**左手定则：**

(1)如图，伸开左手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内；

(2)让磁感线从掌心垂直进入，并使四指指向电流的方向；

(3)拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向。

3．安培力方向的特点：**安培力垂直于磁场方向与电流方向决定的平面。**

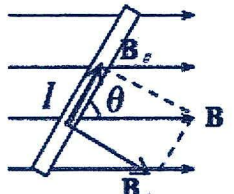
(1)当电流方向跟磁场方向垂直时，安培力的方向、磁场方向和电流方向两两相互垂直；

应用左手定则判断时，磁感线从掌心垂直进入，**拇指、其余四指和磁感线三者两两垂直。**

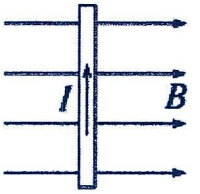
(2)当电流方向跟磁场方向不垂直时，安培力的方向仍垂直于电流方向，也垂直于磁场方向，**即 F⊥B，F⊥I，B、I 不一定垂直。**

二、安培力的大小

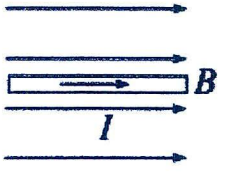
1.公式：F=B·I·l·sinθ；导线电流为 I，长度为 l，磁场的磁感应强度为 B，其中θ为 B 与 I 之间的夹角，如图甲。



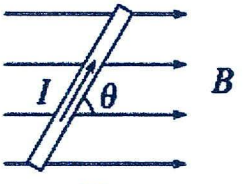
甲



乙



丙



丁

(1)如图乙，当θ=90°时，即 B⊥I，sinθ=1，此时安培力 F=B·I·l；

(2)如图丙，当θ=0 或 180°时，即 B∥I，sinθ=0，此时安培力 F=0；

(3)如图丁，当通电导线与磁场不垂直时，此时安培力 F=B·I·l·sinθ。

题型一：概念辨析

【精选例题】

【例 1】关于磁场下列说法正确的是（　　）

A．一小段通电导线在磁场中所受安培力的方向就是该处的磁场方向

B．宇宙射线中的β粒子（电子）从赤道上空进入地磁场时将向西偏

C．通电导线在磁场中某点不受磁场对其作用力，则该点的磁感应强度一定为零

D．根据定义式$B=\frac{F}{IL}$，磁场中某点的磁感应强度 B 与 F 成正比，与 IL 成反比

【跟踪训练】

1．下列关于磁感应强度的说法中正确的是（　　）

A．通电导线受安培力大的地方磁感应强度一定大

B．磁感线的指向就是磁感应强度减小的方向

C．磁感应强度的大小和方向跟放在磁场中的通电导线受力的大小和方向无关

D．磁感应强度是矢量，方向与放在该点的小磁针 N 极指向垂直

2．下面是某同学对电场和磁场中的一些概念及公式的理解，其中正确的是（　　）

A．根据电场强度的定义式$E=\frac{F}{q}$可知，电场中某点的电场强度与试探电荷所带电荷量成反比

B．根据电势差的定义式$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$可知，带电荷量为1C的正电荷，从A点移动到B点电场力做功为1J，则A、B两点间的电势差为1V

C．根据电容的定义式$C=\frac{Q}{U}$可知，电容器的电容与其所带电荷量成正比，与两极板间的电压成反比

D．由磁感应强度公式$B=\frac{F}{IL}$，磁感应强度方向与放入磁场中的通电直导线所受的安培力方向相同

题型二：安培力的方向判断——左手定则

解题要点：判断安培力方向的步骤

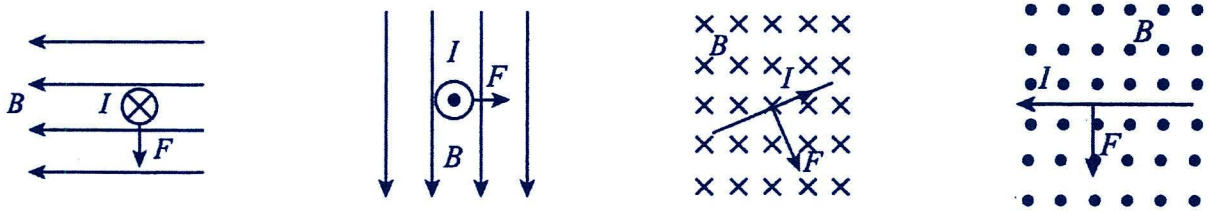
(1)明确研究对象；

(2)用安培定则或根据磁体的磁场特征，画出研究对象所在位置的磁场方向；

(3)由左手定则判断安培力方向。

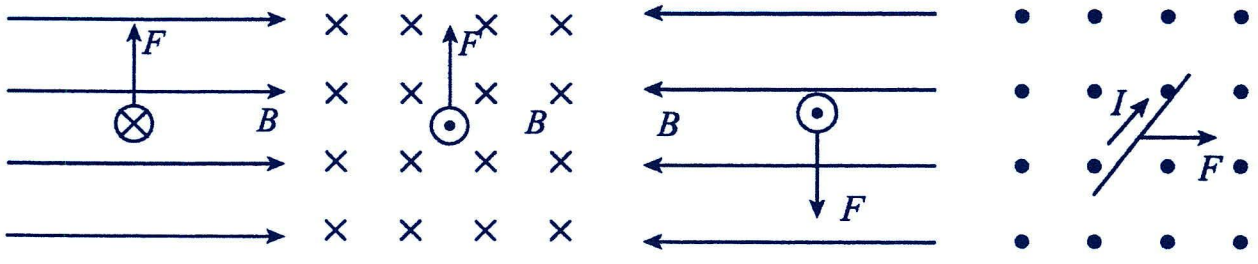
【精选例题】

【例1】图中各图表示一根放在磁场里的通电直导线，导线与磁场方向垂直，图中已分别标明电流方向．磁场方向和导线受力方向，其中正确的是（　　）



A　　B　　C　　D

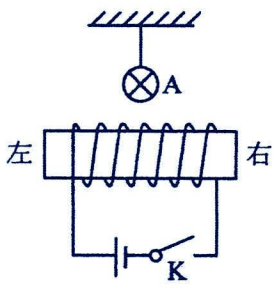
【例2】在下列四个图中，分别标明了磁场方向、通电直导线的电流方向及通电直导线所受安培力的方向，其中正确的是（　　）



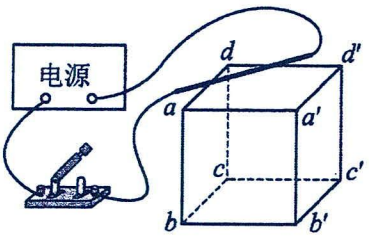
A　　B　　C　　D

【例3】如图所示，均匀绕制的螺线管水平放置，在其正中心的上方附近用绝缘线水平吊起通电直导线A。A与螺线管垂直，“×”表示导线中电流的方向垂直于纸面向里，电键K闭合后，A受到通电螺线管磁场的作用力的方向是（　　）

A．水平向左　　B．水平向右　　C．竖直向下　　D．竖直向上



【例 4】（多选题）如图，用轻质导线将一根硬直金属棒与电源、开关连接成电路，并将金属棒与 ad'平行地搁在正方体的上表面，正方体处在匀强磁场中。闭合开关，发现金属棒竖直向上跳起，由此可知，该区域的磁场方向可能是（　　）

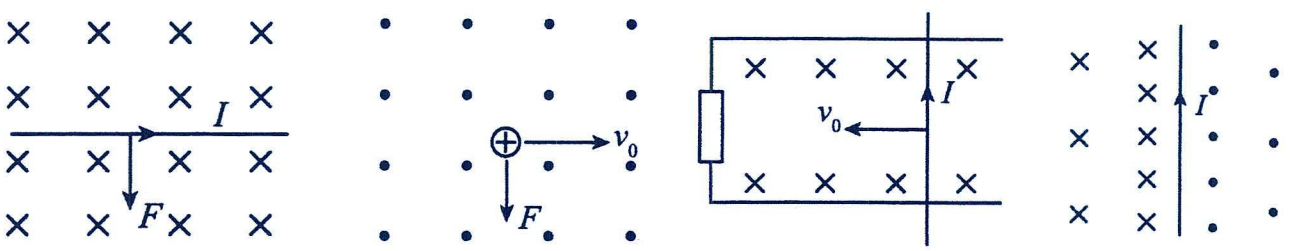


A．垂直 aa'd'd 平面　　B．垂直 abb'a'平面

C．平行 abc'd'平面　　D．垂直 abc'd'平面

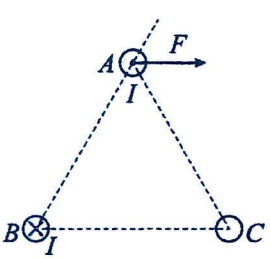
【跟踪训练】

1．下列物理情景正确的是（　　）



A　　B　　C　　D

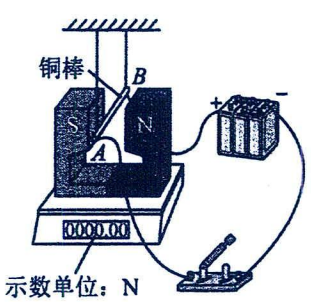
2．如图所示，等边三角形V *ABC* 的三个顶点上均固定了垂直纸面的长直导线，A、B 两点处长直导线中的电流大小均为 I，B 点处长直导线中电流方向垂直纸面向里，A 点处长直导线中电流方向垂直纸面向外。已知 A 点处长直导线受到的磁场力水平向右，则 C 点处长直导线中电流方向和大小是（　　）



A．垂直纸面向里，小于 I　　B．垂直纸面向里，大于 I

C．垂直纸面向外，等于 I　　D．垂直纸面向外，大于 I

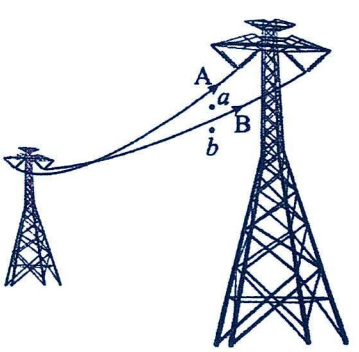
3．如图所示，一块蹄形磁铁放在水平台秤上，水平放置的纯铜棒 AB 用绝缘细线悬挂在两个正对的磁极之间。当闭合开关，下列说法正确的是（　　）



A．可以观察到台秤示数变小　　B．闭合电键瞬间 AB 向上跳起

C．金属棒 AB 受到水平向左的安培力　　D．蹄形磁铁与台秤间一定产生摩擦力

4．图示为高压直流输电网，两根在同一水平面内且相互平行的长直导线 A 和 B 分别通有方向相同的电流 I_1 和 I_2，且 $I_1>I_2$。a 点位于两根导线间的中点，b 点在 a 点的正下方。不考虑地磁场的影响。下列说法中正确的是（　　）



A．导线 A 和 B 间的安培力是斥力

B．A 受的安培力比 B 受的安培力大

C．a 点处的磁感应强度方向竖直向上

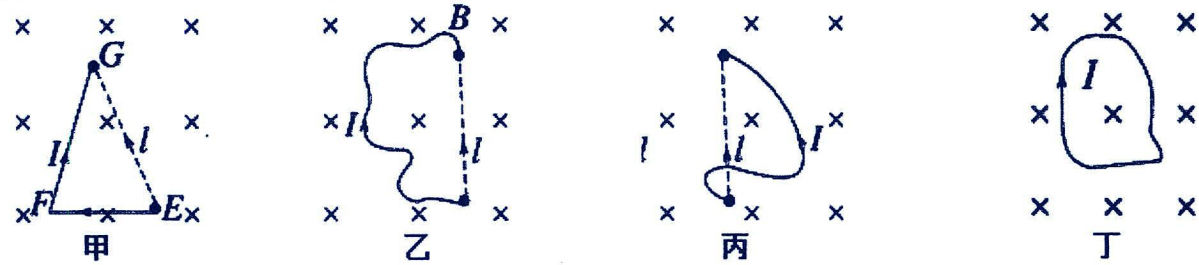
D．b 点处的磁感应强度方向水平向右

题型三：安培力的大小计算

解题要点：

1.公式 F=B·I·l·sinθ中 B 对放入的通电导线来说是外加磁场的磁感应强度，不必考虑导线自身产生的磁场对外加磁场的影响。

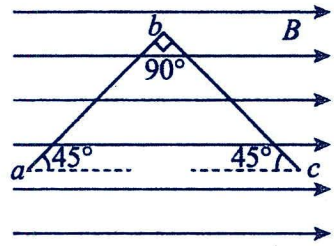
2.公式 F=B·I·l·sinθ中 l 指的是导线在磁场中的"有效长度"，弯曲导线的有效长度 l 等于连接两端点直线段的长度(如图甲，乙，丙虚线所示)；相应的电流沿导线由始端流向末端。



3.推论：对任意形状的闭合平面线圈，当线圈平面与磁场方向垂直时，线圈的有效长度 l=0，故通电后线圈在匀强磁场中所受安培力的矢量和一定为零，如图丁。

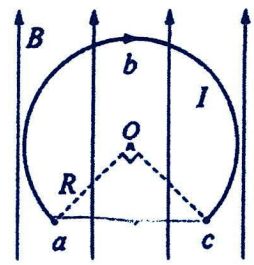
【精选例题】

【例 1】如图所示，通以恒定电流 I 的Λ形导线 abc 放置在磁感应强度大小为 B、方向水平向右的匀强磁场中。已知导线 abc 组成的平面与磁场方向平行，导线的 ab bc 段的长度均为 l，两段导线间的夹角为 90°，且两段导线与磁场方向的夹角均为 45°，则导线 abc 受到的安培力为（　　）



A．0　　B．BIl　　C．$\sqrt{2}BIl$　　D．$2BIl$

【例 2】如图，磁感应强度为 B 的匀强磁场方向竖直向上，半径为 R 的四分之三圆弧导线 abc 绕过圆心 O 垂直于纸面的转轴顺时针转动一周，导线中通有恒定电流 I，下列说法正确的是（　）

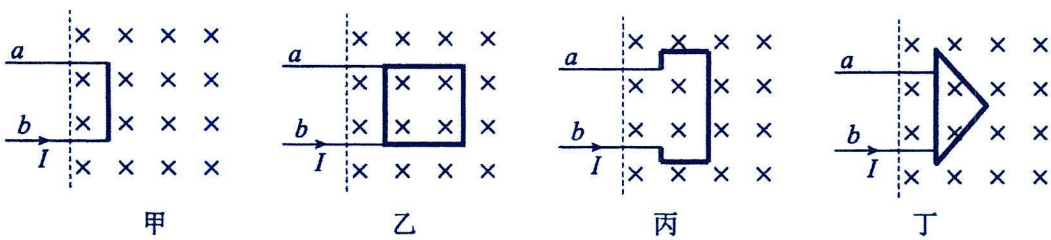


A．导线 abc 受到的安培力最小为 BIR　　B．导线 abc 受到的安培力大小可能为 BIR

C．导线 abc 受到的安培力最大值为 $\frac{3}{2}\pi BIR$

D．导线 abc 受到的安培力方向始终垂直纸面向里

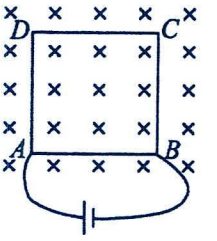
【例 3】（多选题）在固定直导线 a、b 两端分别接上如图甲、乙、丙、丁所示的导体，导体的材料相同、粗细均匀且相同，给导体通入的电流均为 I。导体均处在磁感应强度大小为 B、方向垂直导体或导体所在平面向里的匀强磁场中，甲、乙、丙、丁图中导体受到的安培力分别为 F_1、F_2、F_3、F_4，则（　）



A．$F_1 > F_2$　　B．$F_2 = F_3$　　C．$F_2 < F_4$　　D．$F_1 = F_4$

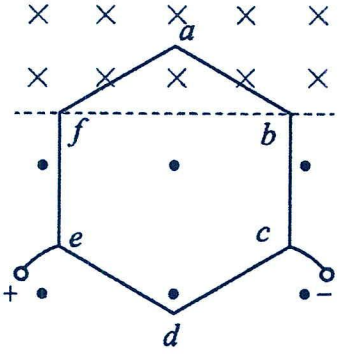
【例 4】如图所示，由 4 根相同导体棒连接而成的正方形线框固定于匀强磁场中，线框平面与磁感应强度方向垂直，顶点 A、B 与直流电源两端相接，已知导体棒 AB 受到的安培力大小为 3N，则线框受到的安培力的合力大小为（　　）

A．0　　B．4N　　C．6N　　D．9N



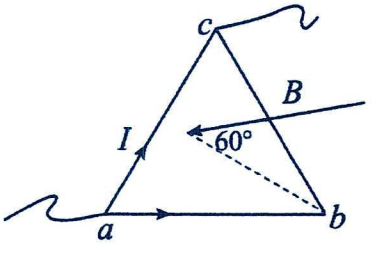
【例 5】如图所示，*abcdef* 是由六段长度均为 L 的相同电阻丝构成的正六边形线框，虚线 fb 上方、下方分别存在垂直纸面向里、向外的匀强磁场，磁感应强度大小分别为 2B、B。线框上 e、c 两点分别与电源正负极连接，导线 *edc* 受到的安培力为 F，则线框 *abcdef* 受到的安培力大小为（　　）

A．0　　B．F　　C．2F　　D．4F



【例 6】如图所示，水平桌面上有一正三角形线框 abc，线框由粗细相同的同种材料制成，边长为 L，线框在与桌面成 60°角斜向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B，ac 边与磁场方向垂直。现 a、c 两点接到直流电源上，流过 ac 边的电流大小为 I，线框静止在桌面上，则线框受到的安培力大小为（　）

A．$\frac{\sqrt{3}}{4}BIL$　　B．$\frac{\sqrt{3}}{2}BIL$　　C．$\frac{3}{2}BIL$　　D．$2BIL$



【跟踪训练】

1．如图 1 所示，一段四分之一圆的导线，通以电流 I。若将导线置于匀强磁场中，磁场方向垂直纸面向里，导线所在平面与磁场垂直，导线受磁场力的大小为 F_1。如图 2 所示，若将此导线置于磁感应强度大小相同，方向向右的匀强磁场中，导线受磁场力的大小为 F_2。则 $\frac{F_1}{F_2}$ 为（　）

A．1　　B．$\frac{\pi}{2}$

C．$\frac{\sqrt{2}}{2}$　　D．$\sqrt{2}$

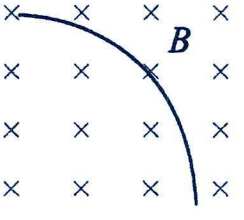


图1

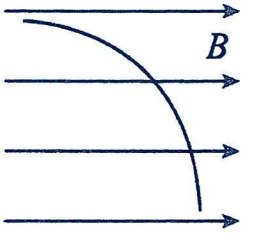


图2

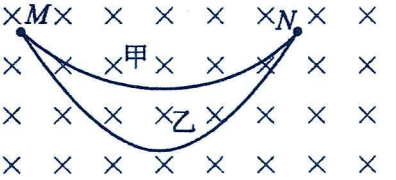
2．在赤道附近沿纬线方向放置一根粗细均匀的金属丝，金属丝的两端点分别固定在同一水平线上的 M、N 两点（形状如图中甲），M、N 两点间的电压恒定。金属丝所在处的地磁场方向水平，且垂直于金属丝所在的竖直面。若将金属丝均匀拉伸后仍接在 M、N 两点间（形状如图中乙），其他条件不变，则（　　）

A．拉伸前导线受到的安培力沿水平方向

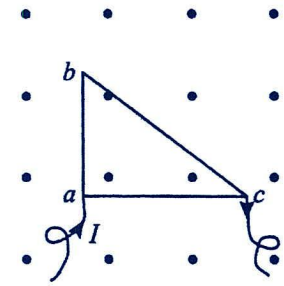
B．拉伸前导线受到的安培力较大

C．拉伸后导线受到的安培力较大

D．拉伸前后导线受到的安培力相同



3．在匀强磁场中有粗细均匀的同种导线制成的直角三角形线框 abc，$\angle a=90°$，$\angle c=30°$，磁场方向垂直于线框平面向外，a、c 两点接一直流电源，电流方向如图所示。下列说法正确的是（　）



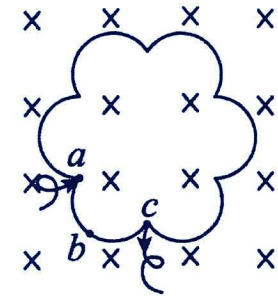
A．导线 bc 受到的安培力大于导线 ac 所受的安培力

B．导线 abc 受到的安培力的合力等于导线 ac 受到的安培力

C．导线 ab、ac 所受安培力的大小之比为1:3

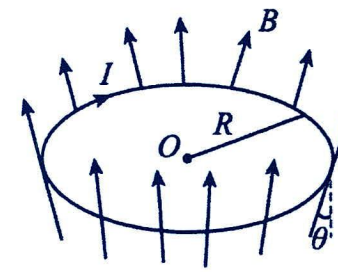
D．导线 abc 受到的安培力的合力方向垂直于 ac 向上

4．在匀强磁场中有粗细均匀的同种导线制成的“花瓣”形线框，磁场方向垂直于线框平面，a、c 两点接一直流电源，电流方向如图所示。已知 abc 边受到的安培力大小为$\frac{1}{2}F$，则整个线框所受安培力大小为（　）



A．$\frac{3}{5}F$　　B．F　　C．$6F$　　D．$\frac{3}{10}F$

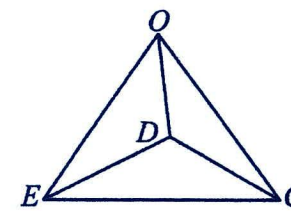
5．如图所示，一个半径为 R 的导电圆环与一个轴向对称的发散磁场处处正交，环上各点的磁感应强度 B 大小相等，方向均与环面轴线方向成θ角（环面轴线为竖直方向），若导电圆环上通有如图所示的恒定电流 I，则下列说法不正确的是（　　）



A．导电圆环有收缩的趋势　　B．导电圆环所受安培力方向竖直向上

C．导电圆环所受安培力的大小为 2BIR　D．导电圆环所受安培力的大小为 2πBIRsin θ

6．如图所示，由六根粗细均匀、长度相等的相同直导线制成的正三棱锥$O-CDE$固定在竖直方向的匀强磁场中，其中三棱锥的底面CDE水平，将D点和E点接入电路。已知直导线DE所受的安培力大小为F，则三棱锥所受安培力的合力大小为（　　）



A．0　　B．$\frac{F}{2}$　　C．$2F$　　D．$3F$

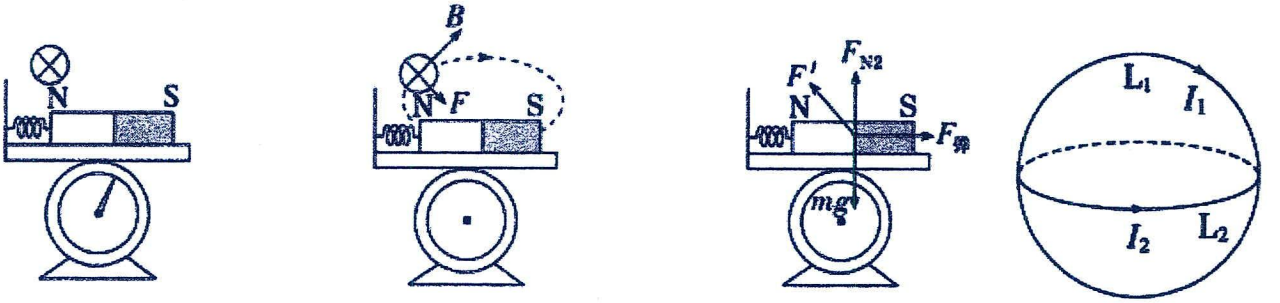
考点二：安培力作用下的动力学问题

题型一：安培力作用下的运动趋势判断

解题要点：安培力作用下导体运动情况判断的常用方法

1.转换研究对象法：定性分析磁体在电流磁场作用下如何运动或运动趋势的问题，可先分析电流在磁体磁场中所受的安培力，然后由牛顿第三定律，确定磁体所受电流磁场的作用力，从而确定磁体所受合力及运动方向。

例：判断磁铁受到的支持力变化情况，如图甲；可先判断通电导线受力情况，如图乙；再判断磁铁受力情况，如图丙。



甲　　乙　　丙　　丁

2.结论法：同向电流互相吸引，异向电流互相排斥；两不平行的直线电流相互作用时，有转到平行且电流方向相同的趋势。

3.等效法：环形电流→小磁针，通电螺线管→条形磁铁。

例：如图丁导线 L_1，L_2，则 L_2 的运动情况。

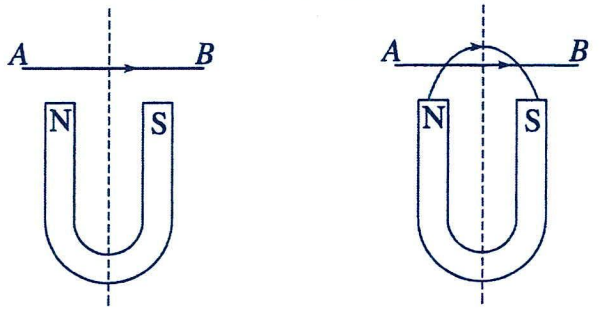
结论法：环形电流 I_1、I_2 不平行，则一定有相对转动，直到两环形电流同向平行为止。据此可得，从左向右看，线圈 L_1 将顺时针转动。

等效法：把线圈 L_1 等效为小磁针，该小磁针刚好处于环形电流 I_2 的中心，小磁针的 N 极应指向该点环形电流 I_2 的磁场方向，由安培定则可知 I_2 产生的磁场方向在其中心处竖直向上，而 L_1 等效成小磁针后，转动前，N 极指向纸内，因此小磁针的 N 极应由指向纸内转为向上，所以从左向右看，线圈 L_1 将顺时针转动。

4.电流元法：分割为电流元 $\xrightarrow{\text{左手定则}}$ 安培力方向→整段导体所受合力方向→运动方向。

5.特殊位置法：在特殊位置→安培力方向→运动方向。

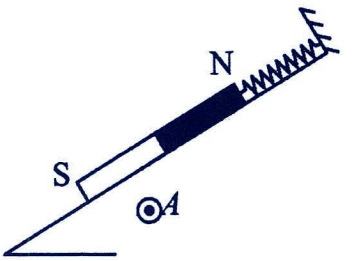
例：判断如图导线 AB 的运动情况。



电流元法+特殊位置法：如图所示，将导线 AB 分成左、中、右三部分。中间一段开始时电流方向与磁场方向一致，不受力；左端一段所在处的磁场方向斜向右上，根据左手定则知其受力方向向外；右端一段所在处的磁场方向斜向右下，受力方向向里。当转过一定角度时，中间一段电流不再与磁场方向平行，由左手定则可知其受力方向向下，所以从上往下看导线将一边逆时针转动，一边向下运动。

【精选例题】

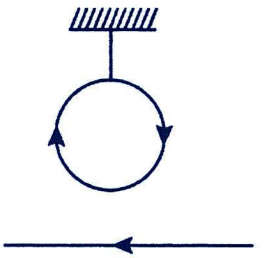
【例 1】如图所示，条形磁铁放在光滑斜面上，用平行于斜面的轻弹簧拉住而平衡，A 为水平放置的直导线的截面，导线中无电流时磁铁对斜面的压力为 F_{N1}；当导线中有垂直纸面向外的电流时，磁铁对斜面的压力为 F_{N2}，则下列关于压力和弹簧的伸长量的说法中正确的是（　　）



A．$F_{N1}<F_{N2}$，弹簧的伸长量减小　　B．$F_{N1}=F_{N2}$，弹簧的伸长量减小

C．$F_{N1}>F_{N2}$，弹簧的伸长量增大　　D．$F_{N1}>F_{N2}$，弹簧的伸长量减小

【例 2】如图所示，用细橡皮筋悬吊一轻质线圈，置于固定直导线上方，两者在同一竖直平面内，线圈可以自由运动，当给两者通以图示电流时，线圈将（　　）



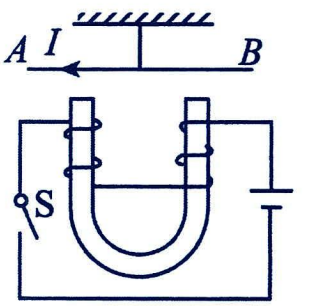
A．远离直导线，两者仍在同一竖直平面内

B．靠近直导线，两者仍在同一竖直平面内

C．靠近直导线，同时发生旋转

D．远离直导线，同时发生旋转

【例 3】如图所示，将通电直导线 AB 用悬线悬挂在电磁铁的正上方，直导线可自由转动，则接通开关（　　）



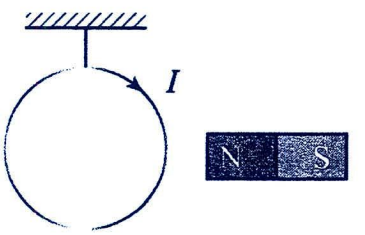
A．A 端向纸外运动，B 端向纸内运动，悬线张力变小

B．A 端向纸外运动，B 端向纸内运动，悬线张力变大

C．A 端向纸内运动，B 端向纸外运动，悬线张力变大

D．A 端向纸内运动，B 端向纸外运动，悬线张力变小

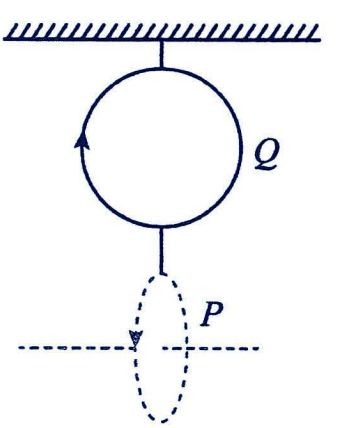
【例 4】把轻质导线圈用细线挂在条形磁铁 N 极的附近，磁铁的轴线穿过线圈中心，且在线圈平面内。当线圈通以图示方向的电流时线圈将（　　）



A．俯视逆时针转动，同时靠近磁铁　　B．俯视顺时针转动，同时靠近磁铁

C．俯视逆时针转动，同时远离磁铁　　D．俯视顺时针转动，同时远离磁铁

【例 5】如图所示，两个完全相同、互相垂直的导体圆环 Q、P（Q 平行纸面，P 垂直纸面）中间用绝缘细线连接，通过另一绝缘细线悬挂在天花板下，当 Q 有垂直纸面往里看顺时针方向的电流、同时 P 有从左往右看顺时针方向的电流时，关于两线圈的转动（从上向下看）以及细线中拉力的变化，下列说法中正确的（　　）。



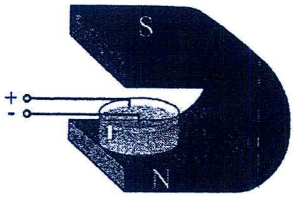
A．Q 逆时针转动，P 顺时针转动，Q、P 间细线拉力变小

B．Q 逆时针转动，P 顺时针转动，Q、P 间细线拉力变大

C．Q 顺时针转动，P 逆时针转动，Q、P 间细线拉力变小

D．Q 顺时针转动，P 逆时针转动，Q、P 间细线拉力变大

【例 6】如图所示，在玻璃皿的中心放一个圆柱形电极（-），沿边缘内壁放一个圆环形电极（+），将两电极接在电池的两极上，然后在玻璃皿中放入盐水，把玻璃皿放入蹄形磁铁的磁场中，N 极在下，S 极在上，则下列说法正确的是（　　）

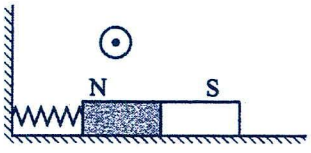


A．通电液体在磁场中的力叫电场力　　B．判断通电液体在磁场中受力用右手定则

C．液体将逆时针旋转（自上往下看）　　D．若仅把磁极位置交换一下，则液体旋转方向不变

【跟踪训练】

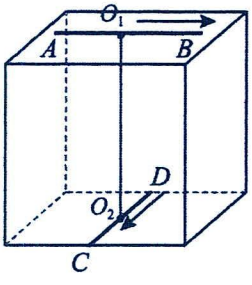
1．（多选题）如图所示，在光滑水平面上一轻质弹簧将挡板和一条形磁铁连接起来处于静止状态，此时磁铁对水平面的压力为 F_{N1}。现在磁铁左上方位置固定一导体棒，在导体棒中通以垂直纸面向外的电流瞬间，磁铁对水平面的压力变为 F_{N2}，同时出现其他变化，则以下说法正确的是（　　）



A．弹簧长度将变长　　B．弹簧长度将变短

C．$F_{N1}>F_{N2}$　　D．$F_{N1}<F_{N2}$

2．一光滑绝缘的正方体固定在水平面内。*AB* 导体棒可绕过其中点的转轴在正方体的上表面内自由转动，*CD* 导体棒固定在正方体的下底面。开始时两棒相互垂直并静止，两棒中点 O_1O_2 连线在正方体的中轴线上。现对两棒同时通有图示（A 到 B、D 到 C）方向的电流。

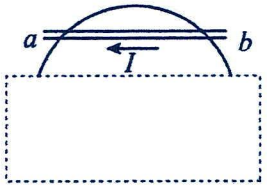


下列说法中正确的是（　　）

A．通电后 *AB* 棒仍将保持静止　　B．通电后 *AB* 棒将要顺时针转动（俯视）

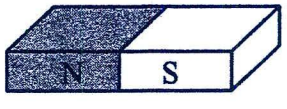
C．通电后 *AB* 棒将要逆时针转动（俯视）　　D．通电瞬间线段 O_1O_2 间存在磁感应强度为零的位置

3．把一根通电的硬直导线 ab 放在磁场中，导线所在区域的磁感线呈弧线，导线中的电流方向由 b 到 a，如图所示，导线可以在空中自由移动和转动，俯视看，导线在安培力的作用下先顺时针转动，转过一个小角度后，接着边转动边向下移动，虚线框内有产生以上弧形磁感线的场源，下列符合要求的是（　）

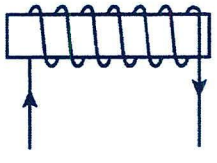


A





B

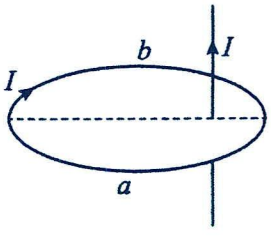


C



D

4．如图，一个可以自由运动的圆形线圈水平放置并通有电流 I，电流方向俯视为顺时针方向，一根固定的竖直放置直导线通有向上的电流 I，线圈将（　　）



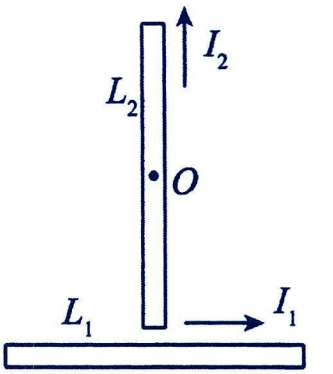
A．a 端向上，b 端向下转动，且向左运动

B．a 端向上，b 端向下转动，且向右运动

C．a 端向下，b 端向上转动，且向左运动

D．a 端向下，b 端向上转动，且向右运动

5. 通有电流的导线L_1、L_2处在同一平面（纸面）内，L_1是固定的，L_2可绕垂直纸面的固定转轴O转动（O为L_2的中心），各自的电流方向如图所示。下列情况中将会发生的是（　　）



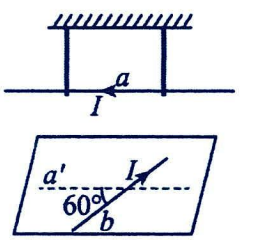
A．因L_2不受磁场力的作用，故L_2不动

B．因L_2上、下两部分所受的磁场力平衡，故L_2不动

C．L_2绕轴O按顺时针方向转动

D．L_2绕轴O按逆时针方向转动

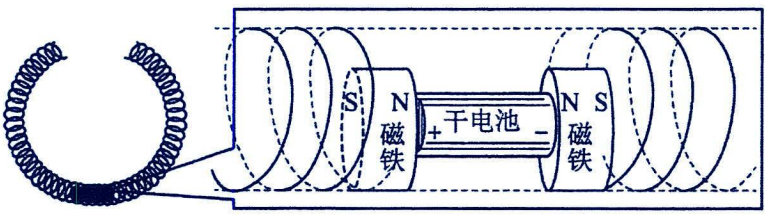
6. 如图所示，通电长直导线a水平悬空固定不动，正下方有一光滑水平面，水平面中的虚线a'为导线a的投影，实线为可自由运动的通电直导线b，a'与b的夹角为60°，当导线a、b中接通图示方向的电流I时，从上往下看导线b将（　）



A．静止不动　　B．沿直线匀速

C．逆时针转动　　D．顺时针转动

7. 小明模仿科技小视频制作电磁“小车”：用铜制裸导线绕制成长螺线管当作轨道，固定在水平桌面上；将两个磁性很强的磁铁固定连接在一节新干电池的两极上制成“小车”，磁极与电极如图所示。把“小车”从左侧入口完全推入螺线管，“小车”并没有像视频那样向前运动。以下说法正确的是（　　）



A．电磁“小车”工作原理是螺线管中产生了电磁感应现象

B．若将“小车”从右侧入口完全推入，“小车”可能会向前运动

C．若将左端磁铁反向与电池固定连接后从左侧入口完全推入，“小车”可能会运动

D．将“小车”放入包有绝缘层的铝制长螺线管中，“小车”可能会运动

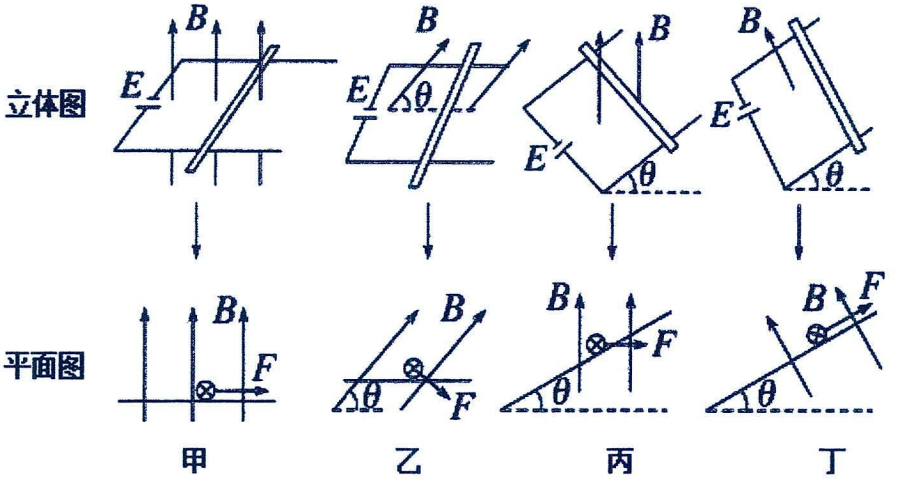
题型二：安培力作用下的平衡问题

解题要点：

求解安培力作用下导体平衡基本思路

1.选定研究对象：通电导线（或通电导体棒）；

2.画受力图：选定观察角度，将三维图转化为二维平面图，即通过画俯视图、剖面图、侧视图等；标出电流方向和磁场方向，然后利用左手定则判断安培力的方向；



3.列平衡方程。

4.易错点：①安培力大小与导体放置的角度有关，l为导体垂直于磁场方向的长度，即有效长度。

②安培力的方向满足：F⊥B、F⊥I。

【精选例题】

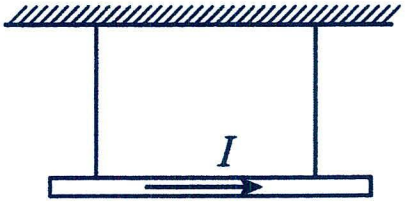
【例 1】如图所示， 两根绝缘细线吊着一根铜棒， 空间中存在垂直于纸面的匀强磁场， 铜棒中通有向右的电流 I 时两线上的拉力大小均为 F 。 若将铜棒中的电流大小变为原来的 3 倍，两线上的拉力大小均变为 $1.5F$ ，则（　　）

A．磁感应强度的大小为 $\frac{F}{2IL}$ ，方向垂直于纸面向里

B．磁感应强度的大小为 $\frac{F}{4IL}$ ，方向垂直于纸面向里

C．磁感应强度的大小为 $\frac{F}{2IL}$ ，方向垂直于纸面向外

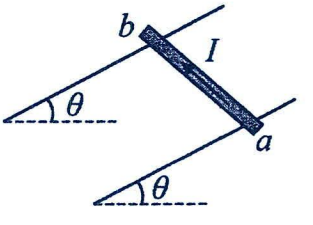
D．磁感应强度的大小为 $\frac{F}{4IL}$ ，方向垂直于纸面向外



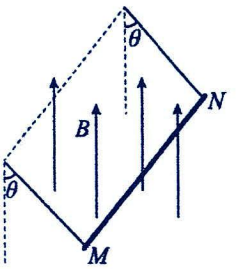
【例 2】如图所示，两根间距为 d 的光滑金属导轨平行放置，导轨所在平面与水平面间的夹角为 θ，整个装置处于垂直导轨所构成的平面方向的匀强磁场中。质量为 m，长度也为 d 的金属杆 ab 垂直导轨放置，当金属杆 ab 中通有从 a 到 b 的恒定电流 I 时，金属杆 ab 刚好静止，重力加速度为 g。则（　　）

A．磁场方向垂直导轨平面向下　　B．磁场方向垂直导轨平面向上

C．磁感应强度为 $\frac{mg\sin\theta}{Id}$　　D．磁感应强度为 $\frac{mg}{Id}$



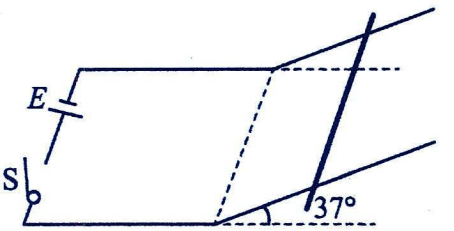
【例 3】如图所示，金属棒 MN 两端由等长的轻质细线水平悬挂，处于竖直向上的匀强磁场中，棒中通以由 M 向 N 的电流，平衡时两悬线与竖直方向夹角均为θ。则（　）



A．仅棒中的电流变小，θ变大　　B．仅两悬线等长变长，θ变大

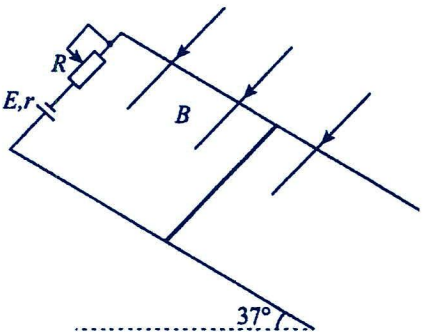
C．仅金属棒质量变大，θ变小　　D．仅磁感应强度变大，θ变小

【例 4】如图所示，两条间距 l=1m 的光滑金属导轨制成倾角 37°的斜面和水平面，一质量为 m=1kg 的金属杆水平地放在斜面导轨上，空间存在着垂直于金属杆的匀强磁场，当回路电流 I=4A 时，金属杆恰能静止， g=10m/s²，磁感应强度的最小值为（　　）



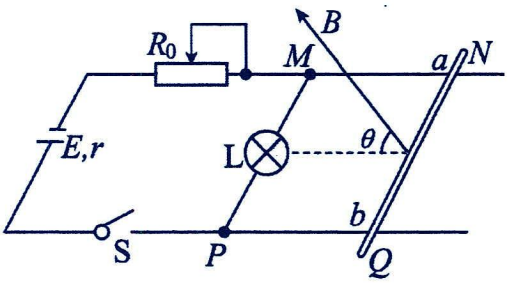
A．1.5T　　B．2.0T　　C．2.5T　　D．3.0T

【例 5】如图所示，两平行金属导轨与水平面成 $\theta=37°$ 角，上端连接电源和滑动变阻器 R，导轨间距 $L_0=0.2\text{m}$，匀强磁场垂直于导轨平面向下且磁感强度大小为 $B=1\text{T}$，导体棒质量为 $m=0.05\text{kg}$，与导轨等宽，且与导轨之间的动摩擦因数为 $\mu=0.5$。电源电动势 $E=9\text{V}$，内阻 $r=0.5\Omega$，导体棒的电阻 $R=1.5\Omega$，g=10m/s²。如果导体棒垂直于导轨放置且能够静止于导轨平面上，则滑动变阻器接入电路的阻值范围为（　）



A．2Ω～20Ω　　B．1.2Ω～8Ω　　C．1.6Ω～16Ω　　D．4Ω~10Ω

【例 6】（多选题）*MN*、*PQ*为水平放置、间距为1m的平行导轨，左端接有如图所示的电路。电源的电动势为10V，内阻为1Ω，小灯泡L的电阻为8Ω。将导体棒 *ab* 静置于导轨上，整个装置处在匀强磁场中，磁感应强度大小为2T，方向与导体棒垂直且与两水平导轨所在平面的夹角 $\theta=53°$，匀质导体棒质量为0.22kg，阻值为8Ω。闭合开关S后，导体棒恰好未滑动。已知导体棒和导轨间的动摩擦因数 $\mu=0.5$，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，且不计导轨的电阻，g 取 10m/s^2，$\sin 53°=0.8$。则（　）

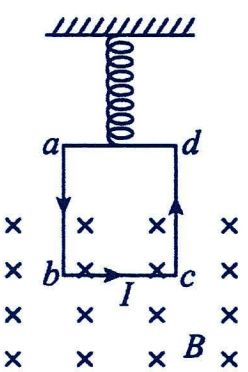


A．此时滑动变阻器接入电路中的电阻为5Ω　　B．流过灯泡的电流大小为1A

C．导体棒受到的安培力大小为1.1N　　D．若将滑动变阻器的滑片向左移动，则导体棒向右移动

【跟踪训练】

1．如图所示，一劲度系数为 k 的轻质弹簧，下面挂有匝数为 n 的矩形线框 abcd。bc 边长为 L，线框的下半部分处在匀强磁场中，磁感应强度大小为 B，方向与线框平面垂直，在图中垂直于纸面向里。线框中通以电流 I，方向如图所示，开始时线框处于平衡状态。令电流反向，大小仍为 I，线框达到新的平衡（仍然是下半部分在磁场中）。则在此过程中线框位移的大小Δx 及方向是（　　）



A．$\Delta x=\dfrac{2nBIL}{k}$，方向向上　　B．$\Delta x=\dfrac{nBIL}{k}$，方向向上

C．$\Delta x=\dfrac{2nBIL}{k}$，方向向下　　D．$\Delta x=\dfrac{nBIL}{k}$，方向向下

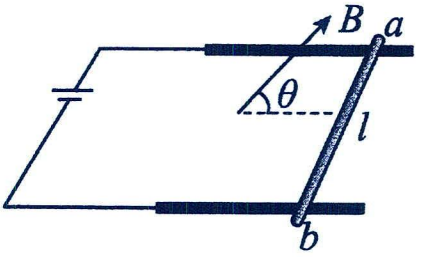
2．如图所示，金属杆 ab 的质量为 m，长为 l，通过的电流为 I，处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向与导轨平面为 θ 角斜向上，结果 ab 静止于水平导轨上。下列说法正确的是（　）

A．金属杆 ab 所受安培力大小为 $F_{安}=BIl\sin\theta$

B．金属杆 ab 所受安培力水平向左

C．金属杆受 ab 到的摩擦力 $f=BIl\sin\theta$，方向水平向左

D．金属杆对导轨的压力大小为 $N=mg-BIl\cos\theta$



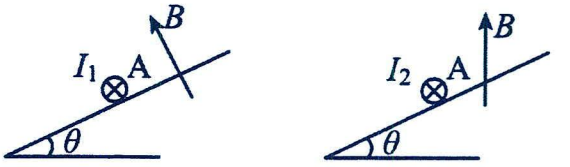
3．（多选题）在同一光滑倾斜导轨上放同一导体棒 A，下图所示是两种情况的剖面图。它们所在空间有磁感应强度大小相等的匀强磁场，但方向不同，一次垂直斜面向上，另一次竖直向上，两次导体通有同向电流分别为 I_1 和 I_2，都处于静止平衡。已知斜面的倾角为 $\theta=37°$（已知 $\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$）则（　　）

A．$I_1:I_2=3:5$

B．$I_1:I_2=5:4$

C．导体棒 A 所受安培力大小之比 $F_1:F_2=4:5$

D．斜面对导体棒 A 的弹力大小之比 $N_1:N_2=16:25$



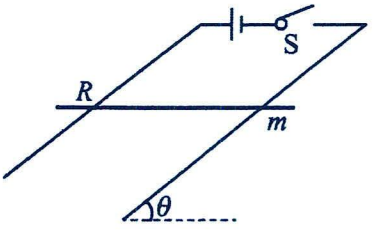
4．在倾角 $\theta=37°$ 的光滑导体滑轨的上端接入一个电动势 $E=3\text{V}$，内阻 $r=0.5\Omega$ 的电源，滑轨间距 $L=50\text{cm}$，将一个质量 $m=40\text{g}$，电阻 $R=1\Omega$ 的金属棒水平放置在滑轨上。若滑轨所在空间加一匀强磁场，当闭合开关 S 后，金属棒刚好静止在滑轨上，如图所示。已知 $\sin37°=0.6,\cos37°=0.8,g=10\text{m/s}^2$，下列说法正确的是（　　）

A．磁感应强度有最小值，为 0.32T，方向垂直滑轨平面向下

B．磁感应强度有最大值，为 0.4T，方向水平向右

C．磁感应强度有可能为 0.3T，方向竖直向下

D．磁感应强度有可能为 0.4T，方向水平向左



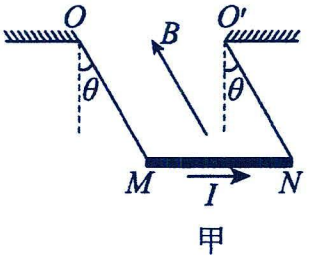
5．如图甲所示，匀质导体棒 MN 通以由 M 到 N 的恒定电流，用两根等长的平行绝缘、轻质细线悬挂在 OO' 点静止于匀强磁场中，细线与竖直方向的夹角为 θ，磁场方向与绝缘细线平行且向上。现使磁场方向顺时针缓慢转动（由 M 到 N 观察），同时改变磁场的磁感应强度大小，保持细线与竖直方向的夹角 θ 不变，该过程中每根绝缘细线拉力 F 大小与磁场转过角度 α 的正切值关系如图乙所示。重力加速度 g 取 10m/s^2，磁场变化过程中 MN 中的电流不变。下列说法正确的是（　　）

A．导体棒的质量为 0.5kg

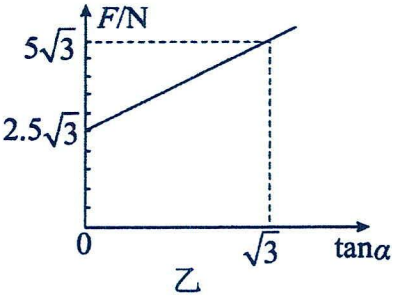
B．$\theta=30°$

C．导体棒所受安培力可能为 4.5N

D．α 可能为 90°



甲



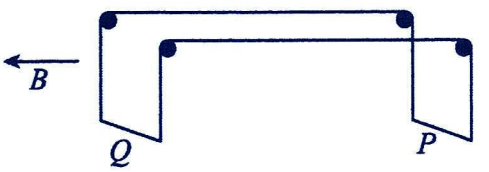
乙

题型三：解答题

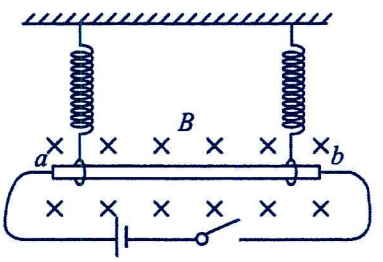
【精选例题】

【例 1】小明设计了如图所示的方案，探究金属杆在磁场中的运动情况，质量分别为 2m、m 的金属杆 P、Q 用两根不可伸长的导线相连，形成闭合回路，两根导线的间距和 P、Q 的长度均为 L，仅在 Q 的运动区域存在磁感应强度大小为 B、方向水平向左的匀强磁场。Q 在垂直于磁场方向的竖直面内向上运动，P、Q 始终保持水平，不计空气阻力、摩擦和导线质量，忽略回路电流产生的磁场。重力加速度为 g，当 P 匀速下降时，求

（1）P 所受单根导线拉力的大小；；（2）Q 中电流的大小。



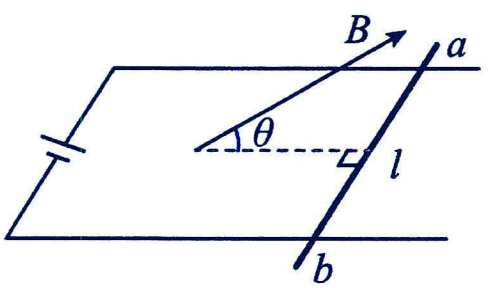
【例 2】如图所示，在竖直平面内有两根弹簧，上端均悬挂于天花板，下端均通过绝缘环挂着一质量 $m=1\text{kg}$、$R=2\Omega$、$L=50\text{cm}$ 的导体棒，导体棒水平放置且与电动势 $E=20\text{V}$ 的电源相连，匀强磁场垂直竖直平面向里，取重力加速度大小 g=10m/s²，，其他电阻不计，闭合开关前后，稳定时，弹簧的形变量（在弹性限度内）均为 2.5cm，求：(1)弹簧的劲度系数 k；(2)磁感应强度大小 B。



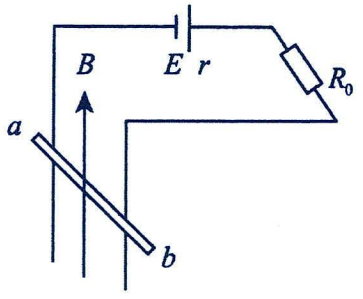
【例 3】如图所示，水平金属 U 型框的宽度为 $l=1.0\text{m}$，固定在水平面上，左端接一电动势为 $E=6\text{V}$、内阻 $r=1\Omega$ 的电源，框上放有质量为 $m=0.2\text{kg}$ 的金属杆 ab，金属杆接入电路的有效电阻为 $R=5\Omega$。框所在区域加一磁感应强度为 $B=1\text{T}$ 的匀强磁场，磁场方向与水平面成 $\theta=37°$ 斜向上，金属杆处于静止状态，其余电阻不计，取重力加速度 g=10m/s²，，$\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$。求：（1）金属杆 ab 受到的安培力大小；

（2）金属杆 ab 受到的摩擦力大小和方向；

（3）金属杆 ab 对水平框的压力大小。

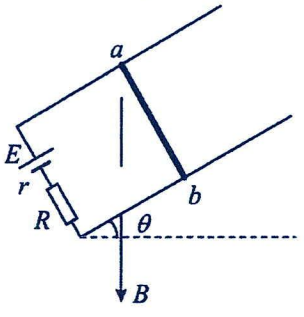


【例 4】如图，两平行金属导轨弯折成 90 度角的两部分，导轨接有电动势 $E=3\text{V}$，内阻 $r=0.5\Omega$ 的电源，定值电阻 R_0=2.5Ω，导轨间距 $L=0.5\text{m}$，导轨电阻忽略不计。导轨的竖直部分左侧有一根与其接触良好的水平放置的金属棒 ab，在金属棒所在空间加一竖直向上的匀强磁场（图中仅画出了一根磁感线），金属棒 ab 质量 $m=50\text{g}$，电阻不计。已知导轨竖直部分与金属棒间的动摩擦因数 $\mu=0.5$（设最大静摩擦力等于滑动摩擦力），已知重力加速度 g=10m/s^2，求：（1）要使金属棒能处于静止状态，则所加的竖直向上的匀强磁场的磁感应强度至少多大：（2）若将竖直向上的匀强磁场绕垂直于金属棒 ab 的方向逆时针转过 90°（此过程保证金属棒静止且与导轨接触良好），要使金属棒最后仍能处于静止状态，则磁感应强度最后为多大。



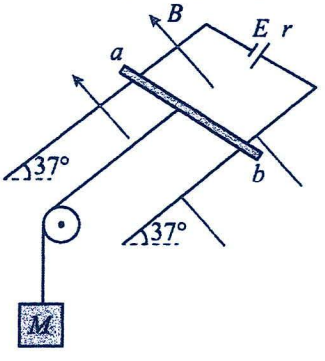
【跟踪训练】

1．如图所示，光滑的平行导轨倾角为θ = 37°，处在磁感应强度大小为 B = 1 T，竖直向下的匀强磁场中，导轨中接入电动势为 E = 12 V，内阻为 r 的直流电源。电路中有一阻值为 R = 1.5 Ω的电阻，其余电阻不计，导体棒与导轨垂直且接触良好。将质量为 m = 0.4 kg，长度为 L = 0.5 m 的导体棒静止在导轨上。求：内阻 r 的阻值。（重力加速度为 g = 10 m/s^2）



2．如图所示，两平行光滑金属导轨间的距离 L=0.5m，金属导轨所在的平面与水平面的夹角为 37°，在导轨所在平面内，分布着磁感应强度大小 B=2T、方向垂直于导轨所在平面向上的匀强磁场，金属导轨的一端接有电动势 E=6V、内阻 r=1Ω的直流电源，另一端有一质量为 m=0.25kg 的导体棒 ab 放在金属导轨上，导体棒上用细绳连着一质量为 M（未知）的物块，导体棒恰好静止，导体棒与金属导轨垂直且接触良好，导体棒与金属导轨接触的两点间的电阻。 R_0=2Ω金属导轨电阻不计，取 g=10m/s^2，，sin 37°=0.6， cos37°= 0.8，求：

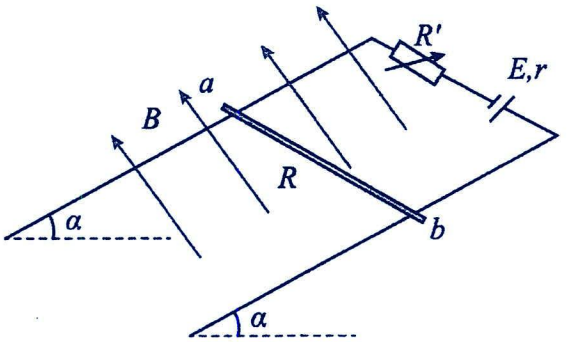
（1） 通过导体棒的电流大小 I；（2） 导体棒受到的安培力大小；（3）物块的质量 M。



3．如图所示，宽度$d=1\text{m}$，电阻不计的导轨与水平面夹角$\alpha=37°$，质量为$m=0.5\text{kg}$，电阻为$R=5\Omega$的金属杆垂直放置在导轨上，已知电源的电动势$E=50\text{V}$、内阻$r=1\Omega$，空间存在着垂直于导轨平面向上的匀强磁场，已知$\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$，重力加速度 g=10m/s²，求：

（1）若导轨光滑，调节电阻箱$R'=4\Omega$接入电路时，金属杆恰好处于静止状态，求磁感应强度 B 的大小；

（2)若金属杆与导轨间的动摩擦因数为$\mu=0.5$（最大静摩擦力近似等于滑动摩擦力)，磁感应强度大小为 B_0=2T，金属杆仍保持静止，求电阻箱阻值调节范围。

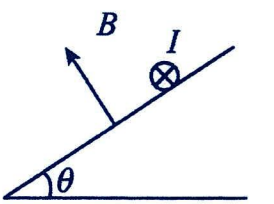


题型四：安培力作用下的匀变速运动

解题要点：解决在安培力作用下导体的匀变速运动问题，首先对研究对象进行受力分析，其中重要的是不要漏掉安培力，然后根据牛顿第二定律列动力学方程求解。

【精选例题】

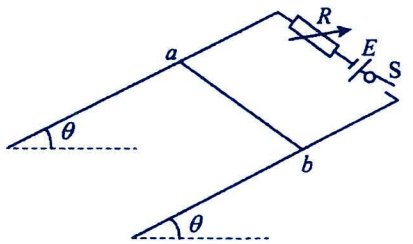
【例 1】如图所示，通电直导体棒放在倾角为θ的光滑斜面上，并处在垂直斜面向上、磁感应强度为 B 的匀强磁场中。当电流为 I 时，导体棒恰好处于平衡状态，若电流突然反向（电流大小不变），则该导体棒的加速度大小为（已知重力加速度为 g）（　）



A．$\frac{1}{2}g\sin\theta$　　B．$g\sin\theta$　　C．$2g\sin\theta$　　D．$3g\sin\theta$

【例 2】如图所示，宽为$L=0.5\text{m}$的光滑导轨与水平面成$\theta=30°$角，质量为$m=0.3\text{kg}$、长度大于 L 的金属杆 ab 水平放置在导轨上，电源电动势$E=3\text{V}$，内阻$r=0.5\Omega$，金属杆电阻为$R_1=1\Omega$，轨道电阻不计。金属杆与导轨垂直且接触良好。空间存在着垂直于斜面向上的匀强磁场（图中未画出），当电阻箱的电阻调为 R_2=0.5Ω时，金属杆恰好能静止。取重力加速度大小 g=10m/s²，，求：（1）磁感应强度 B 的大小；

（2）保持其他条件不变，当电阻箱的电阻调为 R_2=2.5Ω 时，闭合开关 S，同时由静止释放金属杆，求此时金属杆的加速度。

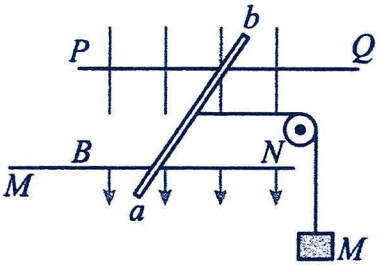


【跟踪训练】

1.如图所示，PQ 和 MN 为水平平行放置的金属导轨，相距 $L=1\text{m}$，导体棒 ab 跨放在导轨上，棒的质量为 $m=0.2\text{kg}$，棒的中点用细绳经轻质滑轮与物体相连，物体的质量 $M=0.3\text{kg}$，棒与导轨的动摩擦因数为 $\mu=0.5$，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，滑轮摩擦不计，匀强磁场的磁感应强度 $B=2\text{T}$，方向竖直向下，取 g=10m/s²，，试求：

（1）为了使物体保持静止状态，导体棒中通入 a→b 电流，求电流的最小值；

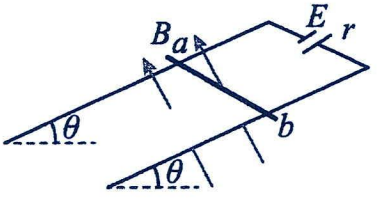
（2）为了使物体以加速度 $a=3\text{m/s}^2$ 加速上升，应在棒中通入多大的电流？



2．如图所示，两足够长平行金属导轨间的距离 L=0.40m，金属导轨所在的平面与水平面夹角θ=37°，在导轨所在平面内，分布着磁感应强度 B=0.50T、方向垂直于导轨所在平面的匀强磁场．金属导轨的一端接有电动势 E=4.5V、内阻 r=0.50Ω的直流电源．现把一个质量 m=0.040kg 的导体棒 ab 放在金属导轨上，导体棒恰能静止，导体棒与金属导轨垂直、且接触良好，导体棒与金属导轨接触的两点间的电阻 R =2.5Ω，金属导轨电阻不计，g 取 10m/s²，已知 sin37°=0.60，cos37°=0.80，

求：(1)导体棒里的电流大小和导体棒受到的安培力；(2)导体棒受到的摩擦力大小；

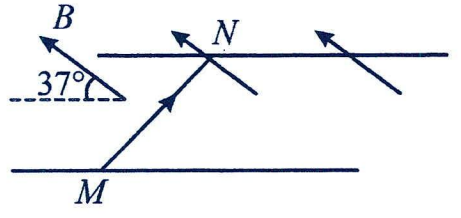
(3)若只把匀强磁场 B 的方向改为竖直向上、大小改为 1.0T，动摩擦因数为μ=0.2，其他条件都不变，求导体棒运动的加速度大小。



3．如图所示，间距 $d=2\text{m}$ 的平行金属导轨固定在绝缘水平面上，导轨间分布着匀强磁场，其磁感应强度大小 $B=0.5\text{T}$，方向斜向左上方且与水平面的夹角为 37°。质量 $m=0.2\text{kg}$ 的导体棒 MN 垂直放在金属导轨上。通过导轨可为导体棒提供从 M 到 N 的恒定电流。当电流 I_1=1A 时，导体棒恰好保持静止，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，导体棒与金属导轨接触良好，金属导轨电阻不计，重力加速度 g=10m/s²，，$\sin 37^\circ=0.6$，$\cos 37^\circ=0.8$。

(1)求导体棒与金属导轨间的动摩擦因数 μ；

(2)继续增大电流，导体棒开始运动。求当电流 I_2=2A 时，导体棒在金属导轨上运动时的加速度大小。



考点四：安培力中的能量动量问题

题型一：安培力作用下的能量、能量问题

【精选例题】

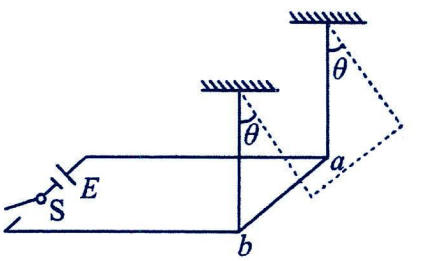
【例 1】光滑平行导轨水平放置，导轨左端通过开关 S 与内阻不计、电动势为 E 的电源相连，一根质量为 m 的导体棒 ab（电阻不可忽略），用长为 l 的绝缘细线悬挂，悬线竖直时导体棒恰好与导轨良好接触且细线处于张紧状态，如图所示，系统空间有匀强磁场．当闭合开关 S 时，导体棒向右摆起，摆到最大高度时，细线与竖直方向成θ角，则（ ）

A．磁场方向一定竖直向下

B．磁场方向竖直向下时，磁感应强度最小

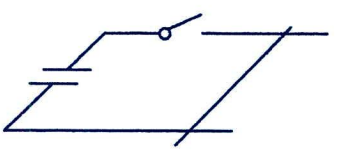
C．导体棒离开导轨前通过电荷量为$\frac{mgl}{E}(1-\cos\theta)$

D．导体棒离开导轨前电源提供的电能等于 mgl(1－cosθ)



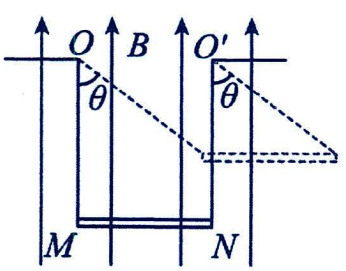
【例 2】据报道，我国福建号航母舰载机弹射起飞的电磁弹射技术与他国不同，采用的储能方式是超级电容。某科学探究小组制作了一个简易的电容式电磁弹射装置，如图所示，间距为 l 的水平平行金属导轨左端连接充好电的电容器，电容为 C，电压为 U，导轨右端放置质量为 m 的光滑金属棒，匀强磁场沿竖直方向（图中未画出），磁感应强度大小为 B，开关闭合后金属棒向右离开导轨后水平射出，若某次试验金属棒弹射出去后电容器两端的电压减为$\frac{U}{4}$，不计一切阻力，则金属棒离开导轨的速度为（　　）

A．$\frac{BCUl}{4m}$　　B．$\frac{\sqrt{3}BCUl}{2m}$　　C．$\frac{3BCUl}{4m}$　　D．$\frac{9BCUl}{16m}$



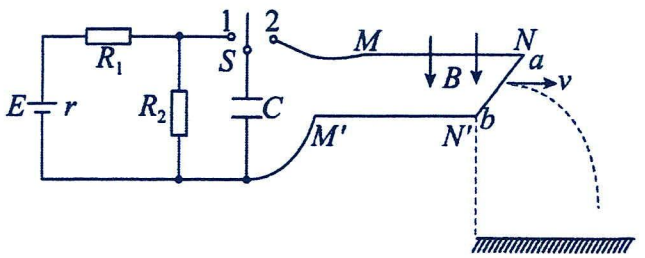
【例 3】如图所示，质量为 60g 的金属棒 MN 长为$a=20\text{cm}$，棒两端与长为$L=30\text{cm}$的细软金属线相连，吊在磁感应强度$B=0.5\text{T}$、竖直向上的匀强磁场中，当金属棒中通过稳恒电流 I 后，金属棒向纸外摆动，摆动过程中的最大偏角$\theta=60°$。（取 g=10m/s²，），求：(1)金属棒中电流大小和方向；

(2)金属棒在摆动过程中的最大动能（结果保留两位有效数字）。



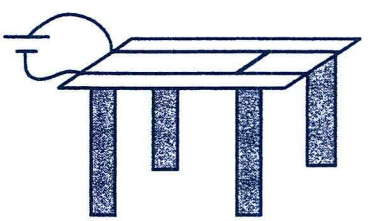
【例 4】如图所示，水平面内的光滑导轨平行放置，左端MM'与电路相连，右端NN'垂直放置导体 ab，处在竖直向下的匀强磁场中。已知磁感应强度$B=1\mathrm{T}$，导轨间距$d=0.2\mathrm{m}$，导体 ab 的质量$m=0.01\mathrm{kg}$，电源电动势$E=24\mathrm{V}$，内阻$r=1\Omega$，$R_1=4\Omega$，$R_2=5\Omega$电容$C=1000\mu\mathrm{F}$。开关 S 先接 1，稳定后再接到 2，导体 ab 水平飞出，电容器还残留$q=0.002\mathrm{C}$电荷。求：（1）开关 S 接 1 稳定时电容器上的电荷量 Q；

（2）导体 ab 飞出时的速度 v。



【跟踪训练】

1.（多选题）如图所示，绝缘水平桌面上固定两条光滑的、间距为 L 的、电阻不计的平行金属导轨，导轨左端连接电源，电源电动势为 E，内阻为 r。整个装置处于竖直向下的匀强磁场中。现将质量为 m，电阻为 R 的导体棒置于导轨上，接通电源，导体棒沿导轨开始运动，运动时始终与导轨垂直且接触良好，棒离开桌面前的瞬间速度为 v，此刻通过棒电流为 I。则（　　）



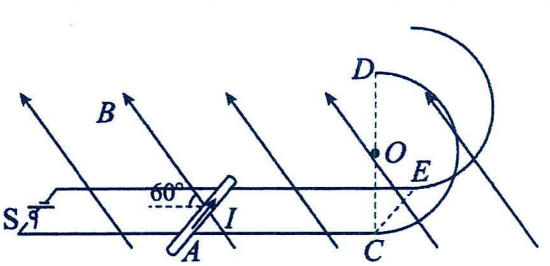
A．此过程中通过棒的电荷量为$\dfrac{mv}{BL}$

B．此过程中导体棒产生的热量为$\dfrac{R}{2(R+r)}mv^2$

C．离开桌面前的瞬间，电源两端的电压 U= E- Ir

D．离开桌面前的瞬间，电源两端的电压 U> E- Ir

2.（多选题）如图所示为两条平行的光滑绝缘导轨，左侧与电源相连，其中两导轨的水平部分与半圆部分相切于 C、E 两点。现将一导体棒垂直导轨放置，外加匀强磁场，磁场方向垂直于导体棒，与导轨平面的夹角$\theta=60°$斜向左上方。开始时导体棒静止于图中 A 点，当电建 S 闭合后，导体棒由静止开始运动，运动过程中导体棒始终与接触的两条导轨垂直，并恰能到达导轨半圆部分最高点 D 点。已知两导轨的间距$L=1\mathrm{m}$，半圆部分的轨道半径$R=1\mathrm{m}$，磁场的磁感应强度大小$B=0.5\mathrm{T}$，导体棒中的电流$I=1\mathrm{A}$，导体棒的质量$m=0.05\mathrm{kg}$，重力加速度 g 取$10\,\mathrm{m/s^2}$。则下列说法正确的是（　）



A．导体棒在 A 点的加速度大小为$10\,\mathrm{m/s^2}$

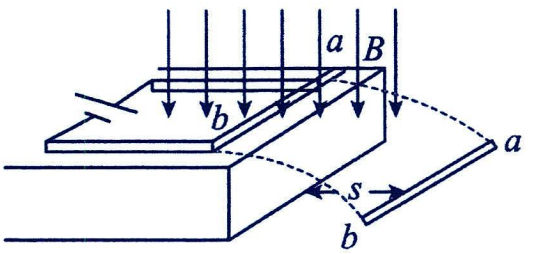
B．导体棒在 D 点的速度大小为$\sqrt{5}\,\mathrm{m/s}$

C．A、C 两点间距离为$\dfrac{5\sqrt{3}}{6}\mathrm{m}$

D．导体棒离开轨道后将做平抛运动，并落在 A 点左侧

3．如图所示，在水平放置的平行导轨（间距为 0.2m）一端架放着一根质量 m=40g，长 L=0.2m 的金属棒 ab，导轨另一端通过开关与电源相连，该装置放在高 h=20cm 的绝缘垫块上。当有竖直向下 B=1T 的匀强磁场时，接通开关（图中未画开关），金属棒 ab 会被平抛到距导轨右端水平距离 s=100cm 处，不计一切阻力，g=10m/s^2，试求：（1）开关接通瞬间安培力对金属棒 ab 做的功 W？

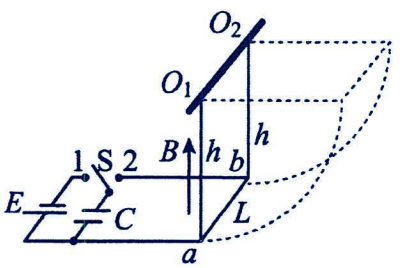
（2）开关接通瞬间流经金属棒 ab 的电荷量 q？



4．如图所示，两根平行的光滑金属导轨固定在同一绝缘水平面内。两根导轨的间距为 L，两导轨的左端连接一未充电的电容器和一个电源，电容器的电容为 C，电源的电动势为 E、内阻不计。一质量为 m 的金属棒 ab，放在两导轨的最右端，且和两导轨垂直，金属棒 ab 的长度刚好和两导轨的间距相同，金属棒 ab 的两端分别用长度均为 h 的轻绳竖直悬挂在水平固定横梁上的 O_1、O_2 点，开始时，轻绳刚好拉直、且金属棒 ab 和两导轨接触良好。两导轨所在的平面处于磁感应强度为 B、方向竖直向上的匀强磁场中。先将单刀双掷开关 S 合在位置 1，当电容器充电稳定后，再将单刀双掷开关 S 合在位置 2，金属棒 ab 突然水平向右开始摆动，当连接金属棒 ab 的轻绳呈水平状态时，金属棒 ab 的速度为 0。重力加速度大小为 g。试求：

(1)将单刀双掷开关 S 合在位置 2 的瞬间，通过金属棒 ab 横截面的电荷量；

(2)将单刀双掷开关 S 合在位置 2 的瞬间，金属棒 ab 离开两导轨，电容器稳定后，电容器两端的电压。



考点五：安培力的综合应用

题型一：磁电式电流表

1.磁电式电流表的构造：如图甲，①永磁铁，②极靴，③铁质圆柱，④螺旋弹簧，⑤线圈，⑥指针。

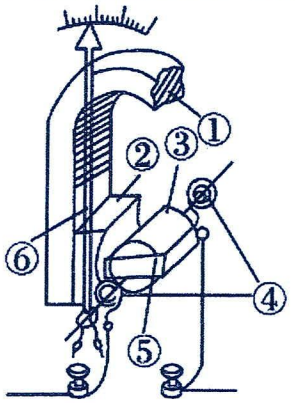
2.磁电式电流表的工作原理：通电线圈在磁场中受到安培力作用而发生偏转，偏转的方向不同，被测电流的方向不同。

3.磁电式电流表的磁场特点：两磁极间装有极靴，极靴中有铁质圆柱，使极靴与圆柱间的磁场都沿半径方向，如图乙，保持线圈转动时，所受**安培力的方向总与线圈平面垂直，使表盘刻度均匀。**

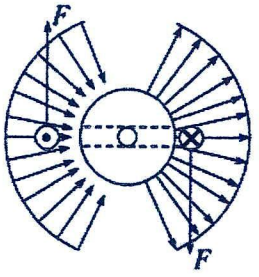
4.磁电式电流表的灵敏度

(1)电流表的灵敏度：是指在通入相同电流的情况下，指针偏转角度的大小，**偏角越大，灵敏度越高**；

(2)提高灵敏度的方法：如果要提高磁电式电流表的灵敏度，就要使在相同电流下线圈所受的安培力增大，可通过**增加线圈的匝数、增大永磁铁的磁感应强度、增加线圈的面积和减小转轴处摩擦**等方法实现。



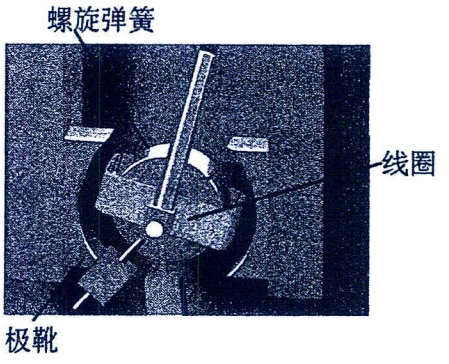
甲



乙

【精选例题】

【例 1】如图所示，为高中物理实验室常用的磁电式电流表的内部结构，基本组成部分是磁体和放在磁体两极之间的线圈，其物理原理就是通电线圈因受安培力而转动。电流表的两磁极装有极靴，极靴中间还有一个用软铁制成的圆柱。关于磁电式电流表，下列说法正确的是（　　）



A．铁质圆柱内部磁感应强度为零

B．线圈的磁通量始终为零

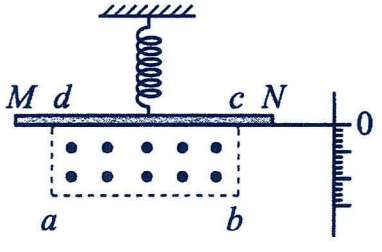
C．线圈转动时，螺旋弹簧变形，反抗线圈转动

D．电流不为零，线圈停止转动后不再受到安培力

【例 2】如图所示为一电流表的原理示意图。质量为 m 的均质细金属棒 MN 的中点处通过一挂钩与一竖直悬挂的绝缘弹簧相连，弹簧的劲度系数为 $k=6.0\text{N/m}$；在矩形区域 $abcd$ 内有匀强磁场，磁感应强度大小 $B=1.0\text{T}$、方向垂直纸面向外；与 MN 的右端 N 相连接的一绝缘轻指针可指示标尺上的读数，ab 的长度 $l_1=0.2\text{m}$，cb 的长度 $l_2=0.1\text{m}$。当 MN 中没有电流通过且处于平衡状态时，MN 与矩形区域的 cd 边重合；当 MN 中有电流通过时，指针示数可表示电流大小，重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$，。(1)求流过金属棒 MN 中的电流方向；

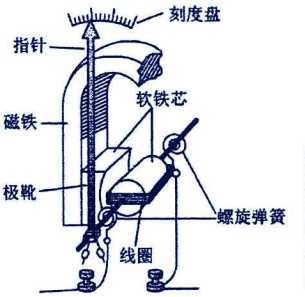
(2)求此电流表的量程（不计通电时电流产生的磁场的作用，忽略电线重力，弹簧始终处于弹性限度内）；

(3)若要将电流表的量程扩大为原来的 5 倍，求磁感应强度应变为多大?

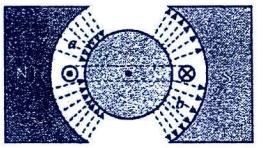


【跟踪训练】

1．实验室经常使用的电流表是磁电式电流表。这种电流表的构造如图甲所示。极靴和铁芯间的磁场是均匀辐向分布的。当线圈通以如图乙所示的电流，下列说法不正确的是（　　）



图甲


图乙

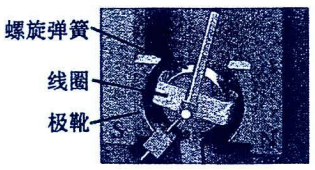
A．线圈转动时，在电流确定的情况下，它所受的安培力大小不变

B．线圈转动时，螺旋弹簧被扭动，阻碍线圈转动

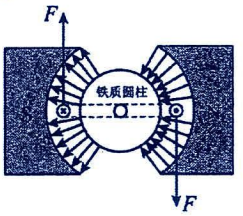
C．当线圈在如图乙所示的位置时，b 端受到的安培力方向向上

D．当线圈在如图乙所示的位置时，安培力的作用使线圈沿顺时针方向转动

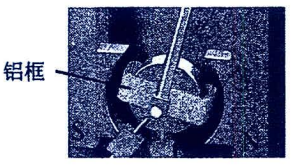
2．磁电式电表原理示意图如图所示，两磁极装有极靴，极靴中间还有一个用软铁制成的圆柱。极靴与圆柱间有均匀辐向分布的磁场。线圈常常用铝框做骨架，把线圈绕在铝框上，指针也固定在铝框上。当电流通过线圈时，线圈左右两边导线受到安培力的方向相反，于是安装在轴上的线圈就要转动，从线圈偏转的角度就能判断通过电流的大小。下列说法正确的是（　）



图甲　磁电式电流表的结构



图乙　极靴和铁质圆柱体使磁场沿半径方向



图丙　线圈绕在铝框上

A．圆柱内的磁感应强度处处为零

B．线圈无论转到什么位置，它的平面都跟磁感线平行

C．将线圈绕在闭合的铝框上，可使指针摆动加快

D．在运输时用导线将电流表的两个接线柱连在一起，可减小线圈中因晃动而产生的感应电流

题型二：电磁炮

【精选例题】

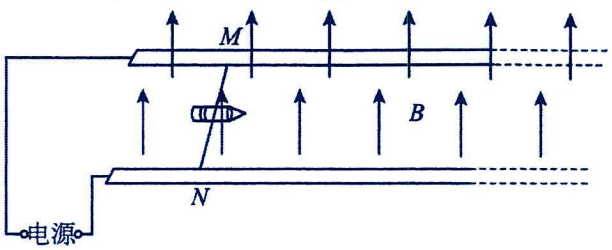
【例 1】电磁炮的简化结构如图，长直金属导轨平行固定于水平面上，处于竖直向上的匀强磁场中，炮弹固定在金属杆 MN 上可沿导轨滑行且始终接触良好，可控电源提供强电流经导轨形成回路。若炮弹向右发射过程中阻力恒定，电源电动势及其内阻保持不变，回路总电阻为 R，导轨电阻忽略不计。则（　　）

A．炮弹一直做匀加速运动

B．金属杆中的电流由 N 流向 M

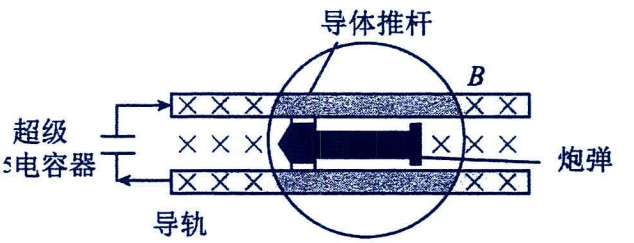
C．金属杆 MN 两端电压始终不变

D．电源的总功率先增大再减小



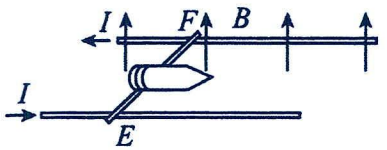
【例 2】超级电容器储存的大量电能是电磁炮瞬间大电流发射的重要基础，如图所示。若超级电容器的电容为 C，充电电压为 U，发射一枚电磁炮的炮弹所需电量为超级电容所存储电荷的 5%，炮弹质量为 m，导轨宽为 l，导体推杆垂直导轨并良好接触，垂直导轨平面的磁场的磁感应强度为 B，不计空气阻力和摩擦，则炮弹出膛的速度为（　）

A．$\frac{BlCU}{20m}$　　B．$\frac{BlCU}{m}$　　C．$\frac{2CU^2}{m}$　　D．$\frac{2CU}{m}$



【例 3】我国电磁炮发射技术世界领先，图为一款小型电磁炮的原理图，已知水平轨道宽 $d=2\text{m}$，长 $l=100\text{m}$，通以恒定电流 $I=1\times10^4\text{A}$，轨道间匀强磁场的磁感应强度大小 $B=10\text{T}$，炮弹的质量 $m=10\text{kg}$，不计电磁感应带来的影响。（1）若不计轨道摩擦和空气阻力，求电磁炮弹离开轨道时的速度大小；

（2）实际上炮弹在轨道上运动时会受到空气阻力和摩擦阻力，若其受到的阻力与速度的关系为 $f=kv^2$，其中 k 为阻力系数，炮弹离开轨道前做匀速运动，炮弹离开轨道时的速度大小为 $v'=400\text{m/s}$，求阻力系数 k 的大小。

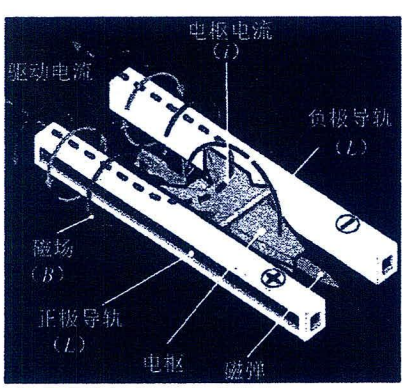


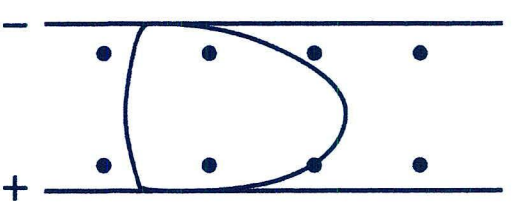
【例 4】“电磁炮”是利用电磁力对弹体加速的新型武器，具有速度快、效率高等优点。如图是“电磁炮”的原理结构示意图。光滑水平加速导轨电阻不计，轨道宽为 L=0.2m；在导轨间有竖直向上的匀强磁场，磁感应强度 $B=1\times10^2$ T；“电磁炮”弹体总质量 m=0.2 kg，其中弹体在轨道间的电阻 R=0.4 Ω；可控电源的内阻 r=0.6 Ω，电源的电压能自行调节，以保证“电磁炮”匀加速发射；在某次试验发射时，电源为加速弹体提供的电流是 $I=4\times10^3$ A，不计空气阻力。求：（1）弹体所受安培力大小和方向；

（2）弹体从静止加速到 4 km/s，轨道至少要多长；

（3）弹体从静止加速到 4 km/s 过程中，该系统消耗的总能量；

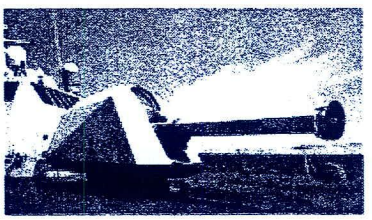
（4）请简要说明电源的电压如何自行调节，才可以保证“电磁炮”匀加速发射。



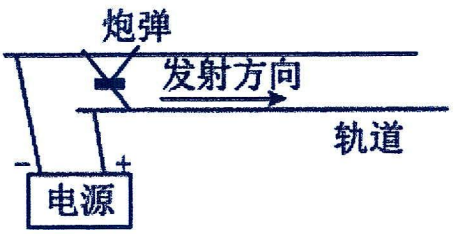


【跟踪训练】

1. （多选题）如图甲所示是电磁炮发射过程的情境图。炮弹的炮弹能量是可调控的，未来可用于消防、军事等方面。其主要原理如图乙所示，两根平行长直金属导轨沿水平方向固定，炮弹可沿导轨无摩擦滑行，且始终与导轨保持良好接触。可控电源提供强大的电流经导轨流入炮弹再流回电源，炮弹被导轨中电流形成的磁场推动而发射。在发射过程中，该磁场在炮弹所在位置始终可以简化为处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中。已知两导轨内侧间距为 d，炮弹的质量为 m，炮弹在导轨间的电阻为 R，若炮弹滑行距离 l 后获得的发射速度为 v。不计空气阻力、导轨电阻、电源内阻，不考虑炮弹切割磁感线产生的感应电动势。下列说法正确的是（　　）



甲

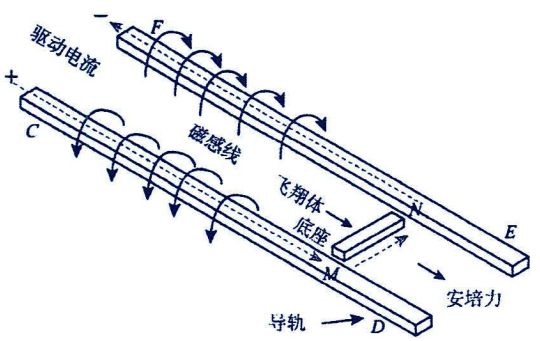


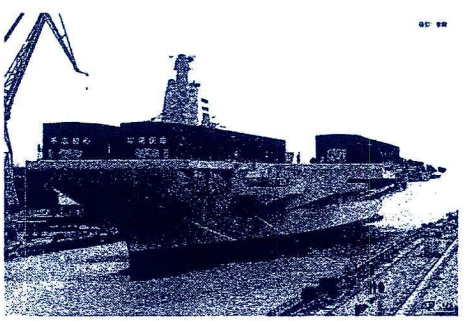
乙

A．匀强磁场方向为竖直向下　　B．炮弹所受安培力大小为 $\frac{mv^2}{2l}$

C．通过炮弹的电流为 $\frac{mv^2}{2Bdl}$　　D．可控电源的电动势为 $\frac{mv^2R}{Bdl}$

2. （多选题）电磁弹射技术是一种新兴的直线推进技术，2022 年 6 月 17 日上午，中国第三艘航空母舰福建舰下水，并配置电磁弹射。其工作原理可以简化如下图模型，光滑固定导轨 CD、EF 与导电底座 MN 构成一驱动电流回路，将绝缘飞翔体安放在导电底座上，导轨中的恒定驱动电流 I 产生磁场，且磁感应强度 B 与驱动电流 I 及空间某点到导轨的距离 r 的关系式为 $B=k\frac{I}{r}$（k 为常量），磁场对处在磁场中的导电底座产生了安培力 F，从而推动导电底座及飞翔体向右做匀加速直线运动，实现弹射。下列说法正确的是（　　）





A．CMNF 回路内的磁场方向与驱动电流 I 的方向满足安培定则

B．导电底座 MN 所受安培力 F 的方向与 CMNF 回路中驱动电流 I 的方向有关

C．驱动电流 I 变为原来的 2 倍，导电底座 MN 所受安培力 F 的大小将变为原来的 4 倍

D．如果导电底座及飞翔体在导轨上滑过的距离保持不变，仅将飞翔体质量减为原来的一半，飞翔体最终的弹射速度将变为原来的 $\sqrt{2}$ 倍

题型三：直流电动机

【精选例题】

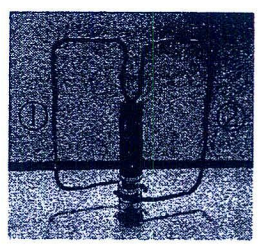
【例 1】如图甲所示是一个“简易电动机”，一节 5 号干电池的正极向上，一块圆柱形强磁铁吸附在电池的负极，将一段裸铜导线弯成图甲中所示形状的线框，线框上端的弯折位置与正极良好接触，下面弯曲的两端与磁铁表面保持良好接触，放手后线框就会转动起来。该“简易电动机”的原理图如图乙所示。关于该“简易电动机”，下列说法正确的是（　　）

A．从上往下看，该“简易电动机”顺时针旋转

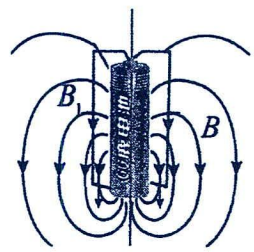
B．电池的输出功率等于线框转动的机械功率

C．线框①②两部分导线电阻在电路中是串联关系

D．磁铁失去磁性后，该电动机仍然持续转动



甲



乙

【跟踪训练】

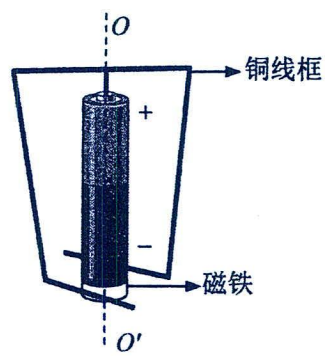
1．如图所示，某学习兴趣小组制作了一简易电动机，此装置中的铜线圈能在竖直平面内在磁场作用下从静止开始以虚线 OO′为中心轴转动起来，那么（　　）

A．若磁铁上方为 N 极，从上往下看，铜线框将顺时针旋转

B．若磁铁上方为 S 极，从上往下看，铜线框将顺时针旋转

C．不管磁铁上方为 N 级还是 S 极，从上往下看，铜线框都将逆时针旋转

D．线圈加速转动过程电池的化学能全部转化为线圈的动能



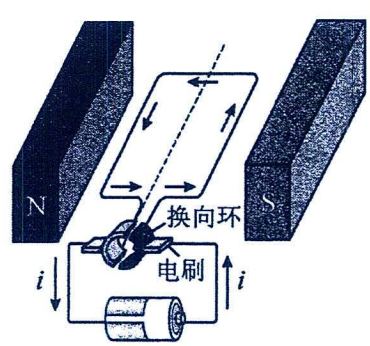
2．（多选题）1 月 3 日，由我国自主研制的 AG60E 电动飞机在千岛湖通用机场圆满完成首飞。其依靠电动机而非内燃机工作，工作原理可简化如图，通过电刷和换向环电流总是从矩形线框右侧导线流入、左侧导线流出，电路电流恒为 i，匀强磁场的磁感应强度为 B，线框的匝数为 N，左边长为 L，则在图示位置时（　　）

A．线框将沿顺时针方向转动

B．线框将沿逆时针方向转动

C．左侧导线受到的安培力大小为 NBiL

D．线框转过 30° 时左侧导线受到的安培力大小为 $\frac{1}{2}NBiL$

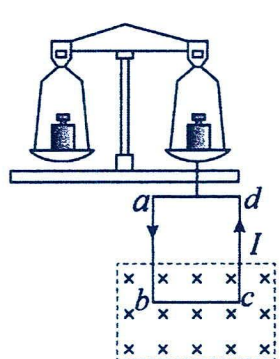


题型四：其他

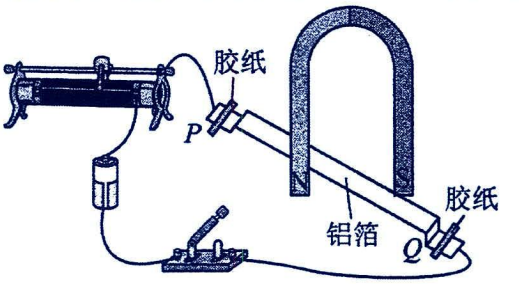
【精选例题】

【例 1】如图，电流天平的右臂挂着匝数为 n 的矩形线圈，线圈的水平边长为 L，处于磁感应强度为 B 的匀强磁场内，磁场方向垂直线圈平面向里。当线圈中通过电流 I 时，调节砝码使两臂达到平衡。再使电流反向，大小不变。为使两臂达到新的平衡，在左盘中增加砝码的质量为（重力加速度为 g）（　）

A．$\frac{BIL}{g}$　　B．$\frac{nBIL}{g}$　　C．$\frac{nBIL}{2g}$　　D．$\frac{2nBIL}{g}$



【例 2】如图所示是水平桌面上进行“铝箔天桥”实验。把铝箔折成天桥形状，用胶纸粘牢两端，将 U 型磁铁横跨天桥放置，并用电池向“铝箔天桥”供电。下列说法正确的是（　　）



A．闭合开关，铝箔中央向磁铁 N 极弯折

B．闭合开关，铝箔中央向下方凹陷

C．调节滑动变阻器使阻值变小，铝箔变形程度变大

D．更换磁性更强的磁铁，铝箔变形程度不变

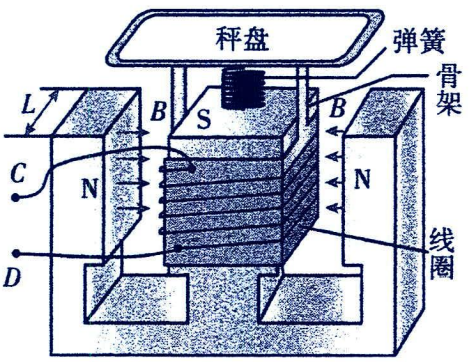
【例 3】（多选题）某电子天平原理如图所示，E 形磁铁的两侧为 N 极，中心为 S 极两极的磁感应强度大小均为 B，磁极宽度均为 L，忽略边缘效应。一正方形线圈套于中心磁极，其骨架与秤盘连为一体，且骨架与称盘的总质量为 m_0，线圈两端 C、D 与外电路连接。当质量为 m 的重物放在秤盘上时，弹簧从长度 L_0 被压至 L_1，秤盘和线圈一起向下运动（骨架与磁极不接触）。随后外电路对线圈供电，弹簧恢复至 L_0 并静止，由此时对应的供电电流 I 可确定重物的质量，已知线圈匝数为 n，线圈总电阻为 R，重力加速度为 g，则（　　）

A．线圈向下运动过程中，线圈中感应电流从 C 端流出

B．外电路对线圈供电电流为 I 时，弹簧长度从 L_1 恢复至 L_0 的过程中，C 端电势高于 D 端电势

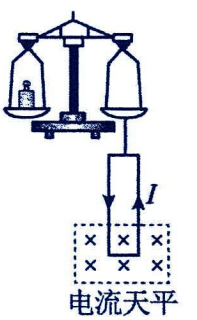
C．外电路对线圈供电电流为 I，且弹簧长度恢复至 L_0 并静止时，重物的质量 $m=2\dfrac{nBLI}{g}$

D．若线圈电阻为 R，且线圈上的热功率不能超过 P，线圈上安培力的最大值为 $F=2nBL\sqrt{\dfrac{P}{R}}+m_0g$



【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示为电流天平，可用来测定磁感应强度 B。天平的右臂上挂有一匝数为 N 的矩形线圈，线圈下端悬在匀强磁场中，磁场方向垂直纸面向里。当线圈中通有逆时针方向电流 I（方向如图）时，天平恰好平衡；若电流 I 大小不变，方向变为顺时针，在其中一个盘内放上质量为 m 的砝码天平又可以恢复平衡。已知矩形线框水平边长度为 L，重力加速度为 g，则（　　）



A．应将质量为 m 砝码放入左盘　　B．磁感应强度大小为 $B=\dfrac{2mg}{NIL}$

C．为了提高灵敏度，可以增加线圈匝数　　D．为了提高灵敏度，可以减少线圈匝数

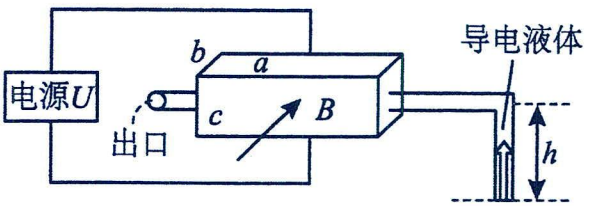
2．传导式电磁泵的优点是没有转动部件，不存在机械磨损。如图所示，长方体电磁泵相邻棱长分别为a、b、c，泵体的上下表面接在电压为U的电源（内阻不计）上，流过泵体的导电液电阻率为ρ，泵体处在垂直于前表面向里的匀强磁场内，磁感应强度大小为B。下列说法正确的是（　　）

A．泵体的上表面应接电源正极

B．通过泵体的电流为$\frac{Uac}{\rho b}$

C．减小液体电阻率可以获得更大抽液高度

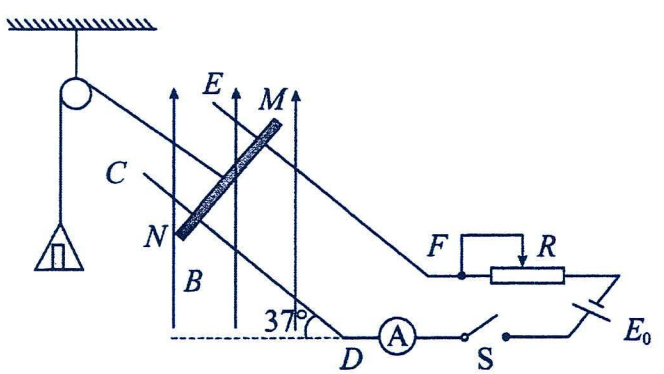
D．减小磁感应强度可以获得更大抽液高度



3．某同学在学习了磁场对通电导线的作用力后产生想法，设计了一个简易的“电磁秤”。如图所示，两平行金属导轨CD、EF间距L=0.1m，与水平面夹角为37°，两导轨与电动势E_0=9V内阻不计的电源、电流表（量程0~3A）、开关S、滑动变阻器R（阻值范围为0~100Ω）相连。质量M=0.14kg、电阻R_0=2Ω的金属棒MN垂直于导轨放置，空间施加竖直向上的匀强磁场，磁感应强度B=5T，垂直接在金属棒中点的轻绳与导轨平面平行，跨过定滑轮后另一端接有秤盘。在秤盘中放入待测物体，闭合开关S，调节滑动变阻器，当金属棒平衡时，通过读取电流表的读数就可以知道待测物体的质量。已知秤盘中不放物体且金属棒静止时电流表读数I_0=0.1A．其余电阻、摩擦以及轻绳质量均不计，重力加速度g=10m/s^2，sin37°=0.6，cos37°=0.8。求：(1)求秤盘的质量m_0；

(2)求此“电磁秤”能称量的最大质量及此时滑动电阻器接入电路的阻值；

(3)为了便于得出秤盘上物体质量m的大小，请写出m与I的表达式。



第二讲：洛伦兹力

考点一：洛伦兹力

1.洛伦兹力：运动电荷在磁场中受到的作用力叫作洛伦兹力。

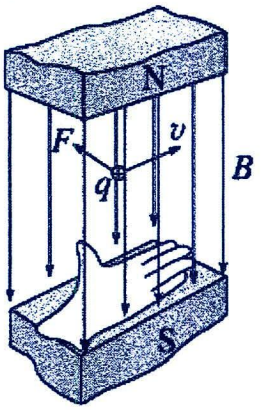
2.左手定则：

(1)伸开左手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内；

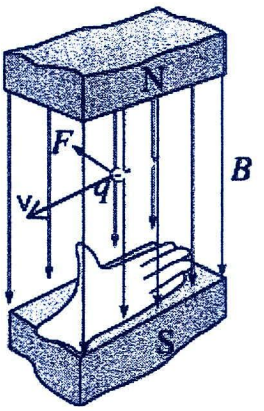
(2)让磁感线从掌心垂直进入，对于正电荷，四指指向电荷的运动方向，如图甲；

对于负电荷，四指指向电荷运动的反方向，如图乙；

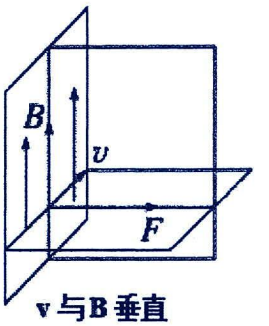
(3)拇指所指的方向就是运动的电荷在磁场中所受洛伦兹力的方向。



甲

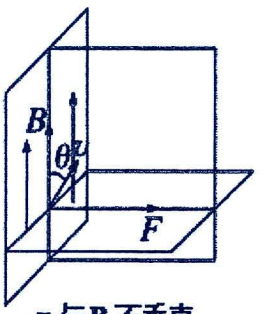


乙



v与B垂直

丙



v与B不垂直

丁

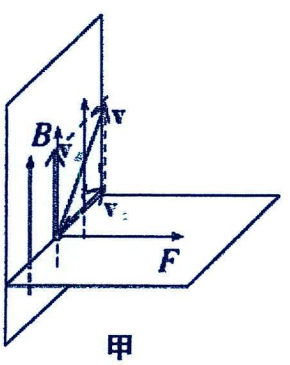
3.洛伦兹力方向的特点：洛伦兹力于垂直磁场方向和运动电荷速度方向决定的平面。

(1)当速度方向跟磁场方向垂直时，洛伦兹力的方向、磁场方向和速度方向两两相互垂直，如图丙；

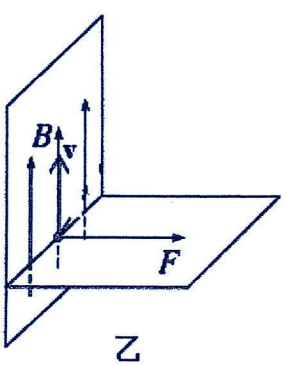
应用左手定则判断时，磁感线从掌心垂直进入，**拇指、其余四指和磁感线三者两两垂直。**

(2)当速度方向跟磁场方向不垂直时，洛伦兹力的方向仍垂直于电流方向，也垂直于磁场方向，如图丁。

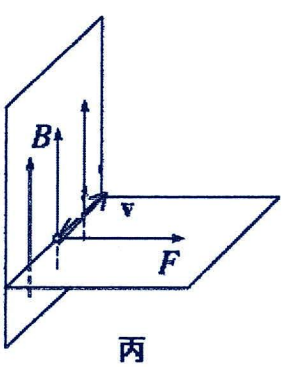
4.洛伦兹力的大小：F＝q·v·B·sinθ，运动电荷移动速度为 v，电荷量为 q，磁场的磁感应强度为 B，其中θ为 v 与 B 方向之间的夹角，如图甲。



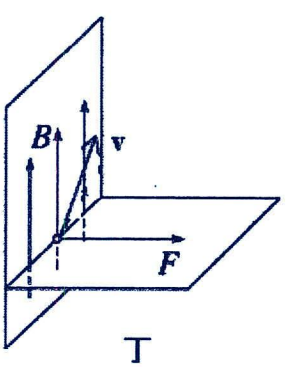
甲



乙



丙



丁

(1)如图乙，当θ＝0 或 180°时，即 B∥I，sinθ＝0，此时洛伦兹力为 F＝0；

(2)如图丙，当θ＝90°时，即 B⊥I，sinθ＝1，此时洛伦兹力为 F＝q·v·B；

(3)如图丁，当运动电荷速度方向与磁场不垂直时，此时安培力 F＝q·v·B·sinθ。

5.洛伦兹力的理解

(1)静止电荷一定不受洛伦兹力作用；运动电荷在磁场中不一定受洛伦兹力的作用；

(2)利用左手定则判断洛伦兹力的方向，注意区分正、负电荷；

(3)当电荷运动方向发生变化时，洛伦兹力的方向也随之变化。但无论怎样变化，洛伦兹力都与运动方向垂直；

(4)洛伦兹力永不做功，它只改变电荷的运动方向，不改变电荷的速度大小。

6.洛伦兹力与安培力的关系

分类	洛伦兹力	安培力
区别	单个运动的带电粒子所受到的磁场力	通电直导线所受到的磁场力
	洛伦兹力不做功	**安培力可以做功**
联系	**①安培力是洛伦兹力的宏观表现，洛伦兹力是安培力的微观本质；** ②方向关系：洛伦兹力与安培力均可用左手定则进行判断	

题型一：概念辨析

【精选例题】

【例 1】许多科学家在物理学发展中做出了重要贡献。有关物理学家的贡献，下列说法与事实不相符的是（　　）

A．法拉第首先提出了场的概念，并创造性地用“力线”形象地描述“场”

B．洛伦兹认为安培力是带电粒子所受磁场力的宏观表现，提出了著名的洛伦兹力公式

C．法拉第通过实验发现了通电导线周围存在磁场，首次揭示了电与磁的联系

D．安培提出了分子电流假说，能够解释一些磁现象

【例 2】带电粒子垂直匀强磁场方向运动时，会受到洛伦兹力的作用。下列表述正确的是（　　）

A．洛伦兹力不改变带电粒子的动能　　B．洛伦兹力对带电粒子做功

C．洛伦兹力的大小与速度无关　　D．洛伦兹力方向与带电粒子的速度方向不一定垂直

【例 3】关于静电力、安培力与洛伦兹力，下列说法正确的是（　　）

A．电荷放入静电场中一定会受静电力，静电力的方向与该处电场强度的方向相同

B．通电导线放入磁场中一定受安培力，安培力的方向与该处磁场方向垂直

C．运动的电荷进入磁场中要受到洛伦兹力，速度的方向必须与该处磁场方向垂直

D．运动电荷在 A 点受到的洛伦兹力比在 B 点大，A 点磁感应强度可能小于 B 点磁感应强度

【跟踪训练】

1．（多选题）关于安培力和洛伦兹力，下列说法正确的是（　　）

A．洛伦兹力对运动电荷一定不做功　　B．安培力对通电导体也一定不做功

C．洛伦兹力是安培力的微观本质　　D．安培力是洛伦兹力的宏观表现

2．下列说法正确的是（　）

A．粒子在匀强磁场中所受洛伦兹力永远不做功

B．通电直导线所受安培力一定对直导线不做功

C．若通电直导线所受安培力是 0，则该处的磁感应强度一定是 0

D．若运动电荷所受洛伦兹力是 0，则该处的磁感应强度一定为 0

3．（多选题）下列说法正确的是（　　）

A．只有相对于磁场运动的电荷在磁场中才可能会受到洛伦兹力作用

B．判断洛伦兹力方向时，根据左手定则，四指指向电荷运动的方向

C．当电荷的速度方向与磁场方向垂直时受到的洛伦兹力最大，方向与磁场方向垂直

D．静电力对电场中的电荷一定会做功，而洛伦兹力对在磁场中的电荷却不会做功

题型二：洛伦兹力的方向

解题要点：判断洛伦兹力方向的步骤

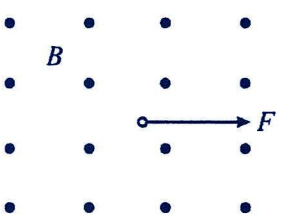
(1)明确研究对象；

(2)用安培定则或根据磁体的磁场特征，画出研究对象所在位置的磁场方向；

(3)由左手定则判断洛伦兹力方向。

【精选例题】

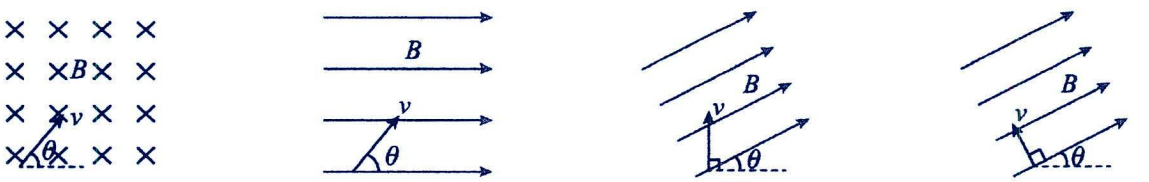
【例 1】匀强磁场中一个运动的带电粒子，受到洛伦兹力 F 的方向如图所示，则该粒子的电性和运动方向可能是（　　）



A．粒子带负电，向下运动　　B．粒子带正电，向左运动

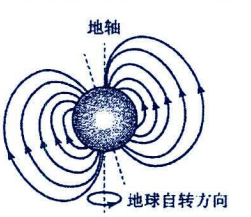
C．粒子带负电，向上运动　　D．粒子带正电，向右运动

【例 2】质量为 m、电荷量为 q（q>0）的带电粒子，以速度 v 射入磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，速度方向、磁场方向如图所示。则粒子在磁场中运动时受到的洛伦兹力大小为 qvBsinθ的是（　　）



A　　B　　C　　D

【例 3】科学研究表明，地球周围存在的磁场虽然微弱，但作用巨大，既可以抵御宇宙射线对地球的侵扰，也会影响生物的定向迁徙，甚至会影响人的身体健康。如图所示为地球周围的磁感线分布（磁偏角的影响可以忽略），下列关于地磁场的说法正确的是（　　）



A．地球周围的磁感线起始于地球南极附近，终止于地球北极附近

B．地面附近，磁感应强度的方向与地面平行

C．地面附近，赤道处的磁感应强度大小大于两极处的磁感应强度大小

D．由外太空垂直射向赤道的带正电粒子将向东偏转

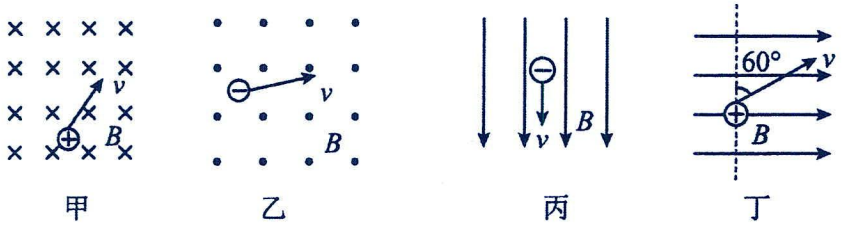
【跟踪训练】

1．关于带电粒子所受洛伦兹力 F、磁感应强度 B 和粒子速度 v 三者方向之间的关系，下列说法正确的是（　）

A．F、B、v 三者必定均保持垂直　　B．F 必定垂直于 B、v，但 B 不一定垂直于 v

C．B 必定垂直于 F，但 F 不一定垂直于 v　　D．v 必定垂直于 F、B，但 F 不一定垂直于 B

2．下列带电粒子所受洛伦兹力方向正确的是（　　）



甲　　乙　　丙　　丁

A．图甲方向与 v 方向垂直斜向上　　B．图乙方向与 v 方向垂直斜向下

C．图丙方向垂直纸面向外　　D．图丁方向垂直纸面向外

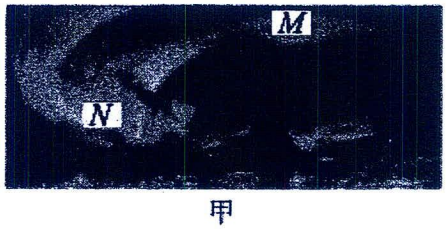
3．来自宇宙的高速带电粒子流在地磁场的作用下偏转进入地球两极，撞击空气分子产生美丽的极光。高速带电粒子撞击空气分子后动能减小。假如我们在地球北极仰视，发现正上方的极光如图甲所示，某粒子运动轨迹如乙图所示。下列说法正确的是（　　）

A．粒子从 M 沿逆时针方向射向 N

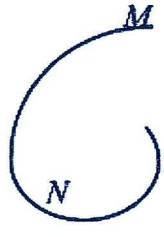
B．高速粒子带正电

C．粒子受到的磁场力不断增大

D．若该粒子在赤道正上方垂直射向地面，会向东偏转



甲



乙

题型三：洛伦兹力的大小

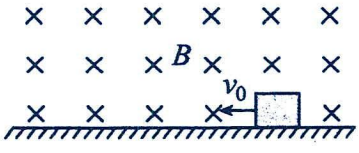
【精选例题】

【例 1】两个带电粒子以相同的速度垂直磁感线方向进入同一匀强磁场，两粒子质量之比为 1∶4，电荷量之比为 2∶1，则两带电粒子受洛伦兹力之比为（　　）\

A．2∶1　　B．1∶1　　C．1∶2　　D．1∶4

【例 2】在 $B=2\text{T}$ 的匀强磁场中，一质量 $m=1\text{kg}$ 带正电 $q=1\text{C}$ 的物体沿光滑的绝缘水平面以初速度 $v_0=10\text{m/s}$ 向左运动，$g=10\text{m/s}^2$，如图，运动过程中物体受地面给的支持力的大小为（　　）

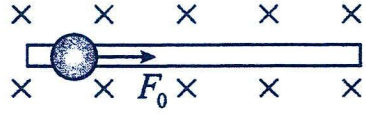
A．10N　　B．20N　　C．30N　　D．0N



【例 3】（多选题）如图所示，在垂直纸面向里、磁感应强度为 B 的匀强磁场中，质量为 m、电荷量为 $+q$ 的小球穿在足够长的水平固定绝缘的直杆上处于静止状态，小球与杆间的动摩擦因数为 μ。现对小球施加水平向右的恒力 F_0，已知重力加速度为 g，在小球从静止开始至速度最大的过程中，下列说法正确的是（　　）

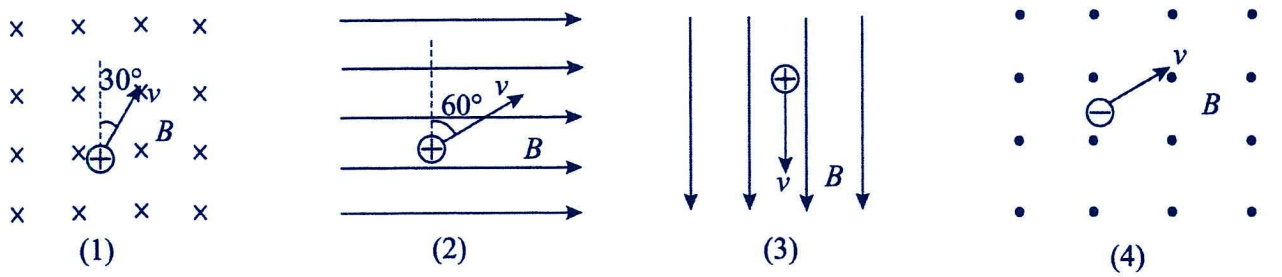
A．直杆对小球的弹力方向不变　　B．直杆对小球的摩擦力先减小后增大

C．小球运动的最大加速度为 $\frac{F_0}{m}$　　D．小球的最大速度为 $\frac{F_0+\mu mg}{\mu qB}$



【跟踪训练】

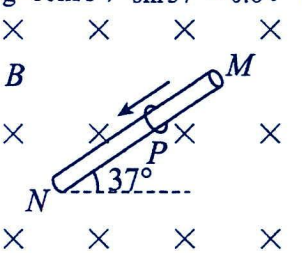
1．（多选题）在如图所示的各图中，匀强磁场的磁感应强度大小均为B，带电粒子的速率均为v，带电荷量均为q，则下列各图中带电粒子所受洛伦兹力的大小表达正确的是（　　）



A．图（1）中洛伦兹力大小为$qvB\sin30°$　　B．图（2）中洛伦兹力大小为$qvB\sin30°$

C．图（3）中洛伦兹力大小为0　　D．图（4）中洛伦兹力大小为qvB

2．（多选题）如图所示，一根足够长的光滑绝缘杆MN固定在竖直平面内，且与水平面的夹角为37°，空间中存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为1T，质量为0.1kg的带电小环沿杆下滑到图中的P处时，对杆有垂直于杆向下的、大小为0.3N的压力。已知小环的带电荷量为0.1C，重力加速度g=10m/s^2，$\sin37°=0.6$。下列说法正确的是（　　）



A．小环带正电

B．小环下滑的加速度大小为6m/s^2

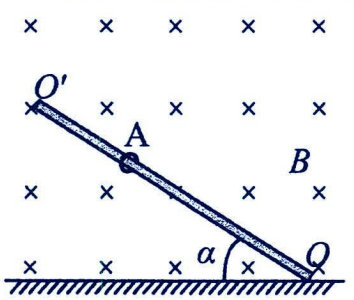
C．小环滑到P处时的速度为3m/s

D．小环经过P处开始计时，0.5s后恰好与杆没有相互作用

3．如图表示，在磁感强度为B=2T的水平匀强磁场中，有一足够长的绝缘细棒OO′在竖直面内垂直磁场方向放置，细棒与水平面夹角为α=60°。一质量为m=1kg，带电荷为+q=2.5C的圆环A套在OO′棒上，圆环与棒间的动摩擦因数为$\mu=\frac{\sqrt{3}}{2}$，g取10m/s^2。现让圆环A由静止开始下滑，试问圆环在下滑过程中：

（1）圆环A的最大加速度为多大，获得最大加速度时的速度为多大；

（2）圆环A能够达到的最大速度为多大。



题型四：洛伦兹力与静电力的比较

	洛伦兹力	静电力
产生条件	v≠0 且 v 不与 B 平行 (说明：运动电荷在磁场中不一定受洛伦兹力作用)	电荷处在电场中
大小	F＝qvB(v⊥B)	F＝qE
力方向与场方向的关系	F⊥B(且 F⊥v)	F∥E
做功情况	任何情况下都不做功	可能做功，也可能不做功

【精选例题】

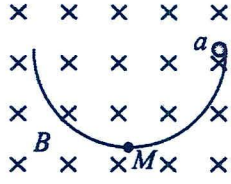
【例 1】如图所示，甲、乙是竖直面内两个相同的半圆形光滑绝缘轨道，M、N 为两轨道的最低点，匀强磁场垂直于甲轨道平面，匀强电场平行于乙轨道平面，两个完全相同的带正电小球 a、b（可视为质点）分别从甲、乙两轨道的右侧最高点由静止释放，在它们第一次到达最低点的过程中，下列说法正确的是（　　）

A．a 球下滑的时间比 b 球下滑时间长

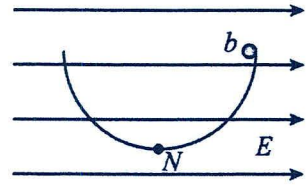
B．a、b 两球的机械能均守恒

C．a 球到 M 点的速度小于 b 球到 N 点的速度

D．a 球对 M 点的压力大于 b 球对 N 点的压力

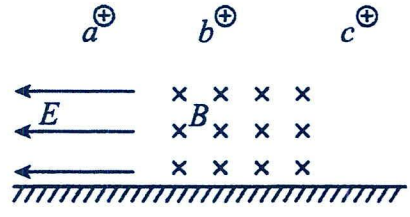


甲



乙

【例 2】如图 a、b、c 为三个完全相同的带正电荷的油滴，在真空中从相同高度由静止下落到同一水平面，a 下落中有水平匀强电场，b 下落中有水平向里的匀强磁场，三油滴落地时间设为 t_a、t_b、t_c，落地时速度分别 v_a、v_b、v_c，则（　　）



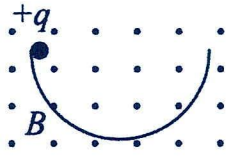
A．$t_a=t_b=t_c$，$v_a=v_b=v_c$　　B．$t_a=t_b=t_c$，$v_a>v_b=v_c$

C．$t_b>t_a=t_c$，$v_a=v_b=v_c$　　D．$t_b>t_a=t_c$，$v_a>v_c=v_b$

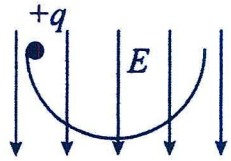
【跟踪训练】

1．如图甲、乙、丙所示，三个完全相同的半圆形光滑绝缘轨道置于竖直平面内，左右两端点等高，其中图乙轨道处在垂直纸面向外的匀强磁场中，图丙轨道处在竖直向下的匀强电场中，三个相同的带正电小球同时从轨道左端最高点处由静止释放.则三个带电小球通过圆轨道最低点时（　　）


甲



乙



丙

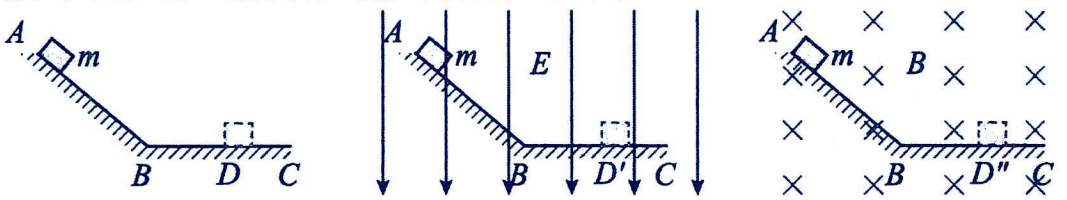
A．速度相同

B．均能到达轨道右端最高点处

C．对轨道的压力相同

D．所用时间相同

2. （多选题）如图所示，一个带正电荷的物块 m 由静止开始从斜面上 A 点下滑，滑到水平面 BC 上的 D 点停下来，已知物块与斜面及水平面间的动摩擦因数相同，且不计物块经过 B 处时的机械能损失.现在 ABC 所在空间加竖直向下的匀强电场，第二次让物块 m 从 A 点由静止开始下滑，结果物块在水平面上的 D' 点停下来.后又撤去电场，在 ABC 所在空间加水平向里的匀强磁场，再次让物块 m 从 A 点由静止开始下滑，结果物块沿斜面滑下并在水平面上的 D'' 点停下来，则以下说法中正确的是（　　）



A．D' 点一定在 D 点左侧　　B．D' 点一定与 D 点重合

C．D'' 点一定在 D 点右侧　　D．D'' 点一定与 D 点重合

考点二：洛伦兹力作用下的动力学问题

题型一：带电体在磁场中的运动

1.求解带电体在磁场中的运动问题的解题步骤

(1)确定研究对象，即带电体；

(2)确定带电体所带电荷量的正、负以及速度方向；

(3)由左手定则判断带电体所受洛伦兹力的方向，并作出受力分析图；

(4)由平行四边形定则、矢量三角形或正交分解法等方法，根据物体的平衡条件或牛顿第二定律列方程求解；

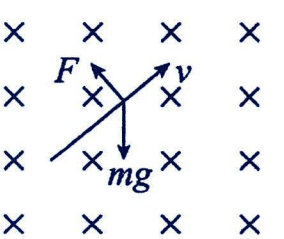
(5)对于定性分析的问题还可以采用极限法进行推理，从而得到结论。

2.带电体在匀强磁场中速度变化时洛伦兹力的大小往往随之变化，并进一步导致弹力、摩擦力的变化，带电体将在变力作用下做变加速运动。

3.利用牛顿运动定律和平衡条件分析各物理量的动态变化时要注意弹力为零的临界状态，此状态是弹力方向发生改变的转折点。

【精选例题】

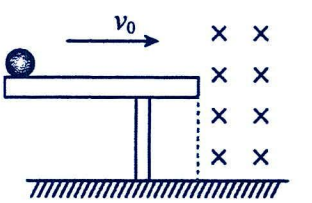
【例 1】带电质点在匀强磁场中运动，某时刻速度方向如图所示，所受的重力和洛伦兹力的合力恰好与速度方向相反，不计阻力，则在此后的一小段时间内，带电质点将(　　)



A．可能做直线运动　　B．可能做匀减速运动

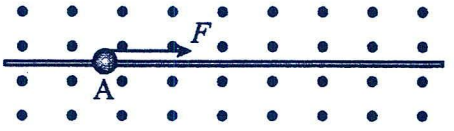
C．一定做曲线运动　　D．可能做匀速圆周运动

【例 2】一个金属小圆环沿光滑绝缘的水平桌面向右运动，右侧有一垂直于纸面向里的足够大的匀强磁场，速度方向垂直于磁场方向，如图所示，小圆环飞离桌面后落到地板上，设飞行时间为 t_1，水平射程为 x_1，着地速度大小为 v_1。撤去磁场，其余的条件不变，小圆环飞行时间为 t_2，水平射程为 x_2，着地速度大小为 v_2，则下列选项中正确的是（　　）



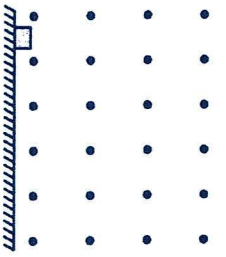
A．$x_1 = x_2$　　B．$t_1 = t_2$　　C．$v_1 = v_2$　　D．ABC 选项均错误

【例 3】如图所示，质量为 m、电荷量为$-q(q>0)$的小球 A 套在粗细均匀的固定绝缘水平杆上，整个装置处在垂直于纸面向外的水平匀强磁场中。现对 A 施加一个水平向右、大小恒为$F(F<mg)$的拉力，使小球 A 从静止开始运动，已知匀强磁场的磁感应强度大小为 B，小球 A 与杆间的动摩擦因数为 0.5，重力加速度为 g，则当小球的加速度大小第一次达到$\frac{F}{2m}$时，小球的速度大小为（　　）



A. $\frac{mg-F}{qB}$　　B. $\frac{mg-F}{4qB}$　　C. $\frac{2(mg-F)}{qB}$　　D. $\frac{mg-F}{2qB}$

【例 4】如图所示，质量为m、带电荷量为+q 的物块，在水平向外的匀强磁场中，沿着竖直绝缘墙壁由静止开始下滑，已知物块与墙壁间的动摩擦因数为μ，磁感应强度为 B，墙壁无限高，下列说法正确的是（　　）



A．物块在下滑过程中只受重力、摩擦力和洛伦兹力

B．物块下滑过程中先做加速度减小的加速运动，后匀速运动

C．物块下滑的最大速度为$\frac{\mu mg}{Bq}$

D．物块在下滑过程中，受到的洛伦兹力不做功，物块机械能守恒

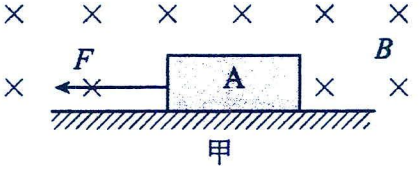
【例 5】如图甲所示，光滑绝缘水平面上方足够大空间内存在磁感应强度大小$B=1T$的水平匀强磁场，带正电的物块 A 静置于水平面上，电荷量 q=0.2C。t=0 时，水平力 F 作用在物块 A 上，物块 A 由静止开始运动，其对水平面的压力随时间的变化图像如图乙，重力加速度 g=10m/s²，则（　　）

A．物块 A 的质量 m=3kg

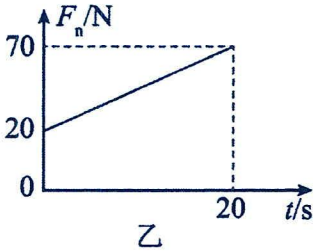
B．水平力 F 不断增大

C．水平力 F 的大小为 70N

D．物块 A 做匀加速直线运动



甲



乙

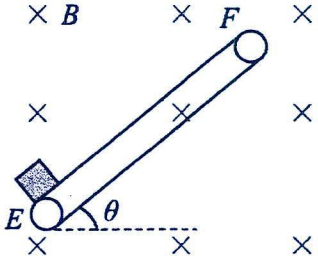
【例 6】如图甲所示，一带电物块无初速度地放上与水平面成θ角的传送带底端，传送带以恒定大小的速率沿顺时针方向传动，该装置处于垂直纸面向里的匀强磁场中，物块由传送带底端 E 运动至顶端 F 的过程中，其$v-t$图像如图乙所示，物块全程运动的时间为4.5s，g=10m/s²。关于带电物块及该运动过程的说法中正确的是（　　）

A．该物块带负电

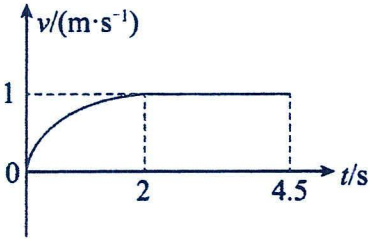
B．传送带的传动速度大小一定为1m/s

C．物块与传送带间的动摩擦因数μ可能等于$\tan\theta$

D．在 2s～4.5s 内，物块与传送带可能有相对运动



甲



乙

【跟踪训练】

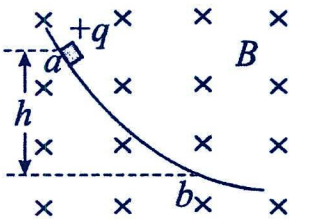
1．如图所示，在磁感应强度大小为 B，方向垂直纸面向里的匀强磁场中，一带电量为 q（$q>0$）的滑块自 a 点由静止沿光滑绝缘轨道滑下，下降竖直高度为 h 时到达 b 点。不计空气阻力，重力加速度为 g，则（　）

A．滑块在 a 点受重力、支持力和洛伦兹力作用

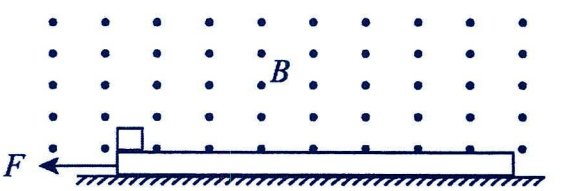
B．该过程中，洛伦兹力做正功

C．该过程中，滑块的机械能增大

D．滑块在 b 点受到的洛伦兹力大小为 $qB\sqrt{2gh}$



2．（多选题）如图所示，空间有一垂直纸面向外的磁感应强度为 0.5T 的匀强磁场，一质量为 0.2kg 且足够长的绝缘木板静止在光滑水平面上，在木板左端放置一质量为 0.1kg、带电荷量 q=+0.2C 的滑块，滑块与绝缘木板之间的动摩擦因数为 0.5，滑块受到的最大静摩擦力可认为等于滑动摩擦力．现对木板施加方向水平向左、大小为 0.6N 的恒力，g 取 10m/s²，则（　）



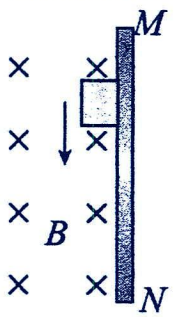
A．木板和滑块一直做加速度为 2m/s² 的匀加速运动

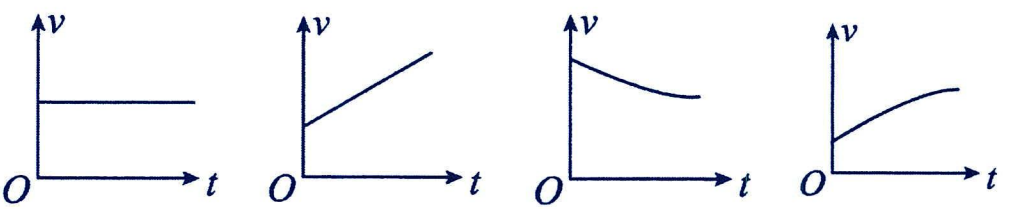
B．滑块开始做匀加速直线运动，然后做加速度减小的变加速运动，最后做匀速运动

C．最终木板做加速度为 2m/s² 的匀加速直线运动，滑块做速度为 10m/s 的匀速直线运动

D．最终木板做加速度为 3m/s² 的匀加速直线运动，滑块做速度为 10m/s 的匀速直线运动

3．（多选题）如图所示，粗糙木板 MN 竖直固定在方向垂直纸面向里的匀强磁场中。t=0 时，一个质量为 m、电荷量为 q 的带正电物块沿 MN 以某一初速度竖直向下滑动，则物块运动的 v—t 图像可能是（　）





A　　B　　C　　D

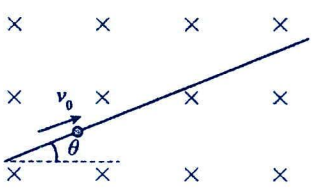
4．（多选题）如图所示，一根固定的足够长的光滑绝缘细杆与水平面成 θ 角。质量为 m、电荷量为+q 的带电小球套在细杆上。小球始终处于磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中。磁场方向垂直细杆所在的竖直面，不计空气阻力。小球以初速度 v_0 沿细杆向上运动至最高点，则该过程（　）

A．合力冲量大小为 mv₀cosΘ

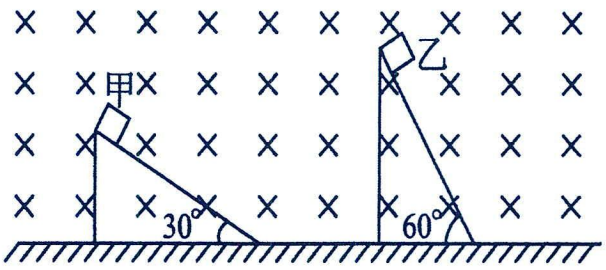
B．重力冲量大小为 $mv_0\sin\theta$

C．洛伦兹力冲量大小为 $\dfrac{qBv_0^2}{2g\sin\theta}$

D．若 $v_0=\dfrac{2mg\cos\theta}{qB}$，弹力冲量为零



5．如图所示，两个倾角分别为30°和60°的光滑斜面固定于水平地面上，并处于磁感应强度大小为B、方向垂直纸面向里的匀强磁场中，两个质量均为m、电荷量均为q的带正电小滑块甲和乙分别从两个斜面顶端由静止释放，运动一段时间后，两小滑块都将飞离斜面（斜面足够长），在此过程中（　　）



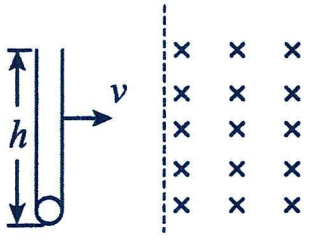
A．在斜面上运动过程中，甲的加速度大于乙的加速度

B．飞离斜面瞬间的速度，甲比乙小

C．在斜面上运动的时间，甲比乙小

D．在斜面上运动过程中的重力平均功率，甲和乙相等

6．如图，下端封闭、上端开口、高$h=5\text{m}$内壁光滑的细玻璃管竖直放置，管底有质量$m=10\text{g}$，电荷量的绝对值$|q|=0.2\text{C}$的小球，整个装置以$v=5\text{m/s}$的速度沿垂直于磁场方向进入磁感应强度$B=0.2\text{T}$，方向垂直纸面向内的匀强磁场，由于外力的作用，玻璃管在磁场中的速度保持不变，最终小球从上端管口飞出（g取10m/s^2）。下列说法中正确的（　　）



A．该过程洛伦兹力做正功　　B．小球在竖直方向做匀加速直线运动

C．小球在玻璃管中的运动时间小于1s　　D．小球机械能的增加量为10J

题型二：带电粒子在磁场中的运动

1.运动状态分析

(1)若v∥B，带电粒子不受洛伦兹力，在匀强磁场中做匀速直线运动；

(2)若v⊥B，带电粒子仅受洛伦兹力作用，在垂直于磁感线的平面内以入射速度v做匀速圆周运动；

(3)当带电粒子的速度v与B的夹角为锐角时，带电粒子的运动轨迹为螺旋线（详见第四讲考点三）。

2．轨道半径和周期公式(v⊥B)

(1)洛伦兹力提供向心力：$qvB=\frac{mv^2}{r}$；

(2)轨迹半径：$r=\frac{mv}{qB}$；

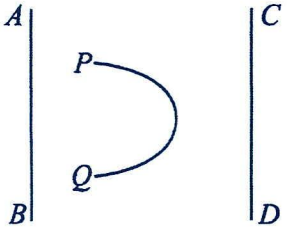
(3)周期：$T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$，可知T与运动速度和轨迹半径无关，只和粒子的比荷和磁场的磁感应强度有关；

(4)运动时间：当带电粒子转过的圆心角为θ(弧度)时，所用时间$t=\frac{\theta}{2\pi}T$；

(5)动能：$E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}=\frac{Bqr}{2m}\frac{^2(Bqr)^2}{2m}$。

【精选例题】

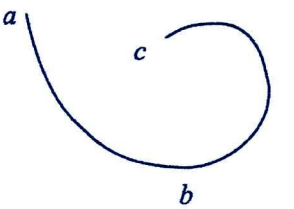
【例1】如图所示，在真空中有两根长而直的平行导线，其中只有一根携带稳定的电流，其方向未知。一个电子在两根导线确定的平面内沿着如图所示的路径从点Q移动到点P。以下哪一种表述是正确的（　　）



A．*CD*导线携带电流，方向从D流到C　　B．*CD*导线携带电流，方向从C流到D

C．*AB*导线携带电流，方向从A流到B　　D．*AB*导线携带电流，方向从B流到A

【例 2】如图所示，空间内有一垂直纸面方向的匀强磁场（方向未知），一带正电的粒子在空气中运动的轨迹如图所示，由于空气阻力的作用，使得粒子的轨迹不是圆周，假设粒子运动过程中的电荷量不变。下列说法正确的是（　　）



A．粒子的运动方向为$c \to b \to a$　　B．粒子所受的洛伦兹力大小不变

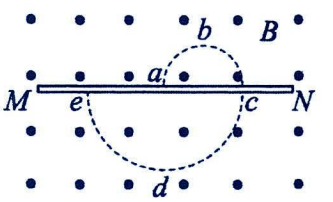
C．粒子在 b 点的洛伦兹力方向沿轨迹切线方向　　D．磁场的方向垂直纸面向里

【例 3】在匀强磁场中，一个带电粒子只受洛伦兹力作用做匀速圆周运动，如果又顺利垂直进入另一磁感应强度是原来磁感应强度 2 倍的匀强磁场中，则（ ）

A．粒子的速率加倍，轨迹半径减半　　B．粒子的速率加倍，周期减半

C．粒子的速率减半，轨道半径减半　　D．粒子的速率不变，周期减半

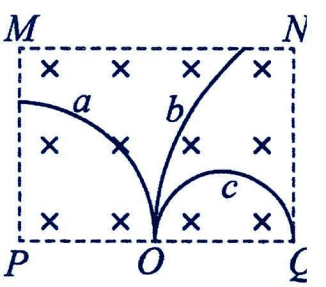
【例 4】如图所示，MN 表示一块非常薄的金属板，带电粒子（不计重力）在匀强磁场中运动并垂直穿过薄金属板，粒子的能量逐渐减小（带电荷量不变）虚线表示其运动轨迹，由图可知粒子说法错误的是（　　）



A．带负电荷　　B．沿$e \to d \to c \to b \to a$方向运动

C．穿越金属板后，轨迹半径变大　　D．穿越金属板后，所受洛伦兹力变小

【例 5】如图所示，在$MNQP$中有一垂直纸面向里匀强磁场，质量和电荷量都相等的带电粒子a、b、c以不同的速率从O点沿垂直于PQ的方向射入磁场，图中实线是它们的轨迹。已知O是PQ的中点，不计粒子重力，下列说法中正确的是（　　）



A．粒子a带负电，粒子b、c带正电　　B．粒子c在磁场中运动的时间最短

C．粒子 b 在磁场中运动的周期最长　　D．射入磁场时粒子 c 的速率最小

【例 6】（多选题）已知氚核的质量约为质子质量的 3 倍，带正电荷，电荷量为一个元电荷 e；α粒子即氦原子核，质量约为质子质量的 4 倍，带正电荷，电荷量为 e 的 2 倍。现在质子、氚核和α粒子在同一匀强磁场中做匀速圆周运动（ ）

A．若它们速度相同，则它们的运动半径之比为 6:2:3

B．若它们动量相同，则它们的运动半径之比为 2:2:1

C．若它们动能相同，则它们的运动半径之比为 $1:\sqrt{3}:1$

D．若它们由静止经过相同的电场加速后进入磁场，则它们的运动半径之比为 $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}$

【跟踪训练】

1．1932 年，师从密立根的中国科学家赵忠尧，在实验中最早观察到正负电子对的产生与湮没，成为第一个发现正电子的科学家．此后，人们在气泡室中，观察到一对正负电子的运动轨迹，如图．已知匀强磁场的方向垂直照片平面向外，正负电子质量相等，电子重力忽略不计，则下列说法正确的是（ ）



A．左侧为正电子运动轨迹

B．正电子与负电子分离瞬间，正电子速度大于负电子速度

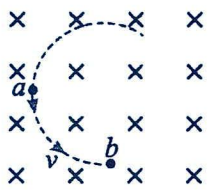
C．正、负电子所受洛伦兹力始终相同

D．正、负电子在气泡室运动时，近似认为轨迹是一系列半径越来越小的圆，则它们的动能减小、周期不变

2．质子($_1^1H$)和α粒子($_2^4He$)的电荷量之比为 q_1：q_2=1：2，质量之比为 m_1：m_2=1：4，它们以相同的动量进入同一匀强磁场中，在垂直磁场的平面内做匀速圆周运动，则它们的轨道半径之比 R_1：R_2 和周期之比 T_1：T_2 是（　）

A．1：2，1：2　　B．2：1，2：1　　C．2：1，1：2　　D．1：2，2：1

3．质量为 m 的带电微粒 a，仅在洛伦兹力作用下做半径为 r 的匀速圆周运动。现在 a 经过的轨迹上放置不带电的微粒 b，则 a 与 b 发生完全非弹性碰撞融为一个整体。（不计重力和电荷量的损失）则该整体在磁场中圆周运动的半径将（　　）



A．变大　　B．变小　　C．不变　　D．条件不足，无法判断

4．一带电粒子经加速电压 U 加速后进入匀强磁场区域，现仅将加速电压增大到原来的 2 倍后，粒子再次进入匀强磁场，则（　）

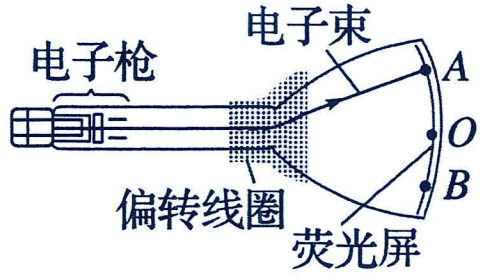
A．运动的轨道半径变为原来的 2 倍　　B．运动的动能变为原来的 2 倍

C．运动周期变为原来的$\sqrt{2}$倍　　D．运动的角速度变为原来的$\sqrt{2}$倍

5．质子和氦核的质量之比为 1：4，电荷量之比为 1：2，它们都从静止开始经相同电压加速后，又垂直于电场方向进入同一匀强电场，离开偏转电场时，质子和氦核的偏移量 y 之比和在偏转电场中运动的时间 t 之比分别为

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

题型三：显像管



1．显像管的构造：如图所示，由电子枪、偏转线圈和荧光屏组成。

2．显像管的原理

(1)电子枪发射高速电子；

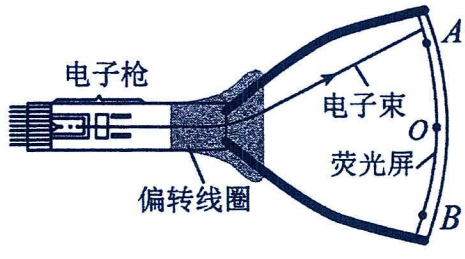
(2)电子束在磁场中偏转；

(3)荧光屏被电子束撞击时发光。

3．扫描：在偏转区的水平方向和竖直方向都有偏转磁场，其方向、强弱都在不断变化，因此电子束打在荧光屏上的光点不断移动，这在显示技术中叫作扫描。

【精选例题】

【例 1】如图所示为电视显像管的原理示意图。显像管中有一个电子枪，工作时它能发射高速电子，撞击荧光屏就能发光，没有磁场时电子束打在荧光屏正中的 O 点，为使电子束偏转，由安装在管颈的偏转线圈产生偏转磁场。要使电子束（　　）



A．打在屏上 A 点，偏转磁场的方向应水平向右

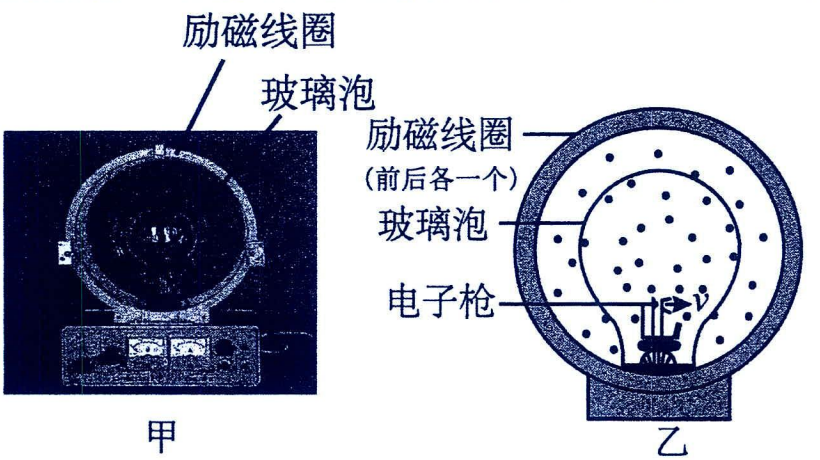
B．打在屏上 B 点，偏转磁场的方向应垂直纸面向外

C．打在屏上的位置由 A 点逐渐向 B 点移动，磁场大小应先减小，再反向增大

D．打在屏上的位置由 B 点逐渐向 A 点移动，磁场大小应先增大，再反向减小

【跟踪训练】

1．（多选题）如图甲所示，洛伦兹力演示仪由励磁线圈、玻璃泡等组成，结构示意图如图乙所示，励磁线圈是一对彼此平行共轴的圆形线圈，当线圈通有励磁电流时，两线圈之间将产生垂直线圈平面向外的匀强磁场，且磁感应强度的大小与励磁线圈中的电流大小成正比。电子在电子枪中经加速电压加速后形成高速电子束，垂直磁场方向射入，若电子束径迹在磁场中呈闭合圆形，下列说法正确的是（　）



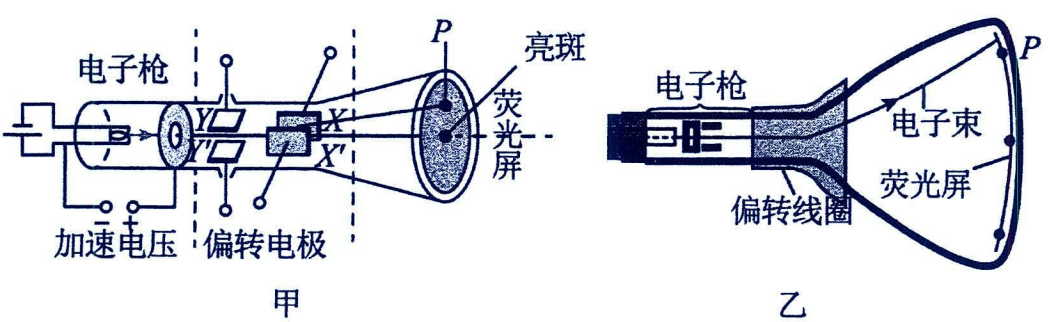
A．励磁线圈中电流方向为顺时针方向

B．仅将励磁线圈中的电流加倍，电子在磁场中运动的轨迹半径一定减半

C．仅将励磁线圈中的电流减半，电子在磁场做圆周运动的周期一定减半

D．若励磁线圈中的电流加倍，且电子枪的加速电压变为原来的 4 倍，则电子的运动轨迹不变

2．甲图是示波器的结构示意图，乙图是电视机显像管的结构示意图。二者相同的部分是电子枪（给电子加速形成电子束）和荧光屏（电子打在上面形成亮斑）；不同的是使电子束发生偏转的部分；示波器是利用电场使电子偏转（偏转电极），显像管是利用磁场使电子偏转（偏转线圈）。关于电子束从电子枪射出后到打在荧光屏上 P 点的过程中，下列说法正确的是（　　）



A．甲图中电子通过偏转电极速度发生了变化，乙图中电子通过偏转线圈速度没有变化

B．电子在通过两种装置的过程中运动轨迹是完全相同的

C．打在荧光屏上的电子，甲图中电子动能发生了变化，乙图中电子的动能没有变化

D．甲图中电子在偏转电极间做匀速圆周运动，乙图中电子通过偏转线圈做类平抛运动

第三讲：带电粒子在磁场中的运动

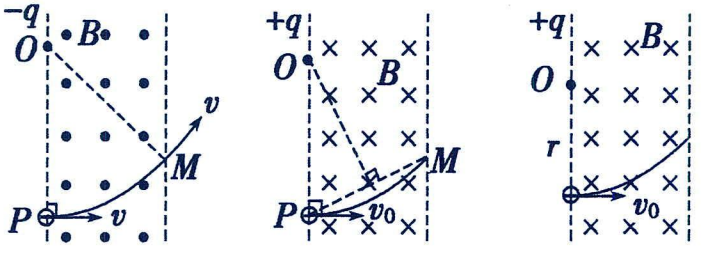
1.圆心的确定：知三定心

带电粒子在磁场中做匀速圆周运动时，入射点，入射方向，出射点，出射方向，半径五个条件，知道任意三个，即可确定圆心。如下三例：

(1)若已知粒子轨迹上的两点的速度方向，分别确定两点处洛伦兹力 F 的方向，其交点即为圆心，如图甲。

(2)若已知粒子运动轨迹上的两点和其中某一点的速度方向，弦的中垂线与速度垂线的交点即为圆心，如图乙。

(3)若已知粒子轨迹上某点速度方向，又能根据 $r=\frac{mv}{qB}$ 计算出轨迹半径 r，则在该点沿洛伦兹力方向距离为 r 的位置为圆心，如图丙。



甲　　乙　　丙

.2.半径的计算

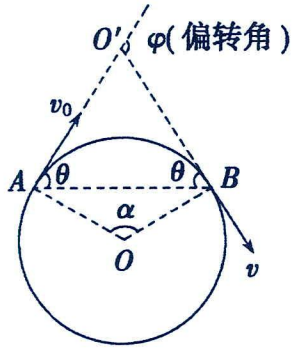
(1)利用动力学方程求半径：由 $qvB=m\frac{v^2}{R}$ 得 $R=\frac{mv}{qB}$ 求得。

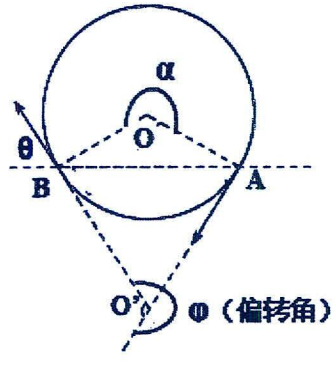
(2)利用几何关系求半径：一般连接粒子的入射点、出射点及圆心构造出三角形，再结合切线、轨迹圆弧对应的弦等辅助线，再利用几何关系，求解半径。

常用到的角度关系：①粒子的偏转角等于半径扫过的圆心角：$\varphi=\alpha$；

②沿劣弧由 A 运动到 B，弦切角等于弦所对应圆心角一半：$\theta=\frac{1}{2}\alpha$。

沿优弧由 B 运动到 A，弦切角等于弦所对应圆心角一半：$\theta=\pi-\frac{1}{2}\alpha$。





3.运动时间的计算：①利用圆心角α、周期 T 计算：$t=\frac{\alpha}{2\pi}T$。

②利用弧长、线速度计算：$t=\frac{l}{v}$ 。

考点一：带电粒子在有界磁场中的运动

模型概述：当带电粒子进入特殊磁场区域时，如圆形区域磁场，三角形区域磁场等，由于边界的限定，粒子在相应磁场区域偏转通常会存在临界情形。

解题要点：1.有界磁场中粒子偏转解题步骤

(1)画圆心：确定圆心；

(2)找联系：①半径公式$R=\frac{mv}{qB}$，周期公式$T=\frac{2\pi m}{qB}$；②由几何关系（勾股定理，三角函数等）确定半径；

③偏转角，圆心角，弦切角之间的关系；④运动时间与周期的关系$t=\frac{\alpha}{2\pi}T$。

(3)用规律：利用牛顿第二运动定律和圆周运动的规律等列方程式。

2.带电粒子在有边界的磁场中运动时，由于边界的限制往往会出现临界问题。

解决带电粒子在磁场中运动的临界问题的关键，通常以题目中的“恰好”“最大”“至少”等为突破口，寻找临界点，确定临界状态，根据磁场边界和题设条件画好轨迹，建立几何关系求解。

临界点常用的结论：

(1)刚好穿出磁场边界的条件是带电粒子在磁场中运动的轨迹与边界相切。

(2)当速度 v 一定时，弧长(或弦长)越长或者圆心角越大，则带电粒子在有界磁场中运动的时间越长。

(3)当速率 v 变化时，圆心角越大，运动时间越长。

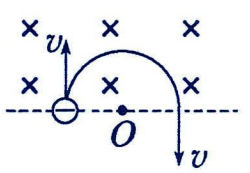
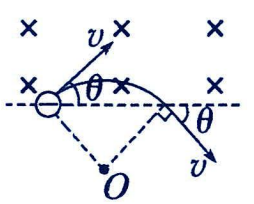
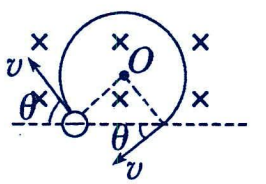
题型一：直线边界

解题要点：

1.直线边界进出磁场的对称性，如图。

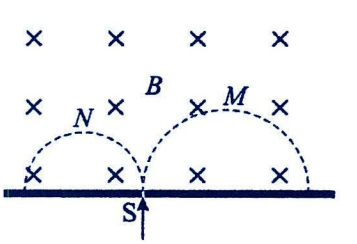
从某一直线边界射入的粒子，再从这一边界射出时，速度与边界的夹角相等，**简称“多大角度进，多大角度出”。**

2.直线边界中的几何关系与运动时间：

类型	半圆型	劣弧型	优弧型
图例			
几何关系	d=2R	d=2Rsinθ	d=2Rsinθ
运动时间	$t=\frac{T}{2}=\frac{\pi m}{qB}$	$t=\frac{2\theta T}{2\pi}=\frac{2\theta m}{qB}$	$t=\frac{2\pi-2\theta}{2\pi}T=\frac{2(\pi-\theta)m}{qB}$

【精选例题】

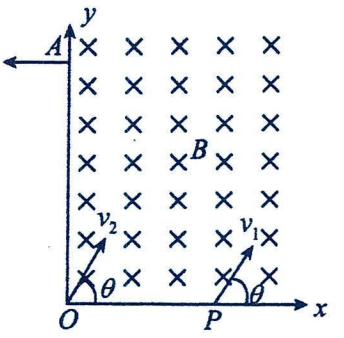
【例 1】质量和电荷量都相等的带电粒子 M 和 N，以不同的速率经小孔 S 垂直进入匀强磁场，运行的半圆轨迹如图中虚线所示，下列表述正确的是（　　）



A．M 带正电，N 带负电　　B．M 的速率小于 N 的速率

C．洛伦兹力对 M、N 做正功　　D．M 的运动时间等于 N 的运动时间

【例 2】如图所示，一个α粒子从x轴上的P点以速度v_1沿与x轴成$\theta=60°$的方向射入第一象限内的匀强磁场中，恰好垂直于y轴从A点射出第一象限。一个质子从坐标原点O以速度v_2沿与x轴成$\theta=60°$的方向射入第一象限，也恰好从A点射出第一象限。则$v_1:v_2$等于（　）



A．3:1　　B．1:3　　C．4:1　　D．1:4

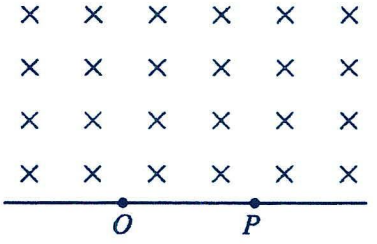
【例 3】（多选题）如图所示，在水平线OP的正上方存在垂直于纸面向里、磁感应强度大小为B的匀强磁场。从磁场边界上O点同时向纸面内不同方向发射速率均为v、质量均为m、电荷量均为-q(q>0)的两个带电粒子，两粒子均从边界上P点离开磁场，且OP的长度为$\frac{\sqrt{3}mv}{Bq}$，不计粒子的重力及相互作用力。以下说法正确的是（　）

A．两粒子在磁场中运动的加速度大小不同

B．两粒子射入磁场时速度方向与边界所成锐角均为 60°

C．两粒子在磁场运动过程中动量改变量大小均为$\sqrt{3}mv$

D．两粒子在磁场中运动的时间相差$\frac{\pi m}{3Bq}$



【跟踪训练】

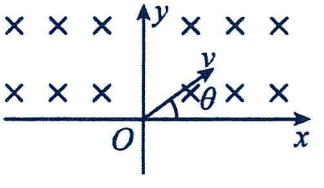
1．（多选题）如图所示，在x轴上方有一个无限大的垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为B；在xOy平面内，从原点O处以速率v发射一个带负电的粒子，方向与x轴正方向成θ角$(0<\theta<\pi)$，不计重力，则（　）

A．若θ一定，v越大，则粒子在磁场中运动的时间越短

B．若θ一定，v越大，则粒子离开磁场的位置距O点越远

C．若v一定，θ越大，则粒子在磁场中运动的时间越长

D．若v一定，θ越大，则粒子离开磁场的位置距O点越远



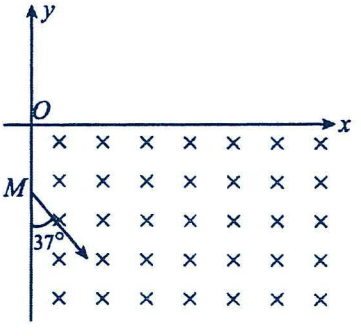
2．如图，在平面直角坐标系xOy中只有第四象限存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为B，点M的坐标为$(0,-d)$。一电荷量为q、质量为m的带电粒子以某一速度从点M与y轴负方向成37°角垂直磁场射入第四象限，粒子恰好垂直穿过x轴，已知$\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$。若不考虑粒子重力，下列说法正确的是（　）

A．粒子可能带负电

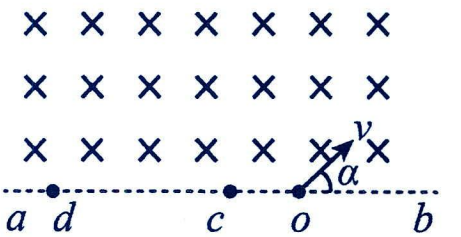
B．粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径为$\frac{5}{4}d$

C．粒子的速度大小为$\frac{5qdB}{3m}$

D．若仅减小磁感应强度大小，粒子可能不会穿过x轴



3．（多选题）如图所示，ab上方存在垂直纸面向里的匀强磁场，两比荷之比为k_1：k_2=1：3的带正电粒子A、B均由ab边上的ob点以与ab边成$\alpha(\alpha<90°)$角斜向右上方射入磁场，经过一段时间两粒子分别从ab边上的c、d两点射出。已知两粒子射入磁场的速度大小相等，$do>co$，忽略粒子的重力以及粒子间的相互作用。则下列说法正确的是（　　）



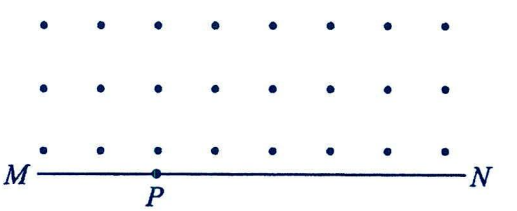
A．粒子A从c点射出

B．粒子A、B在磁场中运动的半径之比为3:1

C．粒子A、B在磁场中运动的速度偏转角之比为1:1

D．粒子A、B在磁场中运动的时间之比为1:1

4. 如图，在边界MN上方足够大的空间内存在垂直纸面向外的匀强磁场。两粒子${}_1^1\mathrm{H}$核与${}_1^2\mathrm{H}$核同时从MN上P点以相同的动能沿纸面飞入磁场，又同时从另一位置Q（图中未画出）飞出磁场。不计粒子重力及二者间的相互作用。二者在P点处速度方向间的夹角为（　　）



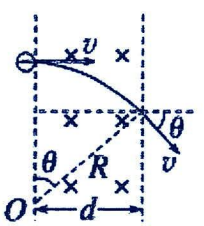
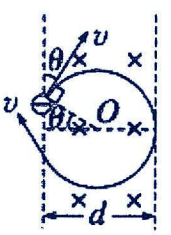
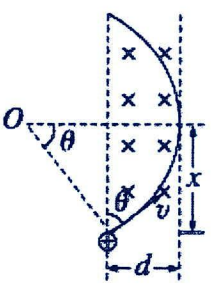
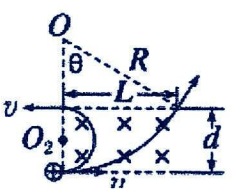
A．30°　　B．45°　　C．60°　　D．90°

题型二：平行边界

解题要点：

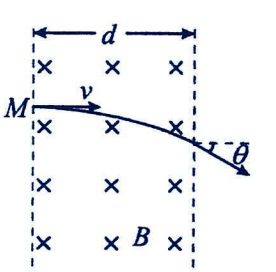
1.若涉及“最大”“最小”“刚好”“恰好”等临界问题，则轨迹圆大多与磁场边界相切，如图乙，丙，丁。

2.平行边界中的几何关系与运动时间：

图例				
几何关系	d=Rsinθ	d=R（1+cosθ）	R=d+Rcosθ	$d=R_1$（1-cosθ） $d=2R_2$
运动时间	$t=\frac{\theta m}{qB}$	$t=\frac{2(\pi-\theta)m}{qB}$	$t=\frac{2\theta m}{qB}$	$t_1=\frac{\theta m}{qB}$；$t_2=\frac{\pi m}{qB}$

【精选例题】

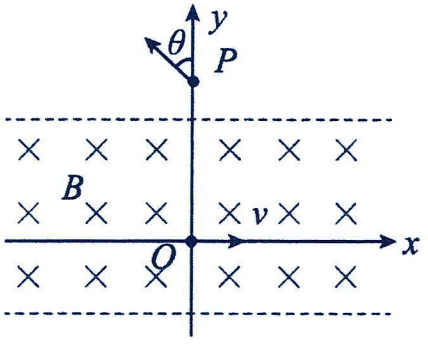
【例 1】如图所示，某带电粒子（重力不计）由M点以垂直于磁场以及磁场边界的速度v射入宽度为d，磁感应强度大小为B的匀强磁场中，穿出磁场时速度方向与原来射入方向的夹角为$\theta=30°$。由此推断该带电粒子（　）



A．带负电且动能增大　　B．粒子的运动半径为$\frac{d}{2}$

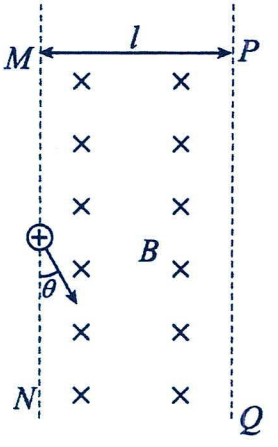
C．电荷量与质量的比值为$\frac{v}{2dB}$　　D．穿越磁场的时间为$\frac{2\pi d}{3v}$

【例 2】如图所示，xOy 坐标平面内一有界匀强磁场区域（边界平行 x 轴），方向垂直坐标平面向里。质量为 m、电荷量为 q 的粒子，以大小为 v 的初速度从 O 点沿 x 轴正方向开始运动，粒子经过 y 轴上到 O 点距离为 $\left(\sqrt{2}+1\right)d$ 的 P 点，此时粒子速度方向与 y 轴正方向的夹角 θ=45°。不计粒子所受的重力。求：(1)磁场的磁感应强度大小 B；(2)粒子从 O 点运动到 P 点的时间 t。



【跟踪训练】

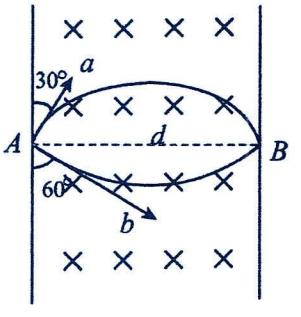
1．如图，真空区域有宽度为 l、磁感应强度为 B 的匀强磁场，方向如图所示，MN、PQ 是磁场的边界。质量为 m、电荷量为 q 的正电荷粒子（不计重力）沿着与 MN 夹角为 60°的方向射入磁场中，刚好没能从 PQ 边界射出磁场。下列说法正确的是（　　）



A．粒子射入磁场的速度大小为 $\frac{4qBl}{3m}$　　B．粒子射入磁场的速度大小为 $\frac{qBl}{3m}$

C．粒子在磁场中运动的时间为 $\frac{4\pi m}{3qB}$　　D．粒子在磁场中运动的时间为 $\frac{2\pi m}{3qB}$

2．如图所示，两个质量相等的带电粒子 a 和 b 分别以速度 v_a 和 v_b 射入足够长平行边界匀强磁场，磁场宽度为 d，两粒子的入射方向与磁场边界的夹角分别为30°和60°，两粒子同时由 A 点出发，同时到达 B 点，不计粒子重力及粒子间的影响，则（　　）



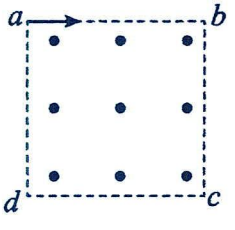
A．两粒子的周期之比为 $T_a:T_b=1:1$　　B．两粒子的轨迹半径之比为 $R_a:R_b=\sqrt{3}:1$

C．两粒子的电荷量之比为 $|q_a|:|q_b|=1:2$　　D．两粒子的速度之比为 $v_a:v_b=2:\sqrt{3}$

题型三：矩形边界

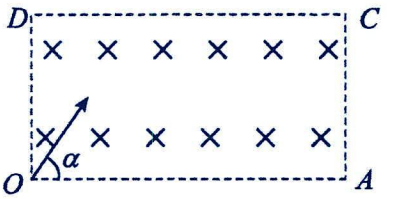
【精选例题】

【例 1】如图所示，边长为 l 的正方形 $abcd$ 区域内存在方向垂直纸面向外的匀强磁场，某时刻一带正电粒子从 a 点沿着 ab 方向以速度 v 进入磁场中，粒子恰好由 cd 边的中点射出磁场，已知粒子的质量为 m，电荷量为 q，不计粒子重力，则匀强磁场的磁感应强度大小为（　　）



A．$\frac{8mv}{5lq}$　　B．$\frac{7mv}{5lq}$　　C．$\frac{6mv}{5lq}$　　D．$\frac{4mv}{5lq}$

【例 2】（多选题）如图所示，$OACD$ 为矩形，OA 边长为 L，其内存在垂直纸面向里的匀强磁场。一质量为 m、带电荷量为 q 的粒子从 O 点以速度 v_0 垂直射入磁场，速度方向与 OA 的夹角为 $\alpha=60°$，粒子刚好从 A 点射出磁场。不计粒子重力，则（　　）



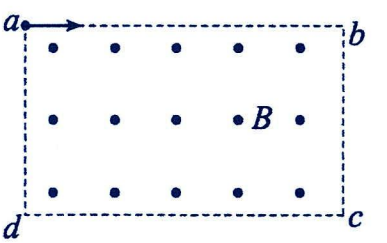
A．粒子带负电

B．匀强磁场的磁感应强度为 $\dfrac{mv_0}{qL}$

C．粒子在磁场中做圆周运动的轨迹半径为 $\dfrac{\sqrt{3}}{2}L$

D．为保证粒子能够刚好从 A 点射出磁场，OD 边长至少为 $\dfrac{\sqrt{3}}{6}L$

【例 3】如图所示，$abcd$ 为纸面内矩形的四个顶点，矩形区域内（含边界）处于垂直纸面向外的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B，$ad=L$，$ab=\sqrt{3}L$。一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子，从 a 点沿 ab 方向运动，不计粒子重力。下列说法正确的是（　）



A．粒子能通过 cd 边的最短时间 $t=\dfrac{\pi m}{qB}$

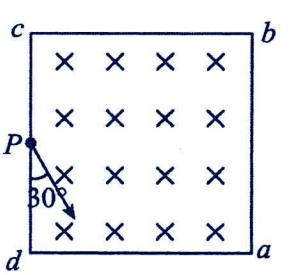
B．若粒子恰好从 c 点射出磁场，粒子速度 $v=\dfrac{qBL}{2m}$

C．若粒子恰好从 d 点射出磁场，粒子速度 $v=\dfrac{2qBL}{m}$

D．若粒子只能从 ad 边界射出磁场，则粒子的入射速度 $0<v\le\dfrac{qBL}{2m}$

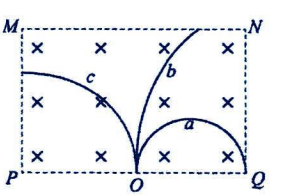
【跟踪训练】

1．如图所示，边长为 L 的正方形 $abcd$ 区域内分布磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向里的匀强磁场。从 cd 边的中点 P 处发射速率不同、质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子，粒子沿纸面与 Pd 成 30°的方向射入该磁场区域，不计粒子的重力及粒子间的相互作用。已知某一速率的粒子恰好能从 bc 边离开磁场，则该粒子入射的速度大小是（　　）



A．$v=\dfrac{qBL}{3m}$　　B．$v=\dfrac{qBL}{4m}$　　C．$v=\dfrac{3qBL}{m}$　　D．$v=\dfrac{4qBL}{m}$

2．如图所示。在 $MNQP$ 中有一垂直纸面向里匀强磁场。质量和电荷量都相等的带电粒子 a、b、c 以不同的速率从 O 点沿垂直于 PQ 的方向射入磁场。图中实线是它们的轨迹。已知 O 是 PQ 的中点。不计粒子重力。下列说法中正确的是（　　）



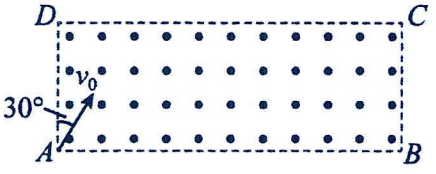
A．粒子 b 在磁场中运动的时间最短

B．射入磁场时粒子 c 的速率最小

C．粒子 c 带负电，粒子 a、b 带正电

D．若匀强磁场磁感应强度增大，其它条件不变，则 a 粒子运动时间不变

3．如图所示，在矩形 $ABCD$ 区域内存在垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，AD 边长为 L，AB 边长为 $\left(\sqrt{3}+1\right)L$。一质量为 m、带电荷量为 q 的正粒子从 A 点沿纸面以与 AD 成 30°角的方向射入磁场，粒子在磁场中运动的轨迹恰好与 CD 相切，不计粒子所受的重力。(1)求粒子射入磁场时的速度大小 v_0；(2)求粒子在磁场中运动的时间 t；(3)若仅减小粒子射入磁场时的速度大小，求粒子在磁场中运动的最长时间 t_{max}。

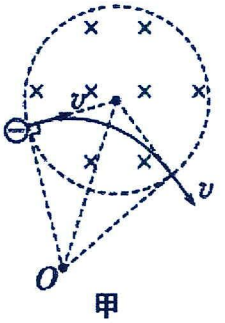


题型四：圆形边界

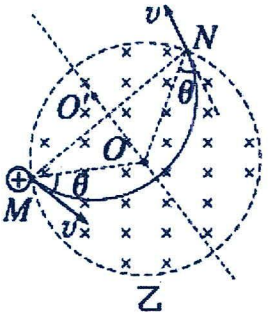
解题要点：在圆形磁场区域内，粒子进出磁场具有对称性。

(1)若粒子沿磁场圆的半径方向指向圆心射入，必沿半径背离圆心方向射出，即“指向圆心进，背离圆心出”，如图甲。

(2)若粒子不沿磁场圆的半径方向射入的粒子，入射速度与半径的夹角为θ，出射速度与半径的夹角也为θ，如图乙。



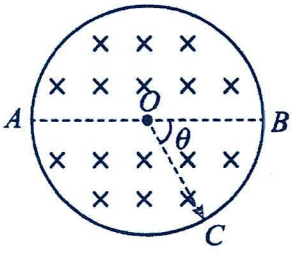
甲



乙

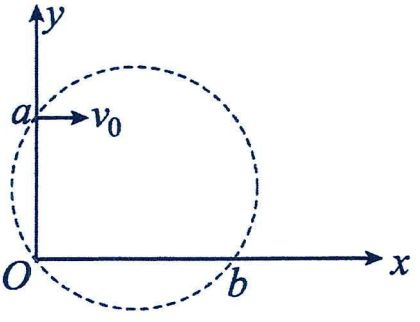
【精选例题】

【例 1】如图所示，一半径为 R 的圆形区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场，一质量为 m、电荷量为 q 的负电荷（重力忽略不计）以速度 v 沿正对着圆心 O 的方向射入磁场，从磁场中射出时速度方向改变了 θ 角。磁场的磁感应强度大小为（　　）



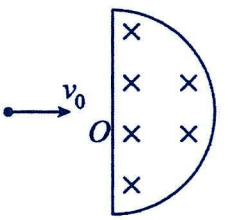
A. $\dfrac{mv}{qR\tan\dfrac{\theta}{2}}$　　B. $\dfrac{mv}{qR\cot\dfrac{\theta}{2}}$　　C. $\dfrac{mv}{qR\sin\dfrac{\theta}{2}}$　　D. $\dfrac{mv}{qR\cos\dfrac{\theta}{2}}$

【例 2】如图所示，在平面 Oxy 中的圆形区域内有一个垂直纸面向里匀强磁场，其边界过原点 O 和 y 轴上的点 a（0，L）。一电子从 a 点以初速度 v 平行于 x 轴正方向射入磁场，并从 x 轴上的 b 点射出磁场，此时速度方向与 x 轴正方向的夹角为 60°。电子在磁场中运动的时间为（　　）



A. $\dfrac{\pi L}{3v}$　　B. $\dfrac{2\pi L}{3v}$　　C. $\dfrac{\pi L}{2v}$　　D. $\dfrac{\pi L}{6v}$

【例 3】如图所示半圆形区域内，有垂直纸面向里的匀强磁场，一带电粒子第一次以 v_0 的速度对准圆心 O 垂直直径射入匀强磁场，粒子从该磁场中射出且向下偏转，偏转角度为 60°，然后该带电粒子第二次以 $\frac{5}{6}v_0$ 的速度还是对准圆心 O 垂直直径射入匀强磁场，忽略粒子受到的重力，则下面说法中正确的是（　）（已知 $\sin 37^\circ = 0.6$）



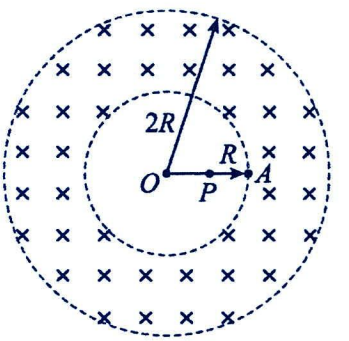
A．粒子带正电

B．粒子第二次的偏转角度为 50°

C．粒子第一次与第二次在磁场中的运动时间之比是 30∶37

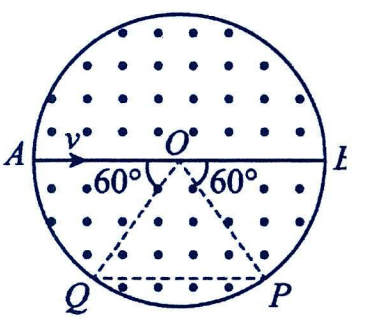
D．如果粒子的速度过小，可能会出现粒子不能射出磁场的情况

【例 4】科学仪器常常利用磁场将带电粒子“约束”在一定区域内，使其不能射出。某同学为探究带电粒子“约束”问题，构想了如图所示的磁场区域：匀强磁场的磁感应强度大小为 B、垂直于纸面，其边界分别是半径为 R 和 $2R$ 的同心圆，O 为圆心，A 为磁场内在圆弧上的一点，P 为 OA 的中点。若 P 点有一粒子源向纸面内的各个方向发射出比荷为 $\frac{q}{m}$ 的带负电粒子，粒子速度连续分布，且无相互作用。不计粒子的重力，则被磁场约束的粒子速度的最大值为（　）



A．$\frac{qBR}{m}$　　B．$\frac{3qBR}{4m}$　　C．$\frac{3qBR}{2m}$　　D．$\frac{\sqrt{2}qBR}{m}$

【例 5】如图所示，圆形区域内存在着垂直于纸面向外的匀强磁场，比荷相同的两个粒子 a、b 沿直径 AB 方向从 A 点射入磁场中，分别从圆弧上的 P、Q 两点射出，不计粒子重力，则两粒子在磁场中（　）



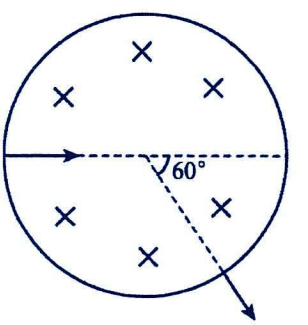
A．运动经历时间之比为 $t_a : t_b = 3:1$　　B．做匀速圆周运动周期之比为 $T_a : T_b = 2:1$

C．做匀速圆周运动的速率之比为 $v_a : v_b = 1:3$　　D．运动轨迹半径之比为 $r_a : r_b = 3:1$

，

【跟踪训练】

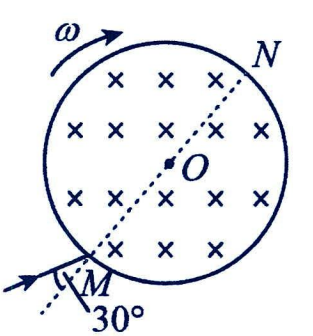
1．（多选题）如图所示，圆形区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B，一带电粒子（不计重力）以某一初速度沿圆的直径方向射入磁场，粒子穿过此区域的时间为 t，粒子飞出此区域时速度方向偏转角为 60°，根据以上条件可求下列物理量中的（　）



A．带电粒子的比荷　　B．带电粒子带正电

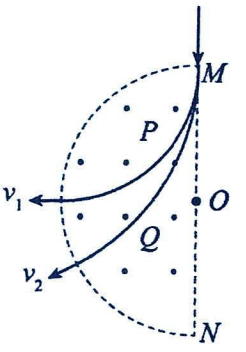
C．带电粒子在磁场中运动的周期　　D．带电粒子在磁场中运动的半径

2．一圆筒处于磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，磁场方向与筒的轴平行，筒的横截面如图所示。图中直径 MN 的两端分别开有小孔，筒绕其中心轴以角速度 ω 顺时针转动。在该截面内，一带电粒子从小孔 M 射入筒内，射入时的运动方向与 MN 成 30° 角。当筒转过 90° 时，该粒子恰好从小孔 N 飞出圆筒，不计重力。若粒子在筒内未与筒壁发生碰撞，则带电粒子的比荷为（　）



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

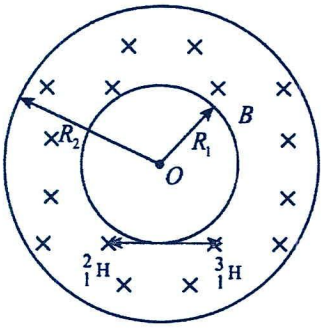
3．（多选题）如图所示，圆心为 O、半径为 R 的半圆形区域内有一垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。M、N 点在圆周上且 MON 为其竖直直径。现将两个比荷 k 相同的带电粒子 P、Q 分别从 M 点沿 MN 方向射入匀强磁场，粒子 P 的入射速度为 $v_1=v$，粒子 Q 的入射速度为 $v_2=\sqrt{3}v$，已知 P 粒子在磁场中的运动轨迹恰为 $\frac{1}{4}$ 圆弧，不计粒子的重力，不计粒子间的相互作用，下列说法正确的是（　　）



A．粒子 P 带正电，粒子 Q 带负电　　B．粒子 P 和粒子 Q 的周期相同

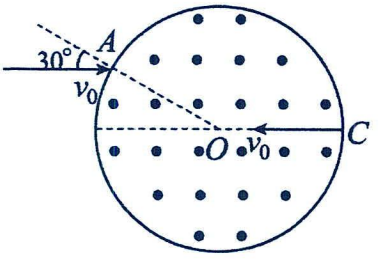
C．粒子 Q 的轨道半径为 $\frac{\sqrt{3}v}{kB}$　　D．粒子 P 和粒子 Q 在磁场中的运动时间之比为 $\frac{2}{3}$

4．2023 年 4 月，我国有“人造太阳”之称的托卡马克核聚变实验装罪创造了新的世界纪录。其中磁约束的简化原理如图：在半径为 R_1 和 R_2 的真空同轴圆柱面之间，加有与轴线平行的匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里，$R_2=2R_1$。假设氘核 ${}_1^2\mathrm{H}$ 沿内环切线向左进入磁场，氚核 ${}_1^3\mathrm{H}$ 沿内环切线向右进入磁场，二者均恰好不从外环射出。不计重力及二者之间的相互作用，则 ${}_1^2\mathrm{H}$ 和 ${}_1^3\mathrm{H}$ 的动量之比为（　　）



A．1∶2　　B．2∶3　　C．1∶3　　D．3∶1

5．如图所示，在纸面内半径为 R 的圆形区域中充满了垂直纸面向外的匀强磁场，AO 与水平方向的夹角为 30°。现有氢的同位素 ${}_1^1\mathrm{H}$ 粒子从 A 点沿水平方向以大小为 v_0 的速度垂直射入磁场，其离开磁场时，速度方向刚好改变了 180°；氢的另一同位素 ${}_1^2\mathrm{H}$ 粒子以大小为 v_0 的速度从 C 点沿 CO 方向垂直射入磁场。已知 ${}_1^1\mathrm{H}$ 的电荷量为 e，质量为 m，不计粒子的重力和两粒子间的相互作用。下列说法中正确的是（　　）



A．${}_1^2\mathrm{H}$ 粒子竖直向下射出磁场

B．该匀强磁场的磁感应强度 $B=\frac{mv_0}{eR}$

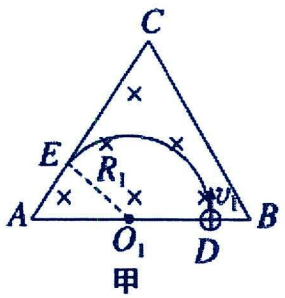
C．两粒子在磁场中运动的时间不相同

D．两粒子从圆形边界的射出点和圆形区域圆心 O 构成的三角形面积 $S=\frac{\sqrt{3}}{4}R^2$

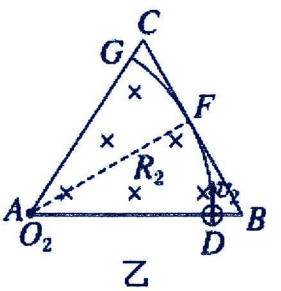
题型五：三角形边界

解题要点：

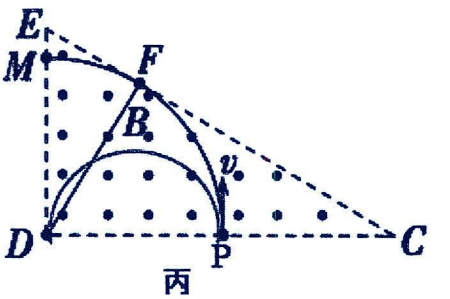
(1)正三角形边界磁场：如图所示是△ABC 区域内某正粒子垂直 AB 方向进入磁场的临界轨迹示意图。粒子能从 AC 间射出的两个临界轨迹如图甲、乙所示。



甲



乙



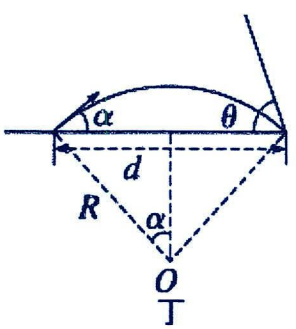
丙

(2)直角三角形边界磁场：如图△CDE 区域内，某负粒子垂直于 DC 方向进入磁场的临界轨迹示意图，粒子能从 CD 间射出的两个临界轨迹 PM，PD，如图丙所示。

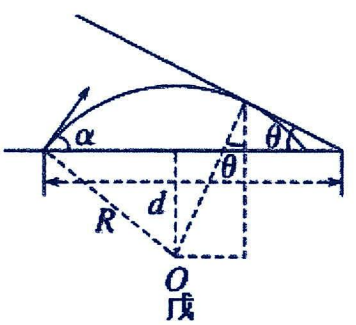
(3)多边形或角形边界中，能否从某顶点射出临界情形分析

①当α≤θ时，可以过两磁场边界的交点，发射点到两磁场边界的交点距离为 d＝2Rsinα，如图丁；

②当α>θ时，不能通过两磁场边界的交点，粒子的运动轨迹会和另一个边界相切，如图戊。



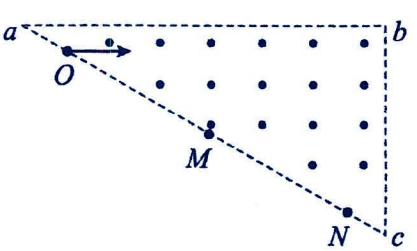
丁



戊

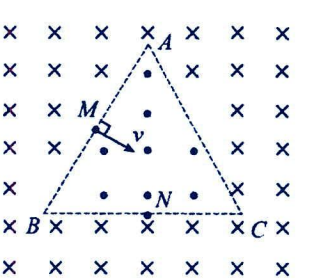
【精选例题】

【例 1】如图所示，在直角三角形 *abc* 区域内有匀强磁场，磁场方向垂直于纸面向外，$\angle a=30°$。一质子${}_1^1\mathrm{H}$以 v_0 的速度沿平行于 *ab* 的方向从 *O* 点射入三角形区域，经时间 *t* 从 *ON* 的中点 *M* 离开磁场，若一 α 粒子${}_2^4\mathrm{He}$以 v_0 的速度从 *O* 点沿相同的方向射入，则 α 粒子在磁场中的运动时间为（　）



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

【例 2】（多选题）如图所示，边长为 *L* 的等边三角形 *ABC* 区域内外分别有垂直平面向外和垂直平面向里的匀强磁场，磁感应强度大小均为 *B*。从 *AB* 的中点 *M* 处以某一速度沿 *MC* 方向发射一粒子，粒子射出后第三次经过磁场边界时的位置为 *BC* 中点 *N*，且速度方向垂直于 *BC*。已知粒子质量为 *m*、电荷量为＋*q*，不计粒子重力，则粒子（　）

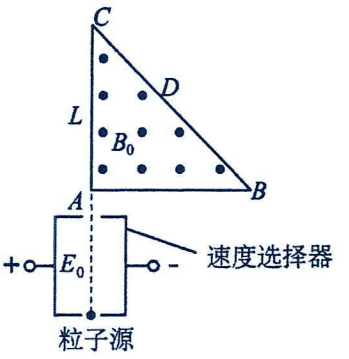


A．做圆周运动的半径为$\frac{1}{6}L$　　B．运动速度的大小为$\frac{qBL}{3m}$

C．第一次经过 *N* 时的速度沿 *NA* 方向　　D．从发射到第一次经过 *N* 点的时间为$\frac{11\pi m}{3qB}$

【跟踪训练】

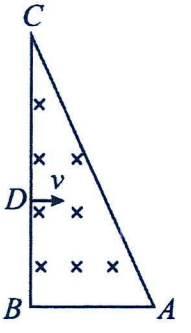
1．（多选题）如图所示，直角边长为L等腰直角三角形ΔABC区域内存在垂直纸面向外，磁感应强度大小为B_0的匀强磁场，一速度选择器入口（粒子源处）与出口的连线与直角边AC共线。速度选择器与一恒压电源相连，两极板间所形成的匀强电场的场强为E_0，两极板间所加的匀强磁场与纸面垂直。粒子源射出一比荷为k的粒子，经过速度选择器后，正好从A点沿AC的方向垂直磁场进入，最后垂直打在BC边上的D点射出，不计粒子的重力以及粒子间的相互作用，下列说法正确的是（　）



A．速度选择器的磁场垂直纸面向里　　B．D点是BC的中点

C．速度选择器的磁场的磁感应强度的大小为$\frac{E_0}{B_0Lk}$　　D．粒子从A到D的运动时间为$\frac{\pi}{6B_0k}$

2．如图所示，直角三角形的AB边长为L，$\angle C=30°$，三角形区域内存在着方向垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为B。一质量为m、电荷量为q的带正电粒子从D点沿着垂直BC边的方向以速度v射入磁场，CD间距离为L，不计粒子受到的重力。下列说法正确的是（　）



A．粒子在磁场中运动的最长时间为$\frac{2\pi m}{qB}$　　B．$v=\frac{BqL}{m}$时，带电粒子垂直于AC边射出磁场

C．若粒子从BC边射出磁场，则$v<\frac{BqL}{2m}$　　D．若粒子从AC边射出磁场，则$v>\frac{BqL}{4m}$

考点二：带电粒子在磁场中运动的多解问题

模型概述：带电粒子在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动，由于带电粒子电性不确定、磁场方向不确定、临界状态不确定、运动的往复性造成带电粒子在有界匀强磁场中运动的多解问题。

接解题要点：(1)找出多解的原因；(2)画出粒子的可能轨迹，找出圆心、半径的可能情况。

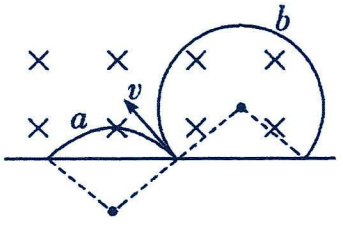
（3）若为周期性重复的多解问题，寻找通项式，若是出现几种解的可能性，注意每种解出现的条件。

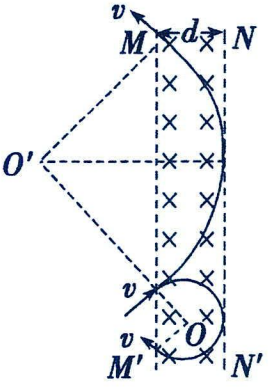
题型一：粒子电性不确定引起的多解

解题要点：受洛伦兹力作用的带电粒子，可能带正电荷，也可能带负电荷；

在相同的初速度下，正、负粒子在磁场中运动轨迹不同，形成多解，如图所示；

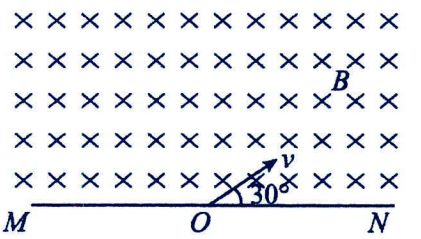
带电粒子以速度 v 垂直进入匀强磁场：若带正电，其轨迹为 a；若带负电，其轨迹为 b。





【精选例题】

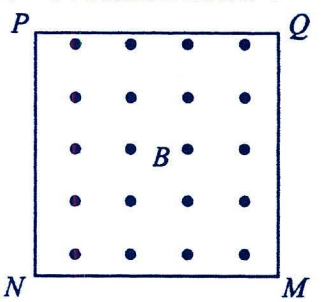
【例 1】（多选题）如图所示，匀强磁场的磁感应强度为 B，方向垂直纸面向里，MN 是它的下边界。现有质量为 m、电荷量为 q 的带电粒子与 MN 成 30°角垂直射入磁场，则粒子在磁场中运动的时间可能为（　　）



A. $\dfrac{\pi m}{3qB}$　　B. $\dfrac{2\pi m}{3qB}$　　C. $\dfrac{4\pi m}{3qB}$　　D. $\dfrac{5\pi m}{3qB}$

【跟踪训练】

1.（多选题）如图所示，在边长为 L 的正方形 $PQMN$ 区域内存在垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，在 MN 边界放一刚性挡板，粒子能碰到挡板则能够以原速率弹回（水平速度不变，竖直方向速度等大反向）。一质量为 m、带电荷量为 q 的粒子以某一速度从 P 点射入，恰好从 Q 点射出。下列说法正确的是（　　）



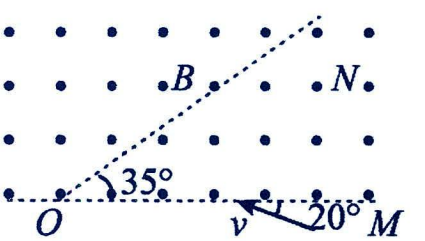
A. 带电粒子一定带负电荷

B. 带电粒子的速度最小值为 $\dfrac{qBL}{4m}$

C. 若带电粒子与挡板碰撞，则受到挡板作用力的冲量可能为 $\dfrac{5qBL}{2}$

D. 带电粒子在磁场中运动时间可能为 $\dfrac{\pi m}{3qB}$

2.（多选题）平面 OM 和平面 ON 之间的夹角为 35°，其横截面（纸面）如图所示，平面 OM 上方存在匀强磁场，大小为 B，方向垂直于纸面向外。一质量为 m，电荷量绝对值为 q、电性未知的带电粒子从 OM 上的某点向左上方射入磁场，速度与 OM 成 20°角，运动一会儿后从 OM 上另一点射出磁场。不计重力。则下列几种情形可能出现的是（　）



A. 粒子在磁场中运动的轨迹与 ON 只有一个公共点，在磁场中运动的时间是 $\dfrac{2\pi m}{9qB}$

B. 粒子在磁场中运动的轨迹与 ON 只有一个公共点，在磁场中运动的时间是 $\dfrac{16\pi m}{9qB}$

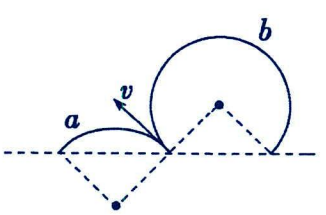
C. 粒子在磁场中运动的轨迹与 ON 共有两个公共点，在磁场中运动的时间是 $\dfrac{2\pi m}{9qB}$

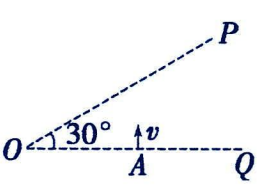
D. 粒子在磁场中运动的轨迹与 ON 共有两个公共点，在磁场中运动的时间是 $\dfrac{16\pi m}{9qB}$

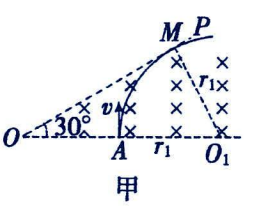
题型二：磁场方向不确定引起的多解

解题要点：只知道磁感应强度大小，而未具体指出磁感应强度的方向，此时必须要考虑磁感应强度方向不确定而形成多解；

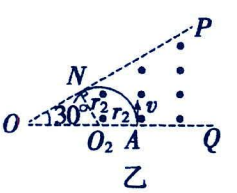
如左图，带正电粒子以速度 v 垂直进入匀强磁场，若 B 垂直纸面向里，其轨迹为 a，若 B 垂直纸面向外，其轨迹为 b；如右图，由 A 入射，出现甲、乙两种情形。







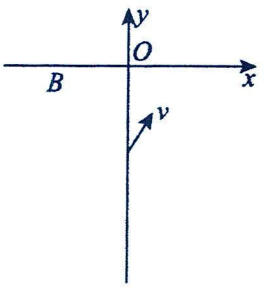
甲



乙

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示的 xOy 坐标系中，y 轴的左侧存在垂直纸面向外、磁感应强度大小未知的匀强磁场，y 轴右侧的匀强磁场垂直纸面方向且大小未知，一带正电的粒子由 y 轴上（0，$-L$）处沿与 y 轴正方向成 30°角的方向以速度 v 射入磁场，已知粒子的比荷为 k，粒子在 y 轴右侧的轨道半径为 L，最终粒子经过 O 点，粒子重力不计。下列说法正确的是（　　）



A．若 y 轴右侧的磁场垂直纸面向里，则 y 轴右侧的磁感应强度大小为 $\frac{v}{kL}$

B．若 y 轴右侧的磁场垂直纸面向里，则粒子从射入到运动至 O 点的时间为 $\frac{\pi L}{v}$

C．若 y 轴右侧的磁场垂直纸面向外，则粒子从射入到运动至 O 点的时间可能为 $\frac{\pi L}{v}$

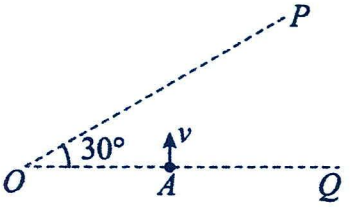
D．若 y 轴右侧的磁场垂直纸面向外，则粒子从射入到运动至 O 点的时间可能为 $\frac{7\pi L}{3v}$

【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示，A 点的离子源沿纸面垂直 OQ 方向向上射出一束负离子，离子的重力忽略不计。为把这束负离子约束在 OP 之下的区域，可加垂直纸面的匀强磁场。已知 O、A 两点间的距离为 s，负离子的比荷为 $\frac{q}{m}$，速率为 v，OP 与 OQ 间的夹角为 30°，则所加匀强磁场的磁感应强度 B 的大小和方向可能是（　　）

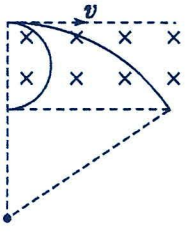
A．$B>\frac{mv}{3qs}$，垂直纸面向里　　B．$B>\frac{mv}{qs}$，垂直纸面向里

C．$B>\frac{mv}{qs}$，垂直纸面向外　　D．$B>\frac{3mv}{qs}$，垂直纸面向外



题型三：临界条件不确定引起的多解

解题要点：如图，带电粒子在洛伦兹力作用下飞越有界磁场时，由于粒子运动轨迹是圆弧状；因此，它可能穿过磁场飞出，也可能转过 180°从入射界面一侧反向飞出，于是形成多解。



【精选例题】

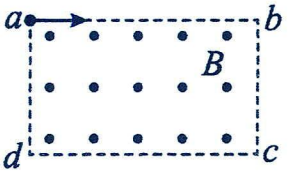
【例 1】如图所示，$abcd$ 为纸面内矩形的四个顶点，矩形区域内（含边界）处于垂直纸面向外的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B，$ad=L$，$ab=\sqrt{3}L$。一质量为 m、电荷量为 q（$q>0$）的粒子，从 a 点沿 ab 方向运动，不计粒子重力。下列说法正确的是（　　）

A．粒子能通过 cd 边的最短时间 $t=\frac{\pi m}{2qB}$

B．若粒子恰好从 d 点射出磁场，粒子速度 $v=\frac{2qBL}{m}$

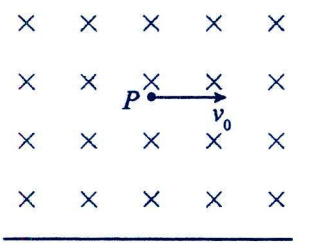
C．若粒子恰好从 c 点射出磁场，粒子速度 $v=\frac{2qBL}{m}$

D．若粒子只能从 ad 边界射出磁场，则粒子的入射速度 $0<v\leq\frac{2qBL}{m}$



【跟踪训练】

1. 长度为 L 的水平板上方区域存在垂直纸面向里、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，从距水平板中心正上方 $\frac{L}{2}$ 的 P 点处以水平向右的速度 v_0 释放一个质量为 m、电荷量为 e 的电子，若电子能打在水平板上，速度 v_0 应满足（　　）

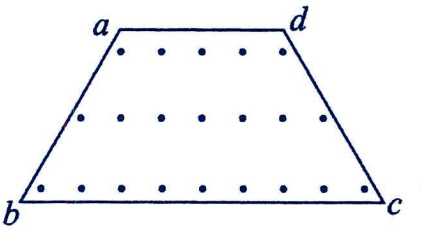


A. $v_0>\frac{eBL}{2m}$　　B. $v_0<\frac{eBL}{4m}$

C. $\frac{eBL}{4m}<v_0<\frac{eBL}{2m}$　　D. $v_0>\frac{eBL}{2m}$ 或 $v_0<\frac{eBL}{4m}$

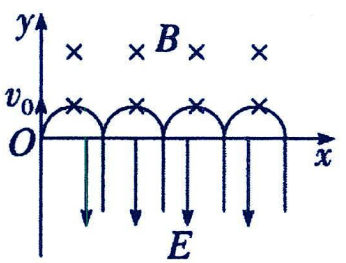
2. （多选题）如图所示，空间中有一个底角均为60°的梯形，上底与腰长相等为 L，梯形处于磁感应强度大小为 B、垂直于纸面向外的匀强磁场中，现 c 点存在一个粒子源，可以源源不断射出速度方向沿 cd，大小可变的电子，电子的比荷为 k，为使电子能从 ab 边射出，速度大小可能为（　　）

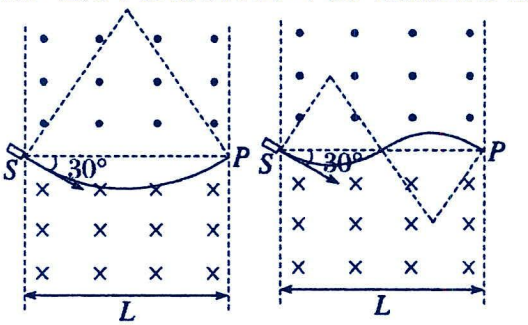
A. $\frac{\sqrt{3}kBL}{2}$　　B. $\frac{3\sqrt{3}kBL}{4}$　　C. $\frac{5\sqrt{3}kBL}{6}$　　D. $\frac{4\sqrt{3}kBL}{3}$



题型四：运动的往复性引起的多解

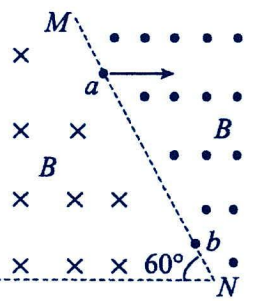
解题要点：带电粒子在部分是电场、部分是磁场空间运动时，运动往往具有周期性，因而形成多解，如左图。带电粒子在磁场中运动，虽然知道经过的几个特殊点，但是不能确定轨迹和半径，故而形成多解，如右图。





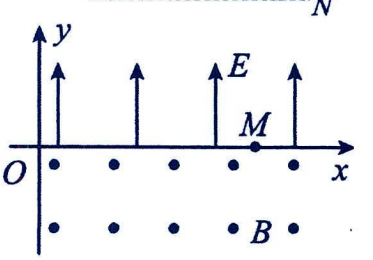
【精选例题】

【例 1】如图，直线 MN 与水平方向成 60°角，MN 的右上方存在垂直纸面向外的匀强磁场，左下方存在垂直纸面向里的匀强磁场，两磁场的磁感应强度大小均为 B．一粒子源位于 MN 上的 a 点，能水平向右发射不同速率、质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的同种粒子（重力不计，粒子间的相互作用不计），所有粒子均能通过 MN 上的 b 点，已知 $ab=L$，则粒子的速度可能是（　　）



A. $\frac{\sqrt{3}qBL}{m}$　　B. $\frac{\sqrt{3}qBL}{2m}$　　C. $\frac{\sqrt{3}qBL}{3m}$　　D. $\frac{\sqrt{3}qBL}{4m}$

【例 2】（多选题）如图，在 x 轴上方且 $x>0$ 的区域有场强为 E、垂直 x 轴向上的匀强电场，在 x 轴下方且 $x>0$ 的区域有磁感应强度为 B、方向垂直纸面向外的匀强磁场，M 点在 x 轴上，OM 的长度为 L。现把电子（质量为 m、电荷量为 e）在某位置（$x>0$）无初速释放，要求能通过 M 点，则电子释放时的坐标 x、y 应满足的关系为（　　）

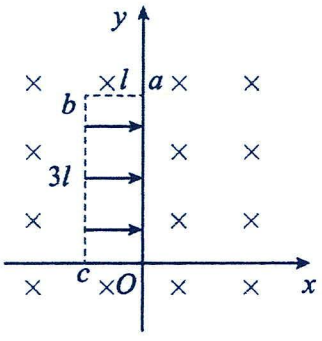


A. $x=L$，$y<0$　　B. $x=L$，$y>0$

C. $y=\frac{eB^2(L-x)^2}{8n^2mE}(n=1,2,3,\cdots)$　　D. $0<x<L$，$y=\frac{eB^2(L-x)^2}{8n^2mE}(n=1,2,3,\cdots)$

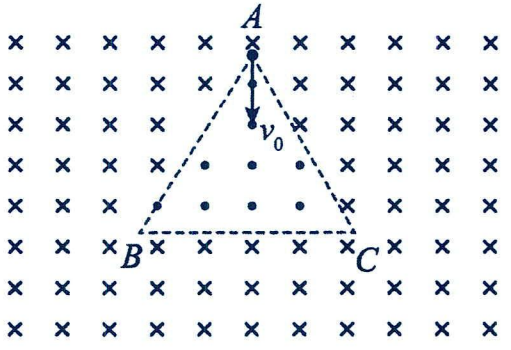
【例 3】如图，在 $-l \le x \le 0$，$0 \le y \le 3l$ 的区域中，存在沿 x 轴正方向电场强度为 E 的匀强电场，场的周围分布着垂直于纸面向里的磁感应强度为 B 的匀强磁场。一个带正电的粒子从 c 静止释放，粒子恰好从 a 点第三次进入电场。不计粒子的重力。求：（1）求带电粒子的荷质比 k；

（2）求电场强度多大时带电粒子垂直 ab 第三次进入电场。



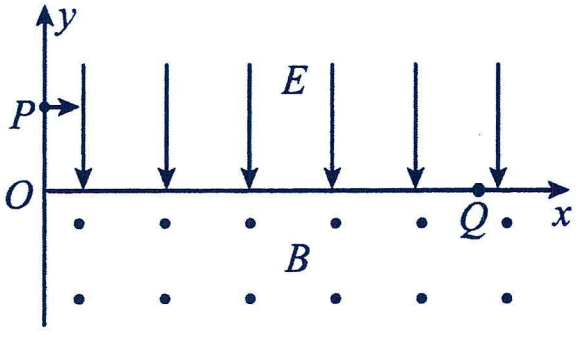
【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示，边长为 $3L$ 的等边三角形 ABC 内、外分布着两方向相反的匀强磁场，三角形内磁场方向垂直纸面向外，两磁场的磁感应强度大小均为 B。顶点 A 处有一粒子源，粒子源能沿 $\angle BAC$ 的角平分线发射不同速率的粒子，粒子质量均为 m、电荷量均为 $+q$ 不计粒子重力及粒子间的相互作用力，则发射速度 v_0 为哪些值时粒子能通过 B 点（　　）



A. $\frac{3qBL}{m}$　　B. $\frac{2qBL}{m}$　　C. $\frac{qBL}{m}$　　D. $\frac{2qBL}{3m}$

2．如图所示，在直角坐标系 xOy 中，第一象限内有沿 y 轴负向的匀强电场，场强大小为 E，第四象限内有垂直 xOy 平面向外的匀强磁场，磁感应强度大小为 B．现有一正粒子从 y 轴上坐标为 $(0，h)$ 的 P 点，沿 x 轴正向射入第一象限，能通过 x 轴上坐标为 $(7h，0)$ 的 Q 点．已知粒子的比荷满足关系：$\frac{q}{m}=\frac{2E}{B^2h}$，不计粒子重力，求粒子在 P 点入射速度的所有可能值(用 E，B 表示)．

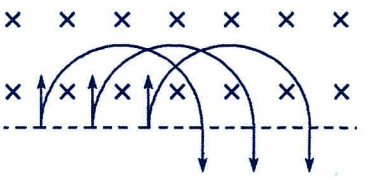


考点三：磁场中粒子源问题分析

题型一：定圆平移问题

模型概述：将半径为 $R=\frac{mv_0}{qB}$ 的圆进行平移，从而探索出粒子运动的临界条件，即为“定圆平移”。

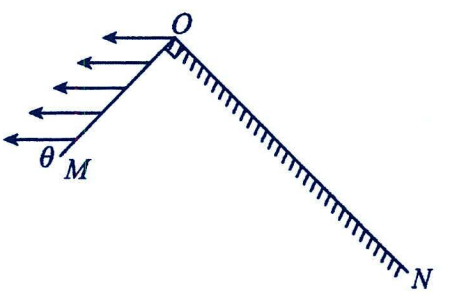
模型条件：粒子源发射速度大小、方向一定，入射点不同但在同一直线上的同种带电粒子进入匀强磁场时，它们做匀速圆周运动的半径相同，若入射速度大小为 v_0，则半径 $R=\frac{mv_0}{qB}$，如图所示。



模型特点：带电粒子轨迹圆的圆心在同一直线上、且该直线与入射点的连线平行(或共线)

【精选例题】

【例 1】如图，空间存在垂直于纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场（未画出），线状粒子源 OM 与屏 ON 垂直，$ON=2OM=2L$，粒子源能发射质量为 m、电荷量为 $+q$、速度大小为 v，方向与磁场垂直且与 OM 夹角 $\theta=45°$ 的粒子，已知 $v=\frac{\sqrt{2}qBL}{2m}$，不计粒子重力，则屏 ON 上有粒子打到的区域长度为（　）



A．L　　B．$\left(\sqrt{2}-1\right)L$　　C．$\frac{2-\sqrt{2}}{2}L$　　D．$\frac{\sqrt{2}-1}{2}L$

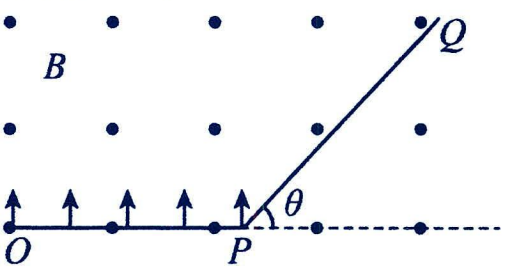
【例 2】（多选题）如图所示，在水平边界 OP 上方有磁感应强度大小为 B、方向垂直纸面向外的匀强磁场，OP 距离为 2m，PQ 是一足够长的挡板，OP 延长线与 PQ 的夹角为θ，粒子打在挡板上均被吸收。在 O、P 之间有大量质量、电荷量和速度都相同的粒子，速度方向均垂直于边界 OP，且在纸面内。其中从 OP 中点射入的粒子恰能垂直打在挡板上（不计粒子重力及其相互作用）。则下列说法正确的是（　　）

A．当 $\theta=30°$ 时，PQ 上被粒子打中区域的长度为 $\sqrt{3}$m

B．当 $\theta=30°$ 时，PQ 上被粒子打中区域的长度为 2m

C．当 $\theta=60°$ 时，PQ 上被粒子打中区域的长度为 $\frac{2\sqrt{3}}{3}$m

D．当 $\theta=60°$ 时，PQ 上被粒子打中区域的长度为 1m



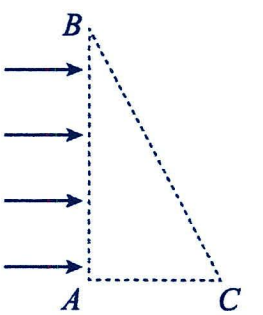
【例 3】（多选题）如图所示，在直角三角形 ABC 内充满垂直纸面向外的匀强磁场（图中未画出），AB 边长度为 d，$\angle B=\frac{\pi}{6}$。现垂直 AB 边射入一束质量均为 m、电荷量均为 q、速度大小均为 v 的带正电粒子。已知垂直 AC 边射出的粒子在磁场中运动的时间为 t_0，而运动时间最长的粒子在磁场中的运动时间 $\frac{4}{3}t_0$（不计重力），则下列说法正确的是（　）

A．粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期为 $4t_0$

B．该匀强磁场的磁感应强度大小为 $\frac{\pi m}{2qt_0}$

C．粒子在磁场中运动的轨道半径为 $\frac{3}{5}d$

D．粒子进入磁场时速度大小为 $\frac{3\pi d}{5t_0}$



【跟踪训练】

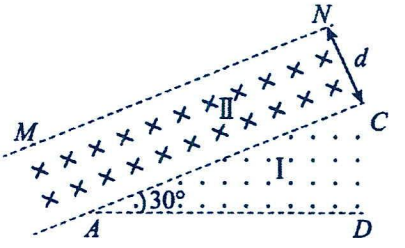
1．（多选题）如图，在I、II两个区域内存在磁感应强度均为 B 的匀强磁场，磁场方向分别垂直于纸面向外和向里，AD、AC 边界的夹角 $\angle DAC=30°$，边界 AC 与边界 MN 平行，II区域宽度为 d．质量为 m、电荷量为 $+q$ 的粒子可在边界 AD 上的不同点射入，入射速度垂直 AD 且垂直磁场，若入射速度大小为 $\frac{qBd}{m}$，不计粒子重力，则（　　）

A．粒子在磁场中的运动半径为 $\frac{d}{2}$

B．粒子距 A 点 $0.5d$ 处射入，不会进入II区

C．粒子距 A 点 $1.5d$ 处射入，在I区内运动的时间为 $\frac{\pi m}{Bq}$

D．能够进入II区域的粒子，在II区域内运动的最短时间为 $\frac{\pi m}{3Bq}$



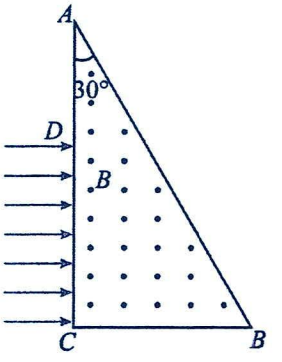
2．（多选题）如图所示，直角三角形 ABC 区域内有垂直于纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，AC 边长为 L，$\angle A=30°$．带正电的粒子流（其重力忽略不计）以相同速度在 CD 范围内垂直 AC 边射入（不计粒子间的相互作用力），从 D 点射入的粒子恰好不能从 AB 边射出．已知从 BC 边垂直射出的粒子在磁场中运动的时间为 $3t$，在磁场中运动时间最长的粒子所用时间为 $4t$，则（　）

A．粒子的比荷为 $\frac{\pi}{3Bt}$

B．粒子运动的轨道半径为 $\frac{2}{5}L$

C．粒子射入磁场的速度大小为 $\frac{2\pi L}{15t}$

D．粒子流在磁场中扫过的面积为 $\frac{\pi+2}{25}L^2$



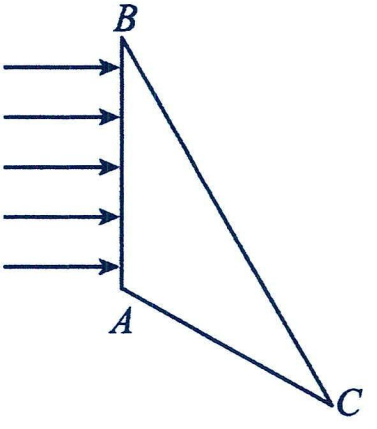
3．如图所示，在三角形 BAC 内充满垂直纸面向外的匀强磁场（图中未画出），AB 边长度为 d，$\angle B=\angle C=\frac{\pi}{6}$。一群质量均为 m、电荷量均为 q、速度大小均为 v 的带正电粒子垂直 AB 边射入磁场，已知从 AC 边射出且速度垂直于 AC 边的粒子在磁场中运动的时间为 t_0，而在此边射出的粒子，在磁场中的运动最长时间为 $\frac{5}{4}t_0$。（不计粒子重力和粒子间相互作用力）。则下列判断中正确的是（　　）

A．粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期为 $4t_0$

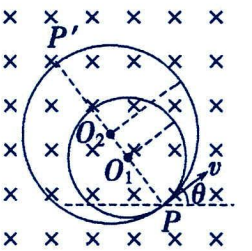
B．该匀强磁场的磁感应强度大小为 $\frac{\pi\ m}{2qt_0}$

C．题中运动时间最长的粒子射出点距 A 点 $\frac{d}{2\sqrt{3}+1}$

D．粒子进入磁场时速度大小为 $\frac{\sqrt{3}\pi\ d}{6t_0}$



题型二：动圆缩放问题



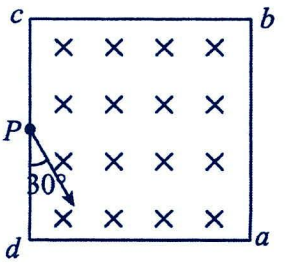
模型概述：以入射点 P 为定点，圆心位于 PP′直线上，将半径放缩作轨迹圆，从而探索出粒子运动的临界条件，即为“动圆放缩”。

模型条件：粒子源发射速度方向一定，大小不同的同种带电粒子进入匀强磁场时，这些带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨迹半径随速度的变化而变化。

模型特点：轨迹圆的圆心共线：如图所示(图中只画出粒子带正电的情景)，速度 v 越大，运动半径也越大。可以发现这些带电粒子射入磁场后，它们运动轨迹的圆心在垂直初速度方向的直线 PP′上。

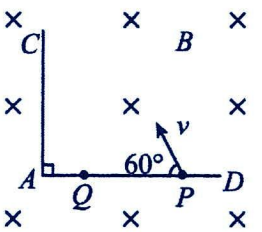
【精选例题】

【例 1】如图所示，边长为 L 的正方形 abcd 区域内分布磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向里的匀强磁场。从 cd 边的中点 P 处发射速率不同、质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子，粒子沿纸面与 Pd 成 30°的方向射入该磁场区域，不计粒子的重力及粒子间的相互作用。已知某一速率的粒子恰好能从 bc 边离开磁场，则该粒子入射的速度大小是（　　）



A．$v=\frac{qBL}{3m}$　　B．$v=\frac{qBL}{4m}$　　C．$v=\frac{3qBL}{m}$　　D．$v=\frac{4qBL}{m}$

【例 2】如图所示 AC、AD 两块挡板垂直纸面放置，夹角为 90°，整个装置处于垂直纸面向里的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B。一束质量为 m、电荷量为+q 的粒子，从 AD 板上的小孔 P 处以不同速率垂直于磁场方向射入，速度方向与 AD 板的夹角为 60°，$PQ=\frac{3}{4}PA$，不计粒子的重力和粒子间的相互作用，则打在 Q 点的粒子和垂直打在 AC 板的粒子的速率之比为（　　）

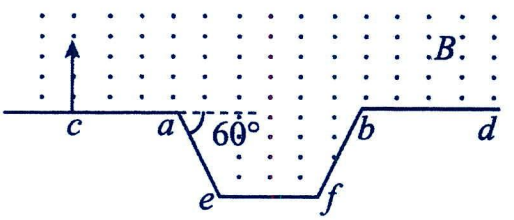


A．4:3　　B．3:4　　C．3:8　　D．8:3

【例 3】如图所示，匀强磁场的磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面向外，其边界如图中实线所示，a、 b、c、d 四点共线，ab =2ac=2ae, fe 与 ab 平行，且 ae 与 ab 成 60°角。一粒子束在纸面内从 c 点垂直于 ac 射入磁场，粒子质量均为 m、电荷量均为 q（q>0），具有各种不同速率。不计重力和粒子之间的相互作用。在磁场中运动时间最长的粒子，其运动时间为（　　）

A．$\frac{3\pi m}{2qB}$　　B．$\frac{4\pi m}{3qB}$

C．$\frac{5\pi m}{4qB}$　　D．$\frac{6\pi m}{5qB}$



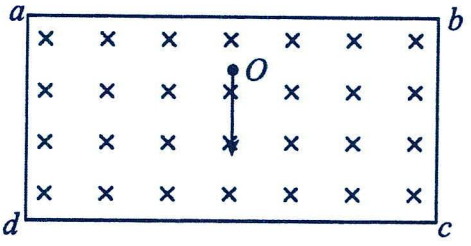
【例 4】如图所示，长方形 abcd 区域内存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B，区域内的点 O 处有一粒子源，O 点离 ab 边距离为 0.25L，离 bc 边距离为 L，粒子源以垂直指向 dc 边的速度方向向磁场内发射不同速率带正电的粒子，已知 ab 边长为 2L、bc 边长为 L，粒子质量均为 m、电荷量均为 q，不计粒子重力和粒子间的相互作用，下列说法正确的是（　　）

A．从 ab 边射出的粒子的运动时间均相同

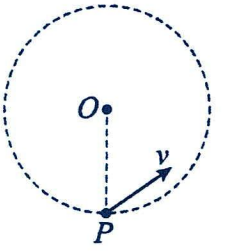
B．从 bc 边射出的粒子在磁场中的运动时间最长为$\frac{\pi m}{qB}$

C．粒子有可能从 c 点离开磁场

D．若要使粒子离开长方形区域，速率至少为$\frac{qBL}{8m}$



【例 5】（多选题）如图所示，在圆心为 O、半径为 R 的圆形区域内有垂直纸面向外，磁感应强度大小为 B 的匀强磁场．一系列电子以不同的速率 $v(0\le v\le v_m)$从边界上的 P 点沿垂直于磁场方向与 OP 成 60°角方向射入磁场，在$\frac{1}{3}$区域的磁场边界上有电子射出．已知电子的电荷量为−e，质量为 m，不考虑电子之间的相互作用力．则电子在磁场中运动的



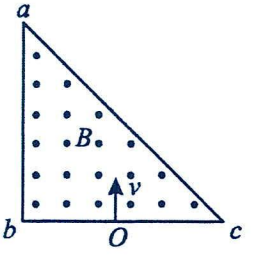
A．最大半径为 $r=\frac{\sqrt{3}}{2}R$

B．最大速率为 $v_m=\frac{\sqrt{3}eBR}{m}$

C．最长时间为 $t=\frac{2\pi m}{3eB}$

D．最短时间为 $t=\frac{\pi m}{eB}$

【例 6】（多选题）如图，等腰直角三角形 abc 区域内（包含边界）有垂直纸面向外的匀强磁场，磁感应强度的大小为 B，在 bc 的中点 O 处有一粒子源，沿与 ba 平行的方向发射速率不同，质量为 m，电荷量为 q 的带负电粒子，已知这些粒子都能从 ab 边离开 abc 区域，$ab=2l$，不计粒子重力及粒子间的相互作用。下列说法正确的是（　　）



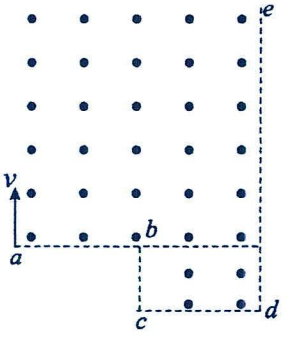
A．速度的最大值为$\frac{(\sqrt{2}+1)qBl}{m}$

B．速度的最大值为$\frac{(\sqrt{2}+2)qBl}{m}$

C．在磁场中运动的最长时间为$\frac{\pi m}{4qB}$

D．在磁场中运动的最长时间为$\frac{\pi m}{qB}$

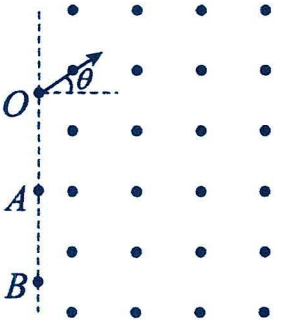
【例 7】如图所示，在理想的虚线边界内有范围足够大的匀强磁场，ab、cd 段水平，bc、de 段竖直，且 $ab=cd=\frac{3}{2}bc$。在纸面内大量质子从 a 点垂直于 ab 以不同速率射入磁场，不计质子间的相互作用和重力，则从边界 de 垂直射出的质子与在磁场中运动时间最长的质子的速率之比为（　　）



A．3:2　　B．36:13　　C．9:4　　D．36:17

【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示，一单边有界磁场的边界上有一粒子源，以与水平方向成θ角的不同速率，向磁场中射入两个相同的粒子 1 和 2，粒子 1 经磁场偏转后从边界上 A 点出磁场，粒子 2 经磁场偏转后从边界上 B 点出磁场，OA=AB，则（　　）



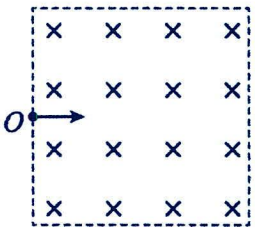
A．粒子 1 与粒子 2 的动能之比为 1：2

B．粒子 1 与粒子 2 的动能之比为 1：4

C．粒子 1 与粒子 2 在磁场中运动的弧长之比为 1：1

D．粒子 1 与粒子 2 在磁场中运动的弧长之比为 1：2

2．空间存在方向垂直于纸面向里的匀强磁场，图中的正方形为其边界。一细束由两种粒子组成的粒子流沿垂直于磁场的方向从O点入射。这两种粒子带同种电荷，它们的电荷量、质量均不同，但其比荷相同，且都包含不同速率的粒子。不计重力。下列说法正确的是（　）



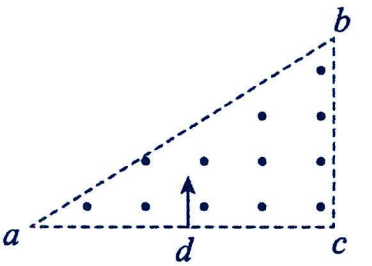
A．入射速度不同的粒子在磁场中的运动时间一定不同

B．入射速度相同的粒子在磁场中的运动轨迹可能不同

C．在磁场中运动时间相同的粒子，其运动轨迹一定相同

D．在磁场中运动时间越长的粒子，其轨迹所对的圆心角一定越大

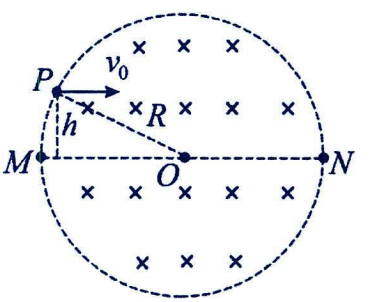
3．（多选题）如图所示，直角三角形abc区域存在垂直纸面向外的匀强磁场，磁感应强度大小为B，ab边长为2L，∠a=30°，一粒子源固定在ac边的中点d，粒子源垂直ac边向磁场中发射不同速率的带正电的粒子，粒子均从bc边界射出，已知粒子质量为m、电荷量为q，下列说法正确的是（　）



A．粒子运动的速率可能为$\frac{\sqrt{3}qBL}{m}$　　B．粒子在磁场中运动的时间可能为$\frac{\pi m}{2qB}$

C．bc边界上有粒子射出的区域长度最大为$\frac{\sqrt{3}}{2}L$　D．有粒子经过的磁场区域的面积最大为$\frac{3}{16}\pi L^2$

4．（多选题）如图所示，竖直平面内一半径为R的圆形区域内有磁感应强度为B的匀强磁场，方向垂直纸面向里。一束质量为m．电荷量为-q的带电粒子沿平行于直径MN的方向以不同速率v_0从P点进入匀强磁场，入射点P到直径MN的距离$h=\frac{1}{2}R$，不计粒子重力。下列说法正确的是（　）



A．若粒子射出磁场时的速度方向恰好与其入射方向相反，则其入射速度v_0为$\frac{qBR}{2m}$

B．若粒子恰好能从N点射出，则粒子在磁场中运动的时间为$\frac{\pi m}{3qB}$

C．若粒子恰好能从M点射出，则粒子在磁场中运动的时间为$\frac{7\pi m}{6qB}$

D．若粒子射出磁场时的速度方向恰好与其入射方向垂直，则其入射速度v_0为$\frac{qBR}{3m}$

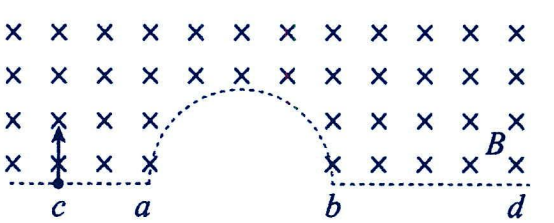
5．（多选题）一匀强磁场的磁感应强度大小为B，方向垂直于纸面向里，其边界如图中虚线所示，ab为半径为R的半圆，ac、bd与直径ab共线，a、c间的距离等于半圆的半径R。一束质量均为m、电量均为q的带负电的粒子，在纸面内从c点垂直于ac以不同速度射入磁场，不计粒子重力及粒子间的相互作用。下列说法正确的（）

A．可以经过半圆形边界的粒子的速率最小值为$\frac{qBR}{m}$

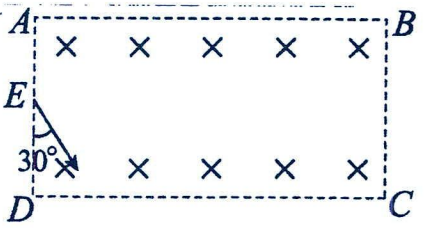
B．可以经过半圆形边界的粒子的速率最大值为$\frac{3qBR}{2m}$

C．在磁场中运动时间最短的粒子速率为$\frac{qBR}{2m}$

D．在磁场中运动时间最短的粒子运动时间为$\frac{2\pi m}{3qB}$



6.（多选题）如图所示，矩形边界 $ABCD$ 内存在磁感应强度为 B 的匀强磁场，方向垂直纸面向里，AB、CD 边足够长，AD 边长为 L。现有质量为 m、电量为 q 的不同速率的带正电粒子，从 AD 的中点 E 射入磁场且速度方向与 AD 成 30° 角，不计粒子重力及粒子间的相互作用，下列说法正确的是（　　）



A．粒子在磁场中运动的最长时间为 $\frac{2\pi m}{3qB}$

B．从 AB 边射出粒子的最小速度为 $\frac{3qBL}{4m}$

C．从 CD 边射出粒子的最小速度为 $\frac{qBL}{m}$

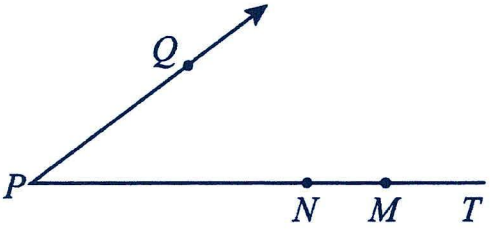
D．AB 边上有粒子射出的区域长度为 $\left(\frac{\sqrt{3}}{3}+1\right)L$

7．有人设计了一种利用电磁场分离不同速率带电粒子的仪器，其工作原理如图所示。空间中充满竖直方向的匀强电场，一束质量为 m、电量为 $^{-}$q（$q>0$）的粒子以不同的速率从 P 点沿某竖直平面内的 PQ 方向发射，沿直线飞行到 Q 点时进入有界匀强磁场区域，磁感应强度大小为 B，方向垂直于该竖直平面，$PQ=4\sqrt{3}l$ 。若速度最大粒子在最终垂直于 PT 打到 M 点之前都在磁场内运动，且其它速度粒子在离开磁场后最终都能垂直打在 PT 上的 NM 范围内，$NM=3l$，若 $\angle QPN=30°$，重力加速度大小为 g，求：

（1）电场强度的大小和方向；

（2）粒子速度大小的范围；

（3）磁场区域的最小面积。

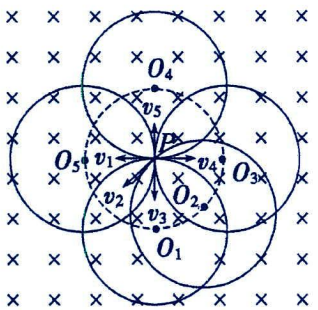


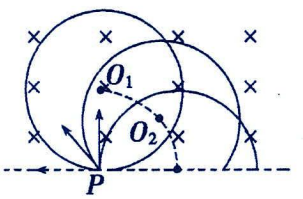
题型三：定圆旋转问题

模型概述：将一半径为 $R=\frac{mv_0}{qB}$ 的圆以入射点为圆心进行旋转，从而探索出粒子运动的临界条件，即“定圆旋转”。

模型条件：粒子源发射速度大小一定、方向不同的同种带电粒子进入匀强磁场时，它们在磁场中做匀速圆周运动的半径相同，若入射初速度大小为 v_0，则圆周运动轨迹半径为 $R=\frac{mv_0}{qB}$，如图所示。

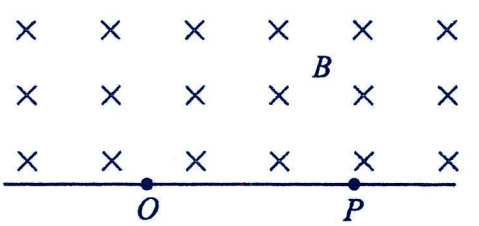
模型特点：轨迹圆的圆心共圆：如图所示，带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心在以入射点 P 为圆心、半径 $R=\frac{mv_0}{qB}$ 的圆上。





【精选例题】

【例 1】如图所示，在一直线边界上方存在磁感应强度大小为 B、方向垂直纸面向里的匀强磁场。直线边界上有一粒子源位于 O 点，零时刻粒子源同时向纸面内各个方向发射速度大小均为 v、质量均为 m、带电荷量均为 $-q$ 的粒子，有两个粒子先后经过边界上另外一点 P，OP 的长度为 $\frac{\sqrt{3}mv}{qB}$，粒子重力和粒子间的相互作用忽略不计，则下列说法正确的是（ ）



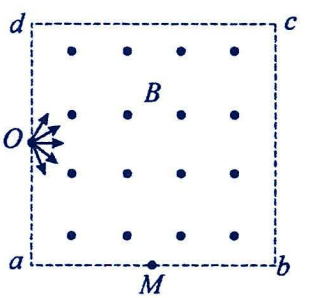
A．这两个粒子运动的加速度大小不相等

B．这两个粒子运动轨迹的半径不相等

C．这两个粒子分别从 O 点到达 P 点所用时间的差为 $\frac{\pi m}{qB}$

D．这两个粒子分别从 O 点到达 P 点时的动量变化量相同

【例 2】（多选题）如图所示，边长为 L 的正方形 abcd 区域内存在匀强磁场，方向垂直于纸面（abcd 所在平面）向外。ad 边中点 O 有一粒子源，可平行纸面向磁场内任意方向发射质量为 m、电荷量为 q 的带电粒子，粒子速度大小均为 v，不计粒子重力以及粒子间的相互作用。已知垂直 ad 边射入的粒子恰好从 ab 边中点 M 射出磁场，下列说法中正确的是（ ）



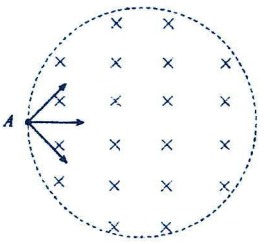
A．粒子带正电

B．粒子可以从磁场的 c 点射出

C．从 a 点射出磁场的粒子在磁场中运动的时间为 $\frac{\pi L}{6v}$

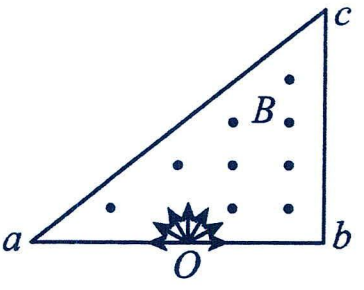
D．磁场的磁感应强度大小为 $\frac{2mv}{qL}$

【例 3】如图所示，在半径为 R 的圆形区域内有一匀强磁场，边界上的 A 点处，有一粒子源能在垂直于磁场的平面内沿不同方向向磁场中发射速率相同的同种带电粒子，在磁场边界的$\frac{1}{6}$圆周上可观测到有粒子飞出，则粒子在磁场中的运动半径为（　　）



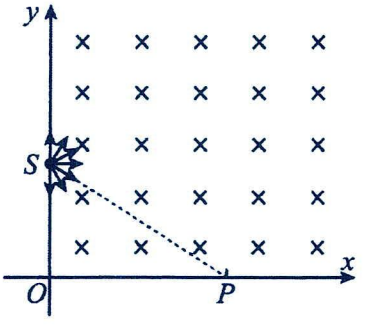
A. $\frac{R}{6}$　　B. $\frac{R}{3}$　　C. $\frac{R}{2}$　　D. R

【例 4】如图所示，在等腰直角三角形 abc 区域内存在垂直纸面向外、磁感应强度为 B 的匀强磁场，O 为 ab 边的中点，在 O 处有一粒子源，可沿纸面内不同方向、以相同的速率 $v=\frac{qBL}{m}$ 不断向磁场中释放相同的带正电的粒子。已知粒子的质量为 m，电荷量为 q，直角边 ab 长为 $2\sqrt{2}L$，不计重力和粒子间的相互作用力。则从 ac 边射出的粒子中，在磁场中运动的最短时间为（　　）



A. $\frac{\pi m}{3qB}$　　B. $\frac{\pi m}{4qB}$　　C. $\frac{\pi m}{6qB}$　　D. $\frac{\pi m}{12qB}$

【例 5】如图所示，在直角坐标系 xOy 第一象限内 x 轴上方存在磁感应强度大小为 B、方向垂直纸面向里的匀强磁场，在 y 轴上 S 处有一粒子源，它可向右侧纸面内各个方向射出速率相等的质量均为 m，电荷量均为 q 的同种带电粒子，所有粒子射出磁场时离 S 最远的位置是 x 轴上的 P 点。已知粒子带负电，$\overline{OP}=\sqrt{3}\overline{OS}=\sqrt{3}\,d$，粒子重力及粒子间的相互作用均不计，则（　　）



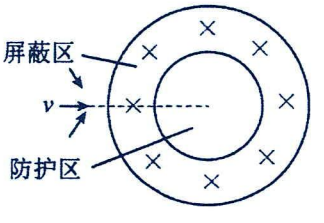
A．粒子的速度大小为$\frac{qBd}{2m}$

B．从 O 点射出的粒子在磁场中的运动时间为$\frac{\pi m}{qB}$

C. 从 x 轴上射出磁场的粒子在磁场中运动的最长时间与最短时间之比为 9∶2

D．沿平行 x 轴正方向射入的粒子离开磁场时的位置到 O 点的距离为$\frac{d}{2}$

【例 6】（多选题）学习了洛伦兹力知识后，某同学设计了减少高能宇宙射线对航天员辐射的装置，装置可简化为在空间站内设置空心圆柱体形屏蔽磁场。其横截面如图，设同心圆内径 $R_1=R$，外径 $R_2=\sqrt{3}R$，屏蔽区内为匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。若该平面内充满了速度大小为 v、质量为 m、电荷量为 e 的质子，不计质子重力，下列说法正确的（　　）



A．为使正对圆心方向入射的质子恰好不能进入防护区，则屏蔽区内磁感应强度的大小为$\frac{\sqrt{3}mv}{3qR}$

B．正对圆心方向入射且恰好不能进入防护区内部的质子在屏蔽区内运动的时间为$\frac{2\pi R}{3v}$

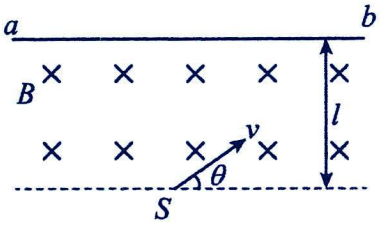
C．为使沿任意方向运动的质子都不能进入防护区内部，则屏蔽区内磁感应强度的最小值为$\frac{\left(\sqrt{3}+1\right)mv}{qR}$

D．为使沿任意方向运动的质子都不能进入防护区内部，则屏蔽区内磁感应强度的最小值为$\frac{\sqrt{3}mv}{qR}$

【例 7】如图，纸面内有一水平虚线，垂直于纸面放置的足够长平面感光板 ab 与虚线平行。ab 与虚线间的距离为 l，且存在匀强磁场，磁场方向垂直于纸面向里，磁感应强度大小为 B。虚线上有一点状放射源 S，可在纸面内向各个方向发射质量为 m、电荷量为 $+q$ 的同种带电粒子。某一粒子以速率 v 沿与虚线成 $\theta=37°$ 角的方向射入磁场。并恰能垂直打到感光板 ab 上。不计粒子的重力，$\sin 37°=0.6$。（1）求粒子射入磁场时的速率 v；

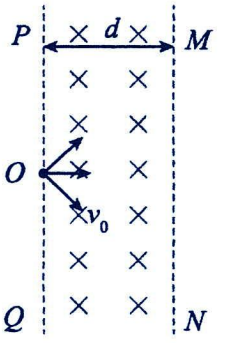
（2）若粒子均以 $\frac{v}{2}$ 的速率在纸面内沿不同方向射入磁场，仅考虑能打到感光板 ab 上的粒子，求：

①粒子在磁场中运动的最短时间；②感光板 ab 被粒子打中的长度。



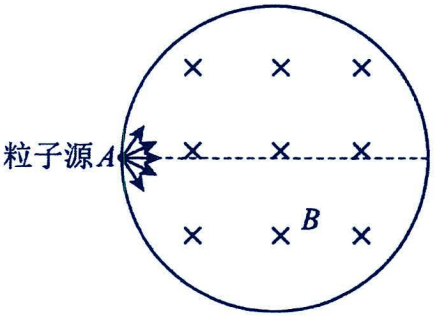
【跟踪训练】

1. 如图所示，一个边界为 PQ、MN（两边界上有磁场）的足够大的匀强磁场区域，宽度为 d，磁场方向垂直纸面向里。O 点处有一体积可忽略的粒子发射装置，能够在纸面内向磁场各个方向连续、均匀地发射速度大小相等的质子，发现从磁场 MN 边界射出的质子数占总数的三分之一，不计质子间相互作用及重力，则 MN 边界上有质子射出的区域长度为（　）



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

2. （多选题）如图所示是一个圆心在 O 点、半径为 R 的圆形磁场区域，磁感应强度大小为 B，磁感应强度方向垂直纸面向里。有一个粒子源从圆上的 A 点沿各个方向不停地发射出不同速率的带正电的粒子，带电粒子的质量均为 m，所带电荷量均为 q，运动的半径为 r，下列说法正确的（　　）



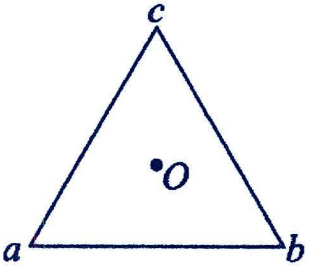
A. 若 $r=2R$，则粒子在磁场中运动的最长时间为 $\frac{\pi m}{3qB}$

B. 若 $r=R$，则粒子的出射方向均垂直 OA

C. 若 $r=2R$，粒子能打在圆形磁场圆周上的范围是半个圆周长

D. 若 $r=\frac{1}{2}R$，粒子能打在圆形磁场圆周上的范围是三分之一个圆周长

3. 如图所示，边长为 $\sqrt{3}L$ 的正三角形 abc 区域内存在方向垂直纸面向外的匀强磁场（图中未画出），正三角形中心 O 有一粒子源，可以沿 abc 平面任意方向发射相同的带电粒子，粒子质量为 m，电荷量为 q。粒子速度大小为 v 时，恰好没有粒子穿出磁场区域，不计粒子的重力及粒子间的相互作用力。下列说法正确的是（　　）



A. 磁感应强度大小为 $\frac{mv}{qL}$　　B. 磁感应强度大小为 $\frac{2mv}{qL}$

C. 若发射粒子速度大小为 2v 时，在磁场中运动的最短时间为 $\frac{\pi L}{12v}$

D. 若发射粒子速度大小为 2v 时，在磁场中运动的最短时间为 $\frac{\pi L}{6v}$

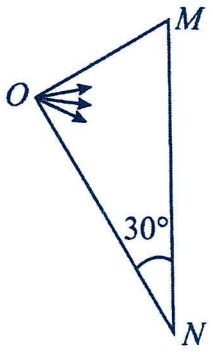
4．如图所示，在直角△MON区域内存在垂直纸面向外的匀强磁场（未画出），磁感应强度大小为B，O点处的粒子源可向纸面内磁场区域各个方向发射带电粒子。 已知带电粒子的质量为m，电荷量为+q，速率均为$v=\frac{qBd}{2m}$，ON长为d且$\angle ONM=30°$，忽略粒子的重力及相互间的作用力。下列说法正确的是（　　）

A．自MN边射出的粒子在磁场中运动的最短时间为$\frac{\pi m}{6qB}$

B．自MN边射出的粒子在磁场中运动的最长时间为$\frac{\pi m}{6qB}$

C．MN边上有粒子到达区域的长度为$\frac{d}{2}$

D．ON边上有粒子到达区域的长度为$\frac{\sqrt{3}d}{3}$



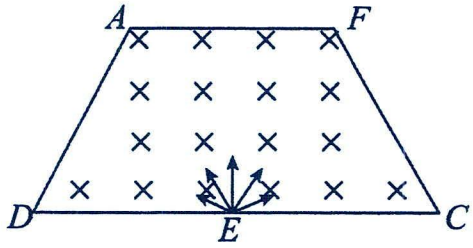
5．（多选题）等腰梯形AFCD区域内存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为B，梯形上、下底AF、CD长度分别为L和2L，∠D=60°，下底CD的中点E处有一个α粒子放射源，可以向CD上方射出速率不等的α粒子，α粒子的速度方向与磁场方向垂直，不计粒子间的相互作用力及重力，已知质子的电荷量为e，质量为m，下列说法正确的是（　　）

A．若AF、AD边有粒子射出，则FC边一定有粒子射出

B．若粒子可以到达F点，则其最小速度为$\frac{\sqrt{3}eBL}{6m}$

C．到达A点和到达F点的粒子一定具有相同的速率

D．运动轨迹与AD边相切(由CD边出磁场)的速率最小的粒子在磁场中的运动时间为$\frac{8\pi m}{3eB}$



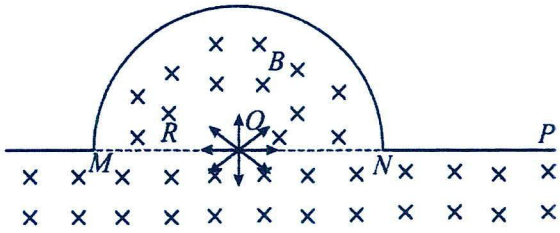
6．（多选题）如图，O点是一个粒子源，能在平面内沿着各个方向均匀、持续地发射电荷量为q、质量为m、速度大小恒定的带正电粒子。半圆形区域内以及水平线MON以下存在垂直纸面向里、磁感应强度为B的匀强磁场。半圆形区域半径为R，圆心为O，粒子从边界射出磁场的最远位置为P点，O、P间的距离为$2R$，则（）

A．有三分之二的带电粒子射出磁场

B．从圆弧边界射出磁场的粒子在磁场中运动的时间为$\frac{\pi m}{3Bq}$

C．粒子源发射粒子的速度大小为$\frac{BqR}{m}$

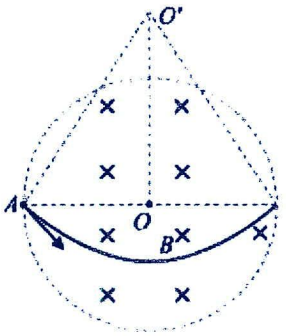
D．从P点射出磁场的粒子在磁场中运动的时间为$\frac{\pi m}{2Bq}$



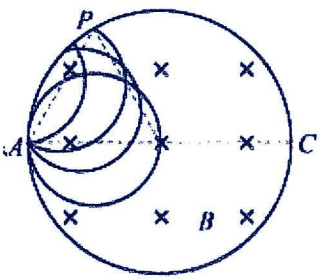
题型四：圆形边界磁场的动态圆问题

1.在圆形匀强磁场中，当轨迹圆的半径大于磁场圆的半径、且入射点和出射点位于磁场圆同一直径的两个端点时，轨迹对应的偏转角最大，运动时间最长，如图甲。

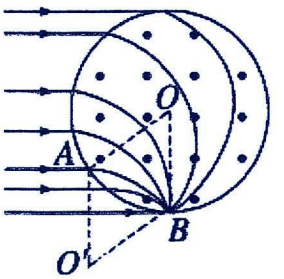
2.在圆形匀强磁场中，当轨迹圆的半径小于磁场圆的半径、且入射点和出射点位于轨迹圆同一直径的两个端点时，入射点和出射点相距最远，如图乙。



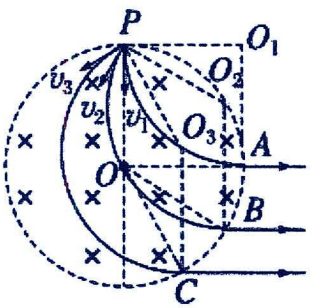
甲



乙



丙



丁

3.带电粒子的会聚：如图丙，大量同种带正电的粒子，速度大小相等，平行入射到圆形磁场区域，如果轨迹圆半径与磁场圆半径相等(R＝r)，则所有的带电粒子将从磁场圆的最低点 B 点射出。

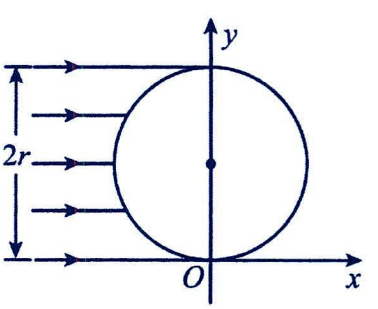
证明：四边形 OAO′B 为菱形，必是平行四边形，对边平行，OB 必平行于 AO′(即竖直方向)，可知从 A 点发出的带电粒子必然经过 B 点.

4.带电粒子的发散：如图丁，有界圆形磁场的磁感应强度为 B，圆心为 O，从 P 点有大量质量为 m、电荷量为 q 的正粒子，以大小相等的速度 v 沿不同方向射入有界磁场，不计粒子的重力，如果正粒子轨迹圆半径与有界圆形磁场半径相等，则所有粒子射出磁场的方向平行。

证明：所有粒子运动轨迹的圆心与有界圆圆心 O、入射点、出射点的连线为菱形，也是平行四边形，O_1A、O_2B、O_3C 均平行于 PO，即出射速度方向相同(即水平方向)。

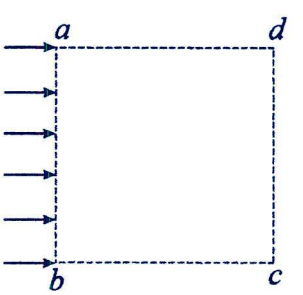
【精选例题】

【例 1】带电粒子流的磁聚焦是薄膜材料制备的关键技术之一、磁聚焦原理如图，真空中一半径为 r 的圆形区域内存在垂直纸面的匀强磁场，一束宽度为 2r、沿 x 轴正方向运动的带电粒子流射入该磁场后汇聚于坐标原点 O。已知粒子的质量均为 m、电荷量均为 q、进入磁场的速度均为 v，不计带电粒子的重力及粒子间的相互作用力。则磁感应强度的大小应为（　　）



A. $\frac{mv}{2qr}$　　B. $\frac{\sqrt{2}mv}{2qr}$　　C. $\frac{mv}{qr}$　　D. $\frac{2mv}{qr}$

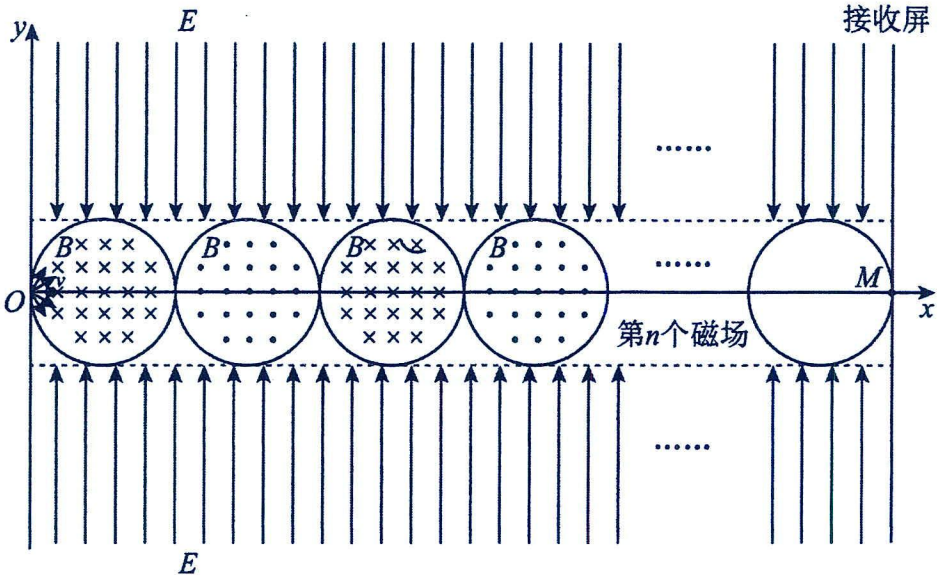
【例 2】（多选题）在电子技术中，科研人员经常通过在适当的区域施加磁场控制带电粒子的运动。如图所示，正方形 *abcd* 边长为 L，一束相同的正离子以相同的速度 v 垂直 *ab* 边射入，如果在 *abcd* 的某区域内存在着磁感应强度大小为 B、方向垂直纸面的匀强磁场，最终所有离子均从 *c* 点射出，则（　）



A．磁场方向垂直纸面向里　　B．离子的比荷为 $\frac{v}{BL}$

C．磁场区域的最小面积为 $\frac{\pi L^2}{4}$　　D．离子在磁场中运动的最长时间为 $\frac{\pi L}{2v}$

【例 3】（多选题）如图所示，真空室中 y 轴右侧存在连续排列的 n 个圆形边界磁场，圆心均在 x 轴上，相邻两个圆相切，半径均为 R，磁感应强度均为 B。其中第 1，3，5…个圆形边界的磁场方向垂直于纸面向里，第 2，4，6…个圆形边界的磁场方向垂直于纸面向外，第 n 个磁场右侧有一个粒子接收屏与 x 轴垂直，并与第 n 个磁场相切，切点为 M，第 n 个磁场方向图中未画出。在磁场上方和下方分别有一条虚线与磁场相切，上方虚线上方有一向下的范围无限大的匀强电场，下方虚线下方有一向上的范围无限大的匀强电场，场强大小均为 E。现将一群质量均为 m、电荷量均为 $+q(q>0)$ 的带电粒子从坐标原点 O 点向第一、四象限各个方向发射（不考虑平行于 y 轴方向发射的粒子），射出速度均为 $v=\frac{qBR}{m}$。不计粒子重力，则下列说法正确的是（　　）



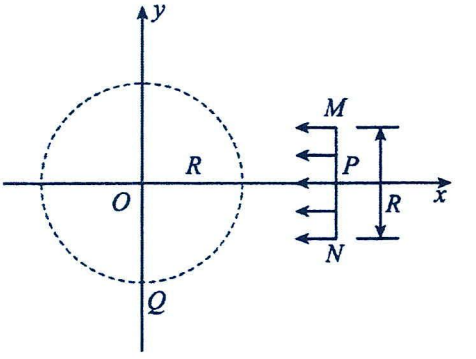
A．所有粒子从 O 点射出到最终被接收屏接收过程中在电场运动时间为均为 $\frac{2nmv}{qE}$

B．所有粒子从 O 点射出到最终被接收屏接收过程中在磁场中运动时间均为 $\frac{n\pi m}{qB}$

C．所有粒子从 O 点射出到最终被接收屏接收的时间相同

D．所有被接收屏接收的粒子中，接收位置离 M 点的最远距离为 R

【例 4】（多选题）如图所示，在平面直角坐标系 xOy 内，以坐标原点 O 为圆心，半径为 R 的圆形区域内存在垂直于坐标平面的匀强磁场（图中未画出），磁场区域外右侧有宽度为 R 的粒子源，M、N 为粒子源两端点，M、N 连线垂直于 x 轴，粒子源中点 P 位于 x 轴上，粒子源持续沿 x 轴负方向发射质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$，速率为 v 的粒子。已知从粒子源中点 P 发出的粒子，经过磁场区域后，恰能从圆与 y 轴负半轴的交点 Q 处沿 y 轴负方向射出磁场，不计粒子重力及粒子间相互作用力，则（　　）



A．带电粒子在磁场中运动的半径为 R

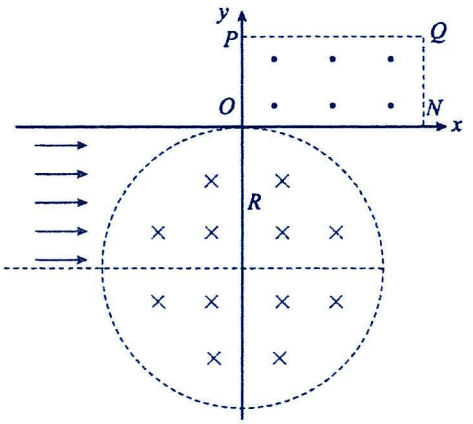
B．匀强磁场的磁感应强度大小为 $\frac{2mv}{qR}$

C．在磁场中运动的带电粒子路程最长为 $\frac{2\pi R}{3}$

D．带电粒子在磁场中运动的时间最短为 $\frac{\pi R}{2v}$

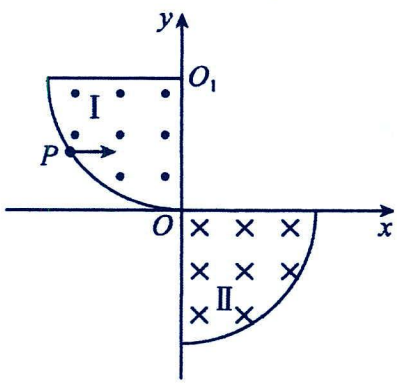
【例 5】如图所示的直角坐标系，在横轴下方有一半径为 R 的圆形磁场区域，与 x 轴相切于坐标原点。在 $-R<y<0$ 的范围内沿 y 方向均匀分布着大量质量为 m、电荷量为 $+q$ 的带电粒子，它们以平行于 x 轴的相同初速度射入圆形磁场区域，均恰能由 O 点射入第一象限的矩形磁场区域 OPQN 内，矩形磁场区域的长度为其宽度的 2 倍。已知在矩形磁场区域内运动时间最长的粒子转过的圆心角为 $\frac{\pi}{2}$，两磁场区域的磁感应强度大小均为 B，不计粒子重力。求：（1）粒子的初速度 v_0；（2）矩形磁场区域的宽度 a；

（3）从 PQ 边射出的粒子数与射入磁场的总粒子数的比。



【跟踪训练】

1.（多选题）如图所示，在直角坐标系的第二象限内，以 y 轴上的 O_1 点为圆心的四分之一圆内有垂直坐标平面向外的匀强磁场I，圆的半径为 R，圆弧刚好与 x 轴相切于坐标原点 O，在第四象限内，在以 O 为圆心、半径为 R 的四分之一圆内，有垂直坐标平面向里的匀强磁场II，一个质量为 m、电荷量为 q 的带正电的粒子，从磁场I的圆弧边界上的 P 点沿 x 轴的正方向射入磁场I，P 点到 x 轴的距离为 $\frac{R}{2}$，粒子射入磁场的速度大小为 v_0，粒子经磁场I偏转，恰好从坐标原点 O 进入磁场II，经磁场II偏转沿 x 轴正向射出磁场，不计粒子的重力，则下列判断正确的是（　　）



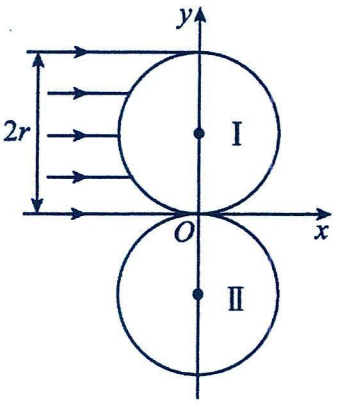
A．磁场I的磁感应强度大小为 $\frac{mv_0}{qR}$

B．磁场II的磁感应强度大小是磁场I的磁感应强度的 2 倍

C．粒子在两磁场中运动的时间为 $\frac{2\pi R}{3v_0}$

D．保持粒子射入速度不变，将粒子入射点沿圆弧向上平移，粒子有可能不能进入磁场II

2．（多选题）我国研制的世界首套磁聚焦霍尔电推进系统已经完成了全部在轨飞行验证工作，可作为太空发动机使用，带电粒子流的磁聚焦是其中的关键技术之一。如图，实线所示的两个圆形区域内存在垂直于纸面的匀强磁场 I、II，磁感应强度分别为 B_1，B_2。两圆半径均为 r，相切于 O 点。一束宽度为 2r 的带电粒子流沿 x 轴正方向射入后都汇聚到坐标原点 O。已知粒子的质量均为 m、电荷量均为+q、进入磁场的速度均为 v，不计带电粒子的重力及粒子间的相互作用力。下列说法正确的是（　）



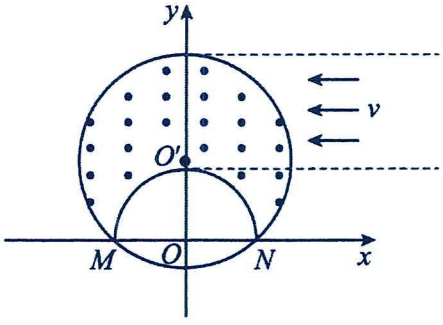
A．B_1 的大小为 $\frac{mv}{qr}$

B．从 O 点进入磁场 II 的粒子的速度仍相等

C．若 $B_2=2B_1$，则粒子在磁场 II 的边界的射出点在四分之一圆周上

D．若 $B_2=0.5B_1$，则粒子在磁场 II 中运动的最长时间为 $\frac{2\pi r}{3v}$

3．（多选题）在平面直角坐标系 xOy 中有如图所示的有界匀强磁场区域，磁场上边界是 $O'(0,4d)$ 点为圆心，半径为 $R=5d$ 的一段圆弧，圆弧与 x 轴交于 $M(-3d,0)$、$N(3d,0)$ 两点，磁场下边界是以坐标原点 O 为圆心，半径为 $r=3d$ 的一段圆弧。现有一束带负电的粒子沿 x 轴负方向以速度 v_0 射入该磁场区域。已知磁场方向垂直纸面向外，磁感应强度大小为 $B=\frac{mv_0}{4dq}$，带电粒子质量为 m，电荷量大小为 q，不计粒子重力。下列说法中正确的是（　）



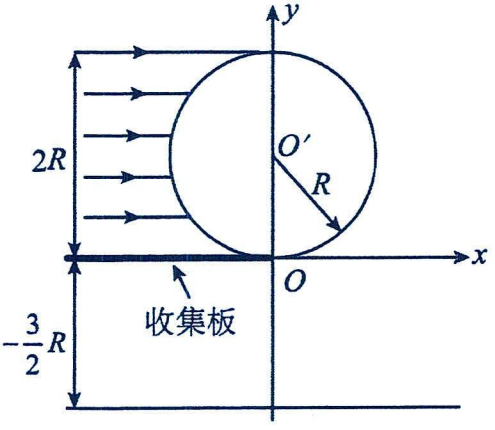
A．正对 O' 点入射的粒子离开磁场后不会过 O 点

B．若粒子速度变为 $2v_0$，正对 O' 点入射的粒子离开磁场后一定过 O 点

C．粒子在磁场区域运动的最长时间为 $\frac{143\pi d}{45v_0}$

D．所有入射粒子都一定过 O 点

4．如图所示，空间中存在两处匀强磁场，一处以半径为 R 的圆为边界，另一处在 $-\frac{3}{2}R<y<0$ 的区域内，磁感应强度大小均为 B，方向垂直于纸面。一束宽度为 $2R$ 的带电粒子流（比荷为 k）沿 x 轴正方向射入，后都从坐标原点 O 进入 x 轴下方的匀强磁场，偏转后部分粒子可以被安装在 x 轴上 $x<0$ 处的收集板收集起来。不计重力及粒子间的相互作用力，则（　）



A．磁场方向垂直于纸面向外

B．带电粒子的速度相同，均为 $\frac{RB}{k}$

C．粒子从 $y=-\frac{3}{2}R$ 边界射出的区域长度 $\frac{\sqrt{3}R}{2}$

D．若平行入射的粒子分布均匀，可被收集的粒子占入射粒子总数的 75%

第四讲：带电粒子在复合场中的运动

考点一：粒子在组合场中运动

模型概述：电场与磁场各位于一定的区域内，并不重叠；或电场、磁场分时间段在同一区域或不同区域交替出现。

解题要点："五步"突破带电粒子在组合场中的运动问题

①明性质：清楚场的性质、方向、强弱、范围；

②定运动：分析带电粒子在不同场区的受力情况，并根据受力情况确定其运动情况；

③划轨迹：根据受力分析和运动学分析，大致画出粒子的运动轨迹图；

④找关键：确定带电粒子在场区边界的速度(包括大小和方向)是解决该类问题的关键；

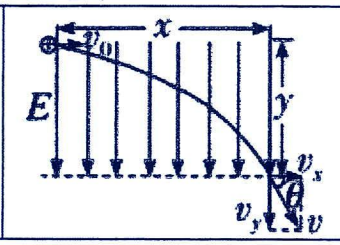
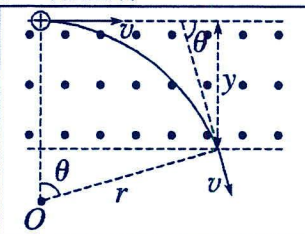
⑤用规律：将粒子的运动过程按场域不同，划分为多个阶段，对各阶段应用相关的物理规律列平衡等式；

⑥找关系：分析粒子在不同的场域边界处速度的大小与方向，上一个场域的末速度即为下一个场域的初速度。

常见粒子的运动及解题方法

		运动类型	求解方法
电场	初速度 v_0 与电场线平行	匀变速直线运动	1.牛顿第二运动定律、运动学公式 2.动能定理
	初速度 v_0 与电场线垂直	类平抛运动 类斜抛运动	1.常规分解法 2.特殊分解法 3.功能关系
磁场	初速度 v_0 与磁感线平行	匀速直线运动	$F_{合}=0$、运动学公式
	初速度 v_0 与磁感线垂直	匀速圆周运动	圆周运动公式、牛顿第二运动定律、几何关系
	初速度 v_0 与磁感线有夹角	螺旋线运动	分解为直线运动和匀速圆周运动

"电偏转"与"磁偏转"的比较

	电偏转	磁偏转
偏转条件	只受恒定的静电力 $F=qE$ $v\perp E$ 进入匀强电场	只受大小恒定的洛伦兹力 $F=qvB$ $v\perp B$ 进入匀强磁场
运动轨迹	抛物线 	圆弧 
求解方法	利用类平抛运动的规律 $x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}at^2$，$v_y=at$； $a=\frac{qE}{m}$，$\tan\theta=\frac{at}{v_0}$；	利用牛顿第二定律、向心力公式有 $r=\frac{mv}{qB}$， $T=\frac{2\pi m}{qB}$，$t=\frac{\theta T}{2\pi}$
能量转换	电场力做功等于动能改变量	洛伦兹力不做功，动能不改变

题型一：不同磁场组合

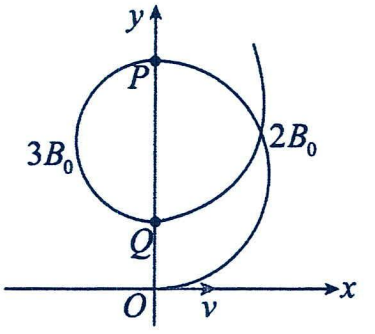
解题要点：磁场与磁场的组合问题的实质是两个有界磁场中的圆周运动的组合问题：

1．由于洛伦兹力不做功，所以**带电粒子在两个磁场中的速度大小一定相等**，但轨迹半径和运动周期往往不同。

2．解题时要充分利用**两段圆弧轨迹的衔接点与两圆心共线的特点**，寻找有关几何关系是解题的关键。

【精选例题】

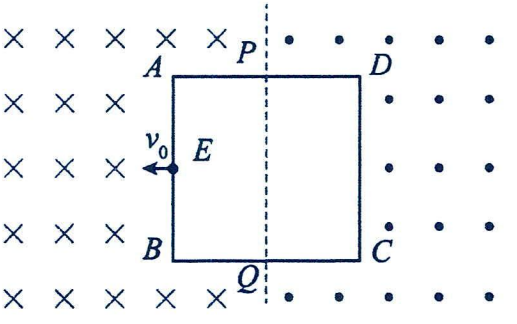
【例 1】（多选题）空间存在两个垂直于 xOy 平面的匀强磁场，y 轴为两磁场的边界，磁感应强度分别为$2B_0$、$3B_0$。质量为 m、电荷量为 q 的粒子从原点 O 沿 x 轴正向射入磁场，速度均为v_0。粒子第 1 次、第 2 次经过 y 轴的位置分别为 P、Q，其轨迹如图所示（忽略粒子重力）。下列说法正确的是（　　）



A．Q、O 的距离为$\frac{mv}{3qB_0}$　　B．Q、O 的距离为$\frac{mv}{4qB_0}$

C．两次经过 P 点的时间间隔为$\frac{2\pi m}{qB_0}$　　D．两次经过 P 点的时间间隔为$\frac{3\pi m}{qB_0}$

【例 2】如图所示，边长为$a=0.4\text{m}$正方形区域$ABCD$内无磁场，正方形中线PQ将区域外左右两侧分成两个磁感应强度均为$B=0.2\text{T}$的匀强磁场区域，PQ右侧磁场方向垂直于纸面向外，PQ左侧磁场方向垂直于纸面向里。现将一质量为$m=1\times10^{-8}\text{kg}$，电荷量为$q=2\times10^{-6}\text{C}$的正粒子从$AB$中点以某一速率垂直于$AB$射入磁场，不计粒子的重力，则关于粒子的运动，下列说法正确的是（　　）



A．若粒子能垂直于BC射入正方形区域内，则粒子的最大速度为12m/s

B．若粒子能垂直于BC射入正方形区域内，则粒子的速度可能为10m/s

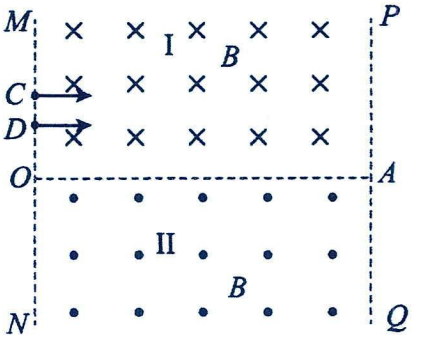
C．若粒子能垂直于BC射入正方形区域内，则粒子的速度可能为$\frac{8}{3}\text{m/s}$

D．若粒子能垂直于BC射入正方形区域内，则粒子的速度可能为2m/s

【例 3】如图，两竖直平行线MN、PQ间存在两个有界匀强磁场，其中水平分界线OA上方I区域磁场垂直纸面向里，分界线OA下方II区域磁场垂直纸面向外，磁感应强度均为 B。一个质量为m、电荷量为$-q$的粒子以速度v可以分别从左边界的C、D两点水平射入磁场中。已知OD两点间的距离等于$\frac{mv}{qB}$，MN 与PQ的距离等于$\frac{11mv}{2qB}$，粒子重力忽略不计。（1）求粒子在磁场中做圆周运动的轨道半径R；

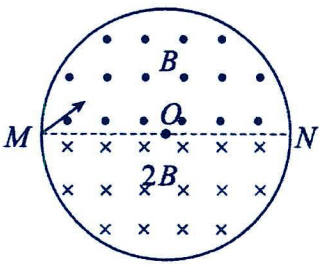
（2）若粒子从C点射入磁场中且恰好不从磁场左边界射出，求入射点C到O的距离d；

（3）若粒子从D点射入磁场中，求粒子在磁场中运动的总时间t。



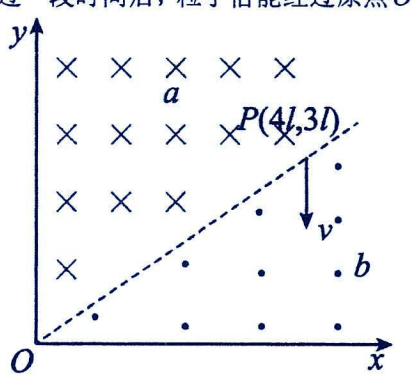
【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示，MN 是半径为 R 的圆形磁场区域的直径，MN 上方存在方向垂直于纸面向外的匀强磁场，磁感应强度大小为 B，MN 下方存在方向垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 2B。在 M 点有一质量为 m、电荷量为+q（q>0）的离子源，离子从 N 点射出时的速度大小不同，但方向均与磁场方向垂直且与 MN 成 30°角。不计离子重力及离子间的相互作用，则从 N 点射出磁场的离子速度可能是（　　）



A．$\frac{RqB}{2m}$　　B．$\frac{RqB}{3m}$　　C．$\frac{5RqB}{6m}$　　D．$\frac{4RqB}{7m}$

2．（多选题）如图所示，在坐标系 xOy 中，第一象限内充满着两个匀强磁场 a 和 b，OP 为分界线，在磁场 a 中，磁感应强度为 $2B$，方向垂直于纸面向里；在磁场 b 中，磁感应强度为 B，方向垂直于纸面向外，P 点坐标为 $(4l,3l)$。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子从 P 点沿 y 轴负方向射入磁场 b，经过一段时间后，粒子恰能经过原点 O；不计粒子重力，$\sin37°=0.6$。则下列说法正确的是（　　）



A．粒子经过 O 点时。速度方向沿 y 轴正方向

B．粒子从 P 到 O 经历的路程与粒子的速度大小无关

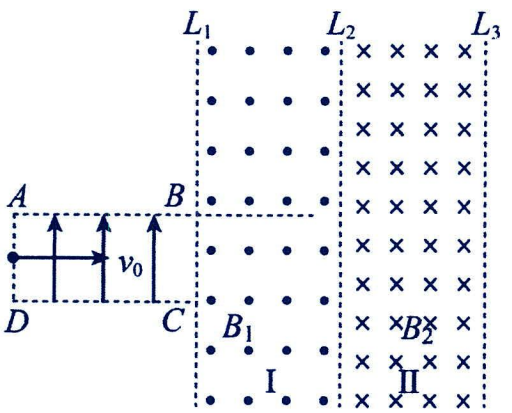
C．粒子运动的速度可能为 $\frac{25qBl}{24m}$

D．粒子从 P 点运动到 O 点的最短时间为 $\frac{53\pi m}{45qB}$

3．如图，在矩形区域 ABCD 内存在竖直向上的匀强电场，在 BC 右侧 I、II 两区域存在匀强磁场，L_1、L_2、L_3 是磁场的边界（BC 与 L_1 重合），宽度相同，方向如图所示，区域 I 的磁感应强度大小为 B_1．一电荷量为 q、质量为 m（重力不计）的带正电粒子从 AD 边中点以初速度 v_0 沿水平向右方向进入电场，点电荷恰好从 B 点进入磁场，经区域 I 后又恰好从与 B 点同一水平高度处进入区域 II．已知 AB 长度是 BC 长度的 $\sqrt{3}$ 倍。

（1）求带电粒子到达 B 点时的速度大小；（2）求磁场的宽度 L；

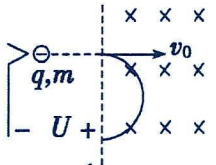
（3）要使点电荷在整个磁场中运动的时间最长，求区域 II 的磁感应强度 B_2 的取值。



题型二：先电后磁组合

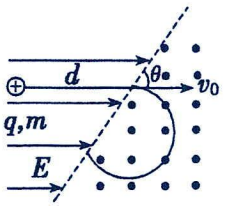
常见的两种运动组合

1．带电粒子先在匀强电场中做匀加速直线运动，然后垂直进入匀强磁场做匀速圆周运动，图例：甲、乙。



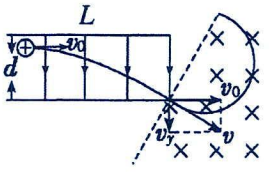
$qU=\frac{1}{2}mv_0^2$

甲



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

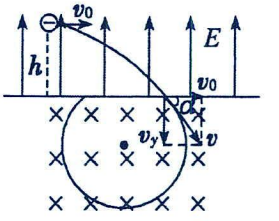
乙



$L=v_0t,\ d=\frac{1}{2}at^2=\frac{qEt^2}{2m}$

$v_y=at,\ v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$

丙



$h=\frac{1}{2}at^2=\frac{qEt^2}{2m},\ v_y=at$

$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2},\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}$

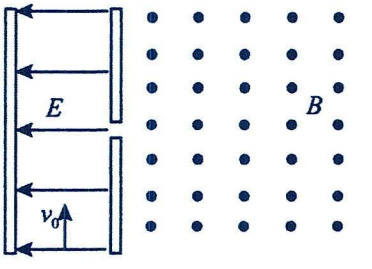
丁

2．带电粒子先在匀强电场中做类平抛运动，然后垂直进入磁场做匀速圆周运动，图例：丙、丁所示。

解题要点：从电场射出的末速度是进入磁场的初速度，要特别注意求解进入磁场时速度的大小和方向。

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，平行板电容器竖直放置，两极板间的距离为 0.12m，内部场强大小为 10N/C，右极板右侧空间存在磁感应强度大小为 0.5T 的匀强磁场。一比荷为$1.6\times10^2\text{C/kg}$ 的带负电粒子，从电容器下端中间位置以 8m/s 的初速度沿极板方向进入电场，经电场偏转，从电容器右极板正中间的小孔进入磁场，不计带电粒子的重力。下面说法正确的是（　　）



A．电容器极板长度为$\frac{\sqrt{3}}{25}\text{m}$

B．粒子进入磁场时的速度大小为 16m/s

C．粒子进入磁场时速度方向与水平方向的夹角为 60°

D．粒子在磁场中的运动时间为$\frac{\pi}{120}\text{s}$

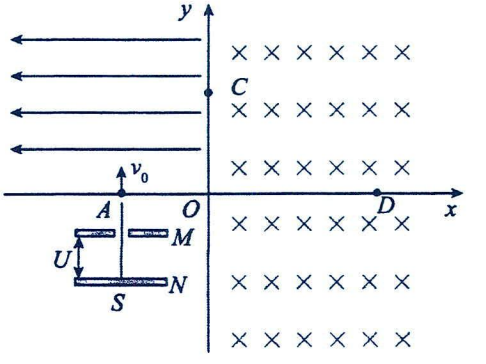
【例 2】（多选题）如图所示，在光滑绝缘水平面上的平面直角坐标系 xOy 的第一、四象限内存在方向垂直于坐标平面向里的匀强磁场，第二象限内存在沿 x 轴负方向的匀强电场。第三象限内 M、N 两个水平平行金属板之间的电压为$U=500\text{V}$，一质量$m=1.6\times10^{-16}\text{kg}$、电荷量$q=-1.6\times10^{-19}\text{C}$ 的小球从靠近 N 板的 S 点由静止开始做加速运动，从电场的下边界 x 轴上的 A 点$(-1.5\text{m},0)$垂直于 x 轴射入电场，经电场偏转从 y 轴上的 C 点$\left(0,\sqrt{3}\text{m}\right)$进入第一象限，又经匀强磁场从 x 轴上的 D 点$(3\text{m},0)$进入第四象限，则下列说法正确的是（　）

A．小球射入电场的初速度大小为 2m/s

B．从 A 点出发到 D 点所用的时间为$\left(\sqrt{3}+\frac{2\pi}{3}\right)\text{s}$

C．小球做圆周运动的直径为 2m

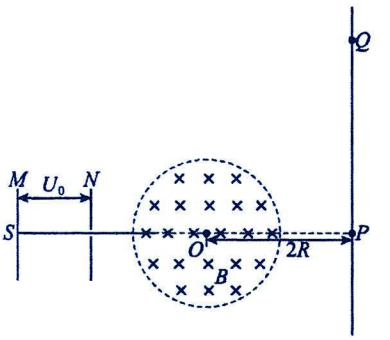
D．匀强电场的电场强度大小为$1\times10^3\text{N/C}$



【例 3】如图所示，M、N 板间存在电压为 U_0 的加速电场，半径为 R 的圆形区域内存在磁感应强度为 B 的匀强磁场，光屏放置于圆形磁场区域右侧，光屏中心 P 到圆形磁场区域圆心 O 的距离为 2R。带电粒子从 S 点由静止飘入 M、N 板间，经电场加速后进入圆形磁场区域，在磁场力作用下轨迹发生偏转，最终打在光屏上的某点，测量该点到 P 点的距离，便能推算出带电粒子的比荷，不计带电粒子的重力。

(1)若带电粒子为电子，已知电子的电荷量为 e，质量为 m_0，求电子经过电场加速后的速度大小 v 及电子在磁场中运动的轨迹半径 r；

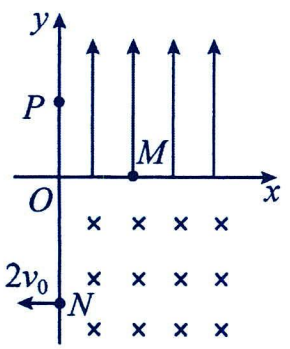
(2)若某种带电粒子通过电场加速和磁场偏转后，打在光屏上的 Q 点，已知 P 点到 Q 点的距离为 $2\sqrt{3}$R，求该带电粒子的比荷 $\frac{q}{m}$。



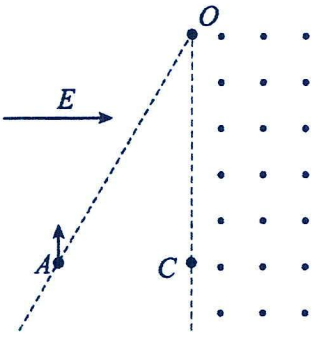
【例 4】如图所示，平面直角坐标系 xOy 的第一象限内存在沿 y 轴正方向、电场强度大小为 E 的匀强电场，第四象限内存在垂直于坐标平面向外的匀强磁场。一质量为 m、带电荷量为 $-q$ 的粒子从 y 轴上的P点以速度 v_0 垂直 y 轴射入电场，从 x 轴上的 M 点射入磁场，并垂直 y 轴从 N 点以 $2v_0$ 的速度射出磁场，不计粒子受到的重力。

求：(1)粒子在第一象限内运动的时间 t；

(2)匀强磁场的磁感应强度大小 B。



【例 5】如图所示的空间中，倾斜分界线 AO 上方存在水平向右的匀强电场，电场强度为 E；竖直分界线 OC 右侧存在垂直纸面向外的匀强磁场。一质量为 m，电荷量为 $+q$ 的粒子从 A 点沿竖直方向以 v_0 射入电场，经过 AO 间某点 P（未画出）和 OC 上某点 Q（未画出）进入磁场区域，第一次离开磁场时粒子恰好经过 C 点。已知 A、C 等高，相距 L，O、C 相距 2L，不计粒子重力。(1)求 AP 间距离；(2)求磁感应强度 B。

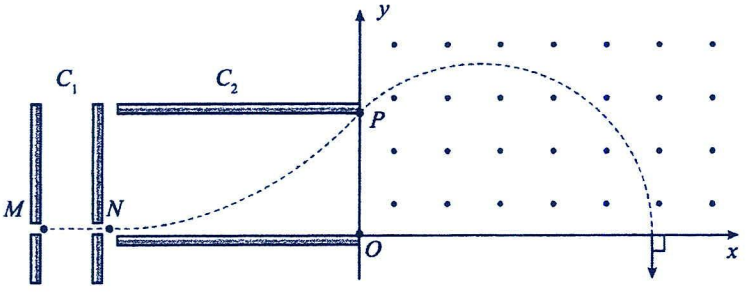


【跟踪训练】

1．如图，直角坐标系 xOy 中，第I象限内存在垂直纸面向外的匀强磁场。第II、III象限中有两平行板电容器 C_1、C_2，其中 C_1 垂直 x 轴放置，极板与 x 轴相交处存在小孔 M、N；C_2 垂直 y 轴放置，上、下极板右端分别紧贴 y 轴上的 P、O 点。一带电粒子从 M 静止释放，经电场直线加速后从 N 射出，紧贴 C_2 下极板进入 C_2，而后从 P 进入第I象限；经磁场偏转后恰好垂直 x 轴离开，运动轨迹如图中虚线所示。已知粒子质量为 m、带电量为 q，O、P 间距离为 d，C_1、C_2 的板间电压大小均为 U，板间电场视为匀强电场，不计重力，忽略边缘效应。求：

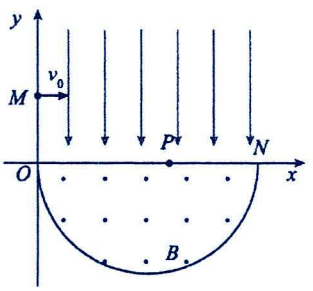
(1)粒子经过 N 时的速度大小；(2)粒子经过 P 时速度方向与 y 轴正向的夹角；

(3)磁场的磁感应强度大小。



2．如下图所示，在平面直角坐标系 xoy 内，第 I 象限存在沿 y 轴负方向的匀强电场，第 IV 象限以 ON 为直径的半圆形区域内，存在垂直于坐标平面向外的匀强磁场，磁感应强度为 B。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电的粒子，从 y 轴正半轴上 y=h 处的 M 点，以速度 v_0 垂直于 y 轴射入电场，经 x 轴上 x=2h 处的 P 点进入磁场，最后以垂直于 y 轴的方向射出磁场。不计粒子重力。求：(1)电场强度的大小 E；

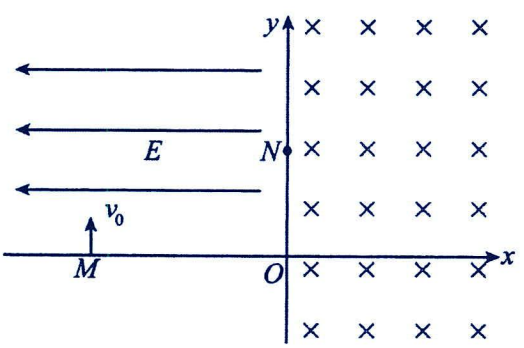
(2)粒子在磁场中运动的轨道半径 r。



3．如图所示，在直角坐标系 xO_y 平面内，第 II 象限中存在平行于 x 轴负方向的匀强电场，第 I、IV 象限存在垂直坐标平面向里的匀强磁场。一质量为 m、电荷量为 $-q(q>0)$ 的带电粒子从 x 轴上的 M 点沿 y 轴正方向以初速度 v_0 射入电场后，第一次从 y 轴上的 N 点离开电场，经过磁场偏转一次后恰好通过坐标原点 O。M 点的坐标为 $(-2l,0)$，N 点的坐标为 $(0,\ l)$，粒子所受重力不计。

(1)求匀强电场的电场强度大小 E；(2)求匀强磁场的磁感应强度大小 B；

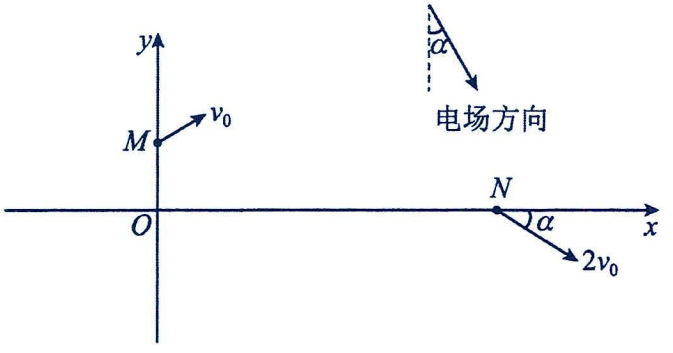
(3)若带电粒子从 x 轴上的任意一点 K 射入电场，射入的速度大小、方向均不变，试证明粒子第二次经过 y 轴时均通过原点 O。



4．如图所示，xOy平面内，x 轴下方无电场，x 轴上方被某直线边界分割成两部分，一部分充满匀强电场（电场强度与 y 轴负方向成α角），另一部分无电场，该边界与 y 轴交于 M 点，与 x 轴交于 N 点。只有经电场到达 N 点、与 x 轴正方向成α角斜向下运动的带电粒子才能进 x 轴下方区域。从 M 点向电场内发射一个比荷为$\frac{q}{m}$的带电粒子 A，其速度大小为v_0、方向与电场方向垂直，仅在电场中运动时间 T 后进入第四象限，且通过 N 点的速度大小为$2v_0$。忽略边界效应，不计粒子重力。（1）求角度α；

（2）在该边界上任意位置沿与电场垂直方向直接射入电场内的、比荷为$\frac{q}{m}$的带电粒子，只要速度大小适当，就能通过 N 点进入第四象限，求 N 点横坐标及此边界方程。

（3）若在 x 轴上 N 点左侧发射比荷、电性均与 A 相同的带电粒子 B，其速度大小为$8v_0$，方向与 A 粒子在 M 点发射时初速度相同，若 B 粒子恰过 N 点。求 B 粒子发射时的坐标及射出到运动至 N 点的时间。

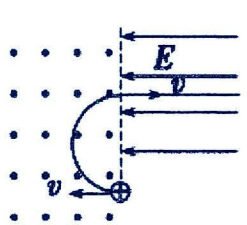


题型三：先磁后电组合

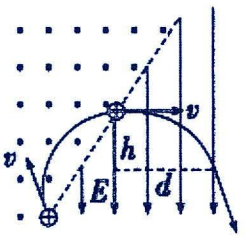
带电粒子由磁场进入电场的两种常见情景：

1. 带电粒子先在匀强磁场做匀速圆周运动，然后平行于电场线进入匀强电场中做匀加速或匀减速运动直线运动，如图甲。

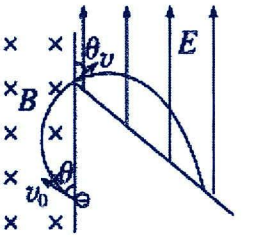
2. 带电粒子先在磁场做匀速圆周运动，然后垂直进入匀强电场中做类平抛运动或类斜抛运动，如图乙、丙。



甲



乙

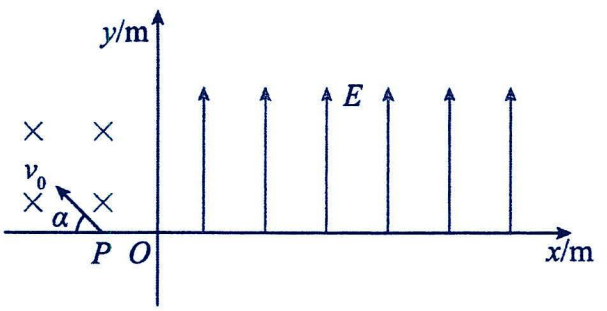


丙

【精选例题】

【例 1】如图所示，在 xOy 平面的第一象限内存在沿 y 轴正方向的匀强电场，在第二象限内充满方向垂直 xOy 平面向里、磁感应强度大小 B=0.8T 的匀强磁场。一质量 $m=3\times10^{-5}$kg、电荷量 $q=1.5\times10^{-3}$C 的带负电微粒从 x 轴上的 P 点射入第二象限时，速度方向与 x 轴负方向的夹角α=37°，之后恰好垂直 y 轴进入第一象限，再经一段时间从第一象限射出，此时速度方向与 x 轴正方向的夹角β=60°，已知 O、P 间距离 L=1.2m，不计粒子受到的重力，取 sin37°=0.6，cos37°=0.8。求：(1)微粒从第一象限射出时的速度大小 v；

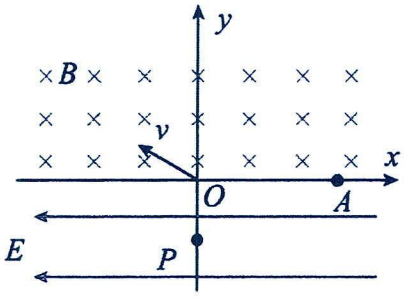
(2)匀强电场的电场强度大小 E。



【例 2】如图所示，在平面直角坐标系 xOy 中，x 轴上方区域有垂直于纸面向里的磁场，磁感应强度为 B，x 轴下方区域有水平向左的匀强电场，P 点是 y 轴上的一点。一质量为 m 的带电粒子以初速度 v 从坐标原点 O 平行于纸面射入磁场，方向与 x 轴负向的夹角为 30°，从 x 轴上的 A 点射出磁场。已知 OA 间的距离为 L，粒子在电场中的运动轨迹与 y 轴相切于 P 点。不计粒子的重力。求：(1)粒子的电性及电荷量；

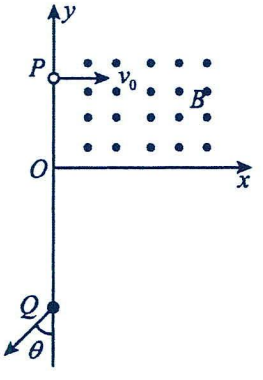
(2)粒子从 A 点运动到 P 点电场力做的功；

(3)粒子从 O 点运动到 P 点所用的时间。



【例 3】如图，在平面直角坐标系 xOy 的第一象限内存在垂直于纸面向外的匀强磁场，磁感应强度大小为 B，第四象限内存在一定宽度（宽度为沿 y 轴方向）沿 x 轴负方向的匀强电场（图中未标出），匀强电场的上边界为 x 轴，下边界平行于 x 轴。一质量为 m、电荷量为 $+q(q>0)$ 的带电粒子从 y 轴上的 P 点沿 x 轴正方向射入匀强磁场，速度大小为 v_0，经磁场偏转后垂直于 x 轴方向射入匀强电场，带电粒子从匀强电场穿出后恰好打到 y 轴上的 Q 点，打到 Q 点时速度方向与 y 轴负方向的夹角为 $\theta=45°$，已知 $OP:OQ=2:3$，不计带电粒子所受重力及空气阻力，求：(1)带电粒子从 P 点到 Q 点经历的时间 t；

(2)匀强电场的电场强度大小 E 和匀强电场区域沿 y 方向的宽度 d。

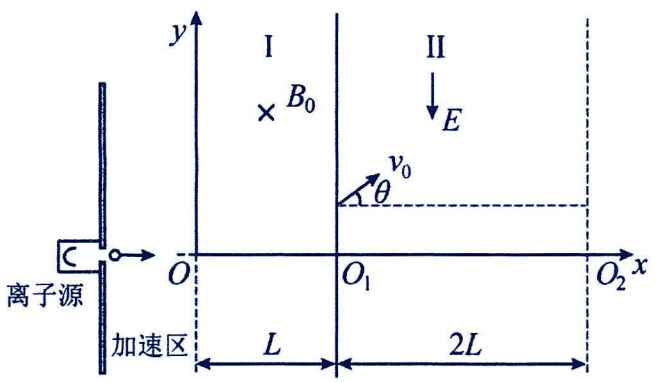


【跟踪训练】

1．某离子束实验装置的基本原理如图所示，I区宽度为L，左边界与x轴垂直交于坐标原点O，其内充满垂直于xOy平面向里的匀强磁场；II区宽度为2L，左边界与x轴垂直交于O_1点，右边界与x轴垂直交于O_2点，其内充满沿y轴负方向的匀强电场。从离子源不断飘出电荷量为q、质量为m的正离子，加速后沿x轴正方向以大小为v_0的速率通过O点，依次经过I区、II区，恰好到达O_2点。已知离子刚进入II区时的速度方向与x轴正方向的夹角$\theta=30°$，不计离子的重力。

（1）求I区匀强磁场的磁感应强度大小B_0；

（2）求II区匀强电场的电场强度大小E。

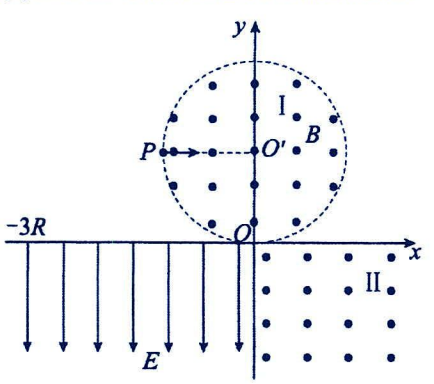


2．如图所示，在半径为R的圆形区域内有垂直于xOy平面向外的匀强磁场I，磁感应强度大小为B，圆心O'的坐标为（0，R），在第三象限内$x=-3R$和y轴之间，有沿y轴负方向的匀强电场，在第四象限内有垂直于坐标平面向外的匀强磁场II，一个质量为m、电荷量为q的带正电粒子从P（$-R$，R）点以一定的初速度沿x轴正向射入磁场I，粒子在磁场I中的速度方向偏转了60°角后进入磁场II，经磁场II偏转，沿与y轴正向成60°角的方向进入电场，此后，粒子在电场中的轨迹刚好与x轴相切，不计粒子重力，求：

(1)粒子从P点射入磁场时的初速度大小；

(2)磁场II的磁感应强度大小；

(3)粒子出电场的位置到x轴的距离。



题型四：交变电磁场

解题要点：

1.解决带电粒子在交变电、磁场中的运动问题的基本思路

①先读图：看清并且明白场的变化情况；

②受力分析：分析粒子在不同的变化场区的受力情况；

③过程分析：分析粒子在不同时间段内的运动情况；

④建立模型：粒子在不同运动阶段,各自对应什么运动模型;

⑤找衔接点：找出衔接相邻两过程的速度大小及方向；

⑥选规律：联立不同阶段的方程求解。

2.交变场的常见的类型

（1）电场周期性变化，磁场不变。

（2）磁场周期性变化，电场不变。

（3）电场、磁场均周期性变化。

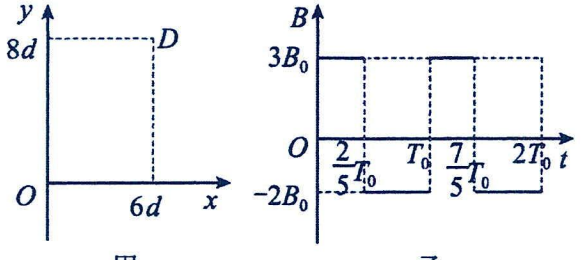
【精选例题】

【例 1】如图甲所示，在 xOy 平面的第一象限内（含 x 轴和 y 轴的正半轴）存在周期性变化的磁场，规定垂直纸面向内的方向为正，磁感应强度 B 随时间 t 的变化规律如图乙所示。某质量为 m、电荷量为 $+q$ 的粒子，在 $t=0$ 时刻沿 x 轴正方向从坐标原点 O 射入磁场。图乙中 B_0 已知，T_0 未知 $\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$。求：

(1) $0\sim\frac{2}{5}T_0$ 时间内粒子做匀速圆周运动的角速度 ω；

(2)若粒子不能从 y 轴正半轴射出磁场，磁感应强度变化周期的最大值 T_0m；

(3)若粒子能沿 x 轴正方向通过坐标为 $(6d,8d)$ 的 D 点，其射入磁场时速率 v。



甲　　乙

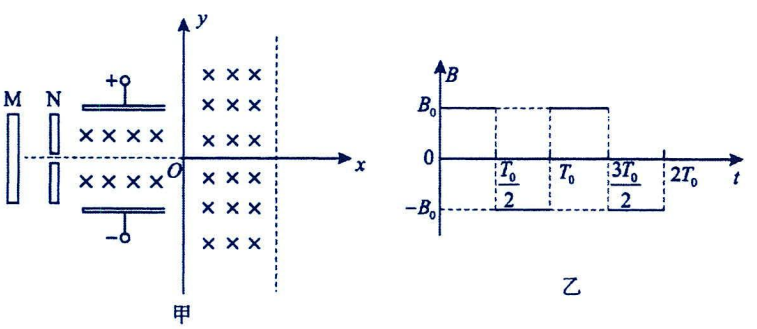
【例 2】如图甲所示，粒子加速器与速度选择器并排放置，已知速度选择器内匀强磁场磁感应强度大小为B_1、电场强度大小为E。在速度选择器右侧建立 xOy 坐标系，$0 \le x \le d$ 的区域里有磁场，规定磁场方向垂直纸面向里为正，磁感应强度 B 随时间 t 变化的规律如图乙所示，其中$T_0 = \dfrac{2\pi dB_1}{7E}$。质量为$m$、电荷量为$+q$的粒子从加速器 M 极板由静止释放，通过 N 极板中间的小孔后进入速度选择器，沿直线穿过速度选择器后从 O 点沿 x 轴射入磁场。

（1）求粒子到达 O 点的速度v_0和 M、N 两板间的电压U_0；

（2）若粒子在$t = 0$时从 O 点射入磁场，且在$t < \dfrac{T_0}{2}$的某时刻从点 P（d，$\dfrac{d}{2}$）离开磁场，求B_0的大小；

（3）若$B_0 = \dfrac{7mE}{2qdB_1}$，粒子在$t = \dfrac{T_0}{2}$时刻从 O 点射入磁场，求粒子离开磁场时的位置坐标；

（4）若$B_0 = \dfrac{2mE}{qdB_1}$，调整磁场变化周期T_0，使在$0 \leqslant t \leqslant \dfrac{T_0}{2}$的任一时刻从 O 点入射的粒子均不从 y 轴离开磁场，求T_0的取值范围。

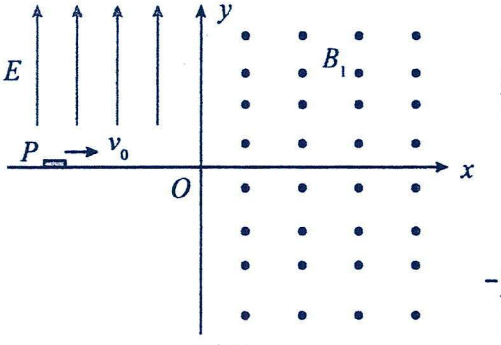


【跟踪训练】

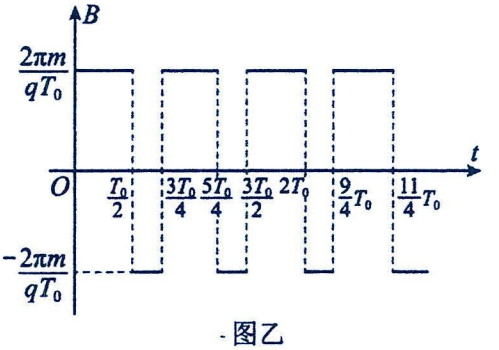
1．如图甲所示，空间中有一直角坐标系 xOy，在$x<0$，$y>0$的空间中有沿$+y$方向的匀强电场$E=5\times10^5\text{V/m}$。在紧贴$(-0.4\text{m},0)$的上侧处有一粒子源 P，能沿 x 轴正方向以$v_0=2\times10^6\text{m/s}$的速度持续发射比荷为$\frac{q}{m}=2\times10^7\text{C/kg}$的某种原子核。在$x>0$的空间有垂直于 xOy 平面向外的足够大的匀强磁场区域，磁感应强度大小为$B_1=0.5\text{T}$。忽略原子核间的相互作用和重力。求：（1）求原子核第一次穿过 y 轴时速率；

（2）设原子核从 Q 点第二次穿过 y 轴，求 O、Q 两点之间距离以及粒子在磁场中的运动时间；

（3）若撤去原磁场B_1，其余条件保持不变。在 xOy 平面内$x>0$的某区域加一圆形匀强磁场，磁场的磁感应强度 B 随时间 t 的变化规律如图乙所示，取磁场垂直纸面向外为正方向。$t=\frac{T_0}{4}$时刻进入磁场的粒子始终在磁场区域内沿闭合轨迹做周期性运动，若$T_0=\frac{\sqrt{2}}{4}\times10^{-6}\text{s}$，求圆形磁场区域的最小面积 S 以及粒子进入磁场时的位置到 y 轴的最短距离 x。（忽略磁场突变的影响，计算结果用含有π的式子表示）



图甲



图乙

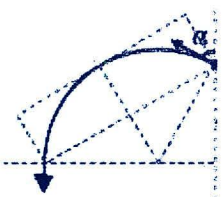
题型五：最小面积问题

解题要点:

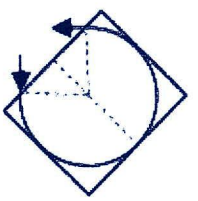
1.最小磁场区域为矩形:

(1)确定圆心的位置,圆的半径,入射点与出射点,画出粒子在磁场中运动的圆弧;

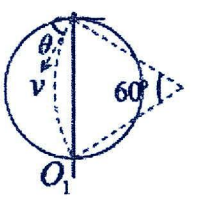
(2)让矩形的一边合入射点与出射点的连线重合,另一边则需分类讨论:①运动轨迹为劣弧或半圆,如图甲;②运动轨迹为优弧,如图乙.



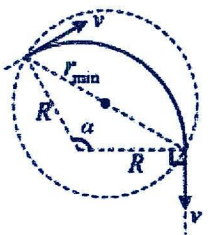
甲



乙



丙



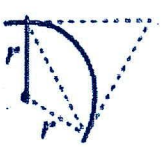
丁

2.最小磁场区域为圆形:画出带电粒子在匀强磁场中的运动轨迹,

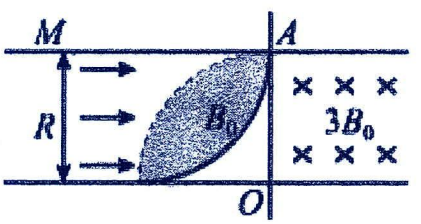
(1)若轨迹为劣弧或者半圆,则以入射点与出射点连线为直径的圆即为面积最小的圆,如图丙,丁;

(2)若为优弧,则轨迹圆即为最小圆.

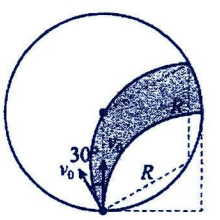
3.最小磁场区域为正三角形：画出带电粒子在匀强磁场中的运动轨迹，以入射点与出射点连线为正三角形的一条边，另两边与圆弧相切的正三角形，即为最小面积的正三角形，如图戊。



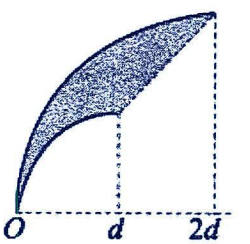
戊



己



庚



辛

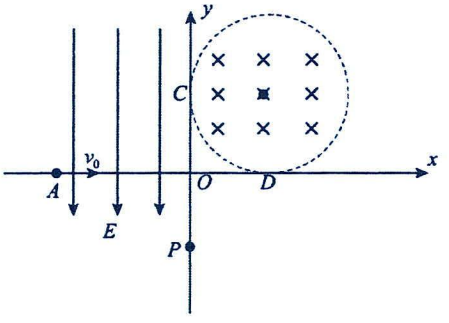
4.其他类型最小面积：磁聚焦作用下的最小面积，如图己、庚；缩放圆作用下的最小面积，如图辛。

【精选例题】

【例 1】如图所示，平面直角坐标系 xOy 的第二、第三象限内存在着沿 y 轴负方向的匀强电场，在第一象限内有一半径为 a 的圆形磁场区域，磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向里，圆形磁场区域与两坐标轴相切于 C、D 两点。在第四象限内存在着一矩形匀强磁场区域（图中未画出），磁场方向垂直纸面向外、磁感应强度大小也为 B。一质量为 m，电荷量为 q 的带负电的粒子由坐标为$\left(-\frac{8}{3}a,0\right)$的 A 点以初速度$v_0$（未知）沿 x 轴正方向进入电场区域，经 C 点进入圆形磁场区域，垂直 x 轴射入第四象限，经矩形磁场区域后垂直于 y 轴到达坐标为$(0,-a)$的 P 点，粒子重力忽略不计，$\sin 37^\circ = 0.6$，求：(1)粒子的初速度v_0和匀强电场电场强度 E 的大小；

(2)矩形匀强磁场区域的最小面积；

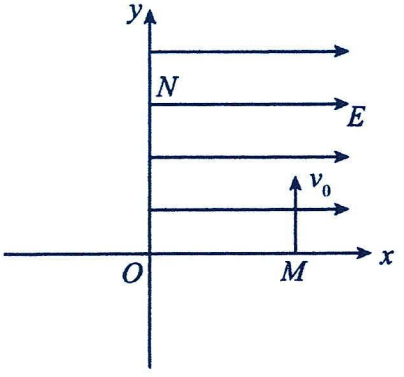
(3)在（2）的情况下粒子由 A 点到 P 点的时间。



【例 2】如图所示，在xOy坐标系中的第一象限内存在沿 x 轴正方向的匀强电场，第二象限内存在大小为 B、方向垂直坐标平面向外的有界圆形匀强磁场（图中未画出），一粒子源固定在 x 轴上$M(L,0)$点，沿 y 轴正方向释放出速度大小均为v_0的电子，电子经电场后恰好从 y 轴上的 N 点进入第二象限，进入第二象限后，电子经磁场偏转后通过 x 轴时，速度方向沿着 y 轴负方向。已知电子的质量为 m、电荷量为 e，电场强度$E=\frac{3mv_0^2}{2eL}$，不考虑电子的重力和电子何的相互作用，求：（1）N 点的 y 轴坐标y_N；

（2）电子通过 N 点的速度大小v_N及速度方向与 y 轴正方向的夹角θ；

（3）圆形磁场区域的最小面积。



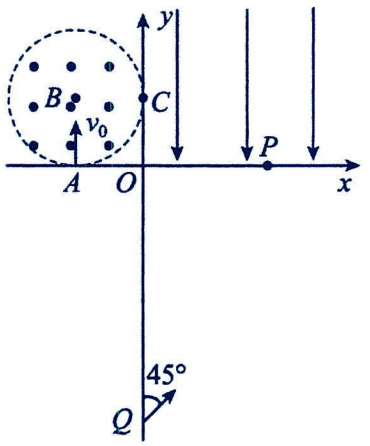
【跟踪训练】

1．电子对湮灭是正电子发射计算机断层扫描（PET）及正电子湮灭能谱学（PAS）的物理基础，是指电子e^-和正电子e^+以等大反向的速度碰撞后湮灭的过程，如图所示，平面直角坐标系xOy内的P点在x轴上，且$OP=2L$，Q点在负y轴上某处。在第I象限内有平行于y轴向下的匀强电场，在第II象限内有一半径为L的圆形磁场区域，与x、y轴分别相切于A、C两点，在第IV象限内有一未知的矩形区域（图中未画出），未知矩形区域和圆形区域内有完全相同的匀强磁场。一速度大小为v_0的正电子从A点沿y轴正方向射入磁场，经C点射入电场，最后从P点射出电场区域；另一速度大小为v_1（未知）的电子从Q点沿与y轴正向成45°角的方向射入第IV象限，而后进入未知矩形磁场区域，离开磁场时正好到达P点，且恰好与从P点射出的正电子正碰发生湮灭。已知正、负电子质量均为m、电荷量大小均为e，重力不计。求：

(1)圆形区域内匀强磁场磁感应强度B的大小和正电子到达P点时的速度大小；

(2)为确保两电子发生湮灭，两电子分别从A点、Q点释放的时间差Δt；

(3)未知矩形磁场区域的最小面积S。

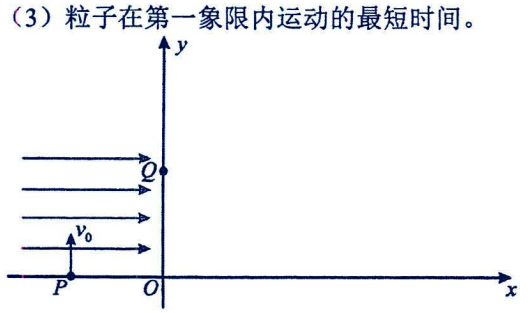


2．如图所示，平面直角坐标系的第一象限内某区域存在着垂直纸面向外圆形的匀强磁场（图中未画出），磁感应强度大小为$B=\dfrac{2mv_0}{qL}$，在第二象限内存在沿x轴正方向的匀强电场。一质量为m，电荷量为q的带正电的粒子从x轴上坐标为$(-\sqrt{3}L,0)$的P点沿y轴正方向以速率v_0进入电场，并从y轴上坐标为$(0,2L)$的Q点进入第一象限，最终从x轴的M点（图中未画出）沿y轴负方向进入第四象限，不计粒子的重力，求：

（1）匀强电场的电场强度；

（2）圆形磁场区域的最小面积；

（3）粒子在第一象限内运动的最短时间。

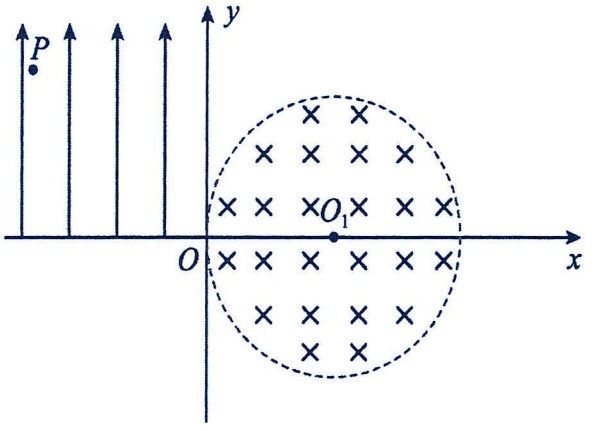


题型六：边界轨迹问题

【精选例题】

【例 1】如图所示，在平面直角坐标系 xoy 的第二象限内有平行于 y 轴的匀强电场，电场强度大小为 E，方向沿 y 轴正方向。在第一、四象限内有一个圆形边界的匀强磁场区域，边界过坐标原点 O，且与 y 轴相切，圆心为 O_1，圆内有方向垂直于 xoy 平面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。一带负电的粒子（不计重力），以速度为 v_0 从第二象限的 P 点，沿平行于 x 轴正方向射入电场，通过坐标原点 O 进入第四象限，射出磁场时速度方向沿 y 轴负方向。已知 P 点的坐标为 $\left(-2\sqrt{3}L, L\right)$。求：（1）带电粒子的比荷 $\frac{q}{m}$；（2）圆形磁场区域的半径 R；

（3）若改变 P 点的位置坐标（仍在第二象限内）和进入电场时的初速度大小（不改变方向），粒子经 O 点进入磁场后仍能沿 y 轴负方向射出磁场，试写出满足条件的 P 点的位置坐标方程。

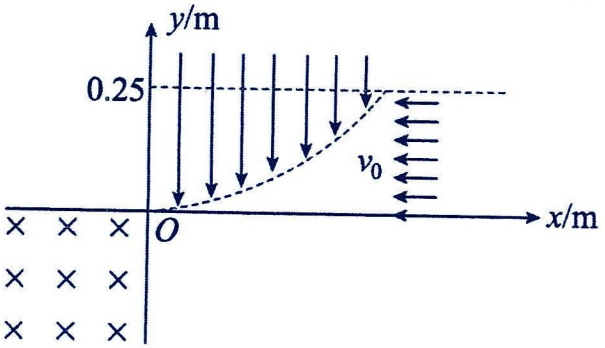


【例 2】如图，在纸面内有一平面直角坐标系 xOy，其第一象限内有一沿 y 轴负方向的有界匀强电场，其右侧边界满足方程 $y=x^2$，如图中虚线所示，电场强度大小 $E=4\text{V/m}$。第三象限内（包含 x 轴负半轴）存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 $B=\frac{\pi}{4}\text{T}$。在第一象限内虚线右侧、纵坐标 $0\le y\le 0.25\text{m}$ 区域内有大量（速度相等）沿 x 轴负方向运动的带电粒子，粒子电荷量 $q=+8\times10^{-6}\text{C}$，质量 $m=1\times10^{-6}\text{kg}$。已知从边界上横坐标为 $x=0.1\text{m}$，以初速度 v_0 处飞入的粒子从坐标原点飞出电场区域，不计粒子重力和粒子之间的相互作用力。求：

（1）粒子的初速度 v_0；

（2）所有粒子离开电场时，其速度方向与 x 轴负方向所成夹角的范围；

（3）粒子在磁场中运动的最短时间和出磁场的坐标。

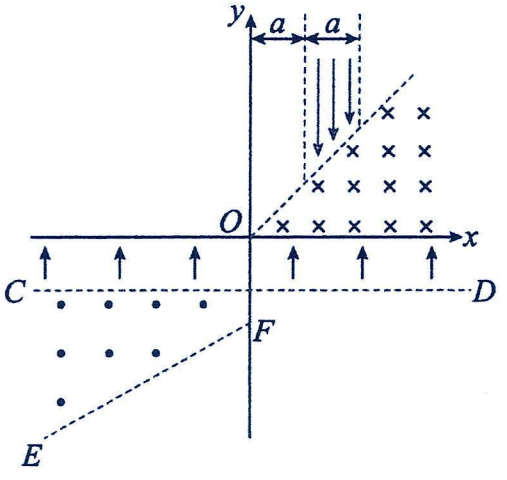


【跟踪训练】

1．如图所示，在 xOy 平面第一象限内，直线 y=0 与直线 y=x 之间存在磁感应强度为 B，方向垂直纸面向里的匀强磁场，x 轴下方有一直线 CD 与 x 轴平行且与 x 轴相距为 a，x 轴与直线 CD 之间（包含 x 轴）存在沿 y 轴正方向的匀强电场，在第三象限，直线 CD 与直线 EF 之间存在磁感应强度也为 B、方向垂直纸面向外的匀强磁场。纸面内有一束宽度为 a 的平行电子束，如图，沿 y 轴负方向射入第一象限的匀强磁场，各电子的速度随入射位置不同大小各不相等，电子束的左边界与 y 轴的距离也为 a，经第一象限磁场偏转后发现所有电子都可以通过原点并进入 x 轴下方的电场，最后所有电子都垂直于 EF 边界离开磁场。其中电子质量为 m，重力可忽略不计，电量大小为 e，电场强度大小为 $E=\frac{eaB^2}{2m}$。求：（1）各电子入射速度的范围；

（2）速度最小的电子在第三象限磁场中做圆周运动的圆心的坐标；

（3）直线 EF 的方程。



考点二：粒子在叠加场中运动

模型概述：电场、磁场、重力场叠加，或其中某两场叠加.

1．是否考虑粒子重力

(1)对于微观粒子，如电子、质子、离子等，因为一般情况下其重力与静电力或洛伦兹力相比太小，可以忽略；而对于一些宏观物体，如带电小球、液滴、尘埃等一般应当考虑其重力.

(2)在题目中有明确说明是否要考虑重力的，按题目要求处理.

(3)不能直接判断是否要考虑重力的，在进行受力分析与运动分析时，要结合运动状态确定是否考虑重力.

2．处理带电粒子在叠加场中的运动的基本思路

(1)场的组成:弄清楚电场,磁场,重力场的叠加情况;

(2)受力分析:按照重力,弹力,摩擦力,其他力的顺序分析受力情况;

(3)运动分析:结合受力情况,判断各阶段运动情况,并画出运动轨迹;

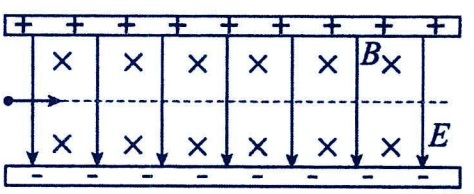
(4)选择规律:结合运动情况,选择相应规律,列平衡等式,动力学等式,能量动量等式.

受力情况	运动性质	应用规律
合力为零	匀速直线运动	平衡条件
合力恒定	匀变速直线运动,匀变速曲线运动	动能定理,牛顿定律,运动学公式
合力大小恒定,方向垂直于速度	匀速圆周运动	向心力公式
合力复杂多变	一般曲线运动	动能定理,能量守恒,动量定理

题型一：直线运动

【精选例题】

【例 1】如图，在平行板器件中，电场强度 E 与磁感应强度 B 相互垂直．一带电粒子（重力不计）从左端以速度 v 沿虚线射入后做匀速直线运动，则该带电粒子（　　）

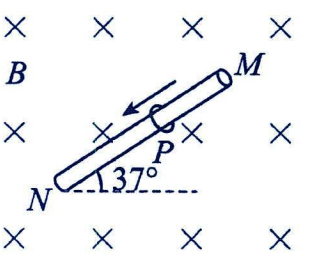


A．一定带正电　　B．速度大小 $v=\dfrac{B}{E}$

C．受到的洛伦兹力一定向上

D．若此粒子从右端沿虚线方向以速度 v 射入，不会沿虚线做匀速直线运动

【例 2】如图所示，一根足够长的光滑绝缘杆 MN，与水平面的夹角为37°，固定在竖直平面内，磁感应强度大小为 B，方向垂直纸面向里的匀强磁场充满杆所在的空间，杆与磁场方向垂直。质量为 m 的带电小环沿杆下滑到图中的 P 处时，对杆有垂直杆向下的压力作用，压力大小为 $0.4mg$。已知小环的电荷量为 q，重力加速度大小为 g，$\sin 37°=0.6$，下列说法正确的是（　　）



A．小环带正电

B．小环滑到 P 处时的速度大小 $v_P=\dfrac{2mg}{5qB}$

C．当小环的速度大小为 $v=\dfrac{mg}{qB}$ 时，小环对杆没有压力

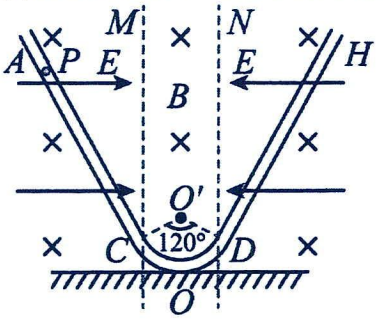
D．当小环与杆之间没有正压力时，小环到 P 的距离 $L=\dfrac{m^2g}{5q^2B^2}$

【例 3】如图所示，绝缘中空轨道竖直固定，圆弧段 COD 光滑，对应圆心角为 120°，C、D 两端等高，O 为最低点，圆弧圆心为O'，半径为 R（R 远大于轨道内径），直线段轨道 AC、HD 粗糙，与圆弧段分别在 C、D 端相切，整个装置处于方向垂直于轨道所在平面向里、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，在竖直虚线 MC 左侧和 ND 右侧还分别存在着场强大小相等、方向水平向右和向左的匀强电场。现有一质量为 m、电荷量恒为 q、直径略小于轨道内径、可视为质点的带正电小球，与直线段轨道间的动摩擦因数为μ，从轨道内距 C 点足够远的 P 点由静止释放，若$PC=l$，小球所受电场力等于其重力的$\frac{\sqrt{3}}{3}$倍。重力加速度为 g。求：

(1)小球在轨道 AC 上下滑的最大速度；

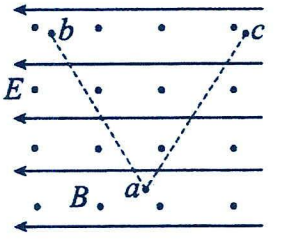
(2)经足够长时间，小球克服摩擦力做的总功；

(3)经足够长时间，小球经过 O 点时，对轨道的压力大小。



【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示，空间存在水平向左的匀强电场 E 和垂直纸面向外的匀强磁场 B，在竖直平面内从 a 点沿 ab、ac 方向抛出两带电小球，不考虑两带电小球间的相互作用，两小球的电荷量始终不变，关于小球的运动，下列说法正确的是（　　）



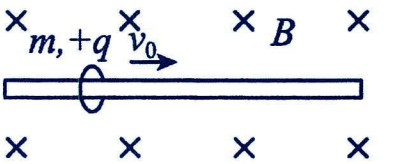
A．沿 ab、ac 方向抛出的小球都可能做直线运动

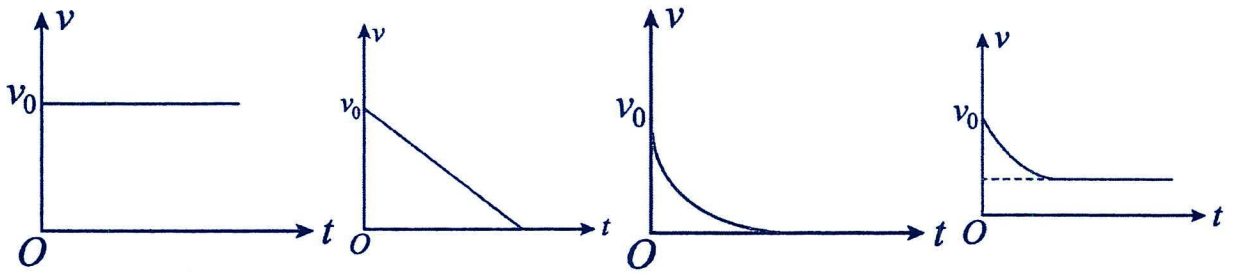
B．若小球沿 ac 方向做直线运动，则小球带负电，可能做匀加速运动

C．若小球沿 ab 方向做直线运动，则小球带正电，且一定是匀速运动

D．两小球在运动过程中机械能均增大

2．（多选题）如图所示，质量为m、电荷量为$+q$的圆环可在水平放置的足够长的粗糙细杆上滑动，细杆处于磁感应强度为B的匀强磁场中，不计空气阻力，现给圆环向右的初速度v_0，在以后的运动过程中，圆环运动的速度——时间图像不可能是下列选项中的（　）

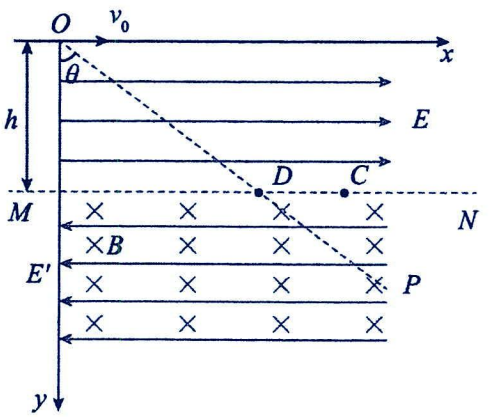




A　　B　　C　　D

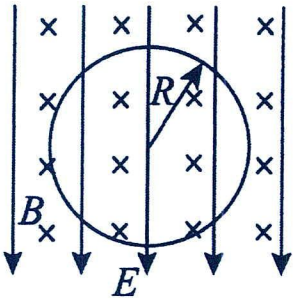
3．如图所示，在空间中O点放一质量为m、带电荷量为$+q$的微粒，过O点水平向右为x轴，竖直向下为y轴，MN为水平边界线，MN上方存在水平向右的匀强电场E，MN下方存在水平向左的匀强电场E'和垂直纸面向里的匀强磁场。$OM=h$，若从静止释放此微粒，微粒一直沿直线OP穿过此区域，$\theta=60°$，若在O点给它一沿x轴正方向的初速度v_0，它将经过MN上的C点。电场强度E和E'大小未知，重力加速度为g，求：

(1)C点的坐标；(2)匀强磁场的磁感应强度大小B。



题型二：匀速圆周

【精选例题】



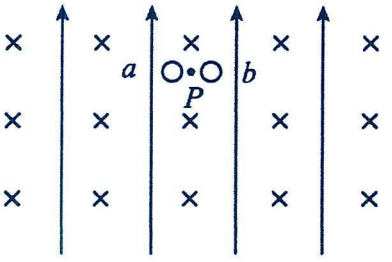
【例 1】如图所示，一带电液滴在相互垂直的匀强电场和匀强磁场中刚好做匀速圆周运动，其轨道半径为 R，已知电场的电场强度为 E，方向竖直向下；磁场的磁感应强度为 B，方向垂直纸面向里，不计空气阻力，设重力加速度为 g，则下列说法正确的是（　　）

A．液滴带正电

B．液滴所受合外力为零

C．液滴受到重力、电场力、洛伦兹力、向心力作用

D．液滴运动的速度 $v=\frac{BgR}{E}$



【例 2】如图所示，空间某区域存在相互垂直的匀强电场和匀强磁场，磁场方向垂直于纸面向里，电场方向竖直向上。在 P 点同时将两带电小球 a、b 以等大的速率分别向左、右两侧水平抛出后，二者均做匀速圆周运动，不考虑两球之间的相互作用。下列判断正确的是（　　）

A．两球一定都带负电

B．两球比荷不相等

C．两球的轨道半径相等

D．两球一定同时到达 P 点正上方

【跟踪训练】

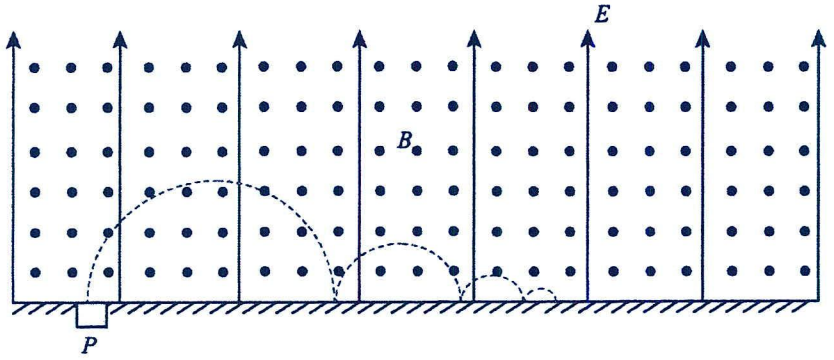
1．（多选题）如图所示，在绝缘挡板的上方有一无限大的匀强电场和匀强磁场复合区域，匀强磁场垂直纸面向外且磁感应强度 $B=1\mathrm{T}$，匀强电场方向竖直向上。在 P 处弹射装置能够弹射质量为 0.01kg，电荷量大小为 $q=0.1\mathrm{C}$ 的小球，小球的速度方向竖直向上，大小为 $v_0=5\mathrm{m/s}$。小球经过磁场偏转后与挡板发生碰撞，每一次碰撞前后小球电荷量不变且碰撞后小球速度变为碰撞前的一半，形成的部分轨迹为一系列相连的半圆。重力加速度的大小 $g=10\mathrm{m/s^2}$，下列说法正确的是（　）

A．小球带正电

B．电场强度的大小为 $10\mathrm{N/C}$

C．小球相邻两次与挡板碰撞的时间间隔不变，均为 $\frac{\pi}{5}\mathrm{s}$

D．小球最终位置与 P 点的距离为 2m

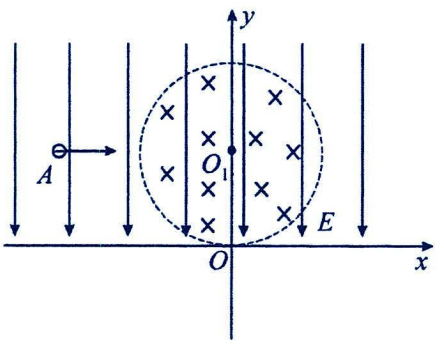


2．如图所示，竖直平面内有一直角坐标系xOy，其第一、二象限存在一场强为E的匀强电场，方向竖直向下，虚线内的圆形区域还存在一方向垂直纸面向里的匀强磁场，该区域圆心O_1的坐标为$(0,d)$，半径为d。现从$A(-2d,d)$点水平向右发射一个初速度为v_0带负电的微粒，发现微粒在电场中做匀速直线运动，进入磁场后发生偏转，并恰好从O点射出磁场。已知重力加速度为g。

（1）求微粒的比荷和磁场的磁感应强度大小；

（2）若将发射微粒的位置调整为$A'\left(-2d,\frac{d}{2}\right)$，其他条件不变，求微粒从发射到穿出磁场的时间；

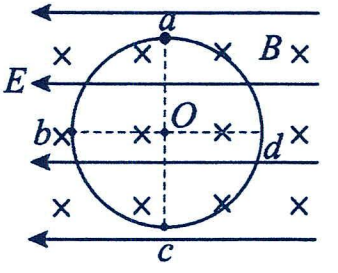
（3）在第（2）问中，微粒会穿过x轴进入下方区域，若x轴下方区域存在大小也为E的匀强电场（图中未画出），并使微粒轨迹发生偏转经过y轴某点，该电场朝什么方向时，能使微粒用最短时间到达y轴？并求出轨迹与y轴交点的坐标。



题型三：变速圆周

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，空间存在水平向左的匀强电场和垂直于纸面向里的水平匀强磁场。在该区域中，有一个竖直放置的光滑绝缘圆环，环上套有一个带正电的小球。O 点为圆环的圆心，a、b、c、d 为圆环上的四个点，a 点为最高点，c 点为最低点，b、O、d 三点在同一水平线上。已知小球所受的电场力与重力大小相等。现将小球从环的顶端 a 点由静止释放，下列判断正确的是（　　）



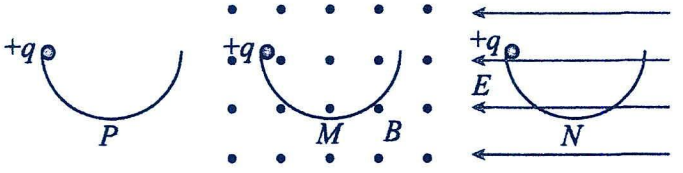
A．小球能越过 d 点并继续沿环向上运动

B．当小球运动到 d 点时，不受洛伦兹力

C．小球从 b 点运动到 c 点的过程中，经过弧中点时速度最大

D．小球从 a 点运动到 b 点的过程中，重力势能减少，电势能增大

【例 2】如图所示，三个完全相同的竖直放置光滑半圆形轨道，分别处在真空（无电场、磁场）、匀强磁场和匀强电场中，轨道两端在同一高度上。三个相同的带正电小球同时从轨道左端最高点由静止开始沿轨道运动，P、M、N 分别为轨道的最低点，如图所示，三个小球始终都不脱离轨道。则下列有关判断正确的是（　）



A．小球第二次到达轨道最低点的动量关系 $p_P = p_M < p_N$

B．小球第二次到达轨道最低点时在 P 点对轨道的压力最大

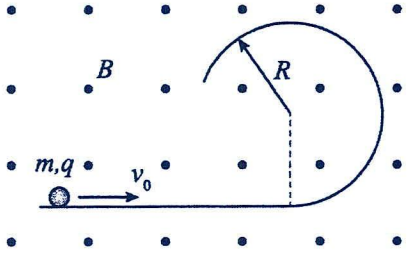
C．小球从开始运动到第一次到达轨道最低点的过程中重力的冲量大小关系 $I_P < I_M < I_N$

D．三个小球到达轨道右端的高度都不相同，但都能回到原来的出发点位置

【例 3】如图所示，一根水平光滑的绝缘直槽轨连接一个竖直放置的半径为 $R = 0.50\text{m}$ 的绝缘光滑槽轨。槽轨处在垂直纸面向外的匀强磁场中，磁感应强度 $B = 0.50\text{T}$，有一个质量 $m = 0.10\text{kg}$、带电量为 $q = +1.6\text{C}$ 的小球在水平轨道上向右运动。若小球恰好能通过最高点，重力加速度 g=10m/s²。.求：

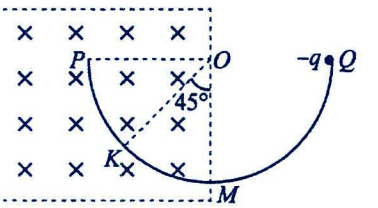
(1)小球在最高点 N 的速度大小及洛伦兹力 F 的大小；

(2)小球的初速度 v_0。（可用根号表示）



【跟踪训练】

1．如图所示，圆心为O、半径为R的光滑半圆弧绝缘轨道PMQ固定在竖直面内，P、Q两点等高，M点为圆弧轨道最低点，在轨道的左半边有方向垂直于轨道平面向里的匀强磁场，K点为圆弧PM上的一点，KO连线与OM夹角为45°。一带负电的小球（可视为质点），从轨道右端Q点无初速度释放，运动过程中始终未脱离轨道，已知M点在磁场内，重力加速度大小为g，则下列说法中正确的是（　）



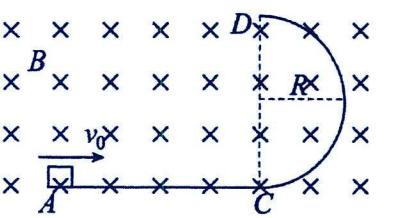
A．小球滑到轨道左侧后，不会到达P点

B．小球经过K点时的向心加速度大小为$\frac{\sqrt{2}}{2}g$

C．小球由Q点滑到M点与从M点滑到P点所用的时间相等

D．小球在磁场中，向左经过M点时对轨道的压力大于向右经过M点时对轨道的压力

2．（多选题）如图所示，一质量为m=0.10g、带电荷量q=1.6×10³C的带负电滑块（可看作质点）以初速度v_0=5m/s由水平面上的A点向右滑动，到达C点后恰好能通过半径为R=0.5m的光滑半圆轨道的最高点D，已知水平轨道AC与半圆轨道相切于C点，整个装置处在垂直纸面向里、磁感应强度B=0.50T的匀强磁场中，重力加速度g=10m/s²，则（　　）



A．滑块运动到最高点D时的速度大小为1m/s

B．滑块运动到最高点D时的速度大小为$\sqrt{5}$ m/s

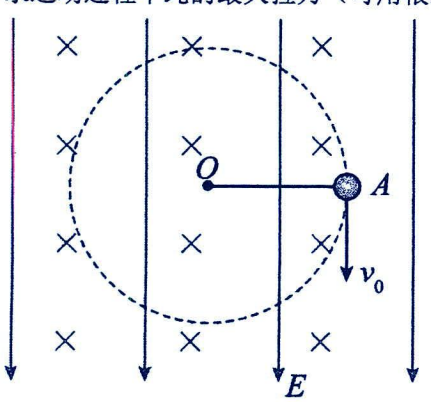
C．滑块从C运动到D的过程中，机械能不守恒

D．滑块从A到C的过程中克服阻力做的功为2×10⁻⁴J

3．长为L=0.5m的轻绳一端固定在O点，另一端系一质量为m=1kg、电荷量q=-1C的带电小球，在空间加一竖直向下场强E=10N/C的匀强电场和水平向里的磁感应强度B=0.5T的匀强磁场，将绳水平拉直到如图中A点，并以竖直向下的速度v_0开始运动。已知重力加速度g=10m/s²。

（1）要使小球在竖直平面内以O为圆心做圆周运动，v_0至少为多大？

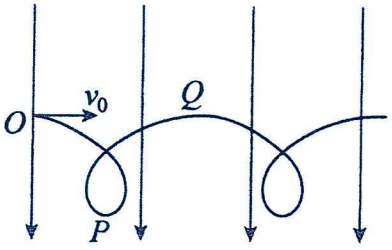
（2）将小球电荷量调整为q=+1C，当v_0=6m/s时，通过计算说明小球能否在竖直平面内做完整的圆周运动？并求运动过程中绳的最大拉力（可用根式表示）



题型四：一般曲线运动

【精选例题】

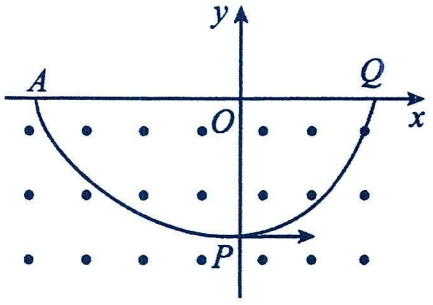
【例 1】（多选题）如图所示，空间中存在着正交的匀强磁场和匀强电场，已知电场强度大小为 E，方向竖直向下，磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面。一电子从 O 点以一定初速度 v_0 水平向右飞入其中，运动轨迹如图所示，其中 O、Q 和 P 分别为轨迹在一个周期内的最高点和最低点，不计电子的重力。下列说法正确的是（　）



A．磁感应强度方向垂直纸面向外　　B．磁感应强度方向垂直纸面向里

C．电子的初速度 v_0 大于 $\frac{E}{B}$　　D．由 O 点至 P 点的运动过程中，电子的速率在增大

【例 2】如图所示，直角坐标系 xOy 位于竖直平面内，y 轴竖直向上，第III、IV象限内有垂直于坐标平面向外的匀强磁场，第IV象限同时存在方向平行于 y 轴的匀强电场（图中未画出），一质量为 m、带电量绝对值为 q 的小球从 x 轴上的 A 点由静止释放，恰好从 P 点垂直于 y 轴进入第IV象限，然后做圆周运动，从 Q 点以速度 v 垂直于 x 轴进入第I象限，重力加速度为 g，不计空气阻力。则（　　）

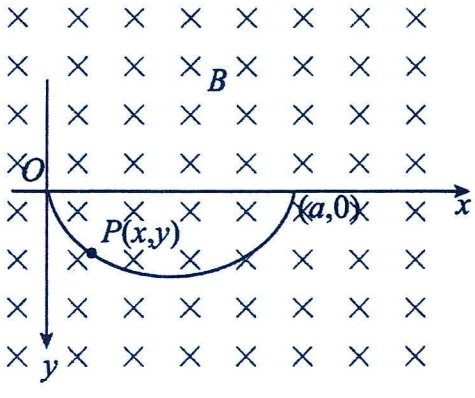


A．小球从 A 点到 P 点做圆周运动　B．电场方向可能竖直向上

C．O 点到 P 点距离大于 $\frac{v^2}{2g}$　　D．小球在第IV象限运动的时间为 $\frac{\pi v}{4g}$

【跟踪训练】

1．（多选题）空间存在磁感应强度为 B 的匀强磁场，磁场方向垂直于 xOy 平面向里，匀强电场的场强为 E、方向沿 y 轴向下，将一个质量为 m、带正电 q 的粒子从 O 点由静止释放，粒子的部分运动轨迹如图中曲线所示。出发后粒子第一次到达 x 轴的坐标为(a，0)，已知该曲线在最低点的曲率半径为该点到 x 轴距离的 2 倍，该粒子运动过程中任意位置的坐标可以表示为 P(x,y)，不计粒子的重力，则（　　）



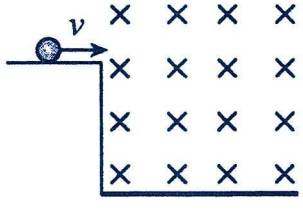
A．该粒子运动过程中任意位置坐标的 y 值不可能取负值

B．该粒子运动过程中任意位置坐标的 x 值不可能大于 a

C．粒子在运动过程中第一次运动到离 x 轴最远处时，距离 x 轴的距离 $y_m=\frac{mE}{qB^2}$

D．粒子运动过程中的最大速率 $v_m=\frac{2E}{B}$

2．一带正电荷的小球沿光滑、水平、绝缘的桌面向右运动，如图所示，速度方向垂直于匀强磁场．小球飞离桌面后，最终落在水平地面上，设飞行时间为 t_1，水平射程为 s_1，着地速率为 v_1．现撤去磁场，其他条件不变，小球飞行时间为 t_2，水平射程为 s_2，着地速率为 v_2，则有(　)



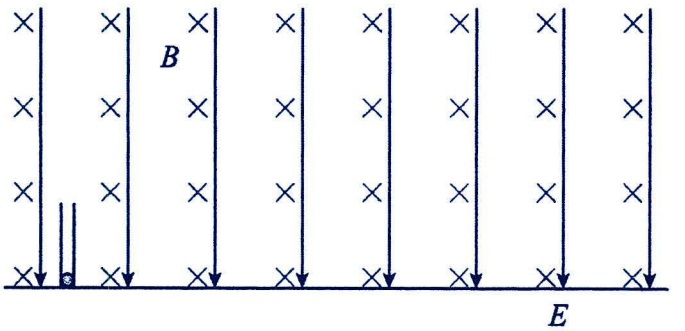
A．$v_1>v_2$　　B．$v_1=v_2$　　C．$s_1=s_2$　　D．$t_1<t_2$

3．如图所示，水平面上方有正交电磁场区域足够宽，匀强磁场方向沿水平方向（图中所示），磁感应强度大小为B，匀强电场方向竖直向下，场强大小为E；不计厚度、内壁光滑的竖直小圆筒内底部静止放有一质量为m、带电荷量为+q的带电微粒。现让小圆筒以加速度a由静止开始向右平动，在微粒开始沿筒壁上升瞬间，立即让小圆筒以此刻速度的2倍做匀速运动，已知小圆筒匀速运动的距离为小圆筒长度的2倍时，微粒恰好离开小圆筒，并在此刻撤去匀强电场。不计重力大小，则：

(1)小圆筒由静止开始运动，经过多长时间微粒将沿筒壁上升；

(2)小圆筒的长度；

(3)求微粒离开小圆筒后能上升的最大高度（距离圆筒上端口的最大高度）。



题型五：应用配速法解决叠加场问题

1.若重力(或电场力)和洛伦兹力不平衡，则带电粒子在磁场中所受合力不会零，则粒子的速度会改变，洛伦兹力也会随着变化，合力也会跟着变化，则粒子做一般曲线运动(其轨迹是数学中的摆线)，运动比较复杂，这类题型一般都以压轴题的形式出现，求解的方法有如下两种：

(1)机械能守恒法：因洛伦兹力不做功，故机械能守恒，由此可求解问题；

(2)配速法：求解位移、周期等物理问题。

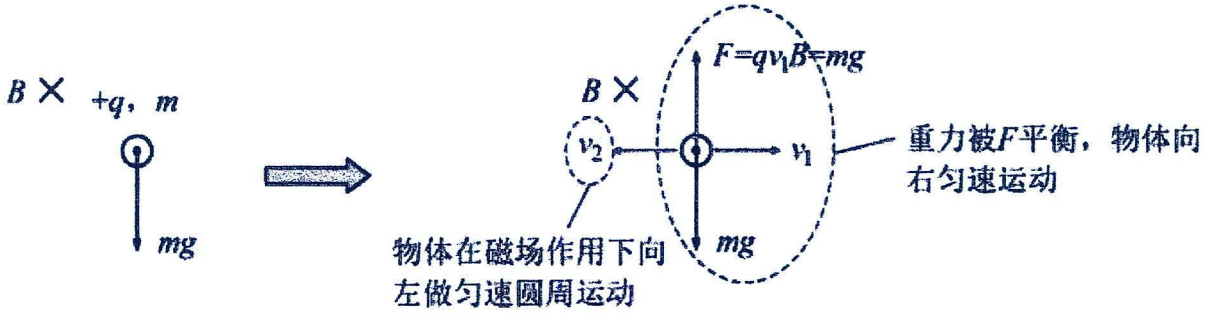
2.把初速度分解成两个分速度，即将一个复杂的曲线运动分解成两个比较常见的运动，这种方法叫配速法。

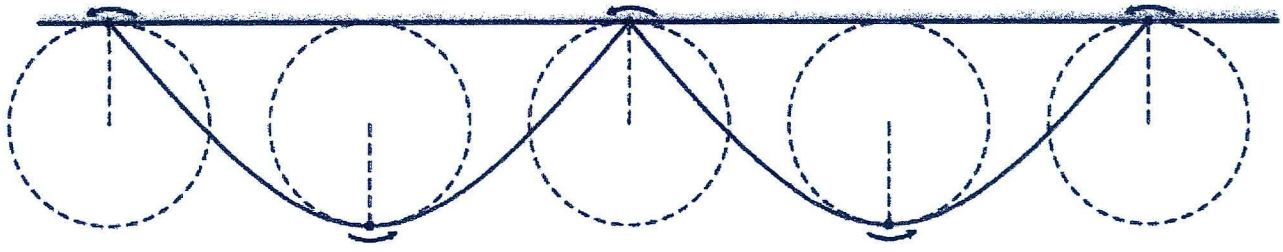
3."配速法"的思路过程：

(1)将带电粒子的速度进行这样的分解——其中一个分速度 v_1 引起的洛伦兹力与电场力(或重力、或重力电场力的合力)平衡，v_2 引起的洛伦兹力提供向心力；

(2)按前述分解后，得到带电粒子的两个分运动——v_1 引起的匀速直线运动和 v_2 引起的匀速圆周运动，则带电粒子的实际运动是这两个分运动的合运动。

4.实例分析：





相当于轮子绕着天花板向右滚动

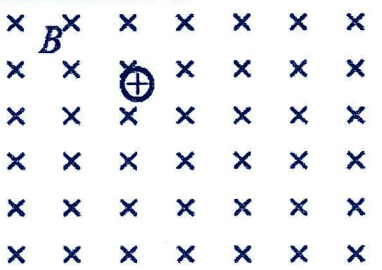
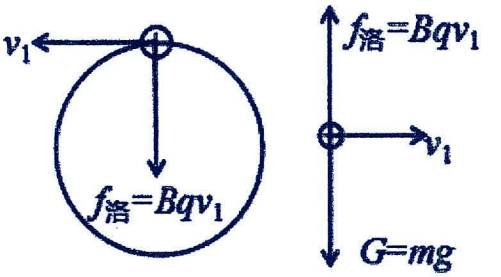
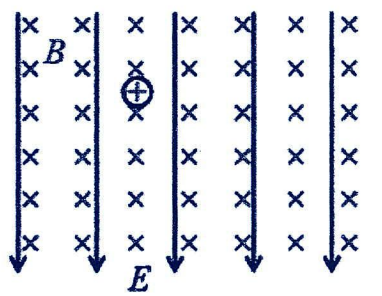
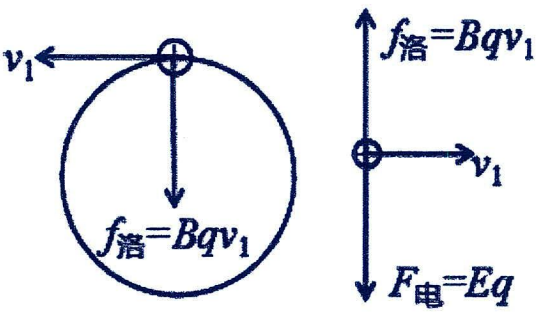
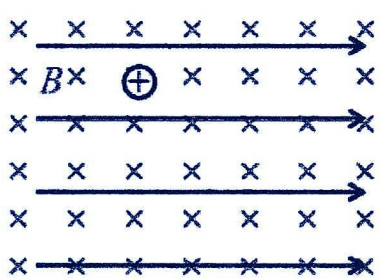
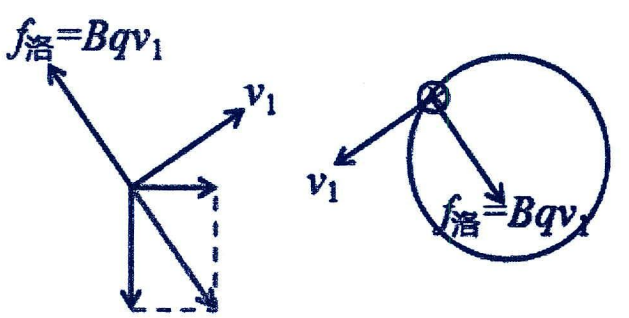
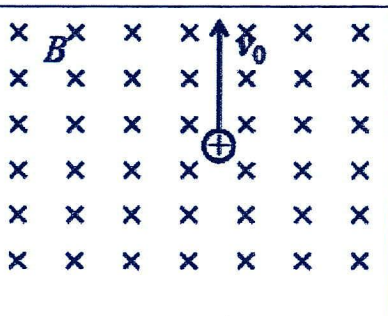
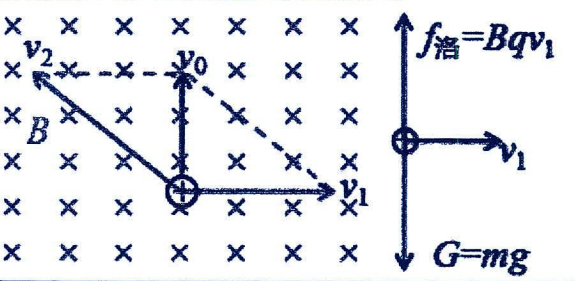
如图，在左图中，由于重力和洛伦兹力两个作用，小球必定做不规则的曲线运动，处理起来就会很麻烦，此时**就可以给小球配一对等大反向的速度 v_1 和 v_2，且使 $qv_1B=mg$，即用**

向右的 v_1 产生的洛伦兹力平衡重力，使得其向右以 v_1 的速度做匀速直线运动；

向左的 v_2 产生的洛伦兹力作用下，小球将会向下做匀速圆周运动；

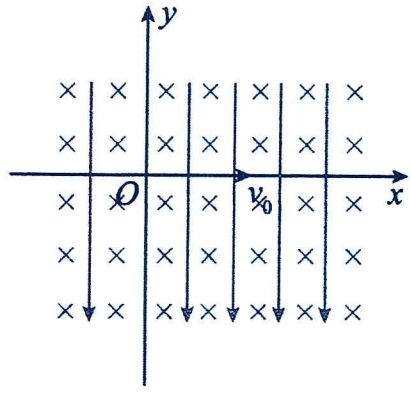
小球最终的运动即为水平向右的匀速运动和圆周运动的合运动(如图中的轮滚线轨迹)

5.几种常见情况：

常见情形		处理方法
初速度为 0 有重力		把初速度 0，分解一个向左的速度 v_1 和一个向右的速度 v_1 
初速度为 0 不计重力		把初速度 0，分解一个向左的速度 v_1 和一个向右的速度 v_1 
初速度为 0 有重力		把初速度 0，分解一个斜向左下方的速度 v_1， 一个斜向右上方的速度 v_1 
初速度为 v_0 有重力		把初速度 v_0，分解速度 v_1 和速度 v_2 

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，空间存在一范围足够大的垂直于 xoy 平面向里的匀强磁场和沿 y 轴负方向的匀强电场，磁感应强度为 B，电场强度为 E，让一带正电的粒子从坐标原点 O 以 $v_0=\frac{E}{2B}$ 的初速度沿 x 轴正向发射，不计粒子重力影响，则（　）



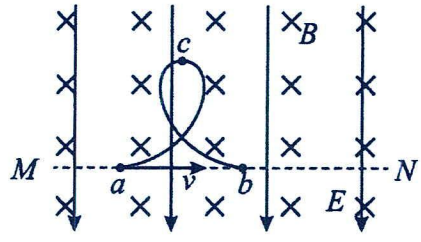
A．粒子始终在第四象限内做周期性运动

B．粒子最初一段径迹是一段抛物线

C．粒子最终以 $2v_0$ 的速度做匀速直线运动

D．粒子运动过程中的最大速度为 $3v_0$

【例 2】（多选题）如图所示，在磁感应强度大小为 B、水平向里的匀强磁场中，直线 MN 既水平又垂直于磁场，磁场空间还有电场强度大小为 E、竖直向下的匀强电场。质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子从 MN 上的 a 点以大小为 v 的速度沿 MN 向右射出，粒子运动的部分轨迹如图中的实线所示，轨迹上的 b 点在 MN 上，c 点是轨迹的最高点。已知 $v=\frac{3E}{B}$，不计空气阻力和粒子的重力。在粒子从 a 运动到 b 的过程中，下列说法正确的是（　　）



A．c 点距 MN 的距离为 $\frac{4Em}{B^2q}$

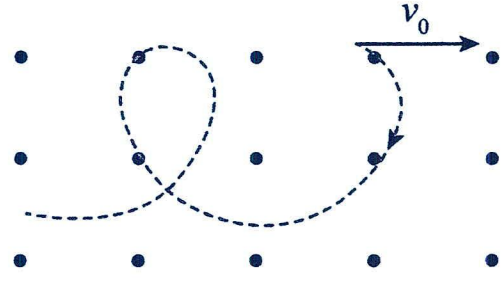
B．a、b 两点间的距离为 $\frac{6\pi Em}{B^2q}$

C．粒子在 c 点受到的向心力大小为 $2Eq$

D．粒子运动的加速度大小恒定不变

【跟踪训练】

1．（多选题）在地面上方空间存在方向垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的水平方向匀强磁场，一电荷量为＋q、质量 $m=\frac{qBv_0}{2g}$ 的带电小球以水平初速度 v_0 水平向右抛出，运动轨迹如图。已知重力加速度为 g，下列说法正确的是（　）



A．小球从轨迹的最高点运动到最低点的过程，机械能守恒

B．小球运动到轨迹的最低点时的速度大小为 $2v_0$

C．小球水平抛出时的加速度大小为 2g

D．小球在竖直面内运动轨迹的最高点与最低点的高度差 $h=\frac{3v_0^2}{2g}$

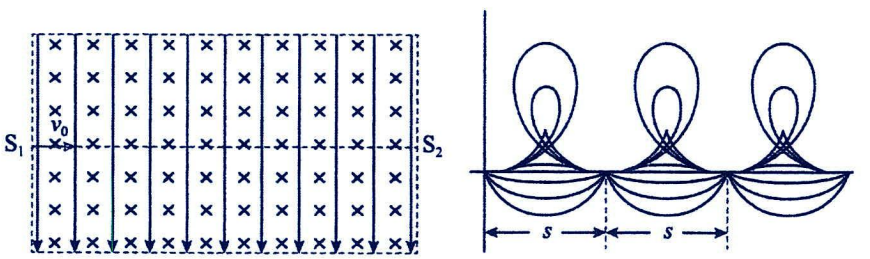
2．（多选题）在图甲所示虚线框内存在竖直向下的匀强电场和垂直于纸面向里的匀强磁场，电场强度大小为E，磁感应强度大小为B。一群质量为m，带电量为q（q>0）的粒子从左侧边界中央S_1处，以不同大小的初速度v_0水平向右同时射入。图乙表示初速度不同的粒子对应的轨迹，图中S反映粒子运动空间周期性的参量。忽略粒子重力和粒子间的相互作用，可以推断（　　）

A．只有$v_0=\frac{E}{B}$的粒子能从S_2射出

B．只要虚线框的尺寸合适，粒子都能从S_2射出

C．若以$v_0=\frac{E}{B}$的粒子为参考系，则其他粒子都做匀速圆周运动，且半径都相同

D．若以$v_0=\frac{E}{B}$的粒子为参考系，则其他粒子都做匀速圆周运动，且周期都相同



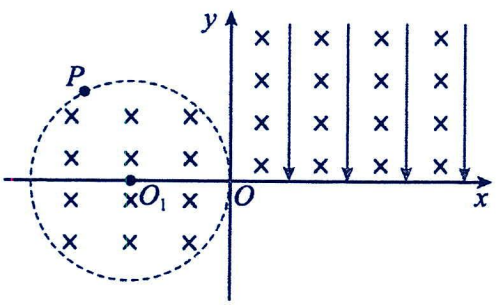
甲　　乙

3．如图所示的xOy坐标平面，在第二、三象限存在半径为R的圆形匀强磁场区域，圆心位于$O_1(-R,0)$位置，磁感应强度大小为B，方向垂直xOy坐标平面向里；在第一象限存在正交的匀强电场和匀强磁场，电场方向沿y轴负方向，匀强磁场的大小和方向与第二、三象限的磁场均相同。圆形磁场边界上有一个P点，P点与y轴的距离为$\frac{3R}{2}$。一个质量为m、电荷量为$q(q>0)$的粒子从P点垂直磁场方向射入圆形匀强磁场区域，恰好从坐标原点O沿x轴正方向进入正交的电磁场区域。已知电场强度大小为$E=\frac{\sqrt{3}qB^2R}{2m}$，不计粒子所受重力，求：

(1)带电粒子从P点垂直进入圆形匀强磁场时的速度大小；

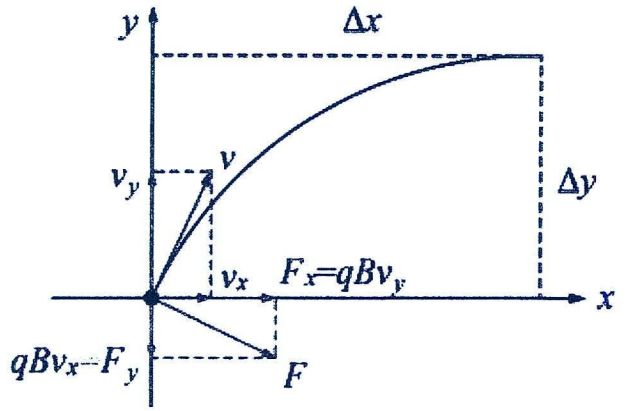
(2)带电粒子在第一象限距x轴的最大距离；

(3)带电粒子在第一象限的轨迹与x轴相切点的坐标。



题型六：应用正则动量定理解决叠加场问题

1.分析思路与过程



如图所示，将粒子的速度和位移分解成 x 和 y 两个方向：

x 方向的速度 v_x 决定 y 方向的洛伦兹力，该力与 y 方向的其他力 F_y 共同决定 y 方向的动量变化；

y 方向的速度 v_y 决定 x 方向的洛伦兹力，该力与 x 方向的其他力 F_x 共同决定 x 方向的动量变化。

由：$\begin{cases}F_x\cdot\Delta t=qBv_y\Delta t=m\Delta v_x\\F_y\cdot\Delta t=qBv_x\Delta t=m\Delta v_y\end{cases}$，得到：$\begin{cases}qB\Delta y=m\Delta v_x\\qB\Delta x=m\Delta v_y\end{cases}$

这就是正则动量定理(这里的正则指某个特定方向)，是空间平移对称性的体现。

2. (1)在 x 方向的动量变化对应 y 方向的位移Δy，y 方向的动量变化对应 x 方向的位移Δx；

(2)正则动量一般需要与动能定理等结合一起使用；

(3)适用场景：用于洛伦兹力作用下(单独的磁场、有磁场的叠加场或组合场均可使用)，根据两个垂直方向的速度变化量和位移变化量的定量关系求解速度或位移；

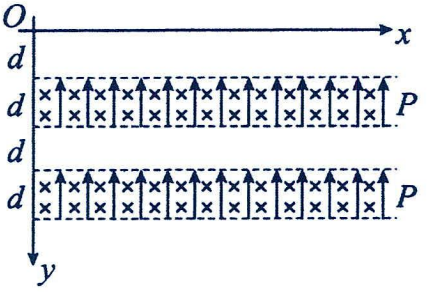
(4)正则动量定理在解决一类多磁场穿出、穿入问题有很大作用。

【精选例题】

【例 1】如图所示，在 x 轴下方，沿 y 轴方向每间隔 $d=0.2\text{m}$ 的高度就有一段间距为 d 的区域 P，区域 P 内既存在竖直向上、场强 $E=20\text{N/C}$ 的匀强电场，也存在垂直坐标平面水平向里的匀强磁场，磁感应强度 $B=2\text{T}$。现有一电荷量 $q=5\times10^{-10}\text{C}$、质量 $m=1\times10^{-9}\text{kg}$ 的带正电的粒子从坐标原点 O 自由下落。粒子可视为质点，取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$。（1）求粒子刚到达第一个区域 P 时的速度大小 v_1；

（2）求粒子穿出第一个区域 P 时速度的水平分速度大小 v_x；

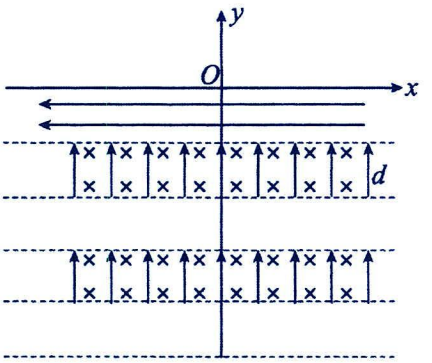
（3）若将所有区域的磁感应强度的大小调整为 B'，使粒子刚好不能穿出第 2 个区域 P，求 B' 的大小。



【例 2】如图所示，在 x 轴下方存在特殊的复合场，每个区域水平方向足够长，竖直间距均为 d。其中第一个区域内存在水平向左的匀强电场，第二个区域内存在竖直向上的匀强电场和垂直于纸面向里的匀强磁场，第三个区域内只有重力场，往下重复二、三区域场，把第二个区域称为第一个 p 区，第四个区域称为第二个 p 区，以此类推。现将一质量为 m、电荷量为 q 的带正电小球从 y 轴上某点水平向右抛出，小球运动到 x 轴时速度方向与 x 轴正方向的夹角为 45°，小球进入第一个 p 区时速度方向恰好竖直向下，进入第 n 个 p 区后恰好不能从该区域的下边界离开，不考虑小球回到第一象限之后的运动。已知各区域内电场的电场强度大小均为 $E=\frac{mg}{q}$，磁场的磁感应强度大小均为 B，重力加速度大小为 g。求：

（1）小球抛出点的纵坐标 y_0；

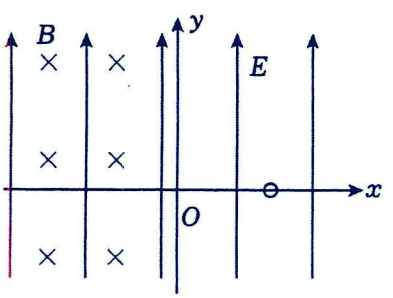
（2）磁感应强度大小 B 与 n 之间满足的关系。



【例 3】如图，在直角坐标系 xOy 中，存在着场强为 $E=\frac{2mg}{q}$，在第二、三象限内存在着磁感应强度均为 $B=\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2g}{L}}$，方向垂直纸面向里的匀强磁场。一长为 L 的绝缘细线，一端固定在坐标原点，另一端拴着质量为 m、电荷量为 q 的正电小球，现将细线拉直到水平位置，当小球运动到最高点时，细线受到的拉力恰好达到它能承受的最大值而断裂。当细线断裂，并多次经过 x 轴。已知在第二象限内小球第一次到 x 轴的坐标绝对值为 $\frac{\pi l}{2}$，重力加速度为 g。(1)细线能承受的最大拉力；

(2)小球进入第二象限后运动过程中的最小速率；

(3)小球从进入第二象限开始至第一次到达 x 轴所用的时间。

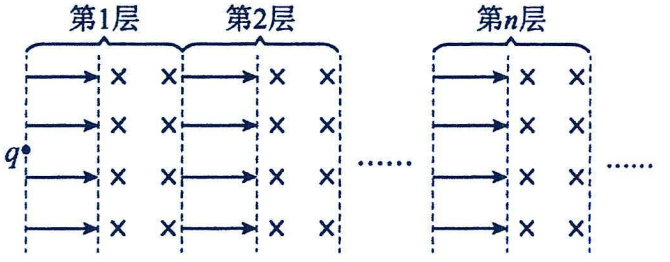


【例 4】现代科学仪器常利用电场磁场控制带电粒子的运动，如图所示，真空中存在着多层紧密相邻的匀强电场和匀强磁场，宽度均为 d 电场强度为 E，方向水平向右；垂直纸面向里磁场的磁感应强度为 B，电场磁场的边界互相平行且与电场方向垂直.一个质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子在第 1 层电场左侧边界某处由静止释放，粒子始终在电场、磁场中运动,不计粒子重力及运动时的电磁辐射。

（1）求粒子在第 2 层磁场中运动时速度 v_2 的大小与轨迹半径 r_2；

（2）粒子从第 n 层磁场右侧边界穿出时，速度的方向与水平方向的夹角为 θ_n，试求 $\sin\theta_n$；

（3）若粒子恰好不能从第 n 层磁场右侧边界穿出,试问在其他条件不变的情况下，也进入第 n 层磁场，但比荷较该粒子大的粒子能否穿出该层磁场右侧边界，请简要推理说明之。



【跟踪训练】

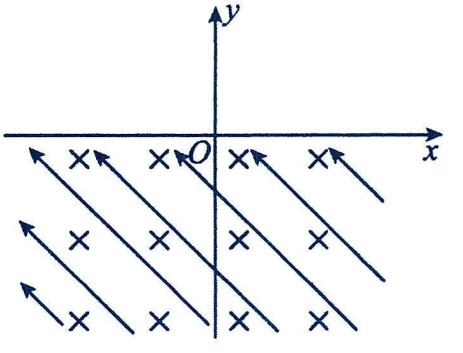
1．（多选题）如图所示，xOy 坐标平面在竖直平面内，x 轴沿水平方向，y 轴沿竖直方向；x 轴下方为垂直正交的匀强电场与匀强磁场，电场方向与 x 轴负方向夹角为 45°，磁场方向垂直 xOy 平面向里。现将一个质量为 m、电荷量为 q 的带正电小球从 y 轴正半轴上距 O 点 d 处静止释放，小球从 O 点进入电磁场区域，恰好做直线运动；第二次将这个小球从 y 轴上距 O 点 $2d$ 处由静止释放，从 O 点进入电磁场区域后做曲线运动，N 点为小球的运动轨迹上距离 y 轴最远的点，已知电场强度 $Eq=\sqrt{2}mg$，重力加速度为 g，以下说法正确的是（　）

A．匀强磁场的磁感应强度大小为 $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{g}{2d}}$

B．第二次释放小球进入电磁场区域后做匀变速曲线运动

C．N 点与 O 点水平间距为 $4(\sqrt{2}-1)d$

D．N 点与 O 点竖直间距可能为 πd

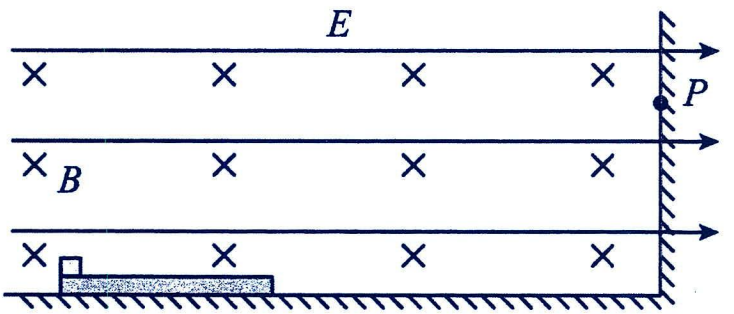


2．如图所示，光滑水平地面上放置一质量为 m 的不带电绝缘长木板，空间中存在水平向右的匀强电场 E 和垂直纸面向里的匀强磁场 B，E、B 大小均未知。$t=0$时，在木板上表面静止释放一个质量为 m 的带正电物块，物块所受电场力大小为 mg（g 为重力加速度），物块与木板间的动摩擦因数 $\mu=0.5$。$t=t_1$（t_1 已知）时，物块速度为 v_0 且恰好飞离木板，再经过 $t_2=\dfrac{3\pi v_0}{2g}$ 时间，物块速度的水平分量第一次减到 0，且恰好到达右侧光滑竖直墙壁的 P 点。已知物块可视为质点，忽略木板厚度，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，物块飞离木板前木板未与墙壁发生碰撞，求：（1）电场强度与磁感应强度的大小之比；

（2）$t=t_1$ 时，木板速度的大小；

（3）$0\sim t_1$ 时间内，物块与木板间摩擦发热量；

（4）物块运动过程中距地面的最大高度。

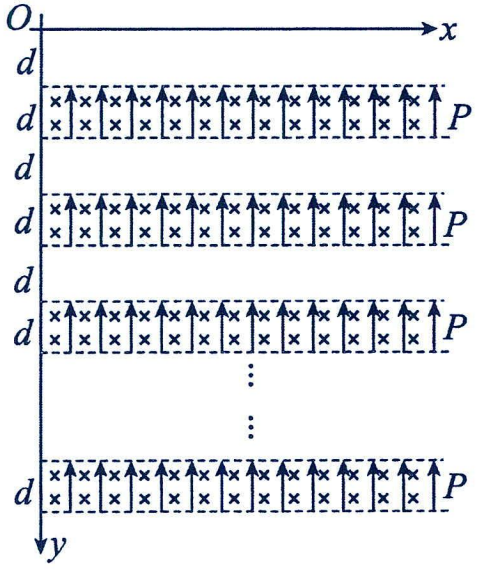


3．粒子分析器是服务于多科技领域，涵盖“科、教、研、产”多个层面的综合性科技设施，属于国家级重大科技基础设施。如图所示是科技工作者在研究粒子特性过程中构建的一个电磁复合场简化模型。在 x 轴（水平轴）下方，沿 y 轴（竖直轴）方向每隔 $d=0.4\mathrm{m}$ 就有一段间距也为 $d=0.4\mathrm{m}$ 的区域 P，区域 P 内（含边界）既存在方向竖直向上、场强为 $E=2\mathrm{N/C}$ 的匀强电场，也存在方向垂直坐标轴平面向里、磁感应强度为 $B=0.2\mathrm{T}$ 的匀强磁场。现有一电荷量为 $q=5\times10^{-10}\mathrm{C}$、质量 $m=1\times10^{-10}\mathrm{kg}$ 的带正电粒子从坐标原点 O 自由下落。粒子可视为质点，重力加速度大小为 $g=10\mathrm{m/s^2}$。求：

（1）粒子穿出第一个区域 P 时速度的水平分量大小；

（2）粒子穿过第 n 个 $(n>1)$ 区域 P 时速度的水平分量的变化量大小；

（3）粒子不能从第几个区域 P 下方穿出。



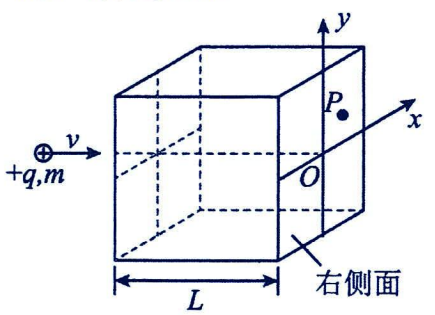
考点三：带电粒子在立体空间的运动

题型一：带电粒子在立体空间偏转

【精选例题】

【例 1】如图，在边长为 L 的正方体区域的右侧面，以中心 O 为原点建立直角坐标系 xOy，x 轴平行于正方体底面。该正方体区域内加有方向均沿 x 轴正方向、电场强度大小为 E 的匀强电场和磁感强度大小为 B 的匀强磁场，若电量为 q、质量为 m 的正离子以某一速度正对 O 点并垂直右侧面射入该区域，则正离子在电磁场作用下发生偏转。（1）若正离子从右侧面坐标为(x_0,y_0)的 P 点射出，求正离子通过该区域过程的动能增量；

（2）若撤去电场只保留磁场，试判断入射速度$v=\frac{5qBL}{3m}$的正离子能否从右侧面射出。若能，求出射点坐标；若不能，请说明理由。

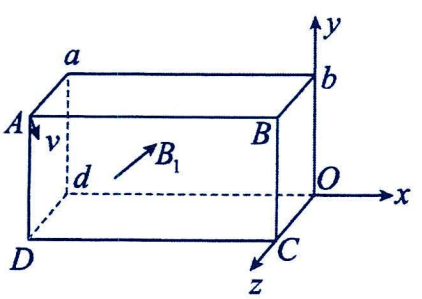


【例 2】如图所示，在三维坐标系 O-xyz 中存在一长方体 ABCD－abOd，yOz 平面左侧存在沿 z 轴负方向、磁感应强度大小为 B_1（未知）的匀强磁场，右侧存在沿 BO 方向、磁感应强度大小为 B_2（未知）的匀强磁场。现有一带正电粒子以初速度 v 从 A 点沿平面 ABCD 进入磁场，经 C 点垂直 yOz 平面进入右侧磁场，此时撤去 yOz 平面左侧的磁场 B_1，换上电场强度为 E（未知）的匀强电场，电场强度的方向竖直向上，最终粒子恰好打在 Aa 棱上。已知 $AB=2L$、$Aa=AD=L$，$B_2=5\sqrt{2}B_1$，粒子的电量为 q，质量为 m（重力不计）。求：

（1）磁感应强度 B_1 的大小；

（2）粒子第二次经过 yOz 平面的坐标；

（3）电场强度 E 的大小。

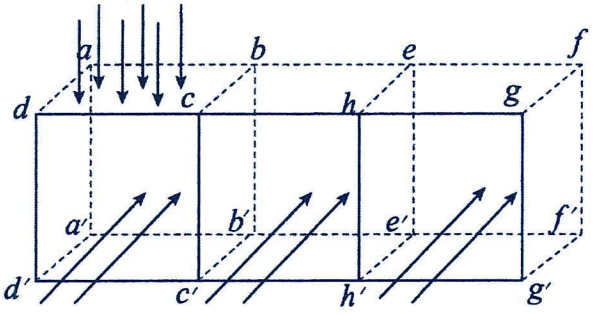


【例 3】如图所示，三个相同的立方体并排放置，立方体的边长为 L．有匀强磁场垂直于 $dcc'd'$ 面布满整个空间，磁场应强度大小为 B，方向由 c 指向 b。最右边立方体的底面 $e'f'g'h'$ 放置有与底面等大的荧光屏，带电粒子打在荧光屏上会被吸收，并且荧光屏会发光。一束质量为 m、电荷量为 q 的正电粒子，均匀分布于整个面 $abcd$ 垂直向下射入磁场。不计粒子的重力和粒子间的相互作用。求：

（1）当粒子的速度为多大时，从 c 点入射的粒子能打在 g' 处？

（2）当荧光屏上没有发光，即没有粒子打在荧光屏上时，粒子的速度范围为多少？

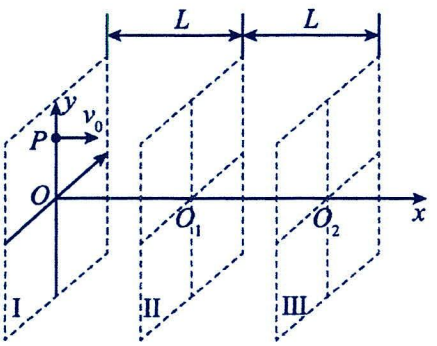
（3）当粒子入射速度 $v=\dfrac{2\sqrt{3}qBL}{3m}$，空间施加一个与匀强磁场相同方向的匀强电场，电场强度的大小为 $E=\dfrac{3B^2qL}{2\pi^2m}$。此时荧光屏上的发光区域面积为多少？



【跟踪训练】

1．如图，在空间直角坐标系$O-xyz$中，界面I与Oyz平面重叠，界面I、II、III相互平行，且相邻界面的间距均为L，与x轴的交点分别为O、O_1、O_2；在界面I、II间有沿y轴负方向的匀强电场E，在界面II、III间有沿z轴正方向的匀强磁场B。一质量为m、电量为$+q$的粒子，从y轴上距O点$\frac{L}{2}$处的P点，以速度v_0沿x轴正方向射入电场区域，该粒子刚好从点O_1进入磁场区域。粒子重力不计。求：（1）电场强度E的大小；

（2）要让粒子刚好不从界面III飞出，磁感应强度B应多大。

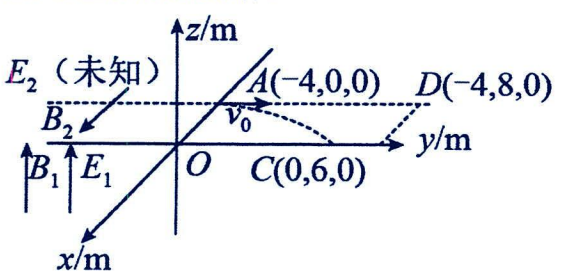


2．如图所示，在空间建立平面直角坐标系Oxyz，x>0的空间内有沿着z轴正方向的匀强电场E_1和匀强磁场B_1，在x<0的空间内有沿着x轴正方向的匀强磁场B_2=1.1T和未知的匀强电场E_2，质量m=0.09kg、电荷量q=0.1 C的带正电小球从A点（-4，0，0）以v_0=10 m/s的速度沿着y轴正方向射出，小球在xOy平面（x<0的空间）做类平抛运动，沿着一条抛物线运动到C点（0，6，0），之后在xOy平面（x>0的空间）做匀速圆周运动，之后再射入x<0的空间后恰好回到A点。不计空气阻力，g=10m/s^2，$\sin 53^\circ=\frac{4}{5}$。

(1)要保证小球在x>0的空间内做匀速圆周运动，求所加的电场E_1的大小；

(2)求电场E_2的大小和方向、磁感应强度B_1的大小；

(3)只改变x>0的空间的磁感应强度B_1的大小，可使小球运动到D点（−4，8，0），求改变该磁感应强度为B后，B应该满足的条件。

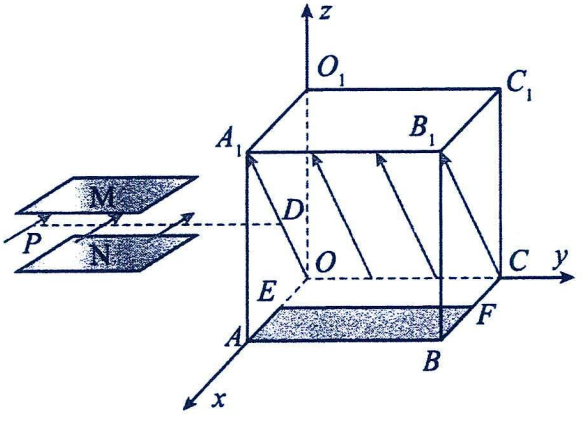


3．在芯片制作过程中，对离子注入的位置精度要求极高，通过如图所示的装置可实现离子的高精度注入。立方体区域$ABCO-A_1B_1C_1O_1$的边长为L，以O点为原点，OA、OC和OO_1分别为x轴、y轴和z轴的正方向建立空间坐标系$O-xyz$。在xOz平面的左侧有一对平行金属板M、N，板M、N与xOy面平行，板间距离为d，M、N两板间加有电压，板间同时存在沿x轴负方向、磁感应强度大小为B_0的匀强磁场。在板中间的P点有一离子发射源，能沿平行y轴正方向发射质量为m、电荷量为$+q(q>0)$、速率不同的离子，立方体的AOO_1A_1面为一薄挡板，仅在其中心D处开有一小孔供离子（可视为单个离子）进入，D点与P点等高，P、D连线垂直挡板。立方体的$ABFE$面为水平放置的薄硅片，E、F分别为AO和BC的中点。当板M、N间的电压大小为U_0且立方体内匀强磁场的方向沿OA_1方向时，由D点进入的离子恰好注入到硅片AB边上，且速度与AB边垂直。不计离子间的相互作用力、离子的重力和离子碰撞后的反弹。

（1）比较M、N两板的电势高低和由D点进入的离子的速度大小v_0；

（2）求立方体内匀强磁场的磁感应强度大小；

（3）通过调整板M、N间电压，可以控制离子在y轴方向上的注入；通过改变立方体内磁场的方向，可以控制离子在x轴方向上的注入。假设板M、N间的电压大小为λU_0，立方体内的磁场磁感应强度大小不变、方向始终垂直于y轴，为保证进入立方体的离子均能注入硅片且硅片的全部区域都有离子注入，求λ的取值范围。



题型二：带电粒子在立体空间的螺旋线运动

解题要点：

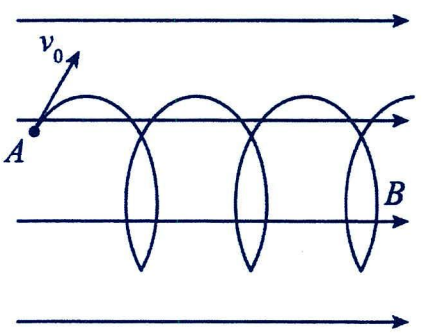
空间中匀强磁场的分布是三维的，带电粒子在磁场中的运动情况可以是三维的．现在主要讨论两种情况：

(1)空间中只存在匀强磁场，当带电粒子的速度方向与磁场的方向不平行也不垂直时，带电粒子在磁场中就做螺旋线运动．这种运动可分解为平行于磁场方向的匀速直线运动和垂直于磁场平面的匀速圆周运动．

(2)空间中的匀强磁场和匀强电场(或重力场)平行时，带电粒子在一定的条件下就可以做旋进运动，这种运动可分解为平行于磁场方向的匀变速直线运动和垂直于磁场平面的匀速圆周运动．

【精选例题】

【例 1】我们知道，在匀强磁场中，带电粒子的速度方向与磁感应强度方向平行或垂直时，带电粒子将做匀速直线运动或匀速圆周运动；如果带电粒子的速度方向与磁感应强度方向既不平行，又不垂直，带电粒子将做螺旋线运动，如图所示。粒子转过一周所需的时间称为回转周期；粒子每转一周前进的距离称为螺距。根据运动的合成与分解思想，可解决此问题。下列说法不正确的是（　　）



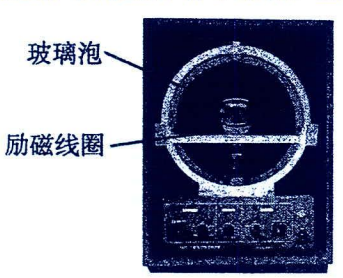
A．螺旋的直径与垂直磁感线的速度分量有关

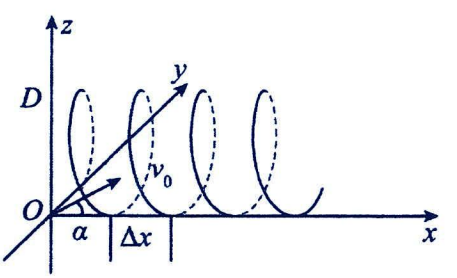
B．螺距与垂直磁感线的速度分量无关

C．回转周期与垂直磁感线的速度分量有关

D．具有相同的平行磁感线速度分量的同种带电粒子，从同一点出发，经一个回转周期后，将重新会聚到一点

【例 2】（多选题）用图所示的洛伦兹力演示仪演示带电粒子在匀强磁场中的运动时发现，有时玻璃泡中的电子束在匀强磁场中的运动轨迹呈“螺旋”状，现将这一现象简化成如图所示的情景来讨论：在空间存在平行于 x 轴的匀强磁场，由坐标原点在 xOy 平面内以初速度 v_0 沿与 x 轴正方向成α角的方向射入磁场的电子运动轨迹为螺旋线，其轴线平行于 x 轴，直径为 D，螺距为Δx，则下列说法中正确的是（　　）





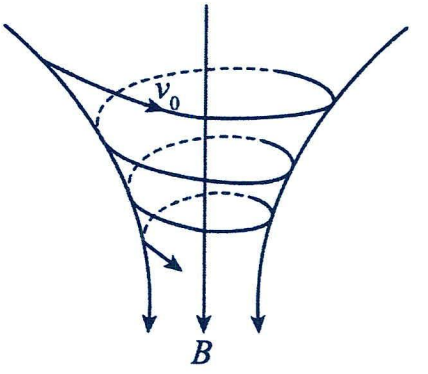
A．匀强磁场的方向为沿 x 轴正方向

B．若仅增大匀强磁场的磁感应强度，则直径 D 减小，而螺距Δx 将增大

C．若仅增大电子入射的初速度 v_0，则直径 D 增大，螺距Δx 也将增大

D．若仅增大α角$(\alpha<90°)$，则直径 D 增大，而螺距Δx 将减小

【例 3】（多选题）地球的磁场是保护地球的一道天然屏障，它阻挡着能量很高的太阳风粒子直接到达地球表面，从而保护了地球上的人类和动植物。地球北极的磁场是沿竖直轴对称的非均匀磁场，如图所示为某带电粒子在从弱磁场区向强磁场区前进时做螺线运动的示意图，不计带电粒子的重力



下列说法正确的是（　　）

A．该带电粒子带正电

B．从弱磁场区到强磁场区的过程中带电粒子的速率不变

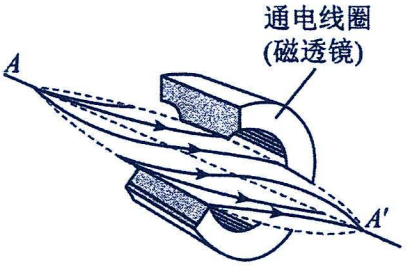
C．带电粒子每旋转一周沿轴线方向运动的距离不变

D．一段时间后该带电粒子可能会从强磁场区到弱磁场区做螺线运动

【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示为磁聚焦原理图，通电长线圈产生沿其轴线 AA'方向的匀强磁场，磁感应强度为 B。从 A 点发出的带电粒子束速度 v 大小相等，v 的方向与 AA'夹角都很小。把速度 v 沿着轴线 AA' 和垂直于轴线 AA' 分解，在沿着 AA' 方向 $v_1 = v\cos\theta \approx v$，这表明在轴线 AA' 方向所有粒子速度都相同。在垂直轴线 AA' 方向粒子做圆周运动，只要粒子比荷相等，周期就相等，因此，所有从 A 点发出的带电粒子束就能在 A' 点汇聚，这就是磁聚焦原理。设由比荷均为 k 的相同粒子组成的粒子束从 A 点出发，初速度 v_0 大小相等，v_0 方向与轴线 AA 夹角相等且都很小，这些粒子在 A' 点汇聚在了一起，则 A、A' 之间的距离可能是（　　）

A．$\dfrac{\pi v_0}{kB}$　　B．$\dfrac{2\pi v_0}{kB}$　　C．$\dfrac{3\pi v_0}{kB}$　　D．$\dfrac{4\pi v_0}{kB}$



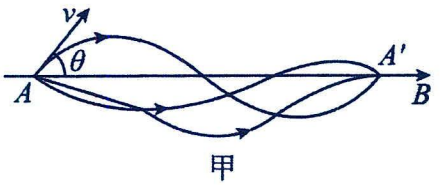
2．（多选题）测量比荷的方法很多，其中一种便是利用磁聚焦法测量。磁聚焦的原理如图甲所示，在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，从 A 点处发射出一束很窄的同种带电粒子流，其速度大小均为 v，且与磁场的夹角 θ 不同，但是都很小（$\cos\theta \approx 1$），在磁场的作用下，粒子将沿不同半径螺旋线前进，该运动可分解为沿磁场方向的匀速直线运动和垂直于磁场方向的匀速圆周运动。之后汇聚在 A'，测得 A 与 A' 距离为 h，沿磁感线方向轨迹截面图如图乙所示。这与光束经过透镜后聚焦现象类似，所以叫磁聚焦现象，则下列说法正确的是（　）

A．这种粒子带正电

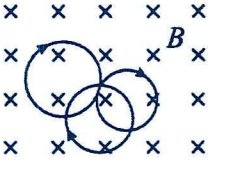
B．这种粒子带负电

C．这种粒子的比荷 $\dfrac{q}{m} = \dfrac{2\pi v}{Bh}$

D．这种粒子的比荷 $\dfrac{q}{m} = \dfrac{8\pi^2 v}{B^2 h^2}$

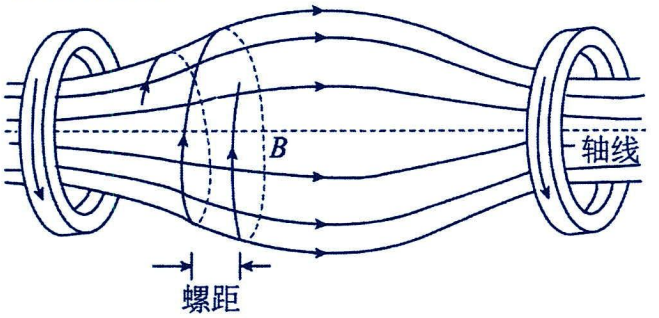


甲



乙

3．在现代研究受控热核反应的实验中，需要把$10^7\sim10^9$K的高温等离子体限制在一定空间区域内，这样的高温下几乎所有作为容器的固体材料都将熔化，磁约束就成了重要的技术。如图所示，科学家设计了一种中间弱两端强的磁场，该磁场由两侧通有等大同向电流的线圈产生。假定一带正电的粒子（不计重力）从左端附近以斜向纸内的速度进入该磁场，其运动轨迹为图示的螺旋线（未全部画出）。此后，该粒子将被约束在左右两端之间来回运动，就像光在两个镜子之间来回“反射”一样，不能逃脱。这种磁场被形象地称为磁瓶，磁场区域的两端被称为磁镜。



根据上述信息并结合已有的知识，可以推断该粒子（　　）

A．从左端到右端的运动过程中，沿磁瓶轴线方向的速度分量逐渐变小

B．从靠近磁镜处返回时，在垂直于磁瓶轴线平面内的速度分量为最大值

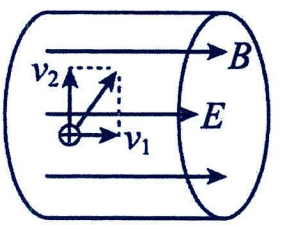
C．从左端到右端的运动过程中，其动能先增大后减小

D．从左端到右端的运动过程中，其运动轨迹的螺距先变小后变大

题型三：带电粒子在立体空间的旋进运动

【精选例题】

【例1】2021年中国全超导托卡马克核聚变实验装置创造了新的纪录。为粗略了解等离子体在托卡马克环形真空室内的运动状况，某同学将一小段真空室内的电场和磁场理想化为方向均水平向右的匀强电场和匀强磁场（如图），电场强度大小为E，磁感应强度大小为B。若某电荷量为q的正离子在此电场和磁场中运动，其速度平行于磁场方向的分量大小为v_1，垂直于磁场方向的分量大小为v_2，不计离子重力，则（　）

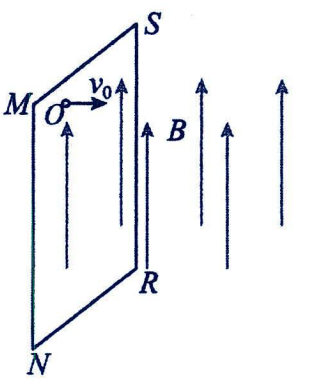


A．电场力的瞬时功率为$qE\sqrt{v_1^2+v_2^2}$　　B．该离子受到的洛伦兹力大小为qv_1B

C．v_2与v_1的比值不断变大　　D．该离子的加速度大小不变

【跟踪训练】

如图，竖直平面MNRS的右侧存在方向竖直向上且足够大的匀强磁场，从平面MNRS上的O点处以初速度$v_0=10$m/s垂直MNRS面向右抛出一带电荷量为q、质量为m的小球。若磁感应强度大小$B=\frac{\pi m}{q}$，g取10m/s²。求：(1)小球离开磁场时的速度大小；(2)小球离开磁场时的位置与抛出点的距离。



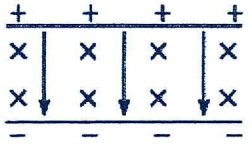
考点四：洛伦兹力与现代科技

题型一：速度选择器

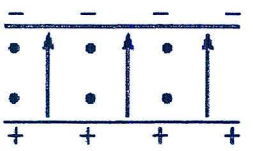
解题要点

1．装置及要求

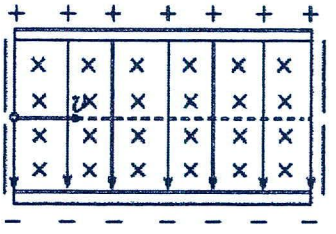
两极板间存在匀强电场和匀强磁场，二者方向互相垂直；E 与 B 的方向要匹配，如图甲、乙两种方向组合；带电粒子从左侧平行于极板射入，不计粒子重力，如图丙。



甲



乙



丙

2．原理分析

(1)带电粒子能够沿直线匀速通过速度选择器的条件是 qE＝qvB，即 $v=\frac{E}{B}$；

(2)当 $v>\frac{E}{B}$时，粒子向 $F_{洛}$方向偏转，$F_{电}$做负功，粒子的动能减小，电势能增大；

(3)当 $v<\frac{E}{B}$时，粒子向 $F_{电}$方向偏转，$F_{电}$做正功，粒子的动能增大，电势能减小。

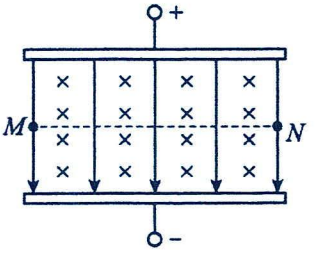
3．速度选择器的特点

(1)选择的速度具有单向性：$v=\frac{E}{B}$，既选择了速度的大小，也选择了速度的方向；若粒子从另一方向射入，则不能穿出速度选择器。

(2)速度选择器对粒子的质量、电荷量大小及带电正、负无要求。

【精选例题】

【例 1】如图所示，水平放置的两平行金属板间存在着相互垂直的匀强电场和匀强磁场。一带电粒子（重力不计）从 M 点沿水平方向射入到两板之间，恰好沿直线从 N 点射出。电场强度为 E，磁感应强度为 B。下列说法正确的是（　　）。



A．粒子一定带正电

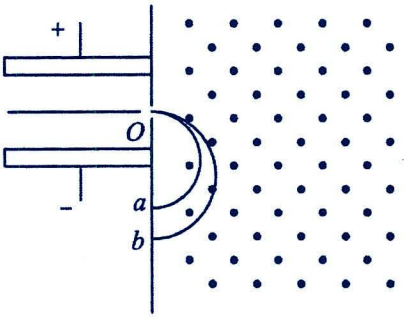
B．粒子射入的速度大小 $v=\frac{B}{E}$

C．若只改变粒子射入速度的大小，其运动轨迹为曲线

D．若粒子从 N 点沿水平方向射入，其运动轨迹为直线

【跟踪训练】

1．如图所示， 一束粒子可以沿水平方向经过速度选择器， 并从 O 点垂直射入偏转磁场， 最终在胶片底板上打下 a， b 两个点。已知速度选择器中匀强磁场的磁感应强度大小为 B_0、电场强度大小为 E，偏转磁场的磁感应强度大小为 B_1，Oa=2r，Ob=3r。下列说法正确的是（ ）



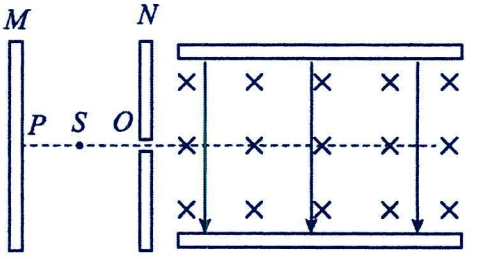
A．该粒子束中所有的粒子都带负电

B．打在 a 处和 b 处的粒子的比荷之比为 3：2

C．速度选择器中的磁场方向垂直纸面向外

D．该粒子束中所有的粒子速度大小都相同，速度为 $\frac{E}{B_1}$

2．（多选题）如图所示，竖直放置的平行电极板 M 和 N 之间存在加速电场，N 板右侧是一个速度选择器，内部存在竖直向下的匀强电场和垂直纸面向里的匀强磁场，其中电场强度大小为 E，磁感应强度大小为 B。从 M 和 N 之间的中点 S 释放一个比荷为 k 的带正电粒子，加速后穿过 N 板的小孔 O，恰能沿虚线通过速度选择器，不计粒子的重力。下列说法正确的是（ ）



A．M 和 N 之间的电压为 $\frac{E^2}{kB^2}$

B．从 S 点释放比荷为 $2k$ 的带正电粒子，沿虚线通过速度选择器的速度大小为 $\frac{2E}{B}$

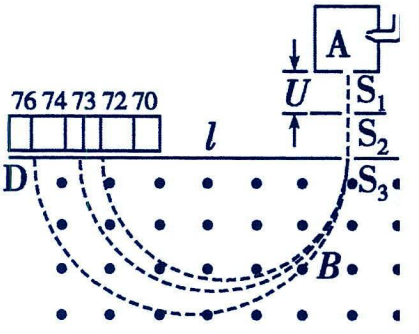
C．从 S、O 的中点释放比荷为 $2k$ 的带正电粒子，通过小孔 O 后向下偏转

D．从靠近 M 板的 P 点释放比荷为 $\frac{1}{2}k$ 的带正电粒子，能沿虚线通过速度选择器

题型二：质谱仪

1.功能：质谱仪是测量带电粒子质量(或比荷)、分离同位素的仪器。

2.构造：如图所示，由粒子源、加速电场、偏转磁场和照相底片等构成。



3.运动过程(如图)

(1)加速：带电粒子经过电压为 U 的加速电场加速，$qU=\frac{1}{2}mv^2$，由此可得 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$；

(2)偏转：垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中，做匀速圆周运动，

洛伦兹力提供向心力，$qvB=\frac{mv^2}{r}$，可得 $r=\frac{mv}{qB}=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$；

(3)分析：从粒子打在底片 D 上的位置可以测出圆周的半径 r，进而可以算出粒子的比荷 $\frac{q}{m}=\frac{2U}{B^2r^2}$；

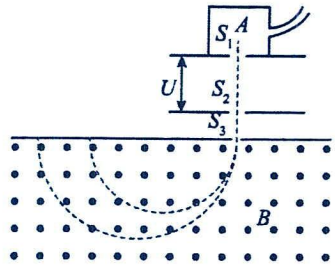
4．应用：

(1)测定带电粒子的质量 $m=\frac{qr^2B^2}{2U}$；

(2)质谱仪区分同位素：由 $r=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$，同位素的电荷量 q 相同，质量 m 不同，在质谱仪照相底片上显示的位置就不同，故能据此区分同位素。

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示的质谱仪把从 S_1 出来的电荷量相同的粒子（速度可视为零）先经过电势差为 U 的加速电场使之加速，然后再让它们进入磁感应强度为 B 的偏转磁场，这样质量不同的粒子就会在磁场中分离。下述关于回旋加速器、质谱仪的说法中正确的是（　　）



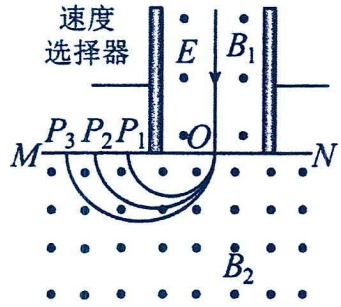
A．经过回旋加速器加速的同种带电粒子，其最终速度大小与高频交流电的电压无关

B．经过回旋加速器加速的同种带电粒子，其最终速度大小与 D 形盒上所加磁场强弱有关

C．图示质谱仪中，在磁场中运动半径小的粒子，其质量大

D．图示质谱仪中，在磁场中运动半径大的粒子，其质量也大

【例 2】质谱仪是用来分析同位素的装置，如图为质谱仪的示意图，其由竖直放置的速度选择器、偏转磁场构成。由三种不同粒子组成的粒子束以某速度沿竖直向下的方向射入速度选择器，该粒子束沿直线穿过底板上的小孔 O 进入偏转磁场，最终三种粒子分别打在底板 MN 上的 P_1、P_2、P_3 三点，已知底板 MN 上下两侧的匀强磁场方向均垂直纸面向外，且磁感应强度的大小分别为 B_1、B_2，速度选择器中匀强电场电场强度的大小为 E。不计粒子的重力以及它们之间的相互作用，则（　　）



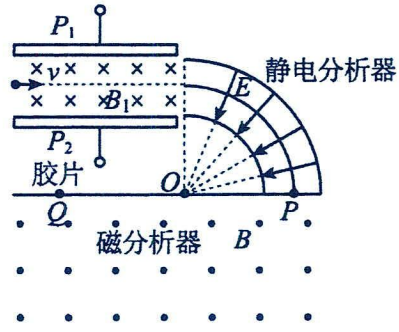
A．速度选择器中的电场方向向左，且三种粒子均带正电

B．三种粒子的速度大小均为 $\dfrac{E}{B_2}$

C．打在 P_3 点的粒子的比荷最大，且其在磁场中的运动时间最长

D．如果三种粒子电荷量均为 q，且 P_1、P_3 的间距为 Δx，则打在 P_1、P_3 两点的粒子质量差为 $\dfrac{qB_1B_2\Delta x}{2E}$

【例 3】（多选题）如图所示为一种质谱仪的示意图，该质谱仪由速度选择器、静电分析器和磁分析器组成。若速度选择器中电场强度大小为 E_1，磁感应强度大小为 B_1、方向垂直纸面向里，静电分析器通道中心线为 $\frac{1}{4}$ 圆弧，圆弧的半径（OP）为 R，通道内有均匀辐射的电场，在中心线处的电场强度大小为 E，磁分析器中有范围足够大的有界匀强磁场，磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向外。一带电粒子以速度 v 沿直线经过速度选择器后沿中心线通过静电分析器，由 P 点垂直边界进入磁分析器，最终打到胶片上的 Q 点，不计粒子重力。下列说法正确的是（　　）



A．速度选择器的极板 P_1 的电势比极板 P_2 的高

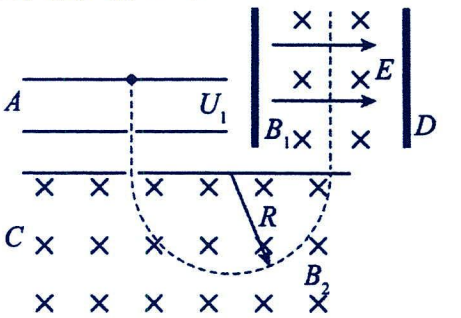
B．粒子的速度 $v=\dfrac{B_1}{E_1}$

C．粒子的比荷为 $\dfrac{E_1^2}{ERB_1^2}$

D．P、Q 两点间的距离为 $\dfrac{2ERB_1^2}{E_1^2B}$

【跟踪训练】

1．（多选题）某一具有速度选择器的质谱仪原理如图所示，A 为粒子加速器，加速电压为 U_1；C 为偏转分离器，磁感应强度为 B_2，偏转分离器的入口和出口之间的距离确定；D 为速度选择器，磁场与电场正交，两极板间的距离为 d_A，磁感应强度为 B_1。今有一质子 ${}_1^1\mathrm{H}$[质量为 m，电荷量为 e 的带正电粒子（不计重力）]，由静止经 A 加速后由入口垂直进入 C，然后恰好由出口垂直进入速度选择器，然后沿竖直直线飞出。则（　）



A．质子进入偏转分离器 C 时的速度 $v=\sqrt{\dfrac{2eU_1}{m}}$

B．质子恰好通过偏转分离器，其磁场上下边界的最小间距 $L=2\sqrt{\dfrac{mU_1}{3B_2}}$

C．速度选择器两板间电压 $U_2=B_1d_A\sqrt{\dfrac{2eU_1}{m}}$

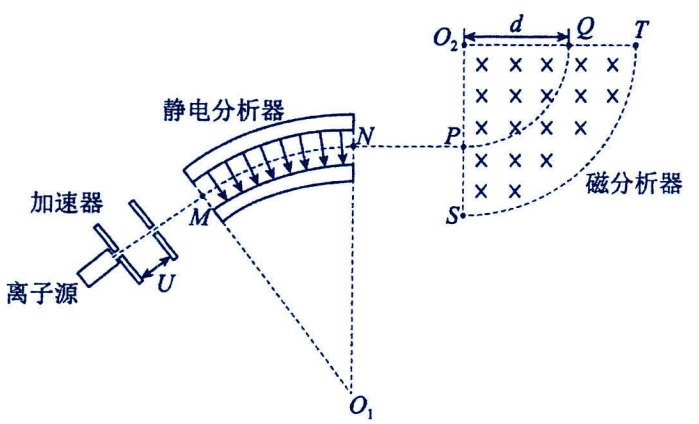
D．若将质子更换为氘核 ${}_1^2\mathrm{H}$，氘核粒子可以穿过 C 偏转分离器进入 D 速度选择器。

2. 某“双聚焦分析器”质谱仪工作原理如图所示，加速器中加速电压为 U，静电分析器中有辐向电场，即与圆心 O_1 等距各点的电场强度大小相同，方向指向圆心 O_1。磁分析器中以 O_2 为圆心、圆心角为 90°的扇形区域内，分布着方向垂直于纸面向里的匀强磁场，其左边界 O_2S 与静电分析器的右边界平行。离子源逸出初速度为 0、质量为 m、电荷量为 q 的正离子，经加速电场加速后，从 M 点垂直于 O_1M 进入静电分析器，沿半径为 R 的圆弧轨道做匀速圆周运动，后从 N 点射出，然后离子由 P 点垂直于 O_2S 射入磁分析器中，最后离子垂直 O_2T 从 Q 点射出。已知 $O_2Q=d$，$O_2T=\sqrt{3}d$，不计离子重力及离子间相互作用。

（1）求离子从加速器射出时速度 v 的大小；

（2）求静电分析器中离子运动轨迹处电场强度 E 的大小；

（3）若离子源逸出初速度为 0、比荷不同的正离子，求能从磁场区域上边界 O_2T 出射的离子比荷 k 的范围。

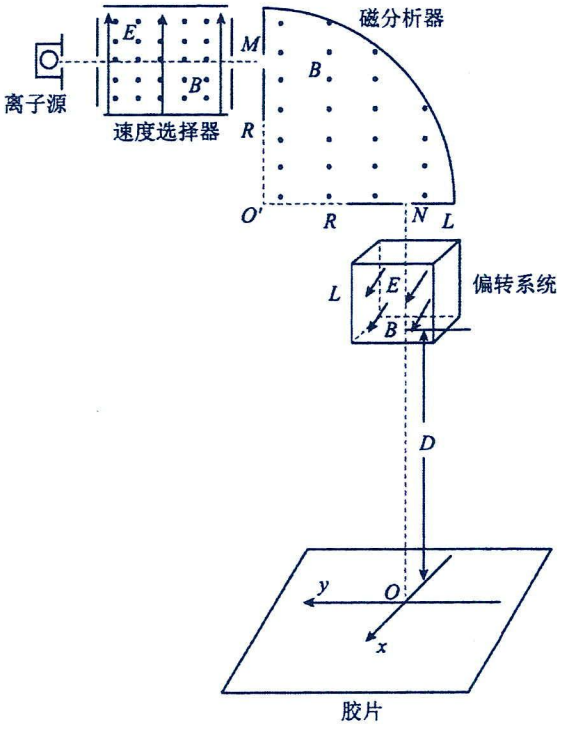


3．质谱分析技术已广泛应用于各前沿科学领域。某种质谱仪原理如图所示。质谱仪处于真空暗室中。正离子经加速后沿水平方向进入速度选择器，然后通过磁分析器选择出特定比荷的离子。磁分析器截面为直角扇形，M和N处各有一个小孔，被选择离子在磁分析器中做半径为R的圆周运动，恰好穿过两小孔；偏转系统中电场和磁场的分布区域是同一边长为L的正方体，其偏转系统的底面与胶片平行，间距为D，NO为垂直于屏的中心轴线。已知速度选择器、磁分析器和偏转系统中的匀强磁场的磁感应强度大小均为B，方向均垂直纸面向外；速度选择器、偏转系统中电场场强大小均为E，方向分别为竖直向上和沿x轴方向。以屏中心O为原点建立xOy直角坐标系，x轴与偏转系统电场强度方向同向。已知$R \gg L$，$D \gg L$。离子进入偏转系统时速率都很大，且在偏转系统中运动时NO方向的分速度总是远大于x轴方向和y轴方向的分速度。离子在偏转系统中沿x轴和y轴方向位移可忽略，不计离子重力。

（1）求离子通过速度选择器后的速度大小v和磁分析器选择出来离子的比荷；

（2）离子沿NO方向进入偏转系统，求离子打在胶片上的点的坐标（不考虑离子在偏转系统中偏离NO的距离）；

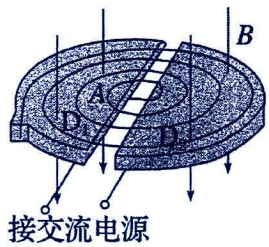
（3）保持偏转系统电场和磁场不变。多次改变速度选择器和磁分析器中电场和磁场，使两种大量电荷量相同的正离子以不同速率沿NO方向射入偏转系统，在胶片中多次曝光，最终在胶片中出现两条亮线。在两线上取y坐标相同的两个光点，对应的x坐标分别为3.00 mm和4.00mm，其中x坐标小的光点是碳12离子击中屏产生的，另一光点是未知离子产生的，求该离子的质量数。



题型三：回旋加速器

1.功能：回旋加速器是利用磁场使带电粒子做回旋运动，在运动中经高频电场反复加速的装置。

2.构造：如图，D_1、D_2是半圆金属盒，D 形盒处于匀强磁场中，D 形盒的缝隙处接交流电源。



3.原理：交流电周期和粒子做圆周运动的周期相等；

使粒子每经过一次 D 形盒缝隙就被加速一次。

4.最大动能：由 $qv_mB=\frac{mv_m^2}{R}$、$E_{km}=\frac{1}{2}mv_m^2$；得 $E_{km}=\frac{q^2B^2R^2}{2m}$；

粒子获得的最大动能由磁感应强度 B 和盒半径 R 决定，与加速电压无关。

5.总时间：粒子在磁场中运动一个周期，被电场加速两次，每次增加动能 qU，加速次数 $n=\frac{E_{km}}{qU}$；

粒子在电场中运动的时间为 t_1，在磁场中运动的时间为 $t_2=\frac{n}{2}T=\frac{n\pi m}{qB}=\frac{E_{km}}{2qU}\cdot\frac{2\pi m}{qB}=\frac{\pi BR^2}{2U}$，(n 为加速次数)；

总时间为 $t=t_1+t_2$，因为 $t_1 \ll t_2$，一般认为在回旋加速器中运动的时间近似等于 t_2。

【精选例题】

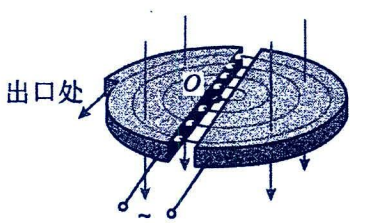
【例 1】（多选题）我国建造的第一台回旋加速器的工作原理如图，其核心部分是两个 D 形盒，两盒中间接入交变电压。粒子源O置于 D 形盒的圆心附近，能不断释放出带电粒子，忽略粒子在电场中运动的时间，不考虑加速过程中引起的粒子质量变化。现用该回旋加速器分别对 ${}_1^2\mathrm{H}$、${}_2^4\mathrm{He}$ 粒子进行加速，下列说法正确的是（　　）

A．粒子能获得的最大动能跟所加交变电压的大小有关

B．两种粒子离开出口处的动能之比为1:2

C．两种粒子在回旋加速器中运动的时间相等

D．两种粒子在回旋加速器中运动的时间不相等



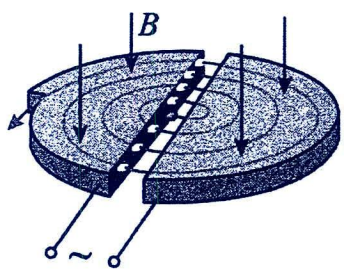
【例 2】（多选题）如图所示，回旋加速器 D 形盒半径为 R，狭缝宽为 d，所加匀强磁场的磁感应强度可调，所加高频交变电源电压的频率为 f．质量为 m、电荷量为 q 的质子从右半盒的圆心附近由静止出发，经加速、偏转等过程，达到最大动能后由导向板处射出，忽略质子在狭缝加速运动的时间。α 粒子的质量为 4m、电荷量为 2q。下列说法中正确的是（　　）

A．加速质子时，磁场的磁感应强度为 $\frac{\pi mf}{q}$

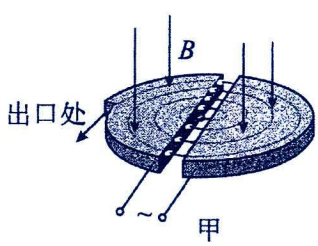
B．质子被加速的最大动能为 $2\pi^2mf^2R^2$

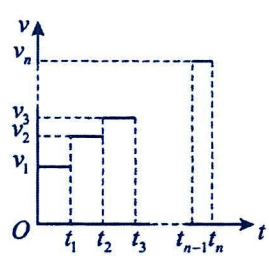
C．用该加速器加速 α 粒子时，需要将磁场的磁感应强度调为 $\frac{4\pi mf}{q}$

D．用该加速器加速 α 粒子时，粒子被加速的最大动能为 $4\pi^2mf^2R^2$



【例 3】图甲是回旋加速器的示意图，其核心部分是两个 D 形金属盒，在加速带电粒子时，两金属盒置于匀强磁场中，并与高频电源相连。带电粒子从静止开始运动的速率 v 随时间 t 变化如图乙，已知 t_n 时刻粒子恰射出回旋加速器，不考





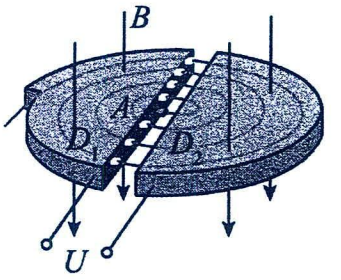
虑相对论效应、粒子所受的重力和穿过狭缝的时间，下列判断正确的是（　　）

A．$t_3-t_2=t_2-t_1=t_1$　　B．$v_1:v_2:v_3=1:2:3$

C．粒子在电场中的加速次数为$\frac{v_n}{v_1}$　　D．同一 D 形盒中粒子的相邻轨迹半径之差保持不变

【跟踪训练】

1．2022 年 12 月 28 日我国中核集团全面完成了 230MeV 超导回旋加速器自主研制的任务，标志着我国已全面掌握小型化超导回旋加速器的核心技术，进入国际先进行列。置于真空中的 D 形金属盒半径为 R，磁感应强度为 B 的匀强磁场与盒面垂直，交流加速电压大小恒为 U。若用此装置对氘核（${}_1^2\mathrm{H}$）加速，所加交变电流的频率为 f。加速过程中不考虑相对论效应和重力的影响，下列说法正确的是（　）



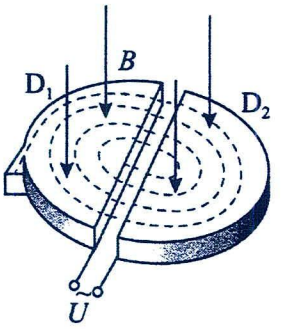
A．仅增大加速电压 U，氘核（${}_1^2\mathrm{H}$）从 D 型盒出口射出的动能增大

B．仅减小加速电压 U，氘核（${}_1^2\mathrm{H}$）加速次数增多

C．仅增大 D 形金属盒半径 R，氘核（${}_1^2\mathrm{H}$）在磁场中运动的时间不变

D．若用该加速器加速α粒子需要把交变电流的频率调整为$2f$

2．回旋加速器在科学研究中得到了广泛应用，其工作原理如图所示，D_1 和 D_2 是两个中空的半圆形金属盒，置于与盒面垂直的匀强磁场中，将它们接在电压为 U 的高频交流电源上，一质量为 m、电荷量为 q 的带电粒子从加速器的某处由静止开始加速。已知 D 形盒的半径为 R，匀强磁场的磁感应强度为 B，不计粒子的重力，忽略粒子在电场中的加速时间，不考虑相对论效应。下列说法正确的是（　　）



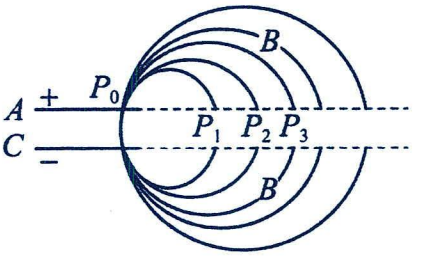
A．粒子第 n 次被加速前、后的轨道半径之比为$\sqrt{n-1}:\sqrt{n}$

B．高频交流电源的周期为$\frac{\pi m}{Bq}$

C．粒子的最大动能为$\frac{2q^2B^2R^2}{m}$

D．若只增大交变电压 U，则粒子的最大动能 E_k 会增大

3．（多选题）如图为某种回旋加速器的示意图，它由两个相对放置的 D 形盒构成。其盒缝间的加速电场场强大小恒定，且被限制在 A、C 板间，图中虚线为 A、C 极板的延长线，其间未加电场和磁场。带正电粒子从 P_0 处小孔飘入 A、C 板间（初速度可忽略不计），经加速后通过 C 板上的小孔进入 D 形盒内的匀强磁场中，依次经过 P_1、P_2、P_3……做圆周运动（“孔”与“盒”图中均未画出），不计粒子的重力。



对于这种回旋加速器，下列说法正确的（　　）

A．加速电场的方向需要周期性的变化

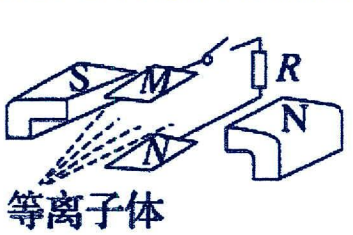
B．加速粒子的最大速度与 D 形盒的尺寸有关

C．带电粒子依次到达 P_1、P_2,P_3……的速度之比为$1:2:3$……

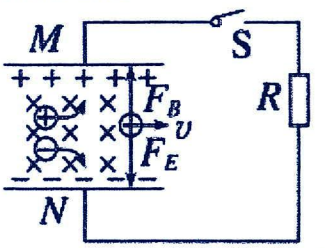
D．带电粒子到达 A 板右侧延长线的位置间距离 $P_1P_2:P_2P_3=\left(\sqrt{2}-1\right):\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right)$

题型四：磁流体发电机

1.原理：如图甲所示，等离子体喷入磁场，正、负离子在洛伦兹力的作用下发生偏转而聚集在 MN 板上，产生电势差，它可以把离子的动能通过磁场转化为电能。



甲 立体图



乙 平面图

2.电源正、负极判断：根据左手定则可判断出正离子偏向 M 板，图中的 M 板是发电机的正极。

3.发电机的电动势：当发电机外电路断路时，正、负离子所受静电力和洛伦兹力平衡时，两极板间达到的最大电势差为 U，**则 $q\frac{U}{d}=qvB$，得 $U=Bdv$。**

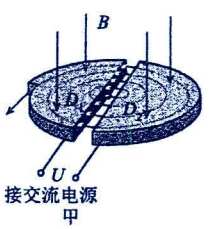
(1)当外电路断开时，电源电动势的大小等于路端电压，故此磁流体发电机的**电动势为 $E_{电源}=U=Bdv$**；

(2)当发电机接入电路时，遵从闭合电路欧姆定律。

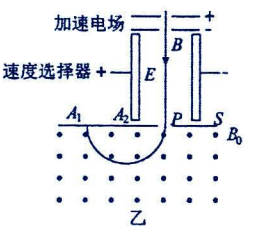
电源的内阻：$r=\rho\frac{l}{S}$；回路中的电流：$I=\frac{U}{r+R}$。

【精选例题】

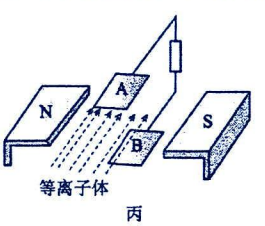
【例 1】（多选题）如图所示，关于带电粒子（不计重力）在以下四种器件中的运动，下列说法正确的是（　　）



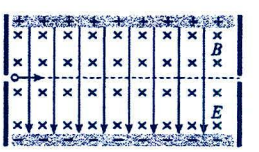
甲



乙



丙



丁

A．甲图中，仅增大加速电压，粒子离开加速器时的动能会增加。

B．乙图中，粒子打在胶片上的位置越靠近狭缝 P，粒子的比荷越大

C．丙图中，A 极板是磁流体发电机的负极

D．丁图中，带负电的粒子从左侧射入，若速度 $v<\frac{E}{B}$，将向下极板偏转

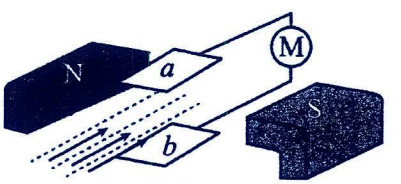
【例 2】（多选题）如图为磁流体发电机的示意图，一正对平行极板 a、b 的间距为 d，两板的面积均为 S，内部充满方向与板平行、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，直流电动机 M 的内阻为 R。现让等离子体（高温下被电离含有大量带正电和负电的离子的气体）以速度 v 持续垂直喷入两板间的磁场中。若磁流体发电机稳定发电时，通过电动机 M 的电流为I，此时电动机 M 正常工作，磁流体发电机的内阻只考虑充满两板间的等离子体的电阻，两板间等离子体的电阻率为ρ。则下列说法正确的是（　）

A．a 板电势比 b 板电势低

B．电动机 M 正常工作时两端的电压为 Bdv

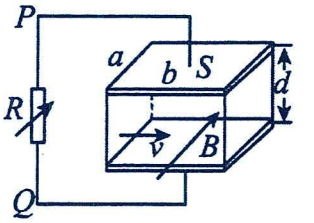
C．电动机 M 正常工作时的机械功率为 $IBdv-I^2\left(R+\rho\frac{d}{S}\right)$

D．电动机 M 正常工作时板间带正电的离子受到的电场力的功率为 qBv^2



等离子体

【例 3】（多选题）如图磁流体发电机的长方体发电导管的前后两个侧面是绝缘体，上下两个侧面是电阻可忽略的导电电极，两极间距为 d，极板的长、宽分别为 a、b，面积为 S，这两个电极与可变电阻 R 相连。在垂直于前后侧面的方向上有一匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向由前向后．发电导管内有电阻率为ρ的高温电离气体——等离子体，等离子体以速度 v 向右流动，并通过专用通道导出。不计等离子体流动时的阻力，调节可变电阻的阻值，下列说法正确的是（　）



A．磁流体发电机的电动势为$E=Bbv$

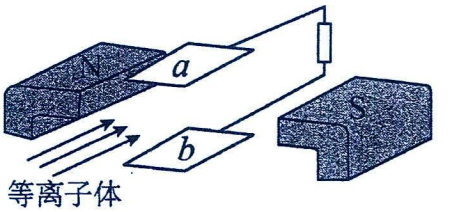
B．可变电阻 R 中的电流方向是从 P 到 Q

C．当可变电阻的阻值为$R=\frac{\rho d}{S}$时，流过 R 的电流为$\frac{Bvab}{2\rho}$

D．当可变电阻的阻值为$R=\frac{\rho d}{S}$时，R 消耗的电功率为最大值$\frac{B^2v^2dS}{4\rho}$

【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示是磁流体发电机示意图。平行金属板 a、b 之间有一个很强的匀强磁场，将一束等离子体（即高温下电离的气体，含有大量的等量正、负离子）垂直于磁场的方向喷入磁场，a、b 两板间便产生电压。如果把 a、b 板与用电器相连接，a、b 板就是等效直流电源的两个电极。若磁场的磁感应强度为 B，每个离子的电荷量大小为 q、速度为 v，a、b 两板间距为 d，两板间等离子体的等效电阻为 r，用电器电阻为 R。稳定时，下列判断正确的是（　　）



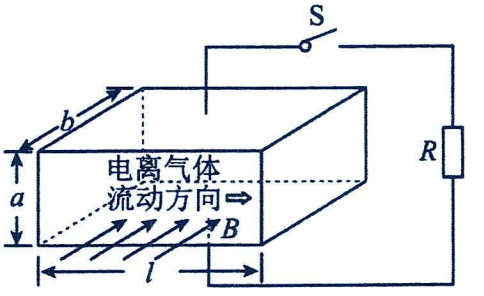
A．图中 b 板是电源的正极

B．电源的电动势为 Bvq

C．用电器中电流为$\frac{Bvq}{R+r}$

D．用电器两端的电压为$\frac{R}{R+r}$Bvd

2．（多选题）如图是磁流体发电机工作原理示意图。发电通道是长方体结构，其中空部分的长、高、宽分别为 l、a、b，前后两个面是绝缘体，上下两个面是电阻可忽略的导体电极，这两个电极与负载电阻 R 相连。发电通道处于匀强磁场中，磁感应强度为 B，方向如图所示。发电通道内有电阻率为ρ的高温等离子电离气体沿通道以速度 v 向右流动，运动的电离气体受到磁场作用，使发电通道上下表面间产生了电势差。下列说法正确的是（　　）



A．上表面的导体电极可视为电源的负极

B．磁流体发电机的内阻为$\rho\frac{l}{ab}$

C．作为电源，磁流体发电机的电动势为 Bav

D．闭合开关 S，通过电阻 R 的电流为$\frac{Bablv}{blR+\rho a}$

题型五：电磁流量计

1.流量(Q)：单位时间流过导管某一截面的导电液体的体积。

2.原理：如图所示，圆形导管直径为 d，用非磁性材料制成，导电液体在管中向左流动，导电液体中的自由电荷(正、负离子)在洛伦兹力作用下会发生纵向偏转，使得 a、b 间出现电势差，形成电场；

当自由电荷所受的电场力和洛伦兹力平衡时，a、b 间电势差就保持稳定，只要测得圆形导管直径 d、平衡时 a、b 间电势差 U、磁感应强度 B 等有关量，即可求得液体流量 Q。

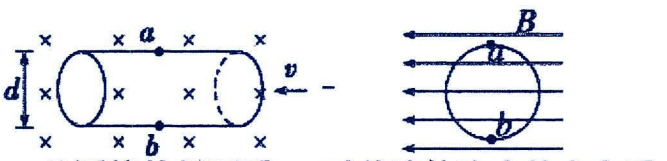
3.解题要点：

①a、b 电势高低的判断：根据左手定则和平衡条件可得$\varphi_a<\varphi_b$；

②自由电荷所受的电场力和洛伦兹力平衡时有 $qvB=qE=q\frac{U}{d}$，可得 $v=\frac{U}{Bd}$；

③导管的横截面积 S 的表示：$S=\frac{\pi d^2}{4}$；

④液体流量 Q 的求解：$Q=Sv=\frac{\pi d^2}{4}\cdot\frac{U}{Bd}=\frac{\pi dU}{4B}$。

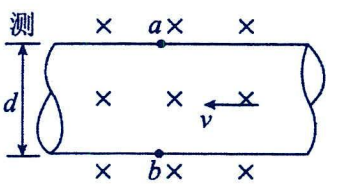


从圆管的侧面看　　对着液体流来的方向看

甲　　乙

【精选例题】

【例 1】（多选题）为了诊断病人的心脏功能和动脉中血液黏滞情况，可使用电磁流量计测量血管中血液的流速和流量。如图所示是电磁流量计测量血管中血液流速的示意图，血管中存在着大量正负离子水平向左定向流动，现使血管处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，测得血管两侧电压为 U。已知血管的直径为 d，假定血管中各处液体的流速稳定时恒为 v，忽略重力影响，则（　　）



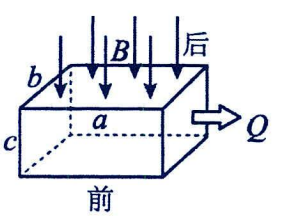
A．血管中水平向左运动的正离子所受洛伦兹力垂直纸面向上

B．a 处电势比 b 处电势低

C．流速稳定时，血管两侧电压为 $U=Bdv$

D．流速稳定时，$v=\frac{U}{d}$

【例 2】污水流量计用于检测学校排污情况，其由绝缘材料制成，长、宽、高分别为 a、b、c，左右两端开口。在垂直于上、下底面方向加磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，在前后两个内侧面分别固定有金属板。污水充满管口从左向右流经该装置时，理想电压表将显示前后两面的电压 U。若用 Q 表示污水流量（单位时间内流过管道横截面的流体体积），则（　　）



A．后表面电势比前表面电势低

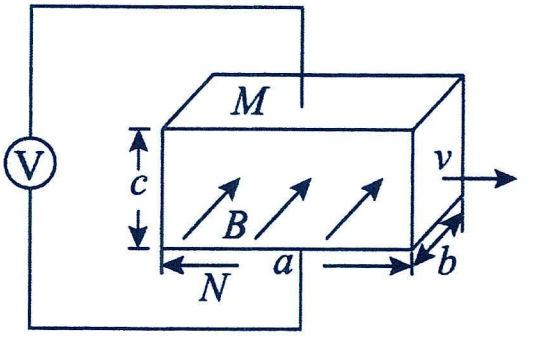
B．电压表的示数 U 与污水中离子浓度有关

C．污水流量 Q 与电压表的示数 U 成正比

D．污水流量 Q 与 a、b 有关

【跟踪训练】

1．电磁流量计是一种测量导电液体流量的装置（单位时间内通过某一截面的液体体积，称为流量），其结构如图所示，上、下两个面M、N为导体材料，前后两个面为绝缘材料。流量计的长、宽、高分别为a、b、c，左、右两端开口，液体从左往右流动，在垂直于前、后表面向里的方向加磁感应强度大小为B的匀强磁场，则（　　）



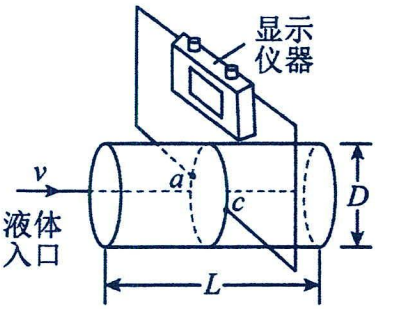
A．M板的电势高于N板的电势

B．当电压表的示数为U时，液体流量为$\frac{Uc}{B}$

C．若仅增大导电液体中离子的浓度，电压表示数将增大

D．当电压表的示数稳定时，导电液体中的离子不受洛伦兹力作用

2．某化工厂的排污管末端安装如图所示的电磁流量计。流量计处于方向竖直向下的匀强磁场中，其测量管由绝缘材料制成，长为L、直径为D，左右两端开口，在前后两个内侧面a、c固定有金属板作为电极。当污水（含有大量的正、负离子）充满管口从左向右流经该测量管时，稳定后a、c两端的电压为U，显示仪器显示污水流量为Q（单位时间内排出的污水体积）下列说法正确的是（　）



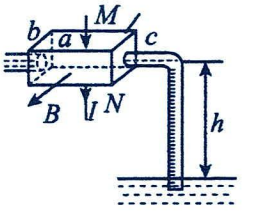
A．匀强磁场的磁感应强度$B=\frac{\pi DU}{4Q}$

B．a侧电势比c侧电势低

C．污水中离子浓度越高，显示仪器的示数越大

D．污水流量Q与U成正比，与L、D无关

3．（多选题）如图为某款新型电磁泵的简易装置图。泵体是一个长、宽、高分别为a、b、c的长方体，上下两面M、N为金属极板，当与电源相连时会在两极板间的导电液体中产生自上而下的恒定电流I，泵体处于垂直纸面向外磁感应强度为B的匀强磁场中。导电液的电阻率为ρ，密度为D，重力加速度为g，工作时泵体始终充满液体，下列说法正确的是（　　）



A．电磁泵稳定工作时，磁场对导电液的作用力为BIc

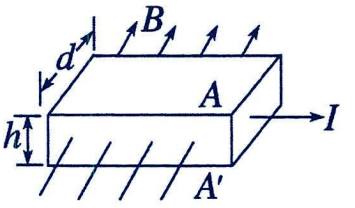
B．导电液的流速稳定为v时，电源的输出功率为$BIcv$

C．该电磁泵中导电液流速v与抽液高度h的关系为$v=\sqrt{\frac{2BI}{Db}-2gh}$

D．该电磁泵的最大抽液高度为$\frac{BI}{Dbg}$

题型六：霍尔元件

1.定义：高为 h、宽为 d 的导体(自由电荷是电子或正电荷)置于匀强磁场 B 中，当电流通过导体时，在导体的上表面 A 和下表面 A′之间产生电势差，这种现象称为霍尔效应，此电压称为霍尔电压.



2.电势高低的判断：如图，导体中的电流 I 向右时，根据左手定则可得：

若自由电荷是电子，则下表面 A′的电势高；若自由电荷是正电荷，则下表面 A′的电势低。

3.霍尔电压：导体中的自由电荷(电荷量为 q)在洛伦兹力作用下偏转，A、A′间出现电势差；

当自由电荷所受静电力和洛伦兹力平衡时，A、A′间的电势差(U)就保持稳定；

由 $qvB=q\frac{U}{h}$，$I=nqvS$，$S=hd$，

联立解得 $U=\frac{BI}{nqd}=k\frac{BI}{d}$，$k=\frac{1}{nq}$称为霍尔系数。

【精选例题】

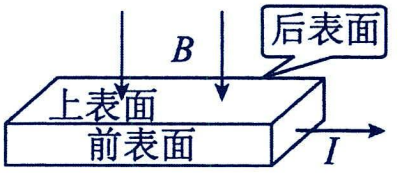
【例 1】临沂籍物理学家薛其坤院士荣获 2023 年度国家最高科学技术奖。薛院士在研究霍尔效应的过程中发现了量子反常霍尔效应现象。如图是某金属材料做成的霍尔元件，所加磁场方向及电流方向如图所示，则（　　）

A．该霍尔元件的前后两表面间存在电压，且前表面电势高

B．该霍尔元件的前后两表面间存在电压，且前表面电势低

C．该霍尔元件的上下两表面间存在电压，且上表面电势高

D．该霍尔元件的上下两表面间存在电压，且上表面电势低



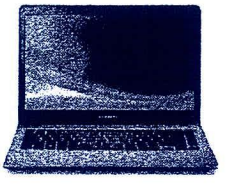
【例 2】笔记本电脑机身和显示屏分别安装有磁体和霍尔元件。当显示屏闭合时霍尔元件靠近磁体，屏幕熄灭电脑休眠。如图为显示屏内的霍尔元件：宽为a、长为c，元件内的导电粒子是电荷量为e的自由电子，通入方向向右的电流时，电子的定向移动速度为v。当显示屏闭合时元件处于垂直于上表面方向向下的匀强磁场中，此时元件的前后面间出现电压U，以此控制屏幕的熄灭。下列关于该元件的说法错误的是（　　）

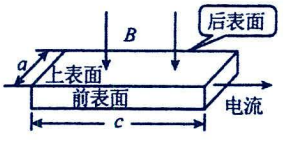
A．前表面的电势比后表面的高

B．前后表面间的电压U与v有关

C．前后表面间的电压U与c成正比

D．电压稳定后，自由电子受到的洛伦兹力大小为$\frac{eU}{a}$





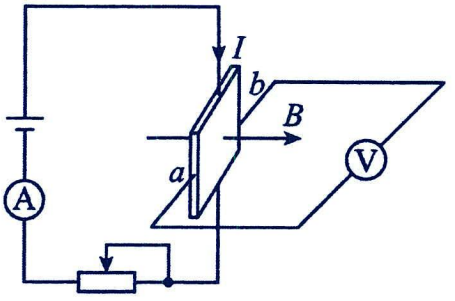
【例 3】把用金属导体制成的霍尔元件接入如图电路中，把电压表接在霍尔元件a、b极上，调节滑动变阻器使输入电流为I（导体中可自由移动的是电子），又从左向右加垂直于板面的磁感应强度为B的匀强磁场，当电场力等于洛伦兹力时，电压表测出的霍尔电压为U_H。下列判断正确的是（　）

A．a极的电势高于b极的电势

B．只增大B的强度，则U_H跟着增大

C．只改变I的强度，则U_H跟I的平方成正比

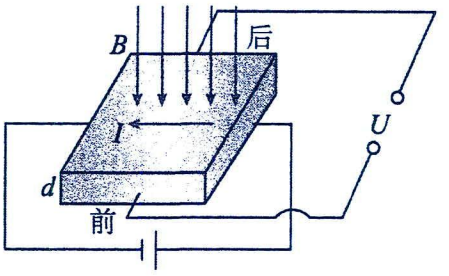
D．改变B、I的方向，电压表指针会偏向另一边



【跟踪训练】

1．（多选题）用霍尔传感器可测量自行车的运动速率。如图所示，一块磁铁安装在前轮上，霍尔传感器固定在前叉上，两者离轮轴的距离均为 r。轮子每转一圈，磁铁就靠近霍尔传感器一次，传感器就会输出一个脉冲电压。当磁铁靠霍尔元件最近时，通过元件的磁场可视为匀强磁场，磁感应强度为 B，在导体前后表面间出现电势差 U。已知霍尔元件沿磁场方向的厚度为 d，载流子的电荷量为$-q$，电流 I 向左。下列说法正确的是（　　）



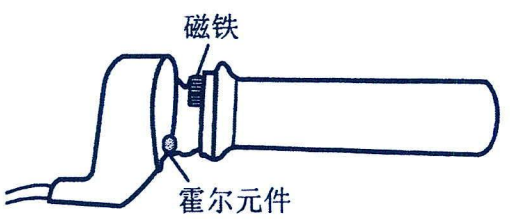


A．前表面的电势低于后表面的电势　　B．若车速越大，则霍尔电势差 U 越大

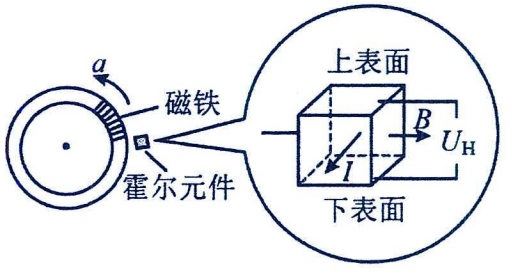
C．元件内单位体积中的载流子数为$\frac{BI}{Uqd}$

D．若单位时间内霍尔元件检测到 m 个脉冲，则自行车行驶的速度大小$2\pi rm$

2．（多选题）为了市民换乘地铁方便，厦门海沧区政府在地铁口和主要干道上投放了大量共享电动车。骑行者通过拧动手把来改变车速，手把内部结构如图甲所示，其截面如图乙所示。稍微拧动手把，霍尔元件保持不动，磁铁随手把转动，与霍尔元件间的相对位置发生改变，穿过霍尔元件的磁场强弱和霍尔电压 U_H 大小随之变化。已知霍尔电压越大，电动车能达到的最大速度 v_m 越大，霍尔元件工作时通有如图乙所示的电流 I，载流子为电子，则（　　）



甲

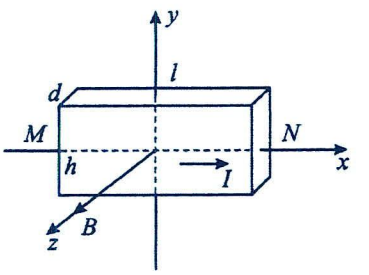


乙

A．霍尔元件下表面电势高于上表面　　B．霍尔元件下表面电势低于上表面

C．从图乙所示位置沿 a 方向稍微拧动手把，可以增大 v_m　　D．其他条件不变，调大电流 I，可以增大 v_m

3．如图所示，将霍尔式位移传感器置于一个沿 z 轴正方向的磁场中，磁感应强度随位置变化关系为 $B=B_0+kz$（$B_0>0,k>0$ 且均为常数），霍尔元件的厚度 d 很小。当霍尔元件通以沿 x 轴正方向的恒定电流 I，上、下表面会产生电势差 U，则下列说法正确的是（　　）



A．上表面电势高于下表面

B．当物体沿 z 轴正方向移动时，电势差 U 将变小

C．仅减小霍尔元件上下表面间的距离 h，传感器灵敏度$\frac{\Delta U}{\Delta z}$将变弱

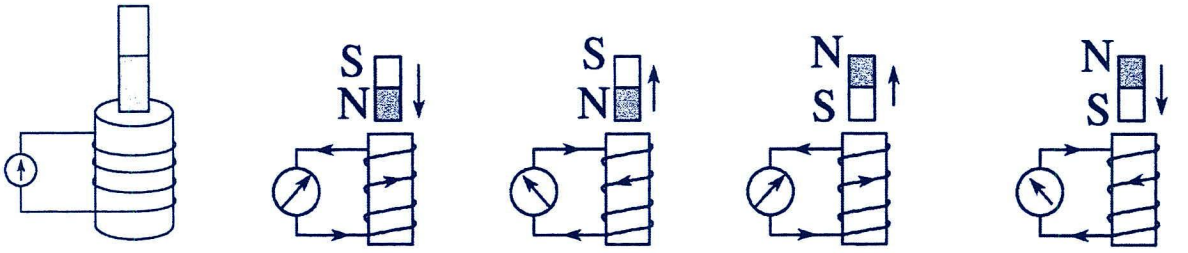
D．仅减小恒定电流 I，传感器灵敏度$\frac{\Delta U}{\Delta z}$将变弱

第五讲：楞次定律

考点一：楞次定律

题型一：探究影响感应电流方向的因素

1.实验思路：如图甲，通过将条形磁体插入或拔出线圈来改变穿过螺线管的磁通量，根据电流表指针的偏转方向判断感应电流的方向.



甲　　乙

2．实验现象：如图乙

3．实验结论：当穿过线圈的磁通量增加时，感应电流的磁场与原磁场的方向相反；当穿过线圈的磁通量减小时，感应电流的磁场与原磁场的方向相同。

4．注意事项：实验前应先查明电流的流向与电流表指针偏转方向之间的关系：把一节干电池、滑动变阻器、开关 S 与电流表串联，开关 S 采用瞬间接触，记录指针偏转方向与电流方向的关系。

【精选例题】

【例 1】用如图 1 所示的实验装置探究影响感应电流方向的因素。如图 2 所示，分别把条形磁体的 N 极或 S 极插入、拔出螺线管，观察并标记感应电流的方向。

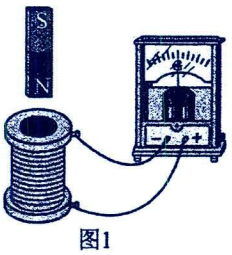
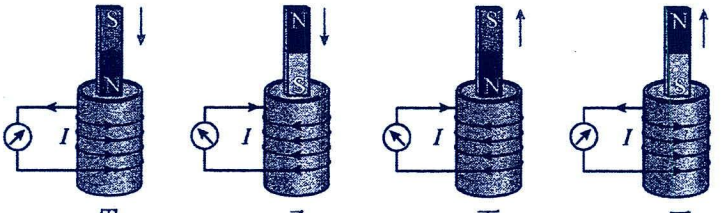


图1



甲　乙　丙　丁

图2

关于本实验，下列说法正确的是_____（填选项前的字母）。

A．需要记录感应电流的大小

B．通过观察电流表指针的偏转方向确定感应电流的方向

C．图 2 中甲和乙表明，感应电流的方向与条形磁体的插入端是 N 极还是 S 极有关

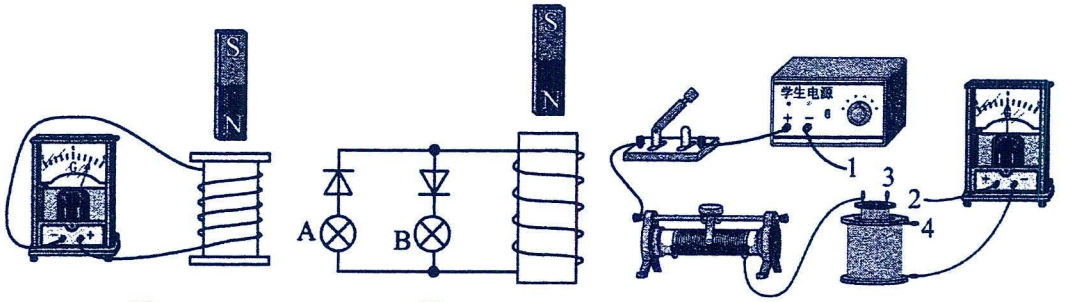
【例 2】某兴趣小组利用如图装置探究感应电流的产生条件和影响感应电流方向的因素

(1)如图 a，磁铁的 N 极向下运动时，电流表指针发生偏转。若要探究线圈中产生感应电流的方向，除了要知道线圈上导线的绕向外，还必须知道_____；

(2)图 b 中，将条形磁铁从图示位置先向上后向下移动一小段距离，出现的现象是_____；

A．灯泡 A 短暂发光、灯泡 B 不发光　　B．灯泡 A、B 均不发光

C．灯泡 A 不发光、灯泡 B 短暂发光　　D．灯泡 A、B 交替短暂发光



图a　　图b　　图c

(3)为进一步探究影响感应电流方向的因素，该小组设计了如图 c 的电路，下列接线方法正确的是_____

A．1 接 4，2 接 3　　B．1 接 2，3 接 4　　C．1 接 3，2 接 4

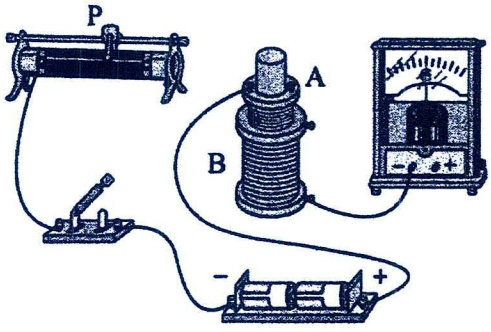
【跟踪训练】

1．某实验小组使用如图所示的器材探究“电磁感应现象”中影响感应电流方向的因素。

(1)在图中用实线代替导线完成实验电路连接_____。

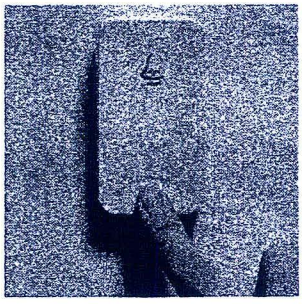
(2)连接好电路后，闭合开关，发现灵敏电流计 G 的指针向右偏了一下、保持开关闭合，依次进行以下操作：将铁芯迅速插入线圈 A 时，灵敏电流计指针将向_____（填“左”或“右”）偏；然后将滑动变阻器连入电路中的阻值调大，灵敏电流计指针将向_____（填“左”或“右”）偏；稳定后断开开关，灵敏电流计指针将向_____（填“左”或“右”）偏。

(3)写出闭合回路中产生感应电流的条件：_____。

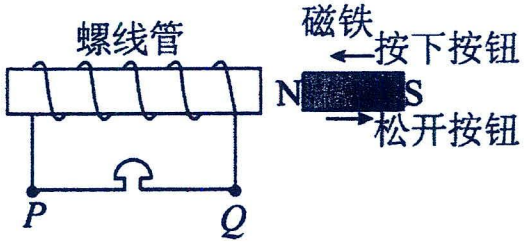


甲

(4)亮亮同学经过以上实验探究，对自家“自发电”无线门铃按钮原理进行研究，其“发电”原理如图乙所示，按下门铃按钮过程，磁铁靠近螺线管；松开门铃按钮过程，磁铁远离螺线管回归原位。下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A．只有按下按钮时，门铃才会响

B．按住按钮不动，门铃不会响

C．按下按钮过程，通过门铃电流方向 Q→P

D．若更快按下按钮，门铃的响声更大

E．按下和松开按钮过程，通过门铃感应电流大小一定相等

题型二：利用楞次定律判断感应电流方向

解题要点：

1.楞次定律：感应电流具有这样的方向，即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。

该方法适用于一切电磁感应现象的感应电流的判断。

2.对楞次定律中“阻碍”两字的理解：

谁阻碍谁	**感应电流的磁场阻碍引起感应电流的磁场（原磁场）的磁通量的变化**
阻碍什么	阻碍磁通量的变化，而非阻碍磁通量本身
如何阻碍	磁通量增加时，感应电流产生磁场与原磁场方向相反；反之亦然。**即：增反减同。**
阻碍效果	**阻碍并非阻止**，只是延缓了磁通量的改变，并没有终止改变

3.应用楞次定律的解题思路：

①一原：明确研究的闭合回路及原磁场的方向； **②二变：确定磁通量的变化情形**

③三感：判断感应磁场的方向； **④四电流：判断感应电流的方向**

【精选例题】

【例 1】楞次定律中“阻碍”的含义是指（　　）

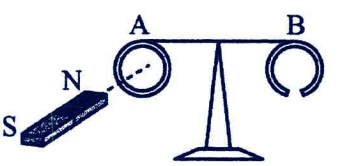
A．当引起感应电流的磁场增强时，感应电流的磁场方向与其相反；当引起感应电流的磁场减弱时，感应电流的磁场方向与其相同

B．感应电流形成的磁场只是阻碍引起感应电流的磁场的增强

C．感应电流形成的磁场只是阻碍引起感应电流的磁场的减弱

D．感应电流形成的磁场方向与引起感应电流的磁场方向相反

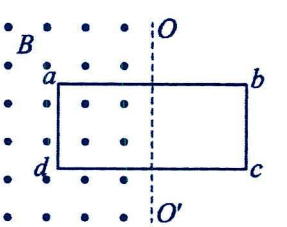
【例 2】如图所示，A、B 都是很轻的铝环，环 A 是闭合的，环 B 是断开的，横梁可以绕中间的支点自由转动。若用磁铁分别接近这两个圆环，则下面说法正确的是（　　）



A．用磁铁的任意一磁极接近 A 环时，A 环均被排斥　　B．磁铁 N 极远离 A 环时，A 环会被排斥

C．磁铁 S 极接近 B 环时，B 环会被吸引　　D．磁极 N 极远离 B 环时，B 环会被吸引

【例 3】如图所示，*OO′* 是矩形导线框 *abcd* 的对称轴，线框左半部分处于垂直纸面向外的匀强磁场中。下列说法正确的是（　　）



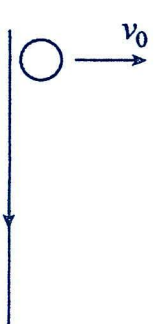
A．将线框 *abcd* 向右匀减速平移，线框中产生的感应电流方向为 *abcda*

B．将线框 *abcd* 向纸面外平移，线框中产生的感应电流方向为 *abcda*

C．将线框 *abcd* 以 *ad* 为轴向外转动 60°，线框中产生的感应电流方向为 *adcba*

D．将线框 *abcd* 以 *OO′* 为轴 *ad* 向里转动，线框中产生的感应电流方向为 *adcba*

【例 4】如图所示的纸面内有一根竖直向下的长直导线，导线中通有向下的恒定电流，从靠近导线的位置以水平向右的速度抛出一金属圆环，圆环运动过程中始终处于纸面内。不计空气阻力，以下说法正确的是（　）

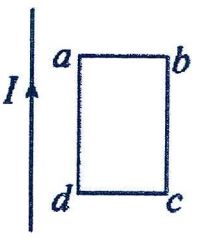


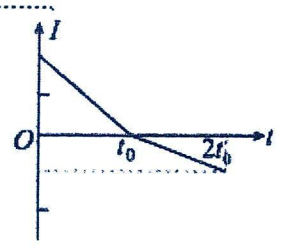
A．圆环中会产生顺时针方向的电流　　B．圆环中感应电流不断减小

C．圆环的水平速度一直在增大　　D．圆环在竖直方向上的加速度始终大于重力加速度

【跟踪训练】

1．如图所示，竖直固定直导线中通以电流 I，该电流随时间的变化规律如图所示，规定电流向上为正，附近的一闭合矩形金属线圈 abcd 与导线在同一平面，则在 0~2t_0 这段时间内（　　）





A．线圈中不会产生感应电流

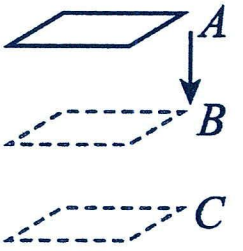
B．线圈中会产生感应电流，且感应电流方向发生了变化

C．线圈中会产生感应电流，且感应电流方向始终为 a→b→c→d→a

D．线圈中会产生感应电流，且感应电流方向先为 a→b→c→d→a，然后变为 a→d→c→b→a

2．如图所示，在水平放置的条形磁铁的 S 极附近，一个闭合金属线圈竖直向下运动，线圈平面始终保持水平。在位置 B，磁感线正好与线圈平面平行，A 与 B 和 B 与 C 之间的距离都比较小。在线圈从位置 A 运动到位置 C 的过程中，从上往下看，感应电流的方向是（　）

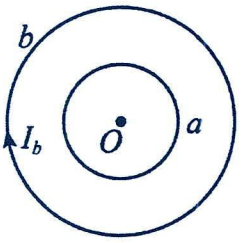




A．顺时针方向　　B．逆时针方向

C．先顺时针方向，后逆时针方向　　D．先逆时针方向，后顺时针方向

3．如图所示，均匀带正电的绝缘圆环 a 与金属圆环 b 同心共面放置，当 a 绕 O 点在其所在平面内旋转时，b 中产生顺时针方向的感应电流，由此可知，圆环 a 将（　　）



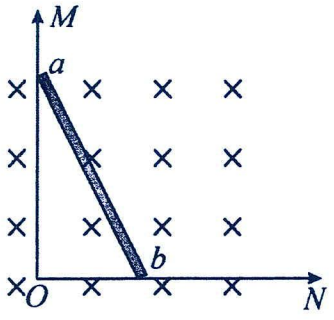
A．顺时针加速旋转　　B．顺时针减速旋转

C．逆时针匀速旋转　　D．逆时针减速旋转

4．如图，光滑无电阻的金属框架 MON 竖直放置，水平方向的匀强磁场垂直 MON 平面，质量为 m 的金属棒 ab 从∠abO=60°的位置由静止释放，两端沿框架在重力作用下滑动。在棒由图示的位置滑动到处于水平位置的过程中，ab 中感应电流的方向是（　　）

A．由 a 到 b　　B．由 b 到 a

C．先由 a 到 b，再由 b 到 a　　D．先由 b 到 a，再由 a 到 b

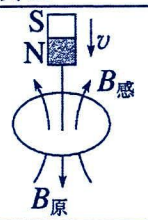
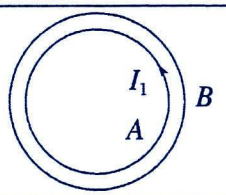
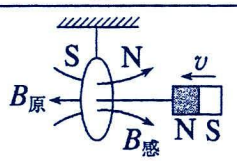
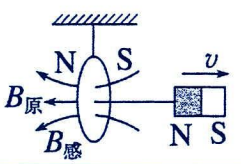
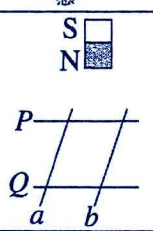
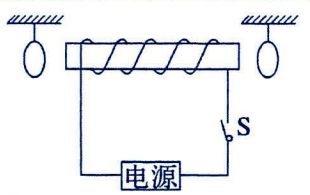


题型三：利用楞次定律判断受力情况及运动趋势

解题要点

楞次定律中“阻碍”的含义可以推广为：感应电流的效果总是阻碍引起感应电流的原因。

根据引起感应电流的情境，常见以下四种具体推论：

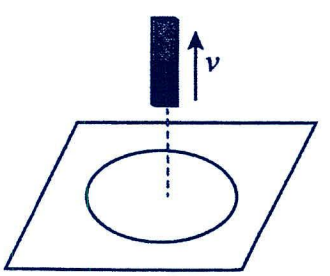
内容	例证	
增反减同		磁体靠近线圈，$B_{感}$与$B_{原}$方向相反
		当I_1增大时，环 B 中的感应电流方向与I_1相反； 当I_1减小时，环 B 中的感应电流方向与I_1相同。
来拒去留		磁体靠近，是斥力；磁体远离，是引力
		阻碍磁体与圆环相对运动
增缩减扩 (适用于单向磁场)		P、Q 是光滑固定导轨，a、b 是可动金属棒， 磁体下移上移，a、b 靠近或远离， 使回路面积有缩小增大扩大的趋势
增离减靠		通过远离和靠近阻碍磁通量的变化： 当开关 S 闭合时，左环向左摆动、右环向右摆动， 两环都远离通电线圈
说明	以上情况“殊途同归”，实质上都是以不同的方式阻碍磁通量的变化	

【精选例题】

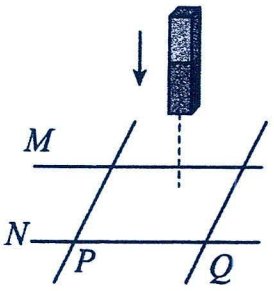
【例 1】如图所示，水平桌面上有一闭合铝环，在铝环轴线上方有一条形磁铁，当条形磁铁沿轴线竖直向上迅速运动时，下列判断正确的是（　　）

A．铝环有的收缩趋势，对桌面压力增大　　B．铝环有收缩的趋势，对桌面压力减小

C．铝环有扩张的趋势，对桌面压力减小　　D．铝环有扩张的趋势，对桌面压力增大



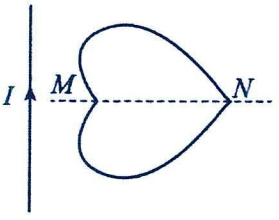
【例 2】（多选题）如图所示，光滑固定的金属导轨 M、N 水平放置。两根导体棒 P、Q 平行放置在导轨上，形成一个闭合回路，一条形磁铁从高处下落接近回路时（　）



A．P、Q 将彼此靠拢　　B．P、Q 将相互远离

C．磁铁的加速度仍为 g　　D．磁铁的加速度小于 g

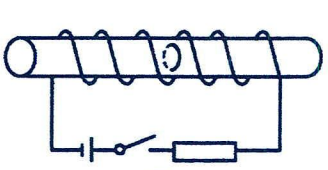
【例 3】（多选题）如图所示，长直导线与心形金属线框放在光滑绝缘的水平面上，且长直导线与心形线框的对称轴 MN 垂直。当长直导线中通以图示方向的电流 I，且电流增大时，下列关于心形线框的说法正确的是（　）

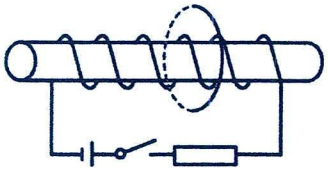


A．线框有面积缩小的趋势　　B．线框中产生顺时针方向的感应电流

C．线框在水平面内沿逆时针方向旋转　　D．线框沿垂直于直导线方向向右平动

【例 4】如图甲所示，在一空心螺线管内部中点处放置一小铜环，图乙所示，在一空心螺线管外部放置一大铜环，电路接通瞬间，下列说法正确的是（　　）


图甲


图乙

A．从左往右看，两个铜环中部都有顺时针方向感应电流

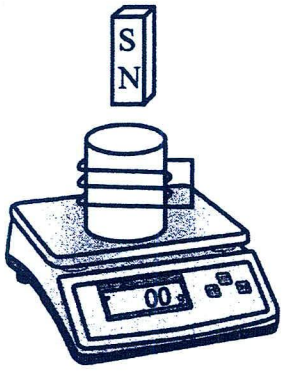
B．两个铜环都有收缩趋势

C．从左往右看，小铜环有顺时针方向感应电流，大铜环中有逆时针方向感应电流

D．小铜环有扩张趋势

【跟踪训练】

1．（多选题）某同学学习了电磁感应相关知识后，做了探究性实验：将闭合线圈按图示方式放在电子秤上，手握条形磁铁在线圈的正上方静止，此时电子秤的示数为 m_0，则有（　　）



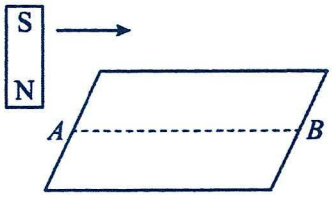
A．将条形磁铁插入线圈的过程中，穿过螺线管的磁通量减少

B．将条形磁铁插入线圈的过程中，电子秤的示数大于 m_0

C．将条形磁铁抽出线圈的过程中，线圈对条形磁铁的作用力向上

D．将条形磁铁插入线圈的过程中，线圈中感应电流沿逆时针方向（俯视）

2．如图所示，粗糙水平桌面上有一质量为 m 的铜质矩形线圈。当一竖直放置的条形磁铁从线圈中线 AB 正上方快速经过时，若线圈始终不动，则关于线圈受到的支持力 F_N 大小变化、摩擦力方向，及线圈是收缩或扩张趋势的正确判断是（　　）



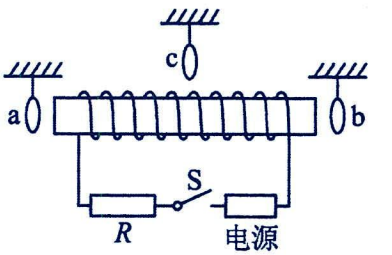
A．F_N 先小于 mg 后大于 mg，摩擦力方向先向左后向右，先有扩张趋势后有收缩趋势

B．F_N 先大于 mg 后小于 mg，摩擦力方向先向右后向左，先有扩张趋势后有收缩趋势

C．F_N 先小于 mg 后大于 mg，摩擦力方向一直向右，先有收缩趋势后有扩张趋势

D．F_N 先大于 mg 后小于 mg，摩擦力方向一直向左，先有收缩趋势后有扩张趋势

3．（多选题）如图，a、b、c 为三个被悬挂起的小金属圆环线圈，其中 a 位于螺线管左侧附近，b 位于螺线管右侧附近，c 位于螺线管中央的正上方，螺线管与电阻、电源以及开关串联组成一电路，当开关 S 闭合瞬间，忽略三环中感应电流之间的相互作用力，则 a、b、c 小金属圆环线圈（不考虑形变）的运动情况是（　　）



A．如果电源左边是正极，a 向左摆动，b 向左摆动，c 向左摆动

B．如果电源左边是负极，a 向右摆动，b 向右摆动，c 向右摆动

C．如果电源左边是正极，从左边看，a、b 的电流方向均是逆时针，c 的电流方向是顺时针

D．无论电源正极在左边还是右边，a 向左摆动，b 向右摆动，c 不动

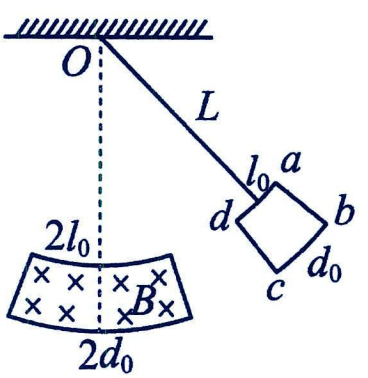
题型四：楞次定律与能量转化

解题要点

电磁感应现象中，根据能量守恒定律，有电能的产生，必定由其他形式的能量转化而来，如机械能。

【精选例题】

【例 1】如图所示，用一根长为 L 质量不计的细杆与一个上弧长为 l_0、下弧长为 d_0 的金属线框的中点联结并悬挂于 O 点，悬点正下方存在一个上弧长为 $2l_0$、下弧长为 $2d_0$ 的方向垂直纸面向里的匀强磁场，且 $d_0 \ll L$，先将线框拉开到如图位置，松手后让线框进入磁场，忽略空气阻力和摩擦。下列说法正确的是（　　）



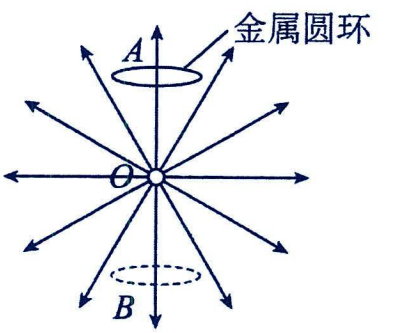
A．金属线框进入磁场时感应电流的方向为 a→d→c→b→a

B．金属线框离开磁场时感应电流的方向为 a→d→c→b→a

C．金属线框 dc 边进入磁场与 ab 边离开磁场的速度大小总是相等

D．金属线框最终将停在最低点

【例 2】1931 年，英国物理学家狄拉克从理论上预言：存在只有一个磁极的粒子，即“磁单极子”，它的磁感线分布类似于点电荷的电场线分布。目前科学家还没有证实磁单极子的存在。若自然界中存在磁单极子，如图所示，把某磁单极子 N 极固定在 O 点，让一个闭合的细金属圆环从 O 点正上方 A 点位置由静止开始释放，运动过程中圆环平面始终保持水平，图中 A、B 两点位置关于 O 点对称，不计空气阻力，则圆环从 A 点位置运动到 B 点位置的过程中（　　）



A．从上往下看，圆环从 A 点到 O 点过程和从 O 点到 B 点过程，感应电流方向相反

B．从上往下看，圆环从 A 点到 B 点过程，感应电流方向为逆时针

C．圆环始终受到竖直向上的安培力

D．圆环从 A 点到 B 点过程中机械能守恒

【例 3】晓宇将一长直玻璃管沿竖直方向固定，将一小块磁铁由上管口位置静止释放，经时间t_1到达玻璃管另一端，此时速度大小为v_1；现在玻璃管外侧缠绕上导线，在导线的两端接一电流传感器，仍将一小块磁铁由管口位置静止释放，经时间t_2到达管另一端，此时速度大小为v_2.下列说法正确的是（　）



A．两种情形下，小磁铁均做匀变速直线运动　　B．第二次穿越过程中，电流传感器有示数

C．$t_1 > t_2$　　D．$v_1 = v_2$

【跟踪训练】

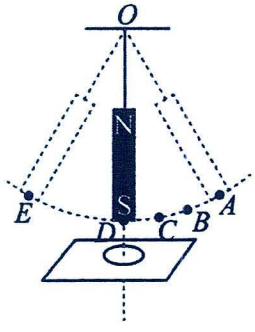
1．高铁在高速行驶，如遇紧急情况需要制动刹车时，现均使用电磁制动技术。电磁制动的原理可简化为如图模型，把一条形磁铁用一根弹簧悬挂，在条形磁铁正下方桌面上放置一线圈，把条形磁铁向下拉一定距离由静止释放，发现条形磁铁很快停止振动。不计空气阻力，则条形磁铁上下振动过程中。下列说法正确的是（　　）



A．线圈对条形磁铁的作用力一直做正功　　B．线圈对条形磁铁的作用力一直做负功

C．线圈中电流方向一直不变　　D．线圈对桌面压力一直增大

2．如图所示，用轻绳将一条形磁铁竖直悬挂于 O 点，在其正下方的水平绝缘桌面上放置一铜质圆环。现将磁铁从 A 处由静止释放，经过 B、C 到达最低处 D，再摆到左侧最高处 E，圆环始终保持静止，则磁铁（　）



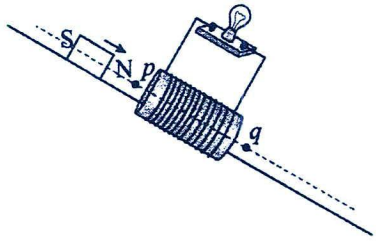
A．从 B 到 C 的过程中，圆环中产生逆时针方向的电流（从上往下看）

B．摆到 D 处时，圆环给桌面的压力小于圆环受到的重力

C．从 A 到 D 和从 D 到 E 的过程中，圆环受到摩擦力方向相反

D．在 A、E 两处的重力势能不相等

3．（多选题）如图，沿光滑斜面固定一螺线管，一个磁性很强的小磁体沿螺线管轴线下滑。轴线上p、q两点到螺线管上、下边缘的距离相等。一灯泡与螺线管串联，小磁体通过p点时灯泡的亮度比通过q点时小，小磁体的大小可忽略。则小磁体（　）



A．在p点的速度大于在q点的速度　　B．在p点的速度等于在q点的速度

C．在p点的机械能大于在q点的机械能　　D．经过p、q两点时，灯泡中电流方向相反

题型五：楞次定律与实际应用

【精选例题】

【例 1】一学校高二（1）班教室墙上有一扇朝北的平开玻璃窗，窗扇由玻璃加闭合矩形金属边框构成，如图所示，窗扇的转轴为竖直方向，另一侧装有开（关）窗手柄。假设窗扇已经向外（北）推开（开角小于 90°），某同学站在室内面向窗户水平拉动关窗手柄，将窗扇关闭的过程中，下列说法正确的是（　　）



A．从关窗者的角度看，窗扇金属边框中的感应电流方向是逆时针方向

B．从关窗者的角度看，窗扇金属边框中的感应电流方向是顺时针方向

C．穿过矩形窗扇的地磁场的磁通量不变

D．窗扇金属边框中有感应电动势没有感应电流

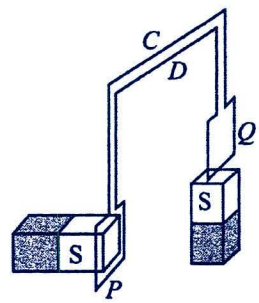
【例 2】（多选题）如图是创意物理实验设计作品《小熊荡秋千》．两根彼此靠近且相互绝缘的金属棒 C、D 固定在铁架台上，与两个铜线圈 P、Q 组成一闭合回路，两个磁性很强的条形磁铁如图放置，当用手左右摆动线圈 P 时，线圈 Q 也会跟着摆动，仿佛小熊在荡秋千。以下说法正确的是（ ）

A．P 向右摆动的过程中，P 中的电流方向为顺时针方向（从右向左看）

B．P 向右摆动的过程中，Q 也会向右摆动

C．P 向右摆动的过程中，Q 会向左摆动

D．若用手左右摆动 Q，P 会始终保持静止



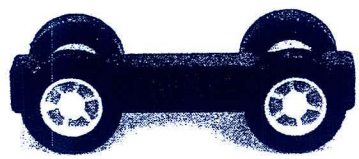
【例 3】（多选题）在第 70 场“南方教研大讲堂”罗老师展示的课例中，她用磁力小车做了小实验。磁力小车如图甲所示，它的内部结构可以简化为如图乙所示，其中 A、B 是具有单向导电性的发光二极管（正向电阻为零，反向电阻为无穷大），与线圈 C 构成闭合回路。实验前，磁力小车静止在水平桌面上（不计一切阻力）。关于实验现象，下列说法正确的是（ ）

A．将强磁铁 N 极快速靠近小车，二极管 A 将闪亮

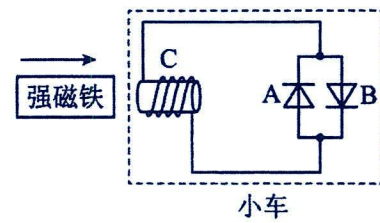
B．将强磁铁 S 极快速靠近小车，二极管 B 将闪亮

C．将强磁铁 N 极快速靠近小车，小车将向右运动

D．将强磁铁 S 极快速靠近小车，小车将向左运动



甲



乙

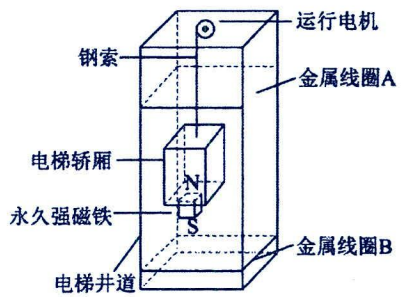
【例 4】某同学设想的减小电梯坠落时造成伤害的一种应急安全装置如图所示，在电梯轿厢底部安装永久强磁铁，磁铁 N 极朝上，电梯井道内壁上铺设若干金属线圈，线圈在电梯轿厢坠落时能自动闭合，从而减小对箱内人员的伤害。当轿厢坠落到图示位置时，关于该装置，以下说法正确的是（ ）

A．从上往下看，金属线圈 A 中的感应电流沿顺时针方向

B．从上往下看，金属线圈 B 中的感应电流沿逆时针方向

C．金属线圈 B 对轿厢下落有阻碍作用，A 没有阻碍作用

D．金属线圈 B 有收缩的趋势，A 有扩张的趋势



【跟踪训练】

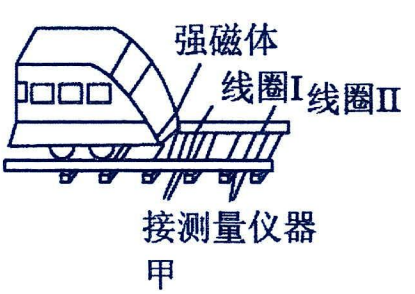
1．为了测量列车运行的速度和加速度大小，可采用如图甲所示的装置，它由一块安装在列车车头底部的强磁体和埋设在轨道地面的一组线圈及电流测量记录仪组成（电流测量记录仪未画出）。当列车经过线圈上方时，线圈中产生的电流被记录下来，P、Q 为接测量仪器的端口。若俯视轨道平面时强磁体的磁场垂直地面向里（如图乙），则在列车经过测量线圈的过程中，流经线圈的电流方向为（ ）

A．始终沿逆时针方向

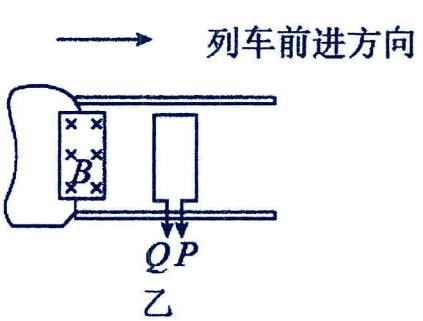
B．先沿顺时针，再沿逆时针方向

C．先沿逆时针，再沿顺时针方向

D．始终沿顺时针方向

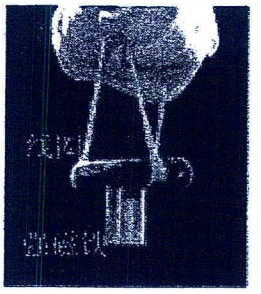


甲



乙

2．（多选题）某老师演示了用超导线圈悬浮一个强磁铁的实验，如图所示，此时强磁铁 N 极朝上。则（　　）



A．若将强磁铁从图示位置快速向下拔出，感应电流的方向为顺时针（俯视）

B．若将强磁铁从图示位置快速向下拔出，感应电流的方向为逆时针（俯视）

C．将强磁铁 S 极朝上再从下方靠近超导线圈，线圈受引力

D．将强磁铁 S 极朝上再从下方靠近超导线圈，线圈受斥力

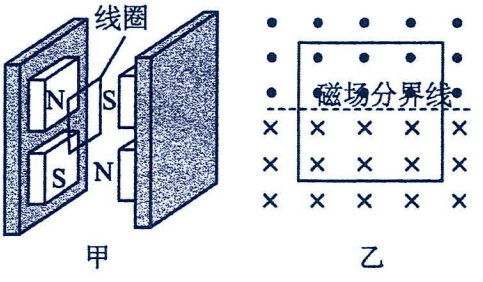
3．电磁俘能器可在汽车发动机振动时利用电磁感应发电实现能量回收，结构如图甲所示。两对永磁铁可随发动机一起上下振动，每对永磁铁间有水平方向的匀强磁场，正方形闭合线圈竖直固定在减震装置上。永磁铁振动时磁场分界线不会离开线圈，某时刻磁场分界线刚好位于线圈正中央，如图乙所示。则从该时刻起（　　）

A．永磁铁振动时穿过线圈的磁通量不变

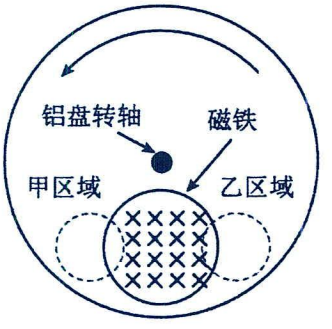
B．永磁铁振动越快，线圈中感应电动势越小

C．永磁铁振动时，受到线圈的阻力方向不变

D．永磁铁向上振动时，线圈中感应电流的方向为逆时针



4．高速铁路列车通常使用磁力刹车系统。磁力刹车工作原理可简述如下：将磁铁的 N 极靠近一块正在以逆时针方向旋转的圆形铝盘，使磁感线垂直铝盘向内，铝盘随即减速，如图所示。图中磁铁左方铝盘的甲区域（虚线区域）朝磁铁方向运动，磁铁右方铝盘的乙区域（虚线区域）朝离开磁铁方向运动。下列有关铝盘刹车的说法正确的是（　　）



A．磁铁与甲、乙两区域的感应电流之间的作用力，都会使铝盘减速

B．铝盘乙区域的感应电流产生垂直铝盘向外的磁场

C．铝盘甲区域的感应电流产生垂直铝盘向里的磁场

D．若将实心铝盘换成布满小空洞的铝盘，则磁铁对空洞铝盘的作用力变大

考点二：右手定则

解题要点：

1.右手定则：如图，伸开右手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内；

让磁感线从掌心进入，并使拇指指向导线运动的方向，这时四指所指的方向就是感应电流的方向。

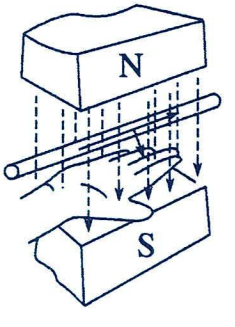
2.适用情况：导线切割磁感线产生感应电流。

3.使用用右手定则关键：注意掌心、四指、拇指的方向。

①掌心——磁感线垂直穿入；

②拇指——指向导体运动的方向；

③四指——指向感应电流的方向。



题型一：利用右手定则判断感应电流方向

【精选例题】

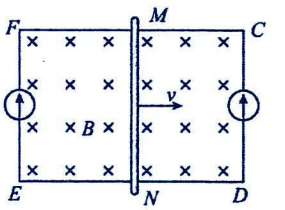
【例 1】在图中 CDEF 是金属框，框内存在着如图所示的匀强磁场。当导体 MN 向右移动时（　　）

A．CDEF 中磁通量不变，无感应电流产生

B．整个 CDEF 框中有顺时针方向的感应电流

C．整个 CDEF 框中有逆时针方向的感应电流

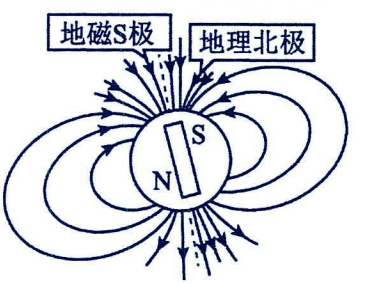
D．MN 右侧回路有顺时针方向的感应电流，MN 左侧回路有逆时针方向的感应电流



【例 2】如图所示为地磁场磁感线的示意图。一架民航飞机在赤道上空匀速飞行，机翼保持水平，由于遇到强气流作用使飞机竖直下坠，在地磁场的作用下，金属机翼上有电势差。飞机竖直下坠时，设飞行员左方机翼末端处的电势为φ_1，右方机翼末端处的电势为φ_2，忽略磁偏角的影响，则（　　）

A．若飞机从西往东飞，φ_2比φ_1高　　B．若飞机从东往西飞，φ_2比φ_1高

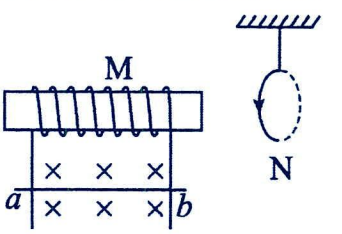
C．若飞机从南往北飞，φ_1比φ_2高　　D．若飞机从北往南飞，φ_1比φ_2高



【例 3】如图，金属棒*ab*垂直于竖直金属导轨且与导轨接触良好，导轨间存在垂直导轨平面向里的匀强磁场，导轨上端与金属线圈M相连，金属线圈N用绝缘细线悬挂。要使线圈N有靠近线圈M的趋势，并产生如图方向的感应电流，下列可采用的操作是（　）

A．*ab*棒向上加速直线运动　　B．*ab*棒向下加速直线运动

C．*ab*棒向上减速直线运动　　D．*ab*棒向下减速直线运动



【跟踪训练】

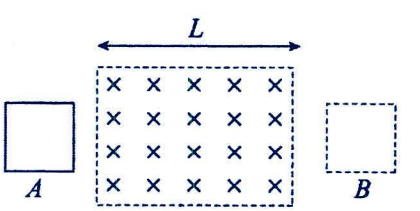
1．如图所示，一边长为d的正方形闭合线圈由A位置匀速通过一个匀强磁场运动到B位置。已知磁场宽度L大于线圈边长d，则（　　）

A．整个运动过程中，线圈中一直有感应电流

B．进入磁场和离开磁场的过程中，感应电流方向相同

C．进入磁场时感应电流方向顺时针，离开磁场时感应电流方向逆时针

D．进入磁场时感应电流方向逆时针，离开磁场时感应电流方向顺时针



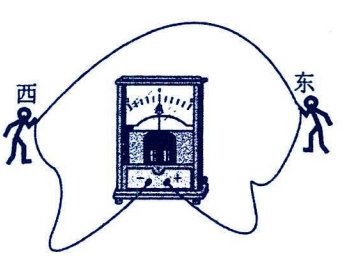
2．（多选题）如图所示，在赤道上，两同学把一条长导线的两端连接在一灵敏电流计的两个接线柱上，构成闭合电路。然后两个同学沿东西方向站在赤道上，上下快速摇动导线的一部分。赤道附近地磁场方向可认为平行于水平地面，下列说法正确的是（　　）

A．导线向下运动过程中感应电流方向由东向西

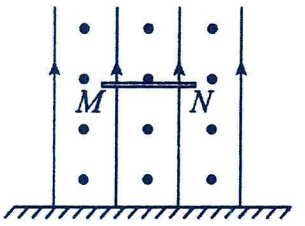
B．导线向上运动过程中感应电流方向由东向西

C．导线向下运动过程中所受安培力的方向垂直地面向上

D．导线向上运动过程中所受安培力的方向垂直地面向上



3．如图所示，地面上方有方向垂直纸面向外的匀强磁场和竖直向上的匀强电场，在磁场内水平静止释放一根不带电的金属棒 MN，不考虑空气阻力，下列说法正确的是（　　）



A．N 端先落地，M 端后落地　　B．M、N 两端一起落地

C．金属棒做自由落体运动　　D．金属棒先加速运动后匀速运动

题型二：安培定则、左手定则、右手定则、楞次定律综合应用

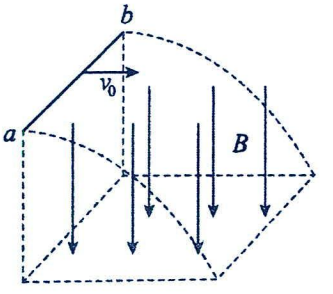
解题要点：

“三个定则”“一个定律”的比较

定则或定律	适用的现象	因果关系
安培定则	电流的磁效应——电流、运动电荷产生磁场	因电而生磁(I→B)
左手定则	安培力——磁场对电流的作用力； 洛伦兹力——磁场对运动电荷的作用力	因电而受力(I、B→$F_{安}$)
右手定则	导体做切割磁感线运动产生的电磁感应现象	因动而生电(v、B→$I_{感}$)
楞次定律	闭合回路磁通量变化产生的电磁感应现象	因磁通量变化而生电(ΔΦ→$I_{感}$)

【精选例题】

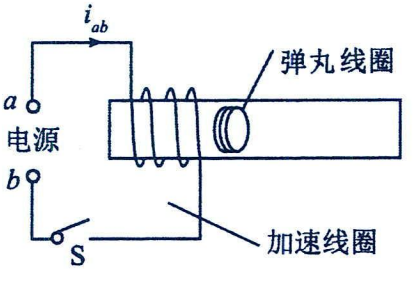
【例 1】如图，在竖直向下的匀强磁场 B 中，将一根水平放置的金属棒 ab 以某一水平速度 v_0 抛出，金属棒在运动过程中始终保持水平且未离开磁场区域，不计空气阻力，下列关于金属棒在运动过程中的说法正确的是（　　）



A．机械能保持不变　　B．感应电动势越来越大

C．a 点电势比 b 点电势高　　D．所受重力的功率保持不变

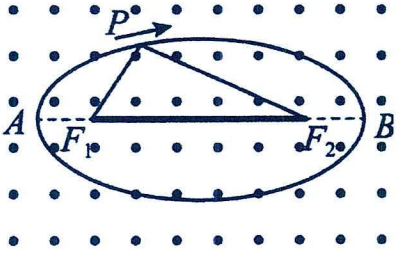
【例 2】线圈炮由加速线圈和弹丸线圈构成，根据通电线圈之间磁场的相互作用原理而工作。如图所示，弹丸线圈放在绝缘且内壁光滑的水平发射导管内。闭合开关 S 后，在加速线圈中接通方向如图所示、大小变化的电流 i_{ab}，发现静止的弹丸线圈向右发射，则下列说法正确的是（　　）



A．加速线圈内部磁场方向向左　　B．穿过弹丸线圈的磁通量减小

C．加速线圈中的电流 i_{ab} 变大　　D．加速线圈中的电流 i_{ab} 变化越快，弹丸线圈中感应电动势越小

【例 3】如图，匀强磁场中固定一水平金属棒 F_1F_2，金属棒两端点 F_1、F_2 刚好是绝缘椭圆轨道的两焦点，磁场方向垂直于椭圆面向外，一根金属丝绕过绝缘笔 P 与 F_1、F_2 相接，金属丝处于拉直状态，且绝缘笔刚好能沿椭圆轨道运动。在绝缘笔沿椭圆轨道从 A 到 B 带动金属丝运动过程中，关于金属棒和金属丝的说法正确的是（　　）

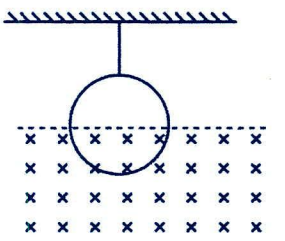


A．感应电流方向始终是 $F_2\to F_1\to P\to F_2$　　B．感应电流方向始终是 $F_1\to F_2\to P\to F_1$

C．金属丝始终有扩张趋势　　D．金属棒所受安培力方向先向上，后向下

【跟踪训练】

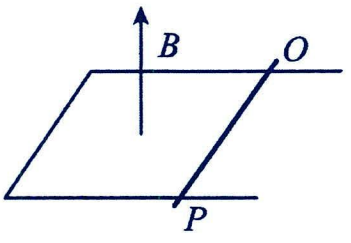
1．如图所示，质量为m的闭合金属环用不可伸长的绝缘细线悬挂起来，金属环有一半处于水平且与环面垂直的匀强磁场中。从某时刻开始，磁感应强度开始减小，金属环始终保持静止，重力加速度为g，则在磁感应强度减小的过程中，关于细线的拉力和环中感应电流的方向，下列说法中正确的是（　　）



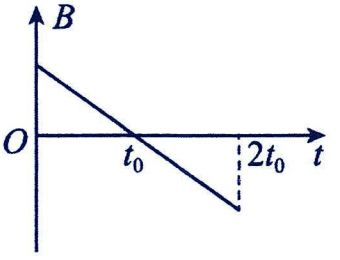
A．大于环的重力mg，沿顺时针方向　　B．小于环的重力mg，沿顺时针方向

C．大于环的重力mg，沿逆时针方向　　D．小于环的重力mg，沿逆时针方向

2．（多选题）图甲所示粗糙U形导线框固定在水平面上，右端放有一金属棒PQ，整个装置处于竖直方向的磁场中，磁感应强度B按图乙规律变化，规定竖直向上为正方向，整个过程金属棒保持静止。则（　　）



甲



乙

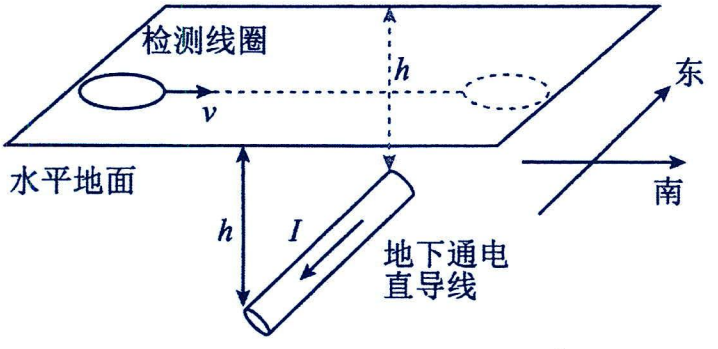
A．1.5t_0时刻，金属棒PQ所受安培力方向向左

B．0~2t_0时间内，回路中的感应电流大小不变，但方向改变

C．0~2t_0时间内，金属棒PQ所受安培力大小不变，但方向改变

D．0~2t_0时间内，金属棒PQ所受摩擦力方向先水平向左，后水平向右

3．（多选题）城市施工时，为了避免挖到铺设在地下的电线，需要在施工前用检测线圈检测地底是否铺设导线。若地下有一条沿着东西方向的水平直导线，导线中通过电流。现用一闭合的检测线圈来检测，俯视检测线圈，下列说法正确的是（　　）



A．若线圈静止在导线正上方，当导线中通过正弦交流电，线圈中会产生感应电流

B．若线圈在恒定电流正上方由西向东运动，检测线圈受到安培力与运动方向相反

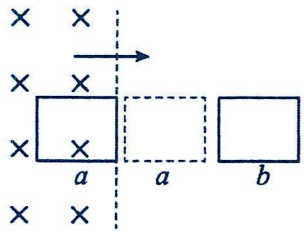
C．若线圈由北向南沿水平地面通过恒定电流上方，感应电流的方向先逆时针后顺时针，然后再逆时针

D．若线圈由北向南沿水平地面通过恒定电流上方，检测线圈所受安培力在水平方向的分量一直向北

题型三：二次感应问题

【精选例题】

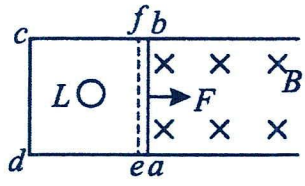
【例 1】如图所示，在绝缘的水平面上，有闭合的两个线圈 a、b，线圈 a 处在匀强磁场中，现将线圈 a 从磁场中匀速拉出，关于线圈 a、b 中产生的感应电流及方向的判断正确的是（　）



A．线圈 a 中逆时针，线圈 b 中无电流　　B．线圈 a 中顺时针，线圈 b 中无电流

C．线圈 a 中顺时针，线圈 b 中顺时针　　D．线圈 a 中顺时针，线圈 b 中逆时针

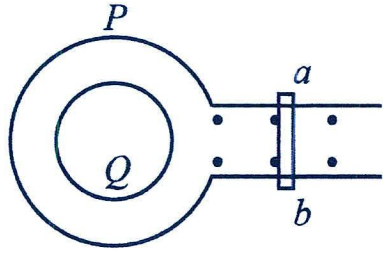
【例 2】（多选题）如图所示，金属棒 ab 置于水平放置的 U 形光滑导轨上，在 ef 右侧存在有界匀强磁场 B，磁场方向垂直导轨平面向下，在 ef 左侧的无磁场区域 cdef 内有一半径很小的金属圆环 L，圆环与导轨在同一平面内。当金属棒 ab 在水平恒力 F 作用下从磁场左边界 ef 处由静止开始向右运动后，对圆环 L，下列说法正确的是（　　）



A．圆环 L 有收缩趋势　　B．圆环 L 有扩张趋势

C．ab 受到的安培力方向向左　　D．ab 受到的安培力方向向右

【例 3】（多选题）如图所示，在匀强磁场中放一电阻不计的平行金属轨道，轨道与轨道平面内的圆形线圈 P 相连，要使在同一平面内所包围的小闭合线圈 Q 内产生顺时针方向的感应电流，导线 ab 的运动情况可能是（　　）

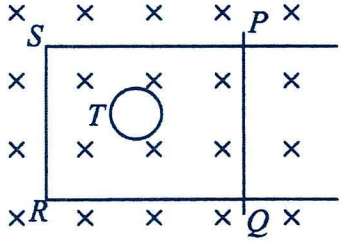


A．匀速向右运动　　B．加速向右运动

C．减速向右运动　　D．加速向左运动

【跟踪训练】

1．（多选题）如图，在方向垂直于纸面向里的匀强磁场中有一 U 形金属导轨，导轨平面与磁场垂直。金属杆 PQ 置于导轨上并与导轨形成闭合回路 PQRS，一圆环形金属线框 T 位于回路围成的区域内，线框与导轨共面。现让金属杆 PQ 向右做减速运动，在之后的运动过程中，关于感应电流的方向，下列说法正确的是（　　）



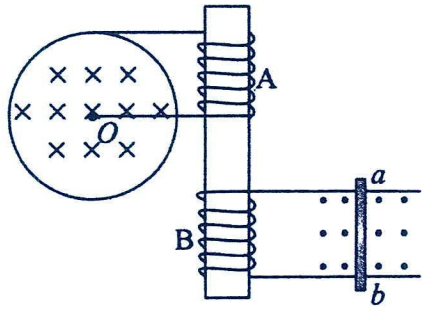
A．PQRS 中沿顺时针方向，T 中沿逆时针方向

B．PQRS 中沿逆时针方向，T 中沿逆时针方向

C．可能 T 具有收缩趋势，PQ 受到向右的安培力

D．可能 T 具有扩张趋势，PQ 受到向左的安培力

2．如图所示，置于匀强磁场中的金属圆盘中央和边缘各引出一根导线，与套在铁芯上部的线圈 A 相连，套在铁芯下部的线圈 B 引出两根导线接在两根水平光滑导轨上，导轨上有一根金属棒 ab 静止处在垂直于纸面向外的匀强磁场中，下列说法正确的是（　　）



A．圆盘顺时针加速转动时，ab 棒将向右运动

B．圆盘逆时针减速转动时，ab 棒将向右运动

C．圆盘顺时针匀速转动时，ab 棒将向右运动

D．圆盘逆时针加速转动时，ab 棒将向右运动

第六讲：法拉第电磁感应定律

考点一：电磁感应定律

解题要点：

1.感应电动势：在电磁感应现象中产生的电动势叫作感应电动势，产生感应电动势的那部分导体相当于电源。

2.产生条件：穿过回路的磁通量发生改变，与电路是否闭合无关。

3.法拉第电磁感应定律

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

(2)公式：$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，其中 n 为线圈的匝数。

(3)在国际单位制中，磁通量的单位是韦伯(Wb)，感应电动势的单位是伏(V)。

(4)说明：E 的大小与Φ、ΔΦ无关，决定于磁通量的变化率$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$。

(5)公式 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 求解的是一个回路中某段时间内的平均电动势，在磁通量均匀变化时，瞬时值才等于平均值。

4.磁通量变化的三种情景对应的感应电动势

(1)已知Φ－t 图像，则图线上某一点的切线斜率为$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.;

(2)当ΔΦ仅由 S 的变化引起时，ΔΦ＝BΔS，则 $E=n\frac{B\Delta S}{\Delta t}$ ；

(3)当ΔΦ仅由 B 的变化引起时，$E=n\frac{\Delta B\cdot S}{\Delta t}$，其中 S 为线圈在磁场中的有效面积。若 $B=B_0+kt$，则$\frac{\Delta B}{\Delta t}=k$;

(4)当ΔΦ仅由 S 的变化和 B 的变化共同引起时，则根据定义求$\Delta\Phi=|\Phi_{末}-\Phi_{初}|$，$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{|B_2S_2-B_1S_1|}{\Delta t}\neq n\frac{\Delta B\Delta S}{\Delta t}$ 。

5.磁通量Φ、磁通量的变化量ΔΦ及磁通量的变化率$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$的比较

	磁通量Φ	磁通量的变化量ΔΦ	磁通量的变化率$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
物理意义	某时刻穿过磁场中某个面的磁感线条数	在某一过程中，穿过某个面的磁通量的变化量	穿过某个面的磁通量变化的快慢
B、S 互相垂直	Φ＝BS	$\Delta\Phi=\begin{cases}\Phi_2-\Phi_1\\ B\cdot\Delta S\\ S\cdot\Delta B\end{cases}$	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\begin{cases}\frac{\lvert\Phi_2-\Phi_1\rvert}{\Delta t}\\ B\cdot\frac{\Delta S}{\Delta t}\\ \frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S\end{cases}$
注意	若穿过的平面中有方向相反的磁场，则不能直接用Φ＝BS，Φ为抵消以后所剩余的磁通量。	开始和转过 180°时平面都与磁场垂直，但穿过平面的磁通量是不同的，一正一负，ΔΦ＝2BS，而不是零。	在Φ－t 图像中，可用图线的斜率表示$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

题型一：概念理解

【精选例题】

【例 1】下列关于电磁感应现象说法正确的是（　　）

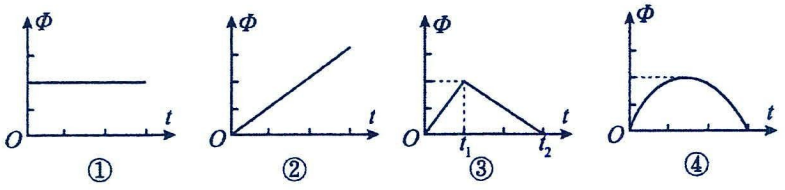
A．穿过闭合电路的磁通量越大，闭合电路中的感应电动势越大

B．穿过闭合电路的磁通量为零时，感应电动势一定为零

C．穿过闭合电路的磁通量变化越多，闭合电路中的感应电动势越大

D．穿过闭合电路的磁通量变化越快，闭合电路中的感应电动势越大

【例 2】穿过闭合回路的磁通量Φ-t 图像分别如图①～④。关于回路中感应电动势正确的是（　　）



A．图①中回路产生的感应电动势恒定不变

B．图②中回路产生的感应电动势一直在变大

C．图④中回路产生的感应电动势先变小后变大

D．图③中回路在 0~t_1 时间内产生的感应电动势等于在 t_1~t_2 时间内产生的感应电动势

【跟踪训练】

1．（多选题）关于感应电动势、磁通量、磁通量的变化量，下列说法正确的是（　　）

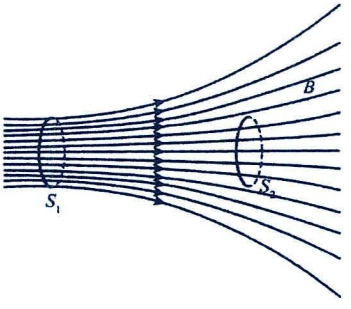
A．穿过回路的磁通量越大，磁通量的变化量不一定越大，回路中的感应电动势也不一定越大

B．穿过回路的磁通量的变化量与线圈的匝数无关，回路中的感应电动势与线圈的匝数有关

C．穿过回路的磁通量的变化率为 0，回路中的感应电动势一定为 0

D．某一时刻穿过回路的磁通量为 0，回路中的感应电动势一定为 0

2．在如图所示的磁场中，把圆形闭合线圈从 S_1 位置水平匀速右移到 S_2 位置，下列说法正确的是（　）



A．S_2 处的磁感应强度比 S_1 处的大　　B．穿过线圈的磁通量变大

C．线圈中会产生感应电流　　D．线圈中的电流大小恒定

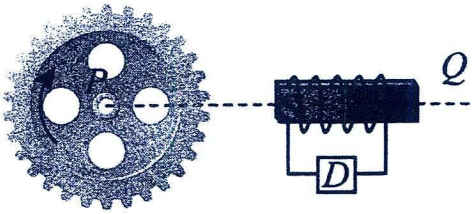
3．如图为汽车防抱死制动系统（ABS）中的轮速传感器，铁质齿轮 P 与车轮同步转动，右侧有一个绕着线圈的磁铁 Q。当每个轮齿在接近和离开 Q 时，线圈中会出现感应电流。下列说法正确的是（　　）

A．车轮正常运转时线圈中没有感应电流

B．车轮抱死时线圈中也有感应电流

C．当每个轮齿在接近磁铁 Q 时，线圈中磁通量不变

D．当每个轮齿在离开磁铁 Q 时，线圈中磁能量发生了变化

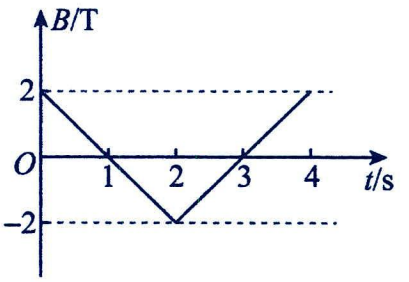


ABS的轮速传感器示意

题型二：感生电动势的简单计算

【精选例题】

【例 1】（多选题）一个面积 S＝4×10^{-2}m^2 的线圈，放在匀强磁场中，磁场方向垂直于线圈平面，磁感应强度 B 随时间 t 变化的规律如图所示，则下列判断正确的是（　　）



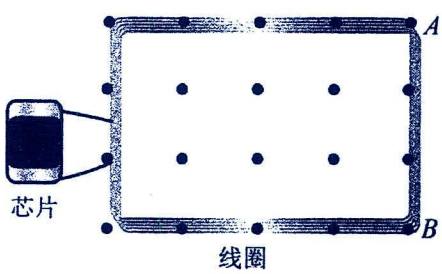
A．在开始的 2 s 内穿过线圈的磁通量变化率大小等于 0.08 Wb/s

B．在开始的 2 s 内穿过线圈的磁通量的变化量等于零

C．在开始的 2 s 内线圈中产生的感应电动势大小等于 0.08 V

D．在第 3 s 末线圈中的感应电动势等于零

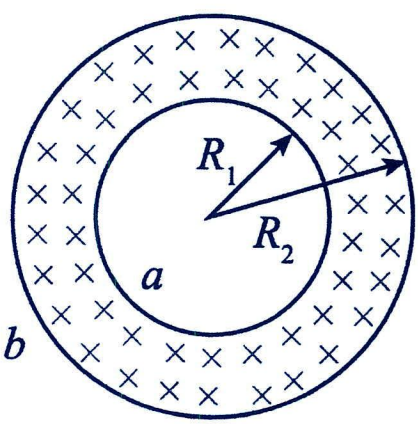
【例 2】（多选题）如图是学生常用的饭卡内部实物图，其由线圈和芯片组成电路。当饭卡处于感应区域时，刷卡机会激发变化的磁场，从而在饭卡内线圈中产生感应电流来驱动芯片工作。已知线圈面积为 S，共 n 匝。某次刷卡时，线圈平面与磁场垂直，且全部处于磁场区域内，在感应时间 t_0 内，磁感应强度方向向外且由 0 增大到 B_0，此过程中（　　）



A．线圈中感应电流方向为顺时针方向　　B．线圈有扩张的趋势

C．通过线圈的磁通量变化量大小为 B_0S　　D．线圈中感应电动势大小为 $\dfrac{B_0S}{t_0}$

【例 3】如图所示，匝数均为 n，半径分别为 R_1、R_2 的两个导线圈 a、b 共面同心放置，两导线圈之间的圆环区域存在垂直纸面向里的匀强磁场，在 Δt 时间内，磁感应强度由 B_1 增加到 B_2，在这段时间内，下列说法正确的是（　　）



A．线圈 a 磁通量的变化量为 $(B_2-B_1)\pi R_1^2$

B．线圈 b 磁通量的变化量为 $n(B_2-B_1)\pi(R_2^2-R_1^2)$

C．线圈 a 磁通量的变化率为 $\dfrac{n(B_2-B_1)\pi R_1^2}{\Delta t}$

D．线圈 b 磁通量的变化率为 $\dfrac{(B_2-B_1)\pi(R_2^2-R_1^2)}{\Delta t}$

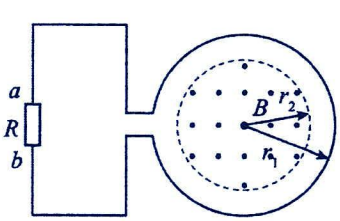
【例 4】如图甲所示，100 匝半径 r_1=0.5m 的圆形金属线圈总电阻为10Ω，在线圈内部半径 r_2=0.4m 的圆形区域内存在垂直于线圈平面的匀强磁场，一阻值 $R=6\Omega$ 的电阻与线圈连成闭合回路。磁感应强度 B 随时间变化的规律如图乙所示，已知磁场方向垂直于线圈平面向里为正，通过电阻 R 的电流方向由 a 到 b 为正，下列说法正确的是（　　）

A．$t=\pi$s 时电阻 R 上通过的电流为负

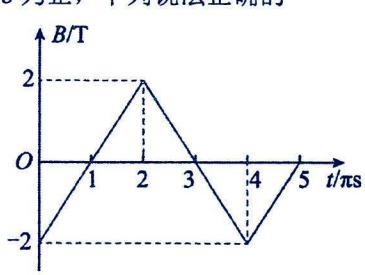
B．$t=\pi$s 时电阻 R 上通过的电流大小为 0.02A

C．$t=\pi$s 时电阻 R 两端的电压为 12V

D．0～2πs 内穿过线圈磁通量的变化量为 64πWb

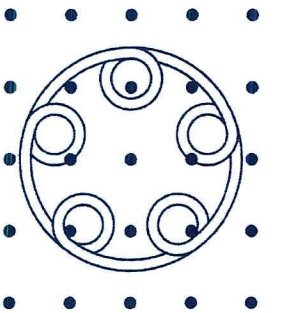


甲



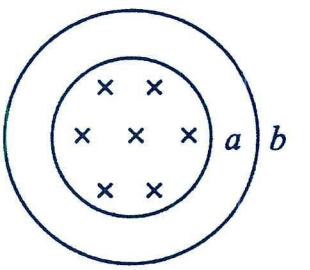
乙

【例 5】将一根绝缘硬质细导线顺次绕成如图所示的线圈，其中大圆面积为S_1，小圆面积均为S_2，垂直线圈平面方向有一随时间 t 变化的磁场，磁感应强度大小$B=B_0+kt$，B_0和k均为常量，则线圈中总的感应电动势大小为（　　）



A．kS_1　　B．$5kS_2$　　C．$k(S_1-5S_2)$　　D．$k(S_1+5S_2)$

【例 6】如图，a、b 是用同种规格的铜丝做成的两个同心圆环，两环半径之比为 2∶3，其中仅在 a 环所围区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场。下列说法正确的是（　）



A．穿过 a、b 两环的磁通量大小之比为 4∶9

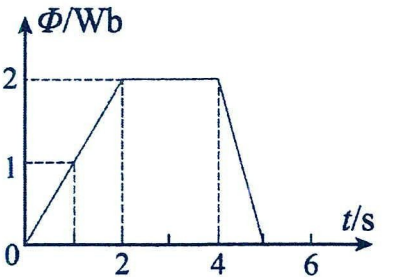
B．a、b 两环绕圆心在纸面内转动时，两环中均有感应电流

C．磁感应强度 B 增大时，a、b 两环中均有逆时针方向的感应电流

D．磁感应强度 B 均匀增大时，a、b 两环中产生的感应电流之比为 4∶9

【跟踪训练】

1．（多选题）穿过固定不动的线框的磁通量随时间变化的规律如图所示，下列说法正确的是（　　）



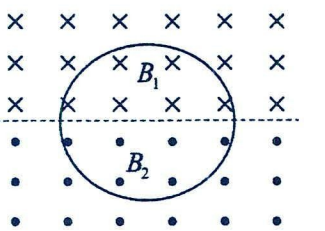
A．第 1s 末感应电动势的大小等于 2V

B．第 1s 内和第 2s 内，感应电动势一样大

C．2s 末到第 4s 末这段时间内，感应电动势最大

D．第 5s 内感应电动势比最初 2s 内感应电动势大，且方向相反

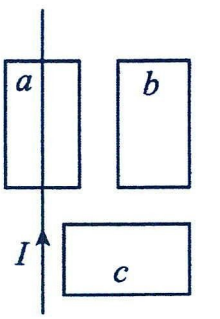
2．如图，两匀强磁场的磁感应强度 B_1 和 B_2 大小相等、方向相反。金属椭圆环的长轴与两磁场的边界重合。下列变化会在环中产生逆时针方向感应电流的是（　　）



A．同时减小 B_1 增大 B_2　　B．同时增大 B_1 减小 B_2

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

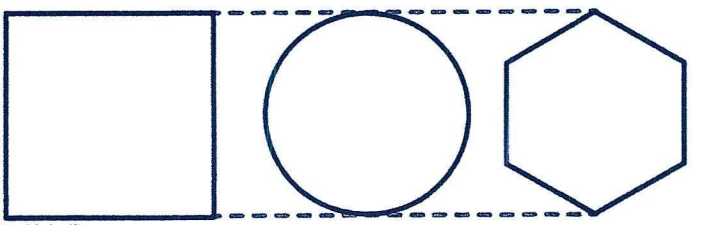
3．如图，a、b 和 c 三个完全相同的矩形线框与通电直导线在同一平面内，其中 a 关于导线左右对称，b 和 c 的右侧平齐。当通过直导线的电流逐渐增大时 a、b 和 c 三个线框的感应电流分别为 I_a、I_b 和 I_c，则（　　）



A．$I_a>I_b>I_c$　　B．$I_a=I_b=I_c$

C．$I_a<I_b=I_c$　　D．$I_a<I_b<I_c$

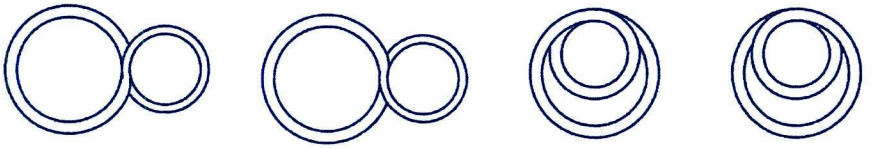
4．（多选题）三个用同样的细导线做成的刚性闭合线框，正方形线框的边长与圆线框的直径相等，圆线框的半径与正六边形线框的边长相等，如图。把它们放入磁感应强度随时间线性变化的同一匀强磁场中，线框所在平面均与磁场方向垂直，正方形、圆形和正六边形线框中感应电流的大小分别为 I_1、I_2 和 I_3。则下列描述正确的（　　）



A．$I_1=I_2$　　B．$I_1>I_2$

C．$I_2>I_3$　　D．$I_2=I_3$

5．将四根绝缘硬质细导线顺次绕成如图甲、乙、丙、丁的线圈，其中大圆面积均为 S_1，小圆面积均为 S_2，垂直线圈平面有一向外的随时间 t 变化的磁场。磁感应强度大小 $B=B_0+kt$，B_0 和 k 均为大于 0 的常量，下列说法正确的是（　　）



甲　　乙　　丙　　丁

A．甲图的大圆中感应电流方向沿逆时针方向　　B．乙图的大圆和小圆总电动势为 $k(S_1-S_2)$

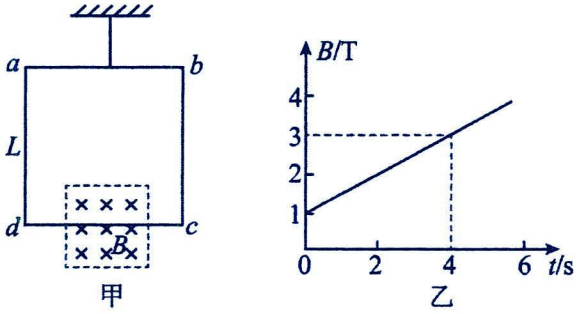
C．丙图的大圆和小圆总电动势为 $k(S_1-S_2)$　　D．丁图的大圆和小圆所受安培力的合力不为零

6．轻质细线吊着一质量为 m=0.64kg、边长为 L=0.8m、匝数 n=10 的正方形线圈 abcd，线圈总电阻为 R=2Ω。边长为 L/2 正方形磁场区域对称分布在线圈下边的两侧，如图（甲）所示。磁场方向垂直纸面向里，磁感应强度大小随时间变化如图（乙）所示，从 t=0 开始经 t_0 时间细线开始松弛，取 $g=10m/s^2$。求：

（1）在 0～4s 内，线圈中产生的感应电动势 E；

（2）在前 4s 时间内线圈 abcd 产生的电热；

（3）求 t_0 的值。



考点二：动生电动势

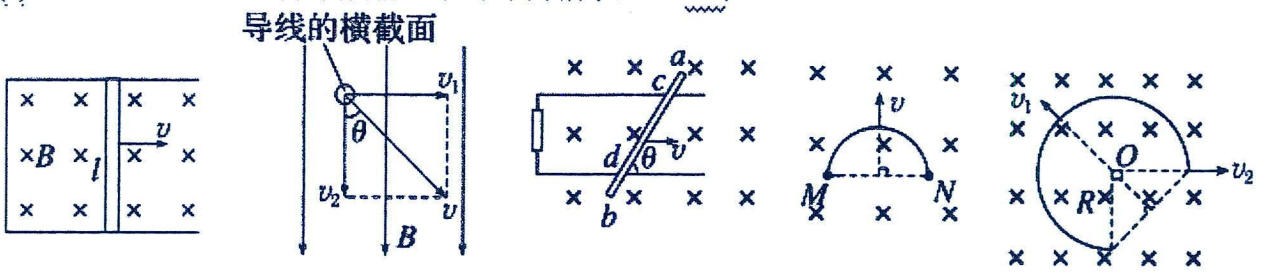
题型一：理解应用动生公式 BLv

解题要点：

1.导线切割磁感线时的感应电动势：

(1)当有任意两个量的方向互相平行时，导线将不切割磁感线，E＝0；

(2)当 B、l、v 三个量的方向两两垂直时，如图甲所示，E＝Blv；



甲　　乙　　丙　　丁　　戊

(3)当 l 垂直于 B 且 l 垂直于 v，而 v 与 B 成θ角，如图乙所示，E＝Blvsinθ；

(4)若导线是弯折的，或 l 与 v 不垂直时，E＝Blv 中的 l 应为导线两端点在与 v 垂直的方向上的投影长度，即有效切割长度；

图丙中的有效切割长度为：l＝$\overline{cd}$ sinθ；

图丁中的有效切割长度为：l＝$\overline{MN}$；

图戊中的有效切割长度为：沿 v_1 的方向运动时，l＝$\sqrt{2}$R；沿 v_2 的方向运动时，l＝R。

(5)相对速度：E＝Blv 中的速度 v 是导体相对磁场的速度。若磁场也在运动，应注意速度间的相对关系。

2.用右手定则或楞次定律与安培定则结合判断，**导体棒中感应电流流出的一端为高电势，流入的一端为低电势。**

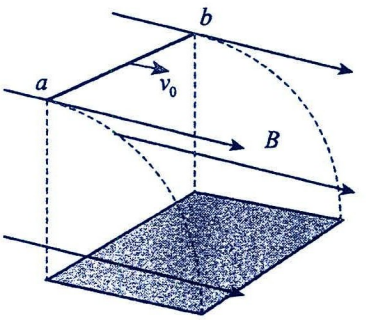
3.导体棒切割磁感线产生感应电流，导体棒所受安培力的方向与导体棒运动方向相反，导体棒克服安培力做功，把其他形式的能转化为电能。

4.公式 E＝n$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$与 E＝Blvsinθ的区别与联系

公式	E＝n$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	E＝Blvsinθ
研究对象	某个回路	回路中做切割磁感线运动的那部分导体
内容	(1)求的是Δt 时间内的平均感应电动势，E 与某段时间或某个过程对应。 (2)当Δt→0 时，E 为瞬时感应电动势。	(1)若 v 为瞬时速度，求的是瞬时感应电动势； (2)若 v 为平均速度，求的是平均感应电动势； (3)当 B、l、v 三者均不变时，平均感应电动势与瞬时感应电动势相等。
适用范围	对任何电路普遍适用	只适用于导体切割磁感线运动的情况
联系	(1)E＝Blvsinθ是由 E＝n$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$在一定条件下推导出来的； (2)整个回路的感应电动势为零时，回路中某段导体的感应电动势不一定为零。	

【精选例题】

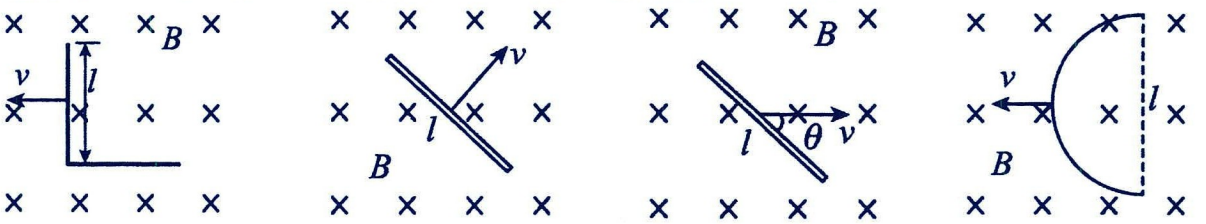
【例 1】如图所示，在水平向右的匀强磁场中，一个水平放置的金属棒 ab 以某一水平速度 v_0 被抛出，并始终保持水平。不计空气阻力，在金属棒 ab 的运动过程中，下列说法正确的是（　　）



A．金属棒 ab 中不能产生感应电动势　　B．a 端的电势高于 b 端的电势

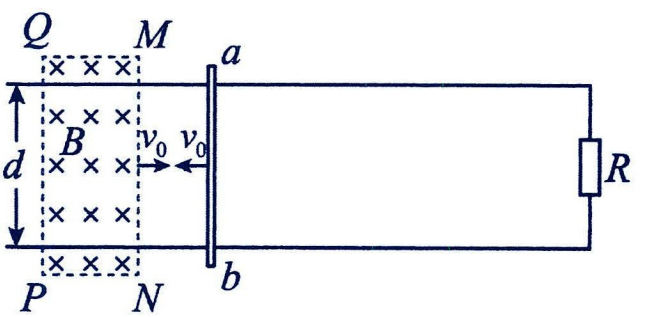
C．产生的感应电动势的方向会变　　D．产生的感应电动势的大小不变

【例 2】如图所示的情况中，金属导体中产生的感应电动势不是 Blv 的是（　　）



A　　B　　C　　D

【例 3】如图所示，两条相距 d 的平行金属导轨位于同一水平面内。金属杆 ab 在导轨上以速度 v_0 水平向左匀速运动，其左侧磁感应强度大小为 B 的矩形匀强磁场区域 MNPQ 也以速度 v_0 匀速地向右运动，当金属杆刚进入磁场时，杆中产生的感应电动势的大小为（　　）

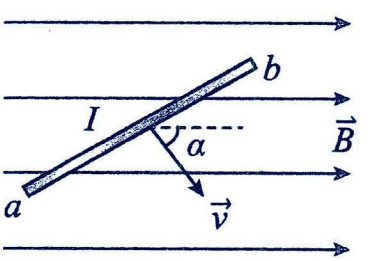


A．0　　B．Bdv_0

C．$2Bdv_0$　　D．$4Bdv_0$

【跟踪训练】

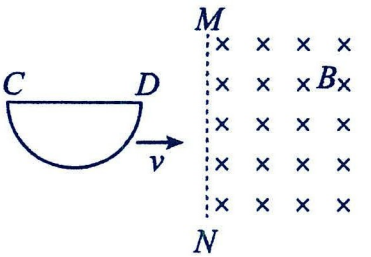
1．如图，长度为 l 的直导线 ab 在均匀磁场 $\vec{B}$ 中以速度 $\vec{v}$ 移动，直导线 ab 中的电动势为（　　）



A．$Bl\vec{v}$　　B．$Bl\vec{v}\sin a$

C．$Bl\vec{v}\cos a$　　D．0

2．如图所示，一导线弯成半径为 R 的半圆形闭合回路。虚线 MA 右侧有磁感应强度为 B 的匀强磁场，方向垂直于回路所在的平面。回路以速度 v 向右匀速进入磁场，直径 CD 始终与 MN 垂直。从 D 点到达边界开始到 C 点进入磁场为止，下列结论正确的是（　　）



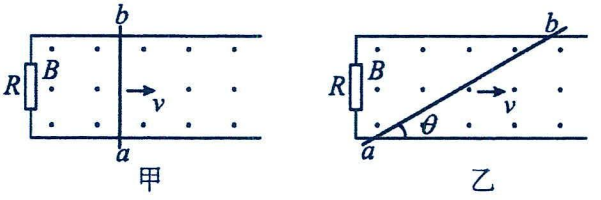
A．感应电流方向始终沿直径由 C 到 D　　B．CD 段直导线始终不受安培力

C．感应电动势最大值 $E_m = BRv$　　D．感应电动势平均值 $\overline{E} = BRv$

3．水平放置的光滑平行导轨固定，导轨左侧接有定值电阻 R，导轨间存在垂直于导轨平面向上的匀强磁场，足够长的金属棒 ab 置于导轨上且接触良好。如图甲，当金属棒 ab 垂直于导轨以速度 v 向右匀速运动时，金属棒 ab 产生的感应电动势为E_1。如图乙，保持磁感应强度不变，当金属棒 ab 倾斜放置，与导轨成$\theta=30°$，仍以速度 v 向右匀速运动时，金属棒 ab 产生的感应电动势为E_2。不计导轨和金属棒 ab 的电阻，则通过金属棒 ab 的电流方向及E_1和E_2之比分别为（　　）

A．$a\to b$，1:1　　B．$a\to b$，1:2

C．$b\to a$，1:1　　D．$b\to a$，2:1

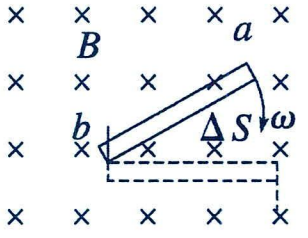


题型二：旋转切割问题

解题要点：

1.导体棒转动切割磁感线产生的电动势：$E=\frac{1}{2}Bl^2\omega$。

2.如图，长为 l 的金属棒 ab，绕 b 端在垂直于匀强磁场的平面内以角速度ω匀速转动，磁感应强度为 B，ab 棒所产生的感应电动势大小可用下面两种方法推出。



方法一：棒上各处速率不等，故不能直接用公式 E=Blv 求。

由 v=ωr 可知，棒上各点的线速度跟半径成正比。

故可用棒的中点的速度作为平均切割速度代入公式计算。$\bar{v}=\frac{\omega l}{2}$，$E=Bl\bar{v}=\frac{1}{2}Bl^2\omega$。

方法二：设经过Δt 时间，ab 棒扫过的扇形面积为ΔS，

则$\Delta S=\frac{1}{2}l\omega\Delta t l=\frac{1}{2}l^2\omega\Delta t$，磁通量的变化$\Delta\Phi=B\Delta S=\frac{1}{2}Bl^2\omega\Delta t$，所以$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{B\Delta S}{\Delta t}=\frac{1}{2}Bl^2\omega(n=1)$。

3.延申分析

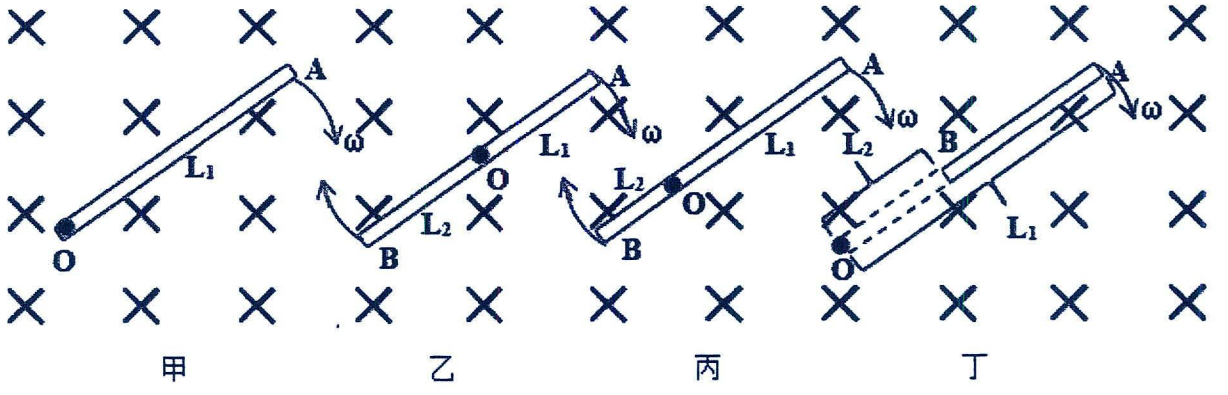
设 $OA=L_1$,$OB=L_2$，杆旋转角速度为ω。

(1)如图甲，以端点为轴时，$E=\frac{1}{2}B\omega L_1^2$(平均速度取中点位置的线速度$\frac{1}{2}\omega L_1$)；

(2)如图乙，以中点为轴时，即 $L_1=L_2$，此时 OA 与 OB 两段各自的电动势大小相等，故 AB 整段的电动势 E=0；

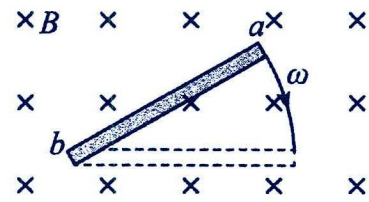
(3)如图丙，以任意点为轴时，$E=\frac{1}{2}B\omega(l_1^2-l_2^2)$；

(4)如图丁，以棒外一点为轴时，$E=\frac{1}{2}B\omega(l_1^2-l_2^2)$。



【精选例题】

【例 1】如图，一长为 L 的导体棒在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕其 b 端以角速度 ω 在垂直于磁场的平面内匀速转动，ab 两端产生的感应电动势大小是（　　）



A. $\dfrac{BL^2\omega}{2}$　　B. $BL^2\omega$　　C. $2BL^2\omega$　　D. $4BL^2\omega$

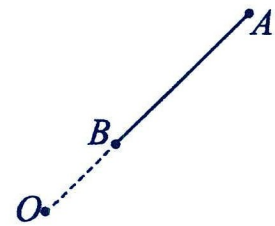
【例 2】如图所示，导体 AB 的长为 $2R$，绕 O 点以角速度 ω 逆时针匀速转动，OB 长为 R，且 OBA 三点在一条直线上，有一磁感应强度为 B 的匀强磁场，垂直纸面向里，充满转动平面，下面说法正确的是（　　）

A. A 点高于 B 电势，AB 两端的电势差为 $4B\omega R^2$

B. B 点高于 A 电势，AB 两端的电势差为 $2B\omega R^2$

C. A 点高于 B 电势，AB 两端的电势差为 $6B\omega R^2$

D. B 点高于 A 电势，AB 两端的电势差为 $4B\omega R^2$



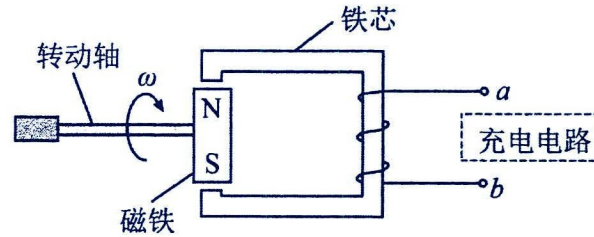
【例 3】某品牌电瓶车的动能回收系统的结构原理如图所示，传动轴与磁铁固定连接，当车辆下坡时，车轮通过传动装置带动磁铁在绕有多匝线圈的铁芯间转动，线圈通过 a、b 端给电池充电，不考虑磁铁转速的变化，穿过线圈的磁通量按正弦（或余弦）规律变化，某时刻磁铁的位置和转动方向如图所示，下列说法正确的是（　　）

A. 在图示位置，线圈中的感应电动势最大

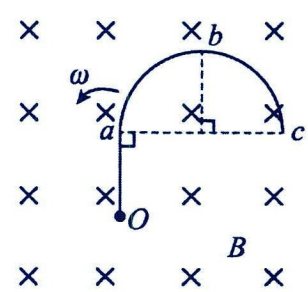
B. 从图示位置开始的一小段时间内，线圈 a 端的电势比 b 端高

C. 从图示位置转过 90° 时，线圈中的感应电动势最大

D. 从图示位置转过 180° 时，线圈 a 端的电势比 b 端高



【例 4】如图，有一硬质导线 Oabc，其中 $\overset{\frown}{abc}$ 是半径为 R 的半圆弧，b 为圆弧的中点，直线段 Oa 长为 R 且垂直于直径 ac。该导线在纸面内绕 O 点逆时针转动，导线始终在垂直纸面向里的匀强磁场中。则 O、a、b、c 各点电势关系为（　）



A. $\varphi_O>\varphi_a>\varphi_b>\varphi_c$　　B. $\varphi_O<\varphi_a<\varphi_b<\varphi_c$

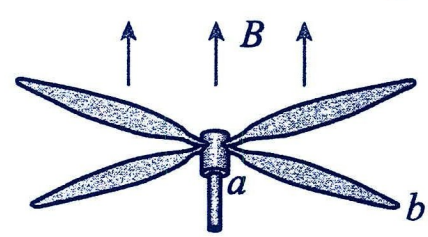
C. $\varphi_O>\varphi_a>\varphi_b=\varphi_c$　　D. $\varphi_O<\varphi_a<\varphi_b=\varphi_c$

【跟踪训练】

1. （多选题）一直升飞机停在南半球的地磁极上空。该处地磁场的方向竖直向上，磁感应强度为 B，直升飞机螺旋桨叶片的长度为 l，螺旋桨转动角速度为ω，顺着地磁场的方向看螺旋桨，螺旋桨按顺时针方向转动。螺旋桨叶片的近轴端为 a，远轴端为 b，如图所示。如果忽略 a 到转轴中心线的距离，用 E 表示每个叶片中的感应电动势，则（　　）

A. $E=BL^2\omega$　　B. $E=\dfrac{1}{2}BL^2\omega$

C. a 点电势低于 b 点电势　　D. a 点电势高于 b 点电势



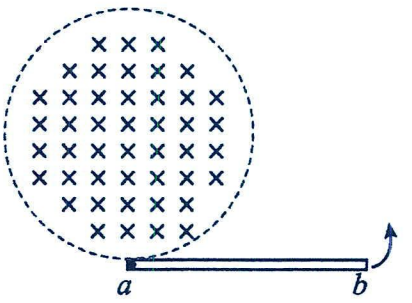
2．如图，在半径为R的圆形区域内存在垂直于平面向里的匀强磁场，磁感应强度为B。一根长为$2R$的导体杆ab水平放置，a端处在圆形磁场边界的最下方，现使杆绕a端以角速度ω逆时针匀速旋转180°，在旋转过程中(　　)

A．b端的电势始终高于a端

B．杆切割磁感线产生的感应电动势最大值$E_m=BR^2\omega$

C．当杆旋转$\theta=30°$时，杆切割磁感线产生的感应电动势$E=\frac{1}{2}BR^2\omega$

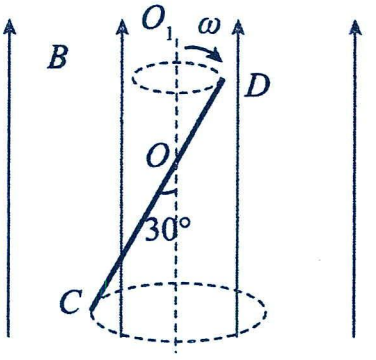
D．当杆旋转$\theta=120°$时，a,b间电势差$U_{ab}=\frac{1}{2}BR^2\omega$



3．如图，一根长为L的金属棒CD在磁场方向竖直向上、磁感应强度大小为B的匀强磁场中，绕竖直轴OO_1顺时针（俯视）转动，O为金属棒与竖直轴的交点。圆锥母线与OO_1夹角为30°，角速度为ω，$OC=\frac{3}{5}L$，则金属杆两端的电势差U_{CD}为(　)

A．$\frac{1}{20}B\omega L^2$　　B．$-\frac{1}{20}B\omega L^2$

C．$\frac{1}{40}B\omega L^2$　　D．$-\frac{1}{40}B\omega L^2$



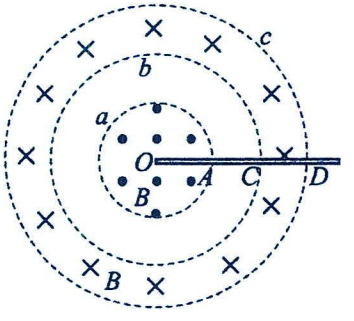
4．（多选题）如图所示，圆心为O的同心圆a、b、c是磁场的圆形边界，半径分别为r、2r、3r，在a内有垂直于纸面向外的匀强磁场，在b和c之间有垂直于纸面向里的匀强磁场，两磁场的磁感应强度大小均为B，一根长为4r的金属棒垂直磁场放置，一端与O点重合，A、C、D是金属棒上三个点，到O点距离分别为r、2r、3r，让金属棒在纸面内绕O点沿逆时针方向以角速度ω匀速转动，则下列说法正确的是(　　)

A．金属棒上O点电势最高

B．O、A电势差绝对值小于C、D电势差绝对值

C．C点电势比A点电势高

D．O、D两点的电势差绝对值为$2Br^2\omega$



题型三：动生电动势的简单计算

【精选例题】

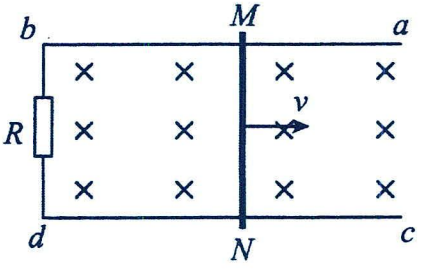
【例1】如图所示，两根相距为l的平行直导轨ab、cd，b、d间连有一定值电阻R，导轨电阻可忽略不计．MN为放在ab和cd上的一导体杆，与ab垂直，其电阻也为R．整个装置处于匀强磁场中，磁感应强度的大小为B，磁场方向垂直于导轨所在平面(指向图中纸面内)．现对MN施力使它沿导轨方向以速度v(如图)做匀速运动．令U表示MN两端电压的大小，则(　　)

A．U=$\frac{1}{2}$Blv，流过定值电阻R的感应电流由b到d

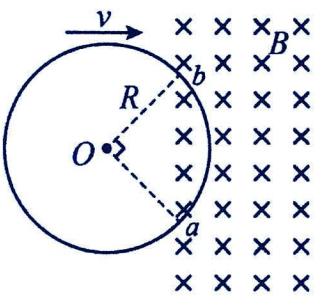
B．U=$\frac{1}{2}$Blv，流过定值电阻R的感应电流由d到b

C．U=Blv，流过定值电阻R的感应电流由b到d

D．U=Blv，流过定值电阻R的感应电流由d到b



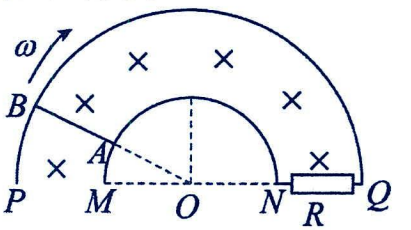
【例 2】如图所示，由均匀导线制成的半径为 R 的圆环，以速度 v 匀速进入一磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。当圆环运动到图示位置（$\angle aOb=90°$）时，a、b 两点的电势差 U_{ab} 为（　　）



A．$\sqrt{2}BRv$　　B．$\frac{\sqrt{2}}{2}BRv$

C．$-\frac{\sqrt{2}}{4}BRv$　　D．$-\frac{3\sqrt{2}}{4}BRv$

【例 3】半径分别为 r 和 2r 的同心半圆导轨 MN、PQ 固定在同一水平面内，一长为 r、电阻为 R 的导体棒 AB 置于半圆轨道上面，BA 的延长线通过导轨的圆心 O，装置的俯视图如图所示。整个装置位于磁感应强度大小为 B、方向竖直向下的匀强磁场中。在 N、Q 之间接有一阻值也为 R 的电阻。导体棒 AB 以角速度ω绕 O 顺时针匀速转动，在转动过程中始终与导轨保持良好接触。导轨电阻不计，则下列说法正确的是（　）



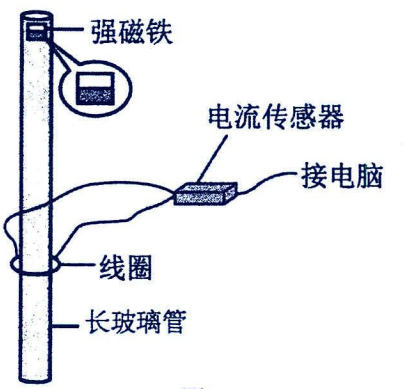
A．导体棒 A 端相等于电源正极

B．导体棒中的电流方向为 B→A

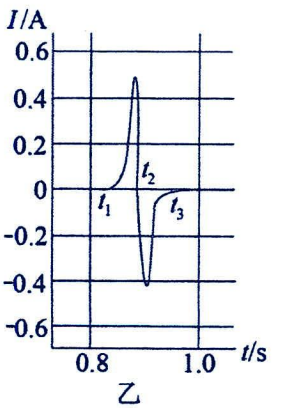
C．导体棒 AB 两端的电压大小为 $\frac{3Br^2\omega}{4}$

D．若导体棒不动，要产生同方向的感应电流，可使磁感应强度增强

【例 4】有一种科普玩具由一枚强磁铁和一根厚铝管组成，铝管竖直放置，磁铁从铝管上端口由静止释放，在铝管内下落很慢。小明同学认为铝管可以等效成多个铝环叠放，所以用套在长玻璃管外的线圈代替铝环，结合传感器进行研究，如图甲所示。现将连接电流传感器的线圈套在竖直放置的长玻璃管上，如图甲所示。将强磁铁从离玻璃管上端高为 h 处由静止释放，磁铁在玻璃管内下落并穿过线圈。如图乙所示是实验中观察到的线圈中电流随时间变化的图像，则（　　）



甲



乙

A．该科普玩具的原理是电流的磁效应

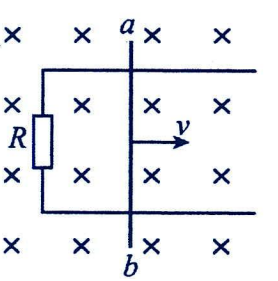
B．若上下翻转磁铁，电流先负向后正向

C．线圈匝数加倍后重复实验，电流峰值将加倍

D．h 加倍后重复实验，电流峰值将加倍

【跟踪训练】

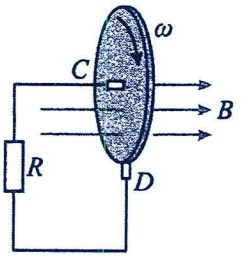
1．如图，相距为 d 的固定平行光滑金属导轨与阻值为 R 的电阻相连，处在磁感应强度大小为 B、方向垂直纸面向里的匀强磁场中长度为 L 的导体棒 ab 沿导轨向右做匀速直线运动，速度大小为 v。则导体棒 ab 所受的安培力为（　　）



A．$\frac{B^2d^2v}{R}$，方向向左　　B．$\frac{B^2d^2v}{R}$，方向向右

C．$\frac{B^2L^2v}{R}$，方向向左　　D．$\frac{B^2L^2v}{R}$，方向向右

2．如图所示是圆盘发电机的示意图，铜盘安装在水平的铜轴上，它的边缘正好在两磁极之间，两块铜片C,D分别与转动轴和铜盘的边缘接触。若铜盘半径为L，匀强磁场的磁感应强度为B，回路的总电阻为R，从左往右看，铜盘以角速度ω沿顺时针方向匀速转动。则（　　）



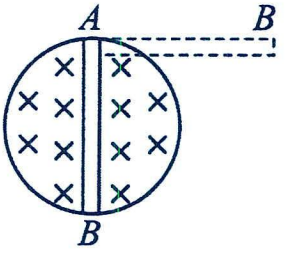
A．回路中有周期性变化的感应电流

B．回路中感应电流方向不变，为$C\to R\to D\to C$

C．回路中感应电流大小不变，为$\dfrac{BL^2\omega}{2R}$

D．铜片C的电势高于铜片D的电势

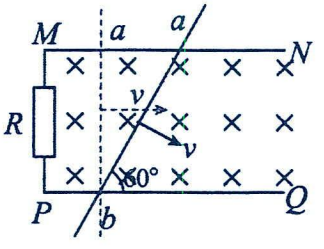
3．如图所示，竖直平面内有一金属圆环，半径为a，总电阻为2R（指拉直时两端的电阻），磁感应强度为B的匀强磁场垂直穿过环平面，在环的最高点A用铰链连接长度为2a、电阻为R的导体棒AB，AB由水平位置紧贴环面摆下，当摆到竖直位置时，B点的线速度为v，则这时AB两端的电压大小为（　　）



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

4．如图所示，平行导轨MN、PQ间距为d，M、P间接一个电阻R，匀强磁场的磁感应强度大小为B，方向垂直于平行金属导轨所在的平面向里。一根足够长的金属杆ab第一次垂直于导轨放置，第二次与导轨成60°角放置。金属杆和导轨的电阻不计，当金属杆两次均以速度v沿垂直于杆的方向滑行时，下列说法正确的是（　　）

A．两次电阻R上的电压相等



B．第一次和第二次金属杆中感应电流之比为$\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

C．第一次和第二次金属杆受到的安培力大小之比为$\dfrac{3}{2}$

D．第一次和第二次电阻R上的电功率之比为$\dfrac{4}{3}$

考点三：电磁感应中的电路问题

解题要点：

分析电磁感应中的电路问题的一般思路：①确定电源；②分析电路结构；③画等效电路图；④应用规律求解。

1.电磁感应中的电源

(1)“电源”的确定：“切割”磁感线运动的导体或磁通量发生变化的回路相当于电源；

该部分导体(或线圈)的电阻相当于“内电阻”。

(2)电流的流向：在“电源”内部，电流从负极流向正极；在“电源”外部，电流从正极流向负极。

用右手定则或楞次定律与安培定则结合判断，感应电流流出的一端为电源正极。

(2)电动势的大小：$E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$、$E=Blv\sin\theta$或$E=\dfrac{1}{2}Bl^2\omega$。

2.画等效电路图，分清内、外电路、电路各部分串并联关系。

3.运用闭合电路的欧姆定律、串并联电路特点、电功率等公式求解。

感应电流：$I=\dfrac{E}{R+r}$；路端电压：$U=\dfrac{R}{R+r}E$；功率：$P_{总}=EI$，$P_{外}=UI$；焦耳热：$Q=I^2Rt$；电容：$C=\dfrac{q}{U}$；电荷量：$q=It$。

题型一：电流、电压、安培力的计算

【精选例题】

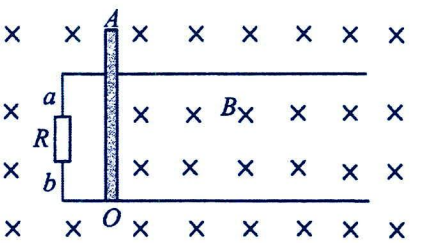
【例 1】如图所示，整个空间中存在方向垂直导轨平面向里的匀强磁场 B，导轨间距为 L 且足够长，左端接阻值为 R 的定值电阻，导轨电阻不计，现有一长为 2L、电阻为 2R 的均匀金属棒 OA 垂直放在导轨上，金属棒的下端 O 在导轨上，沿着导轨以恒定的速度 v_0 向右运动，金属棒始终与导轨垂直且接触良好，则（　）

A．通过定值电阻的电流方向由 b 到 a

B．通过定值电阻的电流大小为 $\frac{BLv_0}{2R}$

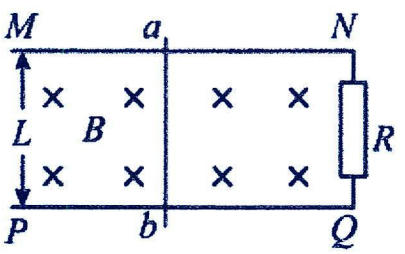
C．金属棒 OA 两端的电压为 $2BLv_0$

D．金属棒受到的安培力大小为 $\frac{B^2L^2v_0}{R}$



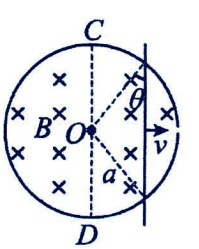
【例 2】如图所示，平行金属导轨 MN 和 PQ 相距 1m，NQ 间连接有电阻 R，放置在平行导轨上的导体棒 ab 向右以大小为 $v=2\text{m/s}$ 的速度匀速运动，垂直于导轨平面的匀强磁场的磁感应强度 $B=0.5\text{T}$。电阻 $R=1.5\Omega$，导体棒电阻 $r=0.5\Omega$，导轨电阻不计，求：（1）ab 产生的感应电动势多大？

（2）电势差 U_{ab} 是多少？（3）求作用于导体棒 ab 上的外力 F 大小。



【跟踪训练】

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



A．$\theta=0$ 时，杆产生的电动势为 $2Bav$　　B．$\theta=\frac{\pi}{3}$ 时，杆产生的电动势为 $3Bav$

C．$\theta=0$ 时，杆受的安培力大小为 $\frac{2B^2av}{(\pi+2)R_0}$　　D．$\theta=\frac{\pi}{3}$ 时，杆受的安培力大小为 $\frac{3B^2av}{(5\pi+3)R_0}$

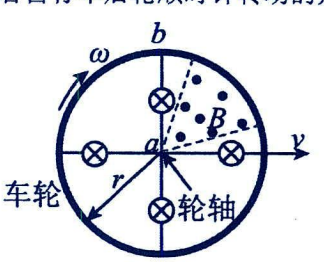
2．如图为带灯的自行车后轮的示意图，金属轮框与轮轴之间均匀地连接四根金属条，每根金属条中间都串接一个阻值为 6Ω的小灯泡，车轮半径为 0.3m，轮轴半径可以忽略。车架上固定一个强磁铁，可形成圆心角为 60°的扇形匀强磁场区域，磁感应强度大小为 0.8T，方向垂直纸面（车轮平面）向外。若自行车后轮顺时针转动的角速度恒为 20rad/s，不计其它电阻，则（　　）

A．通过每个小灯泡的电流始终相等

B．当金属条 ab 在磁场中运动时，金属条 ab 中 b 端电势高

C．当金属条 ab 在磁场中运动时，电路的总电阻为 1.5Ω

D．当金属条 ab 在磁场中运动时，金属条 ab 受到的安培力为 $2.16\times10^{-2}\text{N}$



题型二：电荷量的计算

解题要点：

1.计算电荷量的导出公式：$q=n\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$，仅与 n、ΔΦ和回路电阻 $R_{总}$有关，与时间长短无关。

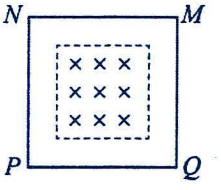
2.推导：在产生感应电流的电路中，设电路的总电阻为 $R_{总}$，在时间Δt 内通过导体横截面的电荷量为 q。

由法拉第电磁感应定律得$\overline{E}=\frac{n\Delta\Phi}{\Delta t}$；闭合电路的欧姆定律得$\overline{I}=\frac{\overline{E}}{R_{总}}$；电流定义式得 $q=\overline{I}\Delta t$；联立解得 $q=n\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$。

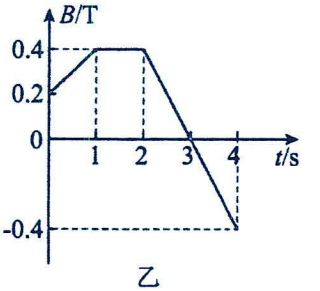
3.结论：电磁感应过程中产生的感应电荷量由线圈的匝数、磁通量的变化量及电路的总电阻共同决定，与时间Δt 无关。

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图甲所示，正方形闭合线框 *MNPQ* 的总电阻 $r=0.4\Omega$、边长为 0.8m，线框内存在一个边长为 0.4m 的正方形磁场区域。从 $t=0$ 时刻开始，磁场的磁感应强度随时间变化如图乙所示。$t=0$ 时刻，磁场方向垂直纸面向里，下列说法正确的是（　）



甲



乙

A．0～1s 内，线框中感应电动势大小为 0.32V

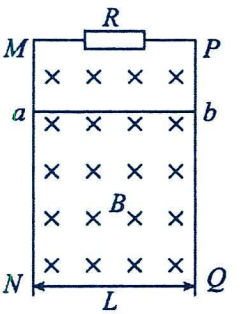
B．1～3s 内，流过线框导线某横截面的电荷量为 0.16C

C．$t=3$s 时，感应电流方向改变

D．0～1s 内的感应电流与 2～3s 内的感应电流大小之比为1∶2

【跟踪训练】

1.（多选题）图中 MN 和 PQ 为竖直方向的两个无限长的平行光滑直金属导轨，间距为 L=0.5m 电阻不计。导轨所在平面与磁感应强度为 B=0.8T 的匀强磁场垂直。质量为 m=0.2kg 的金属杆 ab 始终垂直于导轨，并与其保持光滑接触，导轨一端接有阻值为 R=0.4Ω的电阻，其他电阻忽略不计。现由静止释放导体棒 ab，重力加速度为 $g=10m/s^2$。则（　　）



A．导体棒下滑过程中做匀加速直线运动　　B．导体棒能够达到的最大速度为 5m/s

C．最大速度时电路消耗的总功率为 10W　　D．导体棒下落 1m 过程中通过电阻 R 的电量是 1C

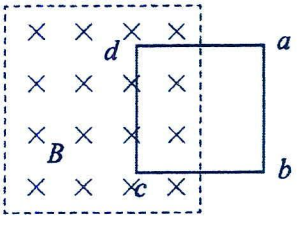
2.（多选题）如图甲所示，线框放在光滑的水平面上，虚线框内有竖直向下的匀强磁场，设图甲所示的磁场方向为正方向，磁感应强度随时间的变化规律如图乙所示。边长为 l、电阻为 R 的正方形均匀线框 abcd 有一半处在磁场中，线框在外力的作用下保持静止，此时线框 ab 边的发热功率为 P，则下列说法正确的是（　　）

A．线框中的感应电流为 $2\sqrt{\frac{P}{R}}$

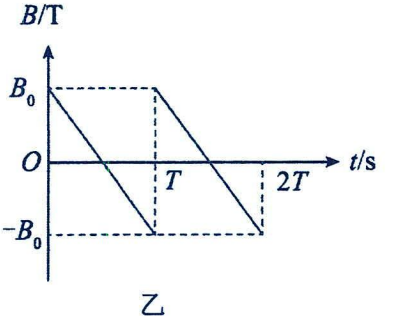
B．b、a 两端电势差 $U_{ba}=-\frac{B_0l^2}{4T}$

C．一个周期通过 ab 边的电量为 $q=\frac{B_0l^2}{2R}$

D．在前半个周期内线框受到向右的外力 F 作用，且 $F=\frac{B_0^2l^3}{RT}$



甲

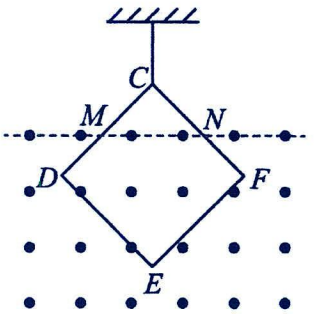


乙

题型三：电功及焦耳热的计算

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，一不可伸长的细绳上端固定，下端系在边长为 0.4m 的单匝正方形金属框 CDEF 的一个顶点 C 上，对角线 DF 水平，其中 M、N 分别是边 CD、CF 的中点，M、N 连线下方有方向垂直于金属框所在平面的匀强磁场。已知金属框的电阻为 0.14Ω，在 $t=0$ 到 $t=3.0\,\mathrm{s}$ 时间内，磁感应强度大小随时间 t 的变化关系为 B=0.3+0.1t（T），规定垂直于纸面向外方向为磁场正方向，则下列说法中正确的是（　）



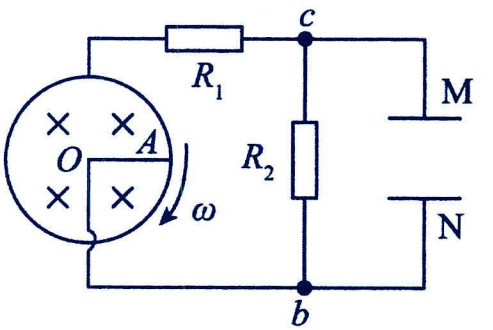
A．金属框中感应电流的磁场方向垂直于纸面向外

B．$t=2.0\,\mathrm{s}$ 时金属框中产生的感应电动势 $E=1.6\times10^{-2}\,\mathrm{V}$

C．$t=1.0\mathrm{s}$ 时金属框所受安培力大小为 $4\sqrt{2}\times10^{-3}\,\mathrm{N}$

D．在 $t=0$ 到 $t=2.0\,\mathrm{s}$ 时间内金属框产生的焦耳热为 $11.4\times10^{-3}\,\mathrm{J}$

【例 2】如图所示，固定在水平面上的半径为 r 的金属圆环内存在方向竖直向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。长度也为 r、电阻为 R 的直导体棒 OA 置于圆导轨上面，导体棒在外力作用下绕 O 点以角速度ω顺时针匀速转动。直导体棒 O 端和圆轨道引出导线分别与电阻 R_1=R、R_2=2R 和电容为 C 的平行板电容器相连。已知重力加速度为 g，不计其他电阻和摩擦，下列说法正确的是（　　）



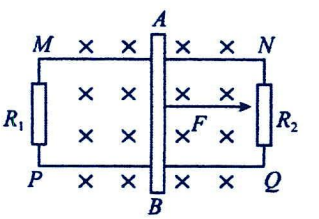
A．M 板带负电

B．导体棒 OA 产生的电动势为 $Br^2\omega$

C．电容器所带电荷量为 $\frac{1}{4}CBr^2\omega$

D．电阻 R_1 上消耗的电功率为 $\frac{B^2r^2\omega^2}{64R}$

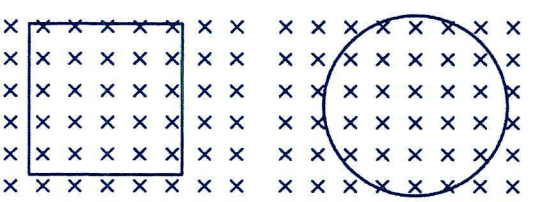
【例 3】如图所示，MN、PQ 为水平光滑金属导轨（金属导轨电阻忽略不计），MN、PQ 相距 $L=50\mathrm{cm}$，导体棒 AB 在两轨道间的电阻为 $r=0.5\Omega$，且可以在 MN、PQ 上滑动，定值电阻 $R_1=3\Omega$，$R_2=6\Omega$，整个装置放在磁感应强度为 $B=2.0\mathrm{T}$ 的匀强磁场中，磁场方向垂直于整个导轨平面，现用水平外力 F 拉着 AB 棒向右以 $v=4\mathrm{m/s}$ 速度做匀速运动（　　）



A．导体棒 AB 产生的感应电动势 $E=8\mathrm{V}$　　B．导体棒 AB 两端的电压 $U_{AB}=3.2\mathrm{V}$

C．导体棒 AB 受到的外力 $F=1.8\mathrm{N}$　　D．定值电阻 R_1 和 R_2 的总电功率为 6.4W

【例 4】如图，现有一根导线首尾相接构成闭合回路，两次分别拉成正方形和圆形线框，并分别将其放入磁感应强度随时间均匀变化的同一匀强磁场中，线圈平面与磁场方向垂直。在相同时间内，两次通过闭合线框中横截面的电荷量分别为 q_1、q_2，两次产生的热量分别为 Q_1、Q_2，则（　　）



A．$q_1<q_2$，$Q_1<Q_2$　　B．$q_1<q_2$，$Q_1>Q_2$

C．$q_1=q_2$，$Q_1>Q_2$　　D．$q_1=q_2$，$Q_1<Q_2$

【跟踪训练】

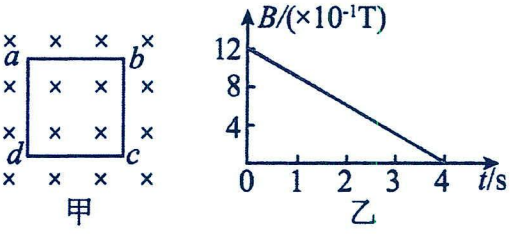
1．（多选题）如图甲所示，单匝正方形线框 abcd 的电阻 R＝0.5 Ω，边长 L＝20 cm，匀强磁场垂直于线框平面向里，磁感应强度的大小随时间变化规律如图乙所示，则下列说法中正确的是（　　）

A．线框中的感应电流沿逆时针方向，大小为 2.4×10^{-2} A

B．0~2 s 内通过 ab 边横截面的电荷量为 4.8×10^{-2} C

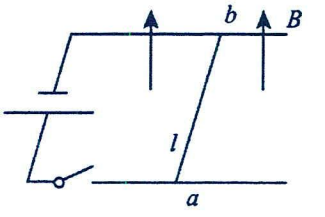
C．3 s 时 ab 边所受安培力的大小为 1.44×10^{-2} N

D．0~4 s 内线框中产生的焦耳热为 1.152×10^{-3} J



甲　　乙

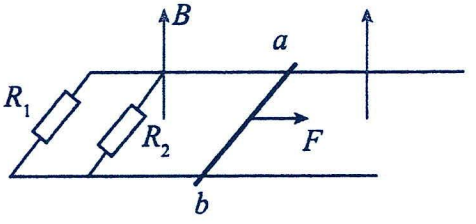
2．（多选题）如图，足够长的平行光滑金属导轨水平固定放置，宽度为 l，一端连接电动势为 E、内阻为 r 的电源。导轨所在空间存在竖直向上的匀强磁场，磁感应强度为 B，质量为 m、电阻为 R 的导体棒 ab 放在导轨上，其长度恰好等于导轨间距，与导轨接触良好，不计导轨电阻。现闭合开关，导体棒运动一段位移 x 后达到最大速度 v_m，则下列说法正确的是（　　）



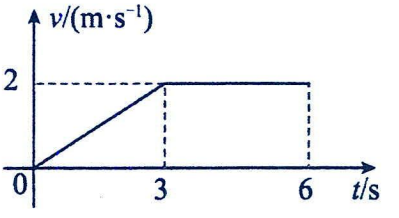
A．$v_m=\dfrac{E}{Bl}$　　B．通过导体棒的电荷量 $q=\dfrac{Blx}{R+r}$

C．安培力对导体棒做功的大小等于导体棒上产生的焦耳热　D．导体棒上产生的焦耳热 $Q=\dfrac{RmE^2}{2(R+r)B^2l^2}$

3．（多选题）如图所示，固定在同一绝缘水平面上的两根平行光滑金属导轨，两导轨间的距离为 1.5m，左端接有两个定值电阻 R_1=9Ω，R_2=4.5Ω。一质量为 1kg 的金属棒 ab 跨接在导轨上，其阻值 r=3Ω。空间有竖直向上的匀强磁场，磁感应强度大小为 2T。ab 棒在水平外力 F 的作用下沿着导轨运动的速度—时间图像如图乙所示。导轨的电阻忽略不计，且运动过程中金属棒始终与导轨垂直。下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A．0~3s 内通过 R_1 的电荷量为 0.5C　　B．0~3s 内外力 F 的冲量大小为 4.5N•s

C．3~6s 内 ab 棒克服安培力做的功为 18J　　D．3~6s 内 R_2 上产生的焦耳热为 12J

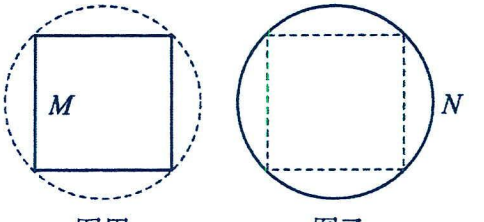
4．如图甲所示，粗细均匀的导线围成一单匝正方形导体框 M，虚线圆为正方形的外接圆；如图乙所示，相同规格的导线围成一单匝圆形导体环 N，虚线正方形为圆的内接正方形。已知图甲、图乙中两圆的半径相同，虚线区域内均存在垂直纸面向里的磁场，且磁感应强度 B 随时间 t 的变化规律均为 B=B_0+kt。下列说法正确的是（　）

A．$t=0$ 时刻，穿过 M、N 的磁通量之比为 $2:\pi$

B．M、N 中产生的感应电动势之比为 $1:\pi$

C．M、N 中产生的感应电流之比为 $\pi:2\sqrt{2}$

D．相同时间内，M、N 中产生的热量之比为 $\pi^2:8$



图甲　　图乙

题型四：含电容的电路问题

【精选例题】

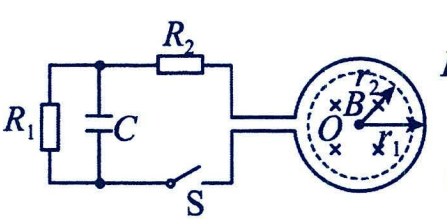
【例 1】（多选题）在如图（a）所示的电路中，电阻$R_1=R_2=R$，圆形金属线圈半径为r_1，线圈导线的电阻也为 R，电容器的电容为 C，半径为$r_2\left(r_2<r_1\right)$的圆形区域内存在垂直于线圈平面向里的匀强磁场，磁感应强度 B 随时间 t 变化的关系图线如图（b）所示，图线与横、纵轴的交点坐标分别为t_0和B_0，其余导线的电阻不计。$t=0$时闭合 S，至t_1时刻，电路中的电流已稳定，下列说法正确的是（　）

A．电容器下极板带正电

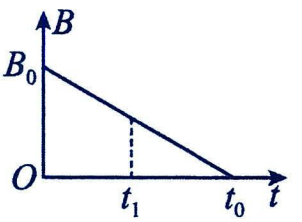
B．t_1时刻电容器所带的电荷量为$\dfrac{\pi CB_0r_2^2}{t_0}$

C．线圈中产生的感应电动势的大小为$\dfrac{\pi B_0r_1^2}{t_0}$

D．稳定后线圈两端的电压为$\dfrac{2\pi B_0r_2^2}{3t_0}$



图(a)



图(b)

【跟踪训练】

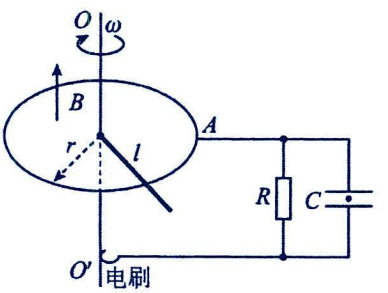
1．如图所示，固定在水平面上的半径为 r 的金属圆环内存在方向竖直向上、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。长为 l 的金属棒，一端与圆环接触良好，另一端固定在竖直导电转轴上，接入回路的电阻为 R，随轴以角速度ω顺时针匀速转动。在圆环的 A 点和电刷间接有阻值为 R 的电阻和电容为 C 的平行板电容器，有一带电微粒在电容器极板间处于静止状态。不计其它电阻和摩擦，下列说法正确的是（　　）

A．微粒带负电

B．回路中的电动势为$\dfrac{1}{2}Bl^2\omega$

C．电容器的电荷量为$\dfrac{1}{4}CBr^2\omega$

D．R 两端电压为$\dfrac{1}{2}Br^2\omega$



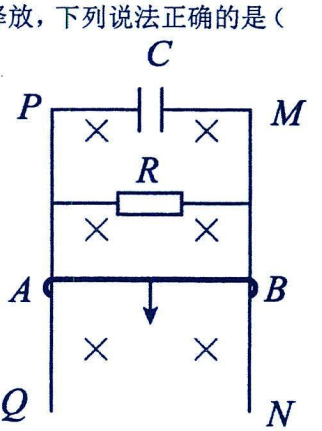
2．（多选题）如图所示，在竖直平面内有足够长的两平行金属导轨 PQ、MN。导轨间距为 L，电阻不计。现有一个质量为 m、电阻不计、两端分别套在轨道上的金属棒 AB，AB 棒在导轨上可无摩擦地滑动，棒与导轨垂直，并接触良好。导轨之间有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度的大小为 B。导轨上边与电路连接，电路中的定值电阻阻值为 R，在 PM 间接有一电容为 C 的平行板电容器。现 AB 棒由静止释放，下列说法正确的是（　　）

A．当金属棒 AB 向下滑动时，电容器右极板将带上负电荷

B．金属棒 AB 可以达到的最大速度是 $\dfrac{mgR}{B^2L^2}$

C．电容器充电完成后，电容器带电量为 $Q=\dfrac{CmgR}{BL}$

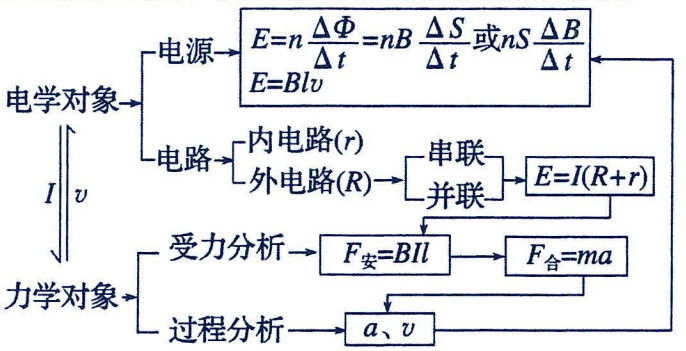
D．金属棒最终会做匀速直线运动，此阶段减少的重力势能完全转化为电能



考点四：电磁感应中的动力学问题

解题要点：

1.电磁感应问题中电学对象与力学对象的相互制约关系



2.导体的两种运动状态：

平衡状态：静止状态或匀速直线运动状态；根据平衡条件列式分析。

非平衡状态：加速度不为零；根据牛顿第二定律进行动态分析或结合功能关系分析。

3.用动力学观点解答电磁感应问题的一般步骤：**先电后力。**

①“源”的分析；②“路”的分析；③“力”的分析；④“运动状态”的分析。

(1)确定电源及感应电动势的大、方向和内阻；　(2)画出等效电路，计算感应电流 $I=\frac{E}{R+r}$；

(3)利用安培力 $F_{安}=BIL$，$F_{合}=ma$，求解加速度；　(4)根据力与运动的关系判断运动状态。

4.导体常见运动情况的动态分析

v ↓ E=Blv ↓ $I=\frac{E}{R+r}$ ↓ $F_{安}=BIl$ ↓ $F_{合}$	若 $F_{合}=0$	匀速直线运动	
	若 $F_{合}\neq0$ ↓ $F_{合}=ma$	a、v 同向	v 增大，若 a 恒定，拉力 F 增大
			v 增大，$F_{安}$增大，$F_{合}$减小，a 减小，做加速度减小的加速运动，临界状态：减小到 a=0 时，匀速直线运动
		a、v 反向	v 减小，$F_{安}$减小，a 减小，当 a=0，静止或匀速直线运动

题型一：平衡问题

【精选例题】

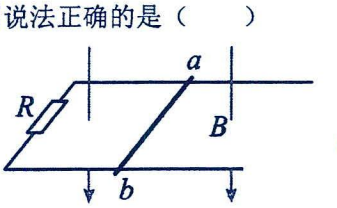
【例 1】如图甲所示，两根平行金属导轨置于水平面内，导轨之间接有电阻 R，金属棒 ab 与两导轨垂直并保持良好接触，整个装置放在匀强磁场中，磁场方向垂直导轨平面向下，磁感应强度随时间的变化关系如图乙所示（以向下为正方向），t_0-$2t_0$ 时间内 ab 始终保持静止。则下列说法正确的是（　　）

A．t_0-$2t_0$ 时间内 ab 中的感应电流方向总是由 b 到 a

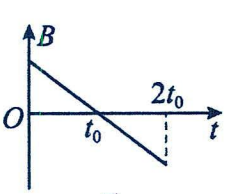
B．0-t_0 时间内 ab 棒所受的安培力向左

C．,t_0-$2t_0$ 时间内 ab 棒所受的静摩擦力向右

D．t_0-$2t_0$ 时间内穿过回路的磁通量逐渐减小



甲



乙

【跟踪训练】

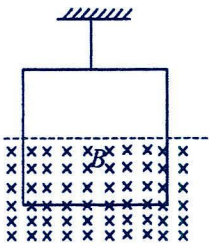
1．（多选题）如图甲所示，轻质细线吊着一质量为$m=3\text{kg}$、边长为$L=1\text{m}$、匝数$n=10$匝的正方形线圈，线圈总电阻为$r=1\Omega$。在线圈的中间位置以下区域分布着磁场，磁场方向垂直纸面向里，磁感应强度大小随时间变化关系如图乙所示，g=10m/s²。下列说法正确的是（　　）

A．线圈中产生的感应电流的方向为逆时针

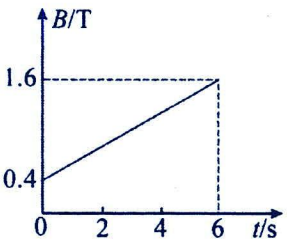
B．线圈中产生的感应电流的大小为 1A

C．0～6s 内线圈产生的焦耳热为 60J

D．$t=4\text{s}$时轻质细线的拉力大小为 42N



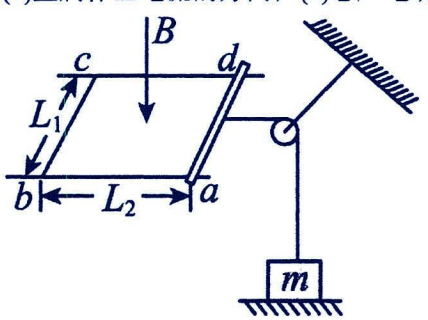
甲



乙

2．如图所示，固定在匀强磁场中的水平导轨 ab、cd 的间距 L_1=0.5m，金属棒 ad 与导轨左端 bc 的距离 L_2=0.8m，整个闭合回路的电阻为 R=0.2Ω，匀强磁场的方向竖直向下穿过整个回路。ad 杆通过细绳跨过定滑轮接一个质量 m=0.04kg 的物体，不计一切摩擦。现使磁感应强度从零开始以$\frac{\Delta B}{\Delta t}=0.2\text{T/S}$的变化率均匀地增大。求：

(1)金属棒上电流的方向；(2)感应电动势的大小；(3)物体刚好能离开地面的时间（g 取 10m/s²）。



题型二：动力学问题

【精选例题】

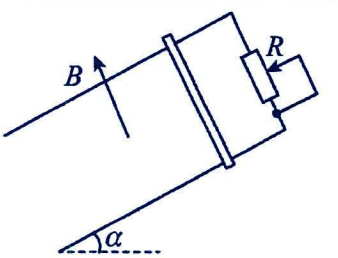
【例 1】（多选题）如图所示，有两根与水平方向成$\alpha=30°$角的光滑平行的足够长的金属导轨。滑动变阻器接入电路的电阻值为 R（最大阻值足够大），导轨的宽度 L=0.5 m，空间有垂直于导轨平面的匀强磁场，磁感应强度的大小 B=1 T。一根质量 m=1 kg、内阻 r=1 Ω 的金属杆从导轨上端由静止滑下。经过足够长的时间后，金属杆的速度达到最大速度 v_m，取 g=10m/s²，不计导轨电阻，则有（　　）

A．R 越小，v_m越大

B．金属杆的最大速度大于或等于 20 m/s

C．若 R 不变，m 变小，则 v_m变大

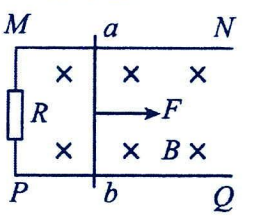
D．若 R=1 Ω，则金属杆的最大速度为 40 m/s



【例 2】电磁感应现象的发现，给电磁的应用开辟了广阔的道路，其中发电机就是电磁感应最重要的应用成果之一。某种直流发电机的工作原理可以简化为如图所示的情景。在竖直向下的磁感应强度 B = 0.5T 的匀强磁场中，两根光滑平行金属轨道 MN 和 PQ 固定在水平面上，轨道间距 L= 0.2m。质量 m= 0.1kg 的金属杆 ab 置于轨道上，与轨道垂直。现用 F=2N 的水平向右的恒力拉 ab 杆，其使由静止开始运动。电阻 R=0.04Ω，ab 杆的电阻 r =0.01Ω，其余电阻不计。求：（1）判断流过电阻 R 的电流方向；

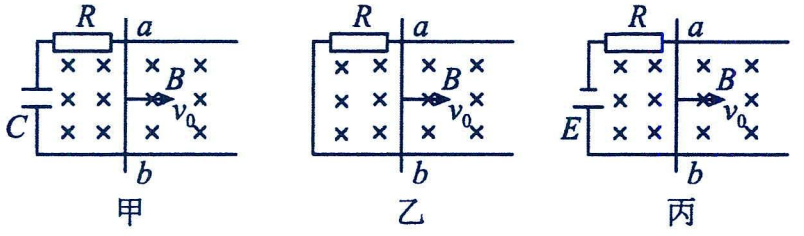
（2）ab 杆的速度达到 5m/s 时，ab 杆的加速度多大？

（3）ab 杆可以达到的最大速度 v_m多大？



【跟踪训练】

1．如图甲、乙、丙中，除导体棒 ab 可动外，其余部分均固定不动，甲图中的电容器 C 原来不带电。设导体棒、导轨和直流电源的电阻均可忽略，导体棒和导轨间的摩擦也不计，图中装置均在水平面内，且都处于方向垂直水平面（即纸面）向里的匀强磁场中，导轨足够长。现给导体棒 ab 一个向右的初速度v_0，在图甲、乙、丙三种情形下关于导体棒 ab 的运动状态，下列说法正确的是（　　）



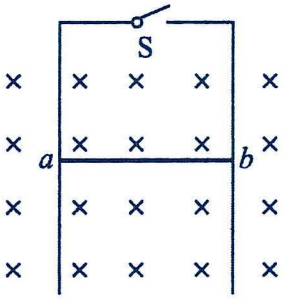
A．图甲中，导体棒 ab 先做匀减速运动，最终做匀速运动

B．图乙中，导体棒 ab 先做加速度越来越小的减速运动，最终静止

C．图丙中，导体棒 ab 先向右做变减速运动，然后反向做变加速运动，最终做匀速运动

D．三种情形下导体棒 ab 最终都匀速运动

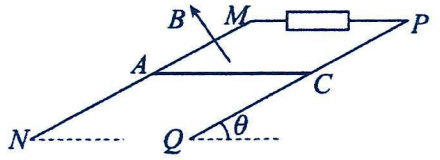
2．如图所示，竖直平面内有足够长的金属导轨，轨间距为 0.2 m，金属导体 ab 可在导轨上无摩擦地上下滑动，ab 的电阻为 0.4 Ω，导轨电阻不计，导体 ab 的质量为 0.2 g，垂直纸面向里的匀强磁场的磁感应强度为 0.2 T，且磁场区域足够大，当导体 ab 自由下落 0.4 s 时，突然闭合开关 S，则：(1)试说出 S 接通后，导体 ab 的运动情况；(2)导体 ab 匀速下落的速度是多少？(g 取 10 m/s^2)



3．如图所示，足够长的平行导轨 MN、PQ 倾斜放置，导轨平面与水平面的夹角为θ，导轨间距为 d，导轨上端连接有阻值为 R 的定值电阻，空间存在垂直于导轨平面向上、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。将质量为 m、电阻为 r、长也为 d 的导体棒 AC 垂直放在导轨上并由静止释放，导体棒运动过程中始终与导轨垂直并且接触良好，导体棒能达到的最大速度为 v_m，导轨电阻不计，导体棒与导轨间的粗糙程度不变，重力加速度大小为 g。求：（1）回路中的最大电流 I；（2）导体棒向下运动时受到的摩擦力大小 f；

（3）导体棒与导轨间的动摩擦因数μ；

（4）当导体棒的速度大小为$\frac{v_m}{2}$时的加速度大小 a。



考点五：电磁感应中的能量与动量问题

题型一：能量问题

解题要点：

1.电磁感应现象中的能量转化

$$\text{安培力做功}\begin{cases}\text{做正功：电能}\xrightarrow{\text{转化}}\text{机械能，如电动机}\\ \text{做负功：机械能}\xrightarrow{\text{转化}}\text{电能}\xrightarrow[\text{做功}]{\text{电流}}\text{焦耳热或其他形式的能量，如发电机}\end{cases}$$

2.计算焦耳热的三种方法

(1)电流恒定时，根据焦耳定律求解，即 $Q=I^2Rt$；

(2)感应电流变化，可用以下方法分析：

①利用动能定理，求出克服安培力做的功 $W_{克安}$，即 $Q=W_{克安}$，任何情况都适用；

②利用能量守恒定律，焦耳热等于其他形式能量的减少量任何情况都适用。

3.解题的一般步骤

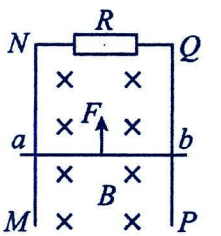
(1)确定研究对象(导体棒或回路)；

(2)弄清电磁感应过程中哪些力做功，以及哪些形式的能量相互转化；

(3)根据功能关系或能量守恒定律列式求解。

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，间距为 L 的竖直平行金属导轨 MN、PQ 上端接有电阻 R，质量为 m、接入电路的电阻为 r 的金属棒 ab 垂直于平行导轨放置，垂直导轨平面向里的水平匀强磁场的磁感应强度大小为 B，不计导轨电阻及一切摩擦，且 ab 与导轨接触良好。若金属棒 ab 在竖直向上的外力 F 作用下以速度 v 匀速上升，则下列说法正确的是（　　）



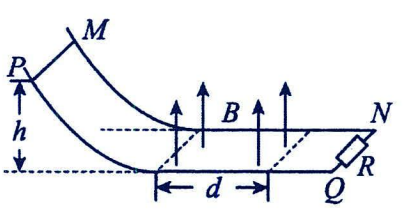
A．a、b 两端的电势差小于 BLv

B．a、b 两端的电势差大于 BLv

C．拉力 F 所做的功等于重力势能的增加量和电路中产生的热量之和

D．拉力 F 所做的功与重力做功的代数和等于电阻 R 上产生的热量

【例 2】（多选题）如图所示，MN 和 PQ 是电阻不计的平行金属导轨，其间距为 L，导轨弯曲部分光滑，平直部分粗糙，二者平滑连接。右端接一个阻值为 R 的定值电阻。平直部分导轨左边区域有宽度为 d、方向竖直向上、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。质量为 m、电阻也为 R 的金属棒从高度为 h 处静止释放，到达磁场右边界处恰好停止。已知金属棒与平直部分导轨间的动摩擦因数为μ，金属棒与导轨间接触良好。重力加速度为 g，则金属棒穿过磁场区域的过程中（　　）



A．通过金属棒的电荷量为 $\frac{BdL}{2R}$

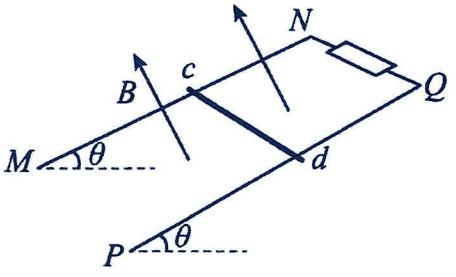
B．流过定值电阻的电流方向是 N→Q，流过金属棒的最大电流为 $\frac{BL\sqrt{2gh}}{2R}$

C．金属棒产生的焦耳热为 $\frac{1}{2}(mgh-\mu mgd)$

D．克服安培力做的功为 mgh

【例 3】如图所示，两足够长平行的金属导轨 MN、PQ 相距为 1m，导轨平面与水平面夹角θ=37°，导轨上端跨接一定值电阻 R=3Ω，整个装置处于方向垂直斜面向上的匀强磁场中，磁感应强度的大小为 B=5T，金属棒 cd 垂直于 MN、PQ 放置在导轨上，且与导轨保持电接触良好，金属棒的质量为 1kg、电阻为 2Ω，金属棒与导轨间的动摩擦因数为μ=0.5， 重力加速度为 g=10m/s²。现将金属棒由静止释放。沿导轨下滑距离为 2m 时，金属棒速度达到最大值，sin37°=0.6，cos37°=0.8，则这个过程中：（1）金属棒的最大加速度是多少；

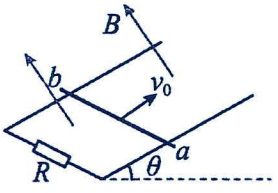
（2）金属棒 cd 的最大速度是多少；（3）金属棒下滑至最大速度的过程中电阻 R 产生的焦耳热是多少。



【例 4】如图所示，两根倾斜放置与水平面夹角为θ的平行光滑导轨间距为 l，导轨间接一阻值为 R 的电阻，整个空间分布着匀强磁场，磁场方向垂直于导轨所在平面向上，磁感应强度大小为 B，一质量为 m、电阻也为 R 的金属杆 ab，以某一初速度沿轨道上滑，直至速度减为零。已知上述过程中电阻 R 产生的热量为 Q，其最大瞬时电功率为 P，设导轨电阻不计，ab 杆向上滑动的过程中始终与导轨保持垂直且接触良好。

(1)求金属杆 ab 上滑的初速度大小；(2)求金属杆 ab 刚开始上滑时的加速度大小；

(3)求金属杆 ab 上滑的最大距离 x。



【跟踪训练】

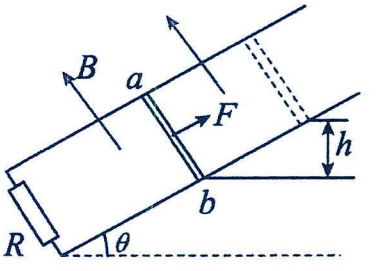
1．（多选题）两根光滑的金属导轨，平行放置在倾角为θ的斜面上，导轨的左端接有电阻R，导轨自身的电阻可忽略不计，斜面处在一匀强磁场中，磁场方向垂直于斜面向上，质量为m、电阻为r的金属棒 ab，在沿着斜面与棒垂直的恒力 F 作用下沿导轨匀速上滑，并上升h高度，如图所示。在这过程中（　　）

A．作用于金属棒上的各个力的合力所做的功等于mgh与电阻R上产生的焦耳热之和

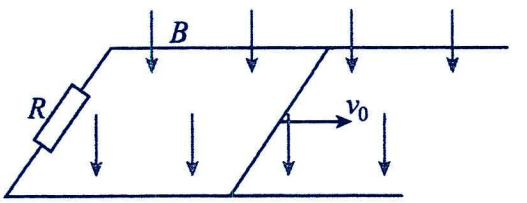
B．金属棒克服安培力做的功等于电阻R和r上产生的焦耳热之和

C．恒力 F 与重力的合力所做的功等于电阻R上产生的焦耳热

D．作用于金属棒上的各个力的合力所做的功等于零



2．（多选题）如图，一平行金属导轨静置于水平桌面上，空间中有垂直于导轨平面向下的匀强磁场，磁感应强度为B，粗糙平行导轨间距为L，导轨和阻值为R的定值电阻相连，质量为m的导体棒和导轨垂直且接触良好，导体棒的电阻为r，导体棒以初速度v_0向右运动，运动距离x后停止，此过程中电阻R产生的焦耳热为Q，导轨电阻不计，重力加速度为g，则（　　）



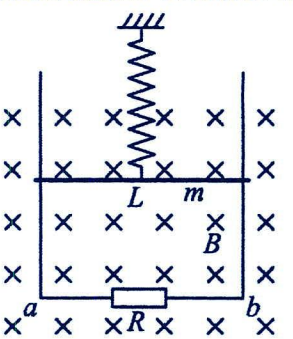
A．通过电阻R的电荷量为$q=\dfrac{BLx}{R+r}$

B．导体棒克服安培力做的功为$\dfrac{r}{R}Q$

C．导体棒与导轨因摩擦产生的热量为$\dfrac{1}{2}mv_0^2-Q$

D．导体棒与导轨间的动摩擦因数$\mu=\dfrac{v_0^2}{2gx}-\dfrac{R+r}{mgxR}Q$

3．（多选题）两根足够长的光滑导轨竖直放置，间距为L，底端接阻值为R的电阻·将质量为m的金属棒悬挂在一个固定的轻弹簧下端，金属棒和导轨接触良好·导轨所在平面与磁感应强度为B的匀强磁场垂直，如图所示·除电阻R外其余电阻不计·现将金属棒从弹簧原长位置由静止释放，则（　　）



A．释放瞬间金属棒的加速度小于重力加速度g

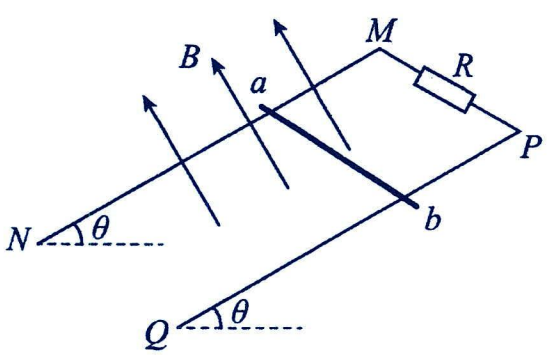
B．金属棒的速度为v时，所受的安培力大小为$F_{安}=\dfrac{B^2L^2v}{R}$

C．金属棒经过导轨上的相同一段位移时，安培力做功一定不相等

D．电阻R上产生的总热量等于金属棒重力势能的减少

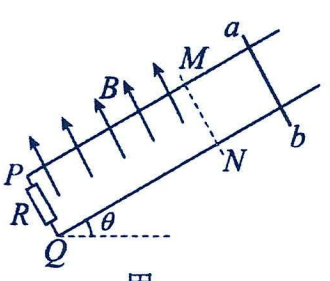
4．如图所示，两根足够长平行金属导轨MN、PQ固定在倾角$\theta=37°$的绝缘斜面上，顶部接有一阻值$R=3\Omega$的定值电阻，下端开口，轨道间距$L=1\text{m}$。整个装置处于磁感应强度$B=2\text{T}$的匀强磁场中，磁场方向垂直斜面向上，质量$m=1\text{kg}$的金属棒ab置于导轨上，ab在导轨之间的电阻$r=1\Omega$，电路中其余电阻不计，金属棒ab由静止释放后沿导轨运动时始终垂直于导轨且与导轨接触良好。已知金属棒ab与导轨间动摩擦因数$\mu=0.5$，不计空气阻力，$\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$，取g=10m/s²。求：（1）金属棒ab沿导轨向下运动的最大速度v_m；

（2）金属棒ab达到最大速度后，电阻R上再产生$Q_R=1.5\text{J}$的内能的过程中，ab杆下滑的距离x。

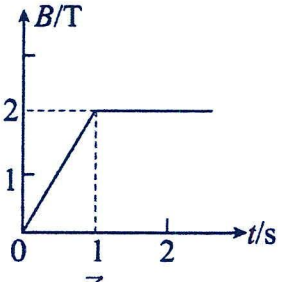


5．如图甲，两根平行光滑金属导轨相距$L=1\text{m}$，导轨平面与水平面的夹角$\theta=37°$，导轨的下端 PQ 间接有阻值$R=8\Omega$的定值电阻。相距$x=6\text{m}$的 MN 和 PQ 间存在方向垂直于导轨平面向上、均匀分布的磁场，磁感应强度 B 随时间 t 的变化情况如图乙所示。将长度也为 L、阻值$r=2\Omega$的导体棒 ab 垂直放在导轨上（ab 始终与导轨接触良好），$t=0$时将导体棒由静止释放，$t=1\text{s}$时导体棒恰好运动到 MN 处，此后导体棒开始匀速下滑。取重力加速度$g=10\text{m/s}^2$，$\sin37°=0.6$。求：（1）0～1s 内回路中的感应电动势；（2）导体棒 ab 的质量；

（3）0～2s 时间内导体棒所产生的热量。



甲



乙

题型二：动量问题

解题要点：

1.适用条件：当题目中涉及速度 v、电荷量 q、运动时间 t、运动位移 x 时用动量定理求解更方便。

2.分析思路：导体棒或金属框在感应电流所引起的安培力作用下做非匀变速直线运动时，

安培力的冲量为：$I_{安}=B\bar{I}Lt=BLq$；

通过导体棒或金属框的电荷量为：$q=\bar{I}\Delta t=\frac{\bar{E}}{R_{总}}\Delta t=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t\cdot R_{总}}\cdot\Delta t=n\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$；

磁通量变化量：$\Delta\Phi=B\Delta S=BLx$。

如果安培力是导体棒或金属框受到的合外力，则$I_{安}=mv_2-mv_1$..

【精选例题】

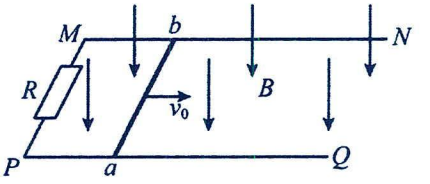
【例 1】如图所示，水平面上有两根足够长的光滑平行金属导轨 MN 和 PQ，两导轨间距为 L，导轨电阻均可忽略不计。在 M 和 P 之间接有一阻值为 R 的定值电阻，导体杆 ab 质量为 m、电阻也为 R，并与导轨垂直且接触良好。整个装置处于方向竖直向下、磁感应强度为 B 的匀强磁场中。现给 ab 杆一个初速度v_0，使杆向右运动，最终 ab 杆停在导轨上。下列说法正确的是（　　）

A．ab 杆将做匀减速运动直到静止

B．ab 杆速度减为$\frac{v_0}{3}$时，ab 杆加速度大小为$\frac{B^2L^2v_0}{6mR}$

C．ab 杆速度减为$\frac{v_0}{3}$时，通过定值电阻的电荷量为$\frac{mv_0}{3BL}$

D．ab 杆速度减为$\frac{v_0}{3}$时，ab 杆通过的位移为$\frac{2mRv_0}{3B^2L^2}$

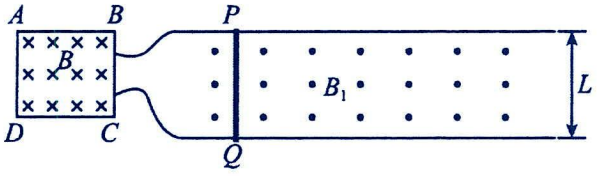


【例 2】电磁驱动在军事、科研和生活中有着广泛的应用，某一驱动装置的原理图如图所示，正方形线圈 ABCD 和金属导轨相连接，均放置在某一水平面上。线圈内有竖直向下的匀强磁场，磁感应强度大小随时间变化的规律为 B=0.1+kt（T），平行导轨间距 $L=0.5\text{m}$，其间有竖直向上的匀强磁场，磁感应强度 B_1=1T，质量 $m=0.1\text{kg}$ 的导体棒 PQ 垂直导轨放置，且与导轨接触良好。已知正方形线圈的边长 $a=0.2\text{m}$，匝数 $n=100$，电阻 $r=1\Omega$；导体棒的电阻 $R=3\Omega$，导体棒与导轨间的动摩擦因数 $\mu=0.2$，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度 g=10m/s²，其余电阻不计。求：（1）导体棒 PQ 刚好能滑动时，求 k 的取值；

（2）若 $k=0.6$，导体棒从静止开始加速，经 3.6s 达到最大速度。求：

（i）导体棒 PQ 最终的速度大小；

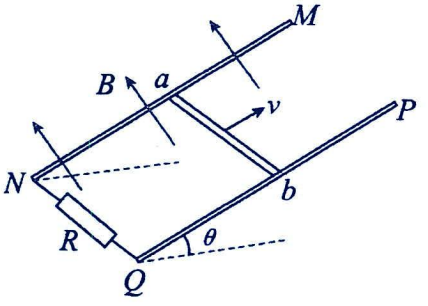
（ii）加速过程导体棒 PQ 的位移大小。



【跟踪训练】

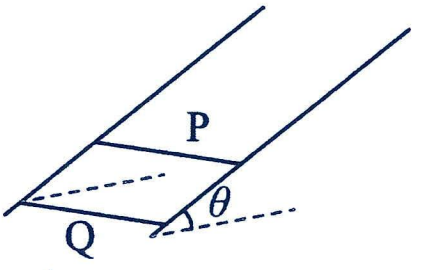
1．如图所示，两根足够长的平行光滑金属导轨 MN、PQ 间距 $L=1\text{m}$，其电阻不计，两导轨及其构成的平面均与水平面成 $\theta=30°$ 角，N、Q 两端接有 $R=1\Omega$ 的电阻。一金属棒 ab 垂直导轨放置，ab 两端与导轨始终有良好接触，已知 ab 的质量 $m=0.2\text{kg}$，电阻 $r=1\Omega$，整个装置处在垂直于导轨平面向上的匀强磁场中，磁感应强度大小 $B=1\text{T}$。ab 在平行于导轨向上的拉力作用下，以初速度 v_1=0.5m/s 沿导轨向上开始运动，可达到最大速度 v_m=2m/s。运动过程中拉力的功率恒定不变，重力加速度 g=10m/s²。求：（1）求拉力的功率 P；（2）ab 开始运动后，经 $t=0.09\text{s}$ 速度达到 v_2=1.5m/s，此过程中电阻 R 生热 0.03J，求该过程中 ab 沿导轨的位移大小 x；

（3）ab 开始运动后，当 ab 速度达到 v_2=1.5m/s 时撤去拉力，ab 继续上滑 0.15s 速度减为零，求该过程中通过电阻 R 电荷量。



2．如图所示，足够长的两平行金属导轨倾斜固定，与水平面的夹角$\theta=37°$，导轨间距为L，处于磁感应强度大小为B、方向垂直导轨平面的匀强磁场中（图中没有画出）。两个导体棒P和Q垂直导轨放置，相距为x0，Q紧靠两个小立柱静止于导轨上。每根导体棒的长度为L、质量为m、电阻为R。$t=0$时刻，对P施加一方向沿导轨向上的拉力，使其由静止开始沿导轨向上做匀加速运动。$t=t_0$时刻Q开始运动，之后P所受的拉力保持不变，$t=2t_0$时刻Q的速度为v．两导体棒与两导轨间的动摩擦因数均为$\mu=0.5$，最大静摩擦力等于滑动摩擦力。两导轨电阻忽略不计，重力加速度为g，取$\sin37°=0.6$。求：（1）t_0时刻导体棒P的速度v_0；

（2）t_0时刻导体棒P所受拉力的大小F_0；（3）$2t_0$时刻两导体棒之间的距离x。

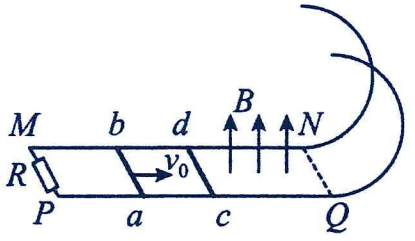


3．如图所示，MN、PQ两平行水平导轨间距为$L=0.5\text{m}$，分别与半径$r=0.5\text{m}$的相同竖直半圆导轨在N、Q端平滑连接，M、P端接有$R=0.3\Omega$的定值电阻。现有两个完全相同的金属杆cd和ab，质量均为$m=0.5\text{kg}$、电阻均为$R=0.1\Omega$，杆cd垂直静止在水平导轨上，在其右侧至N、Q端的区域内充满竖直向上的匀强磁场，磁感应强度为$B=1\text{T}$，杆ab以初速度$v_0=14\text{m/s}$水平向右与杆cd发生正碰后粘在一起，粘合成杆D，杆D恰好通过半圆导轨最高点。不计导轨电阻和摩擦，两杆始终与导轨垂直且接触良好，g取10m/s^2，（不考虑杆D通过半圆导轨最高点以后的运动）。求：（1）杆D通过半圆导轨最高点时的速度v的大小；

（2）杆D刚进入磁场时，电阻R两端的电压U；

（3）杆D对轨道的最大压力的大小和杆所受最大安培力的大小；

（4）杆cd最初静止位置和NQ之间的距离。



考点六：涡流、电磁驱动及电磁阻尼

题型一：电子感应加速器

解题要点：

1.感生电场：麦克斯韦认为，磁场变化时会在空间激发一种电场，这种电场叫作感生电场；与闭合电路是否存在无关；如果在变化的磁场中放一个闭合电路，自由电荷在感生电场的作用下发生定向移动。

2.感生电场可用电场线形象描述．感生电场是一种涡旋电场，电场线是闭合的，而静电场的电场线不闭合。

3.感生电场的方向根据楞次定律用右手螺旋定则判断，感生电动势的大小由法拉第电磁感应定律 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 计算。

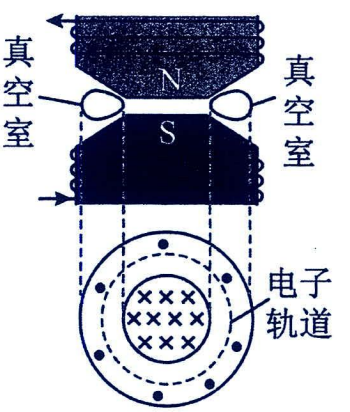
4.电子感应加速器：利用感生电场使电子加速的设备，如图所示。

5.工作原理：上下电磁铁线圈通电在真空室中产生磁场，电子在真空室中做圆周转动；

同时电磁铁线圈电流的大小、方向发生变化，在真空室中产生的感生电场使电子加速。

【精选例题】

【例 1】现代科学研究中常用到高速电子，电子感应加速器就是利用感生电场加速电子的设备。电子感应加速器主要由上、下电磁铁磁极和环形真空室组成。当电磁铁绕组通以变化的电流时会产生变化的磁场，穿过真空室所包围的区域内的磁通量也随时间变化，这时真空室空间内就产生感生电场，电子将在感生电场作用下得到加速。如图所示（上方为侧视图，下方为真空室的俯视图），当电磁铁绕组通以图中所示的电流时，电子被“约束”在半径为 R 的圆周上沿顺时针方向运动，下列说法正确的是（　）



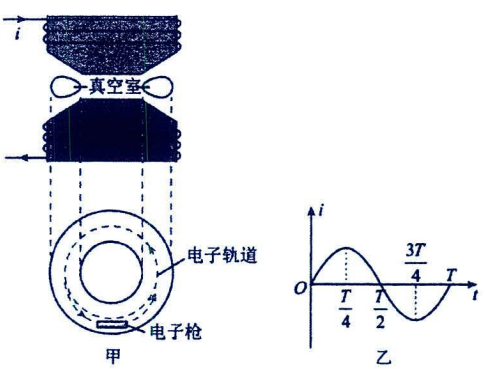
A．电磁铁绕组中的电流必须持续增大

B．电子感应加速器是利用磁场对电子的洛伦兹力作用使电子加速的

C．电磁铁绕组中通以恒定的电流时，真空室中的电子仍能得到加速

D．根据楞次定律可知，电子在感生电场中的受力方向与电场方向相同

【例 2】现代科学研究中常要用到高速电子，电子感应加速器是利用感生电场使电子加速的设备，它的基本原理如图甲所示，上、下为电磁铁的两个磁极，磁极之间有一个环形真空室。当电磁铁线圈通入如图乙所示的正弦式交变电流时，真空室中产生磁场，电子在真空室中做圆周运动。以图甲中所示电流方向为正方向，俯视看在 0～$\frac{T}{4}$ 和 $\frac{3T}{4}$～T 两个时间段内电子的运动，下列说法正确的是（　）



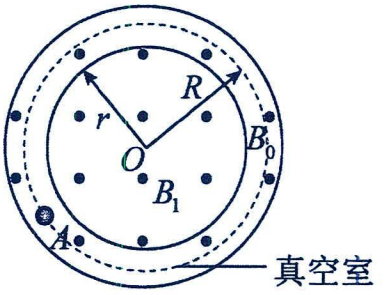
A．电子都沿逆时针做加速圆周运动

B．0～$\frac{T}{4}$ 内电子沿逆时针做加速圆周运动，$\frac{3T}{4}$～T 内电子沿逆时针做减速圆周运动

C．0～$\frac{T}{4}$ 内电子沿逆时针做减速圆周运动，$\frac{3T}{4}$～T 内电子沿逆时针做加速圆周运动

D．0～$\frac{T}{4}$ 内电子沿逆时针做加速圆周运动，$\frac{3T}{4}$～T 内电子可能沿顺时针做减速圆周运动

【例 3】电子感应加速器是利用感生电场加速电子的设备，其加速区域简化模型如图所示，一个光滑的环形真空室放置在磁感应强度大小为B_0（按一定规律变化）、垂直纸面向外的磁场中，以 O 为圆心，半径为 r 的圆形区域内存在一磁感应强度大小为$B_1=kt$（其中 k 为大于零的常数），方向垂直纸面向外的磁场。在$t=0$时真空室内有一电子从 A 点由静止释放，电子做半径为 R（不变）的圆周运动。已知电子的电荷量为 e、质量为 m（运动过程中不变），R 与 r 近似相等。下列说法正确的是（　　）



A．电子在真空室内沿逆时针方向运动　　B．电子沿切线方向的加速度不断增大

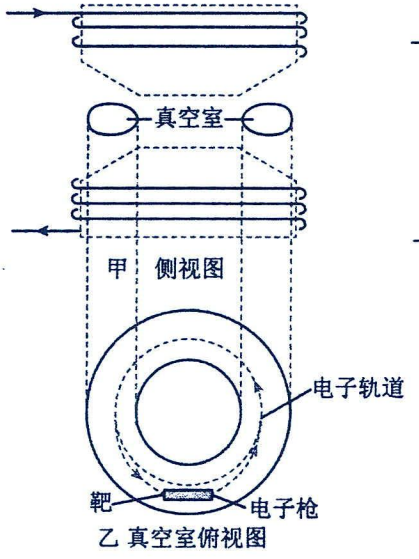
C．电子在轨道内运动一周，动能增加$ek\pi r$　　D．B_0和B_1应时刻相等

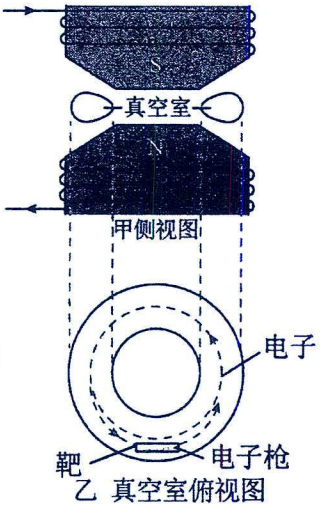
【跟踪训练】

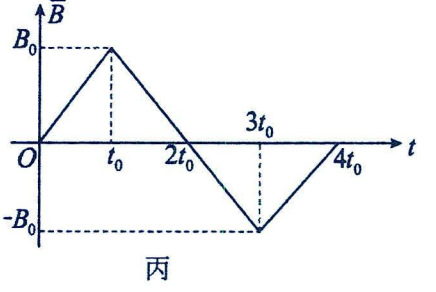
1．（多选题）电子感应加速器是利用感生电场加速电子的设备。它的基本原理如甲图（侧视图）所示，上、下为电磁铁的两个磁极，磁极之间有一个环形真空室，电子在真空室中做圆周运动。电磁铁线圈电流方向如甲图所示，乙图（俯视图）中电子沿逆时针方向加速运动。下列说法正确的是（　　）

A．真空室中的磁场方向向上　　B．真空室中的磁场方向向下

C．电磁铁线圈中的电流由小变大　　D．电磁铁线圈中的电流由大变小







丙

2．电子感应加速器的基本原理如图甲，在电磁铁的两极间有一环形向外逐渐减弱、并对称分布的交变磁场，这个交变磁场又在真空室内激发感生电场，其电场线是一系列绕磁感线的同心圆。这时若用电子枪把电子向右沿切线方向射入环形真空室，电子将受到环形真空室中的感生电场的作用而被加速，同时，电子还受到洛伦兹力的作用，使电子（电荷量绝对值为 e）在半径为 R 的圆形轨道上运动。电子做圆周运动的方向如图乙，电子轨道所围面积内平均磁感应强度$\overline{B}$随时间变化如图丙所示（垂直纸面向内为$\overline{B}$的正方向）。下列说法正确的是（　　）

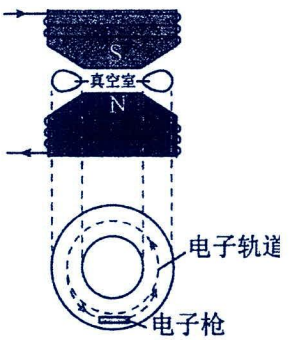
A．加速器利用磁场变化产生的静电场对电子进行加速

B．为使电子加速，电场的方向应该沿逆时针方向

C．电子在加速器中可正常加速的时间是$2t_0\sim3t_0$

D．电子在圆形轨道中正常加速的时间内，加速一周，感生电通对电子所做的功为$2\pi e\dfrac{B_0}{t_0}R^2$

3．（多选题）现代科学研究中常要用到高速电子，电子感应加速器就是利用感生电场使电子加速的设备。如图所示，上、下为电磁体的两个磁极，磁极之间有一个环形真空室，电子在真空室中沿逆时针做半径不变的圆周运动。电磁体线圈中电流的大小、方向可以变化，产生的感生电场使电子加速。关于电子感应加速器，下列说法正确的有（　　）



A．为了使电子加速，电磁体线圈中的电流应当由小变大

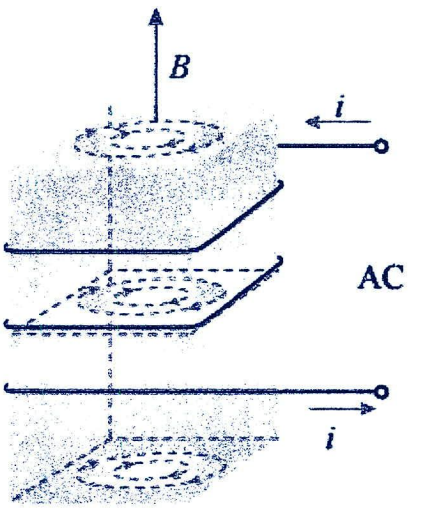
B．电子做圆周运动所需的向心力由感生电场的电场力提供

C．若利用正弦式交流电供电，则电子感应加速器在每个周期 T 内只有 T/4 的时间能正常工作

D．若利用正弦式交流电供电，则电子感应加速器在每个周期 T 内只有 T/2 的时间能正常工作

题型二：涡流

1.涡流：当线圈中的电流随时间变化时，线圈附近的任何导体中都会产生感应电流，用图表示这样的感应电流，就像水中的漩涡，所以把它叫作涡电流，简称涡流。



2.产生原因：导体内磁通量变化→感应电动势→感应电流。

3.产生涡流的两种情况

(1)块状金属放在变化的磁场中；

(2)块状金属进出磁场或在非匀强磁场中运动。

4.产生涡流时的能量转化

(1)金属块在变化的磁场中，磁场能转化为电能，最终转化为内能；

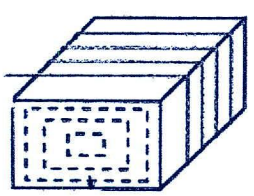
(2)金属块进出磁场或在非匀强磁场中运动，克服安培力做功，

金属块的机械能转化为电能，最终转化为内能。

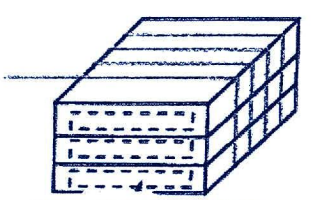
5.涡流的应用与防止

(1)应用：真空冶炼炉、探雷器、安检门等。

(2)防止：为了减小电动机、变压器铁芯上的涡流，常用电阻率较大的硅钢做材料，而且用相互绝缘的硅钢片叠成铁芯来代替整块硅钢铁芯，如图甲、乙。



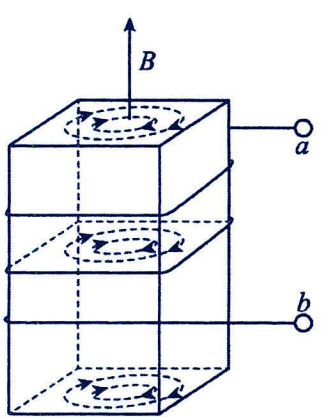
甲：整块铁芯



乙：彼此绝缘铁芯

【精选例题】

【例 1】如图所示，将绝缘导线绕在柱形铁块上，导线内通以交变电流，铁块内就会产生感应电流，即涡流。当线圈内部空间的磁感线方向竖直向上，在铁块内产生（自上而下观察）沿虚线顺时针方向的涡流方向时，下列说法正确的是（　　）



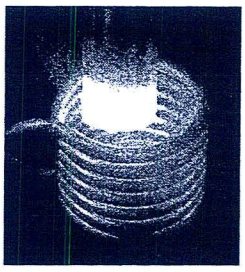
A．绝缘导线中的电流正在减小

B．绝缘导线中的电流由 b 流向 a

C．为减小涡流，可以增大交变电流的频率

D．为减小涡流，可以把铁块沿纵向切成很薄的铁片，涂上绝缘层后叠放起来

【例 2】感应加热表面淬火是利用电磁感应原理，将工件置于感应线圈中，向线圈通入交流电时，工件中将出现涡流，在很短时间内，工件表面温度可以达到淬火温度1000°C，立即冷却使工件表面淬火。下列关于工件加热过程中说法正确的是（　　）



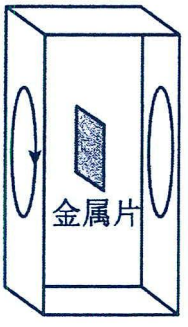
A．工件中磁通量保持不变

B．工件中出现的涡流方向不变

C．工件中出现的是交流电，其频率小于感应线圈中通入交流电的频率

D．在感应线圈中通入的交流电峰值不变的情况下，频率越高，工件中的感应电流越大

【例 3】如图所示为安检门原理图，左侧面有一通电线圈，右侧面有一接收线圈。从左往右看，工作过程中某段时间通电线圈中存在顺时针方向增大的电流，则（　）



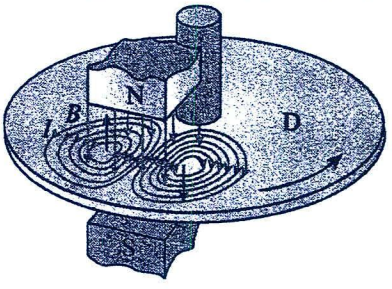
A．无人通过安检门时，接收线圈中无感应电流

B．若接收线圈中有感应电流，方向一定与左侧线圈电流方向相同

C．通过人员携带金属时，金属中会产生涡旋电流

D．通过人员携带金属时，接收线圈中无感应电流

【例 4】如图是高速列车上使用的电磁制动装置示意图。与传统的制动方式相比，电磁制动是一种非接触的制动方式，避免了因摩擦产生的磨损。电磁制动的原理是当金属圆盘 D 在磁场中运动时，会产生涡流，使圆盘受到阻碍运动的制动力。下列说法正确的是（　　）



A．制动过程中，圆盘不会产生热量

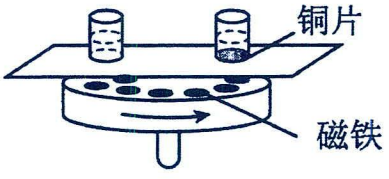
B．制动力的大小与圆盘运动的速度无关

C．换用更强的磁场，制动效果更好

D．如果改变磁场的方向，可以使圆盘获得促进它运动的动力

【跟踪训练】

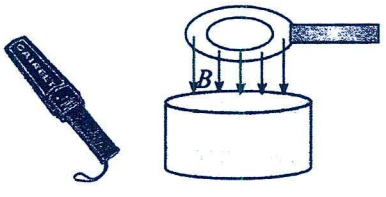
1．如图所示，薄玻璃板上放有两个粗细相同的玻璃水杯，杯中装入质量相等的水，其中右侧水杯内的底面平放一薄铜片，在两个水杯中都放入温度传感器用来测温度。玻璃板的下方一装有多个磁铁的塑料圆盘旋转起来，经过一段时间，可以观测到右侧水杯中水温明显上升，而左侧水杯中的水温没有变化，这是因为（　　）



A．磁铁使水杯中的水产生涡流引起的　　B．磁铁使水杯底部的铜片产生涡流引起的

C．磁铁与空气摩擦生热引起的　　D．磁铁使水杯底部的铜片磁化引起的

2．有一种手持金属探测器实物及其结构原理图可简化为图所示。探测器运用的是电磁感应原理，发射线圈（外环）可以产生垂直于线圈平面且大小和方向均变化的磁场；内环线圈是接收线圈，用来收集被查金属物发出的磁场（接收线圈能完全屏蔽发射线圈产生的磁场）。随着发射线圈产生的磁场方向反复变化，它会与所遇的金属物发生作用，导致金属物自身也会产生微弱的磁场，来自金属物的磁场进入内环线圈被接收到后，检测器会发出报警声。若发射线圈产生向下且增强的磁场，则下列说法中正确的是（　　）



A．金属物产生的感应磁场的方向竖直向下

B．金属物中的涡流从上往下看是沿顺时针方向

C．金属物发出的磁场穿过接收线圈时，接收线圈会产生微弱的电流，此类探测器相应的元件就是依据这一电流进行报警的

D．如果金属物中某时刻发出向上的磁场，那么接收线圈中的感应电流方向从上往下看是沿逆时针方向

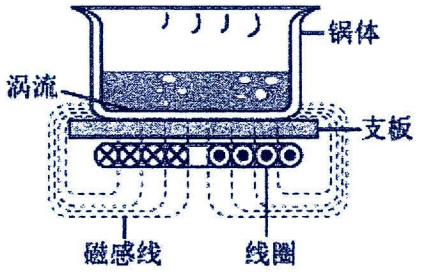
3．（多选题）电磁灶（又叫电磁炉）的基本结构图如图甲所示，利用电磁感应产生涡流的原理对食物进行加热，利用涡流现象来冶炼钢铁的炼钢炉装置如图乙所示，下列说法正确的是（　　）

A．电磁灶的加热原理先是电能变成磁能，然后产生涡流最后产生焦耳热

B．铁质锅换成铜、铝锅，其加热效果与铁质锅一样

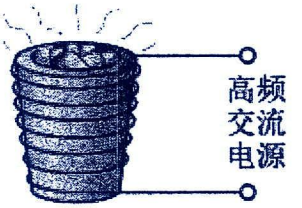
C．炼钢炉通上恒定电流也可以冶炼钢铁

D．炼钢炉的涡流现象与电磁灶的涡流现象本质相同，结构也类似

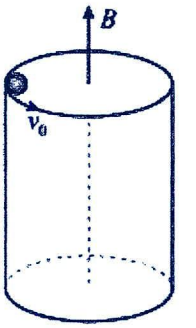


甲

题3



乙



题4

4．（多选题）如图所示，一长玻璃圆管内壁光滑、竖直放置。有一带正电的小球（可视为质点），以速率 v_0 沿逆时针方向从管口上端贴着管壁水平射入管内，经过一段时间后从底部离开圆管。若再次重复该过程，以相同速度 v_0 进入管内，同时在此空间加上方向竖直向上、磁感应强度 B，随时间均匀减小的磁场，小球从下端离开玻璃管时磁场还没减小到 0。设运动过程中小球所带电量不变，空气阻力不计。以下说法正确的是（　　）

A．加磁场后小球在管中运动的时间等于没加磁场时的时间

B．加磁场后小球离开管口的速率等于没加磁场时的速率

C．加磁场后小球对玻璃管的压力一定不断增大

D．加磁场后，小球在玻璃管中运动时，小球与地球组成的系统机械能增加

题型三：电磁驱动及电磁阻尼

解题要点：

1.电磁阻尼：当导体在磁场中运动时，感应电流会使导体受到安培力，安培力总是阻碍导体的运动。

2.电磁驱动：当磁场相对于导体运动时，在导体中会产生感应电流使导体受到安培力而运动起来。

3.电磁阻尼和电磁驱动的比较

		电磁阻尼	电磁驱动
不同点	成因	由导体在磁场中运动形成的。	由磁场运动而形成的。
	效果	安培力方向与导体运动方向相反，为阻力。	安培力方向与导体运动方向相同，为动力。
	能量转化	克服安培力做功，其他形式的能转化为电能，最终转化为内能。	磁场能转化为电能，通过安培力做功，电能转化为导体的机械能。
共同点		两者都是电磁感应现象，导体受到的安培力都是阻碍导体与磁场间的相对运动。	

【精选例题】

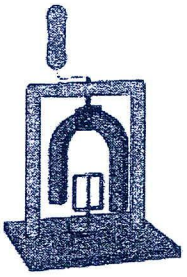
【例 1】（多选题）关于电磁驱动和电磁阻尼，下列说法正确的是（　　）

A．甲图中，当摇动手柄使得蹄形磁铁转动，铝框会同向转动，且和磁铁转得一样快

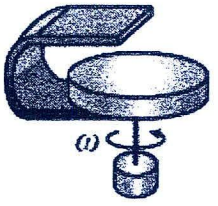
B．甲图中，当摇动手柄使得蹄形磁铁转动，铝框会同向转动，但转得比磁铁慢

C．乙图中，在蹄形磁铁两极间自由转动的铜盘，因为摩擦极小，所以能一直转动不会停下

D．乙图中，在蹄形磁铁两极间自由转动的铜盘，就算摩擦极小，也会因产生感应电流而很快停下

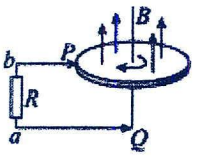


甲

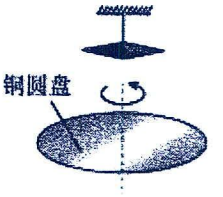


乙

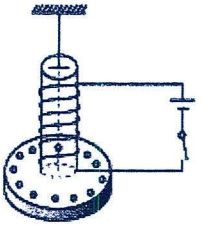
例 1



甲



乙



丙

例 2

【例 2】如图三个实验，图甲是法拉第圆盘，圆盘全部处于磁场区域，可绕中心轴转动，通过导线将圆盘圆心和边缘与外面电阻 R 相连。图乙是阿拉果圆盘，将一铜圆盘水平放置，圆盘可绕中心轴无摩擦转动，在其中心正上方用柔软细线悬挂一枚可以自由旋转的磁针。图丙是费曼圆盘，一块水平放置的绝缘体圆盘可绕过其中心的竖直轴无摩擦转动，在圆盘的中部有一个线圈，圆盘的边缘固定着若干带负电的金属小球。则（　）

A．法拉第圆盘在转动过程中，圆盘中磁通量不变，无感应电流通过 R

B．阿拉果圆盘实验中，转动圆盘，小磁针会同向转动：反之，转动小磁针，圆盘不动

C．费曼圆盘中，当开关闭合的一瞬间，圆盘会顺时针（俯视）转动

D．法拉第圆盘和阿拉果圆盘都是电磁驱动的表现

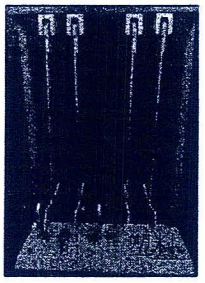
【例 3】如图甲所示为淄博市科技馆的“磁阻尼摆”，支架中间设置永磁体构成的磁场，磁场中分别悬挂着由铝片和塑料片制成的摆，其示意图如图乙所示，将铝摆拉到某一位置由静止释放、发现铝摆很快就停下来。下列说法正确的是（　）

A．同样条件下，用塑料摆做实验比用铝摆能够更快停下来

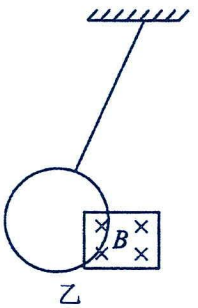
B．铝摆摆动过程中，摆片中产生涡流，受到阻碍其运动的安培力作用，使之很快停下来

C．塑料摆摆动过程中，摆片中也会产生涡流

D．若所加磁场反向，铝摆摆片将受到安培力的驱动，摆动加快



甲



乙

【跟踪训练】

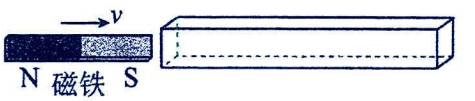
1．如图所示，质量为 0.2kg 的方形铝管静置在足够大的光滑绝缘水平面上，现使质量为 0.3kg 的条形磁铁（条形磁铁横截面比铝管管内横截面小）以 v=5m/s 的水平初速度自左向右穿过铝管，忽略一切摩擦，不计管壁厚度。则关于磁铁穿过铝管的过程中，下列说法正确的是（　　）

A．从左往右看，图示时刻铝管中的感应电流沿逆时针方向

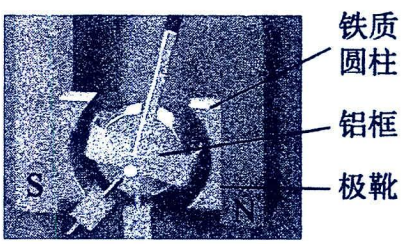
B．铝管可能先做加速运动后做匀速运动

C．磁铁减少的动能等于铝管增加的动能

D．铝管获得的速度可能等于 2m/s



2．磁电式电流表是实验室中常用的电学实验器材，图为其结构示意图，其线圈绕在一个与指针、转轴固连的铝框骨架上，并处在极靴和铁质圆柱间的磁场中。线圈未通电时，指针竖直指在表盘中央；线圈通电时指针随之偏转，由此就能确定电流的大小。下列说法正确的是（　　）



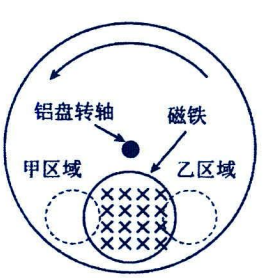
A．极靴和铁质圆柱间的磁场为匀强磁场

B．磁电式电流表的工作原理是电磁感应

C．为了节约成本，可以将铝框骨架换成轻质的塑料框

D．搬运电流表时，为防止指针偏转幅度过大，可以将正、负接线柱用导线连接

3．高速铁路列车通常使用磁刹车系统，磁刹车工作原理可简述如下：将磁铁的 N 极靠近一块正在以逆时针方向旋转的圆形铝盘，使磁感线总垂直射入铝盘时，铝盘随即减速，如图所示，圆中磁铁左方铝盘的甲区域朝磁铁方向运动，磁铁右方的乙区域朝离开磁铁方向运动，下列说法中正确的是（　　）



A．铝盘乙区域的感应电流会产生垂直纸面向外的磁场

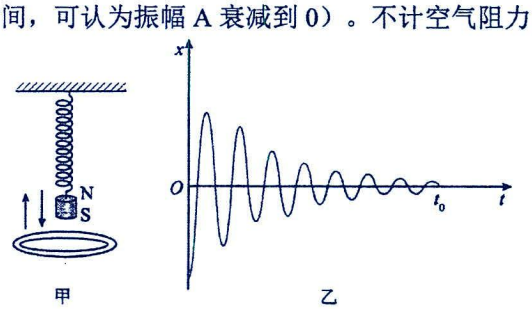
B．磁场与感应电流的作用力，会阻碍铝盘旋转

C．感应电流在铝盘产生的内能，是铝盘减速的最主要原因

D．若将实心铝盘转换成布满小空洞的铝盘，则磁铁对布满空洞的铝盘减速效果比实心铝盘的效果更好

补充

1．如图甲所示，一轻质弹簧上端固定，下端悬挂一个体积很小的磁铁，在小磁铁正下方桌面上放置一个闭合铜制线圈。将小磁铁从初始静止的位置向下拉到某一位置后放开，小磁铁将做阻尼振动，位移 x 随时间 t 变化的示意图如图乙所示（初始静止位置为原点，向上为正方向，经 t_0 时间，可认为振幅 A 衰减到 0）。不计空气阻力，下列说法正确的是（　　）



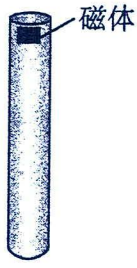
A．x＞0 的那些时刻线圈对桌面的压力小于线圈的重力

B．x=0 的那些时刻线圈中没有感应电流

C．更换电阻率更大的线圈，振幅 A 会更快地衰减到零

D．增加线圈的匝数，t_0 会减小，线圈产生的内能不变

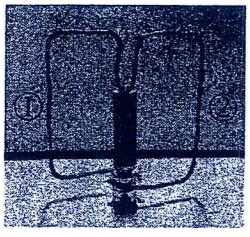
2．如图所示，一根长 1m 左右的空心铜管竖直放置，把一枚磁性比较强的小圆柱形永磁体从铜管上端放入管口，圆柱直径略小于铜管的内径。让磁体从管口处由静止下落，磁体在管内运动时，没有跟铜管内壁发生摩擦。有关磁体在铜管中下落的过程，下列说法可能正确的是（　　）



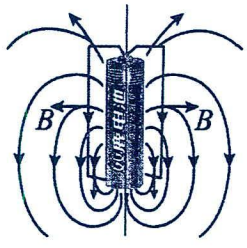
A．磁体做自由落体运动　　B．磁体受到铜管中涡流的作用力方向先向上后向下

C．磁体受到铜管中涡流的作用力方向一直向上　　D．磁体的机械能守恒

3．如图甲所示是一个“简易电动机”，一节 5 号干电池的正极向上，一块圆柱形强磁铁吸附在电池的负极，将一段裸铜导线弯成图中所示形状的线框，线框上端的弯折位置与正极良好接触，下面弯曲的两端与磁铁表面保持良好接触，放手后线框就会转动起来。该“简易电动机”的原理图如图乙所示，关于该“简易电动机”，下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A．线框①、②两部分导线电阻在电路中是串联关系

B．从上往下看，该“简易电动机”顺时针旋转

C．其工作原理是导线切割磁感线产生感应电流从而使导线框受到安培力而转动

D．电池消耗的电能全部转化为线框的动能

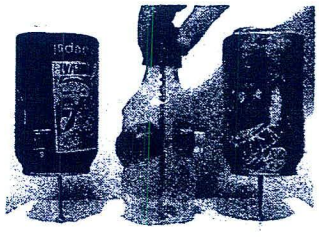
4．如图所示，截半的塑料瓶周围贴上磁铁，用木棍在内部撑起，它的两边有用木棍支撑起倒立的铝质的易拉罐，当转动中间的这个塑料瓶，从上向下看，塑料瓶是顺时针旋转，那么两边的易拉罐转动情况是（　　）

A．左边的易拉罐逆时针转动，右边的易拉罐顺时针转动

B．左右两边的易拉罐都是逆时针转动

C．易拉罐转动的角速度等于塑料瓶转动的角速度

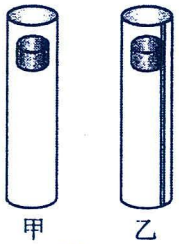
D．用塑料瓶罩住易拉罐，易拉罐将不会转动



5．（多选题）关于教材中的插图，下列说法正确的是（　）

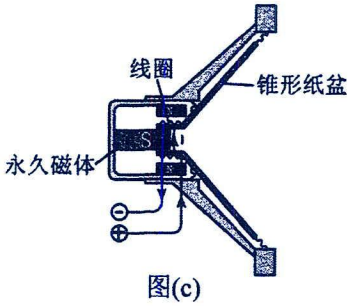


图(a)

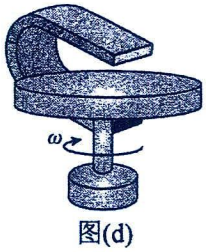


甲　乙

图(b)



图(c)



图(d)

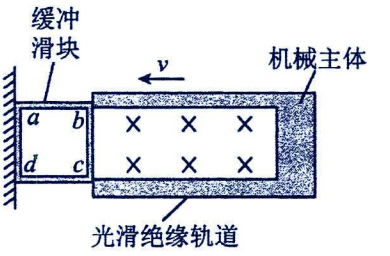
A．在搬运如图（a）所示磁电式电流表时，将正负极用导线连接后可以使指针晃动减弱

B．图（b）为一强磁小圆柱体从甲、乙所示的铝管上端管口静止释放，因为乙管有裂缝不闭合，强磁体做自由落体运动

C．图（c）为动圈式扬声器，线圈圆筒安放在永久磁体磁极间的空隙中，能够在空隙中左右运动，音频电流通进线圈，安培力使线圈左右运动。纸盆与线圈连接，随着线圈振动而发声，这样的扬声器可以当作话筒

D．图（d）为一个铜盘，轻轻拨动它，能长时间地绕轴自由转动。如果在转动时把 U 形磁体的两极放在铜盘的边缘，但并不与铜盘接触，铜盘就能在较短的时间内停止，把铜盘换成塑料盘，也会看到同样的现象

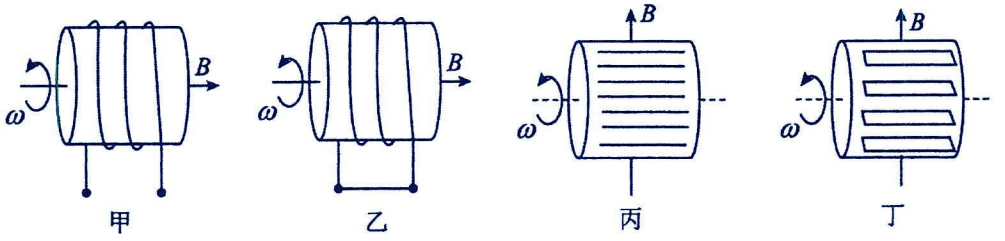
6．（多选题）为防止意外发生，游乐场等大型设施都配备有电磁阻尼装置，如图所示为某款阻尼缓冲装置的原理示意图：带有光滑轨道的机械主体，能产生垂直缓冲轨道平面的匀强磁场，边缘绕有闭合矩形线圈 abcd 的高强度缓冲滑块撞到竖直墙时，被瞬间强制制动，机械主体以及磁场由于惯性继续缓冲减速，对缓冲过程，下列说法正确的是（　　）



A．线圈 bc 段受到向右的安培力　　B．同一匝线圈中 b 端的电势高于 c 端的电势

C．线圈 ab 段中电流方向为由 b 到 a　　D．若磁场反向，则装置仍然能起到缓冲作用

7．图甲、乙中磁场方向与轮子的转轴平行，图丙、丁中磁场方向与轮子的转轴垂直，轮子是绝缘体，则采取下列哪个措施，能有效地借助磁场的作用，让转动的轮子停下（　）



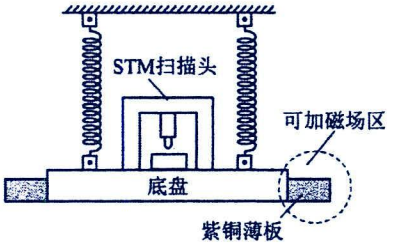
A．如图甲，在轮上固定如图绕制的线圈

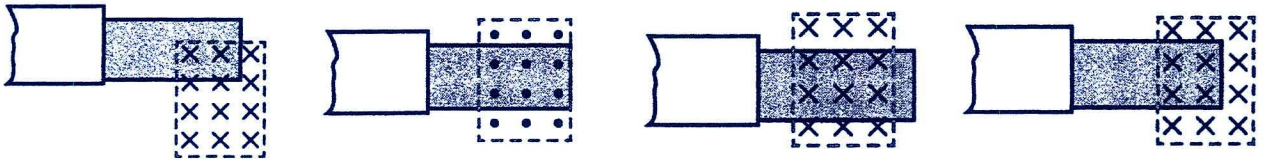
B．如图乙，在轮上固定如图绕制的闭合线圈

C．如图丙，在轮上固定一些细金属棒，金属棒与轮子转轴平行

D．如图丁，在轮上固定一些闭合金属线框，线框长边与轮子转轴平行

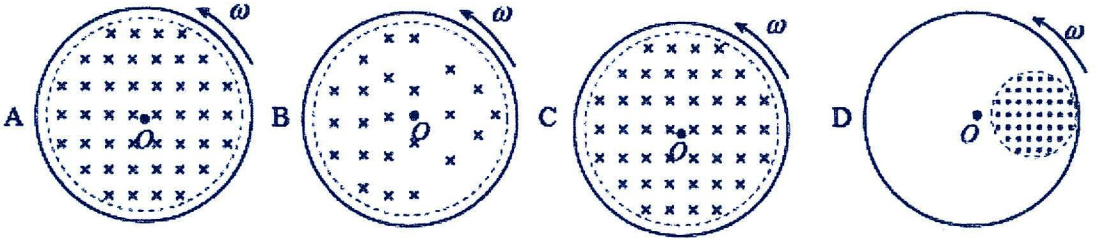
8．为了有效隔离外界振动对 STM 的扰动，在圆底盘周边沿其径向对称地安装若干对紫铜薄板，并施加磁场来快速衰减其微小振动，如图所示。无扰动时，按下列四种方案对紫铜薄板施加恒磁场；出现扰动后，对于紫铜薄板上下及左右振动的衰减最有效的方案是（　　）





A　　B　　C　　D

9．（多选题）高铁常用磁刹车系统，某同学为研究其工作原理让铜盘处于磁场方向均垂直于其平面的磁场中进行实验。如图甲：圆形匀强磁场区域与铜盘是同心圆且面积小于铜盘面积；如图乙，磁场区域与甲相同，磁场的磁感应强度从左到右减小；如图丙，匀强磁场区域与甲相同，磁场的磁感应强度随时间均匀减小；如图丁，圆形匀强磁场区域处于铜盘的一侧。现给铜盘一初始角速度，整个过程忽略空气阻力和摩擦阻力的影响，忽略铜盘厚度，则铜盘能停下来的是（　　）



考点七：自感与互感

题型一：互感现象

解题要点

1.互感和互感电动势：两个相互靠近且没有导线相连的线圈，当一个线圈中的电流变化时，它所产生的变化的磁场会在另一个线圈中产生感应电动势，这种现象叫作互感，这种感应电动势叫作互感电动势。

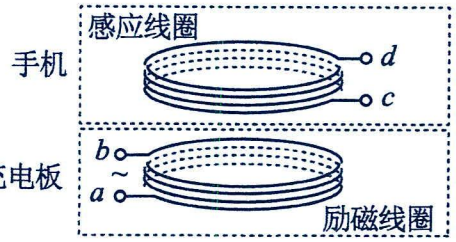
2.一个线圈中电流变化越快(电流的变化率越大)，另一个线圈中产生的感应电动势越大。

3.应用：利用互感现象可以把能量由一个线圈传递到另一个线圈，如变压器、收音机的磁性天线。

4.危害：互感现象能发生在任何两个相互靠近的电路之间．在电力工程和电子电路中，互感现象有时会影响电路的正常工作。

【精选例题】

【例 1】无线充电技术近年来开始普及。以手机无线充电为例，手机置于充电板上，充电板内的励磁线圈产生变化的磁场，从而使手机内的感应线圈产生感应电流。下列说法正确的是（　　）



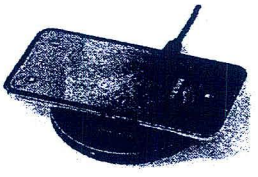
A．当励磁线圈里所通电流均匀变化时，手机对充电板的压力保持不变

B．当励磁线圈里所通电流增大时，手机对充电板的压力小于手机重力

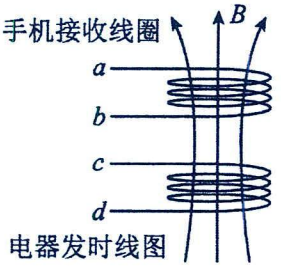
C．若手机对充电板的压力等于手机重力，说明励磁线圈里没有电流通过

D．若手机对充电板的压力小于手机重力，说明励磁线圈里所通电流和感应线圈里产生的电流同向

【例 2】如图甲为手机正在进行无线充电，无线充电的原理图如图乙所示，充电器和手机各有一个线圈，充电器端的叫发射线圈（匝数为 n_1），手机端的叫接收线圈（匝数为 n_2），两线圈面积均为 S，在△t 内发射线圈产生磁场的磁感应强度增加量为△B。磁场可视为垂直穿过线圈。下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A．手机端的接收线圈 b 点的电势低于 a 点

B．手机端的接收线圈 a 和 b 间的电势差值为 $\frac{n_2\triangle BS}{\triangle t}$

C．接收线圈和发射线圈是通过自感实现能量传递

D．增加 c、d 间电流的变化率，接收线圈 a 和 b 间的电势差始终不变

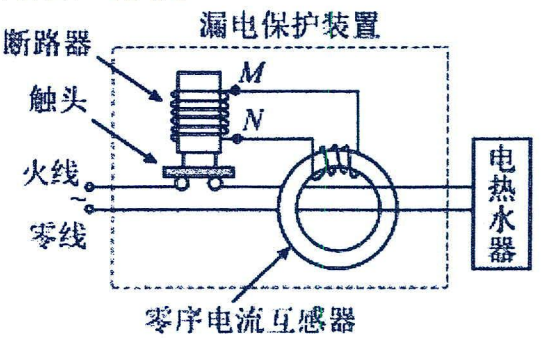
【例 3】（多选题）大功率家用电器的插头常配备漏电保护装置，工作原理如图所示，其中“零序电流互感器”可视为闭合铁芯。正常用电时，火线和零线的电流等大反向；出现漏电时，快速响应电路能够在毫秒级的时间内检测到漏电并触发断路器，使触头弹起从而自动切断电源。下列说法正确的是（　　）

A．漏电保护装置应用了电磁感应的原理

B．图 2 中零线应该置于互感器的外面，否则无法正常使用

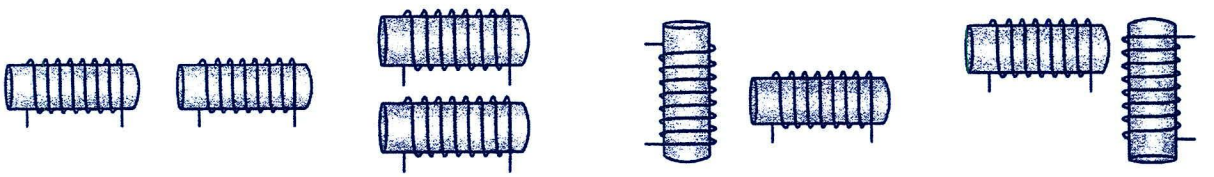
C．正常用电时，M 和 N 两点之间没有电压

D．出现漏电时，M 和 N 两点之间没有电压



【跟踪训练】

1．下列两个靠近的线圈之间最不容易产生互感现象的是（　　）



A　　B　　C　　D

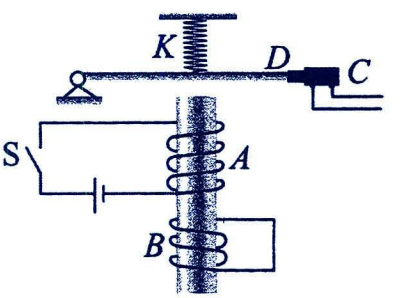
2．如图，是一种延时继电器的示意图，铁芯上有线圈 A 和 B，线圈 A 跟电源连接，线圈 B 两端连在一起，构成闭合电路。在断开开关 S 时，弹簧 K 并不会立刻将衔铁 D 拉起而使触头 C（连接工作电路）离开，而是过一小段时间后才执行这个动作。下列说中正确的是（　　）

A．断开开关 S 时，线圈 B 中产生逆时针的电流（俯视）

B．若仅去掉线圈 B 中的铁芯，继电器的延时效果不受影响

C．若仅改变线圈 B 的材料，继电器的延时效果不受影响

D．若线圈 B 两端未连接，断开开关 S 时，衔铁 D 立刻被拉起



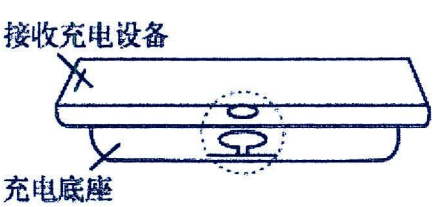
3．近几年，无线电能传输技术发展迅速，越来越多的智能手机开始配备无线充电功能，充电功率及效率越来越高，同时生态端也正在快速建立。图为某品牌的无线充电手机利用无线充电底座充电的原理图，关于无线充电，下列说法正确的是（　　）

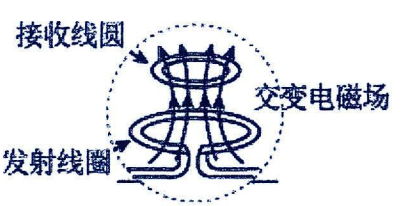
A．无线充电底座可以给所有手机无线充电

B．无线充电时手机接收线圈部分的工作原理是自感现象

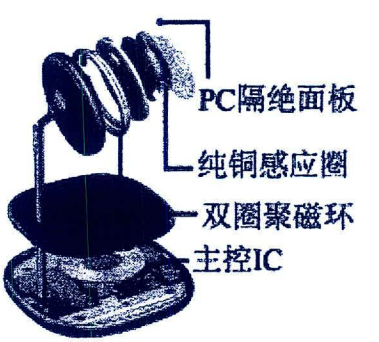
C．当穿过接收线圈的磁通量增加时，接收线圈有扩张的趋势

D．接收线圈中交变电流的频率与发射线圈中交变电流的频率相同





题 3



题 4

4．图为一款手机磁吸式无线充电座的剖析图，其原理与变压器类似，充电座和手机分别内置了感应圈，当二者靠近时，手机开始充电。下列分析中不正确的是（　　）

A．无线充电是通过电磁感应输送电能

B．只有输入变化的电流才能对手机无线充电

C．将金属物件贴近正在无线充电的手机，充电不会受到任何影响

D．“双圈聚磁环”可以使手机的感应线圈与之对齐，减少漏磁从而提高充电效率

题型二：自感概念理解

解题要点

1.自感现象：由于通过导体自身的电流发生变化而产生的电磁感应现象；遵守法拉第电磁感应定律和楞次定律。

2.自感电动势：在自感现象中产生的感应电动势。

当原电流增大时，自感电动势的方向与原电流方向相反；

当原电流减小时，自感电动势的方向与原电流方向相同(即：增反减同)。

3.表达式：$E=L\frac{\Delta I}{\Delta t}$；

4.自感系数 L：表示线圈产生自感电动势本领大小的物理量。

与线圈的大小、形状、匝数以及是否有铁芯等因素有关，单位为亨利，简称亨，符号 H。

5.自感现象的特点

(1)自感电动势总是阻碍导体中原电流的变化；

(2)通过线圈中的电流不能发生突变，只能缓慢变化；

(3)电流稳定时，自感线圈就相当于普通导体；

(4)线圈的自感系数越大，自感现象越明显。自感电动势只是延缓了过程的进行，但它不能使过程停止，更不能使过程反向。

6.磁场的能量

(1)线圈中电流从无到有时，磁场从无到有，电源把能量输送给磁场，储存在磁场中；

(2)线圈中电流减小时，磁场中的能量释放出来转化为电能；

(3)自感电动势有阻碍线圈中电流变化的性质。

【精选例题】

【例 1】关于自感现象，下列说法正确的是（　　）

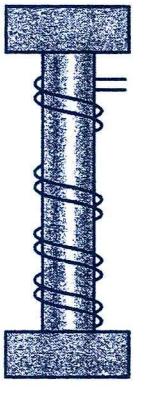
A．感应电流一定和原来的电流方向相反

B．对于同一线圈，当电流变化越大时，线圈产生的自感电动势也越大

C．对于同一线圈，当电流变化越快时，线圈的自感系数也越大

D．对于同一线圈，当电流变化越快时，线圈中的自感电动势也越大

【例 2】在制作精密电阻时，为了消除使用过程中由于电流变化而引起的自感现象，会采用如图所示的双线绕法，其原理是（　　）



A．电路中电流变化时，两股导线中产生的自感电动势互相抵消

B．电路中电流变化时，两股导线中产生的感应电流互相抵消

C．电路中电流变化时，两股导线中的电流产生的磁场互相抵消

D．电路中电流变化时，电流的改变量互相抵消

【跟踪训练】

1．（多选题）下列关于自感现象的说法中，正确的是（　　）

A．自感现象是由于导体本身的电流发生变化而产生的电磁感应现象

B．线圈中自感电动势的方向总与引起自感的原电流的方向相反

C．线圈中自感电动势的大小与穿过线圈的磁通量变化的快慢有关

D．加铁芯后线圈的自感系数比没加铁芯时要小

2．若通以电流 I 的圆形线圈在线圈内产生的磁场近似为方向垂直线圈平面的匀强磁场，其大小 $B=kI$。现有横截面积为 S 的圆形线圈，则线圈的自感系数可表示为（　　）

A．k　　B．kS　　C．$\frac{k}{S}$　　D．$\frac{S}{k}$

题型三：通电自感与断电自感

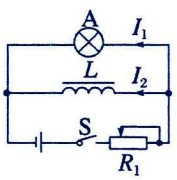
解题要点：

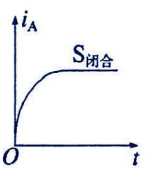
1.线圈通电和断电时线圈中电流的变化规律如图。

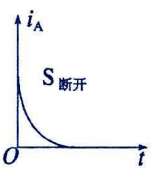
通电自感：通电时自感线圈相当于一个变化的电阻，阻值由无穷大逐渐减小。

断电自感：断电时自感线圈相当于电源，电动势由某值逐渐减小到零。

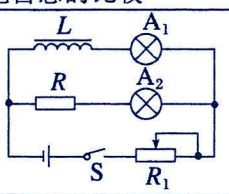
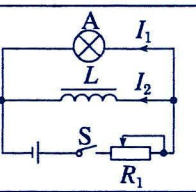
电路稳定：自感线圈相当于导体，是否考虑其电阻，根据题意而定。







2.通电自感和断电自感的比较

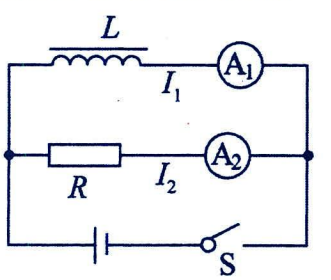
电路图		
器材要求	A_1、A_2 同规格，$R=R_L$，L 较大	L 很大(有铁芯)
通电时	在 S 闭合瞬间，灯 A_2 立即亮起来， 灯 A_1 逐渐变亮，最终一样亮。	灯 A 立即亮，然后逐渐变暗达到稳定。
断电时	回路电流减小，灯泡逐渐变暗， A_1 电流方向不变，A_2 电流反向。	电路中稳态电流为 I_1、I_2： ①若 $I_2 \le I_1$，灯泡逐渐变暗； ②若 $I_2 > I_1$，灯泡**“闪亮”**后逐渐变暗。 两种情况下灯泡中电流方向均改变
总结	自感电动势总是阻碍原电流的变化	

【精选例题】

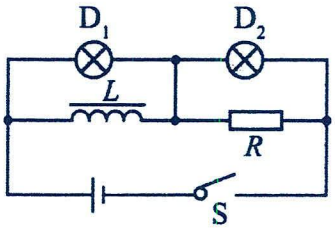
【例 1】在如图所示的电路中，L 是一带铁芯的线圈，R 为电阻。两条支路的直流电阻相等。那么在接通和断开开关的瞬间，两电流表的读数 I_1、I_2 的大小关系正确的是（　　）

A．接通瞬间 $I_1=I_2$，断开瞬间 $I_1<I_2$　　B．接通瞬间 $I_1<I_2$，断开瞬间 $I_1>I_2$

C．接通瞬间 $I_1>I_2$，断开瞬间 $I_1<I_2$　　D．接通瞬间 $I_1<I_2$，断开瞬间 $I_1=I_2$



【例 2】如图所示电路中，D_1和D_2是两个完全相同的小灯泡，L 是一个自感系数相当大的线圈，其直流电阻可不计。在开关 S 闭合和断开瞬间，下列说法正确的是（　）



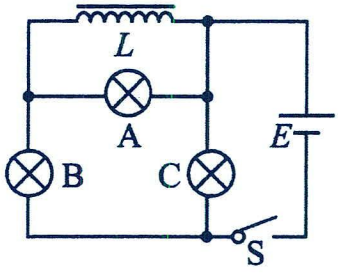
A．当 S 闭合时，D_1先达到最亮，稳定后D_1熄灭时D_2达到最亮

B．当 S 闭合时，D_2先达到最亮，稳定后D_1与D_2亮度相同

C．电路稳定后断开 S 时，D_1闪亮后与D_2一起熄灭

D．电路稳定后断开 S 时，D_2立即熄灭，D_1闪亮后逐渐熄灭

【例 3】（多选题）如图所示，A、B、C 是三个完全相同的灯泡，L 是一个自感系数较大的线圈（直流电阻可忽略不计），则（　）



A．电路接通稳定后，三个灯亮度相同

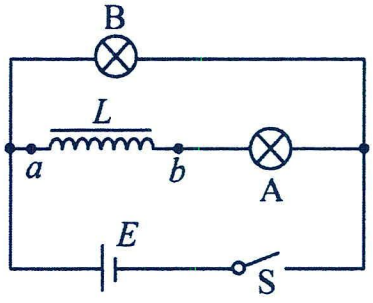
B．电路接通稳定后，S 断开时，B、C 灯逐渐熄灭

C．S 闭合时，A 灯立即发光，然后逐渐熄灭

D．S 闭合时，B 灯立即发光，然后逐渐熄灭

【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示电路中，A、B 为完全相同的灯泡，电阻为 R。自感线圈 L 的直流电阻也为 R，a、b 为 L 的左、右端点，电源电动势为 E，内阻不计。下列说法正确的是（　　）



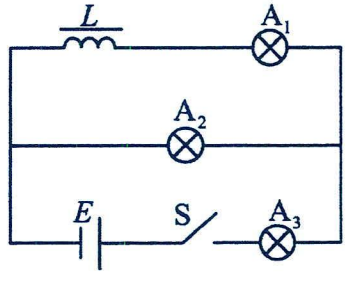
A．闭合开关 S，灯泡 A 缓慢变亮，灯泡 B 瞬间变亮

B．闭合开关 S，当电路稳定后，灯泡 A、B 一样亮

C．闭合开关 S，电路稳定后再断开开关 S，灯泡 A 闪亮后缓慢熄灭

D．闭合开关 S，电路稳定后再断开开关 S 的瞬间，b 点电势高于 a 点

2．如图甲所示，三个灯泡完全相同且灯泡电阻不随温度变化而改变。闭合开关 S，当电路达到稳定状态后，再断开开关。不计电源内阻及电感线圈 L 的直流电阻，下列说法中正确的是（　）



A．开关 S 闭合瞬间，灯A_1立刻点亮

B．开关 S 闭合瞬间，灯A_2立刻点亮，稍后变暗

C．开关 S 断开瞬间，灯A_2闪亮一下再逐渐熄灭

D．从开关 S 闭合瞬间至断开前，流经灯A_3的电流保持不变

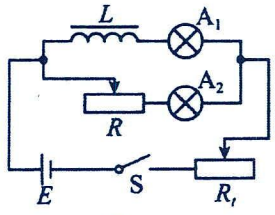
3．图甲、图乙是演示自感现象的实验电路，实验现象明显。下列说法中正确的是（　　）

A．在图甲中，开关 S 闭合时两灯泡同时亮

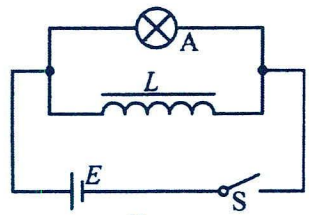
B．在图甲中，仅去掉铁芯后线圈的电感增大

C．在图乙中，开关 S 断开时线圈中产生自感电动势

D．在图乙中，开关 S 断开时灯泡中电流方向不改变



甲

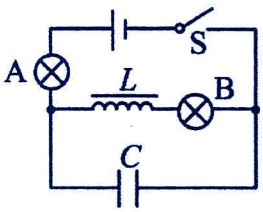


乙

题型四：含容自感

【精选例题】

【例 1】如图所示电路中， A、B 为两个相同灯泡，L 为自感系数较大、电阻可忽略不计的电感线圈，C 为电容较大的电容器，下列说法中正确的是（　　）



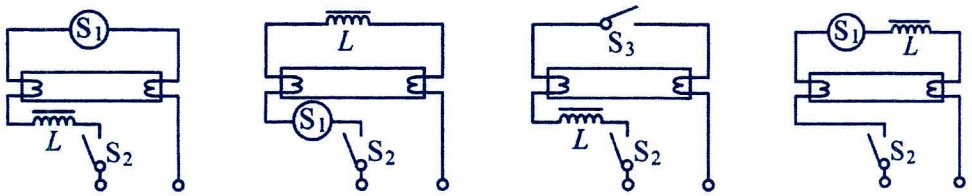
A．接通开关 S，A 立即变亮，最后 A 比 B 亮

B．接通开关 S，B 逐渐变亮，最后 A、B 一样亮

C．断开开关 S，A、B 都立刻熄灭

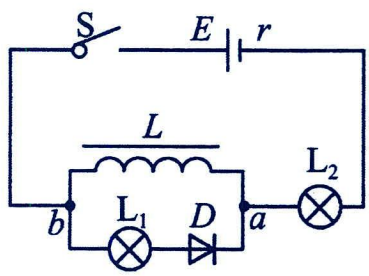
D．断开开关 S，A、B 都逐渐熄灭

【例 2】（多选题）如图所示的四个日光灯的接线图中，S_1 为启动器，S_2、S_3 为电键，L 为镇流器，能使日光灯正常发光的是（　　）



A　　B　　C　　D

【例 3】（多选题）如图，L_1、L_2 为两个相同的灯泡，线圈 L 的直流电阻不计，灯泡 L_1 与理想二极管 D 相连，下列说法中正确的是（　　）



A．闭合开关 S 的瞬间，L_1 和 L_2 都立刻变亮

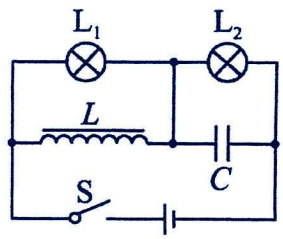
B．闭合开关 S 稳定后，L_1 和 L_2 一样亮

C．断开 S 的瞬间，a 点的电势比 b 点高

D．断开 S 的瞬间，L_1 先变亮后逐渐熄灭，L_2 会立即熄灭

【跟踪训练】

1．（多选题）两个相同的小灯泡 L_1、L_2 和自感线圈 L、电容器 C、开关 S、直流电源连接成如图的电路。已知自感线圈 L 的自感系数很大且直流电阻为零，电容器 C 的电容很大，下列判断正确的是（　）



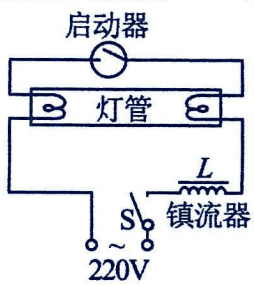
A．开关 S 闭合稳定后，L_1 灯泡熄灭

B．通过自感线圈 L 的电流越大，线圈的自感电动势越大

C．去掉电容器 C，开关 S 闭合待稳定后再断开的瞬间，L_1 和 L_2 灯泡均逐渐熄灭

D．开关 S 闭合待稳定后再断开的瞬间，L_1 灯泡突然亮一下，然后熄灭，L_2 灯泡逐渐熄灭

2．如图，是日光灯的电路图，主要由灯管、镇流器、启动器组成。关于日光灯的原理，下列说法正确的是（　　）



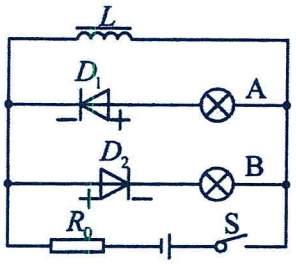
A．闭合开关 S 点燃日光灯管过程中，启动器的双金属片始终是闭合的

B．闭合开关 S 点燃日光灯管过程中，镇流器相当于电阻

C．将镇流器换为定值电阻，闭合开关 S 仍能正常点燃日光灯管

D．将启动器更换为开关 S_1，先闭合开关 S 和 S_1，再断开 S_1，仍有可能点燃日光灯管

3．（多选题）如图所示，线圈 L 的自感系数极大，直流电阻忽略不计；D_1、D_2 是两个二极管，当电流从“+”流向“-”时能通过，反之不通过；R_0 是保护电阻，则（　）



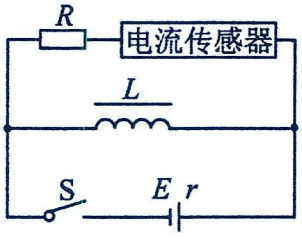
A．闭合 S 之后，A 灯慢慢变亮　　B．闭合 S 之后，B 灯一直不亮

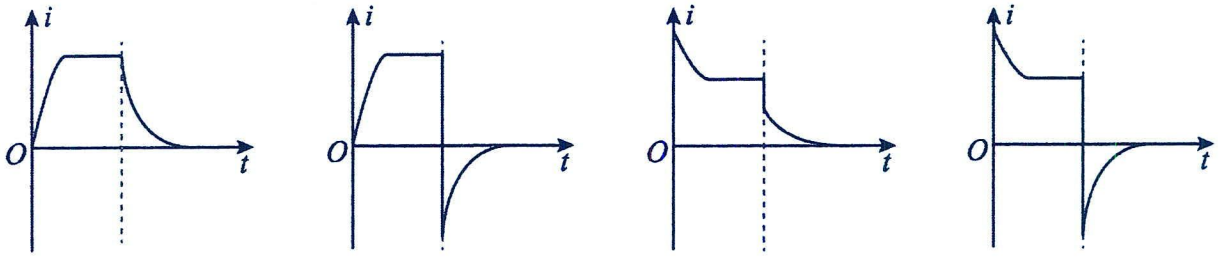
C．断开 S 瞬间，B 灯闪一下再慢慢熄灭　　D．断开 S 瞬间，A 灯闪一下再慢慢熄灭

题型五：自感现象中的图像

【精选例题】

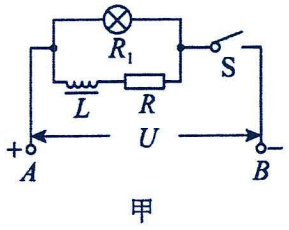
【例 1】如图所示的实验电路中，L 是自感线圈，R 为定值电阻，电源内阻不可忽略。t=0 时闭合开关 S，一段时间后断开开关，则电流传感器所记录的电流 i 随时间 t 变化的图像可能为（　　）



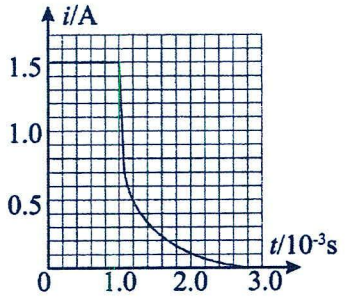


A　　B　　C　　D

【例 2】如图甲所示为研究自感现象的电路图，其中灯泡的电阻 R1=3Ω，定值电阻 $R=1.0\Omega$，A、B 间电压 $U=6.0\text{V}$。闭合 S，电路处于稳定状态；$t=1.0\times10^{-3}\text{s}$ 时断开 S，通过线圈 L 的电流随时间变化的 $i-t$ 图线如图乙所示。下列说法正确的是（　）



甲



乙

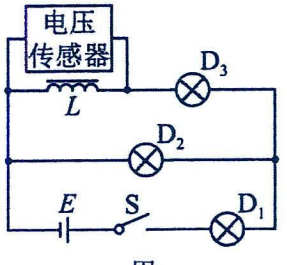
A．线圈 L 的直流电阻为 4Ω

B．断开开关瞬间，通过灯泡的电流方向向左

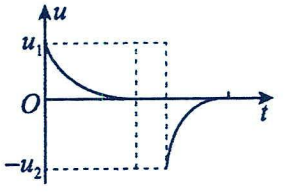
C．断开开关时，可以观察到灯泡闪一下再灭

D．通过电阻 R 的电荷量约为 $2.25\times10^{-3}\text{C}$

【例 3】某同学利用电压传感器来研究电感线圈工作时的特点。图甲中三个灯泡完全相同，不考虑温度对灯泡电阻的影响。在闭合开关 S 的同时开始采集数据，当电路达到稳定状态后断开开关。图乙是由传感器得到的电压 u 随时间 t 变化的图像。不计电源内阻及电感线圈 L 的电阻。下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A．开关 S 闭合瞬间，灯 D_2 和 D_3 同时亮

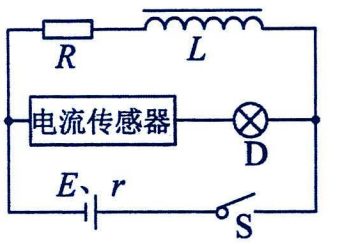
B．开关 S 闭合瞬间至断开前，流经灯 D_1 的电流保持不变

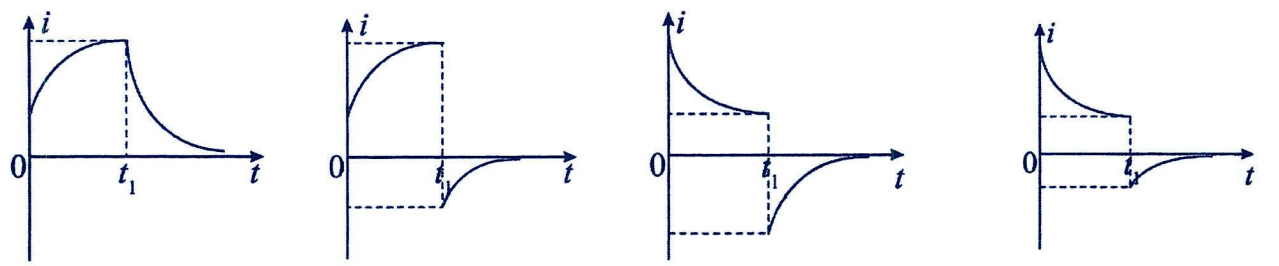
C．开关 S 断开瞬间，灯 D_2 闪亮一下再熄灭

D．根据题中信息，可以推算出图乙中 u_1 与 u_2 的比值

【跟踪训练】

1．如图所示的电路中，电阻 R 的阻值小于灯泡 D 的阻值，规定电流水平向左经过 D 为电流的正方向，已知电感 L 的直流电阻和传感器的电阻忽略不计，灯泡的阻值恒定，$t=0$时闭合开关 S，经过一段时间后，在$t=t_1$时刻断开 S，下列表示电流传感器中的电流 i 随时间 t 变化的图像中正确的是（　　）





A　　B　　C　　D

2．如图 1 所示为演示自感现象的实验电路。实验时，先闭合开关 S，电路达到稳定后，灯泡 A 和 B 处于正常发光状态，在t_0时刻，将开关 S 断开，测量得到t_0时刻前后灯泡 A、B 两端电势差U_{ab}、U_{cd}随时间 t 的变化关系。电源内阻及电感线圈 L 的直流电阻可忽略不计。下列说法正确的是（　　）

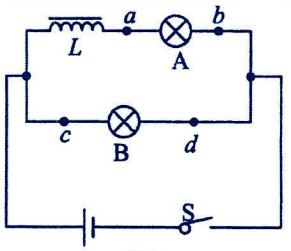


图1

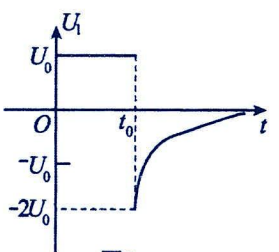


图2

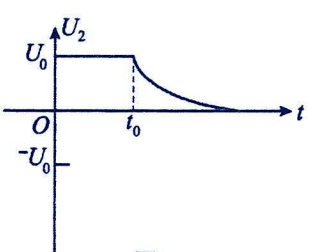


图3

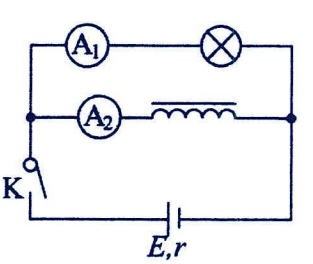
A．图 2 所示为灯泡 A 两端电势差U_{ab}在 S 断开前后随时间的变化关系

B．S 断开瞬间，自感线圈 L 两端电势差大小为U_0

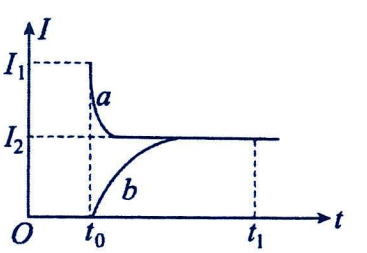
C．由图 1 可知电源电动势为$2U_0$

D．由图 2 和 3 可知两灯泡正常发光时，灯泡 A 的阻值与灯泡 B 的阻值之比为 1∶2

3．（多选题）如图甲所示的电路中，灯泡电阻为 R，A_1、A_2为完全相同的电流传感器（内阻不计）。闭合开关 K，得到如图乙所示的$I-t$图像，电源电动势为 E，内阻 r，则（　）



甲



乙

A．$r=\dfrac{I_1+I_2}{2I_2-I_1}R$　　B．$E=\dfrac{I_1I_2}{2I_2-I_1}R$

C．断开开关时，小灯泡中的电流方向从右向左

D．闭合开关时，自感线圈中电流为零，其自感电动势也为零

第七讲：法拉第电磁感应定律应用——图像专题

解题要点：

一、解题思路

1.常规考向

(1)根据给定的电磁感应过程选择有关图像。

(2)根据给定的图像分析电磁感应过程。

(3)根据某种图像分析判断其它图像。

2.明确图像类别：

(1)各量随时间变化的图像：如 B-t 图像、Φ-t 图像、E-t 图像、I-t 图像、F-t 图像等；

(2)各量随位移变化的图像：如 E-x 图像、I-x 图像等。

3.应用“三定则一定律”确定方向的对应关系。

4.结合法拉第电磁感应定律、闭合电路的欧姆定律、牛顿运动定律等知识写出相应的函数关系式。

5.根据函数关系式，进行数学分析，如分析斜率的变化、截距等。

6.画图像或判断图像。

二、公式储备

(1)感应电动势 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=Blv=\frac{1}{2}Bl^2\omega$

(2)闭合电路的欧姆定律 $I=\frac{E}{R+r}$

(3)安培力的冲量为： $I_{安}=B\bar{I}Lt=BLq$

(4)通过导体棒或金属框的电荷量为： $q=\bar{I}\Delta t=\frac{\bar{E}}{R_{总}}\Delta t=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t\cdot R_{总}}\cdot\Delta t=n\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$

(5)磁通量变化量： $\Delta\Phi=B\Delta S=BLx$

三、方法与技巧

(1)排除法：定性地分析电磁感应过程中物理量的变化趋势(增大还是减小)、变化快慢(均匀变化还是非均匀变化)，特别是分析物理量的正负，以排除错误的选项。

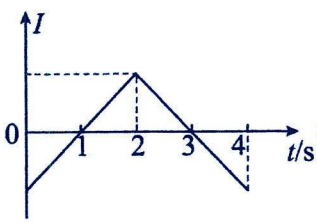
(2)函数法：根据题目所给条件定量地写出两个物理量之间的函数关系，然后由函数关系对图像进行分析和判断。

考点一：感生电动势相关图像

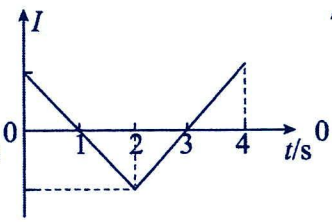
题型一：感生电动势相关图像

【精选例题】

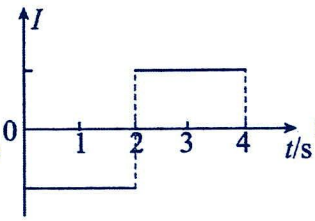
【例 1】在竖直方向的匀强磁场中，水平放置一圆形导体环.规定导体环中电流的正方向如图所示，磁场方向向上为正。当磁感应强度 B 随时间 t 按乙图变化时，下列关于导体环中感应电流随时间变化的图像正确的是（　　）



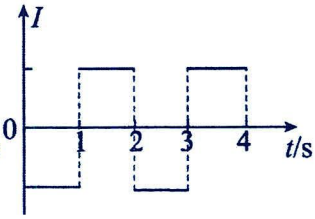
A



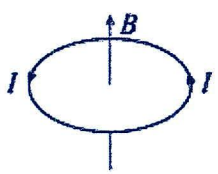
B



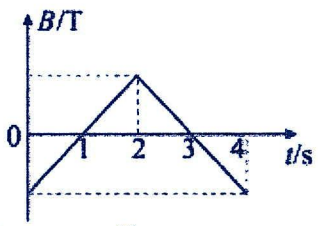
C



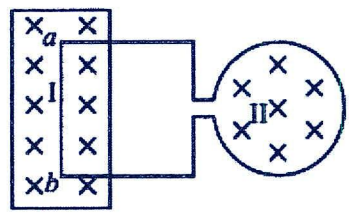
D



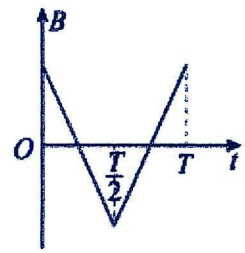
甲



例 1　乙

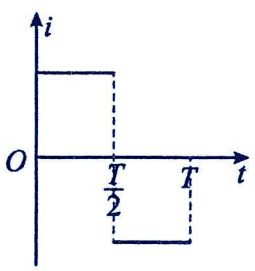


甲

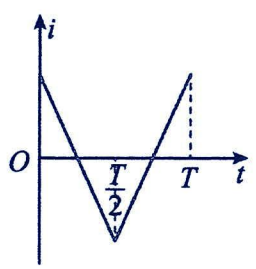


例 2　乙

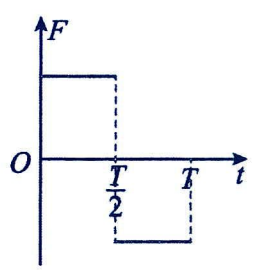
【例 2】（多选题）将一段导线绕成图甲的闭合电路，并固定在水平面（纸面）内，回路的 ab 边置于垂直纸面向里的匀强磁场 I 中，回路的圆形区域内有垂直纸面的磁场 II，以向里为磁场 II 的正方向，其磁感应强度 B 随时间 t 变化的图像如图乙，用 i 表示回路中的电流，以顺时针为电流 i 的正方向。用 F 表示 ab 边受到的安培力，以水平向左为 F 的正方向，能正确反映 i 和 F 分别随时间 t 变化的图像是（　　）



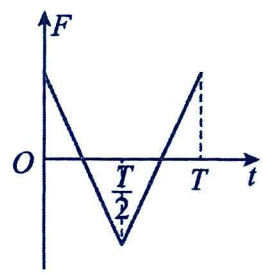
A



B

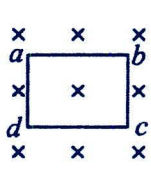


C

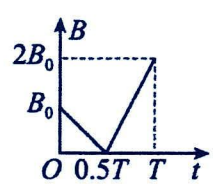


D

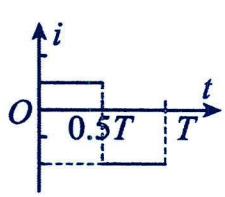
【例 3】如图甲所示，单匝矩形线圈 *abcd* 垂直固定在匀强磁场中。规定垂直纸面向里为磁感应强度的正方向，磁感应强度随时间变化的规律如图乙所示。以逆时针方向为电流正方向，以向右方向为安培力正方向，下列关于 *bc* 段导线中的感应电流 i 和受到的安培力 F 随时间变化的图像正确的是（　　）



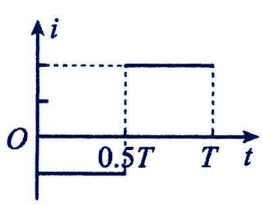
甲



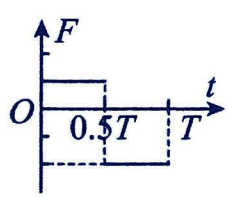
乙



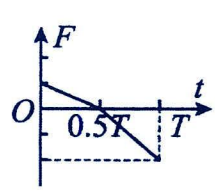
A



B

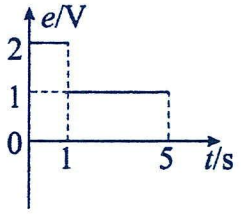


C

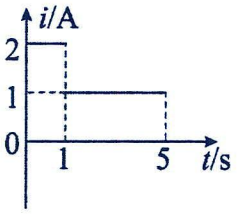


D

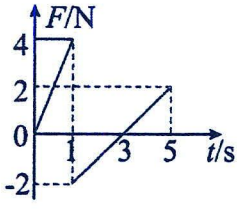
【例 4】（多选题）如图甲所示，正方形线圈 abcd 内有垂直于线圈的匀强磁场，已知线圈匝数 n＝10，边长 ab＝1m，线圈总电阻 r＝1Ω，线圈内磁感应强度随时间的变化情况如图乙所示。设图示的磁场方向与感应电流方向为正方向，则下列有关线圈的电动势 e、感应电流 i、焦耳热 Q 以及 ab 边的安培力 F（取向下为正方向）随时间 t 的变化图像正确的是（　　）



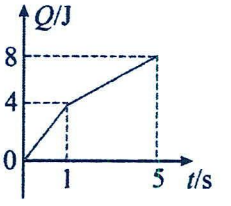
A



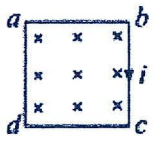
B



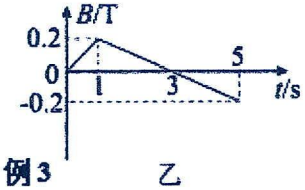
C



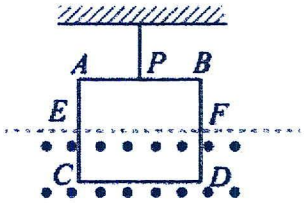
D



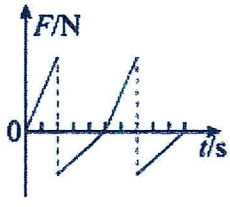
甲



例 3　乙



甲

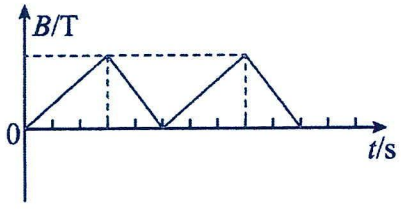


题 1　乙

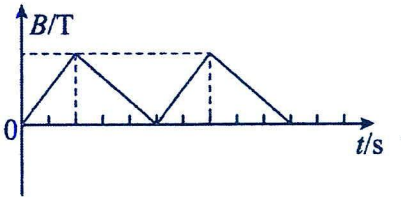
【跟踪训练】

1.（多选题）如图甲所示，一个矩形金属框 ABCD 通过细杆悬挂在竖直平面内，悬点 P 为 AB 边中点。金属框边 AB 水平，平行 AB 边的虚线 EF 下方存在有随时间变化的匀强磁场，磁场范围足够大、方向垂直纸面（竖直平面）。若金属框的重量忽略不计，规定金属框所受安培力向上为正方向，$t=0$ 时起，金属框所受安培力 F 随时间 t 的变化图像如图乙所示。取垂直纸面向外为磁感应强度的正方向，则 $t=0$ 时刻起磁感应强度 B 随时间 t 的变化图像可能正确的是（　　）

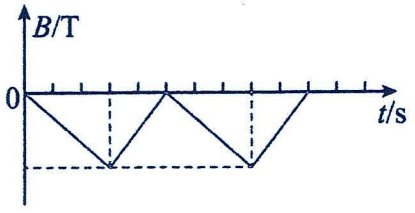
A.



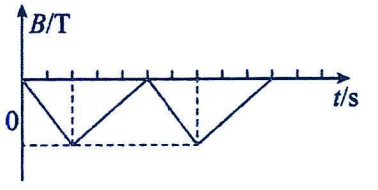
B.



C.

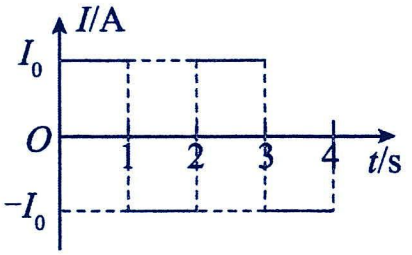


D.

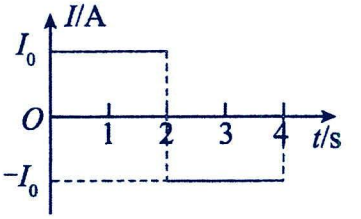


2．如图甲所示，导体框架 abcd 放置于水平面内，ab 平行于 cd，导体棒 MN 与两导轨垂直并与导轨接触良好，整个装置放置于垂直于框架平面的磁场中，磁感应强度 B 随时间 t 变化规律如图乙所示，MN 始终保持静止。规定竖直向上为磁场正方向，沿导体棒由 N 到 M 为感应电流 I 正方向，水平向右为导体棒所受安培力 F 的正方向，下列图像中正确的是（ ）

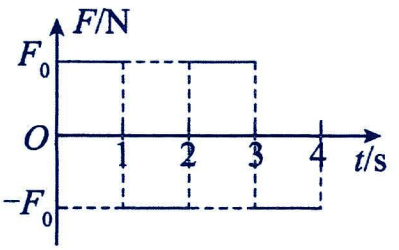
A.



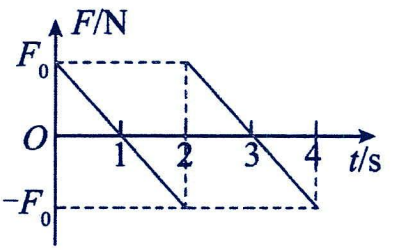
B.

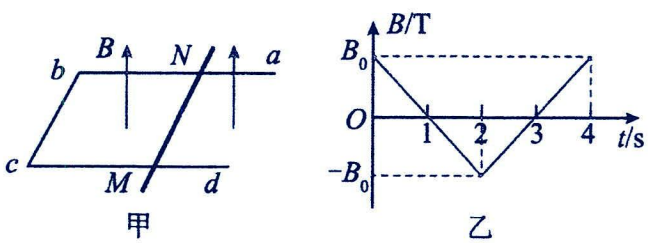


C.

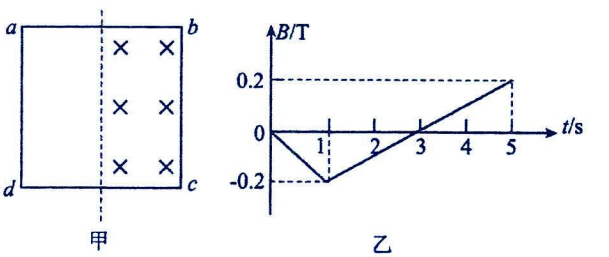


D.





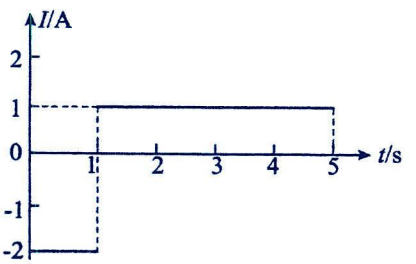
题 2



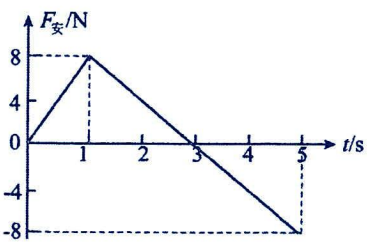
题 3

3．如图甲所示，正方形线圈 abcd 内右半部分存在垂直于线圈的匀强磁场，已知线圈匝数 $n=10$，边长 $L=2\text{m}$，线圈总电阻 $r=2\Omega$，线圈内磁感应强度随时间的变化情况如图乙所示，线圈始终静止在粗糙的水平面。规定垂直平面向里为磁场的正方向，则线圈产生的感应电流 I（规定顺时针为电流正方向）、受到的安培力 $F_{安}$（取向右为正方向）、受到的摩擦力 f（取向右为正方向）和产生的焦耳热 Q 随时间 t 变化的图像，正确的是（ ）

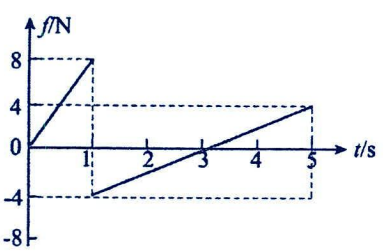
A.



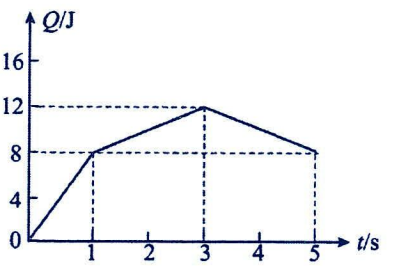
B.



C.



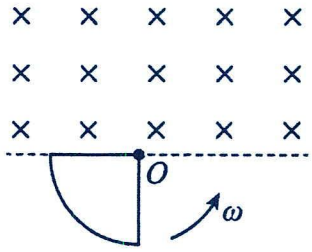
D.



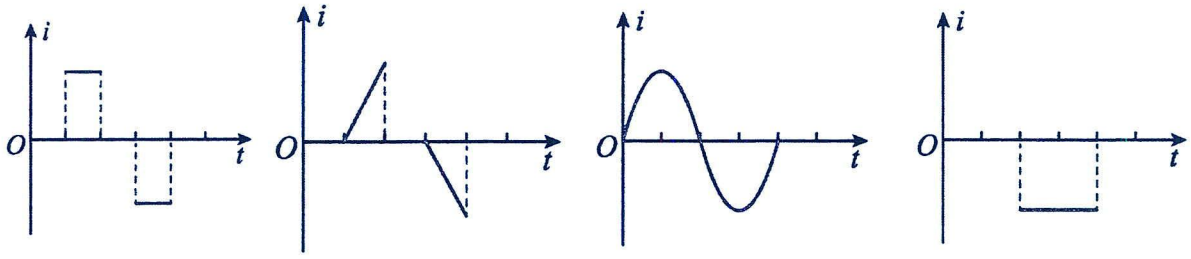
考点二：动生电动势相关图像

题型一：i-t 图像与 i-x 图像

【精选例题】

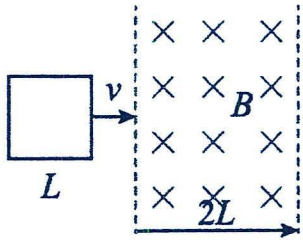


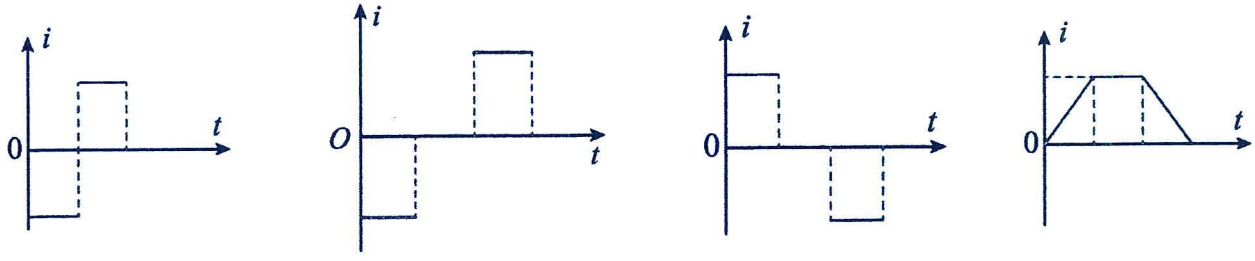
【例 1】如图所示，虚线上方空间有垂直线框平面的匀强磁场，直角扇形导线框绕垂直于线框平面的轴 O 以角速度 ω 匀速转动。设线框中感应电流方向以逆时针为正，那么在图中能正确描述线框从图中所示位置开始转动一周的过程中线框内感应电流随时间变化情况的是（　　）



A　　B　　C　　D

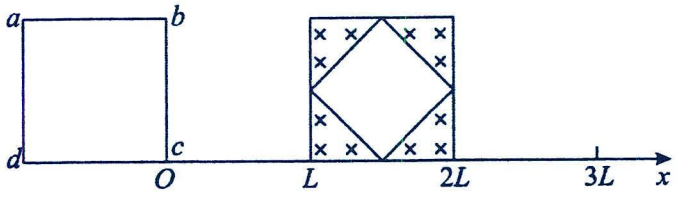
【例 2】如图所示，一边长为 L 的正方形导线框，匀速穿过宽为 $2L$、方向垂直于纸面向里的匀强磁场区域。线框刚进入磁场的时刻记为 $t=0$ 时刻，则下列图像能正确反映线框中的感应电流 i 随时间 t 变化规律的是（规定线框中的电流沿顺时针方向为正）（　　）

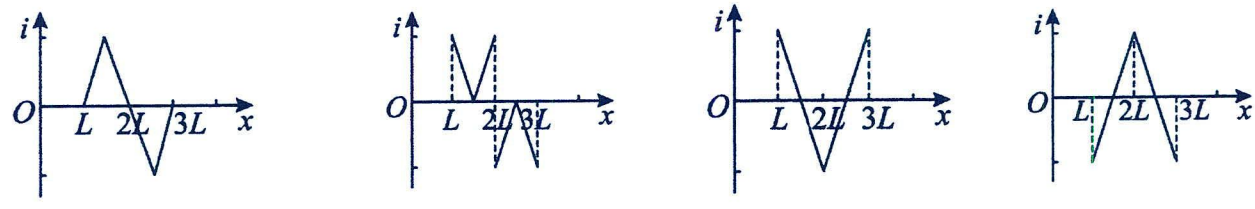




A　　B　　C　　D

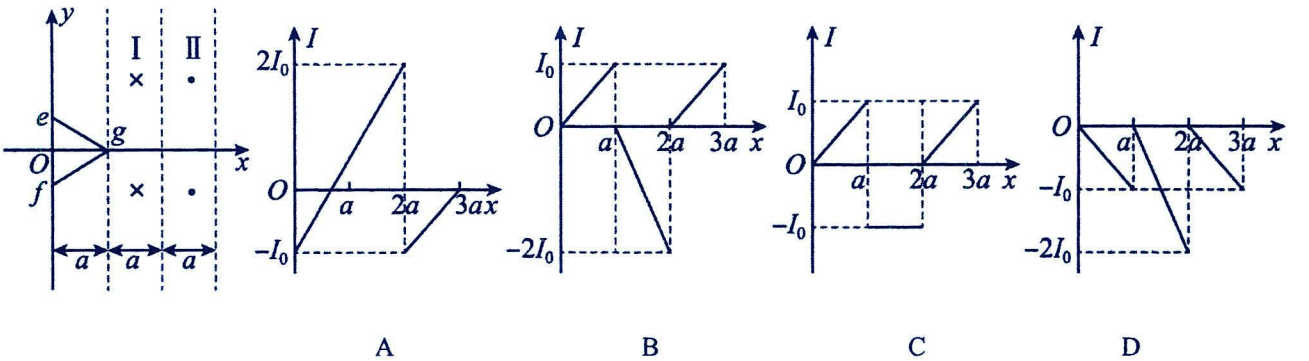
【例 3】如图所示，在两个正方形之间的四个相同三角形区域内分布着如图所示的方向垂直纸面向里的匀强磁场，两正方形边长分别为 L 和 $\frac{\sqrt{2}}{2}$L。一边长为 L 的正方形线框 abcd 如图放置，其 c 点恰好在 x 轴原点 O，线框从该位置开始沿 x 轴正方向以速度 v 匀速穿过磁场区域。取线框中沿逆时针方向的感应电流为正，则表示线框中电流 i 随 bc 边的位置坐标 x 变化的图象是（　　）





A　　B　　C　　D

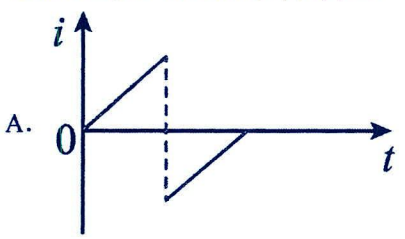
【例 4】如图所示，在区域I、II中分别有磁感应强度大小相等、垂直纸面但方向相反、宽度均为a的匀强磁场区域。高为a的正三角形线框 efg 从图示位置沿x轴正方向匀速穿过两磁场区域，以逆时针方向为电流的正方向，下列图像中能正确描述线框 efg 中感应电流I与线框移动距离x关系的是（　　）

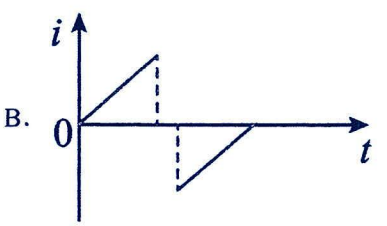


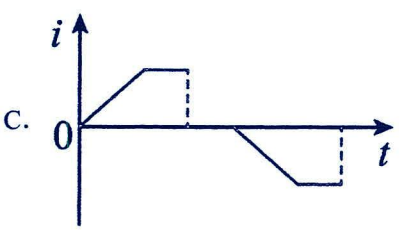
A　　B　　C　　D

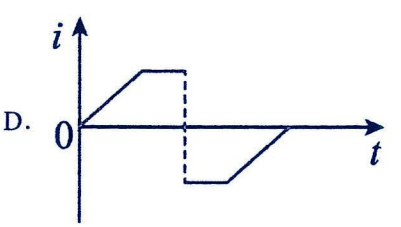
【跟踪训练】

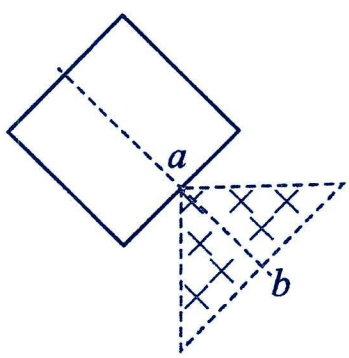
1．如图所示，一个直角边长为l的等腰直角三角形虚线框内有垂直于纸面向里的匀强磁场，一个边长也为l的正方形导线框所在平面与磁场方向垂直，三角形的高ab与导线框的一条边垂直，ba的延长线平分导线框。在$t=0$时，使导线框从图示位置开始以恒定速度沿ab方向移动，直到整个导线框离开磁场区域。i表示导线框中感应电流的强度，取逆时针方向为正。下列关于感应电流的强度i随时间t变化关系的图像中，可能正确的是（　　）



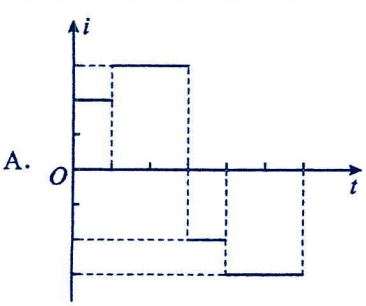


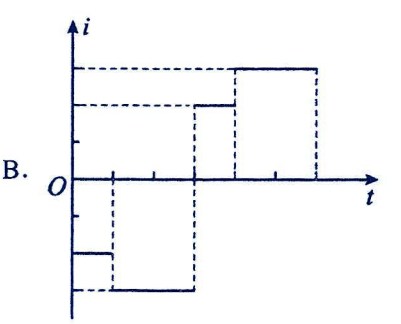


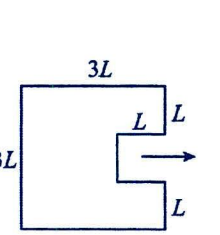


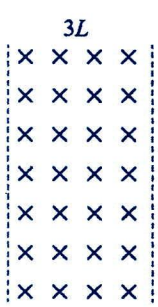


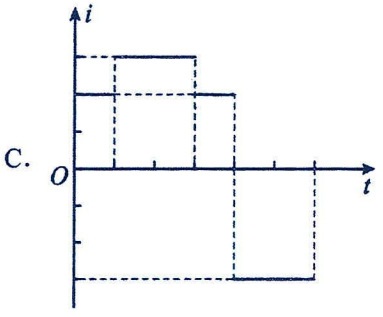
2．如图所示，“凹”字形金属线框右侧有一宽度为 3L 的匀强磁场区域，磁场方向垂直于纸面向里。线框在纸面内向右匀速通过磁场区域，t=0 时，线框开始进入磁场。设逆时针方向为感应电流的正方向，则线框中感应电流 i 随时间 t 变化的图像可能正确的是（　　）

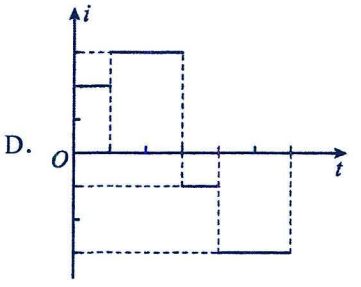




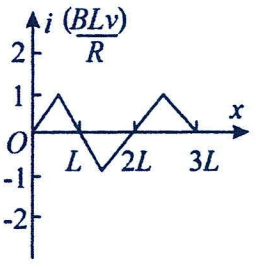




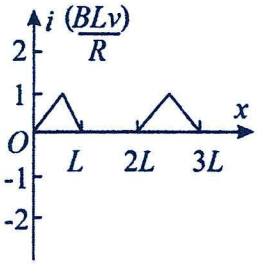




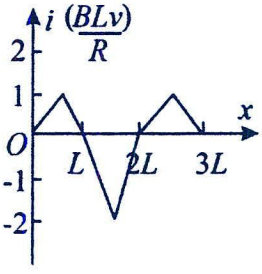
3．如图所示为两个底边和高都是 L 的等腰三角形，三角形内均分布方向如图所示的匀强磁场，磁感应强度大小为 B．一边长为 L、电阻为 R 的正方形线框置于三角形所在平面内，从图示位置开始沿 x 轴正方向以速度 v 匀速穿过磁场区域．取逆时针方向感应电流为正，则线框中电流 i 随 bc 边的位置坐标 x 变化的图象正确的是



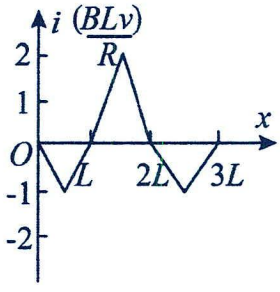
A



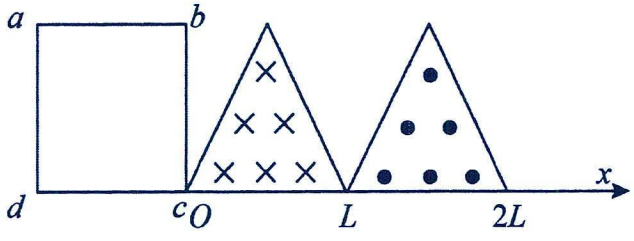
B



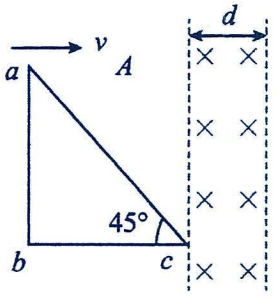
C



D

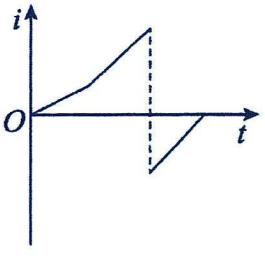


题 3

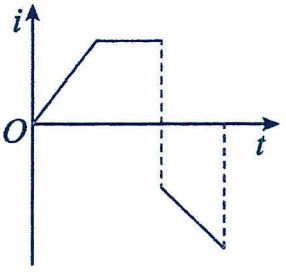


题 4

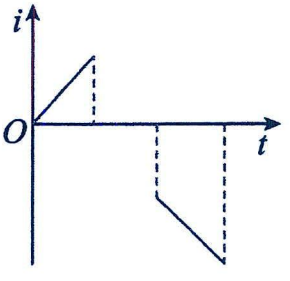
5．如图所示，一个平行于纸面的等腰直角三角形导线框，两直角边的长度均为 $2d$，水平向右匀速穿过宽度为 d 的匀强磁场区域，线框中产生随时间变化的感应电流 i，规定逆时针方向为感应电流的正方向，则下列 $i-t$ 图像可能正确的是（　　）



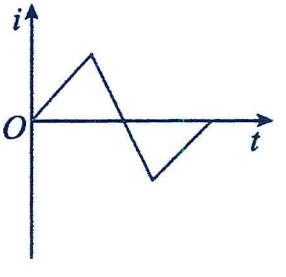
A



B

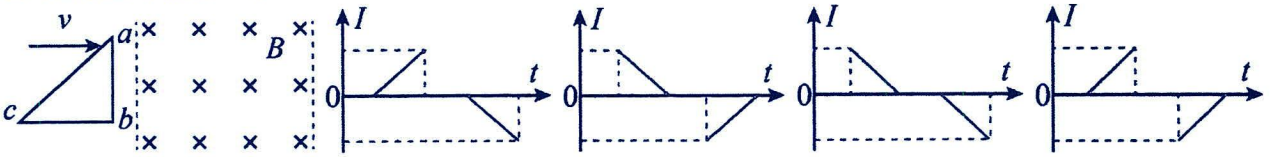


C



D

5．如图所示。直角三角形导线框 abc 以大小为 v 的速度匀速通过有清晰边界的匀强磁场区域（匀强磁场区域的宽度大于导线框的边长），则此过程中导线框中感应电流（电流以逆时针方向为正）随时间变化的规律为下列四个图像当中的哪一个（　　）

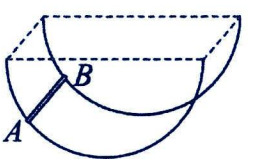


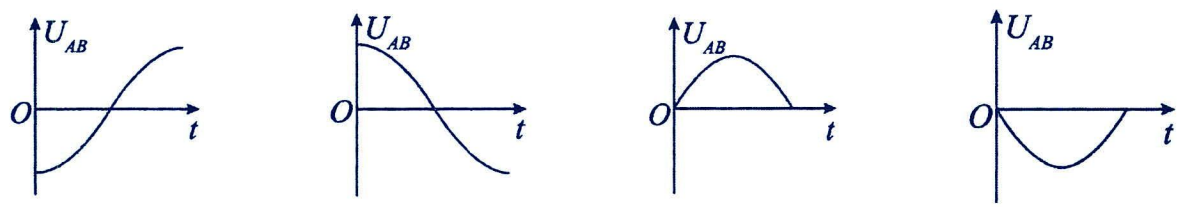
A　　B　　C　　D

题型二：E-t 图像与 E-x 图像

【精选例题】

【例 1】两个完全相同的电阻不计的半圆形轨道竖直正对放置，轨道左右最高点与圆心等高，金属棒 AB 垂直两轨道水平放置，金属棒长与两轨道间距相等，空间存在竖直向下的匀强磁场（未画出）。金属棒在外力作用下沿轨道从左侧最高点向右侧最高点做匀速圆周运动，下列图像中能表示棒两端的电势差 U_{AB} 随时间 t 的变化关系的是（　　）

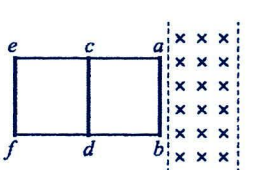


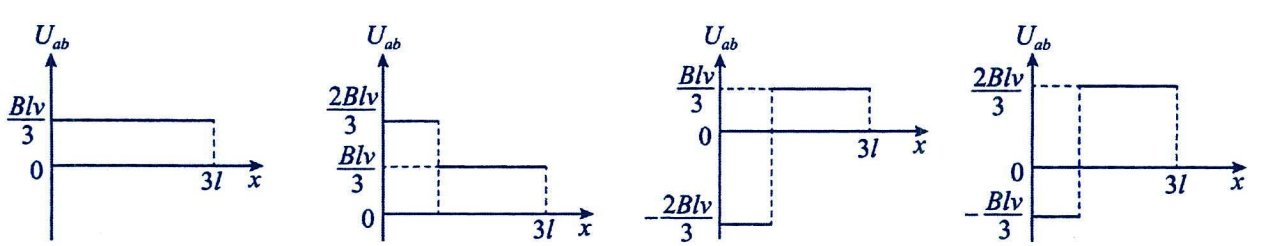


A　　B　　C　　D

【跟踪训练】

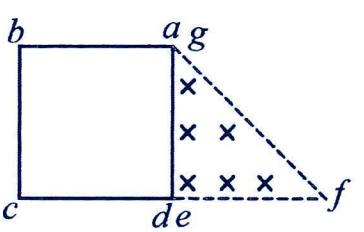
1．如下图，$abcdef$ 为“日”字形导线框，其中 $abdc$ 和 $cdfe$ 均为边长为 l 的正方形，导线 ab、cd、ef 的电阻相等，其余部分电阻不计。导线框右侧存在着宽度略小于 l 的匀强磁场，磁感应强度为 B，导线框以速度 v 匀速穿过磁场区域，运动过程中线框始终和磁场垂直且无转动。线框穿越磁场的过程中，ab 两点电势差 U_{ab} 随位移变化的图像正确的是（　　）

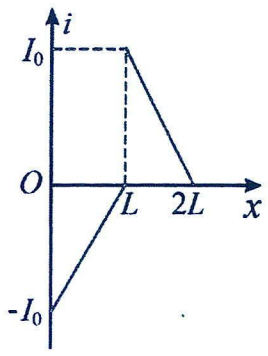




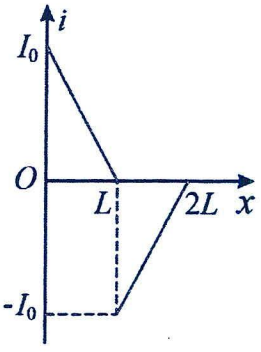
A　　B　　C　　D

2．如图，在直角边长为 L 的等腰直角三角形区域 efg 内存在垂直纸面向里的匀强磁场，电阻为 R、边长也为 L 的正方形导线框 $abcd$ 在纸面上向右匀速运动，cd、ef 始终在同一直线上。取逆时针方向的电流为正，在线框通过磁场的过程中，其感应电流 i 和 bc 间电势差 u_{bc} 随位移 x 变化的图像可能正确的是（　）

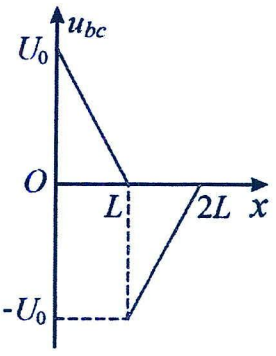




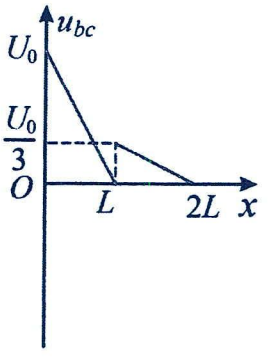
A



B



C

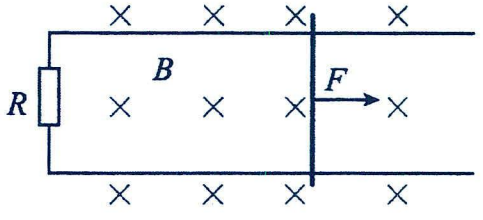


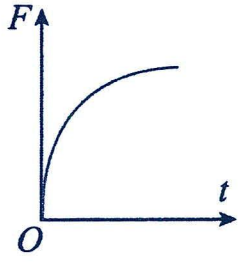
D

题型三：F-t 图像与 F-x 图像

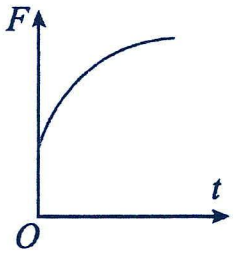
【精选例题】

【例 1】如图所示，水平放置的“⊏”型光滑金属导轨处在竖直向下的匀强磁场中，左端接有电阻 R。一金属杆与导轨垂直放置，且接触良好，在外力 F 作用下由静止开始做匀加速运动。不计导轨和金属杆的电阻。关于外力 F 随时间 t 变化的图像正确的是（　　）

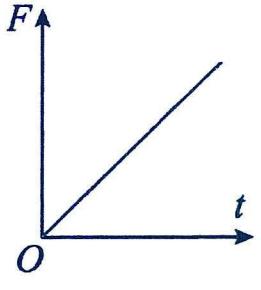




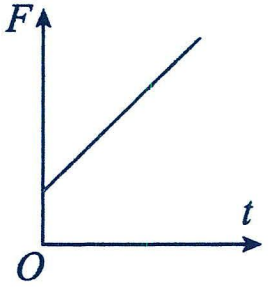
A



B

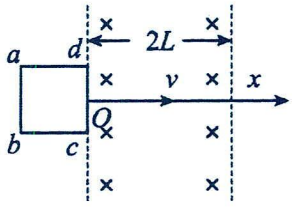


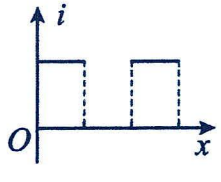
C



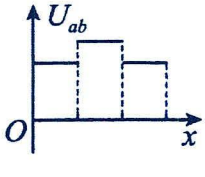
D

【例 2】如图所示，空间存在垂直于纸面向里的有界匀强磁场，磁场区域宽度为$2L$，以磁场左边界上的一点为坐标原点，建立x轴。一边长为L的正方形金属线框$abcd$在外力作用下以速度v匀速穿过匀强磁场。从线框的cd边刚进磁场开始计时，线框中产生的感应电流 i、线框的ab边两端的电压U_{ab}、线框所受的安培力 F、穿过线框的磁通量Φ随位移x的变化图像正确的是（规定逆时针电流方向为正，安培力方向向左为正）（　　）

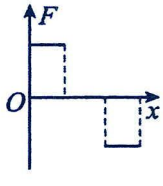




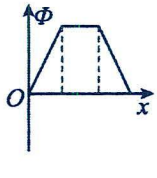
A



B



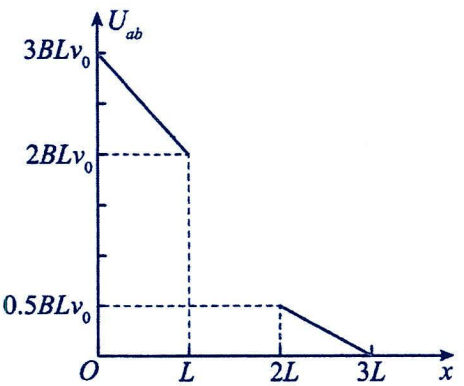
C



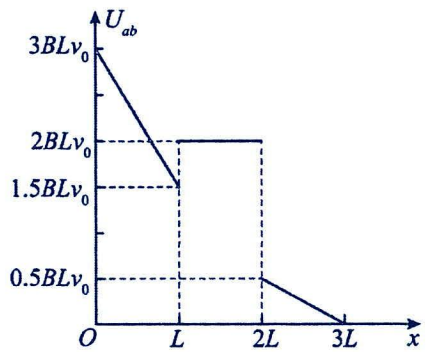
D

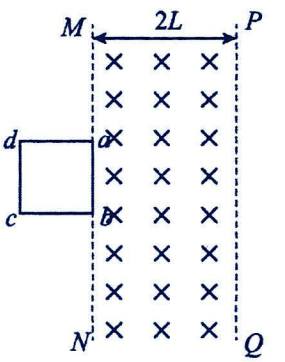
【例 3】（多选题）在光滑绝缘的水平面上两相互平行的边界 MN、PQ，边界内有竖直向下的匀强磁场。紧靠 MN 有一用均匀导线绕制的正方形金属板 abcd，如图所示（俯视图）。已知线框边长为 L，电阻为 R，磁场磁感应强度大小为 B、磁场宽度为 2L。现给线框一初速度 $4v_0$，线框刚好能穿过磁场区域。则从线框 ab 边刚进入磁场到 cd 边刚出磁场的过程中，ab 边电压 U_{ab} 和线框所受安培力 F 随位移 x 变化的规律图像正确的是（　）

A.

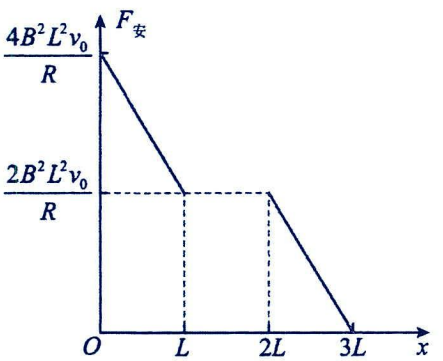


B.

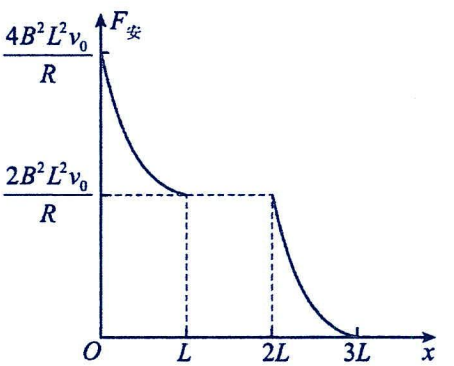




C.

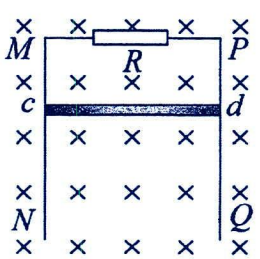


D.

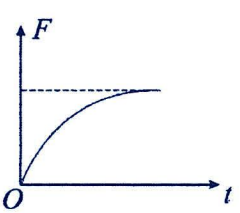


【跟踪训练】

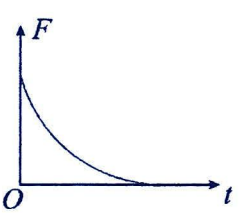
1．如图所示，MN 和 PQ 是竖直放置的两根平行光滑金属导轨，导轨足够长且电阻不计，MP 间接有一定值电阻 R，电阻为 r 的金属杆 cd 保持与导轨垂直且接触良好。杆 cd 由静止开始下落并开始计时，杆 cd 两端的电压 U、杆 cd 所受安培力的大小 F 随时间 t 变化的图像，合理的是（　　）



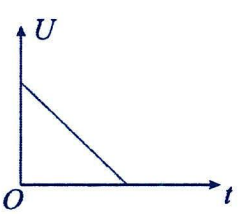
A



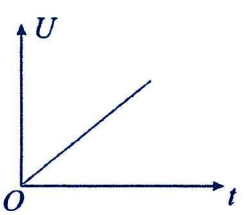
B



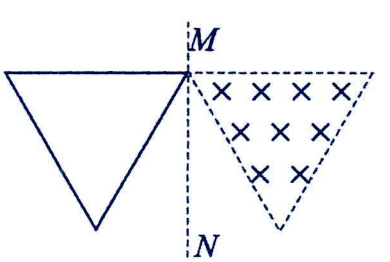
C

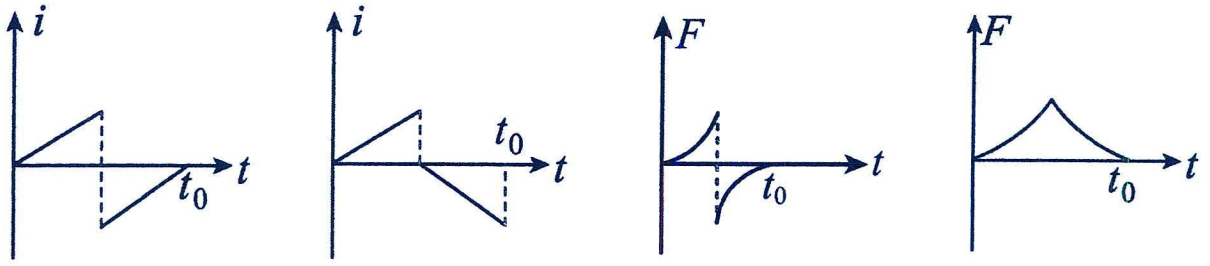


D



2．（多选题）如图所示，MN 右侧有一正三角形匀强磁场区域（边缘磁场忽略不计），上边界与 MN 垂直，现有一与磁场边界完全相同的三角形导体框，从图示位置垂直于 MN 匀速向右运动，导体框穿过磁场过程中所受安培力 F 随时间变化的图象，以及框中导体的感应电流 i 随时间变化的图象正确的是（取安培力向左为正，逆时针电流为正）

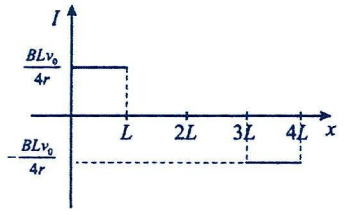




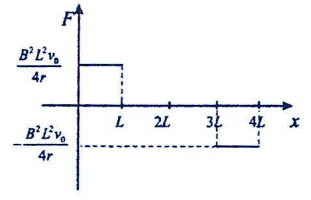
A　　B　　C　　D

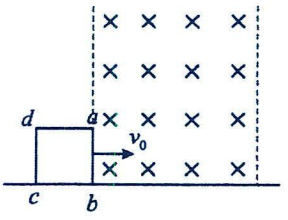
3．如右图所示，边长为 L 的正方形导向框 abcd，每边电阻均相等，在外力的作用下沿光滑的水平面以 v_0 匀速穿过匀强磁场区域，磁场的宽度为 3L，下列关于导线中电流 I 随时间变化图像（规定顺时针为正），外力 F 随时间变化图像（水平向左为正），ab 两点电压随时间的变化图像可能正确的是（　　）

A.

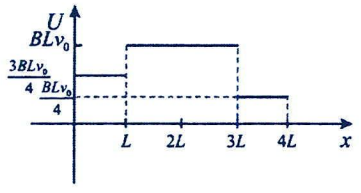


B.

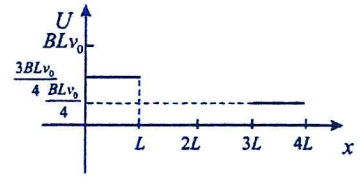




C.



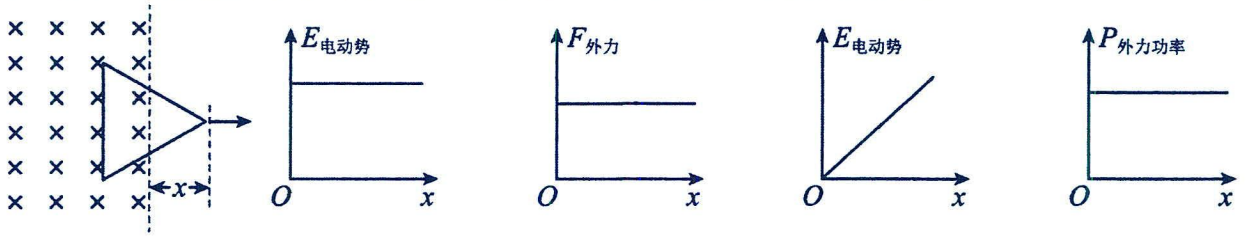
D.



题型四：图像综合

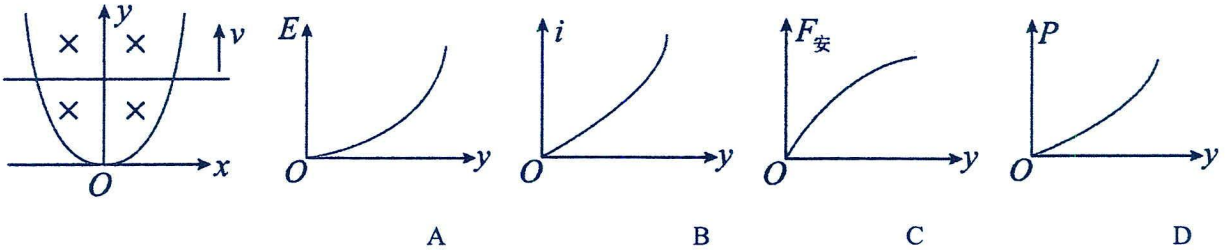
【精选例题】

【例 1】边长为 a 的闭合金属正三角形框架，左边竖直且与磁场右边界平行，完全处于垂直于框架平面向里的匀强磁场中，现把框架匀速水平向右拉出磁场，则下列图像与这一过程相符合的是（　　）



A　　B　　C　　D

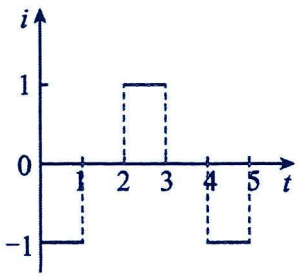
【例 2】如图，xOy 坐标平面内有一顶点在原点的抛物线形金属导轨，在导轨围成的区域内有垂直坐标平面的匀强磁场。$t=0$ 时刻，有一足够长的粗细均匀的金属棒从原点出发沿 $+y$ 方向以恒定速度 v 平移（棒保持垂直于 y 轴），金属棒与导轨接触良好，不计导轨电阻。则在平移过程中，关于金属棒上产生的电动势 E、金属棒中的感应电流 i、金属棒所受安培力 $F_{安}$ 以及金属棒的电功率 P 随纵坐标 y 的变化规律，下列图像可能正确的是（ ）



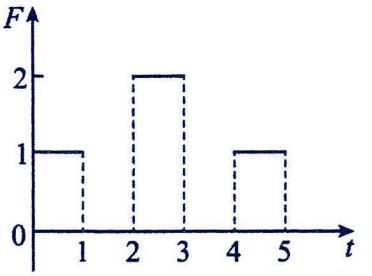
A　　B　　C　　D

【例 3】如图所示，在光滑的水平面上有两个磁感应强度大小均为 B、方向相反的竖直匀强磁场区域，磁场宽度均为 2L。一个边长为 L、电阻为 R 的正方形单匝闭合线圈 *abcd* 在外力作用下，以速度 v 向右匀速通过整个磁场，i 表示电路中的感应电流，F 表示外力，U_{ab} 表示 ab 两点间的电势差，P 表示线圈的热功率。规定顺时针方向为感应电流的正方向，向右为力的正方向，线圈从图示位置开始运动，则下列图像中正确的是（　）

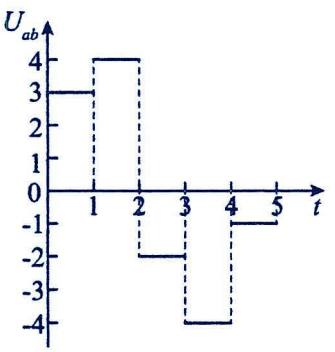
A.



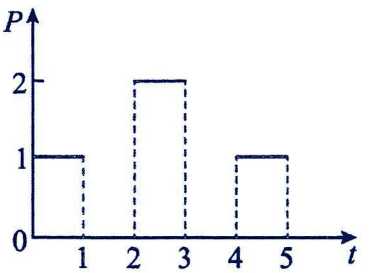
B.

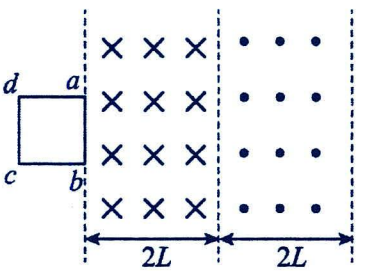


C.



D.

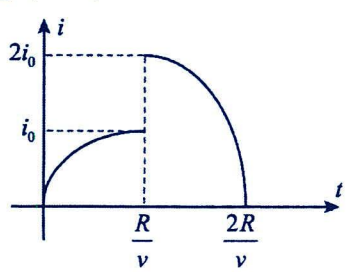




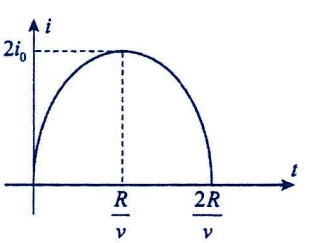
【跟踪训练】

1.（多选题）如图所示，水平桌面上有一个半径为 *R* 的导线框，虚线 *MN* 右侧存在垂直于桌面向下的匀强磁场。导线框在外力 *F* 的作用下沿垂直 *MN* 方向匀速进入磁场区域，以初始位置为计时起点，规定：电流沿逆时针方向时的为正，外力 *F* 向右为正，则以下关于线框中的感应电流 i、外力 *F* 、电功率 *P* 随时间变化的图像可能正确的是（　　）

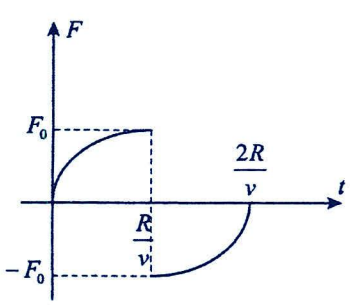
A.



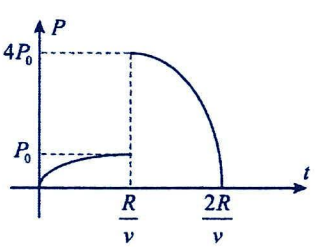
B.

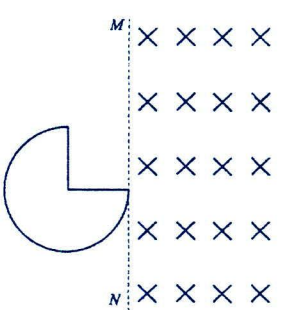


C.



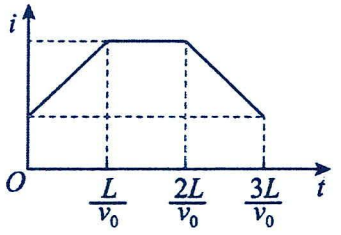
D.



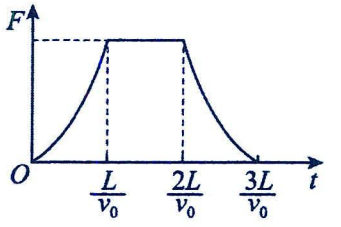


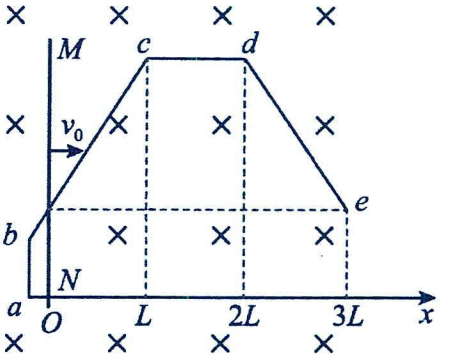
2．如图，两光滑导轨水平放置在竖直向下的匀强磁场中，一根导轨位于 x 轴上，另一根由 ab、bc、cd、de 四段直导轨组成，其中 cd 段与 x 轴平行。导轨上一金属棒 MN 沿 x 轴正向以速度 v_0 保持匀速运动，$t=0$ 时刻通过坐标原点 O，金属棒始终与 x 轴垂直。设运动过程中通过导体棒的电流强度为 i，金属棒受到安培力的大小为 F，金属棒克服安培力做功的功率为 P，金属棒 MN 两端的电压为 U，导轨与金属棒接触良好，忽略导轨的电阻，金属棒电阻不可忽略，金属棒的长度大于 cd 与 x 轴间的距离。下列图像可能正确的是（　　）

A.

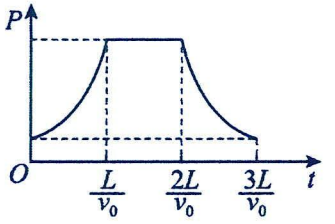


B.

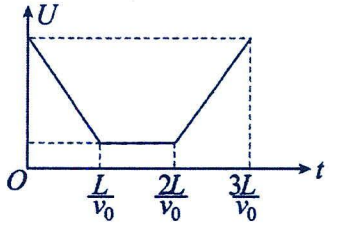




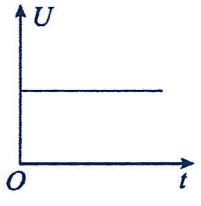
C.



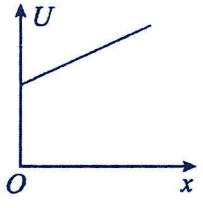
D.



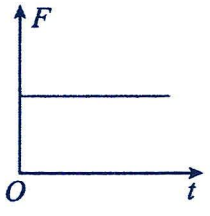
3．如图所示，两根足够长的平行金属导轨位于水平的 xOy 平面内，导轨与 x 轴平行，左端接有电阻 R。在 x>0 的一侧存在竖直向下的磁场，磁感应强度 B 随空间均匀变化，满足 $B=B_0+kx$（k>0 且为定值）。一金属杆与导轨垂直放置，且接触良好，在外力作用下沿 x 轴正方向匀速运动。t=0 时金属杆位于 x=0 处，不计导轨和金属杆的电阻。图 2 中关于金属杆两端的电压 U 和所受安培力 F 大小的图像正确的是（　　）



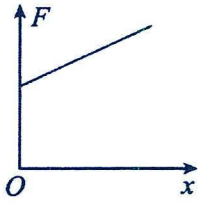
A



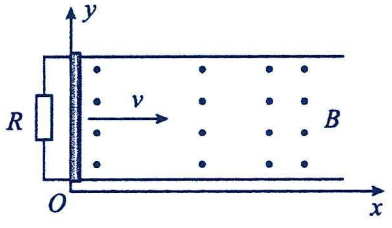
B



C



D



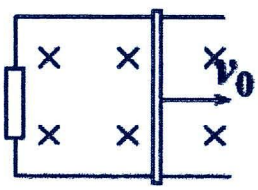
第八讲：法拉第电磁感应定律应用——线框模型与杆模型

考点一：导轨间距不变的单杆模型

题型一：阻尼式单杆模型

解题要点：

如图甲，质量为 m，电阻为 r 的导体棒以初速度 v_0 滑上水平粗糙导轨，动摩擦因数为μ，导轨间距为 L，外接电阻为 R。相关分析如下：

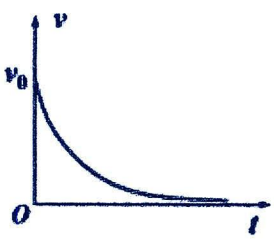


甲

1．电路特点：导体棒相当于电源，当速度为 v 时，电动势 E=BLv

2．安培力的特点：**安培力为阻力，并随速度减小而减小：** $F_{安}=BIL=\frac{B^2L^2v}{R+r}$

3．加速度特点：加速度随速度减小而减小，v-t 图像如图乙；$a=\frac{B^2L^2v}{m(R+r)}+\mu g$



乙

4．最终状态：静止

5．运动过程中的三个规律

(1)电荷量： $q=\bar{I}\Delta t=\frac{\bar{E}}{R_{总}}\Delta t=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t\cdot R_{总}}\cdot\Delta t=\frac{\Delta\Phi}{R+r}=\frac{BLx}{R+r}$

(2)能量关系：$-\mu mgx-Q=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$。（最终静止时，v=0）

外电阻产生的焦耳热：$\frac{Q_R}{Q}=\frac{R}{R+r}$

(3)动量关系： $\mu mg\Delta t+BLq=\mu mg\Delta t+\frac{B^2L^2x}{R+r}=mv_0-mv$。（最终静止时，v=0）

推导如下：安培力的冲量：$\bar{F}\Delta t=B\bar{I}L\Delta t=BLq$——①

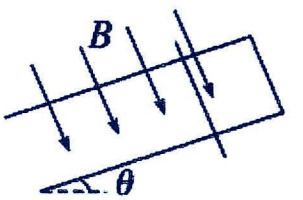
对导体棒分析，由动量定理有：$-\mu mg\Delta t-B\bar{I}L\Delta t=-\mu mg\Delta t-BLq=mv-mv_0$——②

闭合电路欧姆定律$\bar{I}=\frac{\bar{E}}{R+r}$——③

平均感应电动势：$\bar{E}=BL\bar{v}$——④

位移：$x=\bar{v}t$——⑤

联立①②③④⑤得：$\mu mg\Delta t+\frac{B^2L^2x}{R+r}=mv_0-mv$



丙

若为倾斜粗糙轨道，如图丙，表达式为： $mg\cdot\sin\theta\cdot\Delta t-\mu mg\cdot\cos\theta\cdot\Delta t-\frac{B^2L^2x}{R+r}=mv-mv_0$

【精选例题】

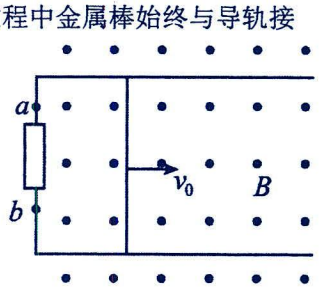
【例 1】（多选题）如图所示，间距为L的两足够长平行光滑金属导轨固定在绝缘水平面上，两导轨左端连接阻值为$3R$的电阻，一质量为m、电阻为R、长为L的金属棒垂直导轨放置，整个装置处于竖直向上、磁感应强度大小为B的匀强磁场中，导轨电阻不计。现使金属棒以v_0的初速度向右运动，运动过程中金属棒始终与导轨接触良好，则在金属棒运动过程中（　　）

A．通过电阻的电流方向为$a\to b$

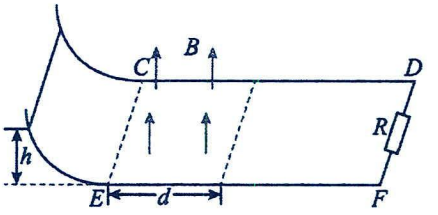
B．金属棒两端电压的最大值为$\frac{3BLv_0}{4}$

C．通过电阻的电荷量为$\frac{mv_0}{BL}$

D．金属棒上产生的焦耳热为$\frac{1}{2}mv_0^2$



【例 2】（多选题）CD、EF 是两条水平放置的电阻可忽略的平行金属导轨，导轨间距为 L，在水平导轨的左侧存在磁感应强度方向垂直导轨平面向上的匀强磁场，磁感应强度大小为 B，磁场区域的长度为 d，如图所示。导轨的右端接有一电阻 R，左端与一弯曲的轨道平滑连接。将一阻值也为 R 的导体棒从弯曲轨道上 h 高处由静止释放，以速度 v 进入水平轨道，导体棒最终恰好停在磁场的右边界处。已知导体棒与导轨接触良好，且动摩擦因数为μ，则下列说法中正确的是（　）



A．导体棒在弯曲轨道上下滑的过程中克服摩擦力所做的功为$\frac{1}{2}mv^2-mgh$

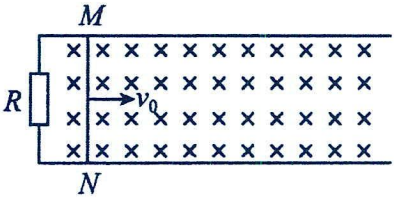
B．流过电阻 R 的电荷量为$\frac{BLd}{2R}$

C．整个电路中产生的焦耳热为$\frac{1}{2}mv^2$

D．导体棒在水平轨道上运动的时间为$\frac{v}{\mu g}-\frac{B^2L^2d}{2\mu mgR}$

【跟踪训练】

1．水平面上放置两个互相平行的足够长的金属导轨，间距为 d，电阻不计，其左端连接一阻值为 R 的电阻。导轨处于方向竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B。质量为 m、长度为 d、阻值为 R、与导轨接触良好的导体棒 MN 以速度 v_0 垂直导轨水平向右运动直到停下。不计一切摩擦，则下列说法正确的是（　　）



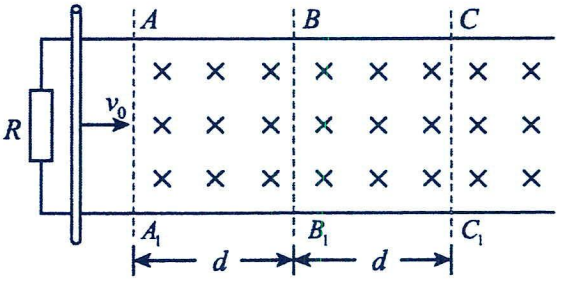
A．导体棒运动过程中安培力做的功转换为电路的电能

B．导体棒在导轨上运动的最大距离为$\frac{2mv_0R}{B^2d^2}$

C．整个过程中，电阻 R 上产生的焦耳热为$\frac{1}{2}mv_0^2$

D．整个过程中，导体棒的平均速度大于$\frac{v_0}{2}$

2．（多选题）某电磁缓冲装置如图所示，两足够长的平行金属导轨置于同一水平面内，导轨左端与定值电阻 R 相连，AA_1 右侧处于竖直向下的匀强磁场中，一质量为 m 的金属杆垂直导轨放置。现让金属杆以大小为 v_0 的初速度沿导轨向右经过 AA_1 进入磁场，最终恰好停在 CC_1 处。已知金属杆接入导轨之间的阻值为 R，$AB=BC=d$，导轨电阻不计，忽略摩擦阻力和空气阻力，金属杆始终与导轨垂直且接触良好。下列说法正确的是（　）



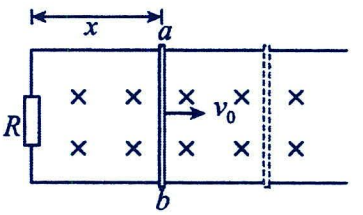
A．金属杆经过 BB_1 时的速度大小为$\frac{v_0}{2}$

B．在整个过程中，定值电阻 R 产生的热量为$\frac{1}{2}mv_0^2$

C．金属杆经过 AA_1B_1B 与 BB_1C_1C 区域，产生的热量之比为 3∶1

D．若将金属杆的初速度大小变为 $2v_0$，则金属杆在磁场中运动的距离变为 8d

3．（多选题）如图所示，空间中存在竖直向下的磁感应强度大小均为 B_0 的匀强磁场，固定水平 U 形导轨间距为 L，轨道左端连接一阻值为 R 的电阻，质量为 m 的导体棒 ab 置于导轨上距左端 x 位置，其接入回路的电阻为 r。不计导轨的电阻，不计导体棒与轨道间的摩擦。t=0 时刻 ab 以水平向右的初速度 v_0 从图示实线位置开始运动，最终停在导轨上。在此过程中，下列说法正确的是（　　）



A．导体棒做匀减速直线运动且导体棒中感应电流的方向为 b→a

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

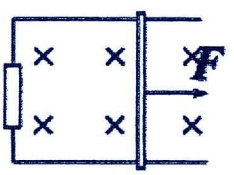
C．导体棒停止位置距轨道左端距离为 $x+\frac{mv_0(R+r)}{B_0^2L^2}$

D．若要导体棒保持匀速直线运动，可使空间各处 B 满足 $\frac{1}{B}=\frac{v_0}{B_0x}t+\frac{1}{B_0}$

题型二：发电式单杆模型

解题要点：

如图甲，质量为 m，电阻为 r 的导体棒在 F 的作用下滑上水平粗糙导轨，动摩擦因数为μ，导轨间距为 L，外接电阻为 R。相关分析如下。

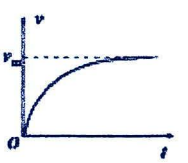


甲

1.电路特点：导体棒相当于电源，当速度为 v 时，电动势 E=BLv

2.安培力的特点：安培力为阻力，并随速度增大而增大：$F_{安}=BIL=\frac{B^2L^2v}{R+r}$

3.加速度特点：加速度 a 随速度增大而减小，v-t 图像如图乙。$a=\frac{F}{m}-\mu g-\frac{B^2L^2v}{m(R+r)}$



乙

4..最终状态：匀速运动

5.两个极值：

(1)v=0 时,有最大加速度：$a=\frac{F}{m}-\mu g$

(2)a=0 时,有最大速度：由$a=\frac{F}{m}-\mu g-\frac{B^2L^2v}{m(R+r)}=0$，得$v_m=\frac{(F-\mu mg)\cdot(R+r)}{B^2L^2}$

6.稳定后的能量转化规律：$Fv_m=\mu mgv_m+\frac{(BLv_m)^2}{R+r}$

7.运动过程中的三个规律

(1)电荷量：$q=\bar{I}\Delta t=\frac{\bar{E}}{R_{总}}\Delta t=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t\cdot R_{总}}\cdot\Delta t=\frac{\Delta\Phi}{R+r}=\frac{BLx}{R+r}$

(2)能量关系：$Fx-\mu mgx-Q=\frac{1}{2}mv^2-0$。（匀速时 v 取 v_m）

(3)动量关系：由$Ft-B\bar{I}Lt-\mu mgt=mv-0$，得$Ft-\frac{B^2L^2x}{R+r}-\mu mgt=mv-0$。（匀速时 v 取 v_m）

8.若 F 的作用下使导体棒做匀加速直线运动，则 F 随时间线性变化。

证明：根据法拉第电磁感应定律 E=BLv——①

闭合电路欧姆定律：$I=\frac{E}{R+r}$——②

安培力：F=BIL——③

由①②③得：$F=\frac{B^2L^2v}{R+r}$——④

由牛顿第二定律：$F-\mu mg-\frac{B^2L^2v}{R+r}=ma$——⑤

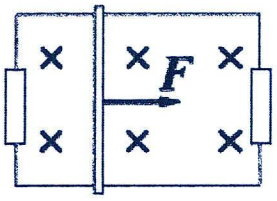
由运动学公式：v=at——⑥

联立⑤⑥得：$F=\mu mg+\frac{B^2L^2a}{R+r}t+ma$——⑦

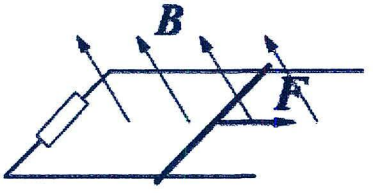
由⑦式可以看出要让导体棒做匀加速直线运动所加外力必然随时间均匀变化即 F=kt+b。

9.几种变化

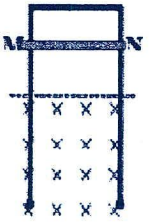
(1)电路变化，如图丙；(2)磁场方向变化，如图丁；(3)导轨面变化（竖直或倾斜），如图戊、己。



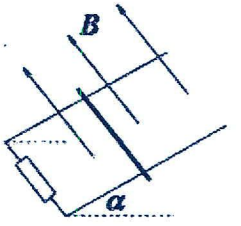
丙



丁



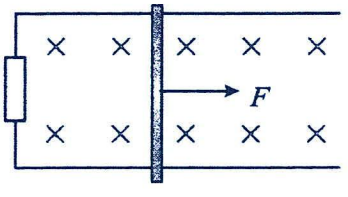
戊



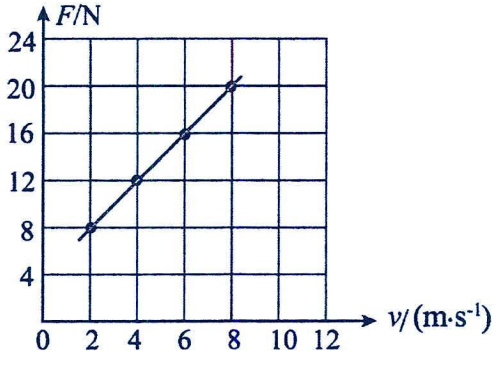
己

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图甲所示，水平面上两根足够长的金属导轨平行固定放置，间距为 $L=0.5\,\mathrm{m}$，一端通过导线与一电阻连接；导轨上放一质量为 $m=1\,\mathrm{kg}$ 的金属杆，金属杆与导轨的电阻忽略不计；匀强磁场竖直向下，磁感应强度 $B=2\,\mathrm{T}$，用与导轨平行的恒定拉力 F 作用在金属杆上，杆最终将做匀速运动。当改变拉力的大小时，相对应的金属杆做匀速运动速度 v 也会变化，F 与 v 的关系如图乙所示。（取重力加速度 $g=10\,\mathrm{m/s^2}$）（　）



甲

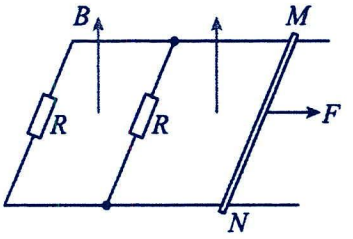


乙

A．电阻 R 为 0.5Ω　　B．电阻 R 为 1Ω

C．金属杆与导轨间的动摩擦因数为 0.2　　D．金属杆与导轨间的动摩擦因数为 0.4

【例 2】（多选题）如图所示，固定在同一绝缘水平面内的两平行长直金属导轨，间距为 1m，其左侧用导线接有两个阻值均为 1Ω的电阻，整个装置处在磁感应强度方向竖直向上、大小为 1T 的匀强磁场中。一质量为 1kg 的金属杆 MN 垂直于导轨放置，已知杆接入电路的电阻为 1Ω，杆与导轨之间的动摩擦因数为 0.3，对杆施加方向水平向右、大小为 10N 的拉力，杆从静止开始沿导轨运动，杆与导轨始终保持良好接触，导轨电阻不计，重力加速度大小 g 取 10m/s²，则当杆的速度大小为 3m/s 时（　　）



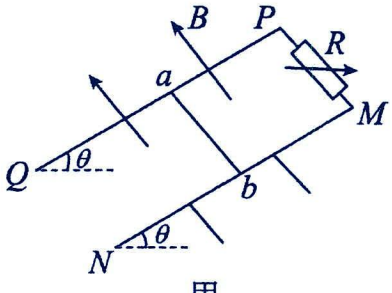
A．杆 MN 的加速度大小为 5m/s²

B．通过杆 MN 的电流大小为 1A，方向从 M 到 N

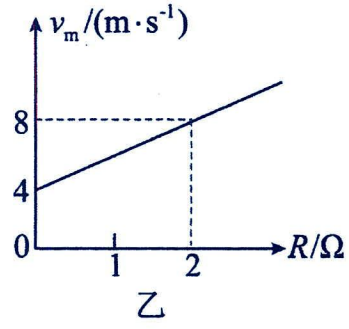
C．杆 MN 两端的电电压为 1V

D．杆 MN 产生的电功率为 1W

【例 3】（多选题）如图甲所示，两固定平行且光滑的金属轨道 MN、PQ 与水平面的夹角 $\theta=37^{\circ}$，M、P 之间接电阻箱，电阻箱的阻值范围为 $0\sim9.9\Omega$，导轨所在空间存在匀强磁场，磁场方向垂直于轨道平面向上，磁感应强度大小为 $B=0.5\mathrm{T}$。质量为 m 的金属杆 ab 水平放置在轨道上，其接入电路的电阻值为 r。现从静止释放杆 ab，测得最大速度为 v_m，改变电阻箱的阻值 R，得到 v_m 与 R 的关系如图乙所示。已知轨道间距为 $L=2\mathrm{m}$，重力加速度 $g=10\mathrm{m/s^2}$，轨道足够长且电阻不计（$\sin37^{\circ}=0.6$，$\cos37^{\circ}=0.8$），则（　　）



甲



乙

A．金属杆的质量 $m=0.5\mathrm{kg}$

B．金属杆接入电路的电阻 $r=2\Omega$

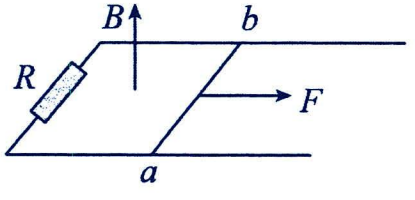
C．当 $R=2\Omega$ 时，杆 ab 匀速下滑过程中 R 两端的电压为 4V

D．当 $R=1\Omega$ 时，若杆 ab 用时 2.2s 达到最大速度，则此过程中下滑的高度为 6m

【例 4】如图所示，水平放置的 U 形导轨足够长，置于方向竖直向上的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B＝5T，导轨宽度 L＝0.4m，左侧与 R＝0.8Ω的定值电阻连接。右侧有导体棒 ab 跨放在导轨上，导体棒 ab 质量 m＝2.0kg，电阻 r＝0.2Ω，与导轨的动摩擦因数μ＝0.2，其余电阻可忽略不计。导体棒 ab 在大小为 10N 的水平外力 F 作用下，由静止开始运动了 x＝60cm 后，速度达到最大，取 g=10m/s²。求：(1)导体棒 ab 运动的最大速度是多少？

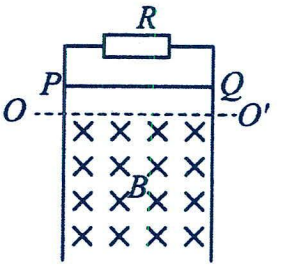
(2)当导体棒 ab 的速度 v＝1m/s 时，导体棒 ab 的加速度是多少？

(3)导体棒 ab 由静止达到最大速度的过程中，电阻 R 上产生的热量是多少？



【跟踪训练】

1.（多选题）如图所示，电阻不计、足够长的光滑平行金属导轨竖直放置，间距为L，上端连接定值电阻R，OO'下方存在方向垂直于导轨平面向里、磁感应强度为B的匀强磁场。现将质量为m、电阻为r的金属杆PQ从OO'上方某处由静止释放，金属杆PQ下落过程中始终水平且与导轨接触良好，金属杆从进入磁场至稳定时的位移为x。取重力加速度为g，下列说法正确的是（　　）



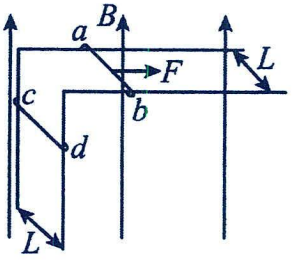
A．金属杆PQ减少的重力势能全部转化为内能

B．金属杆PQ进入磁场后有可能做变减速运动直至匀速

C．金属杆PQ在磁场中稳定时的速度大小为$\frac{mg(r+R)}{B^2L^2}$

D．金属杆进入磁场直至稳定，流过导体棒的电荷量$q=\frac{BLx}{R}$

2．两根相距为L的足够长的金属直角导轨如图所示放置，它们各有一边在同一水平内，另一边垂直于水平面。质量均为m的金属细杆ab、cd与导轨垂直接触形成闭合回路，杆与导轨之间的动摩擦因数均为μ，导轨电阻不计，每根杆的电阻均为R。整个装置处于磁感应强度大小为B，方向竖直向上的匀强磁场中。当ab杆在平行于水平导轨的拉力F作用下以速度V_1沿导轨匀速运动时，cd杆也正好以速度V_2向下匀速运动（重力加速度为g）。以下说法正确的是（　　）



A．ab杆所受拉力F的大小为$\mu mg+\frac{B^2L^2V_1}{R}$

B．cd杆所受摩擦力为零

C．回路中的电流大小为$\frac{BL(V_1+V_2)}{R}$

D．μ与V_1大小的关系为$\mu=\frac{2Rmg}{B^2L^2V_1}$

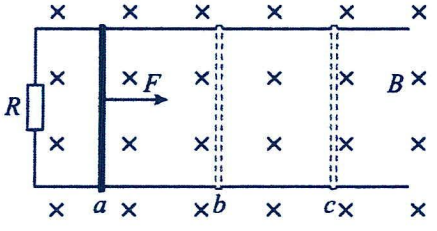
3．（多选题）如图所示，水平面内两光滑的平行金属导轨，左端与电阻R相连接，匀强磁场B竖直向下分布在导轨所在的空间内，质量一定的金属棒垂直于导轨并与导轨接触良好。今对金属棒施加一个水平向右的外力F，使金属棒从a位置开始向右做初速度为零的匀加速运动，依次通过位置b和c。若导轨与金属棒的电阻不计，ab与bc的距离相等，关于金属棒在运动过程中的有关说法正确的是（　）

A．金属棒通过b、c两位置时，外力F的大小之比为$1:\sqrt{2}$

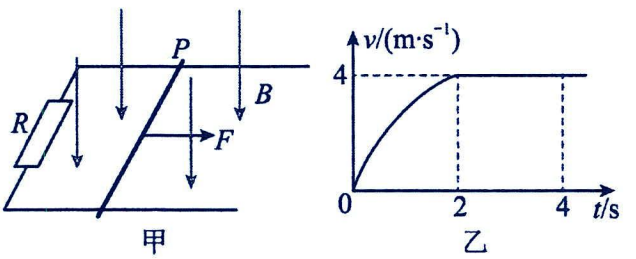
B．金属棒通过b、c两位置时，电阻R的电功率之比为1∶2

C．从a到b和从b到c的两个过程中，通过金属棒横截面的电荷量之比为1∶1

D．从a到b和从b到c的两个过程中，电阻R上产生的热量之比为1∶1



4．如图所示，足够长的金属导轨固定在水平面上，金属导轨宽度$L=1.0\text{m}$，导轨上放有垂直导轨的金属杆 P，金属杆质量为$m=0.1\text{kg}$，空间存在磁感应强度$B=0.5\text{T}$、竖直向下的匀强磁场。连接在导轨左端的电阻$R=3.0\Omega$，金属杆的电阻$r=1.0\Omega$，其余部分电阻不计，某时刻给金属杆一个水平向右的恒力 F，金属杆 P 由静止开始运动，图乙是金属杆 P 运动过程的$v-t$图像，导轨与金属杆间的动摩擦因数$\mu=0.5$，在金属杆 P 运动的过程中，第一个 2s 内通过金属杆 P 的电荷量与第二个 2s 内通过 P 的电荷量之比为 3∶5，重力加速度 g 取10m/s^2，求：



(1)水平恒力 F 的大小；

(2)金属杆运动的最大加速度的大小；

(3)前 4s 内电阻 R 上产生的热量。

题型三：无外力充电单杆模型

解题要点：

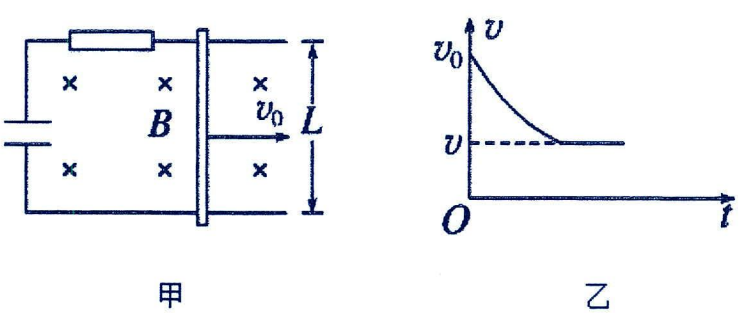
如图甲，质量为 m，电阻为 r 的导体棒以初速度 v_0 滑上水平光滑导轨，导轨间距为 L，外接电阻为 R，电容为 C，相关分析如下。

1.电路特点：导体棒相当于电源，电容器充电，E=BLv；$I=\frac{BLv-U_c}{R+r}$

2.安培力的特点：安培力为阻力，并随速度减小而减小，有：$F_{安}=BIL=BL\cdot\frac{BLv-U_c}{R+r}$

3.加速度特点：棒做加速度 a 减小的减速运动，v-t 图像如图乙。

4.最终状态：匀速运动。电容器两端电势差：$U_c=\frac{q}{C}=BLv$，此时 I=0，$F_{安}=0$，a=0，棒匀速运动。



5.运动过程中的三个规律

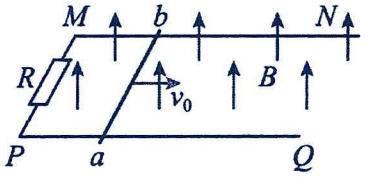
(1)电容器充电荷量：$q=CU_c$

(2)电势差得关系：$U_c=BLv$

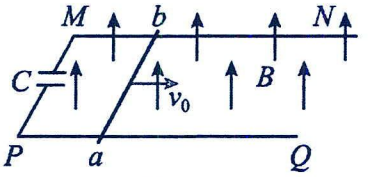
(3)动量关系：由$-B\bar{I}Lt=-BLq=mv-mv_0$，得$B^2L^2\cdot C\cdot v=mv-mv_0$。

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图甲所示，水平面上有两根足够长的光滑平行金属导轨 MN 和 PQ，两导轨间距为 l，电阻均可忽略不计。在 M 和 P 之间接有阻值为 R 的定值电阻，导体杆 ab 质量为 m、电阻为 r，并与导轨接触良好。整个装置处于方向竖直向上、磁感应强度为 B 的匀强磁场中。现给杆 ab 一个初速度 v_0，使杆向右运动。则（　　）



甲



乙

A．当杆 ab 刚具有初速度 v_0 时，杆 ab 两端的电压 $U=\frac{Blv_0R}{R+r}$，且 b 点电势高于 a 点电势

B．通过电阻 R 的电流 I 随时间 t 的变化率的绝对值逐渐减小

C．若将 M 和 P 之间的电阻 R 改为接一电容为 C 的电容器，如图乙所示，同样给杆 ab 一个初速度 v_0，使杆向右运动，则杆 ab 稳定后的速度为 $v=\frac{mv_0}{m+B^2l^2C}$

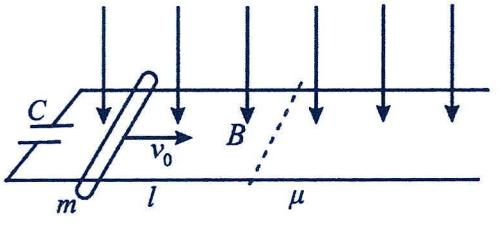
D．在图乙中，若 ab 杆电阻为 0，在 ab 杆上加一水平向右的恒力，ab 杆将水平向右做匀加速直线运动

【例 2】如图所示，轨道左端与一电容为 C 的电容器相连，整个区域具有垂直轨道向下的匀强磁场，磁感应强度为 B，轨道间距为 l，质量为 m 的导体棒始终与轨道垂直且与轨道接触良好。虚线左侧轨道光滑，右侧与导体棒间动摩擦因数为 μ。开始时电容器不带电，给导体棒一个向右的初速度 v_0，导体棒通过虚线前可以看做已稳定滑行。已知轨道和导体棒电阻都很小，重力加速度为 g，电容器储能公式为 $E_C=\frac{1}{2}CU^2$。求：

（1）在光滑区域，导体棒稳定时的速度；

（2）从开始到稳定过程，回路产生的焦耳热；

（3）进入摩擦区域，导体棒滑行的时间。



【跟踪训练】

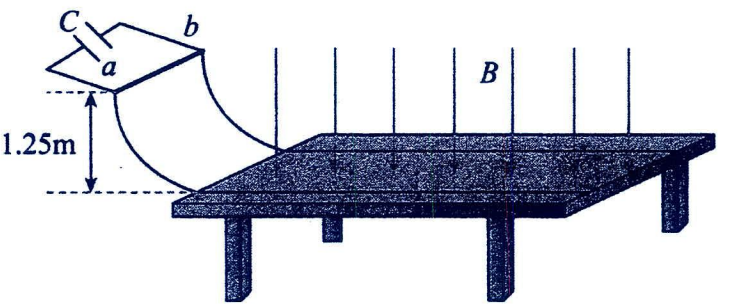
1．（多选题）如图所示，电阻不计的两光滑平行金属导轨相距0.5m，固定在水平绝缘桌面上，左侧圆弧部分处在竖直平面内，其间接有一电容为0.25F的电容器，右侧平直部分处在磁感应强度为2T。方向竖直向下的匀强磁场中，末端与桌面边缘平齐。电阻为2Ω的金属棒ab垂直于两导轨放置且与导轨接触良好，质量为1kg。棒ab从导轨左端距水平桌面高1.25m处无初速度释放，离开水平直导轨前已匀速运动。已知电容器的储能$E=\frac{1}{2}CU^2$，其中C为电容器的电容，U为电容器两端的电压，不计空气阻力，重力加速度$g=10\text{m/s}^2$。则金属棒ab在沿导轨运动的过程中（　　）

A．通过金属棒ab的电荷量为2C

B．通过金属棒ab的电荷量为1C

C．金属棒ab中产生的焦耳热为2.5J

D．金属棒ab中产生的焦耳热为4.5J



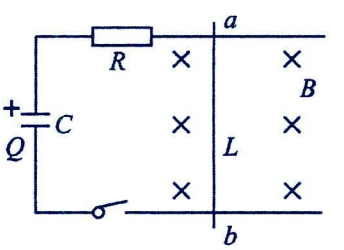
2．如图所示，除导体棒ab可动外，其余部分均固定不动，图中的电容器带电量为Q，上板带正电荷，电容为C。设导体棒、导轨的电阻均可忽略，导体棒和导轨间的摩擦也不计。图中装置均在水平面内，且都处于方向垂直水平面（即纸面）向下的匀强磁场中，导轨间距为L，且足够长。导体棒质量为m，匀强磁场的磁感应强度大小为B，闭合开关后，下列说法正确的是（　）

A．导体棒先向右做加速运动，再向右做减速直到静止

B．导体棒先向右做加速运动，最后以$v=\frac{BLQ}{m+CB^2L^2}$做匀速直线运动

C．通过R的电荷量为Q

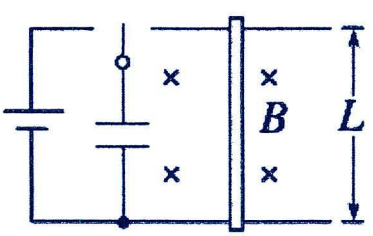
D．通过R的电荷量为$\frac{CB^2L^2Q}{m+CB^2L^2}$



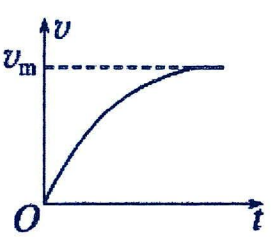
题型四：无外力放电单杆模型

解题要点：

如图甲，质量为m，电阻为r的导体棒以初速度v_0滑上水平光滑导轨，导轨间距为L，外接电阻为R，电容为C，相关分析如下。



甲



乙

1.电路特点：电容器充电，$E=U_C=\frac{Q_0}{C}$；电容器放电，相当于电源；导体棒受安培力而运动，E=BLv；$I=\frac{U_c-BLv}{R+r}$

2.安培力的特点：安培力为动力，并随速度增大而减小，有：$F_{安}=BIL=BL\cdot\frac{U_c-BLv}{R+r}$

3.加速度特点：棒做加速度a减小的加速运动；v-t图像如图乙。

4.最终状态：匀速运动。电容器两端电势差：$U_c=\frac{Q}{C}=BLv_m$，此时 I=0，$F_{安}=0$，a=0，棒匀速运动。

5.运动过程中的三个规律

(1)电容器充电结束时电荷量：$Q_0=CE$；放电结束时电荷量：$Q=CU=CBLv_m$

电容器放电荷量：$\Delta Q=Q_0-Q=CE-CBLv_m$

(2)电势差得关系：$U_c=BLv_m$

(3)动量关系：由 $B\bar{I}Lt=BL\Delta Q=mv_m-0$，得 $v_m=\frac{BLCE}{m+B^2L^2\cdot C}$

【精选例题】

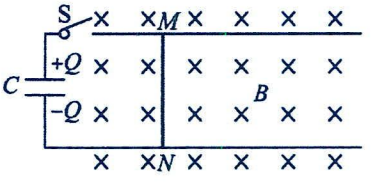
【例 1】如图所示，两根相互平行的光滑长直金属导轨固定在水平绝缘桌面上，在导轨的左端接入电容为 C 的电容器。质量为 m、阻值为 R 的导体棒 MN 静止于导轨上，与导轨垂直，且接触良好，导轨电阻忽略不计，整个系统处于方向竖直向下的匀强磁场中。开始时，电容器所带的电荷量为 Q，合上开关 S 后，下列说法正确的是（　　）

A．通过导体棒 MN 的电流最大值为 $\frac{2Q}{RC}$

B．导体棒 MN 先向右加速运动后匀速运动

C．导体棒 MN 速度最大时所受的安培力也最大

D．导体棒 MN 上产生的焦耳热等于电容器释放的能量



【跟踪训练】

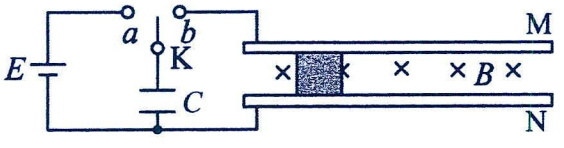
1．（多选题）2024 年 5 月 1 日“福建号”航空母舰首次海试引起国人极大关注，其采用先进的电磁弹射技术，使战机的出动效率大大提升。如图所示，电源电动势为 E，内阻忽略不计，电容器的电容为 C，足够长的光滑水平平行导轨 M、N 间距为 L，导轨间有磁感应强度为 B 的匀强磁场，质量为 m，电阻为 R 的金属滑块垂直放置于导轨的滑槽内处于静止状态，并与两导轨接触良好。单刀双掷开关先打向 a，电源给电容器充电，充电完毕后再打向 b，电容器放电，金属滑块在安培力的作用下发射出去。不计其他阻力和电阻，下列说法正确的是（　　）

A．滑块达到最大速度时，电容器放电结束，极板电荷量为零

B．滑块从开始运动到最大速度的过程中流过它的电荷量为 $\frac{CmE}{CB^2L^2+m}$

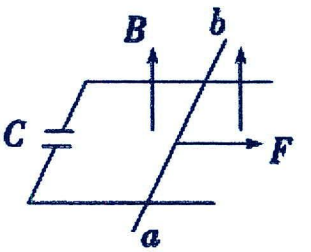
C．该过程中，安培力对滑块的冲量等于滑块动量的变化

D．滑块能达到的最大速度为 $\frac{CEBL}{CB^2L^2+m}$



题型五：有外力充电单杆模型

解题要点：



甲

如图甲，质量为 m，电阻为 r 的导体棒在外力 F 的作用下滑上水平光滑导轨，导轨间距为 L，电容为 C。相关分析如下：

1.电路特点：电容器充电，$E = U_C = BLv$；

2.安培力的特点：安培力为阻力，且恒定；

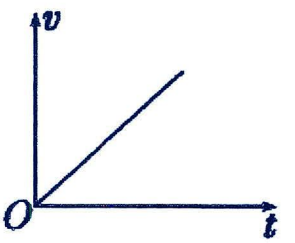
3.加速度特点：棒做加速度 a 恒定的加速运动；v-t 图像如图乙。

4.运动过程中的三个规律

(1)电容器充电结束时电荷量：设金属棒运动的速度大小为 v，则感应电动势为 E=BLv——①

经过Δt 速度为 v+Δv，此时感应电动势 E'=BL（v+Δv）——②

Δt 时间内流入电容器的电荷量Δq=C·ΔU=C·(E'—E)=CBL·Δv——③



乙

(2)加速度关系：电流 $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = CBL\frac{\Delta v}{\Delta t} = CBLv$——④

安培力 $F_{安} = BIL = CB^2L^2a$——⑤

由牛顿第二第定律 $F - F_{安} = ma$——⑥

解得： $a = \frac{F}{m+CB^2L^2}$——⑦

所以杆以恒定的加速度匀加速运动

(3)能量关系：对于导体棒 ab，克服安培力做多少功，就应有多少能量转化为电能，

则有:$W_{安}=F_{安}x$——⑧　　$x = \frac{1}{2}at^2$——⑨

由⑦⑧⑨式得：$W_{安} = \frac{CB^2L^2a^2t^2}{2}$

所以在 t 秒内转化为电能的多少是：$W_{安} = \frac{CB^2L^2a^2t^2}{2}$

F 做的功一部分转化为动能，一部分转化为电场能：$W_F = Fx = \frac{1}{2}mv^2 + E_C$

【精选例题】

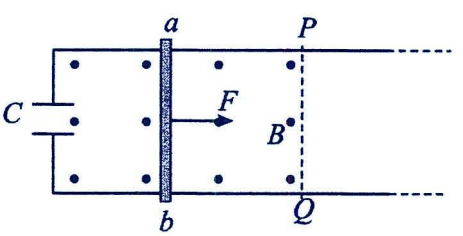
【例 1】如图，间距为 L 的水平光滑长导轨，左端接有一个电容器，电容为 C（不会被击穿），在 PQ 虚线的左侧有竖直向上的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。质量为 m 的金属杆 ab 静置在导轨上，距离虚线 PQ 的距离是 d，金属杆在水平向右恒力 F 的作用下，开始向右运动，不计导轨与金属杆的电阻，下列说法正确的是（　　）

A．金属杆 ab 先做加速度不断减小的加速运动，最终匀速运动

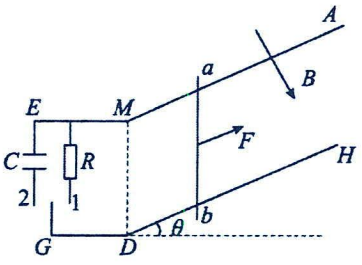
B．金属杆 ab 的运动可能是先从加速到匀速再到加速

C．金属杆 ab 运动到达虚线 PQ 的时间 $t = 2d\sqrt{\frac{m+CB^2L^2}{F}}$

D．电容器能带的最多电量是 $CBL\sqrt{\frac{2dF}{m+CB^2L^2}}$



【例 2】（多选题）如图所示，AME、HDG 为两条足够长的光滑平行金属导轨。导轨倾斜部分倾角θ=30°，置于垂直倾斜导轨平面向下、磁感应强度大小为 2T 的匀强磁场中，距离 MD 足够远处放置一质量为 20g、内阻不计的导体棒 ab。导轨水平部分通过导线分别连接有电容 C=5000μF 的电容器和 R=2Ω的电阻，导轨 G 端接有一单刀双掷开关。t=0 时刻开关接 1，对导体棒施加一个沿导轨向上、功率恒定的牵引力 F，使导体棒从静止开始沿导轨向上运动，t=4s 时达到最大速度 2m/s，0~4s 内电阻 R 上产生的热量为 8.5J。t=6s 时撤去牵引力，同时断开开关；t=6.4s 时，开关接 2。导体棒始终与导轨垂直且接触良好，导轨电阻忽略不计，导轨间距 L=0.5m，重力加速度 g=10m/s² ，则（　　）

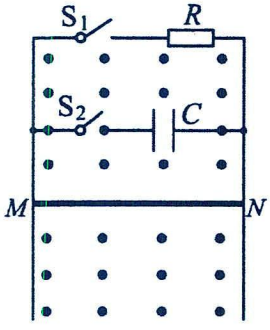


A．0~6s 内导体棒先做匀加速运动后做匀速运动　　B．整个过程中牵引力做功为 13.2J

C．导体棒沿轨道向上运动的最远距离为 6m　　D．t=7s 时，导体棒的速度大小为 2.4m/s

【跟踪训练】

1．（多选题）如图，两根足够长、间距为 L 的光滑竖直平行金属导轨，处在方向垂直于轨道平面向外的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B。导轨上端接有开关、电阻、电容器，其中电阻阻值为 R，电容器的电容为 C（不会被击穿），质量为 m 的金属棒 MN 水平放置。闭合其中一个开关，让 MN 沿导轨由静止开始释放，金属棒 MN 和导轨始终接触良好。不计金属棒和导轨的电阻，重力加速度为 g。下列说法正确的是（ ）



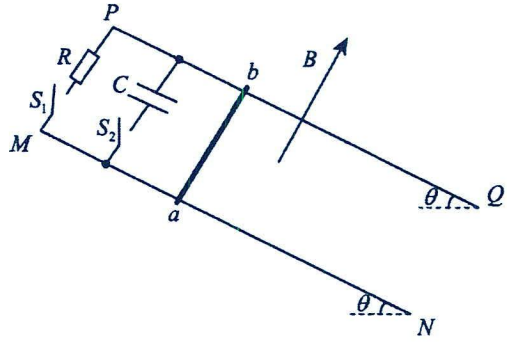
A．若只闭合开关 S_1，金属棒 MN 的加速度逐渐减小直至为零

B．若只闭合开关 S_1，金属棒 MN 运动的最大速度 $v=\dfrac{mgR}{B^2L^2}$

C．若只闭合开关 S_2，通过金属棒 MN 的电流不断增大

D．若只闭合开关 S_2，当电容器带电量为 q 时，金属棒 MN 运动的时间 $t=\dfrac{q\left(m+CB^2L^2\right)}{CBLmg}$

2．如图所示，MN 和 PQ 是两根足够长、互相平行、倾斜放置的粗糙金属导轨，导轨间距为 L，导轨与水平面的夹角为 θ，质量为 m 的金属杆 ab 与导轨间的动摩擦因数为μ=0.6·tanθ。导轨上端通过导线和开关 S_1、S_2 分别与阻值为 R 的定值电阻和一开始不带电的电容器相连，整个装置处在垂直于导轨平面向上、磁感应强度为 B 的匀强磁场中。已知重力加速度为 g，电容器的电容 $C=\dfrac{m}{B^2L^2}$，导轨及金属杆的电阻不计，金属杆 ab 始终与导轨垂直且接触良好，不考虑电容器的充放电辐射电磁波的能量。



（1）若闭合 S_1，断开 S_2，让金属杆由静止释放，求电阻 R 上的最大电压 U；

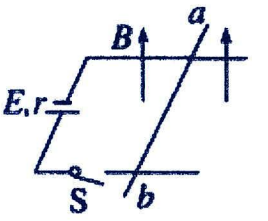
（2）若闭合 S_1，断开 S_2，让金属杆由静止释放到电阻 R 上的电压达到最大时金属杆运动的位移为 x_0，求此过程中产生的总热量；

（3）若断开 S_1，闭合 S_2，让金属杆由静止释放，当电容器带电量为 q 时，求金属杆运动的距离 x。

题型六：含源电动单杆模型

解题要点：

如图甲，在间距为 L 的水平光滑导轨上，质量为 m，电阻为 R 的导体棒接入电路中，电源电动势为 E，内阻为 r。



甲

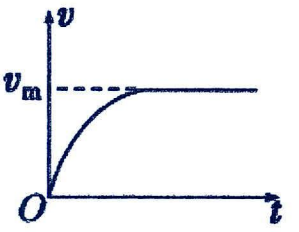
相关分析如下：**开关 S 刚闭合时，ab 杆所受安培力** $F=\frac{BLE}{R+r}$，**此时** $a=\frac{BLE}{m(R+r)}$；

速度 v↑⇒$E_{感}$=BLv↑⇒I↓⇒F=BIL↓⇒加速度 a↓，**当** $E_{感}$**=E 时，v 最大，且** $v_m=\frac{E}{BL}$。

1.电路特点：电源放电，$E-E_{感}=E-BLv=I(r+R)$；

2.安培力的特点：安培力为动力，随速度增加而减小；

3.加速度特点：棒做加速度 a 减小的加速运动；v-t 图像如图乙。



乙

4.最终状态：匀速运动，导体棒两端电势差等于电源电动势：E=$E_{感}$=BLv_m。

5.运动过程中的三个规律

(1)电荷量：q 来自电源和棒所以 $q=\frac{\Delta\Phi}{R}$**不适用；可根据动量定理计算得：** $q=\frac{mv}{BL}$。

(2)能量关系：电源输出的电能转化为动能：$W_{电}=W_{安}=\frac{1}{2}mv^2+Q$，Q 为回路产生的焦耳热，匀速时 v 取 v_m。

(3)动量关系：$F_{安}\Delta t=B\bar{I}Lt=BLq=mv-0$。（匀速时 v 取 v_m）

【精选例题】

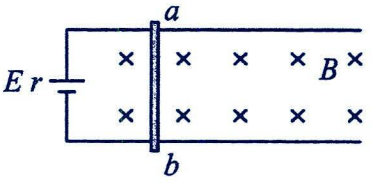
【例 1】平行金属导轨水平放置，间距为 d。其左端接有电源，电动势为 E，内阻为 r。导轨平面处在竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度为 B。长度也为 d 的导体棒 ab 电阻为 R，垂直导轨由静止释放，导体棒与导轨始终接触且垂直，导体棒与导轨间摩擦阻力恒为 F_r，不计导轨电阻。下列说法中正确的是（　　）

A．导体棒先做加速度减小的加速运动，最后匀速

B．导体棒匀速运动时，满足 $Bdv=E$

C．回路中的电流不断减小，导体棒匀速运动时，回路中电流为零

D．电源输出的电能转化为导体棒的动能与焦耳热



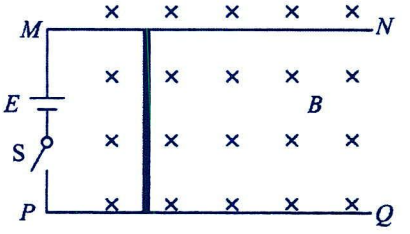
【例 2】（多选题）福建舰是中国完全自主设计建造的首艘弹射型航空母舰，配置电磁弹射和阻拦装置。如图所示，某小组模拟电磁弹射实验，将两根间距为 L 的长直平行金属导轨 MN、PQ 固定在水平面上，左侧通过开关 S 接入电动势为 E 的电源，质量为 m、电阻为 R、长度为 L 的金属棒垂直导轨静止放置，导轨处在方向竖直向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中。闭合开关 S，金属棒向右加速运动至达到最大速度，即完成“弹射”。已知金属棒始终与导轨接触良好，不考虑其他电阻，不计一切摩擦，下列说法正确的是（　）

A．金属棒的速度为 v_0 时，金属棒的加速度大小为 $\frac{B^2L^2v_0}{mR}$

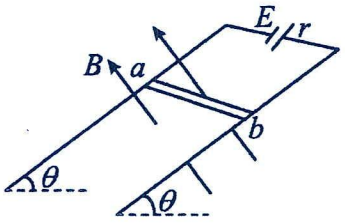
B．金属棒能获得的最大速度为 $\frac{E}{BL}$

C．弹射过程中，流过金属棒的电荷量为 $\frac{Em}{2B^2L^2}$

D．若弹射所用的时间为 t，则金属棒的位移大小为 $\frac{Et}{BL}-\frac{mRE}{B^3L^3}$



【例 3】如图所示，两平行金属导轨间的距离为$L=0.5\text{m}$，金属导轨所在的平面与水平面的夹角为$\theta=37°$，在导轨所在平面内分布着磁感应强度大小为$B=1\text{T}$、方向垂直于导轨所在平面向上的匀强磁场。金属导轨的一端接有电动势为$E=10\text{V}$、内阻为$r=0.5\Omega$的直流电源。现把一个长度略长于导轨距离、质量为$m=1\text{kg}$的导体棒 ab 放在金属导轨上，导体棒恰好要发生滑动。导体棒与金属导轨垂直且接触良好，接入电路中的导体棒的电阻为$R=2\Omega$，金属导轨的电阻不计，假设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度大小为 g=10m/s²。求：(1)导体棒两端的电势差 U_{ab}；(2)导体棒与金属导轨间的动摩擦因数μ。



【跟踪训练】

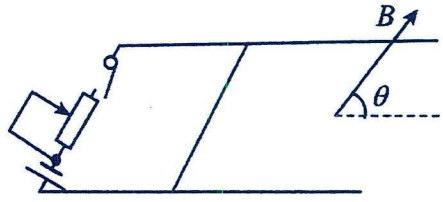
1．如图所示，水平放置的足够长平行金属导轨，导轨间距$L=20\text{cm}$。一根长$L=20\text{cm}$，质量$m=0.2\text{kg}$的导体棒垂直放在导轨上，导体棒的电阻$R=2\Omega$，与导轨间的动摩擦因数$\mu=0.5$。导轨左端接开关、直流电源和滑动变阻器，电源电动势$E=6.0\text{V}$，内阻$r=0.5\Omega$，整个装置置于匀强磁场中，磁感应强度大小$B=5\text{T}$，方向与金属棒垂直、与水平方向的夹角$\theta=53°$。重力加速度 g 取 10m/s²，$\sin 53°=0.8$，$\cos 53°=0.6$，导轨电阻不计，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，下列说法正确的是（　　）

A．滑动变阻器调到0Ω，开关闭合瞬间导体棒受到的摩擦力大小为 1.92N

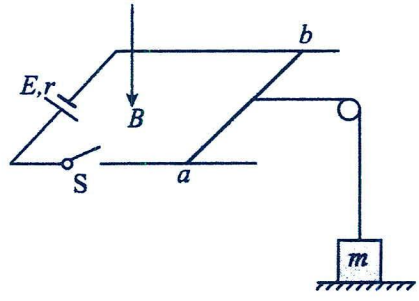
B．滑动变阻器调到0Ω，开关闭合瞬间导体棒受到的摩擦力大小为 1.72N

C．滑动变阻器调到1.5Ω闭合开关，导体棒向右做匀加速直线运动

D．滑动变阻器调到1.5Ω闭合开关，导体棒向左做匀加速直线运动



2．（多选题）直流电动机的工作原理是通电导体在磁场中受到安培力的作用而运动．如图所示为使用直流电动机提升重物的示意图，间距为 L 的平行导轨固定在水平面内，导轨左端接有电动势为 E、内阻为 r 的直流电源，导轨电阻不计；质量为 m_0、长为 L 的导体棒 *ab* 垂直导轨放置，导体棒 *ab* 电阻不计，其中心通过绝缘细线绕过固定光滑定滑轮后与静止在地面上的质量为 m 的重物相连，此时细线恰好伸直且无拉力，导体棒 *ab* 与滑轮间的细线水平．整个装置处于方向竖直向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中．已知导体棒 *ab* 距离导轨左端足够远，重物上升过程中不会碰到定滑轮，重力加速度为 g，不计一切摩擦．闭合开关 S 后，下列说法正确的是（ ）



A．闭合开关 S 瞬间，重物的加速度大小为$\dfrac{BEL}{(m_0+m)r}-\dfrac{mg}{m_0+m}$

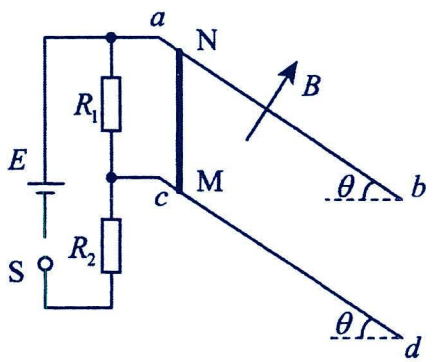
B．导体棒最终的速度大小为$\dfrac{E}{BL}-\dfrac{mgr}{B^2L^2}$

C．要使导体棒匀速运动时直流电源的输出功率最大，则重物的质量应为$\dfrac{BLE}{rg}$

D．重物从静止出发到刚好做匀速运动的过程中，安培力对导体棒所做的功等于系统增加的机械能与回路产生的焦耳热之和

3．如图，两根足够长、电阻不计且相距$L=1\text{m}$的平行金属导轨固定在倾角$\theta=37^\circ$的绝缘粗糙斜面上，左端接在电阻R_1的两端，两导轨间有方向垂直斜面向上的匀强磁场。将一根长为$L=1\text{m}$、质量为$m=0.3\text{kg}$、电阻为$r=2\Omega$的金属棒MN垂直于导轨放置在导轨顶端附近，闭合开关S，释放金属棒，金属棒恰好不上滑。已知金属棒与导轨接触良好，磁感应强度$B=2\text{T}$，定值电阻R_1=2Ω、R_2=1Ω，电源的电动势$E=6\text{V}$，电源的内阻不计。已知$\sin37^\circ=0.6,\cos37^\circ=0.8$，求：(1)金属棒与导轨间的动摩擦因数$\mu$；

(2)断开开关S，从开始下滑到速度稳定的过程中，通过R_1的电荷量为0.2C，系统所产生的热量Q。



考点二：线框进出磁场

模型概述：涉及矩形线框穿过匀强磁场边界的物理情景，称为矩形线框模型，包括有外力与无外力的两种情况。

1.线框进入过程至完全出来过程，经过线框的电荷量为$q_{进}$、$q_{出}$,安培力冲量为$I_{进}$、$I_{出}$,焦耳热为$Q_{进}$、$Q_{出}$。

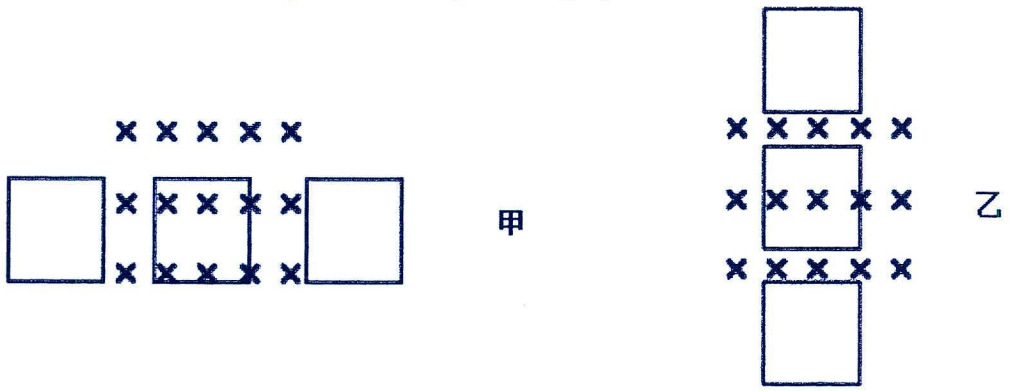
(1)根据电荷量公式$q=\frac{\Delta\Phi}{R}$知，ΔΦ相同，则$q_{进}=q_{出}$。

(2)根据冲量公式$I=BIL\Delta t=BLq=BL\frac{\Delta\Phi}{R}$知，ΔΦ相同，则$I_{进}=I_{出}$。

(3)根据焦耳热产生于进、出磁场过程，其大小取决于安培力大小，即平均速度大小，若$\overline{v_{进}}>\overline{v_{出}}$，则$Q_{进}>Q_{出}$。

(4)若线框水平进入磁场，如图甲，进入过程速度变化量Δv_1，出来过程中速度变化量Δv_2，

由动量定理得$m\Delta v_1=-BLq_1$，$m\Delta v_2=-BLq_2$；**因为$q_1=q_2$，所以$\Delta v_1=\Delta v_2$。**



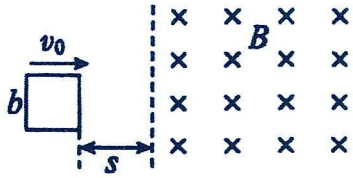
(5)若线框竖直进入磁场，如图乙，进入过程速度变化量Δv_1，出来过程中速度变化量Δv_2，

由动量定理得$m\Delta v_1=mg\Delta t_1-BLq_1$，$m\Delta v_2=mg\Delta t_2-BLq_2$，

由进入和出来线框位移相同，若$\overline{v_{进}}>\overline{v_{出}}$，安培力冲量相同，则$\Delta t_1<\Delta t_2,\Delta v_1<\Delta v_2$，反之亦然。

题型一：无外力线框模型

解题要点



在安培力作用下穿越磁场(磁场宽度足够大)

1.动力学关系：以进入磁场时为例，设运动过程中某时刻导线框的速度为 v，加速度大小为 a，则 $\mathbf{a=\frac{B^2L^2v}{mR}}$。

a 与 v 方向相反，导线框做减速运动，v↓⇒a↓，**即导线框做加速度减小的减速运动，最终匀速运动**(全部进入磁场)或静止(导线框离开磁场过程的分析相同)。

2.能量关系：部分(或全部)动能转化为焦耳热：$\mathbf{Q=-\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2}$；

3.动量关系：**动量不守恒**，可用**动量定理分析导线框的位移、速度、通过导线横截面的电荷量和除安培力之外恒力作用的时间**：

(1)求电荷量或速度：$-B\bar{I}\cdot L\Delta t=-BqL=mv_2-mv_1$；

(2)求位移：$-\frac{B^2L^2\bar{v}\Delta t}{R_{总}}=mv_2-mv_1$，即$-\frac{B^2L^2x}{R_{总}}=mv_2-mv_1$；

(3)求时间：①$-B\bar{I}L\Delta t+F_{其他}\cdot\Delta t=mv_2-mv_1$，即$-BLq+F_{其他}\cdot\Delta t=mv_2-mv_1$

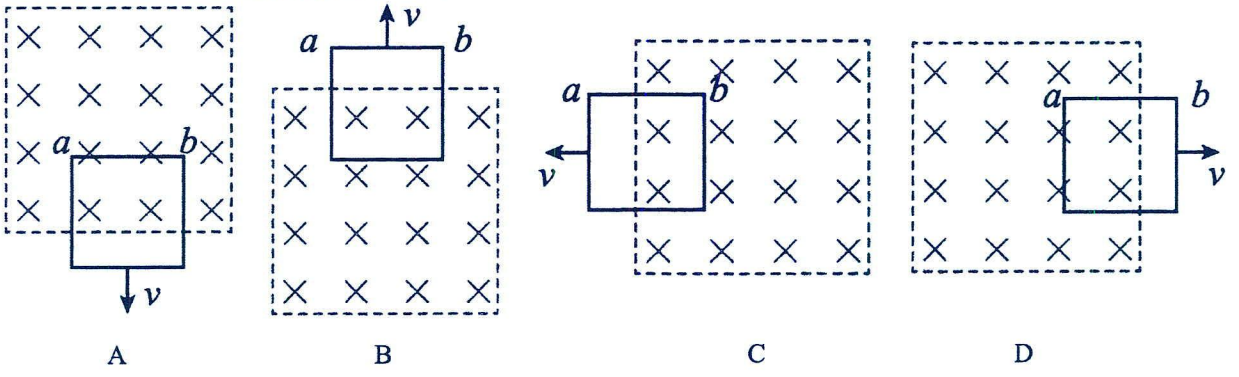
已知电荷量 q，$F_{其他}$为恒力，可求出变加速运动的时间；

②$-\frac{B^2L^2\bar{v}\Delta t}{R_{总}}+F_{其他}\cdot\Delta t=mv_2-mv_1$，即$-\frac{B^2L^2x}{R_{总}}+F_{其他}\cdot\Delta t=mv_2-mv_1$

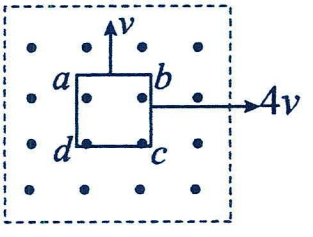
若已知位移 x，$F_{其他}$为恒力，也可求出变加速运动的时间

【精选例题】

【例 1】粗细均匀的电阻丝围成的正方形线框置于有界匀强磁场中，磁场方向垂直于线框平面，其边界与正方形线框的边平行。现使线框以同样大小的速度沿四个不同方向匀速移出磁场，如图所示，则在移出过程中线框一边 a、b 两点间的电压最大的是（　　）



【例 2】（多选题）如图，垂直纸面向外的正方形匀强磁场区域内，有一个位于纸面的、电阻均匀的正方形导体框 *abcd*，现将导体框分别沿两个方向以 v、4v 的速度匀速拉出磁场，则导体框从两个方向移出磁场的过程中（）



A．导体框 *ad* 边两端电势差之比为1:1　　B．导体框中 a 点的电势都比 d 点低

C．外力做功之比为1:4　　D．通过导体框截面的电荷量之比为1:1

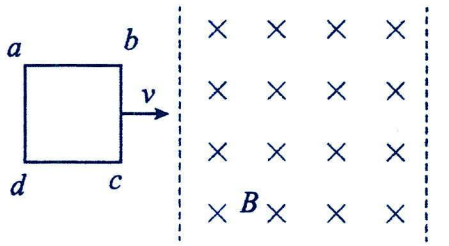
【例 3】（多选题）如图所示，在光滑绝缘水平面上，有一个粗细均匀的单匝正方形闭合导线框 abcd，其右侧有一宽度大于线框边长的有界匀强磁场，现给线框某一初速度，线框恰能从右边离开磁场。则（　　）

A．线框进入磁场和离开磁场过程中平均电流之比为 1∶1

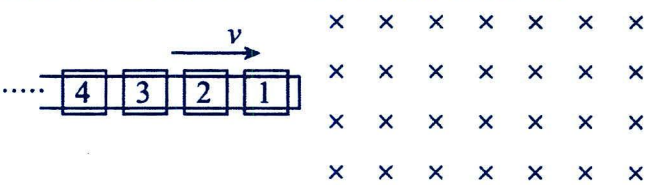
B．线框进入磁场和离开磁场过程中所受安培力的冲量之比为 1∶1

C．线框进入磁场和离开磁场过程中所减少的动能之比为 2∶1

D．线框进入磁场和离开磁场过程中所产生的焦耳热之比为 3∶1



【例 4】（多选题）某物理兴趣小组设计了一个电磁阻尼减速器，其简化的原理图如图。该减速器由绝缘滑动杆及固定在杆上的多个相互紧靠且绝缘的相同正方形线圈组成，滑动杆及线圈的总质量为 1kg。每个线圈的匝数均为 50 匝，阻值均为 1.5Ω，线圈的边长为 30cm。该减速器在光滑水平面上以初速度 6m/s 水平向右进入磁感应强度大小为 0.1T、方向竖直向下的匀强磁场中，磁场范围足够大，不考虑线圈个数变化对减速器总质量的影响。若线圈的数量刚好可以保证减速器的速度减为零，则（　）



A．第一个线圈刚进入磁场时，减速器的加速度大小为 $9m/s^2$

B．第一个线圈恰好完全进入磁场时，减速器的速度大小为 1.5m/s

C．滑动杆上至少需安装 13 个线圈才能使减速器完全停下来

D．从进入磁场到速度减为零，第一个线圈和最后一个线圈产生的热量的比值 $k=231$

【跟踪训练】

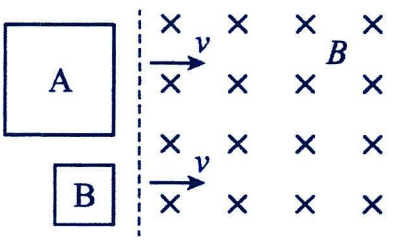
1．（多选题）如图，相同材料、横截面积相等的导线制成的单匝正方形线框 A 和线框 B，边长之比为 2：1，在外力作用下以相同速度匀速进入匀强磁场，在线框 A 和线框 B 进入磁场的过程中，下列说法正确的是（　　）

A．线框 A 和线框 B 中感应电流之比为 1：1

B．线框 A 和线框 B 所受外力做功的功率之比为 2：1

C．线框 A 和线框 B 产生的热量之比为 2：1

D．通过线框 A 和线框 B 导线横截面的电荷量之比为 1：1



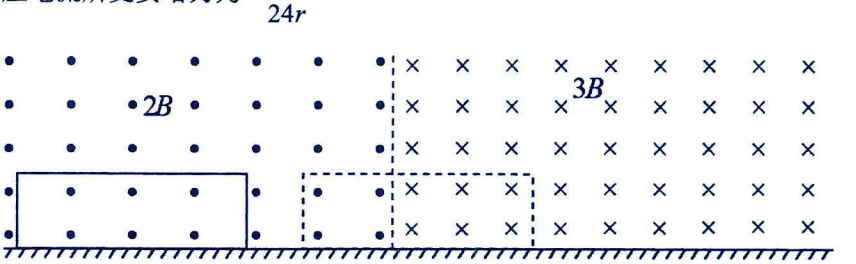
2．如图所示，在光滑绝缘的水平面上方，有两个方向相反的水平方向的匀强磁场，磁场范围足够大，磁感应强度的大小左边为 2B，右边为 3B，一个竖直放置的宽为 L、长为 3L、单位长度的质量为 m、单位长度的电阻为 r 的矩形金属线框，以初速度 v 垂直磁场方向从图中实线位置开始向右运动，当线框运动到虚线位置（在左边磁场中的长度为 L，在右边磁场中的长度为 2L）时，线框的速度为 $\frac{1}{3}v$，则下列判断正确的是（　　）

A．此时线框中电流方向为逆时针，线框中感应电流所受安培力为 $\frac{13B^2Lv}{24r}$

B．此过程中通过线框截面的电量为 $\frac{16mv}{5B}$

C．此过程中线框产生的焦耳热为 $\frac{4}{9}mv^2$

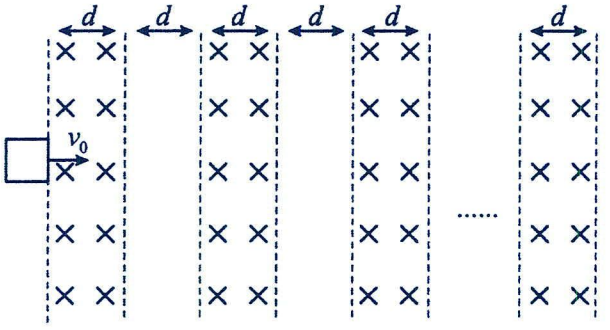
D．线框刚好可以完全进入右侧磁场



3．光滑水平桌面上等间距的分布着竖直向下的匀强磁场，如图为其俯视图。磁感应强度的大小$B=0.5\mathrm{T}$。每一个磁场区域的宽度以及相邻磁场区域的间距均为$d=0.8\mathrm{m}$。现有一边长为$l=0.2\mathrm{m}$、质量为$m=0.2\mathrm{kg}$、电阻为$R=0.02\Omega$的正方形金属线框以v_0=5.2m/s的初速度垂直于最左侧磁场边界进入磁场，运动过程中线框始终在水平桌面内。求：（1）线框刚开始进入最左侧磁场时，所受安培力的大小；

（2）线框穿过前2个磁场区域过程中产生的焦耳热；

（3）线框运动的最大距离。

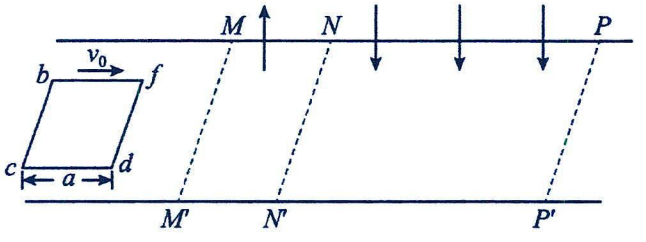


4.如图所示，水平面上MM'、NN'间与NN'、PP'间存在着大小相等、方向相反的匀强磁场，且$MM'//NN',NN'//PP'$，其中MM'与NN'间距为0.5m，NN'与PP'间距为3m，磁感应强度大小$B=1\mathrm{T}$。一个正方形单匝导线框$bcdf$，质量为$m=1\mathrm{kg}$，边长为$a=0.5\mathrm{m}$，电阻为$R=0.5\Omega$，导线框与$NPP'N'$间的动摩擦因数$\mu=0.2$，其余部分摩擦不计。某时刻起，导线框从磁场外以v_0=4.25m/s的速度垂直进入$MNN'M'$间磁场，当df边刚好越过边界NN'时，对导线框施加一外力，使之匀速运动，当bc边刚好越过边界NN'时，撤去外力，同时使$NPP'N'$间磁场以$\frac{\Delta B}{\Delta t}=0.4\mathrm{T/s}$均匀减小。重力加速度$g$取$10\mathrm{m/s^2}$，求：

(1)导线框df边刚好越过边界NN'时速度大小及此时导线框中的电流大小和方向；

(2)对导线框施加外力做的功W_F；

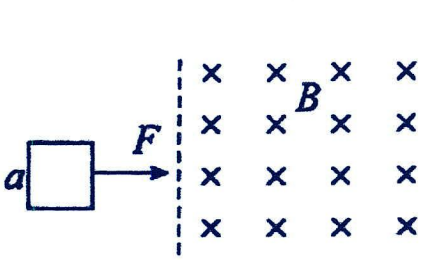
(3)从导线框进入磁场到df边刚好越过边界PP'的过程中，电流产生的热量及df边刚好越过边界PP'时导线框的加速度。

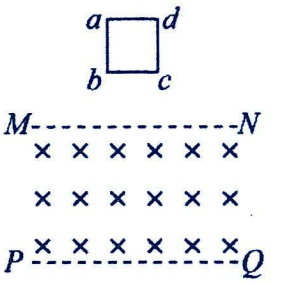


题型二：恒定外力线框模型

解题要点：

在恒力 F(包括重力 mg)和安培力作用下穿越磁场(磁场宽度足够大)



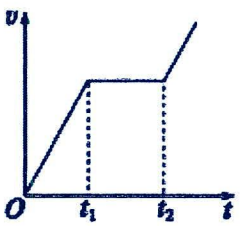


1.动力学关系：以进入磁场的过程为例，设运动过程中某时刻导线框的速度为 v，**加速度为** $\mathbf{a=\frac{F}{m}-\frac{B^2L^2v}{mR}}$。

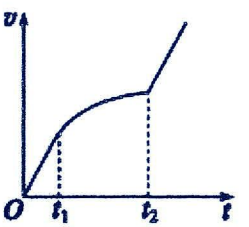
(1)若进入磁场时 $\frac{F}{m}=\frac{B^2L^2v}{mR}$，则导线框匀速运动；

(2)若进入磁场时 $\frac{F}{m}>\frac{B^2L^2v}{mR}$，则导线框做加速度减小的加速运动(直至匀速)；

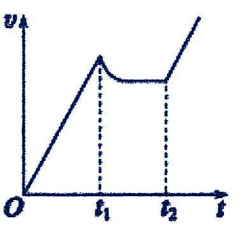
(3)若进入磁场时 $\frac{F}{m}<\frac{B^2L^2v}{mR}$，则导线框做加速度减小的减速运动(直至匀速)(导线框离开磁场过程的分析相同)。



① $F=F_{安}$



② $F<F_{安}$



③ $F>F_{安}$

2.能量关系：力 F 做的功等于导线框的动能变化量与回路中产生的焦耳热之和：$W_F=\Delta E_k+Q=Q+\frac{1}{2}\mathbf{mv^2}-\frac{1}{2}\mathbf{mv_0^2}$

3.动量关系：**动量不守恒**，可用**动量定理分析导线框的位移、速度、通过导线横截面的电荷量和除安培力之外恒力作用的时间：**

(1)求电荷量或速度：$-B\bar{I}\cdot L\Delta t=-BqL=mv_2-mv_1$；

(2)求位移：$-\frac{B^2L^2\bar{v}\Delta t}{R_{总}}=mv_2-mv_1$，即 $-\frac{B^2L^2x}{R_{总}}=mv_2-mv_1$；

(3)求时间：①$-B\bar{I}L\Delta t+F_{其他}\cdot\Delta t=mv_2-mv_1$，即 $-BLq+F_{其他}\cdot\Delta t=mv_2-mv_1$

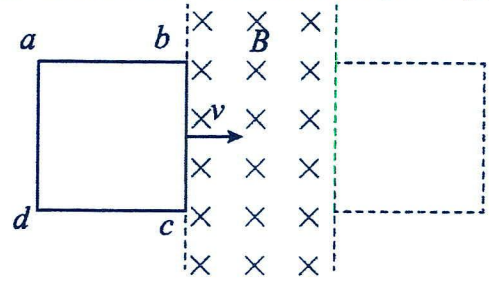
已知电荷量 q，$F_{其他}$为恒力，可求出变加速运动的时间；

②$-\frac{B^2L^2\bar{v}\Delta t}{R_{总}}+F_{其他}\cdot\Delta t=mv_2-mv_1$，即 $-\frac{B^2L^2x}{R_{总}}+F_{其他}\cdot\Delta t=mv_2-mv_1$

已知位移 x，$F_{其他}$为恒力，也可求出变加速运动的时间

【精选例题】

【例 1】如图所示，水平面内有一边长为 0.2m 的正方形单匝线圈 abcd，线圈由粗细均匀的同种材料制成，线圈的电阻为 0.1Ω，bc 边与匀强磁场边缘重合。磁场的宽度等于线圈的边长，磁感应强度大小为 0.5T。在水平拉力作用下，线圈以 8m/s 的速度向右匀速穿过磁场区域。下列说法正确的是（　　）



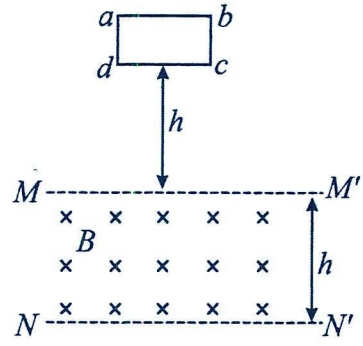
A．线圈进入磁场过程中 bc 边的电流方向由 b 指向 c

B．线圈离开磁场过程中 b 点电势低于 c 点电势

C．线圈穿过磁场区域过程中克服安培力做功为 0.16J

D．线圈穿过磁场区域过程中感应电流在 bc 边产生的焦耳热为 0.08J

【例 2】（多选题）如图所示，在竖直平面内的 MM'和 NN'之间存在垂直平面向里、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，MM'和 NN'之间的距离为 h，在 MM'上方高 h 处一长度为 2L、宽度为 L 的矩形导体线框从静止开始下落。已知 h>L，线框的质量为 m，电阻为 R，线框下落过程中 ab 边始终保持水平，不考虑空气阻力的影响，重力加速度为 g，下列说法正确的是（　　）



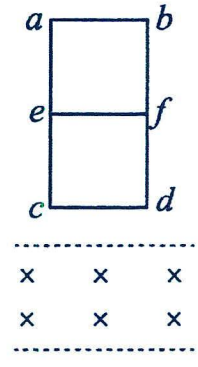
A．线框进入磁场的过程中线框中电流方向是 a→b→c→d→a

B．线框在完全进入匀强磁场后有可能做匀速直线运动

C．若线框刚进入匀强磁场区域时做匀速直线运动，则线框中电流的功率为 $\frac{m^2g^2R}{4B^2L^2}$

D．线框进入磁场的过程中通过导线截面的电荷量为 $\frac{2BL^2}{R}$

【例 3】（多选题）如图所示，线框 ac、bd 边长为 2L、电阻不计，三条短边 ab、cd、ef 长均为 L、电阻均为 R，ef 位于线框正中间。线框下方有一宽度为 L 的有界匀强磁场，磁感应强度大小为 B，cd 边与磁场边界平行，当 cd 距磁场上边界一定高度时无初速释放线框，线框 cd 边进入磁场时线框恰好匀速运动，下落过程中线框始终在竖直面内，已知线框质量为 m，重力加速度为 g，则下列判断正确的是（　　）



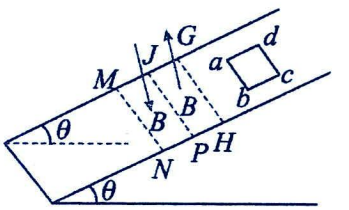
A．线框通过磁场过程中流过 ab 边的电流不变

B．线框通过磁场过程中 a、b 两点间电势差始终为 $U_{ab}=-\frac{mgR}{2BL}$

C．释放时 cd 边到磁场上边界高度为 $\frac{9m^2gR^2}{8B^4L^4}$

D．整个过程中 ab 边产生的焦耳热一定为 2mgL

【例 4】（多选题）如图所示，在倾角为θ的光滑斜面上，存在两个磁感应强度大小均为 B、方向相反的匀强磁场，磁场方向与斜面垂直，两磁场的宽度 MJ 和 JG 均为 L，一个质量为 m、电阻为 R、边长也为 L 的正方形导线框，由静止开始沿斜面下滑，当 ab 边刚越过 GH 进入磁场时，线框恰好以速度v_0做匀速直线运动；当 ab 边下滑到 JP 与 MN 的中间位置时，线框又恰好以速度 v 做匀速直线运动，则（　　）



A．当 ab 边刚越过 GH 进入磁场时，cd 边电势差$U_{cd}=\dfrac{BLv_0}{4}$

B．当 ab 边刚越过 JP 时，线框加速度的大小为$3g\sin\theta$

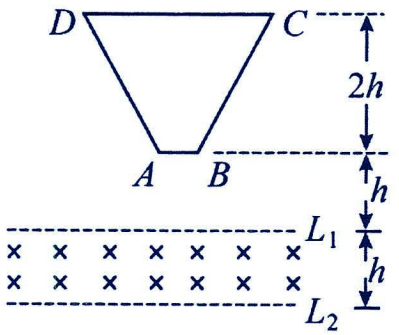
C．从 ab 边刚越过 JP 到线框再做匀速直线运动所需的时间$t=\dfrac{1}{mg\sin\theta}\left(\dfrac{2B^2L^3}{R}-\dfrac{3}{4}mv_0\right)$

D．从 ab 边刚越过 GH 到 ab 边刚越过 MN 过程中，线框产生的热量为$2mgL\sin\theta+\dfrac{3}{8}mv_0^2$

【例 5】如图所示，水平虚线 L_1、L_2之间是匀强磁场，磁场区竖直宽度为 h，磁场方向水平向里。竖直平面内有一等腰梯形导线框，底边水平，其上下边长之比为 5:1，高为 2h。现使线框 AB 边在磁场边界 L_1的上方 h 高处由静止自由下落，当 AB 边刚进入磁场时加速度恰好为 0，在 DC 边刚要进入磁场前的一小段时间内，线框做匀速运动。重力加速度为 g。(1)如果已知磁感应强度为 B，导线框电阻为 R，AB 长为 l，求线框的质量；

(2)求在 DC 边进入磁场前，线框做匀速运动时的速度大小与 AB 边刚进入磁场时的速度大小之比；

(3)求 DC 边刚进入磁场时，线框加速度的大小。



【跟踪训练】

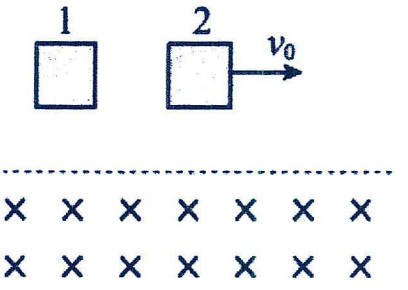
1．（多选题）如图所示，虚线下方有垂直纸面向里的足够大有界匀强磁场，虚线上方同一高度处有两个完全相同的正方形均匀金属线框 1、2 ，线框 1 做自由落体运动，线框 2 做初速度为 v_0 的平抛运动。线框 1、2 在运动过程中均无旋转。磁场的磁感应强度大小 B，线框 1 恰匀速进入磁场。不计空气阻力，从开始运动到线框完全进入磁场的过程中，下列说法正确的是（　　）

A．线框 2 减速进入磁场区域

B．线框 1、2 始终处于同一高度

C．线框 1 产生的焦耳热小于线圈 2 产生的焦耳热

D．通过线框 1、 2 导线横截面的电荷量相等



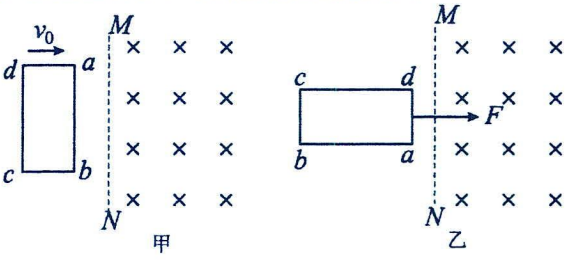
2．（多选题）光滑绝缘水平桌面上，虚线 *MN* 右侧有竖直向下的匀强磁场，磁感应强度大小为 0.5T，虚线左侧有一长 2m、宽 1m 的矩形金属框 *abcd* ，其质量为 1kg，电阻为 0.5Ω，开始时 *ab* 边与 *MN* 平行。第一次，让金属框沿水平桌面、垂直 *MN* 方向以 5m / s 的初速度进入磁场区域，如图甲所示；第二次，将金属框在平面内顺时针转 90°，在水平向右的外力作用下以 5m / s 的速度匀速进入磁场区域，如图乙所示。下列说法正确的是（　）

A．两次进入磁场的过程中，金属框中的电流方向都为 *abcda*

B．两次进入磁场的过程中，通过金属框横截面的电荷量之比为 1:1

C．两次进入磁场的过程中，金属框中产生的焦耳热之比为 8:5

D．金属框两次进入磁场过程的时间之比为 5:8



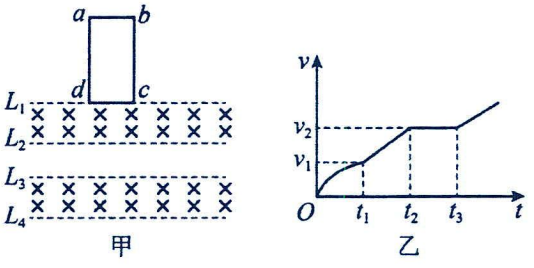
3．（多选题）如图甲所示，在竖直方向上有四条间距相等的水平虚线 L_1、L_2、L_3、L_4，在 L_1、L_2 之间，L_3、L_4 之间存在匀强磁场，磁感应强度大小均为 1 T，方向垂直于虚线所在平面。现有一矩形线圈 abcd，宽度 cd=L=0.5 m，质量为 0.1 kg，电阻为 2 Ω，将其从图示位置由静止释放（cd 边与 L_1 重合），线圈速度随时间的变化关系如图乙所示，t_1 时刻 cd 边与 L_2 重合，t_2 时刻 ab 边与 L_3 重合，t_3 时刻 ab 边与 L_4 重合，已知 t_1~t_2 的时间间隔为 0.6 s，整个运动过程中线圈平面始终处于竖直方向（重力加速度 g 取 10 m/s²）。则（　　）

A．在 0~t_1 时间内，通过线圈的电荷量为 0.25 C

B．线圈匀速运动的速度大小为 8 m/s

C．线圈的长度为 1 m

D．0~t_3 时间内，线圈产生的热量为 1.8 J



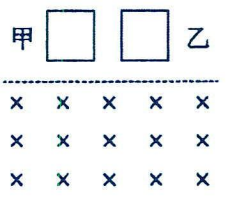
4．（多选题）由相同材料的导线绕成边长相同的甲、乙两个正方形闭合线圈，两线圈的质量相等，但所用导线的横截面积不同，甲线圈的匝数是乙的 2 倍。现两线圈在竖直平面内从同一高度同时由静止开始下落，一段时间后进入一方向垂直于纸面的匀强磁场区域，磁场的上边界水平，如图所示。不计空气阻力，已知下落过程中线圈始终平行于纸面，上、下边保持水平。在线圈下边进入磁场后且上边进入磁场前，可能出现的是（　　）

A．甲和乙都加速运动

B．甲和乙都减速运动

C．甲加速运动，乙减速运动

D．甲减速运动，乙加速运动

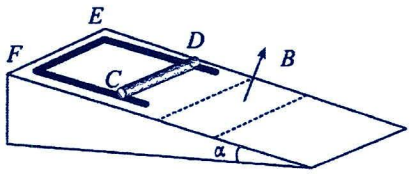


5．如图，一倾角为α的光滑固定斜面的顶端放有质量$M=0.06\text{kg}$的U型导体框，导体框的电阻忽略不计；一电阻$R=3\Omega$的金属棒CD的两端置于导体框上，与导体框构成矩形回路$CDEF$；EF与斜面底边平行，长度$L=0.6\text{m}$。初始时CD与EF相距$s_0=0.4\text{m}$，金属棒与导体框同时由静止开始下滑，金属棒下滑距离$s_1=\frac{3}{16}\text{m}$后进入一方向垂直于斜面的匀强磁场区域，磁场边界（图中虚线）与斜面底边平行；金属棒在磁场中做匀速运动，直至离开磁场区域。当金属棒离开磁场的瞬间，导体框的EF边正好进入磁场，并在匀速运动一段距离后开始加速。已知金属棒与导体框之间始终接触良好，磁场的磁感应强度大小$B=1\text{T}$，重力加速度大小取$g=10\text{m/s}^2$。求：

（1）金属棒在磁场中运动时所受安培力的大小；

（2）金属棒的质量以及金属棒与导体框之间的动摩擦因数；

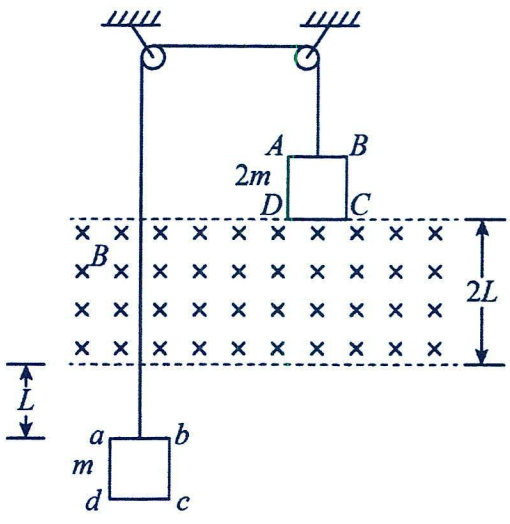
（3）导体框匀速运动的距离。



题型三：线框中的连接体问题

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，正方形导线框 ABCD、abcd 的边长均为 L，电阻均为 R，质量分别为 2m 和 m，它们分别系在一跨过两个定滑轮的轻绳两端，且正方形导线框与定滑轮处于同一竖直平面内。在两导线框之间有一宽度为 $2L$、磁感应强度大小为 B、方向垂直纸面向里的匀强磁场。开始时导线框 ABCD 的下边与匀强磁场的上边界重合，导线框 abcd 的上边到匀强磁场的下边界的距离为 L。现将系统由静止释放，当导线框 ABCD 刚好全部进入磁场时，系统开始做匀速运动，不计摩擦的空气阻力，则（　　）



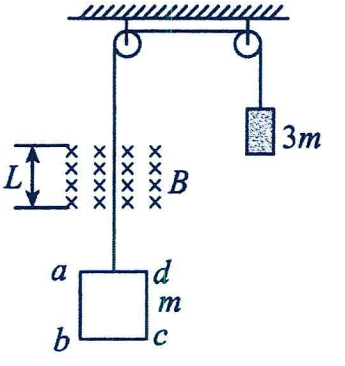
A．两线框刚开始做匀速运动时轻绳上的张力 $F_T = mg$

B．系统匀速运动的速度大小 $v = \dfrac{mgR}{B^2L^2}$

C．两线框从开始运动至等高的过程中所产生的总焦耳热 $Q = 2mgL - \dfrac{3m^3g^2R^2}{2B^4L^4}$

D．导线框 abcd 的 ab 边通过磁场的时间 $t = \dfrac{3B^2L^3}{mgR}$

【例 2】（多选题）如图所示，一匝数为 n，边长为 L，质量为 m，电阻为 R 的正方形导体线框 *abcd*，与一质量为 3m 的物块通过轻质细线跨过两定滑轮相连，在导体线框上方某一高处有一宽度为 L 的上、下边界水平的匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向垂直纸面向里，现将物块由静止释放，当 *ad* 边从磁场下边缘进入磁场时，线框恰好做匀速直线运动，不计一切摩擦，重力加速度为 g，则（　　）



A．线框 *ad* 边进入磁场之前线框加速度 $a = 2g$

B．从线框全部进入磁场到完全离开磁场的过程中，通过线框的电荷量 $q = \dfrac{BL^2}{R}$

C．整个运动过程线框产生的焦耳热为 $Q = 4mgL$

D．线框进入磁场时的速度大小 $v = \dfrac{2mgR}{n^2B^2L^2}$

【跟踪训练】

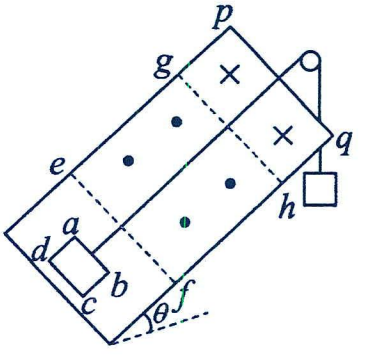
1．（多选题）如图，光滑斜面的倾角θ＝30°，在斜面上放置一矩形线框 abcd，ab 边长 l_1＝1 m，bc 边的边长 l_2＝0.6 m，线框的质量 m＝1 kg，电阻 R＝0.1 Ω，线框用细线通过定滑轮与重物相连，重物的质量 M＝2 kg，斜面上 ef 线与 gh 线（ef∥gh∥pq∥ab）间有垂直斜面向上的匀强磁场，磁感应强度 B_1＝0.5 T，gh 线与 pq 线间有垂直斜面向下的匀强磁场，磁感应强度 B_2＝0.5 T，如果线框从静止开始运动，当 ab 边进入磁场时恰好做匀速直线运动，ab 边由静止开始运动到 gh 线所用的时间为 2.3 s，取 g＝10 m/s²，则（　　）

A．线框进入磁场过程中感应电流方向 a→b→c→d

B．ef 线到 gh 线距离为 8.5 m

C．ab 边由静止开始至运动到 gh 线这段时间内线框中产生的焦耳热为 9 J

D．ab 边刚越过 gh 线瞬间线框的加速度为 30 m/s²



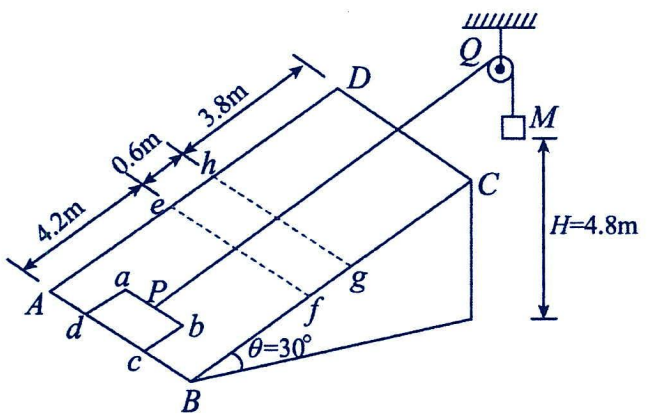
2．如图所示，光滑矩形斜面ABCD的倾角$\theta=30°$，在其上放置一矩形金属线框abcd，ab的边长l_1=1m，bc的边长l_2=0.6m，线框的质量$m=1$kg，电阻$R=0.1\Omega$，线框通过细线绕过定滑轮与重物相连，细线与斜面平行且靠近；重物质量$M=2$kg，离地面的高度为$H=4.8$m；斜面上$efgh$区域是有界匀强磁场，方向垂直于斜面向上；已知AB到ef的距离为S_1=4.2m，ef到gh的距离S_2=0.6m，gh到CD的距离为S_3=3.8m，取g=10m/s^2；现让线框从静止开始运动（开始时刻，cd与AB边重合），发现线框匀速穿过匀强磁场区域，求：

(1)线框进入磁场时的速度v；

(2)$efgh$区域内匀强磁场的磁感应强度B；

(3)线框在通过磁场区域过程中产生的焦耳热Q；

(4)线框从开始运动到ab边与CD边重合需经历多长时间。

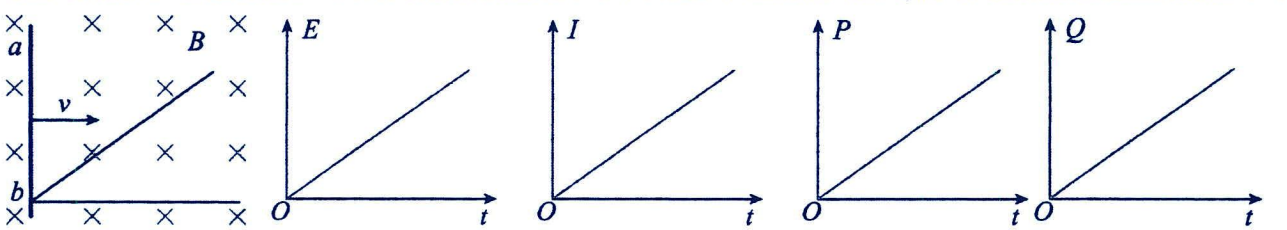


考点三：导轨间距变化的单杆模型

题型一：无外力

【精选例题】

【例1】（多选题）如图所示，一个水平放置的“∠”形光滑金属导轨固定在方向竖直向下、磁感应强度为B的匀强磁场中，ab是粗细、材料与导轨完全相同的导体棒，导体棒与导轨接触良好。在外力作用下，导体棒以恒定速度v向右平动，导体棒与导轨一边垂直，以导体棒在图中所示位置的时刻作为计时起点，则下列关于回路中感应电动势E、感应电流I、导体棒所受外力的功率P和回路中产生的焦耳热Q随时间变化的图像正确的是（　）

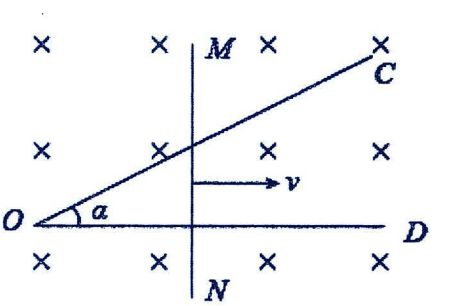


A　　B　　C　　D

【例2】如图所示，“∠”形金属导轨COD上放有一根金属棒MN，拉动MN使它以速度v向右匀速平动，如果导轨和金属棒都是粗细相同的均匀导体，电阻率都为ρ，那么MN在导轨上运动的过程中，闭合回路的（　　）

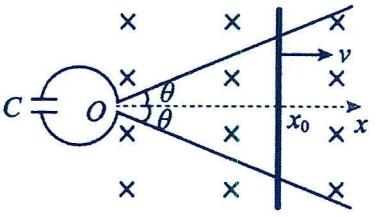
A．感应电动势保持不变　　B．感应电流保持不变

C．感应电流逐渐减弱　　D．感应电流逐渐增强



【跟踪训练】

1．如图，两光滑导轨水平放置在竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B。导轨间距最窄处为一狭缝，取狭缝所在处 O 点为坐标原点。狭缝（缝宽可忽略）右侧两导轨与 x 轴夹角均为θ，一电容为 C 的电容器与导轨左端相连。导轨上的金属棒与 x 轴垂直，在外力 F 作用下从 O 点开始以速度 v 向右匀速运动，忽略所有电阻。下列说法正确的是（　）



A．通过金属棒的电流为$BCv^2\tan\theta$

B．金属棒到达x_0时，电容器极板上的电荷量为$BCvx_0\tan\theta$

C．金属棒运动过程中，电容器的上极板带负电

D．$0-t$时间内，外力 F 的冲量为$2CB^2\tan^2\theta t^2v^3$

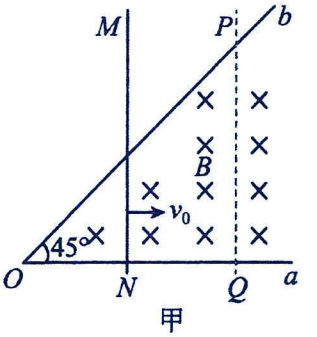
2．（多选题）如图甲所示，水平面内有一“∠”形光滑金属导轨，Oa 与 Ob 夹角为 45°，将质量为 m 的长直导体棒 MN 搁在导轨上并与 Oa 垂直，除了两轨连接点 O 的电阻为 R，其他电阻均不计。棒与 O 点距离为 L，空间存在垂直于导轨平面的匀强磁场，磁感应强度为 B。在外力作用下，棒以初速度 v_0 向右做直线运动。其速度的倒数$\frac{1}{v}$随位移 x 变化的关系如图乙所示，在导体棒运动 L 距离到 PQ 的过程中（　　）

A．导体棒做匀减速直线运动

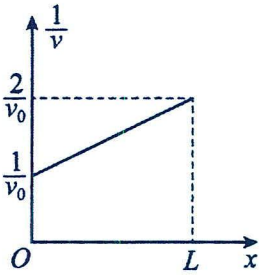
B．导体棒运动的时间为$\frac{4L}{3v_0}$

C．流过导体棒的电流恒为$\frac{BLv_0}{R}$

D．外力做功为$\frac{3B^2L^3v_0}{2R}-\frac{3mv_0^2}{8}$



甲



乙

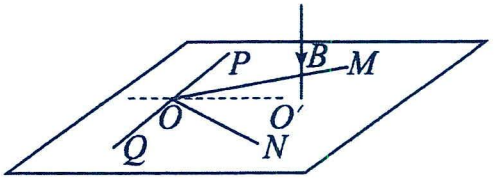
3．（多选题）如图，一“<”形导轨 NOM 静止放置在足够大的光滑水平桌面上，$\angle NOM=60°$，OO' 为 $\angle NOM$ 的角平分线。匀强磁场垂直水平桌面向下，磁感应强度大小为 B。长直导体棒 PQ 与 OO' 垂直，导体棒 PQ 沿 OO' 方向以某一速度，滑上导轨，最终导体棒和导轨以共同的速度 v 沿桌面运动。已知导体棒的质量为 m，“<”形导轨的质量为 $2m$，导体棒和导轨单位长度的电阻均为 r_0，导轨和导体棒足够长，导体棒与导轨间无摩擦。则（　）

A．整个过程导体棒产生的电热大小为$3mv^2$

B．最终共速时，导体棒和导轨围成的面积为$\frac{6mvr_0}{B^2}$

C．若磁感应强度大小变为$2B$，最终共速时的速度变为$\frac{v}{2}$

D．若磁感应强度大小变为$2B$，最终共速时的速度仍为v

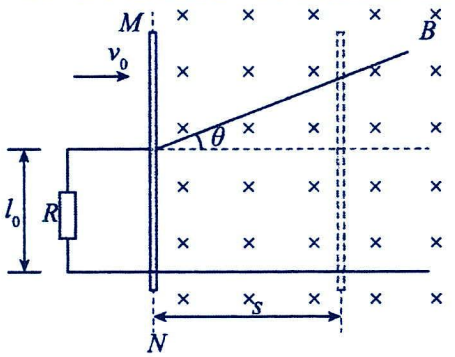


题型二：有外力

【精选例题】

【例 1】如图所示“”形光滑导轨水平放置，电阻不计，导轨左端接一阻值为 R 的电阻，几何尺寸如图所示，左侧宽度为 l_0，右侧倾斜部分与左侧导轨延长线夹角为 θ，虚线 MN 右侧空间中存在垂直导轨平面向内的匀强磁场，磁感强度为 B，一电阻不计的金属棒置于导轨上，与导轨接触良好，初始时刻与 MN 重 合，初速度方向向右大小为 v_0，现用外力控制金属棒向右运动通过距离 s，运动过程中金属棒始终平行于 MN，且运动过程中通过 R 的电流保持恒定．求：（1）金属棒向右运动通过距离 s 时的速度；

（2）这个过程通过 R 的电荷量及产生的焦耳热．

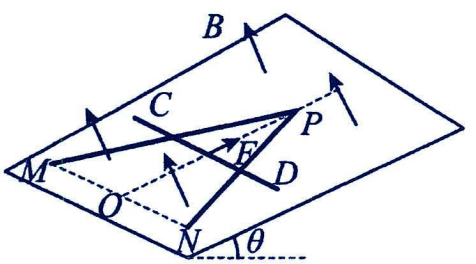


【例 2】如图所示，匀强磁场的磁感应强度 B 为 2T，其方向垂直于倾角 θ 为 30°的斜面向上。绝缘斜面上固定有“∧”形状的光滑金属导轨 MPN（电阻忽略不计），MP 和 NP 长度均为 1 m，MN 连线水平，长为 $L=1.2$m，OP 为 MN 的中垂线，一根粗细均匀的金属杆 CD，长度为 1.2m，质量 m 为 0.5kg，电阻 R 为 4Ω，在沿 OP 方向的拉力 F 作用下，从 MN 处以恒定速度 $v=5$m/s 从 O 向 P 运动（金属杆与导轨接触良好）。g 取 10m/s^2。求：

（1）金属杆 CD 从 MN 处开始运动时金属杆 CD 中电流的大小和方向；

（2）金属杆 CD 运动到 OP 中点时拉力 F 的大小；

（3）金属杆 CD 从 MN 处运动到 P 点的全过程产生的焦耳热。

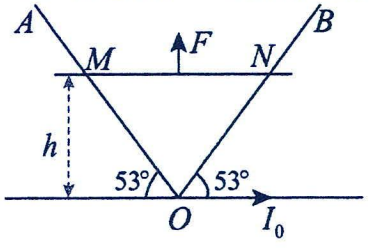


【例 3】如图所示，一根包有绝缘层的长直细导线固定于水平地面，导线中有方向向右，大小为I_0的恒定电流（已知距离导线为 r 处的磁感应强度大小为$k\frac{I_0}{r}$，k 为已知常量），与该电流在同一竖直平面内固定一足够长且电阻不计的 V 形金属导轨 AOB，AO 和 BO 与水平地面夹角均为 53°。有一根长度为 L，质量为 m，单位长度电阻为 R_0 的金属杆 MN，放置于 V 形导轨底端且其中点位于 O。现用一外力 F（大小未知且可变）使金属杆 MN 由静止开始紧贴导轨竖直向上运动，运动过程中，杆身始终保持水平，且金属杆 MN 与导轨组成的回路中感应电流恒定为 I。不计一切摩擦阻力，重力加速度为 g，$\sin53°=0.8$，$\cos53°=0.6$。

（1）判定运动中流过金属杆 MN 的电流方向；

（2）求金属杆 MN 运动到如图所示 h 高度时的速率和受到的安培力大小；

（3）求金属杆 MN 从开始运动到脱离轨道的过程中，外力 F 所做的功。

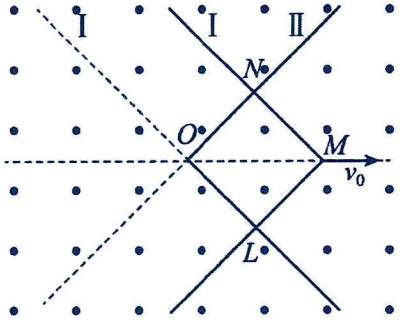


【跟踪训练】

1．如图所示，光滑水平面上两个完 全相同的直角 L 形匀质金属导轨，角平分线在同一直线上，导体单位长度上的电阻为 r．导 轨 II 固定，导轨 I 以恒定的速度 v_0 在角平分线上无摩擦滑动．水平面内有竖直向上的匀强磁场，磁感强度为 B．当两导轨交叉后，交叉点保持良好接触，t=0 时，两导轨顶点恰好重合．设导轨足够长，磁场区域足够大，求：（1）t 时刻，矩形 LMNO 中感应电流的大小及方向；

（2）t 时刻，导轨 I 所受的拉力；

（3）0~t 时间内拉力所做的功．

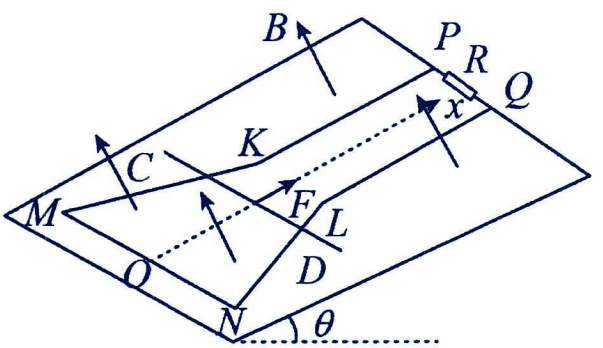


2．如图所示，匀强磁场的磁感应强度 B 为 0.5T，其方向垂直于倾角 θ 为 30°的斜面向上。绝缘斜面上固定有如图所示形状的光滑金属导轨 MKPNLQ（电阻忽略不计），MN 连线水平，长为 2m，KL 连线水平，长为 1m，KP、LQ 足够长，PQ 之间接有电阻 R，阻值为 0.1Ω。以 MN 中点 O 为原点、平行于 KP 为 x 轴建立一维坐标系 Ox。一根粗细均匀的金属杆 CD，长度 L 为 2m，质量 m 为 1kg、电阻 r 为 0.3Ω，在拉力 F 的作用下，从 MN 处以恒定速度 v=10m/s 在导轨上沿 x 轴正向运动（金属杆与导轨接触良好），g 取 10m/s^2。

（1）求金属杆 CD 在 MN 处时流过电阻 R 的电流大小和方向；

（2）当金属杆 CD 运动至 KL 处，撤去拉力 F，金属杆继续向上运动 1.1s 后速度减为 0，求撤去拉力后至金属杆速度变为 0 过程中通过电阻 R 的电量；

（3）求第（2）问所求过程中电阻 R 的发热量。



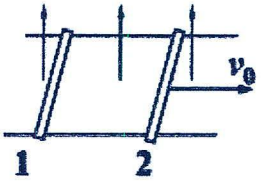
考点四：等间距双杆模型

模型概述：双金属棒切割磁感线的系统中，双金属棒和导轨构成闭合回路，安培力为系统内力。这类问题可以从以下三个观点来分析：动力学观点、能量观点、动量观点。

题型一：无外力

解题要点：

如图甲，水平间距为 L 的光滑水平导轨上放置质量为 m_1、m_2 的导体棒，电阻为 R_1、R_2，给其中一导体棒初速度 v_0。分析如下：



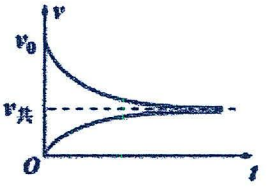
甲

1.电路特点：棒 2 相当于电源；棒 1 受安培力而加速起动,运动后产生反电动势，**等效电动势为两导体棒感应电动势之差，即：$E = BL(v_2 - v_1)$。**

2.安培力特点：棒 1 所受安培力为动力，随棒 1 速度增加而减小；

棒 2 所受安培力为阻力，随棒 2 速度减小而减小；

3.加速度特点：棒 1 做加速度 a1 减小的加速运动；棒 2 做加速度减小的减速运动；v-t 图像如图乙。



乙

4.最终状态：两棒以相同的速度做匀速运动；两导体棒两端电势差相等。

5.运动过程中的四个规律

(1)电流规律：$I = \frac{E}{R_{总}} = \frac{BL(v_2 - v_1)}{R_1 + R_2}$

(2)安培力规律：两棒的安培力大小：$F_{安} = BIL = \frac{B^2L^2(v_2 - v_1)}{R_1 + R_2}$

(3)动量规律：两棒受到安培力大小相等方向相反,系统合外力为零，系统动量守恒.$m_2 \cdot v_0 = (m_1 + m_2) \cdot v_{共}$。

(4)能量转化规律：

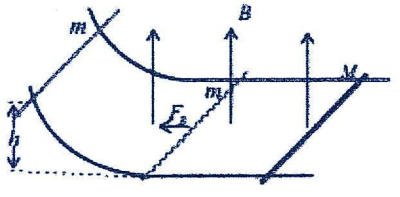
系统机械能的减小量等于内能的增加量：$Q = \frac{1}{2}m_2v_0^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_{共}^2$。（类似于完全非弹性碰撞）

两棒产生焦耳热之比：Q_1：$Q_2 = R_1$：R_2；$Q = Q_1 + Q_2$。

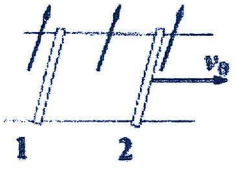
6.几种变化：

(1)初速度的提供方式不同，如图丙；(2)磁场方向与导轨不垂直，如图丁；

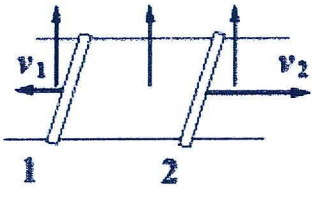
(3)两棒都有初速度，如图戊（两棒动量守恒吗？）；(4)两棒位于不同磁场中，如图己（两棒动量守恒吗？）



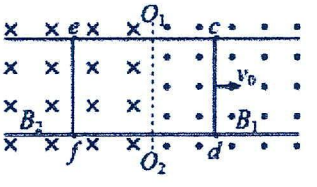
丙



丁



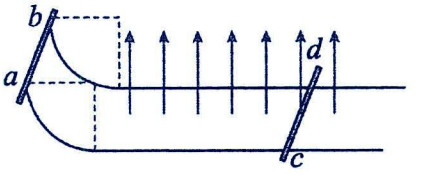
戊



己

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，半径为 r 的粗糙四分之一圆弧导轨与光滑水平导轨平滑相连，四分之一圆弧导轨区域没有磁场，水平导轨区域存在磁感应强度大小为 B、方向竖直向上的匀强磁场，导轨间距为 d，ab、cd 是质量为 m、电阻为 R 的金属棒，导轨电阻忽略不计。cd 静止在平滑轨道上，ab 从四分之一圆弧轨道顶端由静止释放，在圆弧轨道上克服阻力做功$\frac{1}{2}mgr$，水平导轨足够长，ab、cd 始终与导轨垂直并接触良好，且不会相撞，重力加速度为 g。从 ab 棒进入水平轨道开始，下列说法正确的是（　　）



A．ab 棒先做匀减速运动，最后做匀速运动

B．cd 棒先做匀加速直线运动，最后和 ab 以相同的速度做匀速运动

C．ab 棒刚进入磁场时，cd 棒电流为$\frac{Bd\sqrt{gr}}{2R}$

D．ab 棒的最终速度大小为$\frac{\sqrt{gr}}{2}$

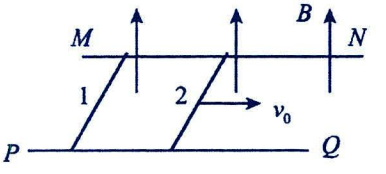
【例 2】（多选题）如图，两条足够长的平行光滑金属导轨 MN，PQ 固定在绝缘水平桌面上，导轨间距为 d，磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直于导轨平面向上，金属棒 1 与 2 均垂直于导轨放置并静止。已知两金属棒的材料相同、长度均为 d，金属棒 1 的横截面积为金属棒 2 的两倍，电路中除两金属棒的电阻均不计。现使质量为 m 的金属棒 2 获得一个水平向右的瞬时速度v_0，两金属棒从开始运动到状态稳定的过程中，下列说法正确的是（　）

A．金属棒 1 的最大速度为$\frac{v_0}{3}$

B．金属棒 2 的最小速度为$\frac{2v_0}{3}$

C．金属棒 1 上产生的焦耳热为$\frac{1}{9}mv_0^2$

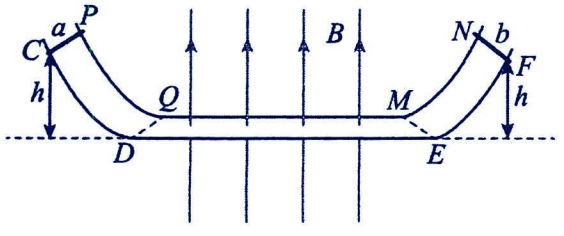
D．金属棒 2 上产生的焦耳热为$\frac{2}{9}mv_0^2$



【例 3】如图所示，PQMN 与 CDEF 为两根足够长的固定平行金属导轨，导轨间距为 L。PQ、MN、CD、EF 为相同的弧形导轨；QM、DE 为足够长的水平导轨。导轨的水平部分 QMED 处于竖直向上的匀强磁场中，磁感应强度为 B。a、b 为材料相同、长度都为 L 的导体棒，跨接在导轨上。已知 a 棒的质量为 3m、电阻为 R，b 棒的质量为 m、电阻为 3R，其他电阻不计。金属棒 a 和 b 都从距水平面高度为 h 的弧形导轨上由静止释放，分别通过 DQ、EM 同时进入匀强磁场中，a、b 棒在水平导轨上运动时不会相碰。若金属棒 a、b 与导轨接触良好，且不计导轨的电阻和棒与导轨的摩擦，重力加速度为 g。

(1)金属棒 b 向左运动速度大小减为金属棒 a 的速度大小的一半时，金属棒 a 的速度多大？

(2)金属棒 a、b 进入磁场后，如先离开磁场的某金属棒在离开磁场前已匀速运动，此棒从进入磁场到匀速运动的过程电路中产生的焦耳热多大？

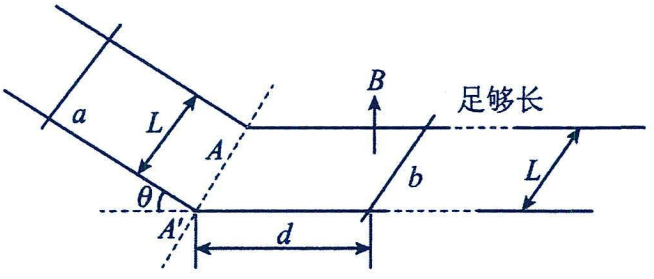


【例 4】如图，倾斜平行轨道与水平面间的夹角为θ=37°。水平轨道足够长，两轨道宽度均为$L=1\text{m}$，在AA'处平滑连接，使导体棒 a 从倾斜轨道运动到水平轨道上时速度大小不变。过AA'的虚线（包含虚线边界）右侧水平轨道上有磁感应强度大小为$B=1T$、方向竖直向上的匀强磁场。导体棒 a、b 的质量均为$m=0.1\text{kg}$，两棒与轨道始终垂直且接触良好，两棒接入轨道的电阻 $R_a=R_b=1\ \Omega$。初始时刻，导体棒 a 在倾斜轨道上离AA'的距离为$s=3\text{m}$处由静止释放，导体棒 b 静止在水平轨道上并锁定，且导体棒 b 到AA'位置的水平距离为$d=1.0\text{m}$。不计一切摩擦阻力，导体棒 a、b 不会发生碰撞，轨道电阻不计。$\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$，$g=10\text{m/s}^2$。求：

（1）导体棒 a 滑到倾斜轨道底端AA'位置时受到的安培力大小；

（2）导体棒 a 从AA'位置到最后停止的过程中，导体棒 a 上产生的焦耳热；

（3）若导体棒 a 滑到倾斜轨道底端，AA'位置时，立即解除对导体棒 b 的锁定，导体棒 a、b 运动稳定时，导体棒 a、b 相距的距离。



【跟踪训练】

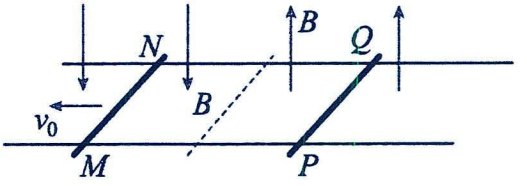
1.（多选题）如图所示，水平面内固定有两根平行的光滑长直金属导轨，间距为L，电阻不计。整个装置处于两个磁感应强度大小均为B、方向相反的竖直匀强磁场中，虚线为两磁场的分界线。质量均为m的两根相同导体棒MN、PQ静置于导轨上，两棒始终与导轨垂直且接触良好。现使MN棒获得一个大小为v_0、方向水平向左的初速度，则在此后的整个运动过程中（　）

A．两导体棒组成的系统动量守恒

B．MN棒克服安培力做功的功率等于MN棒的发热功率

C．两棒最终的速度大小均为$\frac{v_0}{2}$，方向相反

D．通过PQ棒横截面的电荷量为$\frac{mv_0}{2BL}$



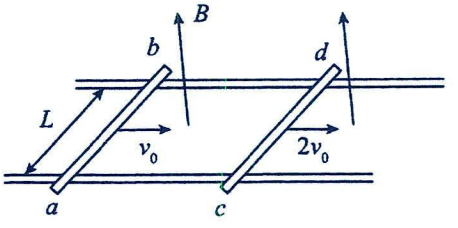
2.（多选题）如图，固定于水平面内，电阻不计的足够长的两平行光滑金属导轨间距为 L，质量均为 m、阻值均为 R 的两金属棒ab、cd垂直搁置于导轨上，磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直于导轨平面向上。某一时刻同时给ab、cd以平行于导轨的初速度 v_0、$2v_0$，则从两棒开始运动至达到恒定速度的过程中（　　）

A．两棒开始运动时，回路中的电流最大

B．ab的加速度增大，cd的加速度减小

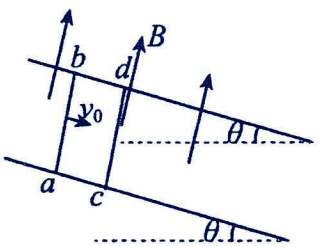
C．回路产生的焦耳热为$\frac{mv_0^2}{8}$

D．ab、cd间距一直增加



3．如图所示，倾角为θ=37°的足够长的平行金属导轨固定在水平面上，平行导轨间的距离为L，两导体棒ab、cd垂直于导轨放置，空间存在垂直导轨平面向上的匀强磁场，磁感应强度大小为B，现给导体棒ab一沿导轨平面向下的初速度v_0使其沿导轨向下运动，已知两导体棒质量均为m，电阻均为R，两导体棒与导轨之间的动摩擦因数均为μ=0.75，导轨电阻忽略不计，从ab开始运动到两棒相对静止的整个运动过程中两导体棒始终与导轨保持良好的接触。(1)求两根导体棒最终的速度；(2)整个过程中回路产生的焦耳热Q；

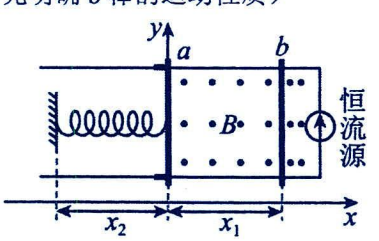
(3)若导体棒ab运动之前，两根导体棒相距的距离为L_0，要保证运动过程中两根导体棒不相撞，L_0最小是多少？



4．如图所示，间距L=1m的两平行光滑金属导轨，x轴平行于导轨，y轴垂直于导轨。在x=0位置有一宽度不计的光滑绝缘薄层隔开左右两部分电路，一质量为 m_a=2kg的金属棒a静止置于其上 （开始时未接触导轨）。在y轴右侧区域的导轨间存在垂直纸面向外、大小为B的非匀强磁场，满足B=0.5x（T） 变化。质量为 m_b=1kg金属棒b垂直导轨静止于x_1=0.5m处，导轨右侧的恒流源始终为电路提供恒定的电流I=8A （方向如图中箭头所示）。在两轨道中存在一劲度系数为k=8N/m的轻质弹簧，弹簧左端固定在 x_2=-0.5m的位置，右端与金属棒a相连。忽略一切阻力，金属棒a与金属棒b发生的均为弹性碰撞。已知弹簧振子做简谐振动的回复力与位移关系满足公式 $F=-m\omega^2 x$,其中m为振子质量，ω为简谐振动的圆频率，x为位移。劲度系数为k的弹簧形变为x时弹簧的弹性势能为 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$。求:（1）金属棒b第一次到达y轴 （还未与a相碰）时的速度大小v_0；

（2）金属棒a第一次将弹簧压缩至最短时弹簧的形变量；

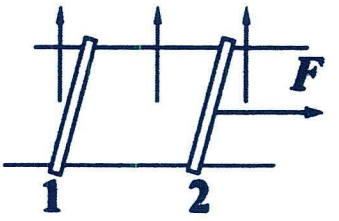
（3）以金属棒a与金属棒b第一次碰撞为计时起点，求金属棒b的位置坐标随时间变化的函数方程。（提示：先明确b棒的运动性质）



题型二：有外力

解题要点：

如右图，水平间距为 L 的光滑水平导轨上放置质量为 m_1、m_2 的导体棒，电阻为 R_1、R_2，恒定外力 F 作用在导体棒 2 上。分析如下：

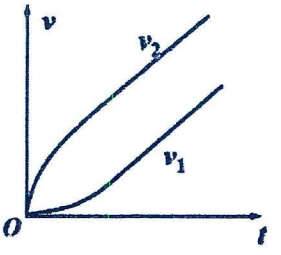


1.电路特点：棒 2 相当于电源；棒 1 受安培力而加速起动，运动后产生反电动势，等效电动势为两导体棒感应电动势之差，即：$E = BL(v_2 - v_1)$；$I = \frac{E}{R_{总}} = \frac{BL(v_2-v_1)}{R_1+R_2}$。

2.安培力特点：棒 1 所受安培力为动力，随棒 1 速度增加而增加；

棒 2 所受安培力为阻力，随棒 2 速度增加而增加；

3.加速度特点：棒 1 做加速度 a_1 增加的加速运动；棒 2 做加速度 a_2 减小的减速运动；v-t 图像如右图。



棒 1：$a_1 = \frac{F_{安}}{m_1}$；棒 2：$a_2 = \frac{F-F_{安}}{m_2}$

最初阶段，$a_2>a_1$；只要 $a_2>a_1$；$(v_2 - v_1)\uparrow$；$I\uparrow$；$F_{安}\uparrow$；$a_1\uparrow$；$a_2\downarrow$。

当 $a_2=a_1$ 时，$v_2 - v_1$恒定，I 恒定，$F_{安}$恒定，两棒以相同的加速度做匀加速。

4.最终状态：两棒以相同的加速度做匀加速运动；两导体棒速度差相等。推导如下：

$F = (m_1 + m_2)a$；$F_A = m_1 a$；$F_A = BIL = BL\frac{BL(v_2 - v_1)}{R_1 + R_2}$；$\Delta v = v_2 - v_1 = \frac{(R_1 + R_2)m_1 F}{B^2L^2(m_1 + m_2)}$

5.运动过程中的四个规律

(1)电流规律：$I = \frac{E}{R_{总}} = \frac{BL(v_2-v_1)}{R_1+R_2}$

(2)安培力规律：两棒的安培力大小：$F_{安} = BIL = \frac{B^2L^2(v_2-v_1)}{R_1+R_2}$

(3)动量规律：两棒受到安培力大小相等方向相反，根据动量定理有：

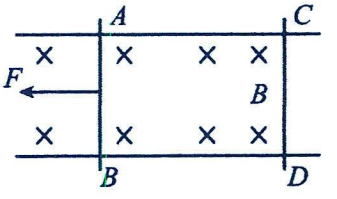
棒 2：$F\cdot\Delta t - F_{安}\cdot\Delta t = F\cdot\Delta t - BqL = m_2v_2 - 0$；棒 1：$BqL = m_1v_1 - 0$，联立得：$F\cdot\Delta t = m_2v_2 + m_1v_1$。

(4)能量转化规律：外力做的功：$W_F = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 + Q$

两棒产生焦耳热之比：Q_1：Q_2=R_1：R_2；Q=Q_1+Q_2。

【精选例题】

【例 1】空间中存在竖直向下的匀强磁场，两根相互平行的金属导轨（足够长）水平放置，俯视图如图所示。导轨上静止放置着两金属棒 AB、CD。某时刻在 AB 棒上施加一恒力 F，使 AB 棒向左运动。导轨对金属棒的摩擦力不计，金属棒运动过程中始终与导轨垂直且接触良好，下列说法正确的是（　）



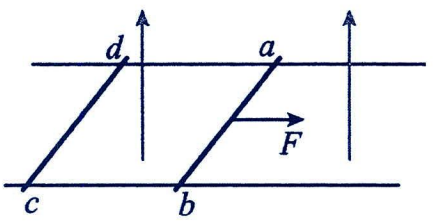
A．回路中有顺时针方向的电流

B．磁场对金属棒 AB 的作用力向左

C．金属棒 CD 一直做匀加速直线运动

D．金属棒 AB 先做加速度减小的加速运动，后做匀加速直线运动

【例 2】（多选题）如图所示，平行光滑金属导轨间距为L，导轨处在竖直向上的匀强磁场中，两个相同的金属棒ab、cd垂直于导轨平行放置，与导轨始终接触良好，每个金属棒质量为m，接入电路的电阻均为R_0。开始时cd棒锁定在轨道上，对ab棒施加水平向右的恒定拉力F，经时间t,ab棒的速度达到最大值v，此时撤去拉力，同时解除对cd棒的锁定，导轨足够长且电阻不计。则（　　）



A．匀强磁场的磁感应强度大小B为$\frac{1}{L}\sqrt{\frac{2FR_0}{v}}$　　B．撤去拉力前ab棒前进的距离为$2vt-\frac{mv^2}{F}$

C．撤去拉力前ab棒前进的距离为$vt-\frac{mv^2}{F}$　　D．全过程中回路产生的焦耳热为$Fvt-\frac{5mv^2}{4R_0}$

【例 3】（多选题）如图 1 所示，空间存在方向竖直向上的匀强磁场，磁感应强度$B=10\text{T}$，电阻忽略不计的足够长、光滑的水平金属导轨间的距离$L=0.1\text{m}$。电阻均为$R=10\Omega$、质量分别为m_a=0.2kg、m_b=0.1kg 的导体棒 a、b 垂直导轨放置，计时开始导体棒 a 受到水平向右的恒力 F 作用，a、b 从静止开始做加速运动，t_1时刻导体棒 a 的速度正好达到v_0=10m/s，此后两导体棒达到稳定的运动状态，图 2 是导体棒 a、b 运动的$v-t$图像，两根导体棒在运动过程中始终与导轨保持垂直且良好接触，不计水平金属导轨的电阻，磁场的范围足够大。下列说法正确的是（　　）

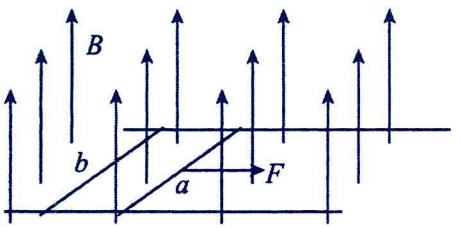


图1

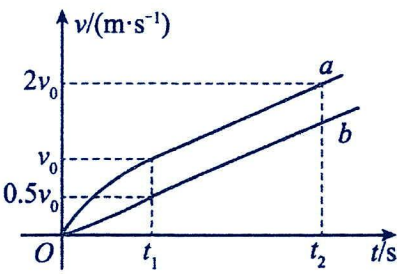


图2

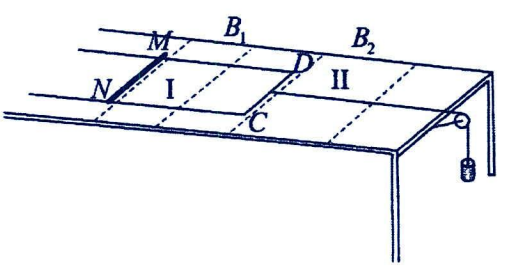
A．$0\sim t_1$时间间隔内，安培力对导体棒 b 做的功等于 2.5J　　B．t_2与t_1差值为 4s

C．$0\sim t_1$时间间隔内，通过导体棒 a 某一横截面的电荷量为 0.5C　　D．F 的大小为 0.5N

【例 4】足够长 U 形导轨平置在光滑水平绝缘桌面上，宽为 1 m，电阻不计。质量为 1 kg、长为 1 m、电阻为 1 Ω 的导体棒 MN 放置在导轨上，与导轨形成矩形回路并始终接触良好，I和II区域内分别存在竖直方向的匀强磁场，磁感应强度分别为B_1和B_2，其中$B_1=0.5$ T，方向向下。用不可伸长的轻绳跨过固定轻滑轮将导轨 CD 段中点与质量为 0.4 kg 的重物相连，绳与 CD 垂直且平行于桌面。如图所示，某时刻 MN、CD 同时分别进入磁场区域 I和II并做匀速直线运动，MN、CD 与磁场边界平行。MN 的速度$v_1=2$ m/s，CD 的速度为v_2，且$v_2>v_1$，MN 和导轨间的动摩擦因数为 0.2，重力加速度大小取$g=10\text{ m/s}^2$。

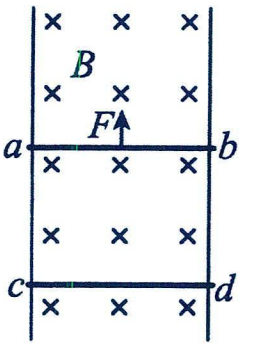
(1)判断区域II的磁场方向并求出该区域磁感应强度的大小；

(2)求 CD 在区域II中匀速直线运动的速度v_2的大小。



【跟踪训练】

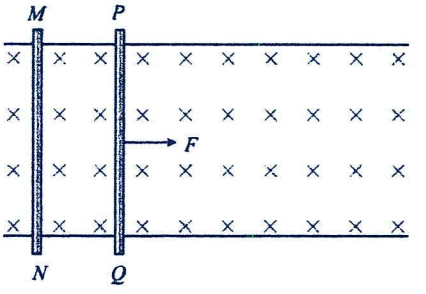
1．（多选题）一空间有垂直纸面向里的水平匀强磁场，两根电阻不计的足够长平行光滑导轨竖直放置在磁场内，如图所示。磁感应强度 $B=0.5\mathrm{T}$，两导轨间距为 0.2m；导体棒 ab、cd 紧贴导轨放置，电阻均为 0.1Ω，质量 m 均为 0.1kg，长度均为 0.2m；现用恒力 $F=2\mathrm{N}$ 向上拉动静止的导体棒 ab 的同时，将 cd 以初速度 v_0=10m/s 向下释放（导体棒 ab、cd 始终与导轨垂直且接触良好），重力加速度 g 取10m/s²，当两导体棒稳定后，下列说法正确的是（　　）



A．ab、cd 棒均做匀加速直线运动　　B．ab、cd 棒均做匀速直线运动

C．ab、cd 棒速度大小相等　　D．cd 棒的速度大小是 ab 棒的 3 倍

2．（多选题）如图，两光滑平行且电阻不计的长直金属导轨水平固定放置，所在空间内存在竖直向下磁感应强度为 2T 的匀强磁场。两根完全相同的金属棒 MN、PQ 垂直放置在导轨上，处于静止状态。某时刻开始对 PQ 棒施加一个水平向右大小恒为 4N 的力，当 PQ 棒速度变为 3m/s 时系统达到稳定。已知两金属棒的质量均为 1kg，有效电阻均为1Ω，导轨间距为 1m，运动过程中导轨与金属棒接触良好，则下列说法正确的是（　　）



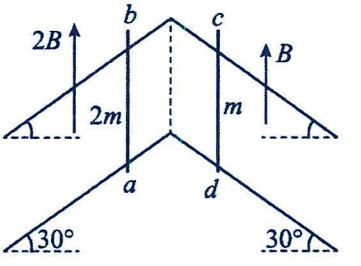
A．系统达到稳定后，两根金属棒均做匀速直线运动

B．当 PQ 棒速度变为 3m/s 时，MN 棒速度变为 2m/s

C．当 PQ 棒速度变为 3m/s 时，回路中的电流大小为 2A

D．系统达到稳定后的 4s 内，通过金属棒横截面积的电荷量为 4C

3．（多选题）如图，两条“∧”形的光滑平行金属导轨固定在绝缘水平面上，间距为 L，左、右两导轨面与水平面夹角均为 30°，均处于竖直向上的匀强磁场中，磁感应强度大小分别为 2B 和 B。将有一定阻值的导体棒 ab、cd 放置在导轨上，同时由静止释放，两棒在下滑过程中始终与导轨垂直并接触良好，ab、cd 的质量分别为 2m 和 m，长度均为 L。导轨足够长且电阻不计，重力加速度为 g，两棒在下滑过程中（　　）



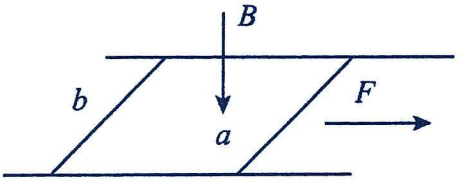
A．回路中的电流方向为 abcda　　B．ab 中电流趋于 $\dfrac{\sqrt{3}mg}{3BL}$

C．ab 与 cd 加速度大小之比始终为 2∶1　　D．两棒产生的电动势始终相等

4．如图所示，两根足够长的金属直导轨水平平行放置，导轨间距为 $L=1\mathrm{m}$，整个装置处于竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为 $B=1\mathrm{T}$。现将质量均为 $m=1\mathrm{kg}$ 的金属棒 a、b 垂直导轨放置，a、b 金属棒接入导轨之间的电阻分别为 R、3R，$R=1\Omega$。a 棒光滑，b 棒与轨道间动摩擦因数 $\mu=0.1$，运动过程中金属棒与导轨始终垂直且接触良好，金属棒始终未滑出导轨，导轨电阻忽略不计，设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度大小 g=10m/s²，当给 a 棒施加水平向右恒定的拉力 $F=2\mathrm{N}$，则：

（1）a 棒速度 v_0 为多大时，b 棒开始运动？此时 a 棒的加速度大小为多少？

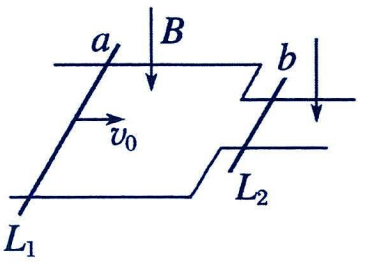
（2）从 b 棒运动开始计时，经过时间 t0=8s，a，b 棒速度之比 v_a：v_b=3：1，求此时 b 棒的速度 v_b 的大小；t_0 时间内流过 b 棒的电量为 q，求时间 t_0 内 a 棒相对于 b 棒运动的距离Δx。



考点五：不等间距双杆模型

题型一：无外力

解题要点：



光滑水平导轨上放置质量为 m_1、m_2 的导体棒，电阻为 R_1、R_2，轨道间距为 L_1、L_2，满足 $k=\frac{L_1}{L_2}$，给其中一导体棒初速度 v_0。

分析如下：a 棒减速，b 棒加速，$E=BL_1v_a-BL_2v_b$，由 $v_a\downarrow$，$v_b\uparrow\Rightarrow E\downarrow\Rightarrow F_{安}\downarrow\Rightarrow a\downarrow$；

当 $BL_1v_a=BL_2v_b$ 时，a=0，两棒匀速运动。

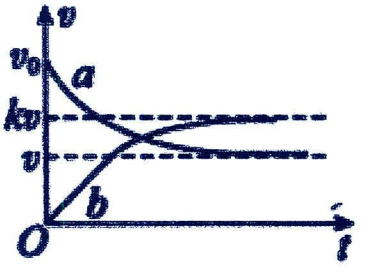
1.电路特点：棒 a 相当于电源；棒 b 受安培力而加速起动，运动后产生反电动势，

等效电动势为两导体棒感应电动势之差，即：$E=B(L_1v_a-L_2v_b)$；$I=\frac{E}{R_{总}}=\frac{B\cdot(L_1v_a-L_2v_b)}{R_1+R_2}$。

2.安培力特点：棒 a 所受安培力为阻力，随棒 a 速度减小而减小；

棒 b 所受安培力为动力，随棒 b 速度增加而减小。

3.加速度特点：棒 a 做加速度 a_1 减小的减速运动；棒 b 做加速度 a_2 减小的加速运动；v-t 图像如图。



棒 a：$a_1=\frac{F_{安}}{m_1}$；棒 b：$a_2=\frac{F_{安}}{m_2}$；分析可知：$(v_2-v_1)\downarrow$；$I\downarrow$；$F_{安}\downarrow$；$a_1\downarrow$；$a_2\downarrow$。

4.最终状态：两棒以各自的速度做匀速运动。稳定条件：$BL_1v_a=BL_2v_b$。

5.运动过程中的四个规律

(1)电流规律：$I=\frac{E}{R_{总}}=\frac{B\cdot(L_1v_a-L_2v_b)}{R_1+R_2}$；电荷量：$q=\bar{I}\cdot\Delta t=\frac{\Delta\Phi}{R_1+R_2}=\frac{B\cdot(L_1x_a-L_2x_b)}{R_1+R_2}$

(2)安培力规律：a 棒的安培力大小：$F_{安a}=BIL_1=BL_1\cdot\frac{B\cdot(L_1v_a-L_2v_b)}{R_1+R_2}$；

b 棒的安培力大小：$F_{安b}=BIL_2=BL_2\cdot\frac{B\cdot(L_1v_a-L_2v_b)}{R_1+R_2}$。

(3)动量规律：两棒受到安培力大小相等方向相反，根据动量定理有：

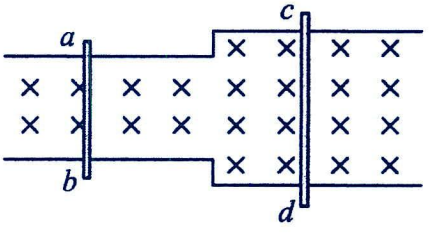
棒 a：$-F_{安a}\cdot\Delta t=-BqL_1=m_1v_a-m_1v_0$；棒 b：$F_{安b}\cdot\Delta t=BqL_2=m_2v_b-0$。

联立解得：$v_a=\frac{m_1L_2^2}{m_1L_2^2+m_2L_1^2}v_0$；$v_b=\frac{m_1L_2L_1}{m_1L_2^2+m_2L_1^2}v_0$

(4)能量转化规律：$Q=\frac{1}{2}m_1v_0^2-\frac{1}{2}m_1v_a^2-\frac{1}{2}m_2v_b^2$；两棒产生焦耳热之比：$Q_1$：$Q_2$=$R_1$：$R_2$；$Q=Q_1+Q_2$。

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，光滑水平金属导轨置于磁场中，磁场的磁感应强度为 B，左侧导轨间距为 L，右侧导轨间距为 $2L$，导轨均足够长。质量为 m 的导体棒 ab 和质量为 $2m$ 的导体棒 cd 均垂直于导轨放置，处于静止状态。ab 的电阻为 R，cd 的电阻为 $2R$，两棒始终在对应的导轨部分运动，两棒始终与导轨垂直且接触良好，导轨电阻不计。现给 cd 一水平向右的初速度 v_0，则此后的运动过程中，下列说法正确的是（　　）



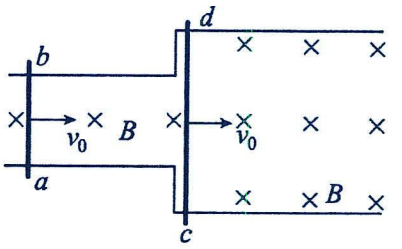
A．ab 和 cd 组成的系统动量守恒

B．两棒最终以相同的速度做匀速直线运动

C．cd 最终的速度为 $\frac{1}{3}v_0$

D．从 cd 获得初速度到二者稳定运动，此过程系统产生的焦耳热为 $\frac{2}{3}mv_0^2$

【例 2】（多选题）如图所示，两宽度不等的光滑平行金属导轨水平固定放置，窄轨间距为 L、宽轨间距为 2L，导体棒 ab、cd 分别垂直放置在两导轨上，质量均为 m、电阻均为 R，导轨间存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度的大小均为 B，已知两导轨均足够长、电阻不计，现让两导体棒均以大小为 v_0 的初速度平行于导轨水平向右运动，运动过程中棒始终与导轨垂直且接触良好，ab 棒始终未滑离窄轨，在导体棒运动的过程中，下列说法正确的是（　　）



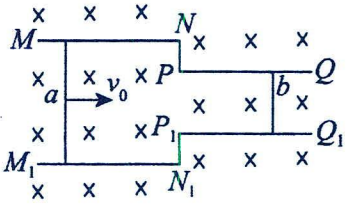
A．导体棒 ab 的最大速度为 $\frac{6v_0}{5}$

B．回路中的最大电流为 $\frac{3BLv_0}{2R}$

C．导体棒 ab 产生的焦耳热最多为 $\frac{mv_0^2}{10}$

D．通过导体棒 ab 的电荷量最多为 $\frac{mv_0}{5BL}$

【例 3】（多选题）如图，两根足够长且电阻不计的光滑平行金属导轨 MNPQ 和 $M_1N_1P_1Q_1$，固定在水平面上，MN 与 M_1N_1 距离为 2L，PQ 与 P_1Q_1 距离为 L。金属棒 a 和 b 的质量分别为 2m 和 m，长度分别为 2L 与 L，金属棒 a、b 分别垂直放在导轨 MM_1 和 PP_1 上，保持静止。整个装置处于竖直向下的、磁感应强度为 B 的匀强磁场中。现 a 棒获得水平向右初速度 v_0，a 始终在 MNM_1N_1 上运动，b 始终在 PQP_1Q_1 上运动，经过足够长时间后，下列说法正确的是（　　）



A．金属棒 a 做加速度减小的减速运动，b 做加速度增大的加速运动

B．金属棒 a 和 b 运动稳定时回路感应电动势为零

C．金属棒 a 和 b 运动稳定时均做匀速运动，且速度大小满足 $2v_a = v_b$

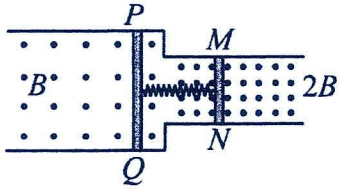
D．在整个运动过程中，流过金属棒 a 的电荷量是 $\frac{mv_0}{3BL}$

【例 4】如图，在绝缘水平面上固定两根光滑平行金属导轨，左右两侧导轨处于竖直向上的磁场中，磁感应强度大小分别为 B 和 2B，导轨间距分别为 2d 和 d，已知导体棒 MN 的电阻为 R、长度为 d，导体棒 PQ 的电阻为 2R、长度为 2d，PQ 的质量是 MN 的 2 倍。初始时刻两棒静止，两棒中点之间连接一压缩量为 L 的轻质绝缘弹簧，弹簧的劲度系数为 k。释放弹簧后两棒在各自磁场中运动直至停止，弹簧始终在弹性限度内。两棒保持与导轨垂直并接触良好，导轨足够长且电阻不计。求

(1)导体棒 PQ 的速率为 v 时，导体棒 MN 所受的安培力大小；

(2)弹簧释放的整个过程中，流过导体棒 MN 的电流方向及通过导体棒 PQ 的电荷量；

(3)弹簧释放的整个过程中，通过导体棒 PQ 产生的热量。



【跟踪训练】

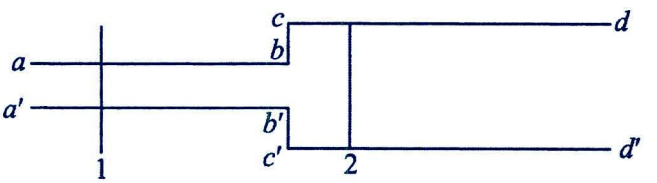
1．（多选题）如图所示，足够长的光滑金属导轨水平固定于竖直方向的匀强磁场（图中未画出）中，窄轨$aba'b'$部分的间距为$\frac{L}{3}$，宽轨$cdc'd'$部分的间距为L，两根完全相同的导体棒1、2垂直于导轨静止放置并与导轨接触良好，导体棒的长度均为L。现使导体棒1瞬间获得一个平行于导轨向右的初速度开始运动，已知导体棒1在到达宽窄导轨的连接处$cbb'c'$之前就已经匀速运动，经过足够长的时间，两根导体棒都在$cdc'd'$部分匀速运动，不考虑导体棒1经过宽窄导轨连接处时的速度变化。下列说法正确的是（　　）

A．导体棒1前后两次匀速运动的速率之比为3∶2

B．导体棒1前后两次匀速运动的速率之比为1∶2

C．导体棒2前后两次匀速运动的速率之比为1∶2

D．导体棒2前后两次匀速运动的速率之比为1∶3



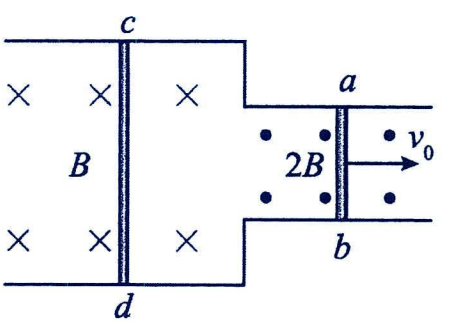
2．（多选题）如图所示，左右两部分间距之比为2：1的光滑水平导轨固定在方向相反且与导轨平面垂直的匀强磁场中，左侧磁场磁感应强度大小为B，右侧磁场磁感应强度大小为2B。两根材料、粗细相同，长度分别与导轨间距相同的导体棒静置在水平导轨上。已知导体棒ab的质量为m，长度为L，阻值为R，导轨电阻忽略不计，两导体棒始终与导轨接触良好且导轨足够长。t_0时刻，给导体棒ab向右的初速度v_0，下列判断正确的是（　）

A．t_0时刻起，两导体棒在运动过程中动量守恒

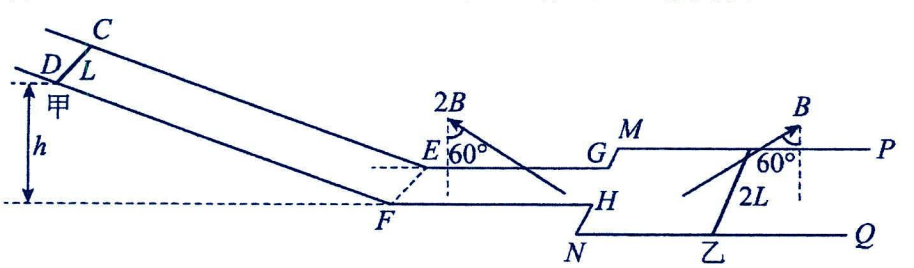
B．t_0时刻，导体棒ab的加速度大小为$\frac{4B^2L^2v_0}{3mR}$

C．达到稳定状态时，导体棒ab的速度大小为$\frac{v_0}{2}$

D．整个运动过程中，电路中产生的总热量为$\frac{mv_0^2}{3}$

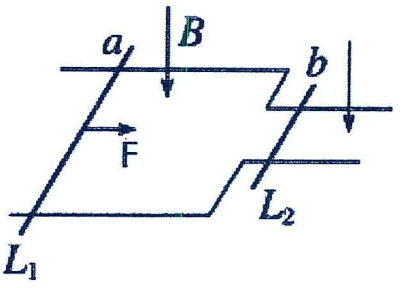


3．如图所示，平行光滑的金属导轨由斜面和水平两部分组成，两导轨由两小段光滑绝。缘圆弧轨道（长度可忽略）平滑相连。斜面部分（与水平面夹角小于30°）由间距L的导轨CE、DF构成，水平部分由两段足够长但不等宽的平行金属导轨连接构成。EG、FH段间距为L，有与竖直方向成60°斜向左上方的磁感应强度大小为2B的匀强磁场。MP、NQ段间距为2L，有与竖直方向成60°斜向右上方的磁感应强度大小为B的匀强磁场。导体棒甲、乙的质量均为m、电阻均为R，导体棒乙静止于MP、NQ段，现使导体棒甲自斜面导轨上距水平导轨h高度处静止释放，两金属棒在运动过程中始终垂直导轨，且与导轨保持良好接触。若稳定时导体棒甲未进入MP、NQ段，导轨电阻和空气阻力均可忽略不计。已知B=0.2T，L=0.2m，R=0.2Ω，m=0.4kg，h=0.45m，g=10m/s²，求：(1)甲棒刚进入磁场时，乙棒的加速度；(2)从甲棒进入磁场到两棒达到稳定的过程，通过乙棒的电量；(3)从甲棒进入磁场到两棒达到稳定的过程，乙棒上产生的焦耳热。



题型二：有外力

光滑水平导轨上放置质量为 m_1、m_2 的导体棒 a、b，电阻为 R_1、R_2，轨道间距为 L_1、L_2，满足 $k=\frac{L_1}{L_2}$，a 在恒力 F 作用下运动。



分析如下：a 棒加速，b 棒加速，$E=BL_1v_a-BL_2v_b$。

1.电路特点：棒 a 相当于电源；棒 b 受安培力而加速起动，运动后产生反电动势，

等效电动势为两导体棒感应电动势之差，即：$E=B(L_1v_a-L_2v_b)$；$I=\frac{E}{R_{总}}=\frac{B\cdot(L_1v_a-L_2v_b)}{R_1+R_2}$。

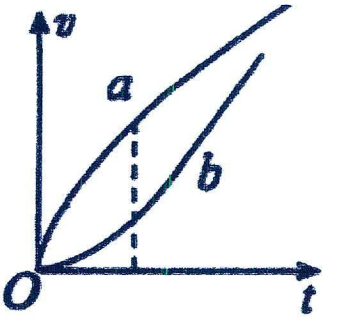
2 安培力特点：棒 a 所受安培力为阻力，随棒 a 速度增加而增加；

棒 b 所受安培力为动力，随棒 b 速度增加而增加；

3.加速度特点：棒 a 做加速度 a_1 减小的加速运动；棒 b 做加速度 a_2 增加的减速运动；v-t 图像如图。

棒 a：$a_1=\frac{F-F_{安1}}{m_1}=\frac{F-BIL_1}{m_1}$；棒 2：$a_2=\frac{F_{安2}}{m_2}=\frac{BIL_2}{m_2}$；最初阶段，$a_1>a_2$；之后 $a_1\downarrow$；$a_2\uparrow$；两棒做匀加速直线运动。

4.最终状态：两棒以各自的加速度做匀加速运动；两导体棒加速度成比例。



当 I 恒定时，即（$L_1a_1\Delta t-L_2a_2\Delta t$）恒定，可得（$L_1v_a-L_2v_b$）恒定，

5.运动过程中的四个规律

(1)电流规律：$I=\frac{E}{R_{总}}=\frac{BL(v_2-v_1)}{R_1+R_2}$；电荷量：$q=\bar{I}\cdot\Delta t=\frac{\Delta\Phi}{R_1+R_2}=\frac{B\cdot(L_1x_a-L_2x_b)}{R_1+R_2}$

(2)两棒的安培力规律：a 棒的安培力大小：$F_{安a}=BIL_1=BL_1\cdot\frac{B\cdot(L_1v_a-L_2v_b)}{R_1+R_2}$；

b 棒的安培力大小：$F_{安b}=BIL_2=BL_2\cdot\frac{B\cdot(L_1v_a-L_2v_b)}{R_1+R_2}$。

(3)动量规律：两棒受到安培力大小相等方向相反，根据动量定理有：

棒 a：$F\cdot\Delta t-F_{安1}\cdot\Delta t=F\cdot\Delta t-BqL_1=m_1v_a-0$；棒 b：$F_{安2}\cdot\Delta t=BqL_2=m_2v_b-0$；

联立得：$F\cdot\Delta t-BqL_1-BqL_2=m_1v_a+m_2v_b$。

(4)能量转化规律：外力做的功：$W_F=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2+Q$

两棒产生焦耳热之比：Q_1：$Q_2=R_1$：R_2；$Q=Q_1+Q_2$。

6.常用结论

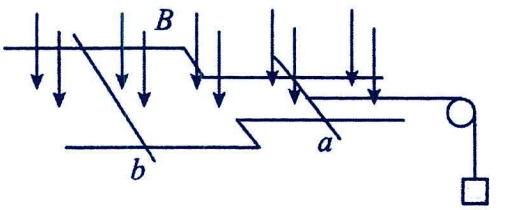
常用关系： $a_1=\frac{F-F_{A1}}{m_1}$；$a_2=\frac{F_{A2}}{m_2}$；$l_1a_1=l_2a_2$；$\frac{F_{A1}}{F_{A2}}=\frac{l_1}{l_2}$

常用结果： $F_{A1}=\frac{l_1^2m_2}{l_1^2m_2+l_2^2m_1}F$；$F_{A2}=\frac{l_1l_2m_2}{l_1^2m_2+l_2^2m_1}F$；$a_1=\frac{l_2^2}{l_1^2m_2+l_2^2m_1}F$；$a_2=\frac{l_1l_2}{l_1^2m_2+l_2^2m_1}F$；

此时回路中电流为： $I=\frac{l_1m_2}{l_1^2m_2+l_2^2m_1}\cdot\frac{F}{B}$**与两棒电阻无关**

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，光滑水平导轨由间距分别为 2L、L 的宽、窄两段连接而成，导轨处在垂直于导轨平面向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B．两根金属棒 b、a 分别垂直放在宽、窄两段导轨上，绕过光滑定滑轮的轻绳一端连接在金属棒 a 上，另一端竖直悬挂着质量为 m 的重物，连接金属棒 a 部分的轻绳水平，用外力使金属棒 b 保持静止，由静止释放金属棒 a，导轨电阻不计，回路中的总电阻为 R．两段导轨均足够长。重物离地面足够高，金属棒 a 的质量为 m，金属棒运动过程中始终与导轨垂直且接触良好，重力加速度为 g，则下列说法正确的是（　　）



A．释放金属棒 a 的瞬间，重物的加速度大小为 $\frac{g}{2}$

B．重物运动的最大速度为 $\frac{mgR}{B^2L^2}$

C．作用在金属棒 b 上的最大外力等于 2mg

D．若释放 a 的同时释放 b，最后稳定时金属棒 a 的速度总是金属棒 b 的速度的 2 倍

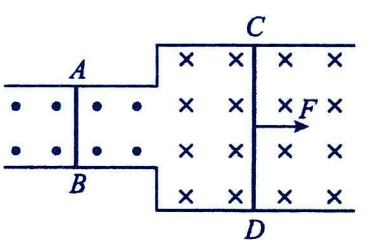
【例 2】（多选题）如图所示，左右两部分间距之比为 1∶2 的光滑水平导轨分别放在大小相等、方向相反且与导轨平面垂直的匀强磁场中。两根质量均为 m=2kg，电阻之比 R_{AB}∶R_{CD}=1∶2 的金属棒垂直静置在水平轨道上。现用水平拉力 F=250N 作用在 CD 棒上，使其向右移动 0.5m 时撤去拉力，此时 v_{AB}∶v_{CD}=1∶2，在此过程中 CD 棒产生的热量为 30J。设导轨足够长且两棒始终在不同的磁场中运动，导轨电阻不计，下列说法正确的是（　　）

A．撤去外力时导体棒 AB 的速度为 4m/s

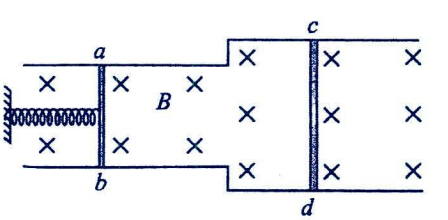
B．撤去外力 F 后，棒 AB、CD 的加速度始终相等

C．运动的全过程中回路产生的焦耳热为 73.8J

D．从撤去外力到两棒达到稳定状态，棒 AB、CD 运动的位移之比为 1∶2



【例 3】（多选题）如图所示，光滑水平平行导轨置于方向竖直向下的匀强磁场中，磁场的磁感应强度大小为 B，导轨左侧的间距为 L，右侧的间距为 2L，导轨足够长。长度为 L、质量为 m 的导体棒 ab 和长度为 2L、质量为 2m 的导体棒 cd 均垂直左、右两侧的导轨放置，处于静止状态。绝缘轻弹簧的一端固定，另一端与导体棒 ab 的中点连接，ab 的电阻为 R，cd 的电阻为 2R，两棒始终在对应的导轨部分运动，两导体棒运动中始终与导轨垂直且接触良好，导轨电阻不计。开始时弹簧处于原长状态，现瞬间给 cd 一水平向右的初速度 v_0，则此后的运动过程中，下列说法正确的是



A．导体棒 ab 获得的最大加速度大小为 $\frac{2B^2L^2v_0}{3mR}$

B．导体棒 cd 先减速后匀速运动

C．最终导体棒 ab 停在初始位置

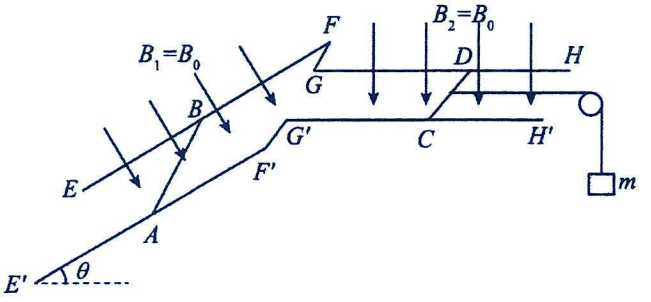
D．最终导体棒 ab 产生的热量为 $\frac{1}{4}mv_0^2$

【例 4】如图所示，电阻可忽略的导轨 EFGH 与 E'F'G'H'组成两组足够长的平行导轨，其中 EFE'F'组成的面与水平面夹角为θ=30°，且处于垂直于斜面向下大小为 B_0 的匀强磁场中，EF 与 E'F'之间的距离为 2L，GHG'H'水平，且处于竖直向下，大小也为 B_0 的匀强磁场中，GH 与 G'H'之间的距离为 L，质量为 2m，长为 2L，电阻为 2R 的导体棒 AB 横跨在倾斜导轨上并与导轨垂直，且与倾斜导轨之间无摩擦，质量为 m，长为 L，电阻为 R 的导体棒 CD 横跨在水平导轨上并与导轨垂直，且与水平导轨之间动摩擦因数为μ=0.5，导体棒 CD 通过一轻质细线跨过一个定滑轮与一质量也为 m 的物块相连，不计细线与滑轮的阻力和空气阻力。

（1）固定 AB 导体棒，试求 CD 棒能达到的最大速度；

（2）若固定 CD 棒，将 AB 棒由静止释放，则 AB 棒两端的最大电压为多少；

（3）同时释放 AB 棒和 CD 棒，试求两导体棒能达到的最大速度分别为多大。



【跟踪训练】

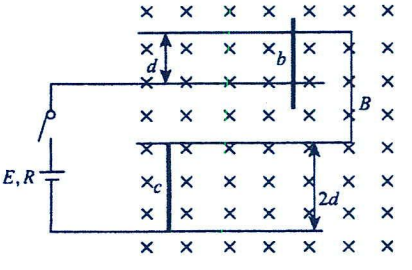
1．如图所示的装置水平置于竖直向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，电源电动势为 E、内阻为 R，两副平行且光滑的导轨间距分别为 d 与 2d。材质均匀的导体棒 b、c 的长度均为 2d、电阻均为 R、质量均为 m，垂直置于导轨上，导轨足够长且不计电阻。从闭合开关到两导体棒达到稳定状态的全过程中（　　）

A．稳定前 b、c 棒均做匀加速运动

B．稳定前 b、c 棒的加速度大小始终相同

C．稳定时导体棒 b 的速度为 $\frac{2E}{5Bd}$

D．导体棒 b 中产生的焦耳热为 $\frac{mE^2}{50B^2d^2}$



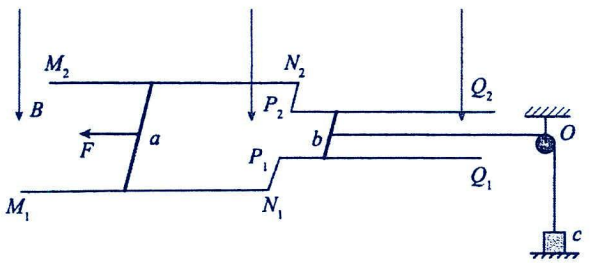
2．如图所示，$M_1N_1P_1Q_1$ 和 $M_2N_2P_2Q_2$ 为在同一水平面内足够长的光滑金属导轨，处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向竖直向下。导轨的 M_1N_1 段与 M_2N_2 段相互平行，距离为 L，P_1Q_1 段与 P_2Q_2 段也是平行的，距离为 L/2。金属杆 a、b 垂直于导轨放置，一不可伸长的绝缘轻绳一端系在 b 上，另一端绕过定滑轮与重物 c 相连，绝缘轻绳的水平部分与 P_1Q_1 平行且足够长。现同时释放 a、b，并且对 a 施加一水平向左的恒力 $F=2mg$，当重物 c 下降高度为 h 时，a 向左达到最大速度。已知两杆在运动过程中始终垂直于导轨，两杆与导轨构成的回路的总电阻始终为 R，a、c 的质量均为 m，b 的质量为 m/2，重力加速度为 g。求：

（1）a 达到最大速度前任一时刻，a、b 加速度大小之比；

（2）a 的最大速度；

（3）从释放到 a 达到最大速度，回路中产生的电能；

（4）从释放到 a 达到最大速度，需要的时间。

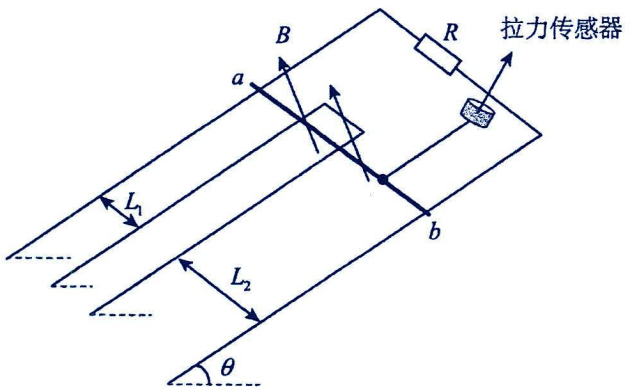


3．如图所示，同一平面内两组宽度分别为 L_1=0.5m，L_2=1m 的足够长光滑导体轨道倾斜固定，倾角为 $\theta=30°$。金属杆 a、b 水平放置并与轨道垂直且接触良好，其中金属杆 b 通过平行于导轨的轻绳系在固定的拉力传感器上。定值电阻 R=2Ω，其余部分电阻不计。整个装置处于磁感应强度大小为 B=1T、方向垂直轨道平面向上的匀强磁场中。现将金属杆 a 由静止释放，沿轨道下滑一段距离后开始做匀速直线运动，该过程中定值电阻 R 上产生的焦耳热为 Q=13.6J。已知金属杆 a、b 的质量分别为 m_1=0.1kg 和 m_2=0.2kg，重力加速为 g=10m/s²。求：

（1）当金属杆 a 的速度为 v0=2m/s 时（未达到匀速状态），拉力传感器的示数；

（2）金属杆 a 从释放到恰好达到匀速直线运动的过程所用时间 t；

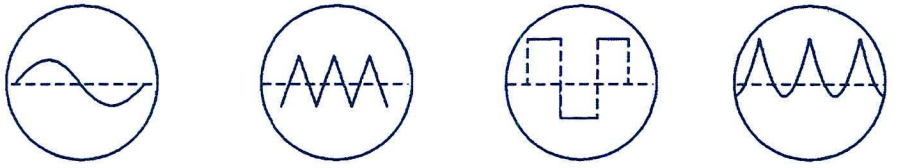
（3）剪断轻绳，同时由静止释放两金属杆，求最终两杆的速度大小。



第九讲：交变电流

1.交变电流：大小和方向随时间做周期性变化的电流叫作交变电流，简称交流。

2.常见的交变电流的波形图：实际应用中，交变电流有着不同的变化规律，常见的有以下几种，如图所示。



家庭电路中的正弦式电流　示波器中的三角形扫描电压　电子电路中的矩形脉冲　激光通信中的尖脉冲

3.直流：方向不随时间变化的电流叫作直流，大小和方向都不随时间变化的电流叫作恒定电流.

考点一：交变电流的产生

解题要点：

1.交流发电机

(1)主要构造：电枢和磁体。

(2)类别：①旋转电枢式发电机：电枢转动，磁极不动，如图 2；

电枢为转子，磁体为定子；输出电压一般不超过 500V。

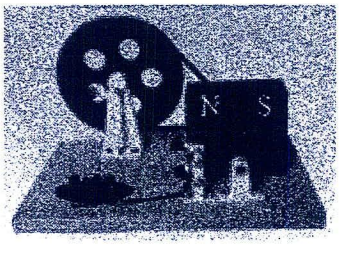


图1

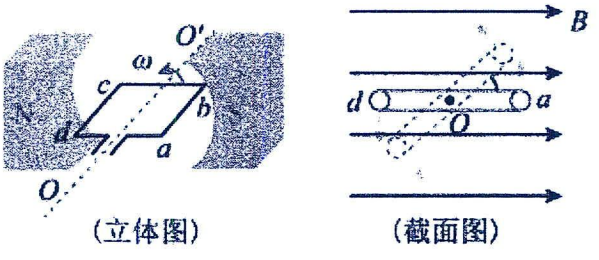
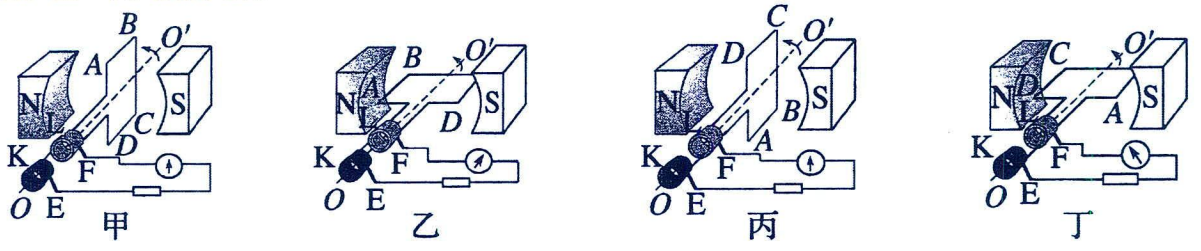


图2

②旋转磁极式发电机：磁极转动，电枢不动。电枢为定子，磁体为转子，输出电压可达数千伏甚至数万伏。

2.交变电流的产生：交流发电机的转轴与磁场方向垂直，线圈在磁场中转动就能产生交变电流；若线圈匀速转动，则产生正弦式交变电流。



图甲，线框速度平行于磁感线，感应电动势为 0，

图乙，线框速度垂直于磁感线，感应电动势最大，线框中电流方向 A→D→C→B→A；

图丙，线框速度平行于磁感线，感应电动势为 0，

图丁，线框速度垂直于磁感线，感应电动势最大，线框中电流方向 A→B→C→D→A；

题型一：交变电流的判断与产生条件

【精选例题】

【例 1】（多选题）下列关于交变电流和直流的说法中正确的是（　　）

A．如果电流大小做周期性变化，则一定是交变电流

B．直流的大小可以变化，但方向一定不变

C．交变电流一定是按正弦规律变化的

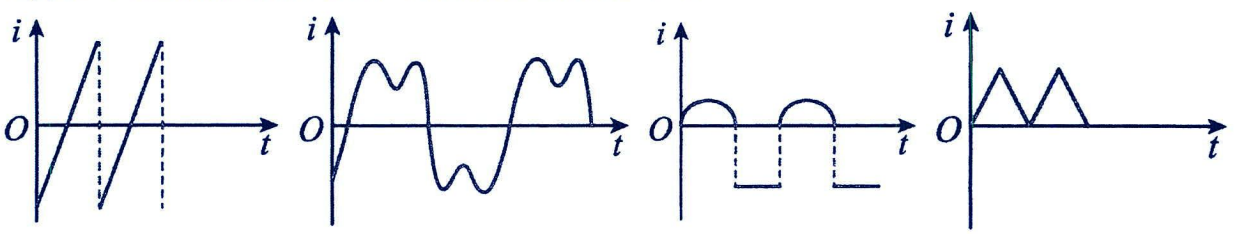
D．交变电流的最大特征是电流的大小和方向做周期性的变化

E．手机电池提供的电流是交变电流

F．交变电流的大小一定随时间做周期性变化

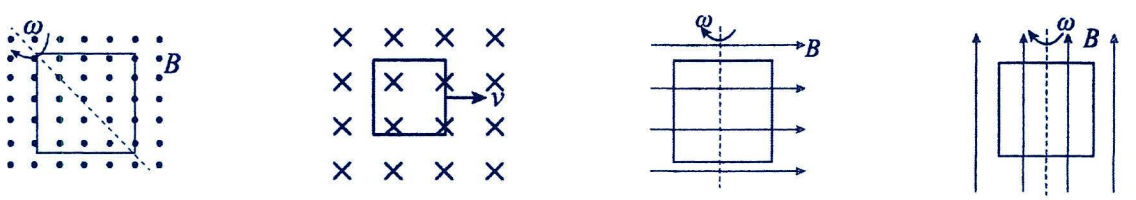
G．家用照明电压的大小随时间做周期性变化，方向不变

【例 2】下列图像所表示的电流中不属于交变电流的是（　）



A　　B　　C　　D

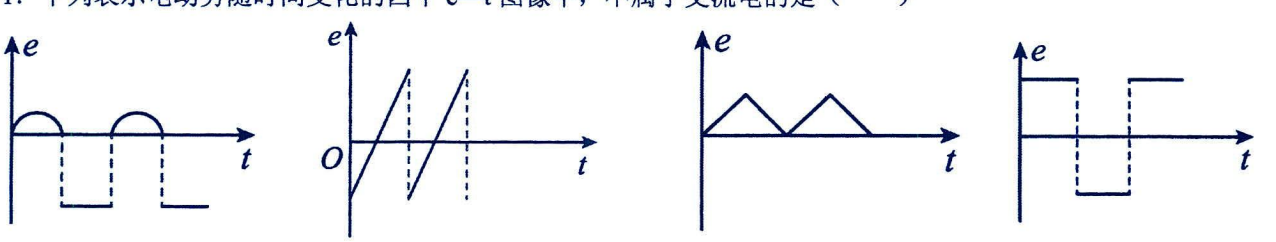
【例 3】（多选题）如图所示，面积均为S的单匝线圈（*A*、*C*、*D*均绕其虚线所示对称轴，*B*绕中心轴）在匀强磁场中以角速度ω匀速转动，能产生正弦式交变电动势的是（　　）



A　　B　　C　　D

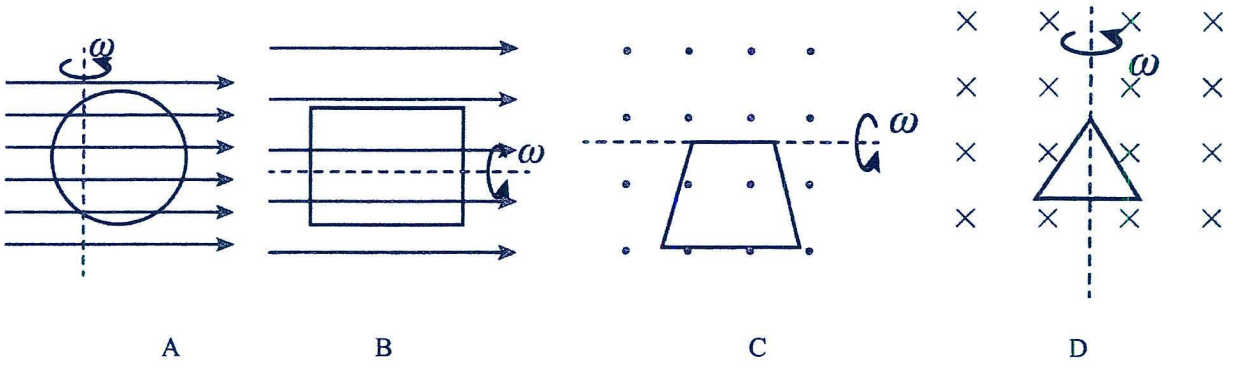
【跟踪训练】

1．下列表示电动势随时间变化的四个 e—t 图像中，不属于交流电的是（　　）



A　　B　　C　　D

2．下列选项中的线圈都在匀强磁场中匀速转动，其中不能产生交变电流的是（　　）



A　　B　　C　　D

题型二：中性面的特点

解题要点：两个特殊位置

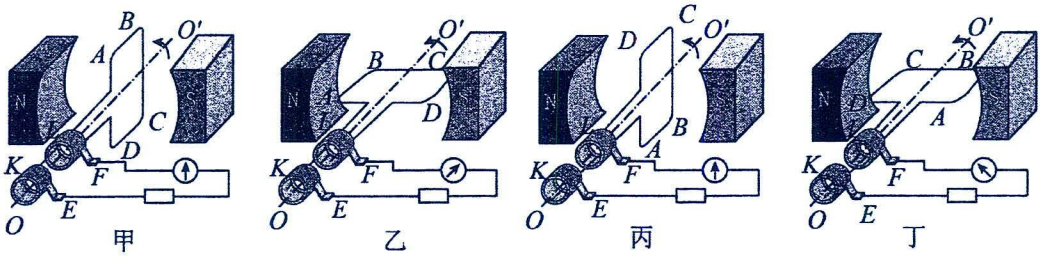
1.中性面位置：线圈平面与磁场垂直的位置(S⊥B)，此时Φ最大，$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$为0，e为0，i为0。

线圈经过中性面时，电流方向发生改变，线圈转一圈电流方向改变两次。

2.垂直中性面位置：线圈平面与磁场垂直的位置(S∥B)，此时Φ为0，$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$最大，e最大，i最大；电流方向不改变。

【精选例题】

【例1】如图所示是交流发电机的示意图，线圈的两条边分别与两个金属滑环连在一起，线圈逆时针匀速转动时，通过滑环和电刷保持与外电路的连接，图中只画了一匝线圈，磁场可视为匀强磁场，则（　　）



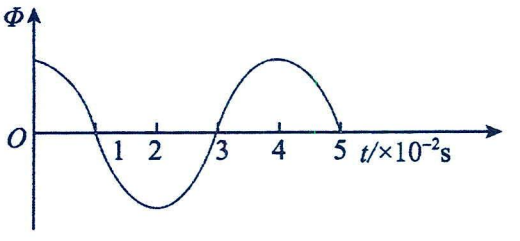
A．线圈转动到甲图和丙图所示的位置时，穿过线圈的磁通量最大，电路中的电流也最大

B．线圈转动到乙图和丁图所示的位置时，穿过线圈的磁通量为零，电路中的电流为零

C．线圈从甲图所示位置逆时针转动到丁图所示位置的过程中，电路中电流的方向改变4次

D．线圈从丙图位置转到丁图位置的过程中，穿过线圈的磁通量减小，产生的感应电动势增大

【例2】（多选题）一只矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁感线的轴匀速转动，穿过线圈的磁通量随时间变化的图象如图所示．则下列说法中正确的是（　）



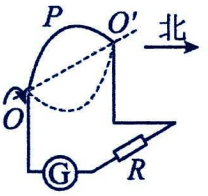
A．$t=0$时刻，线圈处在中性面

B．$t=0.01\,\mathrm{s}$时刻，Φ的变化率为0

C．$t=0.02\,\mathrm{s}$时刻，感应电动势为0

D．从$0.01\,\mathrm{s}\sim0.04\,\mathrm{s}$时间内，线圈转过的角度是$\frac{3}{2}\pi$

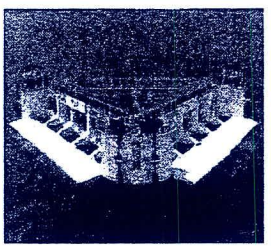
【例 3】两人在赤道上站立，各自手握金属绳 OPO'的一端，绕东西方向的水平轴沿顺时针方向匀速摇动，周期为 T，将金属绳连入电路，闭合回路如图，取金属绳在图示的最高位置为$t=0$时刻，则下列说法正确的是（　　）

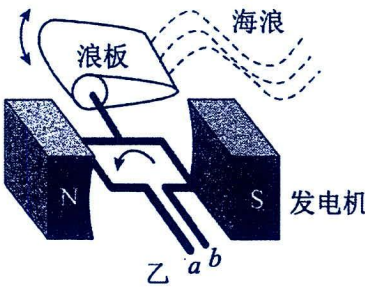


A．电路中存在周期为 T 的变化电流　　B．$t=0$时刻，回路磁通量最大，电路中电流最大

C．$t=\frac{T}{4}$时刻，电流向左通过灵敏电流计　　D．$t=\frac{T}{2}$时刻，回路磁通量最大，电路中电流最小

【例 4】如图甲，2023 年 6 月 14 日，我国自主研发的首台兆瓦级漂浮式波浪能发电装置“南鲲号”在广东珠海投入试运行，南鲲号发电原理可作如下简化：海浪带动浪板上下摆动，驱动发电机转子转动，其中浪板和转子的链接装置使转子只能单方向转动，如图乙，若转子带动线圈沿逆时针方向转动，并向外输出电流，下列说法正确的是（　　）


甲



乙

A．图乙中线圈所处位置是中性面

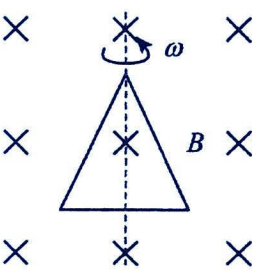
B．在图乙所示位置时，穿过线圈的磁通量变化率最大

C．在图乙所示位置时，线圈 b 端电势高于 a 端电势

D．在图乙所示位置时，线圈靠近 S 极的导线受到的安培力方向向上

【跟踪训练】

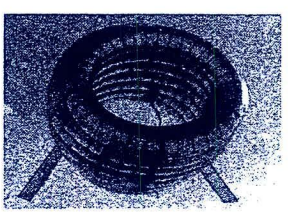
1．如图所示，三角形金属线框置于匀强磁场中，绕固定轴匀速转动，当线框平面与磁场方向垂直时，下列说法正确的是（　　）

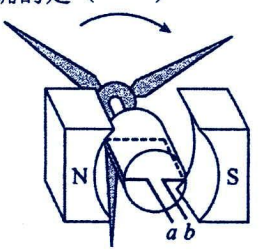


A．穿过线框的磁通量为 0　　B．线框中的感应电流为 0

C．线框中的感应电动势最大　　D．线框所受安培力最大

2．如图是一款高空风车及其发电模块原理简图，该装置利用充气球将发电机带上高空，通过电电能传输到地面，可为救灾场所临时供电。在发电明间。发电机线圈 ab 在某一时刻转至图示位置。则下列说法正确的是（　　）





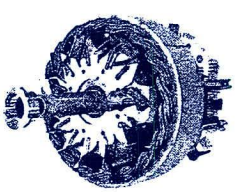
A．高空风车发电的工作原理是电流的磁效应

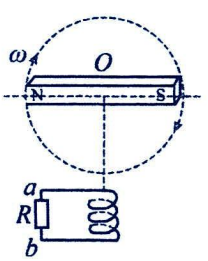
B．无论风力多大，线圈 ab 的发电频率不变

C．该时刻线圈磁通量为零，感应电动势也为零

D．该时刻线圈 b 端电势高于 a 端电势

3．汽车上的发电机多采用旋转式发电机。如图甲，转子在外力带动下旋转产生磁场，定子线圈产生感应电动势。现简化为如图乙模型，一连有电阻 R 的线圈轴线与条形磁铁中心线在同一平面，条形磁铁（转子）绕其中心 O 在该平面内匀速转动的过程中，下列说法正确的是（　　）


甲



乙

A．条形磁铁在图示位置，线圈中磁通量最大

B．条形磁铁在图示位置，电阻 R 中电流为零

C．条形磁铁从图示位置转动 90° 过程中，电阻 R 中电流方向由 a 指向 b

D．增大条形磁铁的转速，可以增大 R 中的电流

题型三：平均电动势与瞬时电动势

解题要点：

1.正弦式交变电流：按正弦规律变化的交变电流叫作正弦式交变电流，简称正弦式电流。

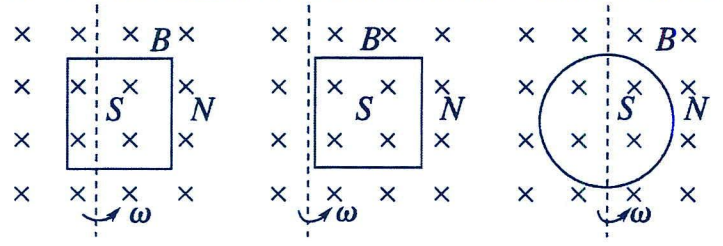
2.正弦式交变电流的瞬时值表达式：

(1)从中性面位置开始计时：$e=E_m \cdot \sin \omega t$，$i=I_m \cdot \sin \omega t$，$u=U_m \cdot \sin \omega t$。

(2)从与中性面垂直的位置开始计时：$e=E_m \cdot \cos \omega t$，$i=I_m \cdot \cos \omega t$，$u=U_m \cdot \cos \omega t$。

3.交变电流的峰值：$E_m=N\omega BS$，$I_m=\frac{N\omega BS}{R+r}$，$U_m=\frac{N\omega BSR}{R+r}$。

说明：电动势峰值 $E_m=N\omega BS$ 由线圈匝数 N、磁感应强度 B、转动角速度ω和线圈面积 S 决定，与线圈的形状无关，与转轴的位置无关；如图的几种情况中，如果 N、B、ω、S 均相同，则感应电动势的峰值均相同。



4.确定正弦式交变电流的电动势瞬时值表达式的基本方法

(1)确定线圈转动从哪个位置开始计时，以确定瞬时值表达式是按正弦规律变化还是按余弦规律变化；

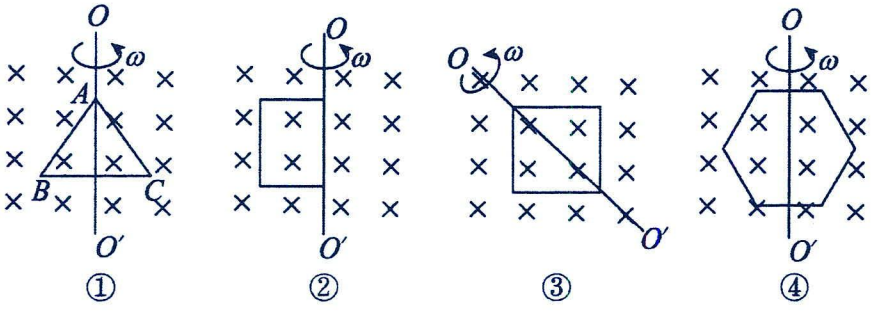
(2)确定线圈转动的角速度，$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f$；

(3)确定感应电动势的峰值 $E_m=N\omega BS$；

(4)写出瞬时值表达式 $e=E_m \cdot \sin \omega t$ 或 $e=E_m \cdot \cos \omega t$。

【精选例题】

【例 1】交变电流产生的原理是电磁感应现象。如图所示是形状不同、面积均为 S 的单匝线圈在匀强磁场里绕转轴 OO' 匀速转动，角速度为 ω，匀强磁场的磁感应强度大小为 B，磁场足够大。四幅图均从图示位置开始计时，下列说法正确的是（　　）



A．四幅图中线圈中感应电动势的峰值不同

B．四幅图中线圈中感应电动势的大小均为 $BS\omega \sin \omega t$

C．四幅图中，尽管②③线圈形状相同，但转轴不同，故②③线圈中产生感应电动势不同

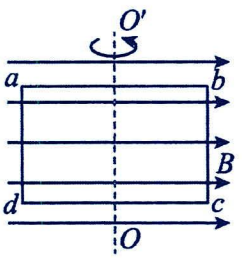
D．线圈②没有闭合，则②中没有感应电动势，①③④线圈中产生感应电动势相同

【例 2】如图所示，矩形线圈的匝数 $N=100$，$ab=30\text{cm}$，$ad=20\text{cm}$，匀强磁场的磁感应强度 $B=0.8\text{T}$，线圈绕垂直磁场的轴 OO' 从图示位置（线圈平面与磁感线平行）开始匀速转动，角速度 $\omega=100\pi\text{rad/s}$，则：

(1)穿过线圈的磁通量的最大值 Φ_m 为多大？

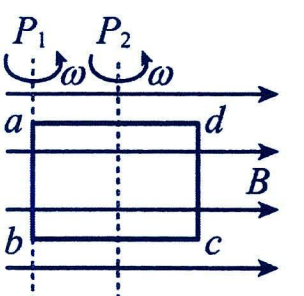
(2)线圈产生的感应电动势的最大值 E_m 为多大？

(3)从图示位置开始匀速转动 60° 时，线圈中产生的感应电动势为多大？



【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示，矩形线圈 abcd 在匀强磁场中可以分别绕垂直于磁场方向的轴 P_1 和 P_2 以相同的角速度匀速转动，设线圈的两个边长 ad 和 cd 分别是 L_2 和 L_1，线圈的面积则为 $S=L_1L_2$，转动的角速度是 ω，磁场的磁感应强度为 B，则（　）



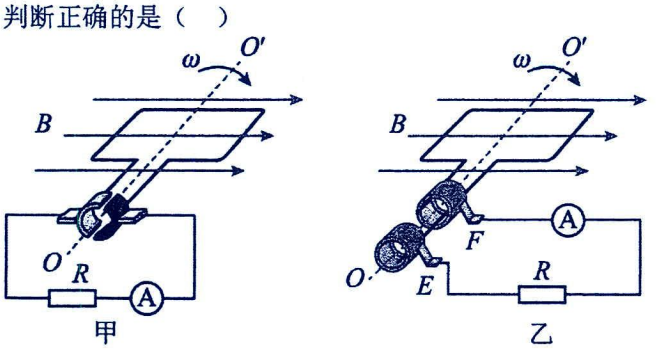
A．线圈绕 P_1 转动时的线圈中的感应电动势一直不变

B．线圈绕 P_1 转动，当线圈平面转到与磁场方向平行时线圈中的感应电动势为 $BS\omega$

C．线圈绕 P_1 和 P_2 转动时电流的方向相同，都是 a→b→c→d→a

D．当线圈平面转到与磁场方向平行时，绕 P_1 转动的电动势等于绕 P_2 转动时的电动势

2．如图为某厂在制造的两款发电机的示意图，两款发电机的线框均为边长为 L 的正方形，匀强磁场磁感应强度大小均为 B，两线框的电阻均为 r，外接电阻均为 R，若两线框均以恒定角速度 ω 绕垂直磁场的转轴转动，下列判断正确的是（　）



A．甲图中流过电阻 R 的电流为交流，转动一周流过电阻的电流方向改变 2 次

B．甲图中流过电阻 R 的电流为直流，转动一周流过电阻的电荷量 $q=\dfrac{4BL^2}{R+r}$

C．乙图中流过电阻 R 的电流为交流，转动一周流过电阻的电流方向改变 1 次

D．乙图中流过电阻 R 的电流为直流，转动一周流过电阻的电荷量 $q=\dfrac{2BL^2}{R+r}$

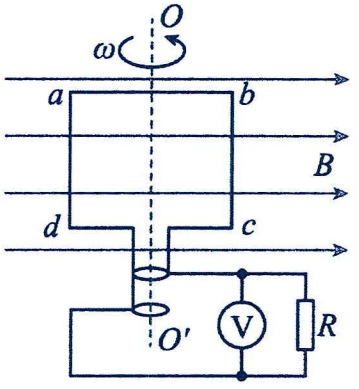
3．教材变式[河南焦作 2024 高二上月考]如图所示为一交流发电机和外接负载的示意图，发电机电枢线圈为 $n=100$ 匝的正方形线圈，边长为 $L=10\text{cm}$，绕 OO' 轴在磁感应强度大小为 $B=0.5\text{T}$ 的磁场中以角速度 $\omega=2\pi\text{rad/s}$ 转动（不计一切摩擦），线圈电阻为 $r=1\Omega$，外接负载电阻为 $R=4\Omega$。求：

(1)由图示位置（线圈平面与磁感线平行）转动过程中感应电动势瞬时值的表达式；

(2)由图示位置转过 60° 时的感应电动势；

(3)由图示位置转过 60° 的过程中产生的平均感应电动势（结果保留两位有效数字）；

(4)由图示位置转过 60° 的过程中流过电阻 R 的电荷量（结果保留两位有效数字）。



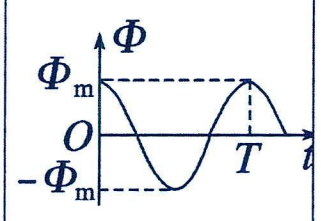
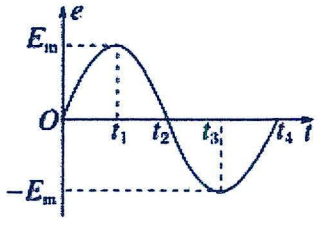
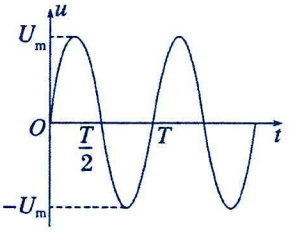
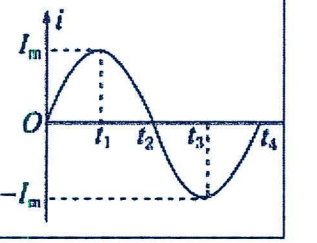
考点二：描述交变电流

题型一：交变电流的图像

解题要点：

正弦式交变电流的公式和图像可以详细描述交变电流的情况。

若线圈通过中性面时开始计时，交变电流的相关图像如下表：

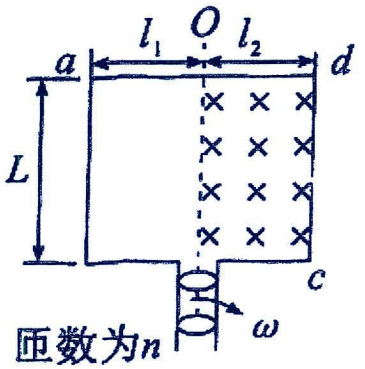
	磁通量	电动势	电压	电流
表达式	$\Phi=\Phi_m\cdot\cos\omega t=BS\cdot\cos\omega t$	$e=E_m\cdot\sin\omega t=NBS\omega\cdot\sin\omega t$	$U=U_m\cdot\sin\omega t=NBS\omega\cdot\sin\omega t$	$i=I_m\cdot\sin\omega t\frac{NBS\omega}{R+r}\cdot\sin\omega t$
图像				

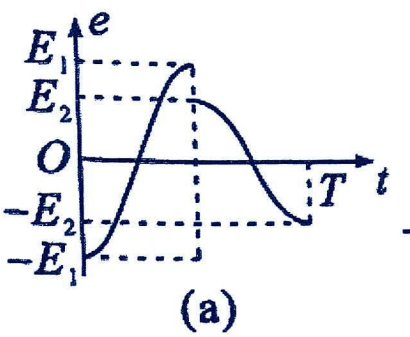
5.拓展：线框局部切割

线框如下图，以 ab 边进入磁场为计时起点，可得 $E_1=nBS_1\omega\cdot\cos\omega t=nBLl_1\omega\cdot\cos\omega t$；

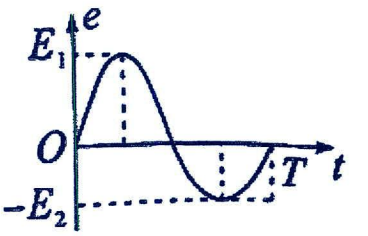
以 cd 边进入磁场为计时起点，可得 $E_2=nBS_2\omega\cdot\cos\omega t=nBLl_2\omega\cdot\cos\omega t$。

可得到线框产生交变电流随时间变化图像如图(a)，实际解题时，可等效成图(b)进行计算。





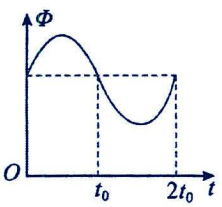
(a)



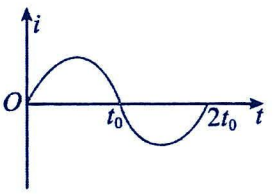
(b)

【精选例题】

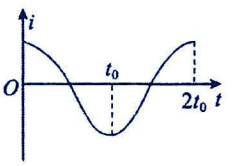
【例 1】通过一闭合线圈的磁通量随时间的变化如图所示，则线圈产生感应电流的图像为（　　）



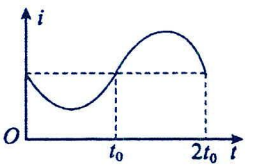
A



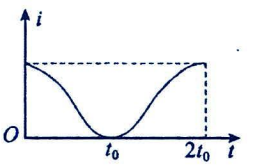
B



C



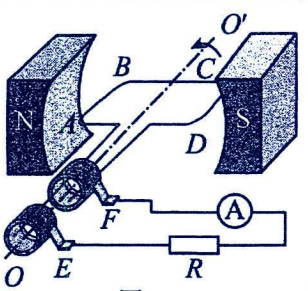
D



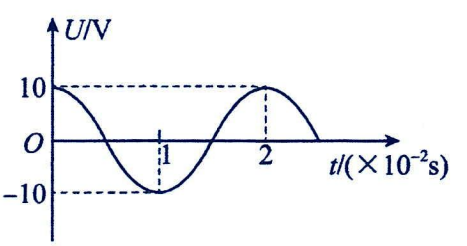
【例 2】图甲为交流发电机示意图，图中两磁极之间的磁场可近似为匀强磁场，A 为理想电流表，线圈绕垂直于磁场的水平轴 OO' 沿逆时针方向匀速转动。从图示位置开始计时，电刷 E、F 之间的电压随时间变化的图像如图乙所示。已知 $R=10\Omega$，其它电阻不计，下列说法正确的是（　　）

A．$t=0.01$s 时，线圈平面与磁感线垂直　　B．t=0 时，线圈中感应电流的方向为 ABCDA

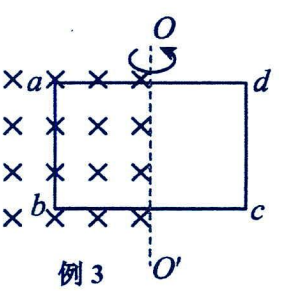
C．E、F 之间电压的瞬时值表达式为 $u=10\cos 100\pi t$V　D．当线圈从图示位置转过 60° 时，电流表的示数为 0.5 A



甲　例 2

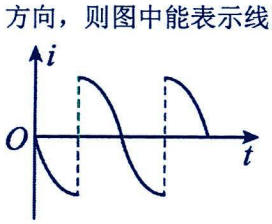


乙

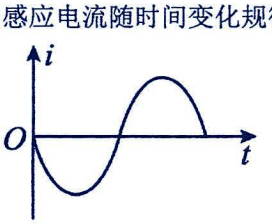


例 3

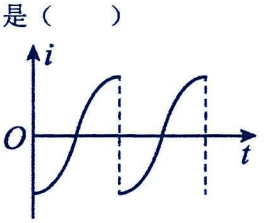
【例 3】如图所示，单匝矩形线圈的一半放在有界匀强磁场中，中心轴线 OO' 与磁场边界重合，线圈绕中心轴线按图示方向（从上向下看逆时针方向）匀速转动，$t=0$ 时线圈平面与磁场方向垂直，规定电流方向沿 $adcba$ 为正方向，则图中能表示线圈内感应电流随时间变化规律的是（　　）



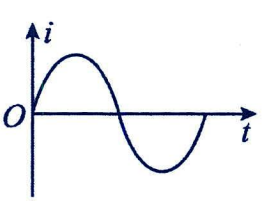
A



B



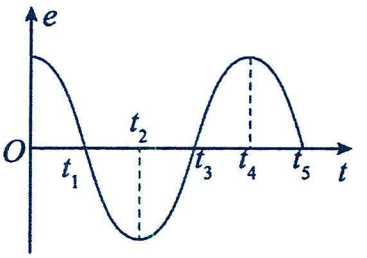
C



D

【跟踪训练】

1．一矩形线圈绕垂直于匀强磁场并位于线圈平面内的固定轴转动，线圈中产生的感应电动势 e 随时间 t 的变化规律如图所示，下列说法正确的是（　　）



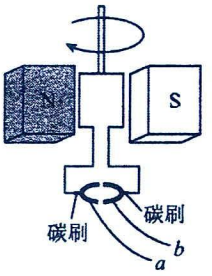
A．t_1 时刻线圈处于中性面位置

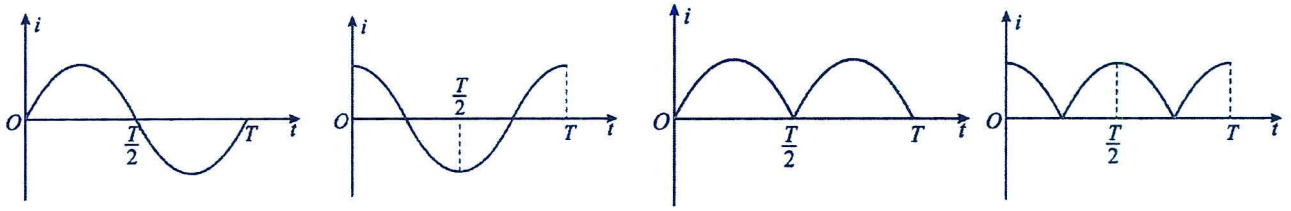
B．t_2 时刻通过线圈的磁通量最大

C．t_3 时刻通过线圈的磁通量变化率最大

D．每当感应电动势 e 转换方向时，通过线圈的磁通量刚好为零

2．如图所示，发电机的矩形线圈通过碳刷（随线圈一起转动）与 2 个半圆固定导体环连接，有 2 根导线分别与 2 个半圆导体环连接，导线 a、b 端接有一个定值电阻（图中没有画出）。线圈在匀强磁场中匀速转动的周期为 T，从线圈经过中性面时开始计时，连在导线 a、b 端定值电阻上的电流 i 随时间 t 变化的图像为（　　）

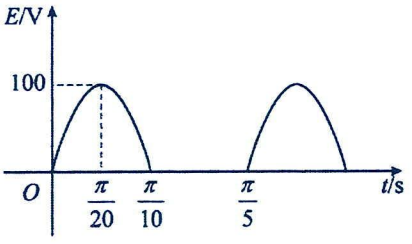




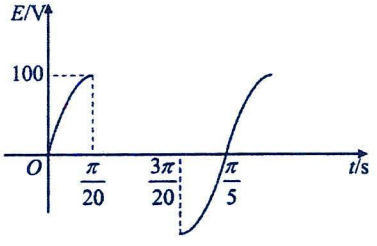
A　　B　　C　　D

3．如图所示，空间区域内存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小 $B=1\mathrm{T}$，OO' 为磁场的右边界。磁场内一匝数 $n=10$ 的正方形闭合金属导线框平行于纸面放置，线框边长 $L=1\mathrm{m}$，其右边与磁场边界重合。$t=0$ 时刻线框从图示位置开始逆时针（俯视）绕 OO' 以角速度 $\omega=10\mathrm{rad/s}$ 匀速转动，此过程中感应电动势 E 随时间 t 变化的图像正确的是（　）

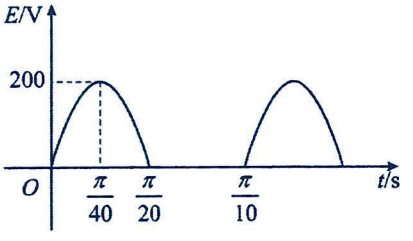
A.



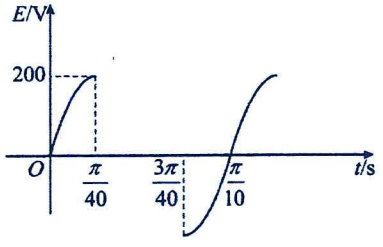
B.

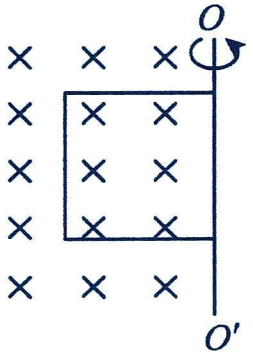


C.



D.





题型二：周期与频率

解题要点：

1.周期(T)：交变电流完成一次周期性变化(线圈转动一周)所需要的时间，国际单位是秒(s)。公式：$T=\frac{2\pi}{\omega}$ 。

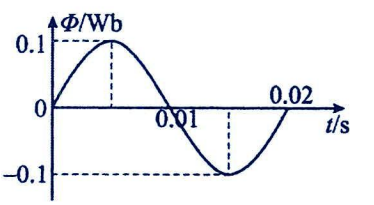
2.频率(f)：交变电流完成周期性变化的次数与所用时间之比叫作频率，数值等于交变电流在单位时间内完成周期性变化的次数，单位是赫兹(Hz)。

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

4.角速度与周期、频率的关系：$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f$。

【精选例题】

【例 1】矩形线圈的匝数为 10 匝，在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴匀速转动，穿过每一匝线圈的磁通量随时间变化的规律如图。已知π取 3.14，下列说法正确的（　）



A．正弦式交流电的频率为 5Hz

B．$t=0.005$s 时，线圈中感应电动势达到最大值

C．线圈中感应电动势的最大值为 314V

D．1s 内电流方向变换 50 次

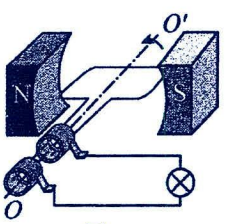
【例 2】图甲为一台小型发电机的示意图，单匝线圈绕OO'轴转动，若从某位置开始计时，产生的电动势随时间的变化规律如图乙所示，已知发电机线圈内阻为 r，外接灯泡的电阻为 9r，下列说法正确的是（　　）

A．线圈是从垂直中性面位置开始计时的

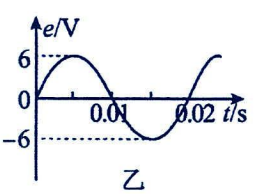
B．电动势表达式为$e=6\sin 50\pi t(\mathrm{V})$

C．电流方向每秒改变 100 次

D．灯泡两端电压的最大值为 6V



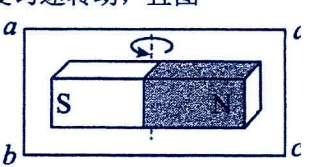
甲



乙

【跟踪训练】

1．（多选题）大型发电机几乎都是旋转磁极式发电机，如图所示为其原理简图。竖直平面内闭合线圈 abcd 固定不动，磁铁绕图中的虚线旋转，线圈中就会产生感应电流。若条形磁铁以20πrad/s 的角速度匀速转动，且图示时刻 N 极正在向里转。现以图示时刻为计时起点，则下列推断正确的是（　　）



A．该发电机产生的交变电流频率是 10Hz　　B．$t=0$时线圈中的电流方向为 abcda

C．$t=0.125$s 时线圈中的电流最大　　D．$t=0.125$s 时线圈中的电流方向发生变化

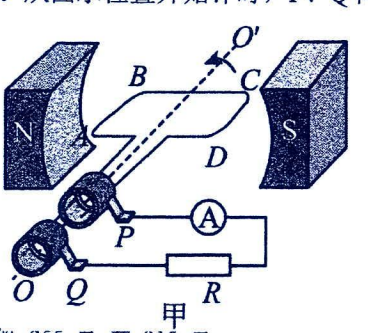
2．图甲为交流发电机的示意图，磁场可视为水平方向的匀强磁场，线圈绕垂直于磁场的水平轴OO'沿逆时针方向匀速转动，电阻$R=5\Omega$，线圈电阻$r=0.5\Omega$。从图示位置开始计时，P、Q 间输出的电压 u 随时间 t 变化的关系图像如图乙，下列说法正确的是（　）

A．图示位置为感应电动势最大的位置

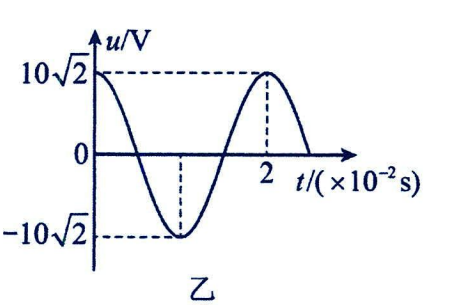
B．线圈转动的角速度为 50rad/s

C．电阻 R 中的电流方向每分钟变化 3000 次

D．$t=0.05$s 时，线圈平面位于中性面



甲



乙

题型三：有效值的内涵

解题要点：

1.峰值：交变电流的电压、电流能达到的最大数值叫峰值；电容器所能承受的电压要高于交流电压的峰值，否则电容器就可能被击穿。

2.有效值：让交变电流与恒定电流分别通过大小相同的电阻，如果在交变电流的一个周期内它们产生的热量相等，则此恒定电流的电流与电压叫作交变电流的有效值。

3.交变电流有效值的计算

(1)计算有效值时，根据电流的热效应，抓住“三同”：“相同时间”内“相同电阻”上产生“相同热量”求解；

(2)分段计算热量求和得出一个周期内产生的总热量；

(3)利用两个公式 $Q=I^2Rt$ 和 $Q=\frac{U^2}{R}t$ 可分别求得电流有效值和电压有效值；

(4)若图像部分是正(余)弦式交变电流，其中的 $\frac{1}{4}$ 周期(必须是从零至最大值或从最大值至零)和 $\frac{1}{2}$ 周期部分可直接应用正弦式交变电流有效值与最大值间的关系 $E_{有}=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=0.707E_m$，$U_{有}=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=0.707U_m$，$I_{有}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=0.707I_m$ 求解。

(5)当电路中出现二极管时，根据二极管的单向导电性质，再利用有效值计算规律进行计算。

4.有效值的理解

(1)交流电流表、交流电压表的示数是指有效值。

(2)用电器铭牌上标的值(如额定电压、额定功率等)指的均是有效值。

(3)计算热量、电功率及保险丝的熔断电流指的是有效值。

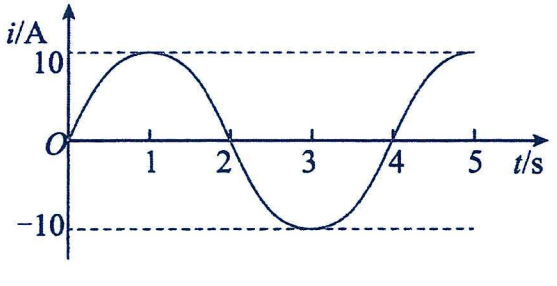
(4)没有特别加以说明的，是指有效值。

(5)“交变电流的最大值是有效值的 $\sqrt{2}$ 倍”仅适用于正(余)弦式交变电流。

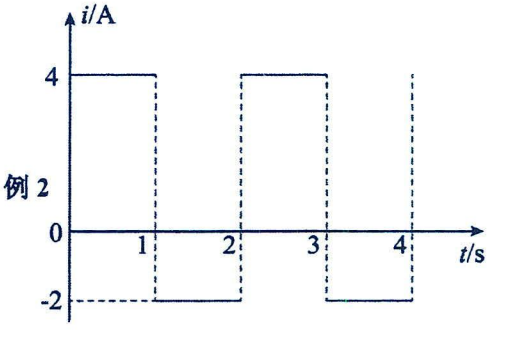
【精选例题】

【例 1】一个正弦式交变电流的电流强度 i 随时间 t 变化的规律如图所示，此交变电流的有效值是（　　）

A．5A　　B．$5\sqrt{2}$A　　C．10A　　D．$10\sqrt{2}$A



例 1



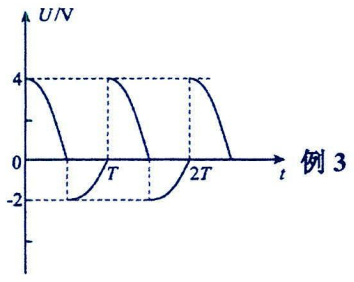
例 2

【例 2】如图是某交变电流的 $i-t$ 图像，这一交变电流的电流有效值为（　）

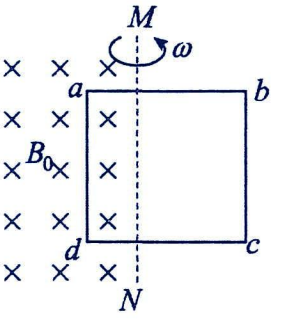
A．$\sqrt{10}$A　　B．3A　　C．$3\sqrt{2}$A　　D．$2\sqrt{5}$A

【例 3】如图所示的交流电，前半周期为峰值是 4V 的正弦式交流电的四分之一周期，后半周期为峰值是 2V 的正弦式交流电的四分之一周期，则该交流电的电压有效值是（　　）

A．2V　　B．$\sqrt{5}$V　　C．$\sqrt{6}$V　　D．$\sqrt{10}$V



例 3



例 4

【例 4】如图所示，虚线 MN 左侧空间存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B_0，与 MN 共面的单匝金属线框 abcd 以 MN 为轴匀速转动，角速度大小为ω。已知正方形线框边长为 L，回路阻值为 R，ad 边与 MN 之间的距离为$\frac{L}{4}$，则线框回路中电流的有效值为（　　）

A．$\frac{\sqrt{10}B_0L^2\omega}{8R}$　　B．$\frac{\sqrt{5}B_0L^2\omega}{6R}$　　C．$\frac{2B_0L_2^2\omega}{3R}$　　D．$\frac{\sqrt{3}B_0L^2\omega}{4R}$

【跟踪训练】

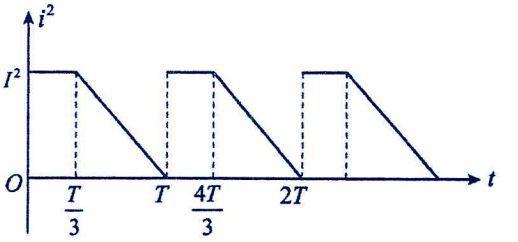
1．电流通过阻值为 R 的电阻时，i^2-t 图像如图所示，下列说法正确的是（　　）

A．电阻 R 两端电压的最大值为 IR

B．该电流一定是交流电

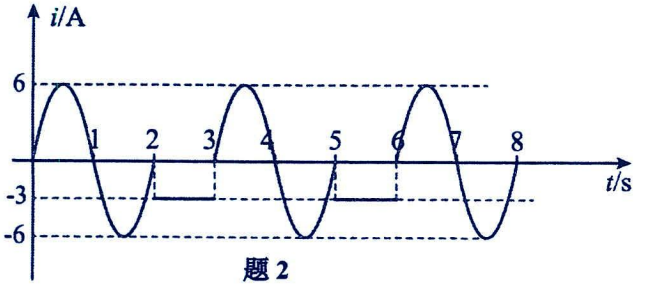
C．$\frac{T}{3}\sim T$ 时间内电流按余弦规律变化

D．该电流的有效值$\frac{2}{3}I$

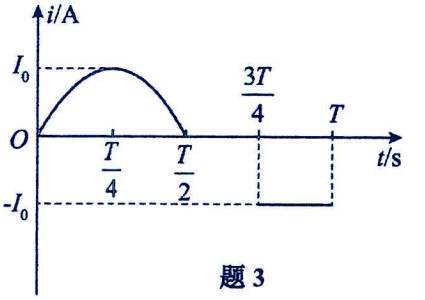


2．某种交流电的电流 i 随时间 t 变化的图像如图中的实线所示，则这种交流电的有效值为（　　）

A．$\frac{\sqrt{15}}{3}$A　　B．$\sqrt{15}$A　　C．$3\sqrt{3}$A　　D．5A



题 2



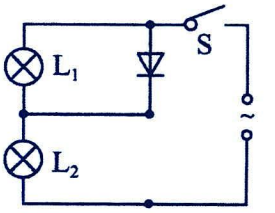
题 3

3．如图所示为某种周期性变化的交变电流的电流-时间关系图像，其中前半个周期电流按正弦规律变化，则一个周期内该电流的有效值为（　　）

A．$\frac{\sqrt{2}}{2}I_0$　　B．$\frac{\sqrt{5}}{2}I_0$　　C．$\frac{I_0}{2}$　　D．$\frac{2I_0}{3}$

4．在如图所示电路中接入 220V 正弦交流电，两个灯泡的电阻相同。假设二极管正向电阻为 0、反向电阻无穷大。闭合开关 S，通过灯泡 L_1、L_2 的电流有效值比为（　　）

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



题型四："四值"计算

解题要点：交变电流"四值"的理解和应用

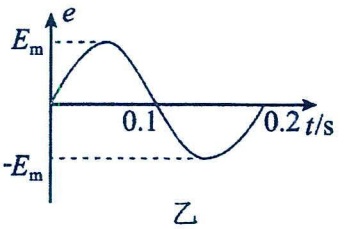
物理量	物理含义	重要关系	适用情况及说明
瞬时值	交变电流某一时刻的值	$e=E_m\sin\omega t$；$i=I_m\sin\omega t$	计算线圈某时刻的受力情况
峰值	最大的瞬时值	$E_m=NBS\omega$；$I_m=\dfrac{E_m}{R+r}$	讨论电容器的击穿电压
平均值	交变电流图像中图线与时间轴所围的面积与时间的比值	$\overline{E}=N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$；$\overline{I}=\dfrac{\overline{E}}{R+r}$	计算通过导线横截面的电荷量
有效值	跟交变电流的热效应等效的恒定电流的值	$E=\dfrac{E_m}{\sqrt{2}}$；$U=\dfrac{U_m}{\sqrt{2}}$；$I=\dfrac{I_m}{\sqrt{2}}$ 正(余)弦式交变电流适用	(1)交流电流表、交流电压表的示数 (2)电气设备"铭牌"上所标的值(如额定电压、额定电流等) (3)计算与电流的热效应有关的量(如电功、电功率、电热、保险丝的熔断电流等) (4)没有特别加以说明的

【精选例题】

【例 1】如图甲为按压式发电手电筒。以一定的频率不断按压手柄时，其内置发电机会产生如图乙所示的交变电流，已知与其串联的白炽灯泡额定电压为 9V、阻值为18Ω。若该灯泡恰好正常发光，则该发电机（　）



甲



乙

A．输出电流的最大值为 0.5A　　B．输出电流的有效值为 0.5A

C．输出的交流电频率为 50Hz　　D．一个周期内输出电流的平均值为 0.5A

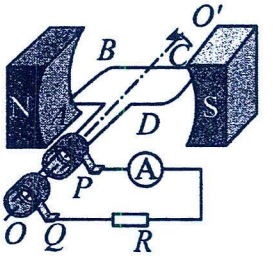
【例 2】如图所示为交流发电机的示意图，磁场可视为水平方向的匀强磁场，线圈绕垂直于磁场的水平轴 OO' 沿逆时针方向以角速度 $\omega=10\sqrt{2}\text{rad/s}$ 匀速转动，线圈匝数 $N=100$，面积 $S=0.01\text{m}^2$，磁感应强度 $B=0.1\text{T}$，电阻 $R=4\Omega$，线圈电阻 $r=4\Omega$。电流表为理想电流表，从图示位置开始计时，以下判断正确的是（　　）

A．产生的交流电电动势瞬时值表达式为 $e=\sqrt{2}\cos(10\sqrt{2}t)\text{V}$

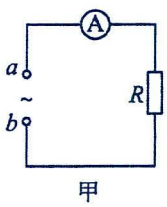
B．电阻 R 的热功率为 0.08W

C．线圈从如图位置开始转过90°，此刻电流表的示数为 0

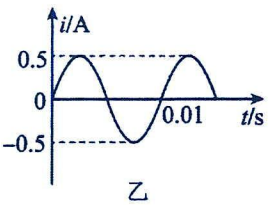
D．线圈从如图位置开始转过半个周期的过程，通过电阻 R 的电荷量不为零



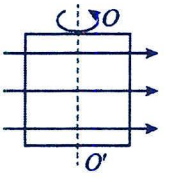
【例 3】（多选题）如图甲所示，将阻值为 R=5Ω的电阻接到内阻不计的正弦交变电源上，电流随时间变化的规律如图乙所示，电流表串联在电路中测量电流的大小。对此，下列说法正确的是（　　）



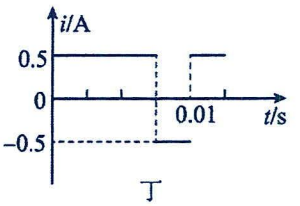
甲



乙



丙



丁

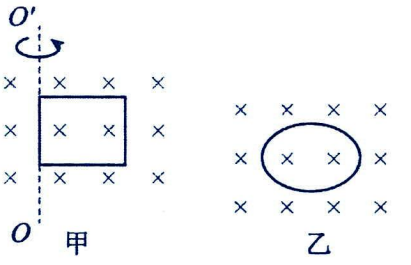
A．电阻 R 两端电压变化规律的函数表达式为 u=2.5sin 200πt（V）

B．电阻 R 消耗的电功率为 1.25W

C．如图丙所示，若此交变电流由一矩形线框在匀强磁场中匀速转动产生，当线圈的转速提升一倍时，电流表的示数为 1A

D．这一交变电流与图丁所示电流比较，其有效值之比为$\frac{1}{\sqrt{2}}$

【例 4】两个形状不同但所围面积和电阻均相同的单匝闭合线圈，分别放在如图甲、乙所示的磁场中。甲图中是磁感应强度为 B_0 的匀强磁场，线圈在磁场中以周期 T 绕 OO′轴匀速转动；乙图中磁场变化规律为 $B=B_0\cos\frac{2\pi}{T}t$，从图示位置开始计时。比较两个线圈，下列说法正确的是（　　）



A．磁通量的变化规律相同　　B．电流方向变化的频率不同

C．相同的时间内产生的焦耳热不同　　D．产生的电动势有效值不同

【例 5】如图所示，线圈的面积是 0.05m^2，共有 100 匝；线圈电阻为 1Ω，外接电阻 $R=9\Omega$，匀强磁场的磁感应强度为 $B=\frac{1}{\pi}(\text{T})$，当线圈以 300r/min 的转速匀速旋转时，若从线圈处于中性面开始计时，求：

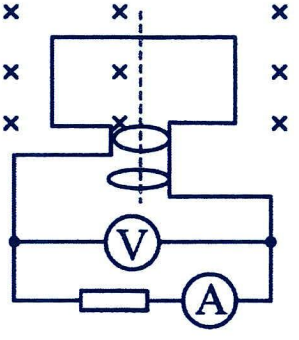
(1)线圈中感应电动势的瞬时表达式；

(2)线圈转过$\frac{1}{30}$s 时电动势的瞬时值多大；

(3)电路中电流表和电压表示数各是多少。

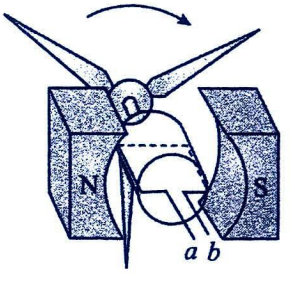
(4)线圈每转过一周，外力所做的功。

(5)线圈转过$\frac{1}{30}$s 的过程中流过电阻 R 的电量



【跟踪训练】

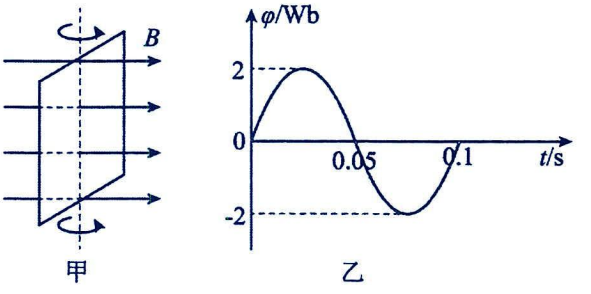
1．某同学制作了一款风力发电机，由扇叶带动线圈在固定的磁极中转动并切割磁感线，其原理简图如图所示，测得发电机的电动势随时间变化的规律为 $e=5\sin(10\pi t)\text{V}$。现在 a、b 两端接上阻值 $R=5\Omega$ 的小灯泡，线圈内阻可忽略，下列说法正确的是（　　）



A．电流变化的周期为 0.5s　　B．风力增大，则线圈产生的交流电频率增大

C．小灯泡的功率为 5W　　D．如图位置时，线圈磁通量为零，感应电动势也为零

2．在匀强磁场中，一匝数 N = 5 的矩形金属线框绕与磁感线垂直的转轴匀速转动，如图甲所示，某时刻开始计时，磁通量随时间变化的图像如图乙所示，则（　　）



A．该线框产生的电动势有效值为 200π V

B．该线框的转速为 20 r/s

C．该线框在前四分之一周期内电动势的平均值为 200 V

D．该线框的磁通量变化率的最大值为 40π Wb/s

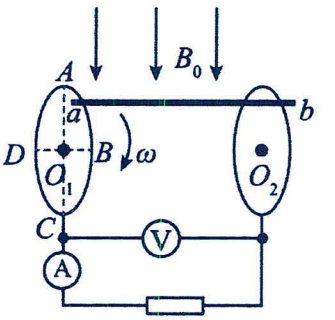
3．（多选题）如图所示，电阻不计、半径均为r的两个正对的圆形金属导轨固定在匀强磁场中，圆心O_1、O_2间的距离为L，A、B、C、D为左侧导轨上的四等分点，D点与圆心等高，匀强磁场的磁感应强度大小为B_0，方向平行于金属导轨圆面竖直向下。金属棒ab垂直于两圆面跨接在导轨上，金属棒ab接入电路的电阻为R，ab在外力作用下沿圆形导轨以角速度ω沿图中所示方向匀速转动（从左往右看为顺时针转动）。已知电表均为理想交流电表，定值电阻的阻值为$2R$，不计一切摩擦阻力以及其他电阻，则下列说法正确的是（　）

A．电流表示数为$\dfrac{B_0L\omega r}{3R}$

B．电压表示数为$\dfrac{\sqrt{2}B_0L\omega r}{3}$

C．金属棒ab从C运动到D过程中，定值电阻中电流方向从左向右

D．金属棒ab从A运动到C过程中，定值电阻产生的热量为$\dfrac{\pi\omega B_0^2L^2r^2}{9R}$



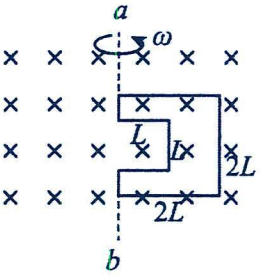
4．如图，纸面内有一“凹”字形单匝金属线框组成闭合回路，置于垂直于纸面向里、磁感应强度大小为B的匀强磁场中，线框的总电阻为R，边长如图所示。线框绕ab轴做角速度为ω的匀速圆周运动。则从图示位置（　　）

A．转动 90°时回路中电流方向发生改变

B．转动 180°的过程中通过导线截面的电荷量为零

C．转动 90°时回路中感应电动势大小为$3BL^2\omega$

D．转动 180°过程中线框产生的焦耳热为 $\dfrac{8\pi B^2L^4\omega}{R}$



5．如图1是一手摇发电机，其原理可简化为矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场方向的中心轴OO'匀速转动，产生交变电流。已知矩形线圈的匝数为n，边长ab=cd=l_1，bc=ad=l_2，线圈的角速度为ω。磁感应强度为B。当线圈转动到如图2所示位置（其平面与磁场方向平行）时：

（1）求此时线圈ab边切割磁感线产生的感应电动势大小，并判断ab两端电势的高低；

（2）如图3所示，线圈通过电刷与二极管D、外电阻组成闭合回路。已知线圈电阻为r，外电阻为R，其余部分电阻不计。求在一段较长时间t（远大于线圈转动周期）内r产生的热量。

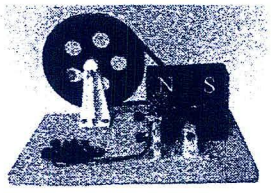
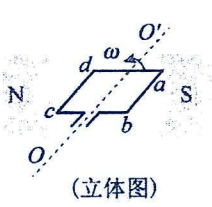
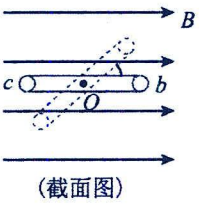


图1



（立体图）



（截面图）

图2

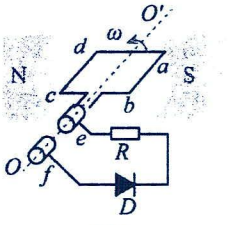


图3

题型五：含电容、含电感的电路分析

1.电容器对交变电流的影响

(1)当电容器两极板间接恒定电流时，在充电、放电瞬间，回路中有瞬时电流通过；

当电容器两极板间接交变电流时，一个周期内会对电容器进行充电、放电和反向充电、放电，回路中就会出现持续的电流，好像交变电流通过了电容器，实际上自由电荷并没有通过电容器。

(2)电容器对交变电流的阻碍作用称之为容抗，电容器等效成定值电阻满足$R_C=\frac{1}{2\pi Cf}$；

(3)由公式可知，电容越大，交变电流频率越高，容抗越小。可总结为通交流，阻直流；通高频，阻低频。

2.电感线圈对交变电流的影响

(1)当电感线圈接入恒定电流时，在电路接通瞬间、断开瞬间，电感线圈中会产生感应电流，阻碍原电流变化；电路稳定后对电流无阻碍作用，此时电感线圈相当于定值电阻；

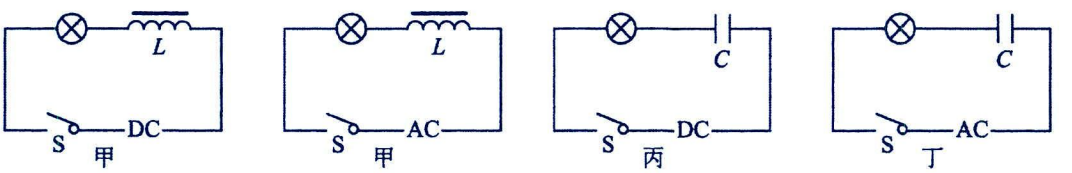
当电感线圈接入交变电流时，线圈会持续产生感应电流；由于交变电流的大小、方向周期性变化，因此电感线圈中的感应电流也周期性变化，即对交变电流持续存在阻碍作用。

(2)电感线圈对交变电流的阻碍作用称之为感抗，电感线圈等效成定值电阻满足$R_L=2\pi Lf$，L 为电感；

(3)由公式可知，电感越小，交变电流频率越低，感抗越小。可总结为通直流，阻交流；通低频，阻高频。

【精选例题】

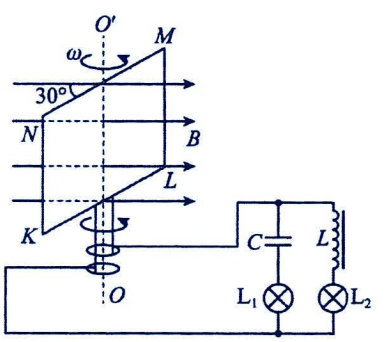
【例 1】（多选题）如图，把带铁芯的线圈 L（电阻忽略不计）与小灯泡串联起来，先把他们接到直流电源上（图甲），再把它们接到交流电源上（图乙）。把小灯泡和电容器串联起来，先把它们接到直流电源上（图丙），再把它们接到交流电源上（图丁），取直流电源的电压与交流电压的有效值相等。观察小灯泡的发光情况（　　）



A．甲图比乙图灯亮　　B．丙图和丁图灯都不亮

C．甲图和丙图灯一样亮　　D．保持电源电压有效值不变仅增大频率时，丁图灯变的更亮

【例 2】（多选题）如图所示，*MNKL* 是面积为 S、匝数为 n 的矩形线框，处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，线框以角速度 ω 绕垂直磁场的轴 OO' 匀速转动（方向如图所示），回路中两只相同灯泡 L_1、L_2 恰好正常发光，图中 *MN* 边与磁场的夹角为30°，则下列说法正确的是（　）



A．图示位置线框中电流沿 $M-N-K-L-M$ 方向

B．从图示位置开始计时，当 $t=\frac{\pi}{3\omega}$ 时，穿过线框的磁通量变化率为零

C．当增大线框转动的角速度 ω，灯泡 L_2 将比 L_1 更亮

D．从图示位置开始计时，线框转动产生电动势瞬时值表达式为 $e=nBS\omega\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{6}\right)$

【跟踪训练】

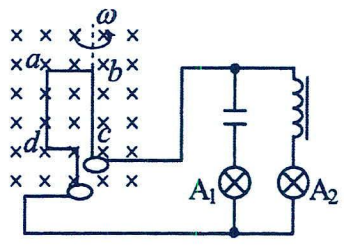
1．如图，匝数为N，内阻为r的矩形线圈abcd在匀强磁场中绕垂直于磁场的bc边以角速度ω匀速转动，其线圈中感应电动势的峰值为E，闭合回路中两只完全相同的灯泡均能正常发光，此时它们的电阻均为R。则（　　）

A．从图中位置开始计时，线圈产生感应电动势瞬时表达式为$e=E\cos\omega t$

B．穿过线圈的最大磁通量为$\dfrac{E}{N\omega}$

C．从图中位置开始计时，四分之一周期内通过灯泡A_1的电量为0

D．增大角速度ω（电动势峰值不变）时，灯泡A_1变暗，A_2变亮



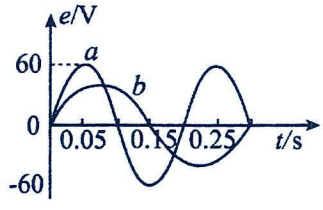
2．（多选题）一矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴线匀速转动时产生正弦式交变电流，其电动势的变化规律如图甲中的图线a所示，用此线圈给图乙中电路供电，发现三个完全相同的灯泡亮度均相同。当调整线圈转速后，电动势的变化规律如图甲中的图线b所示，下列说法正确的是（　　）

A．$t=0$时刻，线圈平面恰好与磁场方向平行

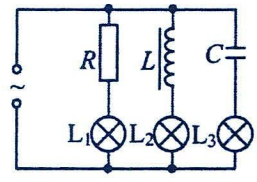
B．图线b所表示的电动势的瞬时值表达式为$e=40\sin\dfrac{20\pi}{3}t(\mathrm{V})$

C．线圈先后两次转速之比为3∶2

D．转速调整后，三个灯泡的亮度仍然相同



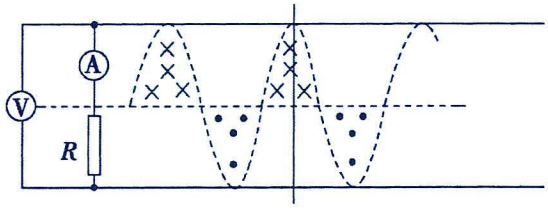
图甲

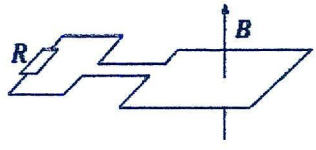


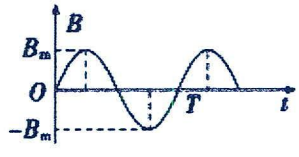
图乙

题型六：产生正弦式交变电流的特殊情形

1.导体棒在匀强磁场中平动：导体棒在匀强磁场中匀速平动，但导体棒切割磁感线的有效长度按正弦规律变化，则导体棒组成的闭合电路中就会产生正弦式交变电流，如图甲。



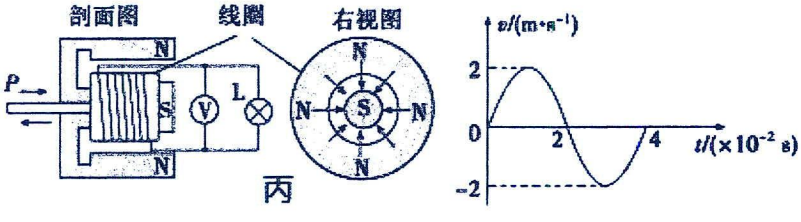




甲　　乙

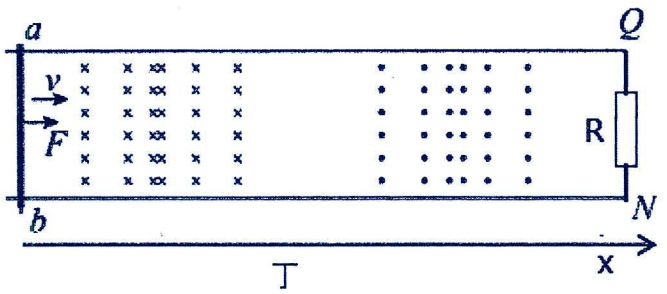
2.线圈处于周期性变化的磁场中：闭合线圈垂直于匀强磁场，线圈静止不动，磁场按正弦规律做周期性变化，则线圈中会产生正弦式交变电流，如图乙。

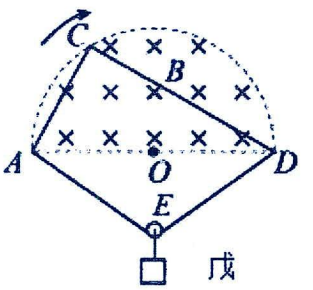
3.导体棒在匀强磁场中振动：导体棒在匀强磁场中沿平行导轨平动切割磁感线时，棒的速度按正弦规律变化，则棒中会产生正弦式交变电流，如图丙。



丙

4.导体棒在不均匀磁场中平动：导体棒在磁场中匀速平动切割磁感线，在棒的平动方向上，磁场按照正弦规律变化，则棒中会产生正弦式交变电流，B=B0sin2πx。

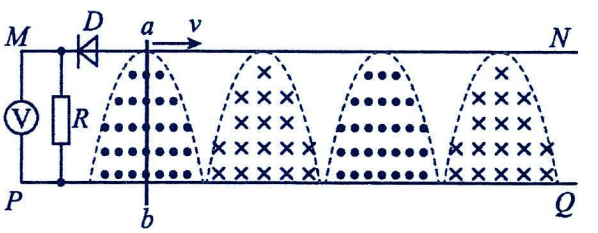




5.线框在匀强磁场中转动：图戊，软导线 ACDE 悬挂在固定点 A、D 上，以 AD 为直径的半圆区域存在磁感应强度为 B 的匀强磁场，当导线上的 C 点以固定的角速度 ω 从 A 点绕圆弧转动过程中，导线中产生正弦式交变电流。

【精选例题】

【例 1】如图，足够长的两平行光滑金属导轨 MN、PQ 水平放置，间距 $l=1\text{m}$，导轨中间分布有磁感应强度为 1T 的匀强磁场，磁场边界为正弦曲线。一粗细均匀的导体棒以 10m/s 的速度向右匀速滑动，定值电阻 R 的阻值为 1Ω，导体棒接入电路的电阻也为 1Ω，二极管 D 正向电阻为零，反向电阻无穷大，导轨电阻不计，下列说法正确的是（　　）



A．理想电压表示数为 2.5V　　B．导体棒运动到图示位置时，有电流流过电阻 R

C．导体棒上热功率为 10.25W　　D．流经电阻 R 的最大电流为 10A

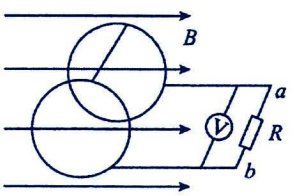
【例 2】如图，在磁感应强度为 $\frac{1}{\pi}\text{T}$ 的水平匀强磁场中有两半径为 0.2m 的金属圆环竖直放置且相互平行，金属环的间距为 1m，一根长为 1m，电阻为 1Ω的金属棒在圆环内侧以角速度 10πrad/s 匀速转动，金属棒与圆环始终接触良好，图示金属棒在圆环最高点，电路中的电阻 $R=4\Omega$，其余电阻不计，电压表为交流电压表，则（　　）

A．金属棒从图示位置转过 180°的过程中，流过电阻 R 的电流先从 a 流向 b，后从 b 流向 a

B．电压表的示数为 0.2V

C．电阻 R 的功率为 0.64W

D．金属棒在转动过程中，通过电路的磁通量变化率最大值为 2Wb/s



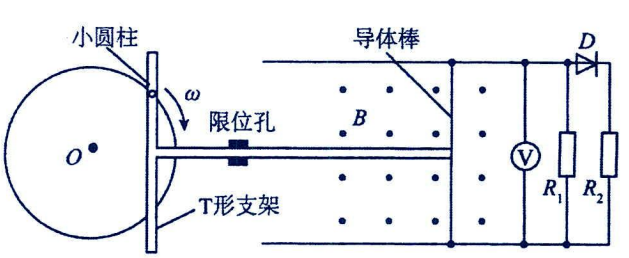
【例 3】如图为手动发电式手电筒的原理图，固定在圆盘边缘处的小圆柱随圆盘绕轴心 O，按顺时针方向匀速转动，小圆柱通过竖槽带动 T 形绝缘支架运动，从而驱动导体棒在光滑的水平导轨上运动。已知导体棒运动的速度随时间变化的关系为 $v=0.2\sin 2t(\text{m/s})$，导轨间距 $L=0.2\text{m}$，导轨间存在垂直导轨平面向上的匀强磁场，磁感应强度 $B=2\text{T}$，定值电阻 $R_1=R_2=1\Omega$。导体棒与轨道接触良好，且不计导体棒和轨道的电阻，电压表为理想交流电表，D 为理想二极管，则（　　）

A．圆盘转动的转速为 2r/s

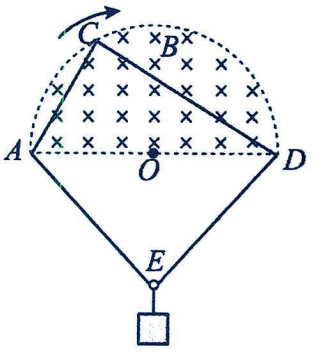
B．电压表的示数为 0.08V

C．小圆柱圆周运动的半径为 0.2m

D．电阻 R_1 和 R_2 的总功率为 $4.8\times10^{-3}\text{W}$



【例 4】如图所示，在竖直平面内有一半圆形区域，O 为圆心，AOD 为半圆的水平直径，区域内有磁感应强度大小为 B、方向垂直于竖直平面向里的匀强磁场。在 A、D 两点各固定一颗水平的光滑钉子，一个由线软导线制成的闭合导线框 ACDE 挂在两颗钉子上，在导线框的 E 处有一个动滑轮，动滑轮下面挂重物，使导线处于绷紧状态。设导线框的电阻为 r，圆的半径为 R，从 t=0 时刻开始，将导线上的 C 点绕圆心 O 以恒定角速度ω从 A 点沿圆弧移动到 D 点，导线始终绷紧。此过程导线中（　　）



A．张力保持不变　　B．感应电流的方向先顺时针后逆时针

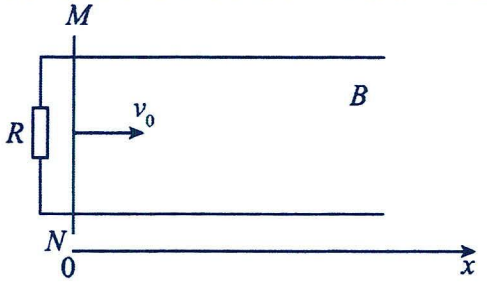
C．感应电流随时间 t 的变化关系为 $i=\dfrac{\omega BR^2\sin\omega t}{r}$　D．产生的电热为 $\dfrac{\pi\omega B^2R^4}{2r}$

【例 5】长度为 l 的金属杆 MN 置于光滑 U 形导轨上，其一端接有定值电阻 R，整个装置放在水平面上。平行于 U 形导轨长边建立 x 轴，以水平向右为正方向，靠近 U 形导轨短边所在位置为 $x=0$ 处，垂直导轨平面分布着恒定磁场，其磁感应强度 B 沿导轨方向按照 $B=B_0\sin(kx)$ 的形式分布（B_0、k 为已知定值，规定垂直纸面向里为磁感应强度 B 的正方向，图中未画出），如图所示。在一未知外力 F 的作用下，金属杆 MN 从 $x=0$ 的位置开始以速度 v_0 向右匀速运动．金属杆和导轨其他部分电阻均不计。求：

(1)通过电阻 R 的电流随时间变化的表达式、周期及电流的有效值；

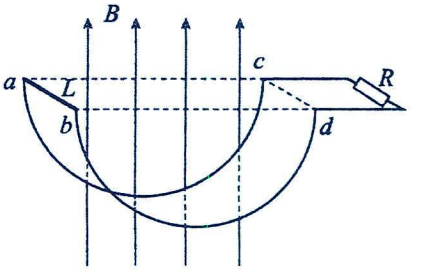
(2)时间 t 内（周期的整数倍），外力 F 做的功；

(3)在杆开始运动的最初半个周期内，通过电阻 R 的电荷量 q。



【跟踪训练】

1．（多选题）半径为 r、间距为 L 的固定光滑半圆弧轨道右端接有一阻值为 R 的定值电阻，如图所示。整个空间存在方向竖直向上、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。一根长度为 L、质量为 m、电阻为 2R 的金属棒从轨道最左端位置 ab 开始，在外力的作用下以速率 v 沿轨道（始终与轨道接触良好）做匀速圆周运动，在 cd 处与轨道分离。电路中其余电阻均不计，下列说法正确的是（　　）



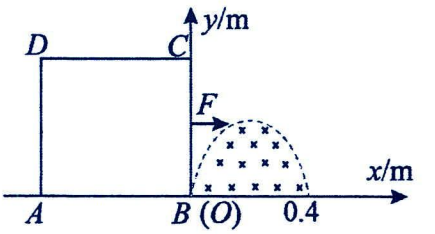
A．金属棒运动到轨道最低点时，通过定值电阻的电流方向为 $d\to R\to c$

B．整个过程中，金属棒两端的电压不变

C．整个过程中通过金属棒某截面的电荷量为 $\dfrac{BLr}{3R}$

D．整个过程中定值电阻上产生的焦耳热为 $\dfrac{\pi rB^2L^2v}{18R}$

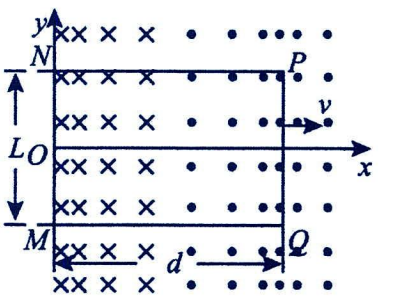
2．（多选题）光滑绝缘水平面上存在一直角坐标系 xOy，在$0 \le x < 0.4\text{m}$ 范围内有一有界匀强磁场区域，其下边界与 x 轴重合，上边界满足曲线方程$y = 0.2\sin\frac{\pi}{0.4}x(\text{m})$，磁感应强度大小为 4T，方向垂直纸面向里。边长为 0.4m、总电阻为 1Ω的正方形导线框在拉力 F 的作用下，以 10m/s 的速度沿 x 轴正方向匀速穿过磁场区域，下列说法正确的是（ ）



A．拉力的最大值为 6.4N　　B．A、D 两端的最大电压为 2V

C．线框产生的热量为 1.28J　　D．拉力做的功为 2.56J

3．（多选题）如图 xOy 平面为光滑水平面，现有一长为 d 宽为 L 的线框 MNPQ 在外力 F 作用下，沿正 x 轴方向以速度 v 做匀速直线运动，空间存在竖直方向的磁场，磁感应强度 $B=B_0\cos(\frac{\pi}{d}x)$（式中 B_0 为已知量），规定竖直向下方向为磁感应强度正方向，线框电阻为 R．t=0 时刻 MN 边恰好在 y 轴处，则下列说法正确的是（ ）



A．外力 F 为恒力　　B．t=0 时，外力大小$F=\frac{4B_0^2L^2v}{R}$

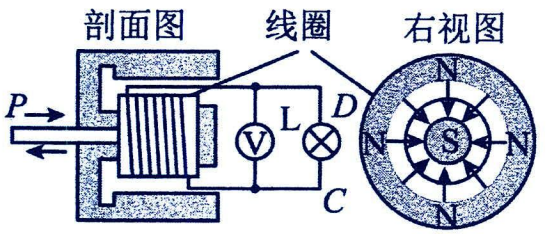
C．通过线圈的瞬时电流$I=\frac{2B_0Lv\cos\frac{\pi vt}{d}}{R}$　　D．经过$t=\frac{d}{v}$，线圈中产生的电热$Q=\frac{2B_0^2L^2vd}{R}$

4．（多选题）如图甲所示是某同学设计的一种振动发电装置的示意图，它的结构是一个套在辐向形永久磁铁槽中的半径为 r=0.10m、匝数 n=20 匝的线圈，磁场的磁感线均沿半径方向均匀分布（其右视图如图乙所示）。在线圈所在位置磁感应强度 B 的大小均为$B=\frac{0.20}{\pi}\text{T}$，线圈的电阻为$R_1=1.0\Omega$，它的引出线接有$R_2=9.0\Omega$ 的小电珠 L。外力推动线圈框架的 P 端，使线圈沿轴线做往复运动，便有电流通过小电珠。当线圈运动速度 v 随时间 t 变化的规律如图丙所示时（摩擦等损耗不计），下列说法不正确的是（　　）

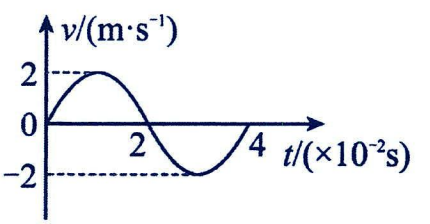
A．电动势的峰值为 0.8V　　B．0.02 时电压表的示数为 0

C．t=0.01s 时外力 F=0.128N

D．在其他条件不变的情况下，　增加线圈运动速度 v 随时间 t 变化的频率可以提高灯泡的功率



甲　　乙



丙

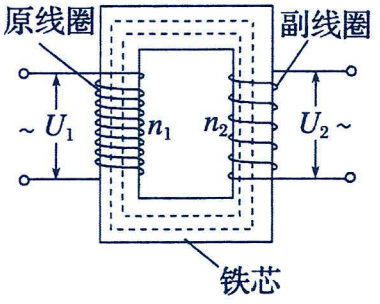
第十讲：变压器与远程输电

考点一：变压器

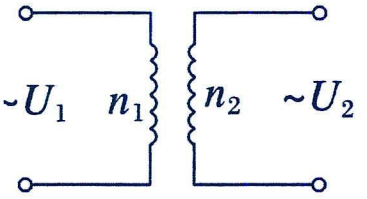
题型一：变压器的原理

1.构造：由闭合铁芯和绕在铁芯上的两个线圈组成，其构造示意图与电路中的符号分别如图甲、乙；

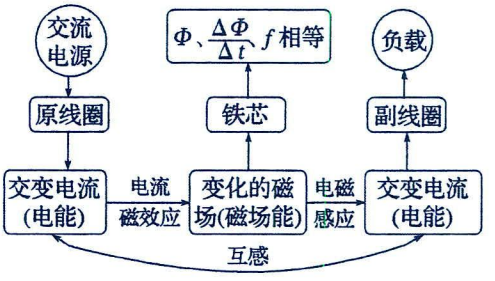
与交流电源连接的线圈叫作原线圈，与负载连接的线圈叫作副线圈。



甲



乙



丙

2.原理：互感现象是变压器工作的基础。原线圈中电流的大小、方向在不断变化，铁芯中激发的磁场也不断变化，变化的磁场在副线圈中产生感应电动势，如图丙。

3.两类变压器：副线圈的电压比原线圈的电压低的变压器叫作降压变压器；

副线圈的电压比原线圈的电压高的变压器叫作升压变压器。

4.变压器中的能量转化：原线圈中电场的能量转变成磁场的能量，通过铁芯使变化的磁场几乎全部穿过了副线圈，在副线圈中产生了感应电流，磁场的能量转化成了电场的能量.

【精选例题】

【例 1】（多选题）关于变压器，下列说法正确的是（　　）

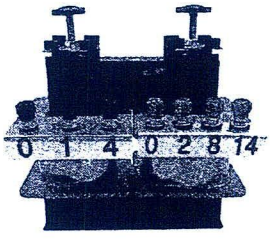
A．变压器的工作原理是电磁感应

B．一切变压器的工作原理都是互感现象

C．在不超过变压器额定电压的前提下，无论变压器的原线圈中接入何种电流，变压器都能持续正常工作

D．在不超过变压器额定电压的前提下，当变压器的原线圈中接入交变电流时，变压器能持续正常工作

【例 2】用如图可拆变压器探究原、副线圈的电压与匝数的关系，下列说法正确的是（　　）



A．本实验通过铁芯导电进行电能的输送

B．用多用电表测副线圈两端电压时，副线圈应空载

C．因本实验电压较小，可用手直接接触接线柱和裸露导线

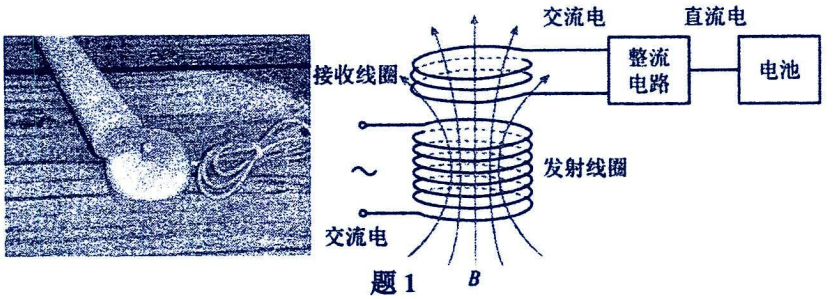
D．为安全起见，须保证副线圈电压低于原线圈电压

【跟踪训练】

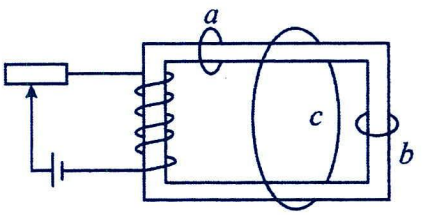
1．如图所示为一款可无线充电的电动牙刷，在其底部有内置线圈，在充电底座内部也有一线圈，当电动牙刷置于充电底座上充电时，原理图如右图所示，则下列说法正确的是（　　）

A．两线圈中电流的频率相同　　B．两线圈中的电流同时达到最大

C．发射线圈和接收线圈的功率相等　　D．发射线圈接干电池也可给电动牙刷充电



题 1



题 2

2．在如图所示的闭合铁芯上绕有一组线圈，与滑动变阻器、电源构成闭合电路，a、b、c 为三个闭合金属圆环，假定线圈产生的磁场全部集中在铁芯内，则当滑动变阻器的滑片向右滑动时，下列说法正确的是（　　）

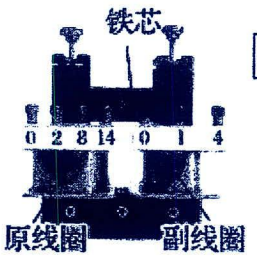
A．穿过 a 环的磁通量始终是 c 环的一半　　B．穿过 a、b 两个环的磁通量始终相同

C．a、c 两个环中都有感应电流　　D．b、c 两个环中都有感应电流

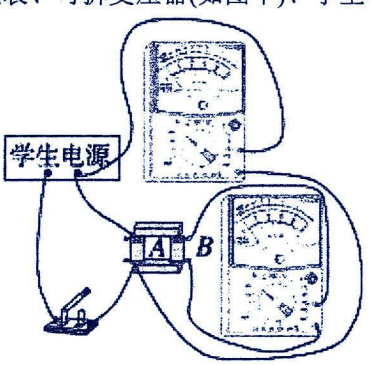
题型二：探究变压器原、副线圈电压与线圈匝数的关系

1．实验思路：交变电流通过原线圈时在铁芯中产生变化的磁场，副线圈中产生感应电动势，其两端有输出电压。线圈匝数不同时输出电压不同，实验通过改变原、副线圈匝数，探究原、副线圈的电压与匝数的关系。

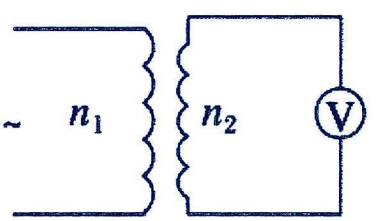
2．实验器材：多用电表、可拆变压器(如图甲)、学生电源、开关、导线若干。



甲



乙



丙

3.实验方法：控制变量法①n_1、U_1一定，研究 n_2 和 U_2 的关系；②n_2、U_1一定，研究 n_1 和 U_2 的关系。

4.实验步骤：

(1)按图乙所示连接好电路，将两个多用电表调到交流电压挡，并记录两个线圈的匝数；

(2)接通学生电源，读出电压值，并记录在表格中；

(3)保持匝数不变，多次改变输入电压，记录每次改变后原、副线圈的电压值；

(4)保持输入电压、原线圈的匝数不变，多次改变副线圈的匝数，记录下每次的副线圈匝数和对应的电压值。

5.数据处理：由数据分析变压器原、副线圈两端电压 U_1、U_2 之比与原、副线圈的匝数 n_1、n_2 之比的关系。

6.实验结论：实验分析表明，在误差允许范围内，原、副线圈的电压之比等于两个线圈的匝数之比，即$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$。

7.注意事项

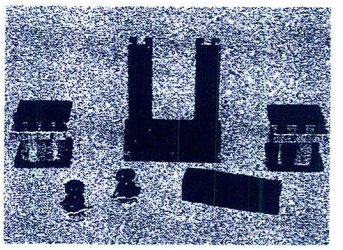
(1)在改变学生电源的电压、线圈匝数前均要先断开开关，再进行操作；

(2)为了保证人身安全，学生电源的电压不能超过 12 V，通电时不能用手接触裸露的导线和接线柱；

(3)为了保证多用电表的安全，使用交流电压挡测电压时，先用最大量程挡试测，大致确定被测电压后再选用适当的挡位进行测量。

【精选例题】

【例 1】关于“探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系”实验，下列说法不正确的是（　　）



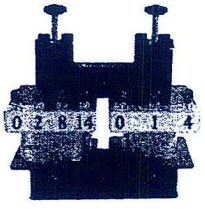
A．测量副线圈电压时，先用最大量程挡试测

B．本实验中用控制变量法来探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系

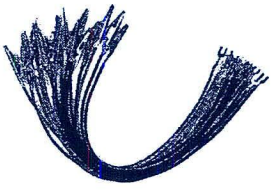
C．为了保证安全，只能使用低压直流电源，所用电压不要超过 12V

D．绕制降压变压器原、副线圈时，副线圈导线应比原线圈导线粗一些

【例 2】在“探究变压器线圈两端的电压与匝数之间的关系”实验中，利用如图可拆式变压器、学生电源和导线进行研究。







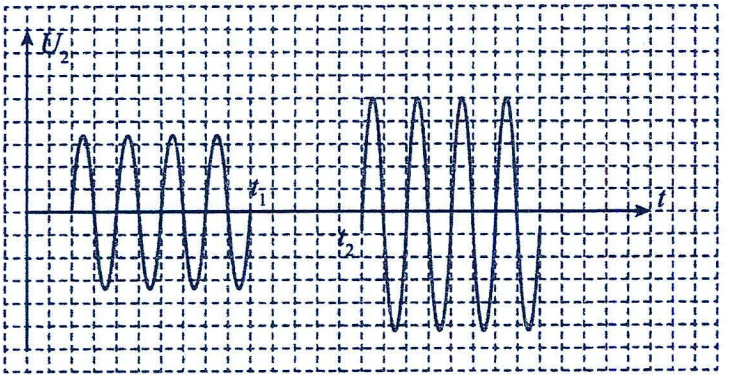
(1)除图中所给器材外，实验还需要的器材是_____。

A．直流电流表　　B．直流电压表　　C．条形磁铁　　D．多用电表

(2)观察变压器的结构，其铁芯采用相互绝缘的硅钢片叠成的铁芯代替整块硅钢铁芯，防止铁芯中_____过大而导致浪费能量，损坏电器。

(3)小明同学选用变压器原线圈匝数 $n_1=800$ 匝和副线圈匝数 $n_2=400$ 匝的位置进行实验，并把输入电压调至恒定电压 $U_1=4\text{V}$，则用合适测电压的装置测得副线圈电压 U_2 为_____V。

(4)小李同学实验中将原线圈接在交流电源上，将副线圈接在电压传感器（可视为理想电压表）上，观察到副线圈电压 U_2 随时间 t 变化的图像如图所示，在 t_1 时刻该同学先断开开关，t_2 时刻再闭合开关，则 $t_1\sim t_2$ 时间内进行的操作可能是_____。

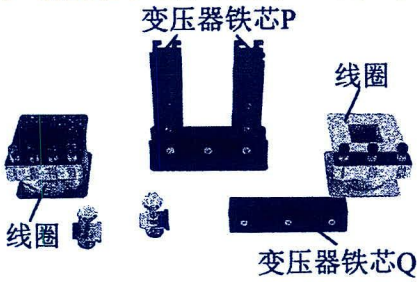


A．拧紧了松动的铁芯　　B．增加了交流电源的频率

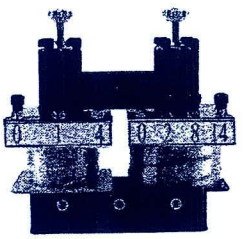
C．减少了副线圈的匝数　　D．减少了原线圈的匝数

【跟踪训练】

1．某实验小组用可拆变压器探究“变压器的电压与匝数的关系”，可拆变压器如图所示。



甲 可拆变压器零部件



乙 组装后的变压器

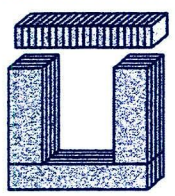
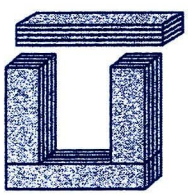
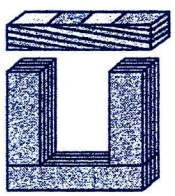
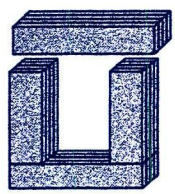
U_a/V	1.80	2.80	3.80	4.90
U_b/V	4.00	6.01	8.02	9.98

(1)某次实验中，用匝数 $n_a=400$ 匝和 $n_b=800$ 匝的线圈实验，测量的数据如上表所示，下列说法中正确的是(　　)

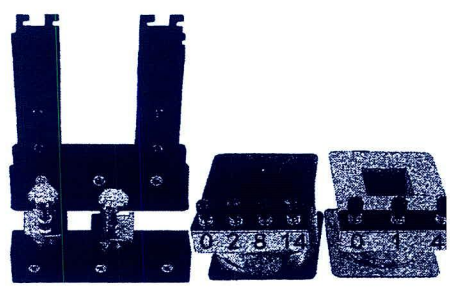
A．原线圈的匝数为 n_a，用较粗导线绕制　　B．副线圈的匝数为 n_a，用较细导线绕制

C．原线圈的匝数为 n_b，用较细导线绕制　　D．副线圈的匝数为 n_b，用较粗导线绕制

(2)为了减小能量传递过程中的损失，铁芯是由相互绝缘的硅钢片平行叠成。作为横档的铁芯 Q 的硅钢片应按照下列哪种方法设计（　　）

A. 　B. 　C. 　D. 

2．在“探究变压器线圈两端的电压与匝数的关系”实验中，某同学采用如图甲的可拆式变压器进行研究，图中各接线柱对应的数字表示倍率为“×100”的匝数。



(1)本实验中，实验室有下列器材：

A．可拆变压器（铁芯、两个已知匝数的线圈）

B．条形磁铁　　C．直流电源

D．多用电表　　E.开关、导线若干

上述器材在本实验中需要的有_____（填器材序号），本实验中还需要用到的器材有_____。

(2)对于实验过程，下列说法正确的有_____。

A．变压器的原线圈接低压交变电流，测量副线圈电压时应当用多用电表的“直流电压挡”

B．为便于探究，应该采用控制变量法

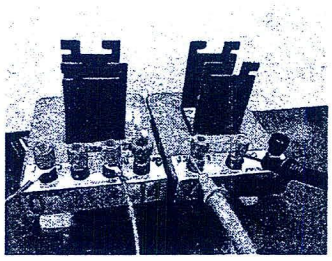
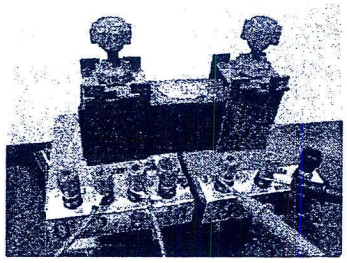
C．因为实验所用电压较低，通电时可用手接触裸露的导线、接线柱等检查电路

D．使用多用电表测电压时，先用最大量程试测，再选用适当的挡位进行测量

(3)实验中，电源接变压器原线圈“0”“8”接线柱，副线圈接“0”“4”接线柱，副线圈所接电表的示数为 5.0V，若变压器是理想变压器，则原线圈的电压应为_____。

A．18.0V　　B．5.0V　　C．10.0V　　D．2.5V

(4)组装变压器时，该同学没有将铁芯闭合，如图所示，原线圈接 12.0V 的学生电源，原、副线圈的匝数比为 8：1，副线圈两端接交流电压表，则交流电压表的实际读数可能是_____。

A．0.65V　　B．96.0V　　C．1.5V　　D．0

题型三：理想变压器中电流、电压、功率的分析

1.理想变压器：没有能量损耗的变压器叫作理想变压器，它是一个理想化模型。

(1)原、副线圈中的电流产生的磁场完全束缚在闭合铁芯内，即无“漏磁”；

(2)原、副线圈不计电阻，电流通过时不产生焦耳热，即无“铜损”；

(3)闭合铁芯中的涡流为零，即无“铁损”；

(4)原副线圈的感抗趋于无穷大，从而空载电流趋于 0。

2.基本关系式

(1)功率关系：$P_{入}=P_{出}$；　　(2)电压关系：$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$；

(3)电流关系：$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$；　　(4)频率关系：$f_{出}=f_{入}$。

3.变压器原、副线圈的物理量间的制约关系

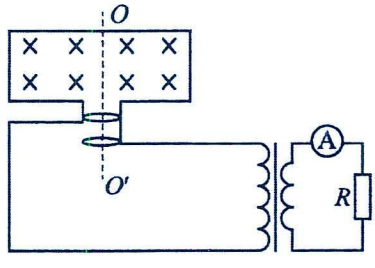
功率：原线圈的输入功率 P_1 由副线圈的输出功率 P_2 决定，$P_{入}=P_{出}$

电压：副线圈电压 U_2 由原线圈电压 U_1 和原、副线圈匝数比决定，$U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1$

电流：原线圈电流 I_1 由副线圈电流 I_2 和原、副线圈匝数比决定，$I_1=\frac{n_2}{n_1}I_2$

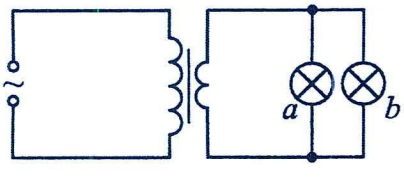
【精选例题】

【例 1】多数学校备有应急发电机，其工作原题可简化为如图所示的矩形线框在匀强磁场中绕垂直磁场方向的轴 OO' 匀速转动。已知矩形线框的匝数为 100，面积为 $0.04m^2$ 匀强磁场的磁感应强度大小为 0.5T，线框转动的角速度为 $30\sqrt{2}rad/s$。线框与理想变压器原线圈相连，理想变压器原、副线圈的匝数比为 $n_1:n_2=2:1$，副线圈连在电路中的电阻 $R=10\Omega$。电流表为理想电表，不计线框的电阻，电流表的读数为（　　）



A．12A　　B．6A　　C．4A　　D．3A

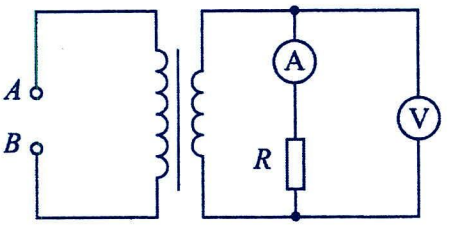
【例 2】如图所示，某理想变压器原线圈与一交流电源相连，交流电源电动势的表达式为 $e=10\sqrt{2}\sin100\pi t(V)$，副线圈并联两个小灯泡 a 和 b，小灯泡 a 的额定功率为 0.3W，正常发光时电阻为 30Ω，已知两灯泡均正常发光，流过原线圈的电流为 0.09A，下列说法错误的是（　　）



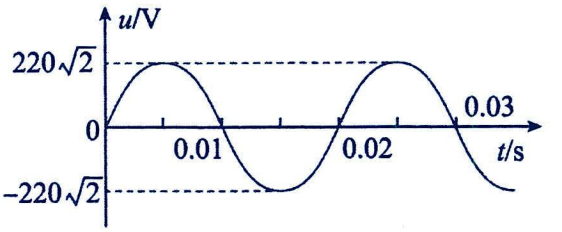
A．原副线圈的匝数比为 10:3　　B．流过小灯泡 b 的电流为 0.2A

C．小灯泡中电流方向每秒钟改变 30 次　　D．小灯泡 b 正常发光时的电阻为 15Ω

【例 3】理想变压器、电阻 R、理想交流电流表 A、理想交流电压表 V 按图甲连接，已知理想变压器原、副线圈的匝数比为 11:1，电阻 R=10Ω，原线圈输入的交流电如图乙所示，下列说法正确的是（　　）



甲

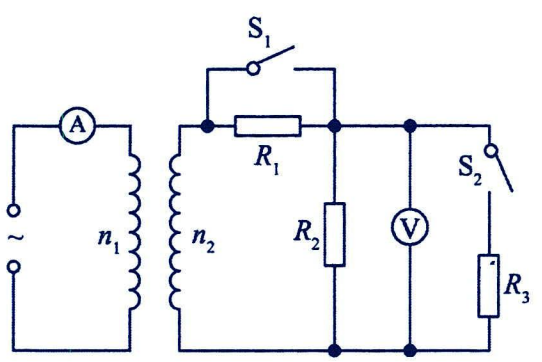


乙

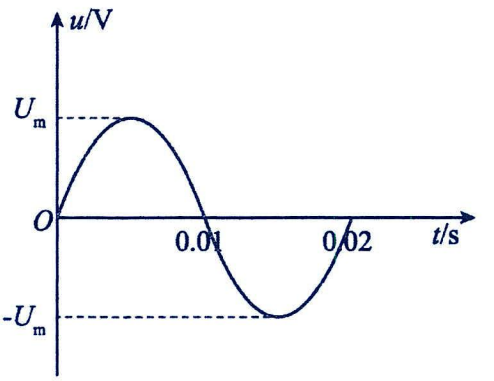
A．交流电的频率为 100Hz　　B．电压表读数为 $20\sqrt{2}$ V

C．电流表读数为 2A　　D．变压器的输入功率为 44W

【例 4】（多选题）理想变压器原、副线圈所接的电路如图甲所示，原、副线圈的匝数比为 $n_1:n_2=4:1$，其中定值电阻 $R_1=R_2=R_3=110\Omega$，两电表为理想交流电表，原线圈两端接有如图乙所示的交流电。当 $t=\frac{1}{600}$s 时，原线圈的瞬时电压为 $u=110\sqrt{2}$V。断开 S_1、S_2，电源消耗的电功率为 P_1；闭合 S_1、S_2，电源消耗的电功率为 P_2。则下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A．闭合 S_1、断开 S_2，电压表的示数为 55V　　B．闭合 S_1、S_2，电流表的示数为 4.0A

C．断开 S_1、S_2，电流表的示数为 0.04A　　D．$P_1:P_2=1:4$

【跟踪训练】

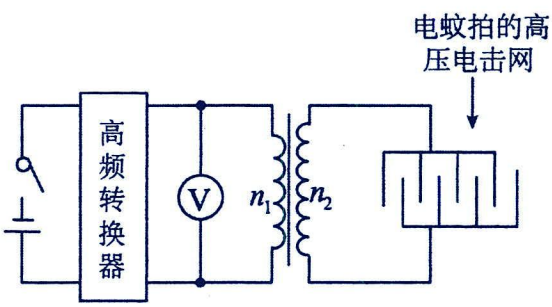
1．电蚊拍利用高压电击网来击杀飞近的蚊虫，原理如图，将锂电池的 4V 电压通过转换器转变为交变电压 $u=4\sin 10000\pi t(\mathrm{V})$，再将其加在理想变压器的原线圈上，副线圈两端接电击网，电压峰值达到 2700V 时可击杀蚊虫。电蚊拍正常工作时，下列说法正确的是（　）

A．交流电压表的示数为 4V

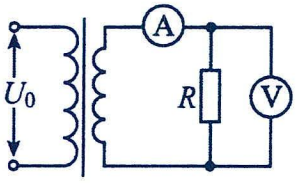
B．副线圈与原线圈匝数比需满足 $\frac{n_2}{n_1}\geq 675$

C．电击网上的高频电压的频率为 10000Hz

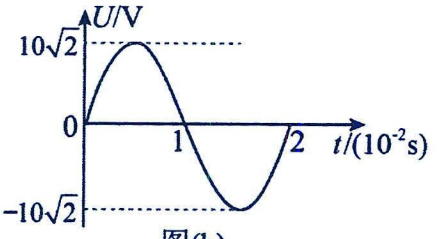
D．相比副线圈，原线圈应该用较细的导线绕制



2．如图（a）所示，理想变压器原、副线圈匝数比为 11:1，副线圈与理想电流表、理想电压表以及负载电阻 R 连接成闭合回路，原线圈接电压为 U_0 的交流电源，R 两端电压随时间变化的规律如图(b)所示，负载电阻 R=20Ω。下列说法中正确的是（　　）



图(a)

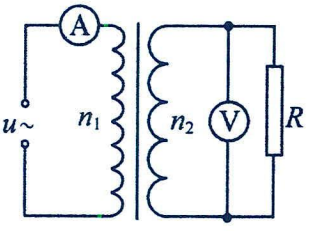


图(b)

A．变压器输入电压的最大值是$110\sqrt{2}$V　　B．电流表的示数为$\frac{\sqrt{2}}{2}$A

C．原线圈输入交流电的频率是 100Hz　　D．变压器的输入功率是 10W

3．如图所示，一理想变压器的原、副线圈匝数比$n_1:n_2=10:1$，一阻值为10Ω的电阻 R 连接在变压器的副线圈上。若加在原线圈上的电压瞬时值随时间变化规律为 $u=100\sqrt{2}\cos 100\pi t\,(\mathrm{V})$，下列说法中正确的是（　　）



A．交变电流的频率为 100Hz　　B．变压器的输入功率为 10W

C．电流表 A 的示数为 1A　　D．电压表 V 的示数为$10\sqrt{2}$V

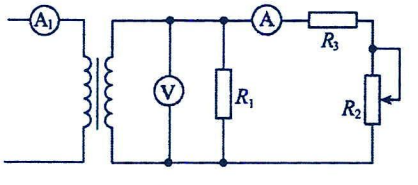
4．（多选题）如图甲所示，理想变压器原、副线圈匝数比为$n_1:n_2=1:5$，定值电阻R_1的阻值为15Ω，滑动变阻器R_2的最大阻值为50Ω，定值电阻R_3的阻值为10Ω，图中电表均为理想电表。原线圈输入如图乙所示的交变电流，其电流的有效值不随负载变化。当滑动变阻器接入电路的阻值由50Ω减小到 0 的过程中，电压表、电流表 A 的示数变化量的绝对值分别为ΔU、ΔI，下列说法正确的是（　）

A．电流表A_1的示数为5A

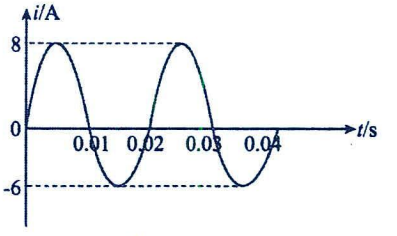
B．$\frac{\Delta U}{\Delta I}=R_2+R_3$

C．电压表的示数最大值为12V

D．R_2和R_3的总电功率先增大后减小



甲



乙

题型四：多个副线圈的理想变压器

解题要点：

1.含有多个副线圈的变压器的电路分析：副线圈有两个或两个以上时，一般从原、副线圈的功率相等入手；利用 $P_1=P_2+P_3+\ldots$，结合原、副线圈电压关系、欧姆定律等分析。

2. 计算具有两个或两个以上副线圈的变压器问题时，需注意三个关系：

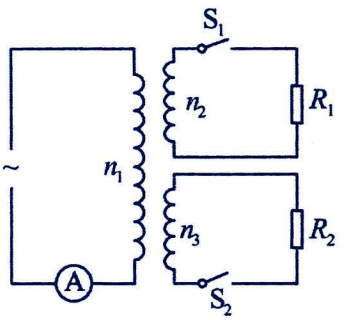
(1)功率关系：$P_1=P_2+P_3+P_4+\ldots+P_n$，即：$U_1I_1=U_2I_2+U_3I_3+\ldots+U_nI_n$；

(2)电压关系：$\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}=\frac{U_3}{n_3}=\ldots=\frac{U_n}{n_n}$；

(3)电流关系：$n_1I_1=n_2I_2+n_3I_3+n_4I_4+\ldots+n_nI_n$

【精选例题】

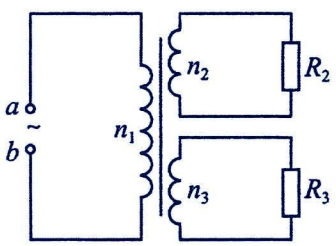
【例 1】由匝数为n_1的原线圈和两个匝数分别为n_2和n_3的副线圈组成的理想变压器，如图所示。已知图中定值电阻$R_1=3\Omega$，$R_2=4\Omega$，电流表为理想交流电表。当原线圈接入电压恒定的正弦交变电流，开关S_1、S_2均闭合时电流表示数为仅闭合S_1时的 4 倍，则$n_2:n_3$为（　）



A．1:2　　B．2:1　　C．1:3　　D．3:1

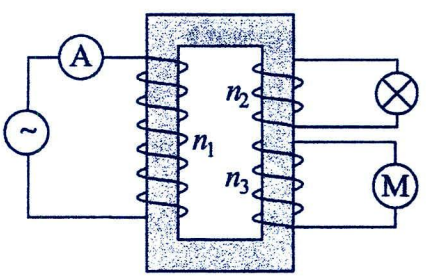
【跟踪训练】

1.理想变压器如图所示，原线圈匝数n_1=1 000，两副线圈匝数分别为n_2=600，n_3=200，当原线圈两端接在 220 V 的交流电源上时，原线圈上电流为 2 A，通过R_2的电流为 1 A，则通过R_3的电流为（　）



A．10 A　　B．7 A　　C．3 A　　D．1 A

2．如图所示，一理想变压器原线圈与$e=220\sqrt{2}\sin(100\pi t)$V 的交流电源连接，两副线圈分别接灯泡和电动机，原线圈匝数$n_1=120$，连接电动机的副线圈匝数$n_3=30$，电流表示数为 2A，标注有“110V 55W”的灯泡正常发光，电动机线圈的总电阻为1Ω，则下列说法中正确的是（　）

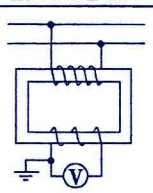
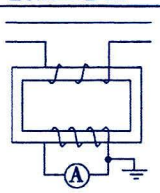


A．流过灯泡的交变电流的频率为 60Hz　　B．灯泡两端的电压峰值为 110V

C．流过电动机的电流为 55A　　D．电动机的输出功率为 336W

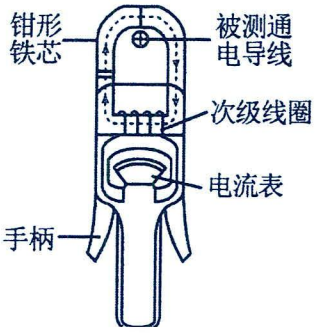
题型五：互感器的应用

解题要点

互感器	电压互感器	电流互感器
原理图		
原线圈的连接	并联在交流电路中	串联在交流电路中
副线圈的连接	连接电压表	连接电流表
互感器的作用	将高电压变为低电压	将大电流变成小电流
利用的公式	$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$	$I_1n_1=I_2n_2$

【精选例题】

【例 1】互感式钳形电流表内部结构如图所示，电流表与次级线圈相连，用手柄控制钳形铁芯上方开口的开合，则（　　）



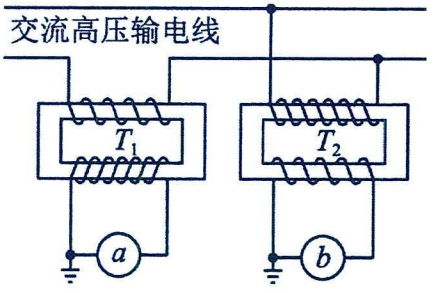
A．互感式钳形电流表可用来测量恒定电流

B．互感式钳形电流表测电流时相当于降压变压器

C．次级线圈匝数越少，通过内部电流表的电流越大

D．测量时互感式钳形电流表应串联在被测通电导线中

【例 2】（多选题）互感器又称仪用变压器，是电流互感器和电压互感器的统称，常用于测量或保护系统。如图，T_1、T_2是监测交流高压输电参数的互感器，a、b是交流电压表或交流电流表，若高压输电线间电压为220kV，T_1的原、副线圈匝数比为1:20，交流电压表的示数为200V，交流电流表的示数为2A，则下列说法正确的是（　）

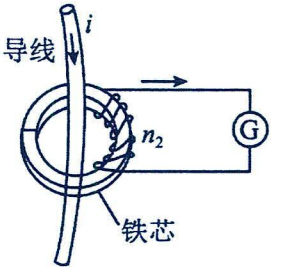


A．a是交流电压表，b是交流电流表　　B．T_2的原、副线圈匝数比为1100:1

C．高压线路输送的电流为20A　　D．高压线路输送的电功率为8.8×10^3kW

【跟踪训练】

1．（多选题）某50Hz的钳形电流表的工作原理如图所示。当通有交流电的导线从环形铁芯的中间穿过时，与绕在铁芯上的线圈相连的电表指针会发生偏转。不考虑铁芯的漏磁及各种能量损耗，已知$n_2=1000$匝，当用该表测50Hz交流电时（　　）



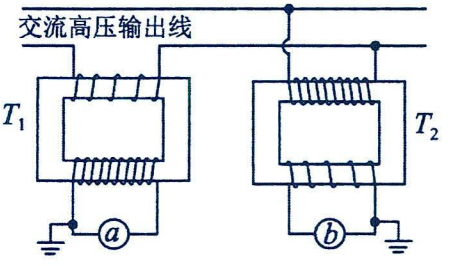
A．电流表G中通过的是交变电流

B．若G中通过的电流为50mA，则导线中的被测电流为50A

C．若导线中通过的是10A矩形脉冲交流电，G中通过的电流是10mA

D．若增加n_2，则电流表G示数变大

2．（多选题）如图所示，T_1、T_2是测量高压交流电的两种互感器（均视为理想变压器），假设T_1、T_2都接在交流高压输电线的前端，T_1原、副线圈的匝数比为1:n，T_2原、副线圈的匝数比为n:1，电表a的示数与电表b的示数之积为N，则下列说法正确的是（　）



A．T_1是电流互感器，且为升压变压器

B．T_2是电流互感器，且为降压变压器

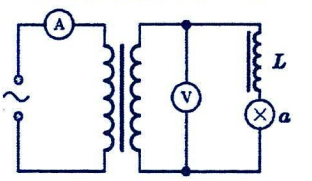
C．若a的示数为M，则交流高压输电线的输送电流为$\frac{M}{n}$

D．交流高压输电线的输送功率为Nn^2

题型六：理想变压器中电感、电容和二极管

【精选例题】

【例 1】如图所示，理想变压器的原线圈接在一个输出电压有效值恒定、频率可调的交流电源上，副线圈所在电路中接有电灯泡 a、电感 L、理想交流电压表和理想交流电流表。当交流电的频率为 f 时，电压表示数为 U、电流表示数为 I，电灯泡正常工作；现将交流电的频率增加为 2f 时。则（　　）



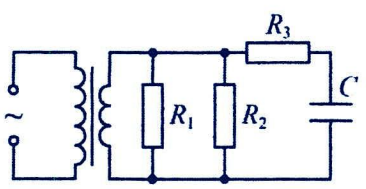
A．电压表示数减小　　B．电流表示数增加

C．电灯泡 a 亮度变亮　　D．原线圈输出功率减小

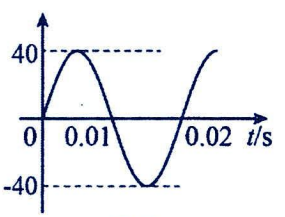
【例 2】(多选题)如图甲所示：理想变压器原副线圈的匝数比为 10:1，R_1=20Ω、R_2=40 Ω，电容器的电容 C=100μF，已知电阻 R_1 两端的正弦交流电压如图乙所示，下列说法正确的是：

A．该交流电的频率为 50Hz　　B．原线圈输入电压的有效值为 $200\sqrt{2}$ V

C．电容器所带电量为 4×10^{-3}C　　D．电阻 R_2 消耗的功率为 20W



图甲



图乙

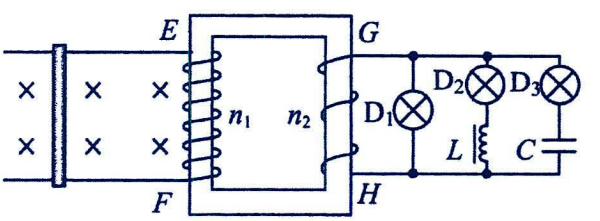
【例 3】如图所示，理想变压器原、副线圈的匝数比 $n_1:n_2=3:1$，原线圈 EF 两端与宽度 $d=2$m 的光滑平行金属轨道连接，轨道平面水平，磁感应强度 $B=1.8$T 的匀强磁场垂直于轨道平面向下。一根金属杆以 $v=10\sqrt{2}\sin10\pi t\,(\text{m/s})$ 的速度在轨道上往复运动，并始终与导轨保持良好接触。副线圈 GH 两端连接的电路如图，三个灯泡的电阻均为4Ω，L 是直流电阻不计的理想线圈，C 是电容器。下列说法正确的是（　　）

A．三个灯泡中 D_3 最亮，D_2 最暗

B．副线圈中电流的频率为10Hz

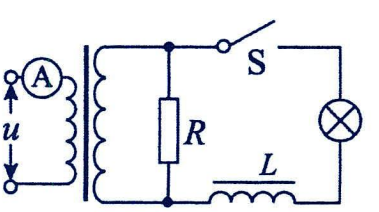
C．灯泡 D_1 的功率为36W

D．若导体棒的运动周期变为0.05s，则灯泡 D_2 变亮，D_3 变暗



【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示为用理想变压器连接的电路，原线圈接在 u=311sin100πt（V）的交流电源上，R 为定值电阻，电流表为理想电表。 起初开关 S 处于断开状态，下列说法中正确的是



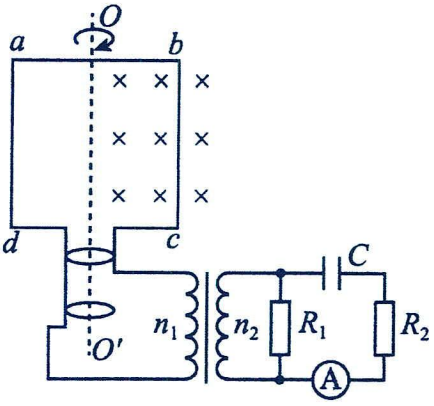
A．当开关 S 闭合后，电流表示数变大

B．流过 R 的电流的频率为 100Hz

C．若 S 闭合后灯发光，在保持输送电压不变而减小电源频率时灯更亮

D．若 S 闭合后灯发光，则增大线圈的电感 L 可使灯更亮

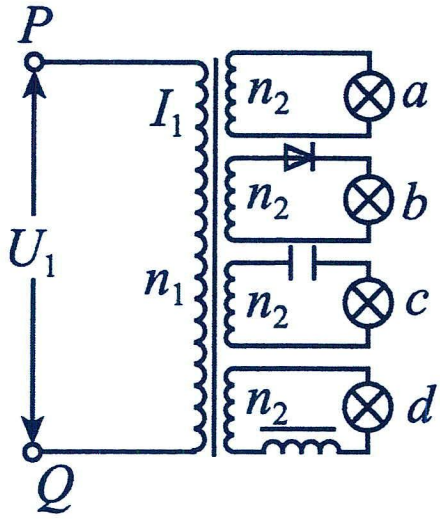
2．如图所示，矩形线圈 abcd 放置在垂直纸面向里的匀强磁场中，绕垂直于磁场的中心转轴OO'以 300r/min 的转速匀速转动，磁场分布在OO'的右侧，磁感应强度$B=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}$T。线圈匝数$n=100$匝，面积$S=100\text{cm}^2$。理想变压器的原、副线圈匝数比$n_1:n_2=1:2$，定值电阻$R_1=R_2=4\Omega$，C 为电容器，电流表 A 为理想交流电表，不计矩形线圈的电阻，下列说法正确的是（　　）



A．矩形线圈产生的电动势最大值为$20\sqrt{2}$V　　B．电流表示数为 5A

C．变压器输出功率为 200W　　D．增大电容器的电容，电流表示数增大

3．（多选题）如图所示，一理想变压器，原线圈匝数为 n_1，四个副线圈的匝数均为 n_2．a、b、c、d 是四个完全相同的灯泡，二极管（二极管具有单向导电性）、电容和电感线圈都视为理想元件．现从原线圈 P、Q 两点输入正弦交流电，那么下列说法正确的是：()



A．流过 b 灯的电流仍是交流电

B．a 灯的功率是 b 灯功率的 4 倍

C．此时 a 灯最亮，c、d 两灯亮度可能相同

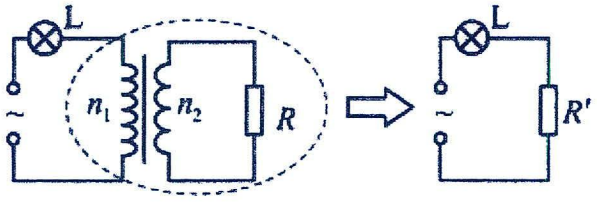
D．当输入交流电的频率增大、输入电压的峰值不变时，a、b 两灯亮度不变，c 灯变亮，d 灯变暗

题型七：理想变压器中电阻等效与电源等效

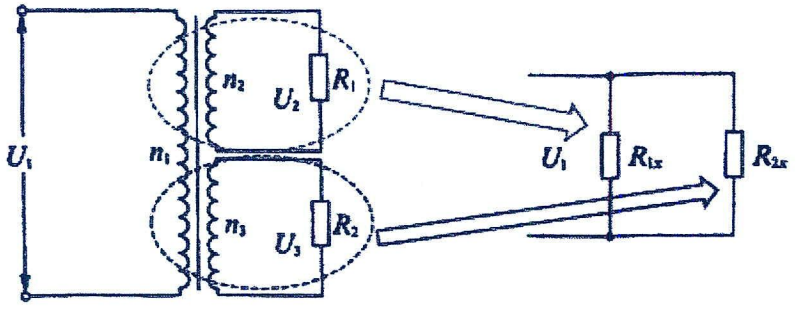
解题要点：

1.等效电阻：

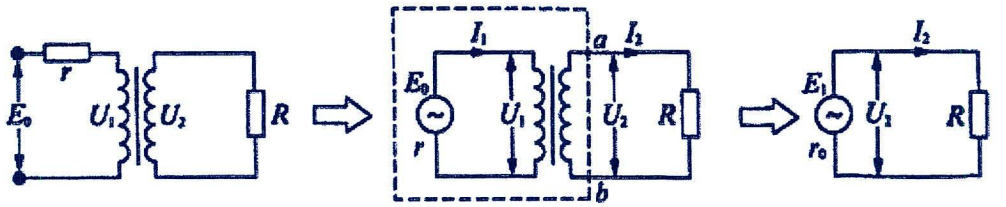
①如图所示，原副线圈匝数分别为 n_1、n_2，副线圈负载电阻为 R，则副线圈的负载电阻可等效为一个电阻$R'=\frac{n_1^2}{n_2^2}R$。



②如图所示，当有多个副线圈时，匝数分别为 n_1、n_2、n_3，副线圈负载电阻分别为 R_1、R_2，则副线圈的负载电阻可等效为两个电阻$R_{1x}=\frac{n_1^2}{n_2^2}R_1$、$R_{2x}=\frac{n_1^2}{n_3^2}R_2$的并联。



2. 等效电源：如图，原副线圈匝数分别为 n_1、n_2，电压分别为 U_1、U_2，电流分别为 I_1、I_2，原线圈交流电源输出电压有效值为 E_0，且原线圈中串联有一个定值电阻 r。自副线圈输出端 ab 向左看，可把变压器，定值电阻与原交流电源当作一个整体，等效为一个新的电源。令其电动势有效值为 E_1，等效内阻为 r_x。



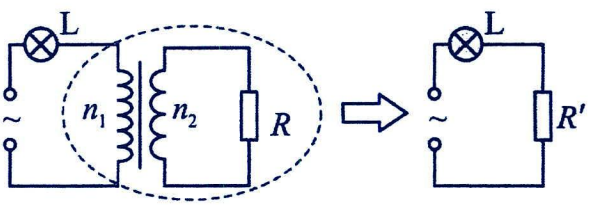
当负载 R 断路时，副线圈两端电压即为新电源电动势的有效值 E_1，且空载时，对理想变压器而言，原线圈中的电流 $I_1=0$，则原线圈输入电压 U_1 即为交流电源输出电压 E_0，根据电压比关系有 $\frac{E_0}{E_1}=\frac{n_1}{n_2}$，即新电源电动势 $E_1=\frac{n_2}{n_1}E_0$；

当原线圈接入电阻r时，在原线圈电路中有 $E_0=I_1r+U_1$。此时副线圈输出电压 U_2，在等效电源电路中，相当于该新电源的路端电压，有 $E_1=I_2r_x+U_2$。又 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，$I_1\cdot n_1=I_2\cdot n_2$，联立以上各式有 $r_x=(\frac{n_2}{n_1})^2\cdot r_0$。

【精选例题】

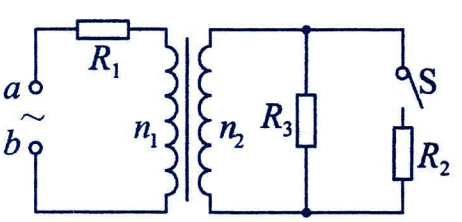
【例 1】我们一般把变压器分成左右两个电路来看待，使得在分析时将问题变得复杂。现在我们将变压器与负载视为一个整体，等效为一个新的电阻 R'，变成一个单一的回路。若已知原、副线圈的匝数比为 k，副线圈所接电阻为 R，则 R' 等于（　　）

A. kR　　B. k^2R　　C. $k^{\frac{3}{2}}R$　　D. $k^{-\frac{3}{2}}R$



【跟踪训练】

1. 如图，一理想变压器 ab 端接电压恒定交流电源，原副线圈匝数分别为 n_1、n_2，已知 $R_1=R_2=R_3=R$。当开关S断开时，变压器输出功率为 P_1；当开关S闭合时，变压器输出功率为 P_2，且 $P_1:P_2=18:25$，则原副线圈匝数比为（　　）



A. n_1、$n_2=2:1$　　B. n_1、$n_2=1:2$

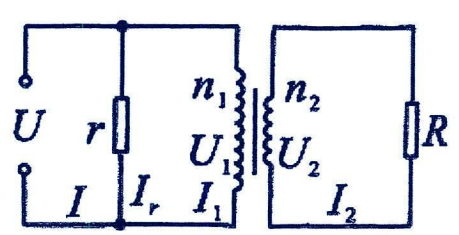
C. n_1、$n_2=3:2$　　D. n_1、$n_2=2:3$

题型八：原线圈串联用电器

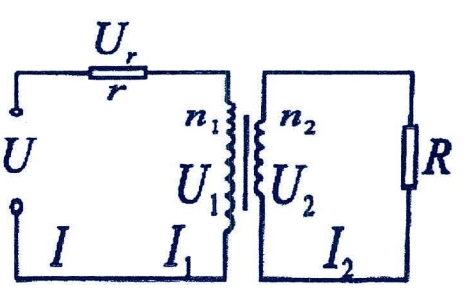
解题要点：

变压器原线圈所在电路中含有负载问题的分析

(1)原线圈被并联时，如图甲，原线圈两端的电压等于输入电压，原线圈被并联不影响原线圈的电流与电压，但会影响干路中的电流大小；



甲



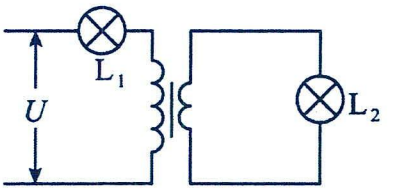
乙

(2)原线圈被串联时，如图乙，原线圈两端的电压和串联电阻两端的电压之和等于输入电压，原、副线圈电压、电流之间的关系不受影响。

(3)要求解原线圈电路中负载的电流、电压和功率，一般需先求副线圈中的电流，然后根据理想变压器原、副线圈中的电流关系求得原线圈电路中的电流，进而求解通过负载的电流。原、副线圈的电流关系往往是解决问题的突破口。

【精选例题】

【例 1】如图所示，理想变压器原、副线圈分别接有额定电压为 U_0 的灯泡 L_1 和额定电压为 $3U_0$ 的灯泡 L_2。当输入电压 U 为 $10U_0$ 时，两灯泡均正常发光，则灯泡 L_1 与 L_2 的功率之比为（ ）



A．3：1　　B．1：9　　C．6：1　　D．1：3

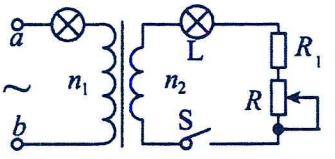
【例 2】在图甲的交流电路中，输入端 a、b 所接电源电压 u 随时间 t 的变化关系如图乙。原线圈电路中接有“8V，4W”的小灯泡，副线圈电路中所接灯泡 L 的额定电压为20V，电阻恒为15Ω，定值保护电阻 R_1=30Ω。滑动变阻器的触头滑到适当位置时，两个灯泡恰好都正常工作。假设变压器是理想变压器。下列说法正确的是（ ）

A．通过灯泡 L 的电流方向每秒改变 25 次

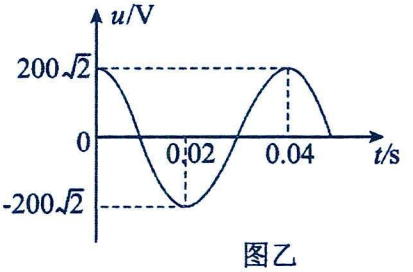
B．电源的输出功率是 $100\sqrt{2}$W

C．变压器原、副线圈的匝数比 $n_1:n_2=8:3$

D．滑动变阻器接入电路的电阻为11.25Ω



图甲



图乙

【跟踪训练】

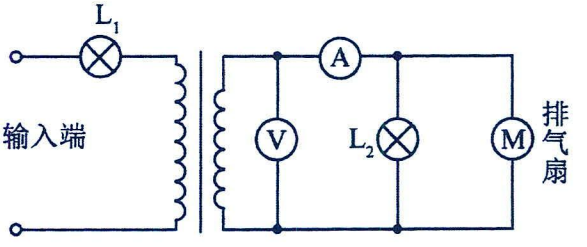
1．一交流电源电压 $u=220\sqrt{2}\sin(100\pi)$V，已知变压器原、副线圈匝数比为 10∶1，灯泡 L_1 的额定功率为 16W，灯泡 L_2 的额定功率为 18W，排气扇电动机线圈的电阻为1Ω，电流表的示数为 4A，用电器均正常工作，电表均为理想电表，则（ ）

A．电压表示数为 20V

B．流过灯泡 L_1 的电流为 40A

C．排气扇电动机的热功率为 9W

D．整个电路消耗的功率为 43W



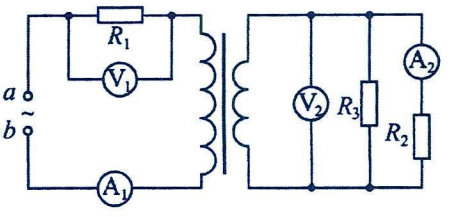
2．（多选题）如图所示的理想变压器电路中，电流表、电压表均为理想交流电表，在 a、b 两端输入正弦交流电压，三个定值电阻 R_1、R_2、R_3 的阻值相等，变压器原、副线圈的匝数比为 3：2，则下列说法正确的是（ ）

A．电流表 A_1 与 A_2 的示数之比为 2：3

B．电压表 V_1 与 V_2 的示数之比为 4：3

C．电阻 R_1 与 R_3 消耗的功率之比为 16：9

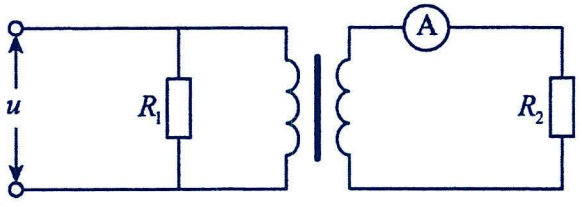
D．a、b 端的输入功率与副线圈的输出功率之比为 3：2



题型九：原线圈并联用电器

【精选例题】

【例 1】如图所示，理想变压器原线圈接在$u=20\sqrt{2}\sin 100\pi t\text{V}$的交流电源上，阻值 R_1=100 Ω 的电阻与变压器原线圈并联。副线圈与阻值为 R_2=10 Ω 的电阻组成闭合回路，电流表为理想电流表。已知电阻 R_1 消耗的电功率是 R_2 消耗的电功率 4 倍，则下列说法正确的是（　　）



A．电流表的示数为 2A

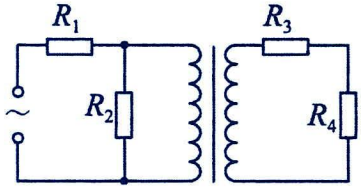
B．电阻 R_2 消耗的电功率为 10W

C．电源输出的功率为 40W

D．变压器原、副线圈的匝数之比为4:1

【跟踪训练】

1．4 个阻值相同的电阻 R_1、R_2、R_3 和 R_4 及理想变压器按如图所示连接，变压器原、副线圈匝数比为 1∶2，则以下说法正确的是（　　）



A．R_1 和 R_2 消耗的电功率之比为 9∶4　　B．R_1 和 R_3 消耗的电功率之比为 4∶1

C．R_2 和 R_3 消耗的电功率之比为 1∶1　　D．R_2 和 R_4 消耗的电功率之比为 1∶4

考点二：变压器中的动态分析

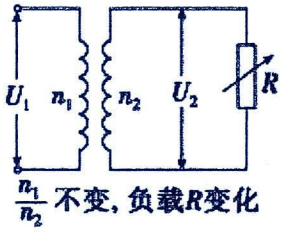
题型一：负载电阻变化

如图所示，匝数比不变，负载变化的情况的分析思路：

(1)U_1 不变，根据$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，输入电压 U_1 决定输出电压 U_2，可以得出不论负载电阻 R 如何变化，U_2 不变；

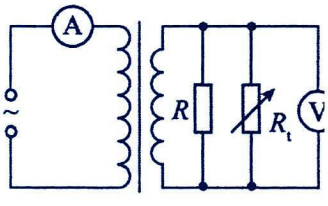
(2)当负载电阻发生变化时，I_2 变化，根据输出电流 I_2 决定输入电流 I_1，可以判断 I_1 的变化；

(3)I_2 变化引起 P_2 变化，根据 $P_1=P_2$，可以判断 P_1 的变化。



【精选例题】

【例 1】如图所示某一火警报警系统原理图，理想变压器原线圈接有电压有效值恒定的交流电源，已知图中电阻 R 的阻值恒定，热敏电阻 R_t 的阻值随温度升高而减小，电压表和电流表均为理想电表，当 R_t 处的温度升高时，下列说法正确的是（　　）



A．电流表的示数将减小　　B．电流表的示数将增大

C．电压表的示数将减小　　D．电路消耗的总功率不变

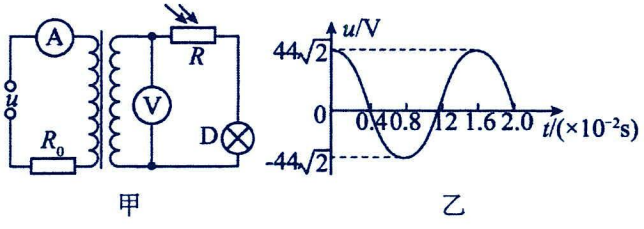
【例 2】（多选题）如图甲所示的电路中，理想变压器原、副线圈匝数比为 10:1，电流表、电压表均为理想电表，R_0 是定值电阻，R 是光敏电阻（其阻值随光强增大而减小），D 为灯泡。输入如图乙所示的正弦交流电压 u，下列说法正确的是（　　）

A．输入电压的瞬时值表达式为$u=44\sqrt{2}\cos(125\pi t)\text{V}$

B．用光照射 R 时，电流表的示数变小

C．用光照射 R 时，电压表的示数变大

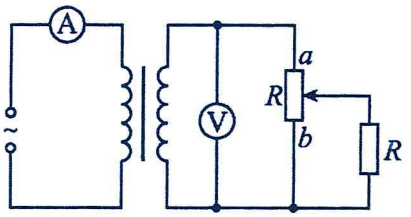
D．用光照射 R 时，电压表的示数变小



甲　　乙

【跟踪训练】

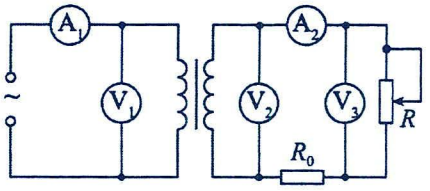
1．如图所示，理想变压器原线圈接入电压恒定的正弦交流电，副线圈接入最大阻值为 R 的滑动变阻器和阻值为 R 的定值电阻，电压表和电流表均为理想交流电表。在变阻器滑片从 a 端向 b 端缓慢移动的过程中（　　）



A．电流表 A 示数增大　　B．电压表 V 示数减小

C．定值电阻 R 消耗的功率减小　　D．原线圈的输入功率先减小后增大

2．（多选题）如图所示是通过降压变压器给用户供电的示意图。变压器的输入电压是市区电网的电压，负载变化时输入电压不会有大的波动。输出电压通过输电线输送给用户，输电线的总电阻用 R_0 表示，变阻器 R 代表用户用电器的总电阻，当用电器增加时，R 的值减小。如果变压器上的能量损失可以忽略，交流电表作为理想电表处理，下列说法中正确的是（　　）



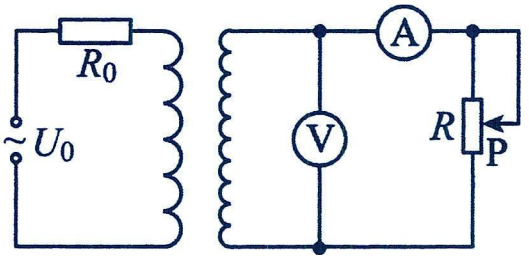
A．V_1 与 A_1 示数乘积等于 V_2 与 A_2 示数乘积

B．由于输入电压高于输出电压，所以原线圈所用的导线应当更粗

C．当用户的用电器增加时，V_1、V_2、V_3 示数都不变

D．当用户的用电器增加时，A_1、A_2 示数都增大

3．如图所示，理想变压器原线圈与定值电阻 R_0 串联后接在电压 U_0=32V 的交流电源上，副线圈接理想电压表、电流表和滑动变阻器 R。原、副线圈的匝数比为 1：4。已知 R_0=1 Ω，R 的最大阻值为 50 Ω。现将滑动变阻器 R 的滑片 P 从最上端向下滑动，下列说法正确的是（　　）



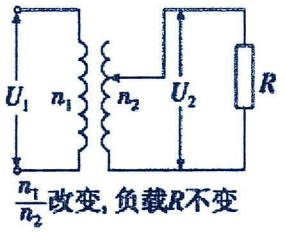
A．当 $R=16\Omega$ 时，电流表的示数为 4A

B．电源的输出功率变小

C．原线圈输入电压不变

D．理想电压表的读数不变

题型二：线圈匝数变化



如图所示，负载电阻不变，匝数比变化的情况的分析思路：

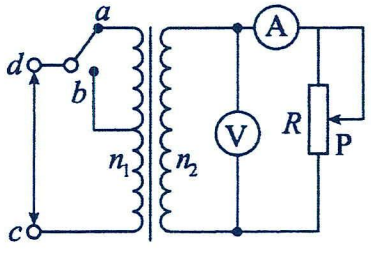
(1)U_1 不变，$\frac{n_1}{n_2}$ 发生变化，U_2 变化；

(2)R 不变，U_2 变化，I_2 发生变化；

(3)根据 $P_2=\frac{U_2^2}{R}$ 和 $P_1=P_2$、$P_1=U_1I_1$，可以判断 P_2 变化时，P_1 发生变化；U_1 不变，I_1 发生变化。

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，理想变压器原、副线圈的匝数比为 20∶1，b 是原线圈的中心抽头，电压表和电流表均为理想电表，原线圈 c、d 两端加上交变电压，其瞬时值表达式为 $u_1=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$ V，则（　　）



A．单刀双掷开关与 a 连接时，电压表的示数为 11V

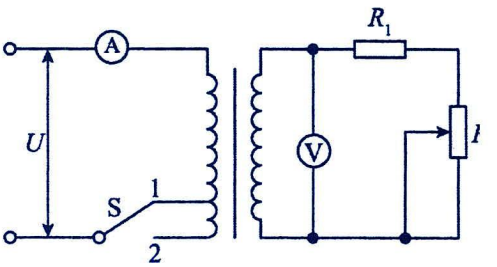
B．单刀双掷开关与 a 连接，$t=\frac{1}{600}$ s 时，电压表的示数为 $11\sqrt{2}$V

C．单刀双掷开关由 a 扳向 b，电压表和电流表的示数均变大

D．单刀双掷开关与 a 连接，在滑动变阻器触头 P 向上移动的过程中，电压表和电流表的示数均变小

【跟踪训练】

1．在如图所示的电路中，理想变压器原线圈接入恒定的正弦交流电，电流表、电压表均为理想表，R_1为定值电阻，R_2为滑动变阻器，开关S开始接在1端，则下列判断正确的是（　　）



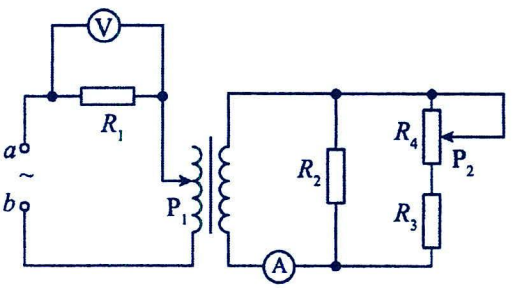
A．将开关S由1合向2，电流表的示数变大，电压表的示数变小

B．将开关S由1合向2，电流表的示数变小，电压表的示数变小

C．将滑动变阻器的滑片P向下移，电流表的示数变大、电压表的示数不变

D．将滑动变阻器的滑片P向下移，电流表的示数不变，电压表的示数变小

2．（多选题）如图所示的理想变压器电路中，R_1、R_2、R_3为定值电阻，R_4为滑动变阻器，电压表和电流表均为理想交流电表，在a、b端接入有效值不变的正弦交流电，则下列说法正确的是（　　）



A．仅将滑片P_1向下移，电压表和电流表示数均变大

B．仅将滑片P_1向下移，电阻R_1消耗的功率变大

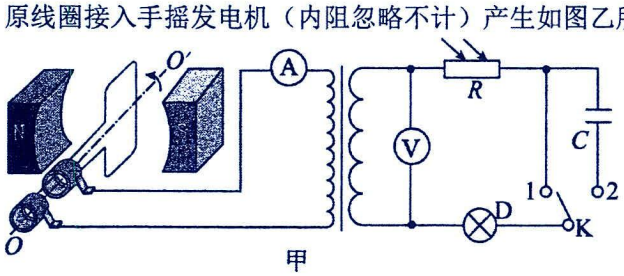
C．仅将滑片P_2向下移，电压表和电流表示数均变大

D．仅将滑片P_2向下移，电阻R_2消耗的功率变大

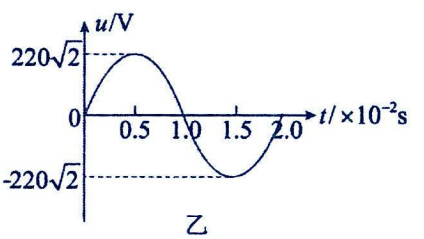
题型三：电路结构变化

【精选例题】

【例1】如图甲所示的电路中，理想变压器原、副线圈匝数比为4∶1，电流表和电压表均为理想电表，R是光敏电阻（其阻值随光强增大而减小）、C是耐压值和电容都足够大的电容器、D是灯泡、K是单刀双掷开关。当原线圈接入手摇发电机（内阻忽略不计）产生如图乙所示的正弦交流电时，下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A．开关K连通1和连通2时，电压表的示数均为55V

B．开关K连通1时，若光照减弱，电流表的示数变大

C．开关K连通2时，灯泡不亮

D．手摇发电机线框转到图示位置时，穿过线框的磁通量变化率最大

【跟踪训练】

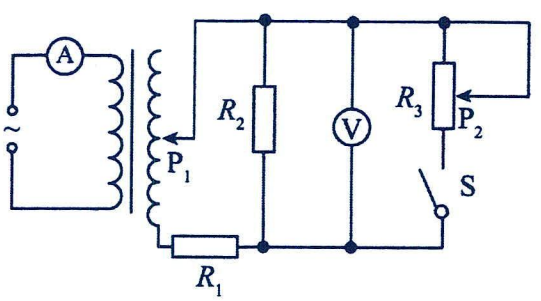
1．（多选题）如图甲所示，理想变压器原线圈接图乙所示的交变电流，原、副线圈的匝数比为1:4，副线圈电路中定值电阻R_1、R_2的阻值相等，P_1位于副线圈的中点，P_2位于滑动变阻器的中点。电路中的电表均为理想电表，开关S断开。则下列说法正确的是（　　）

A．电压表的读数约为72V

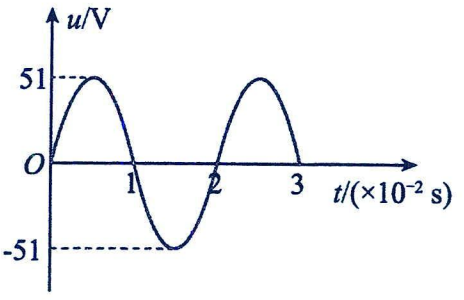
B．只将滑片P_1下移，电流表A的示数变大

C．闭合开关S，电压表V的示数变小，原线圈输入功率增大

D．开关S闭合时，将滑片P_2上移，电压表V的示数变大

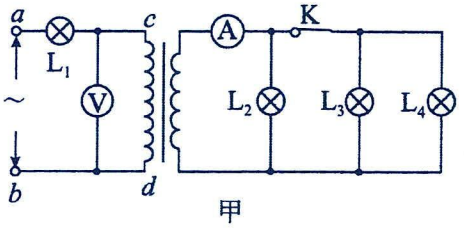


甲

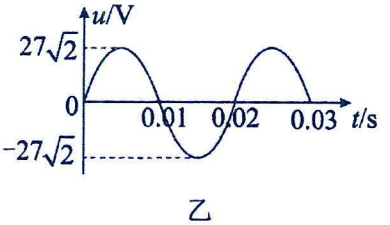


乙

2．（多选题）如图甲所示的电路中，变压器原、副线圈匝数比为 3∶1，图乙是该变压器输入端 c、d 的交变电压 u 随时间变化的图像，L_1、L_2、L_3、L_4 为四只规格均为“9V 6W”的相同灯泡，电表均为理想交流电表，开关 K 闭合。以下说法正确的是（　　）



甲



乙

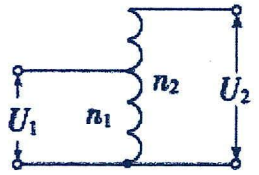
A．输入端 a、b 的输入功率 P_{ab}=24W　　B．输入端 a、b 电压的瞬时值表达式为 $u_{ab}=36\sqrt{2}\sin 100\pi\,(\mathrm{V})$

C．四只灯泡中除 L_1 外，其余均能正常发光　D．断开 K，流过 L_2 的电流将变大

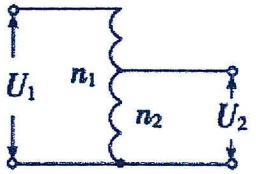
题型四：自耦变压器

解题要点

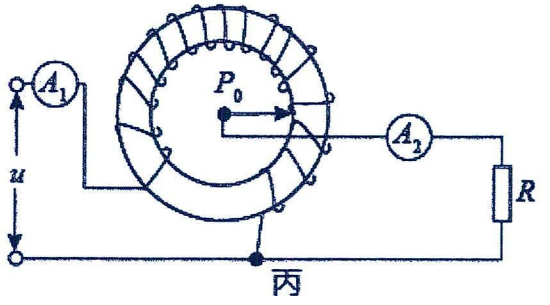
自耦变压器(又称调压器)，它只有一个线圈，原、副线圈共用其中的一部分作为另一个线圈，当交流电源接不同的端点时，它可以升压(如图甲)也可以降压(如图乙、丙)，变压器的基本关系对自耦变压器同样适用。



甲



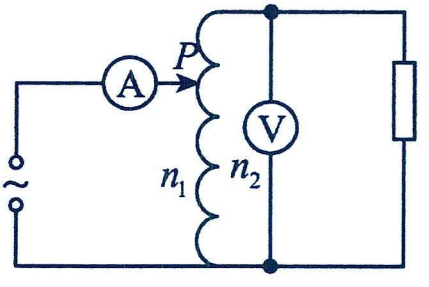
乙



丙

【精选例题】

【例 1】自耦变压器的副线圈绕组是原线圈绕组的一个组成部分，这样的变压器看起来仅有一个绕组，故也称“单绕组变压器”。如图所示，P 为一理想自耦变压器的滑片，电表均为理想交流电表，输入的交变电压不变。当 P 下移时，下列说法正确的是（　　）



A．电压表的示数增大，电流表的示数增大

B．电压表的示数增大，电流表的示数减小

C．电压表的示数减小，电流表的示数增大　　D．电压表的示数减小，电流表的示数减小

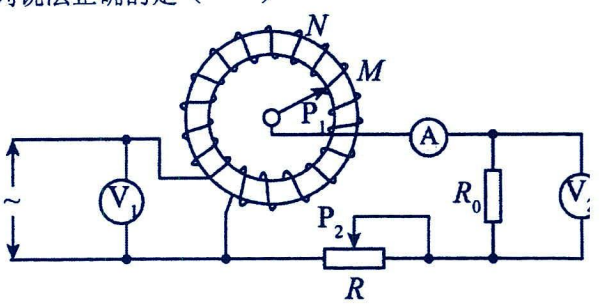
【例 2】如图所示电路中，理想自耦变压器接在输出电压有效值恒定的正弦交流电源上，P_1为变压器上的滑动触头，P_2为滑动变阻器 R 的滑片，电压表和电流表均为理想电表，下列说法正确的是（　　）

A．若仅将 P_1从 M 位置逆时针转到 N 位置，则电压表 V_1示数增大

B．若仅将 P_1从 M 位置逆时针转到 N 位置，则电压表 V_2示数增大

C．若仅将 P_2向左滑动，定值电阻 R_0消耗的电功率减小

D．若仅将 P_2向左滑动，则电流表示数减小



【跟踪训练】

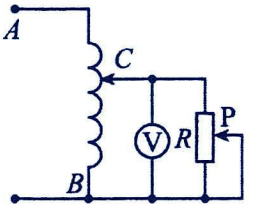
1．（多选题）如图甲所示为一自耦变压器（可视为理想变压器）的结构示意图，线圈均匀绕在圆环形铁芯上，滑动触头 C 在某一位置，在 BC 间接一个交流电压表和一个变阻器 R，若 AB 间输入图乙所示的交变电压，则（　）

A．当$t=1\times10^{-2}$s 时，电压表的示数为零

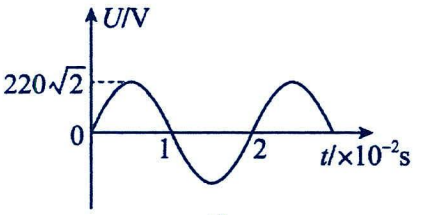
B．AB 间输入电压的瞬时值$u=220\sqrt{2}\sin100\pi t(\mathrm{V})$

C．滑动触头 C 向上移动时，R 两端的电压增大

D．变阻器滑片 P 向上移动时，AB 间输入功率减小



甲



乙

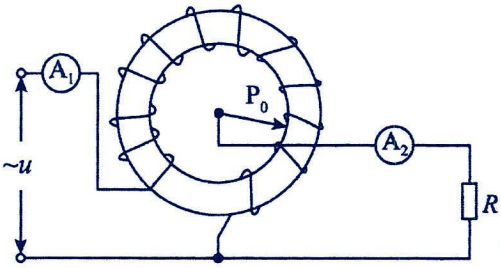
2．（多选题）某理想自耦变压器接入电路中的示意图如图甲所示，通过旋转滑动触头 P_0的位置可以改变副线圈的匝数，其输入电压 u 随时间 t 变化的图像如图乙所示。下列说法正确的是（　）

A．通过 R 的交变电流的频率为 50Hz

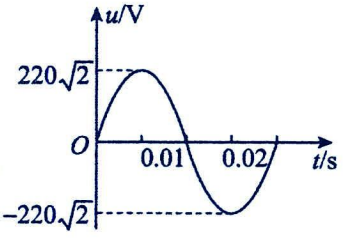
B．$t=0.01$s 时电流表 A_2的示数为 0

C．将 P_0沿顺时针方向转动一些，电流表 A_1的示数变大

D．将 P_0沿逆时针方向转动一些，电流表 A_1的示数变大



甲



乙

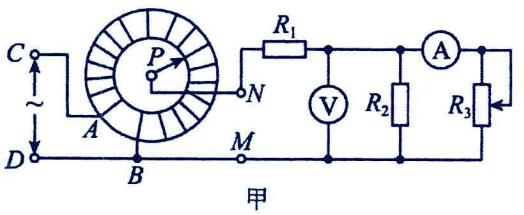
3．（多选题）如图甲所示为一可调压式自耦变压器，线圈 AB 均匀绕在一个圆环形的铁芯上，CD 之间输入交变电压，拨动滑动触头 P 就可以调节输出电压。图中变压器视为理想变压器，两电表均为理想交流电表，R_1=6Ω、R_2=5Ω。R_3为总阻值为 10Ω的滑动变阻器。现在 CD 两端输入图乙所示正弦式交流电，下列说法正确的是（　　）

A．若变压器滑动触头 P 拨至线圈中间位置，电压表示数是$18\sqrt{2}$V

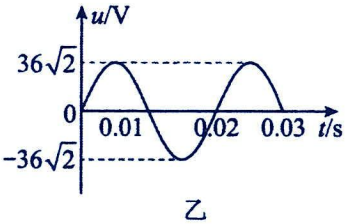
B．若电压表与电流表示数分别是 10V 和 1A，变压器原制线圈匝数比为 9∶7

C．当滑动变阻器滑动触头向上滑动时，电压表读数变大，电流表读数变小

D．当变压器滑动触头 P 顺时针转动时，电流表和电压表示数均变小



甲

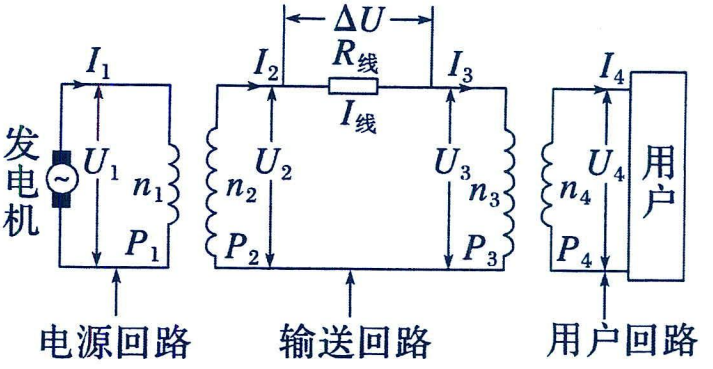


乙

考点三：远程输电

解题要点：

1.理清三个回路，如图。



(1)在电源回路中，$P_{发电机}=U_1\cdot I_1=P_1$；

(2)在输送回路中，$I_2=I_{线}=I_3$，$U_2=\Delta U+U_3$；$\Delta U=I_2\cdot R_{线}$；$P_{损}=\Delta U\cdot I_{线}=I_{线}^2\cdot R_{线}=\frac{(\Delta U)^2}{R_{线}}$；

(3)在用户回路中，$P_4=U_4\cdot I_4=P_{用户}$。

2.抓住两个联系

(1)理想的升压变压器联系了回路 1 和回路 2，由变压器原理可得：线圈 1(匝数为 n_1)和线圈 2(匝数为 n_2)中各个量间的关系是$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，$P_1=P_2$；

(2)理想的降压变压器联系了回路 2 和回路 3，由变压器原理可得：线圈 3(匝数为 n_3)和线圈 4(匝数为 n_4)中各个量间的关系是$\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$，$\frac{I_3}{I_4}=\frac{n_4}{n_3}$，$P_3=P_4$；

3.掌握一个守恒：能量守恒关系式 $P_1=P_{损}+P_3$。

题型一：远程输电中的电压与功率的损失分析

1.输电过程(如图上所示)

2.电压损失：(1)$\Delta U=U_2-U_3$；(2)$\Delta U=I_{线}R_{线}$。

3.功率损失：(1)$P_{损}=P_2-P_3$；(2)$P_{损}=\Delta U\cdot I_{线}=I_{线}^2\cdot R_{线}=\frac{(\Delta U)^2}{R_{线}}$；

4.减少输电线上电能损失的方法

(1)减小输电线的电阻 R：由 $R=\rho\frac{l}{S}$ 知，可加大导线的横截面积、采用电阻率小的材料做导线；

(2)减小输电线中的电流：在输电功率一定的情况下，根据 $P=UI$，要减小电流，必须提高输电电压。输电电压提高到原来的 n 倍，输送电流可减为原来的$\frac{1}{n}$，输电线上的功率损耗将降为原来的$\frac{1}{n^2}$.

【精选例题】

【例 1】中国发布的“双碳战略”， 计划到 2030 年实现碳达峰、2060 年实现碳中和。电力作为远程输送能量的载体，特高压远距离输送清洁电能是实现碳中和的重要途径之一、若在输送电能总功率不变的情况下，仅将原来的 500kV 高压输电升级为 1000kV 的特高压输电，下列说法正确的是（　　）

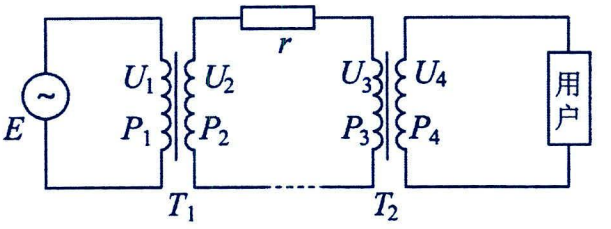
A．输电电流会变为原来的 2 倍

B．若输电线不变， 则输电线上损失的电压变为原来的$\frac{1}{4}$

C．若输电线不变， 则输电线上损失的功率变为原来的$\frac{1}{2}$

D．若输电线损失功率不变，则使用相同材料、粗细的输电线传输距离是原来的 4 倍

【例 2】（多选题）如图所示，一个发电系统的输出电压恒为 250V，输送功率为 1×10^5W。通过理想变压器向远处输电，所用输电线的总电阻为 8Ω，升压变压器 T_1 原、副线圈匝数比为 1：16，下列说法正确的是（　　）



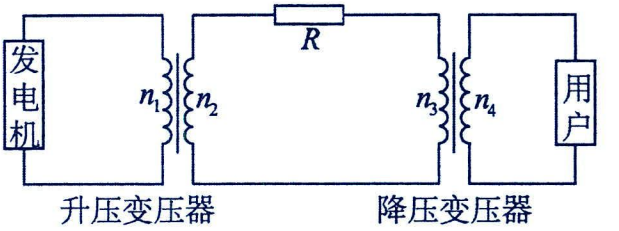
A．升压变压器副线圈两端的电压 $U_2=2\times10^3$V

B．输电线损失的电压为 3.8×10^3V

C．输电线损失的功率为 5×10^3W

D．若用户获得 220V 电压，则降压变压器 T_2 原、副线圈的匝数比为 190：11

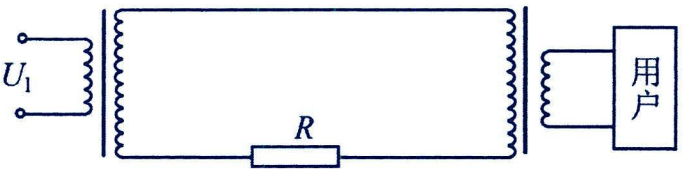
【例 3】超导现象发现至今已超过百年，如果能够实现常温超导，用超导体代替常规导线输电将会节约大量的电能。如图所示为远距离输电示意图，若发电机的功率为 100kW 输出电压为 250V，用户电压为 220V，导线的总电阻可等效为电阻 R，升压变压器匝数比 $n_1:n_2=1:16$，降压变压器匝数比 $n_3:n_4=190:11$，若用超导体代替常规导线，可以节省的功率为（　　）



A．5kW　　B．100kW　　C．2000kW　　D．7812.5W

【跟踪训练】

1．如图所示是远距离输电的简化电路图，假设变压器均为理想变压器，发电厂的输出功率为 P，发电厂的输出电压为 U_1，升压变压器原、副线圈的匝数比为 $k:1$，输电线的电阻为 R，若在发电厂的输出电压和输电线的电阻均不变的情况下输电，则下列说法正确的是（　）



A．升压变压器副线圈的电压为 kU_1

B．输电线上损失的功率为 $\dfrac{k^2P^2}{U_1^2}R$

C．降压变压器副线圈的负载减少时，发电厂的输出功率增大

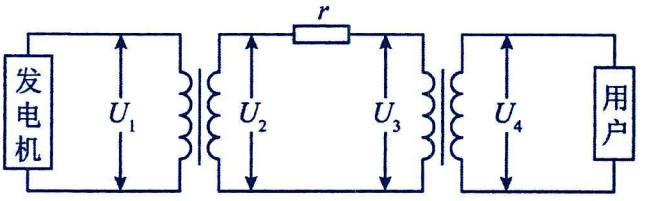
D．仅将升压变压器原、副线圈的匝数比变为 $\dfrac{k}{n}$，输电线上损失的功率将变为原来的 $\dfrac{1}{n}$

2．如图所示为远距离输电示意图，升压变压器原、副线圈的匝数比为 $n_1:n_2$，降压变压器原、副线圈的匝数比为 $n_3:n_4$，变压器均为理想变压器，发电机输出电压恒定，输电线的电阻为 r。则下列判断正确的是（　　）

A．$\dfrac{U_1}{U_4}>\dfrac{n_1}{n_2}\cdot\dfrac{n_3}{n_4}$

B．输电线上损失的功率为 $\dfrac{U_2^2}{r}$

C．若输送功率增大，则 U_4 增大

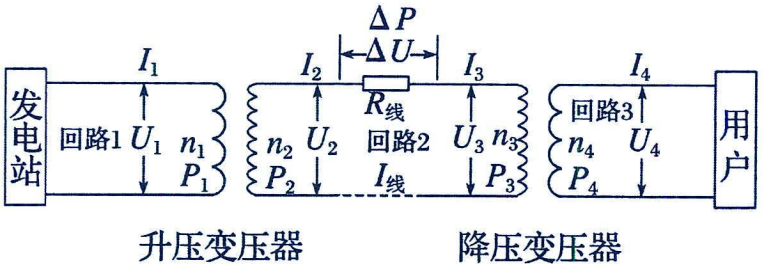


D．若输送功率增大，则输电线上损失的功率与输送功率之比减小

题型二：远程输电中的电路分析

解题要点

1.首先应画出远距离输电的电路图(如图)，并将已知量和待求量写在电路图的相应位置.



2.理清三个回路：

回路 1：$P_1=U_1I_1$

回路 2：$U_2=\Delta U+U_3$，$P_2=\Delta P+P_3=I_2^2R_{线}+P_3$，$I_2=I_3$

回路 3：$P_4=U_4I_4$

3.常用关系

(1)功率关系：$P_1=P_2$，$P_2=\Delta P+P_3$，$P_3=P_4$　　(2)电压关系：$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，$U_2=\Delta U+U_3$，$\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$

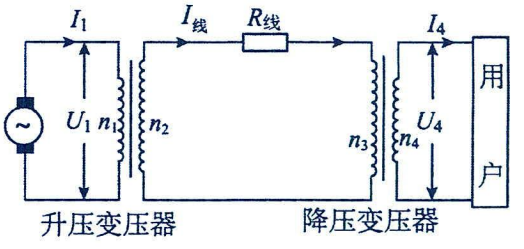
(3)电流关系：$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，$I_2=I_{线}=I_3$，$\frac{I_3}{I_4}=\frac{n_4}{n_3}$　　(4)输电电流：$I_{线}=\frac{P_2}{U_2}=\frac{P_3}{U_3}=\frac{\Delta U}{R_{线}}$

(5)输电线上损耗的电功率：$\Delta P=P_2-P_3=I_{线}^2R_{线}=\frac{\Delta U^2}{R_{线}}=\Delta U\cdot I_{线}$

(6)输电线上的电压损失：$\Delta U=I_{线}R_{线}=U_2-U_3$　　(7)输电效率$\eta=\frac{P_3}{P_2}\times100\%$

【精选例题】

【例 1】如图所示是某小型水电站进行电能输送时的简化模型。发电机的输出功率$P=100\text{kW}$，发电机的电压$U_1=250\text{V}$，经升压变压器后向远处输电，输电线总电阻$R_{线}=8\Omega$，在用户端用降压变压器把电压降为$U_4=220\text{V}$。已知输电线上损失的功率$P_{线}=5\text{kW}$，假设两个变压器均是理想变压器，下列说法正确的是（　　）



A．发电机输出的电流$I_1=40\text{A}$

B．升压变压器匝数比$n_1:n_2=1:160$

C．降压变压器的匝数比$n_3:n_4=190:10$

D．当水电站输出电压一定时，若用电用户增多，则$P_{线}$增加

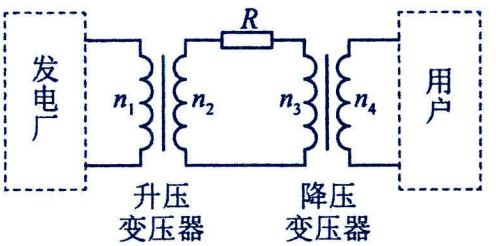
【例 2】（多选题）“西电东送”就是把煤炭、水能、风能资源丰富的西部地区的能源转化成电力资源，输送到电力紧缺的东部沿海地区。如图是远距离输电的电路示意图，升压变压器和降压变压器均为理想变压器，升压变压器原、副线圈匝数比为$\frac{n_1}{n_2}$，降压变压器原、副线圈匝数比为$\frac{n_3}{n_4}$，发电厂输出电压为U_1，输出功率为P，升压变压器和降压变压器之间输电线总电阻为R，下列说法正确的是（　　）

A．若用户获得的电压为U_1，则$\frac{n_2}{n_1}=\frac{n_3}{n_4}$

B．用户获得的电压可能大于U_1

C．当用户用电器总电阻增大时，输电线上损失的功率增大

D．输电线上损失的功率为$\Delta P=\left(\frac{n_1P}{n_2U_1}\right)^2R$



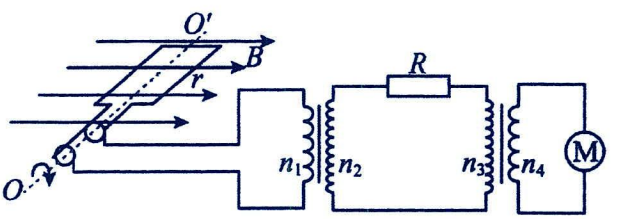
【例3】（多选题）如图所示，用一小型交流发电机向远处用户供电，已知发电机线圈匝数$N=200$匝，面积$S=2.4\times10^{-2}\text{m}^2$，线圈匀速转动的角速度$\omega=50\pi\text{rad/s}$，匀强磁场的磁感应强度$B=\frac{\sqrt{2}}{\pi}\text{T}$，输电时先用升压变压器将电压升高，经高压输电，到达用户区再用降压变压器将电压降下来后供用户使用，两根输电导线的总电阻$R=10\Omega$，变压器可视为理想变压器。已知升压变压器原、副线圈的匝数比$n_1:n_2=1:10$，降压变压器原、副线圈的匝数比$n_3:n_4=10:1$。若用户区标有“220V，4.4kW”的电动机恰能正常工作，下列说法正确的是（　）

A．流过电阻R的电流为20A

B．电阻R上损耗的电功率为40W

C．发电机的输出电压为240V

D．交流发电机线圈的热功率为360W



【跟踪训练】

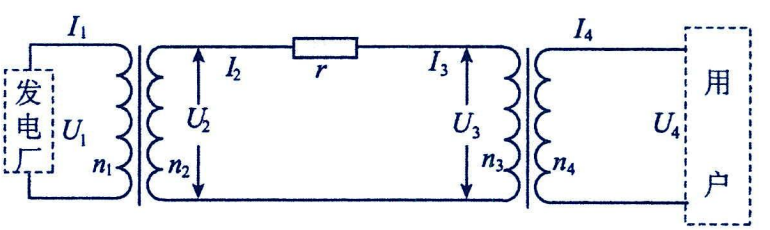
1．（多选题）如图为远距离输电示意图，发电厂输出电压$U_1=10^4\text{ V}$，输出功率$P_1=10^9\text{ W}$，两个理想变压器的匝数比分别为$n_1:n_2=1:100$、$n_3:n_4=100:1$，输电线总电阻$r=50\ \Omega$。则（　　）

A．$U_4=U_1$

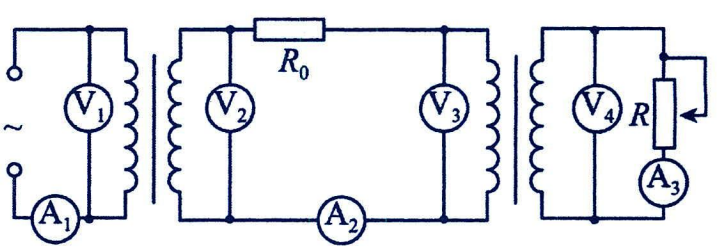
B．$I_4=I_1$

C．通过电阻r的电流$I_2=2\times10^4\text{ A}$

D．用户端的电功率为$9.5\times10^8\text{ W}$



2．（多选题）如图是发电厂通过升压变压器进行高压输电，接近用户端时再通过降压变压器降压给用户供电的示意图。图中变压器均为理想变压器，所有电表均为理想交流电表。设发电厂输出的电压不变，两条输电线总电阻用R_0表示，变阻器R相当于用户用电器的总电阻（视为纯电阻），其余电阻不计，下列说法正确的是（　　）



A．在用电高峰期，用户用电器的总电阻比平时小

B．增大R，电流表A_1、A_2、A_3示数均变小

C．调节R，电压表V_3的示数变化量大小与电流表A_3的示数变化量大小之比为R_0

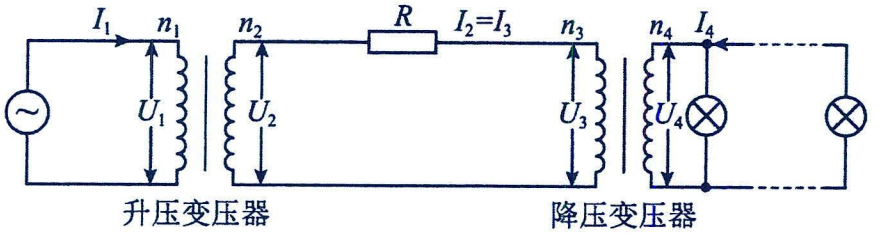
D．若降压变压器原副线圈的匝数为n_3、n_4，则当$R_0=\frac{n_4^2}{n_3^2}R$时，用户端的功率达到最大值

3．某校用一台不计内阻的发电机来提供照明用电，输电过程如图所示，升压变压器原、副线圈匝数比为1:5，降压变压器原、副线圈匝数比为5:1，输电线的总电阻为R=25Ω，全校共有33个班，每班有6盏“220V，40W”的灯，若要保证全部电灯正常发光，求：

（1）输电线损失的功率；

（2）升压变压器的输入电压；

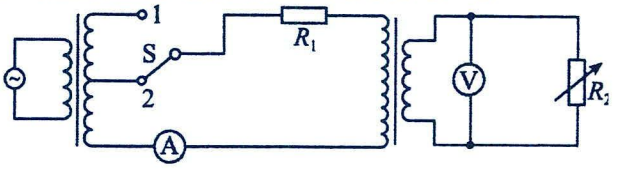
（3）升压变压器每小时输出的电能。（结果保留三位有效数字）



题型三：用户端相关分析

【精选例题】

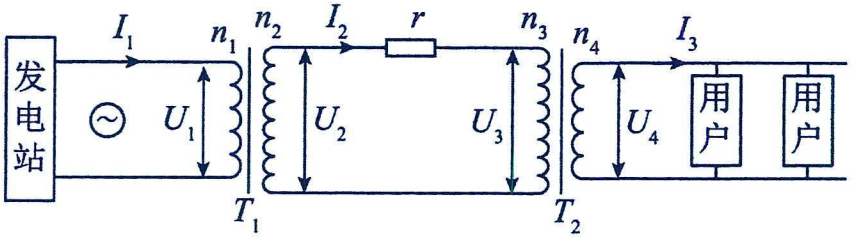
【例1】（多选题）某同学用下图研究远距离输电，图中升压变压器和降压变压器均是理想变压器.若发电厂输出电压不变。当开关S由2改接为1时，通过调节变阻箱R_2阻值使发电厂输出功率也不变，则（　）



A．电压表读数变大　　B．电流表读数变大

C．用户得到的功率减小　　D．输电线损失的功率减小

【例2】（多选题）在远距离输电中，各物理量符号及输电原理如图所示，已知输电线电阻不变，输电过程中所有变压器均为理想变压器。升压变压器输入正弦交流电有效值U_1保持不变，发电站发电机始终未超过最大功率，随着用户增多，下列说法正确的是（　　）



A．U_2不变，I_2变大　　B．I_3变大，U_3变大

C．U_3的变化量和I_2的变化量的比值$\frac{\Delta U_3}{\Delta I_2}$不变　　D．$U_2$不变，发电机输出的功率不变

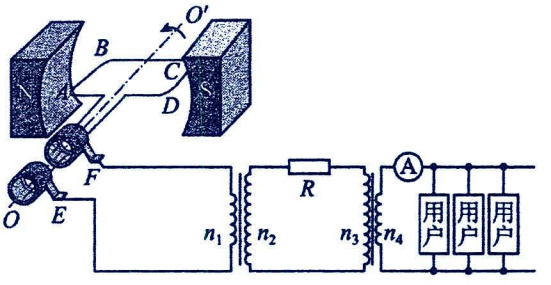
【例 3】一台发电机最大输出功率为 4000kW，输出电压为 4000V，经变压器 T_1 升压后向远方输电．输电线路总电阻 R＝1kΩ。到目的地经变压器 T_2 降压，现负载为多个并联的相同灯泡（“220V，60W”）。若变压器 T_1 和 T_2 的均为理想变压器，发电机处于满负荷工作状态，在输电线路上消耗的功率为发电机输出功率的 10%，求：

（1）升压变压器 T_1 原、副线圈匝数比 n_1：n_2？（2）降压变压器 T_2 原线圈两端的电压 U_3 为多大？

（3）现可并联接入多少盏灯泡，使他们均正常发光？

【跟踪训练】

1．（多选题）某小型水电站的电能输送示意图如图所示，发电机通过升压变压器和降压变压器向用户供电。已知发电机线圈 ABCD 的匝数 N=100 匝，面积 S=0.03m²，线圈匀速转动的角速度ω=100πrad/s，匀强磁场的磁感应强度大小 $B=\frac{\sqrt{2}}{\pi}$T，输电导线的总电阻为 R=10Ω ，升压变压器原、副线圈匝数比 n_1:n_2=1:8，降压变压器原、副线圈的匝数比 n_3:n_4=10:1，若理想交流电流表的示数 I_4=40A，降压变压器副线圈两端电压 U_4=220V。发电机线圈电阻 r 不可忽略。下列说法正确的是（　　）



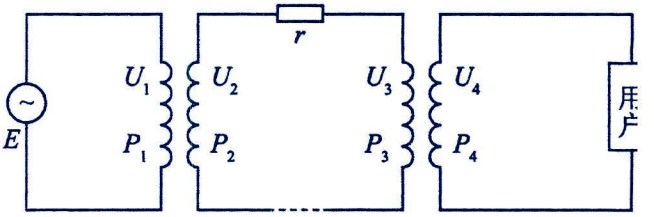
A．输电线路上损耗的电功率为 180W

B．升压变压器副线圈两端电压为 2240V

C．用户增多使用户端总电阻减少时，用户得到的电压增大

D．交流发电机线圈电阻 r 上消耗的热功率为 640W

2. 太阳能光伏发电是一种新型清洁能源，我国光伏装机容量已突破 3 亿千瓦。一光伏发电站输出电压恒为 250V，现准备向远处输电，输电示意图如图所示。若该发电站的输出功率为1.1×10^5W，该发电站到用户之间采用 5500V 高压进行远距离输电，输电线的总电阻为11Ω，用户获得 220V 电压。变压器视为理想变压器，下列说法正确的是（　　）



A．升压变压器的原、副线圈匝数比为 1∶20

B．输电线上损失的功率为4.4×10^2W

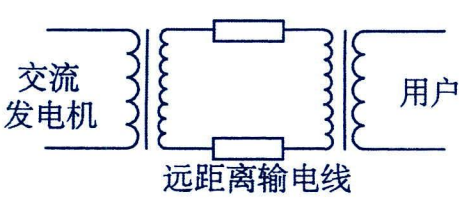
C．降压变压器的原、副线圈匝数比为 24∶1

D．若用户消耗的功率增大，则用户电路两端的电压 U_4 也增大

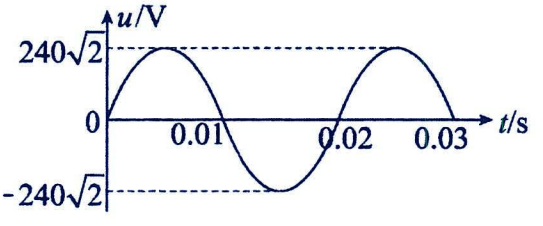
3．如图甲为某中小型水力发电站远距离输送单相交流电示意图，每根导线电阻为 4Ω，远距离输电线的输送电流为 100A，若升压变压器的输入电压如图乙所示，输入功率为 720kW，在用户端起点接有交流电压表，求：

（1）升压变压器原副线圈匝数比；（2）设降压变压器原副线圈匝数比320:11，求用户端交流电压表的示数；

（3）若用户端全是照明用电，能使多少盏“220V、20W”的节能灯正常发光？



甲



乙

第十一讲：电磁振动与电磁波

考点一：电磁振荡

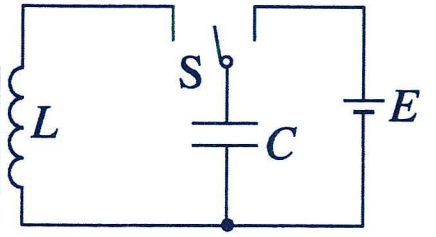
1.振荡电流：大小和方向都做周期性迅速变化的电流。

2.振荡电路：产生大小和方向都做周期性迅速变化的电流(即振荡电流)的电路．由电感线圈 L 和电容 C 组成最简单的振荡电路，称为 LC 振荡电路。

3.电磁振荡：在 LC 振荡电路中，电容器不断地充电和放电，就会使电容器极板上的电荷量 q、电路中的电流 i、电容器内的电场强度 E、线圈内的磁感应强度 B 发生周期性的变化，这种现象就是电磁振荡。

4.LC 振荡电路电容器的放电、充电过程

(1)电容器放电：由于线圈的自感作用，放电电流不会立刻达到最大值，而是由零逐渐增大，同时电容器极板上的电荷逐渐减少。



放电完毕时，极板上没有电荷，放电电流达到最大值。该过程电容器的电场能全部转化为线圈的磁场能。

(2)电容器充电：电容器放电完毕时，由于线圈的自感作用，电流并不会立即减小为零，而要保持原来的方向继续流动，并逐渐减小，电容器开始充电，极板上的电荷逐渐增多，电流逐渐减小。

充电完毕时，极板上的电荷最多，电路电流为零。该过程中线圈的磁场能又全部转化为电容器的电场能。

(3)在电磁振荡过程中，电场能和磁场能会发生周期性的转化。

5.LC 振荡电路充、放电过程的判断方法

(1)根据电流流向判断：当电流流向带正电的极板时，电容器的电荷量增加，磁场能向电场能转化，处于充电过程；反之，当电流流出带正电的极板时，电荷量减少，电场能向磁场能转化，处于放电过程。

(2)根据物理量的变化趋势判断：当电容器的带电荷量 q(电压 U、场强 E)增大或电流 i(磁感应强度 B)减小时，处于充电过程；反之，处于放电过程。

(3)根据能量判断：电场能增加时充电，磁场能增加时放电。

题型一：电磁振动中各物理量的变化

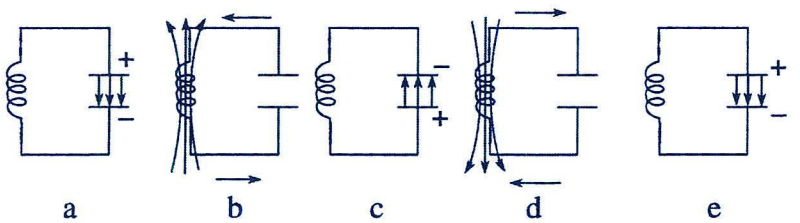
1．各物理量随时间的变化图像：振荡过程中电流 i、极板上的电荷量 q 之间的对应关系．(如图)

2.(1)在 LC 振荡电路发生电磁振荡的过程中，

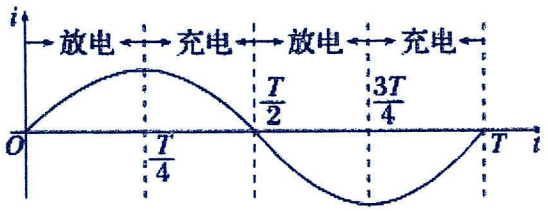
与电容器有关的物理量：电荷量 q、电场强度 E、电场能 E_E 是同步变化的，即 q↓→E↓→E_E↓(或 q↑→E↑→E_E↑)；

与线圈有关的物理量：振荡电流 i、磁感应强度 B、磁场能 E_B 也是同步变化的，即 i↓→B↓→E_B↓(或 i↑→B↑→E_B↑)。

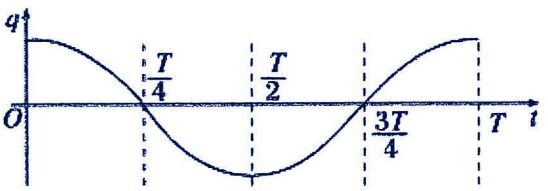
(2)在 LC 振荡过程中，电容器上的三个物理量 q、E、E_E 增大时，线圈中的三个物理量 i、B、E_B 减小，即 q、E、E_E↑$\xrightarrow{\text{异向变化}}$i、B、$E_B$↓。



甲 电磁振荡过程



乙 以逆时针方向电流为正



丙 q为上极板的电荷量

电路状态	a	b	c	d	e
时刻 t	0	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{3T}{4}$	T
电荷量 q	最多	0	最多	0	最多
电场能 E_E	最大	0	最大	0	最大
电流 i	0	正向最大	0	反向最大	0
磁场能 E_B	0	最大	0	最大	0

丁 相关量与电路状态的对应情况

【精选例题】

【例 1】关于 LC 振荡电路中的振荡电流，下列说法正确的是（　　）

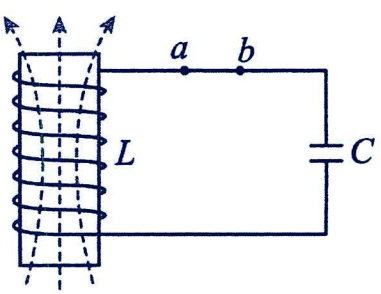
A. 振荡电流最大时，电容器两极板间的电场强度最大

B. 振荡电流为零时，线圈中自感电动势为零

C. 振荡电流增大的过程中，线圈中的磁场能转化成电场能

D. 振荡电流减小的过程中，线圈中的磁场能转化为电场能

【例 2】LC 振荡电路中，某时刻的磁场方向如图所示，则（　　）



A. 若磁场正在减弱，则电容器正在充电，电流方向由 a 向 b

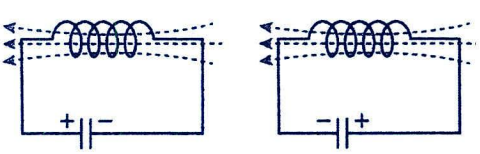
B. 若磁场正在减弱，则电场能正在增大，电容器上极板带正电

C. 若磁场正在增强，则电场能正在减小，电容器上极板带正电

D. 若磁场正在增强，则电容器正在充电，电流方向由 a 向 b

【跟踪训练】

1. （多选题）在 LC 振荡电路中，t_1时刻和 t_2时刻电感线圈中的磁感线和电容器中极板的带电情况分别如图所示，则下列说法中正确的是（　　）

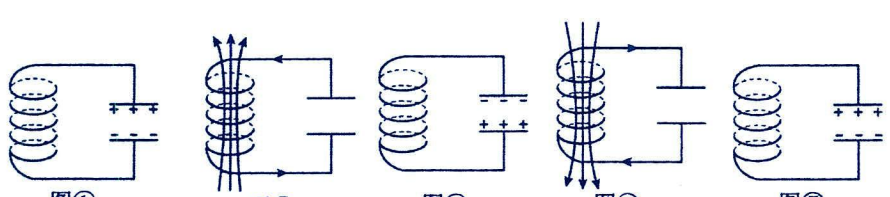


t_1时刻　　t_2时刻

A. 在 t_1时刻电容器正在充电　　B. 在 t_2时刻电容器正在充电

C. 在 t_1时刻电路中的电流处在增大状态　　D. 在 t_2时刻电路中的电流处在增大状态

2. （多选题）如图是教材讲解 LC 振荡电路中的一次周期性变化（从图①到图⑤），关于 LC 振荡电路描述正确的是（　　）



图① 图② 图③ 图④ 图⑤

A. 从图②到图③的过程是磁场能转化为电场能的过程

B. 图②中电容器刚好放电结束，振荡电路中电流达到最大值

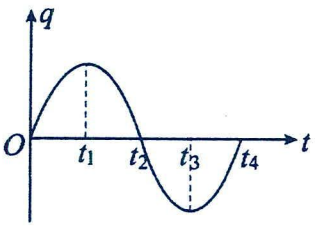
C. 在一个周期内，电场能向磁场能转化完成两次

D. 在一个周期内，磁场能向电场能转化完成一次

题型二：电磁振动中的图像分析

【精选例题】

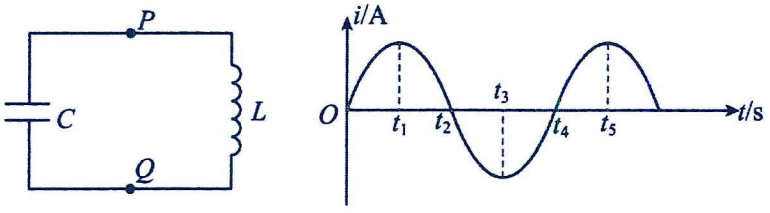
【例 1】（多选题）如图所示为 LC 振荡电路中电容器两极板上的电荷量 q 随时间 t 变化的图像，由图可知（　　）



A．在 t_1 时刻，电路中的磁场能最大　　B．从 t_1 到 t_2，电路中的电流不断变小

C．从 t_2 到 t_3，电容器充电　　D．在 t_4 时刻，电容器的电场能最小

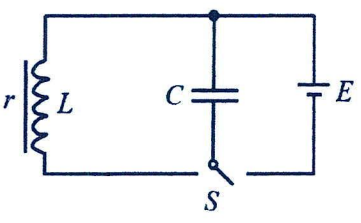
【例 2】如图是 LC 振荡电路和通过点 Q 的电流随时间变化的规律。若把流过点 Q 向右的电流规定为正方向，则下列说法正确的是（　　）



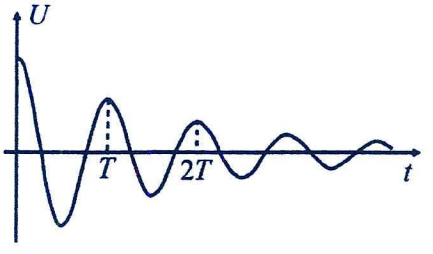
A．在 t_1~t_2 内，电容器 C 在放电　　B．在 t_1~t_2 内，电容器 C 上极板带正电

C．在 t_1~t_2 内，电场能正在转化为磁场能　　D．在 t_1~t_2 内，点 Q 的电势比点 P 的高

【例 3】（多选题）某同学在学习了 LC 振荡电路知识后，连接如图甲所示电路，先将双掷开关打到右边，再将开关打到左边，利用示波器记录电容器两端电压 u 随时间 t 的变化规律，如图乙所示，已知该图像的周期为 T 且电感存在一定的内阻 r。下列说法正确的是（　　）



图甲

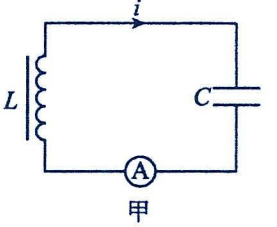


图乙

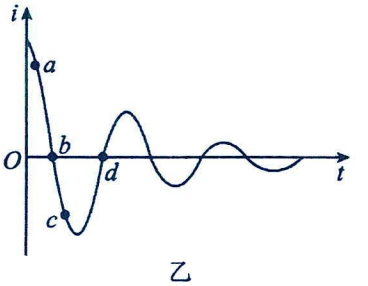
A．在 0~0.25T 时间内，电流为顺时针方向　　B．在 0.25T~0.5T 时间内，线圈的自感电动势增大

C．在 0.5T~0.75T 时间内，电容器放电　　D．线圈的瞬时热功率一直在减小

【例 4】如图甲为 LC 振荡电路，用电流传感器可以将快速变化的电流显示在计算机屏幕上，如图乙。规定图甲中电流 i 方向为正方向，下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A．状态 a 时刻电容器正在放电

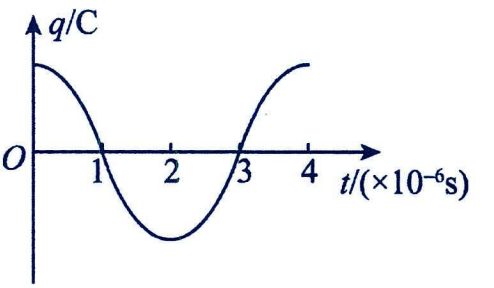
B．状态 b 时刻到状态 c 时刻，磁场能转化为电场能

C．从状态 a 时刻到状态 d 时刻，振荡周期变大

D．造成电流 i 衰减的主要原因是电路中电阻发热和向外辐射电磁波

【跟踪训练】

1. LC 振荡电路中，电容器两极板所带电荷量 q 随时间 t 变化的关系如图所示，则（　　）



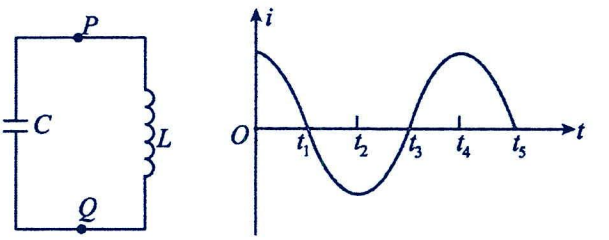
A. 在 1×10^{-6}s 时刻，电路中的电流最小

B. 在 2×10^{-6}s 时刻，电路的磁场能最大

C. 2×10^{-6}s 至 3×10^{-6}s 时间内，电路的电场能不断增大

D. 3×10^{-6}s 至 4×10^{-6}s 时间内，电容器所带的电荷量不断增多

2. 如图所示是 LC 振荡电路和通过电路中 P 点的电流 i 随时间 t 变化的规律。若规定流过 P 点向左为电流的正方向，则下列说法中正确的是（　　）



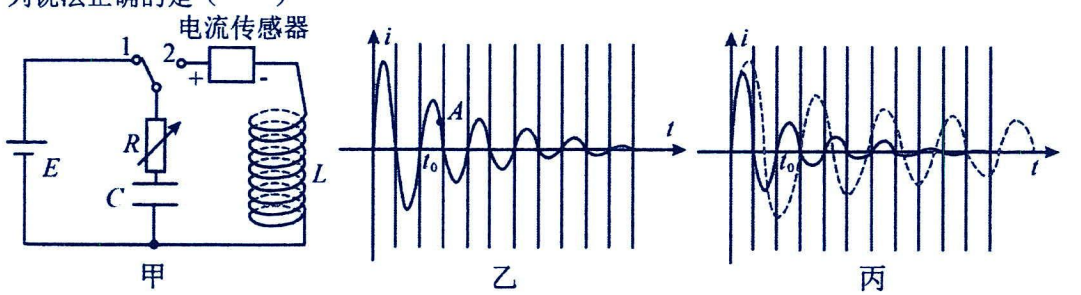
A. 在 0～t_1 内，电容器 C 在放电

B. 在 t_1～t_2 内，电容器 C 上极板带负电

C. 在 t_2～t_3 内，磁场能在向电场能转化

D. 在 t_3～t_4 内，P 点电势比 Q 点电势高

3. LC 振荡电路的原理图如图甲所示。开关先拨到位置“1”，待电容器充电完成后，在 $t=0$ 时刻将开关拨到位置“2”。若电流从传感器的“+”极流入，电流显示为正，振荡电流 i 随时间 t 变化的图线，如图乙所示。下列说法正确的是（　　）



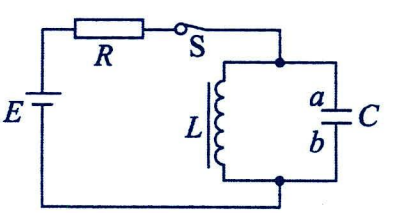
A. 图乙中从 t_0 到 A 点对应时刻的时段内电容器的电荷量增加

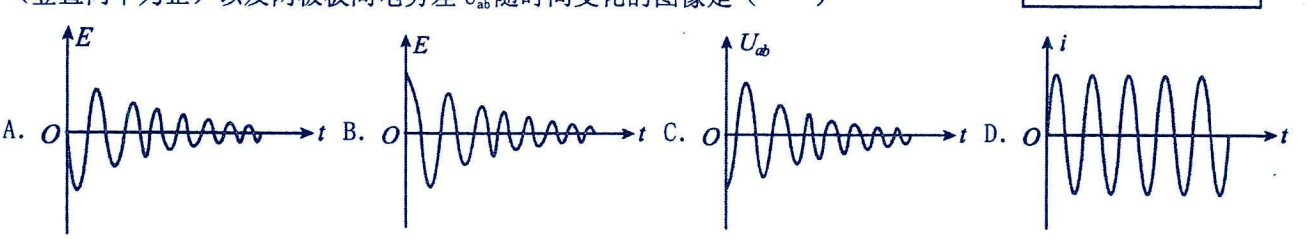
B. 图乙中从 t_0 到 A 点对应时刻的时段内电容器的电压减小

C. 若电阻 R 的阻值减小，电流的变化情况如图丙中实线所示

D. 若电阻 R 的阻值减小，电流的变化情况如图丙中虚线所示

4. 如图所示，L 为直流电阻可忽略的线圈，R 为定值电阻，C 为电容器，开关 S 处于闭合状态。现突然断开 S，并开始计时，电路工作过程中，同时会向外辐射电磁波。下列选项中能正确反映 LC 回路中电流 i（顺时针方向为正）、电容器中电场 E（竖直向下为正）以及两极板间电势差 U_{ab} 随时间变化的图像是（　　）





题型三：电磁振动中的周期公式应用

1.电磁振荡的周期 T：电磁振荡完成一次周期性变化需要的时间。

2.电磁振荡的频率 f：完成周期性变化的次数与所用时间之比，数值等于单位时间内完成的周期性变化的次数。

3.如果振荡电路没有能量损耗，不受其他外界条件影响，这时的周期和频率叫作振荡电路的固有周期和固有频率。

4.LC 电路的周期和频率公式：$T=2\pi\sqrt{LC}$，$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$。

其中：周期 T、频率 f、电感 L、电容 C 的单位分别是秒(s)、赫兹(Hz)、亨利(H)、法拉(F)。

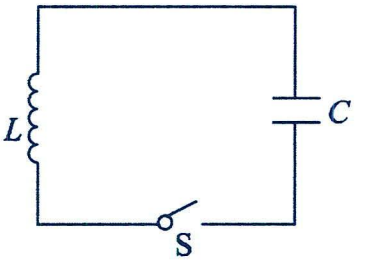
5.周期影响因素

(1)LC 电路的周期、频率都由电路本身的特性(L 和 C 的值)决定，与电容器极板上电荷量的多少、板间电压的高低、是否接入电路中等因素无关，所以称为 LC 电路的固有周期和固有频率；

(2)①电路中的电流 i、线圈中的磁感应强度 B、电容器极板间的电场强度 E 的变化周期就是 LC 电路的振荡周期 $T=2\pi\sqrt{LC}$，在一个周期内上述各量方向改变两次；

②电容器极板上所带的电荷量，其变化周期也是振荡周期 $T=2\pi\sqrt{LC}$；

③电场能、磁场能变化周期是振荡周期的一半，即 $T'=\frac{T}{2}=\pi\sqrt{LC}$。



【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示为参展的某个智能玩具内的 LC 振荡电路部分，电路中线圈自感系数 $L=0.25\text{H}$，电容器的电容 $C=4\mu\text{F}$，现使电容器上极板带正电，下极板带负电，从接通开关 S 时开始计时。则下列说法正确的是（取 $\pi=3$）（　　）

A．当 $t=1\times10^{-3}\text{s}$ 时，电路中电流方向为逆时针方向　　B．当 $t=1.5\times10^{-3}\text{s}$ 时，电场能达到最大

C．当 $t=2\times10^{-3}\text{s}$ 时，电场能正转化为磁场能　　D．当 $t=3'\ 10^{-3}\text{s}$ 时，电容器上极板带负电

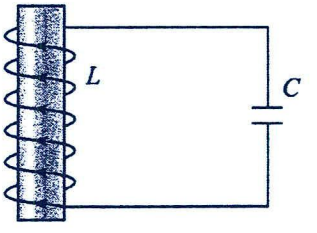
【例 2】LC 振荡电路，既可用于产生特定频率的信号，也可从复杂的信号中分离出特定频率信号，是许多电子设备中的关键部件。如图所示，某时刻 LC 振荡电路中的电流方向如图所示，下列说法正确的是（　　）

A．若电容器上极板带正电，则线圈中的电流正在放电

B．若电容器上极板带正电，则线圈中的电流正在增大

C．若电容器下极板带正电，则线圈中的感应电动势正在减小

D．若仅增大电容器两极板间的距离，则振荡电路的频率减小



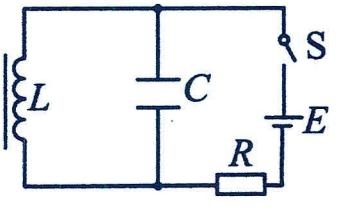
【例 3】（多选题）直流电阻不计的线圈 L 和电容器 C 的连接如图所示，LC 振荡电路的振荡周期为 0.08s，先闭合开关 S，稳定后将开关 S 断开并记为 t=0 时刻，下列说法正确的是（　　）

A．t=0.06s 时，电容器下极板带负电

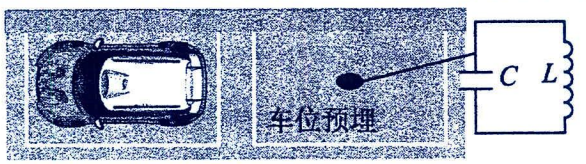
B．t =0.05s 时，回路中电流沿逆时针方向

C．t =0.14s 时，线圈的自感电动势最大

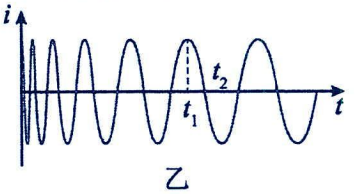
D．拔出线圈中的铁芯，LC 振荡电路的振荡周期会减小



【例 4】图甲为智能停车位，车位地面预埋有自感线圈 L 和电容器 C 构成 LC 振荡电路。当车辆靠近自感线圈 L 时，相当于在线圈中插入铁芯，使自感系数变大，引起 LC 电路中的振荡电流频率变化。智能停车位计时器根据振荡电流频率变化，进行计时。某次振荡电路中的电流随时间变化如图乙所示，下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A．t_2 时刻电容器 C 所带电量为零　　B．$t_1 \sim t_2$ 过程，线圈 L 中磁场能在增大

C．$t_1 \sim t_2$ 过程，线圈 L 的自感电动势在增大　D．由图乙可判断汽车正驶离智能停车位

【跟踪训练】

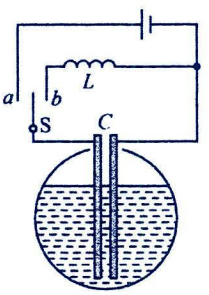
1．（多选题）图中为测量储罐中不导电液体高度的电路，将与储罐外壳绝缘的两块平行金属板构成的容 C 置于储罐中，电容 C 可通过开关 S 与电感 L 或电源相连。当开关从 a 拨到 b 时，由电感 L 与电容 C 构成的回路中产生的振荡电流如图乙。在平行板电容器极板面积一定、两极板间距离一定的条件下，下列说法正确的是（　　）

A．储罐内的液面高度降低时电容器的电容减小

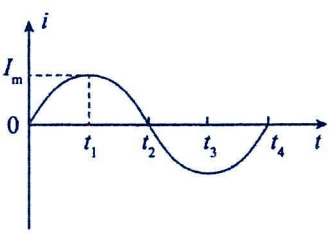
B．$t_1 \sim t_2$ 时间内电容器放电

C．$t_2 \sim t_3$ 时间内 LC 回路中磁场能逐渐转化为电场能

D．若电感线圈的自感系数变大，则 LC 回路振荡电流的频率将变小



图甲



图乙

2．为了保证考试的公平，大型考试中广泛使用了金属探测器，图甲就是一款常用的金属探测器，其内部的线圈与电容器构成 LC 振荡电路，结构原理如图乙所示，线圈靠近金属时，线圈的自感系数增大。若某时刻电路中的电流方向如图所示，电容器 A 极板带正电，则下列说法正确的是（　　）

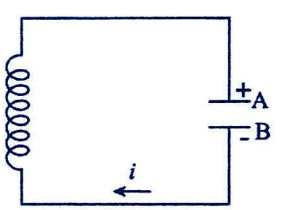
A．电路中的电流正在增大

B．电容器两板的电压在减小

C．线圈中的自感电动势在增大

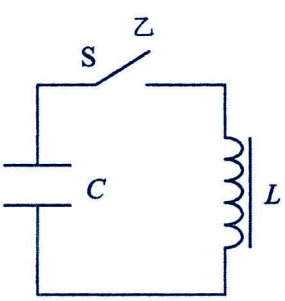
D．线圈靠近金属时，LC 振荡电路的周期减小


甲

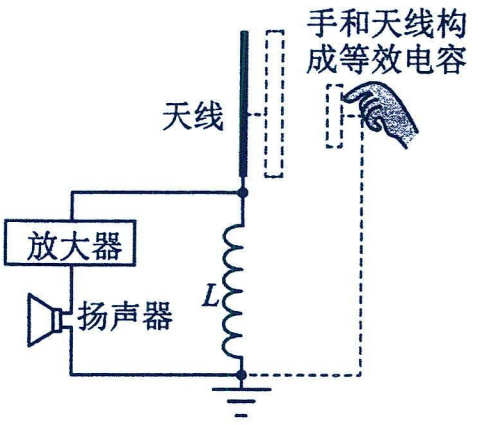


3．如图所示的 LC 电路中，电容 C 为 0.8uF，电感 L 为 2mH。已充电的平行板电容器两极板水平放置。开关 S 断开时，极板间有一带电灰尘恰好静止，已知重力加速度为 g。闭合开关 S，灰尘在电容器内运动，从线圈中电流第一次达到最大时开始计时，经 $6\pi \times 10^{-5}$s 时，电容器内灰尘的加速度大小为（　　）

A．0　　B．g　　C．$\frac{3}{2}g$　　D．2g



4.（多选题）特雷门琴是世界上第一件电子乐器，其简化原理图如图所示，演奏者的手与天线之间形成的等效电容C与自感线圈L共同构成LC振荡电路。演奏者通过改变手与天线之间的距离来改变电容C的值，从而改变振荡电路的频率，产生不同音调的声音。已知振荡电路的频率越高，扬声器的振动频率越高。下列说法正确的是（　　）



A．手靠近天线时，特雷门琴的音调变高

B．手靠近天线时，特雷门琴的音调变低

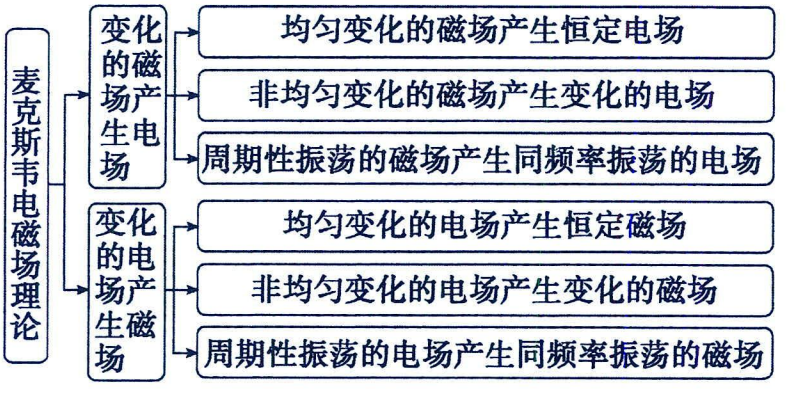
C．手远离天线时，振荡电路中的电流变化快

D．手远离天线时，振荡电路中的电流变化慢

考点二：电磁波

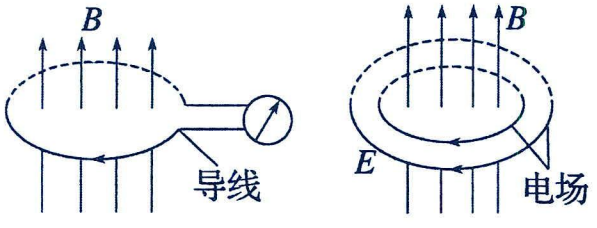
题型一：麦克斯韦电磁场理论

1.对麦克斯韦电磁场理论的理解



2.变化的磁场产生电场

(1)实验基础：如图所示，在变化的磁场中放一个闭合电路，电路里就会产生感应电流。



(2)麦克斯韦假设：电路里能产生感应电流，是因为变化的磁场产生电场，电场促使导体中的自由电荷做定向运动。

(3)实质：变化的磁场产生了电场。

3.变化的电场产生磁场：麦克斯韦假设，既然变化的磁场能产生电场，那么变化的电场也会在空间产生磁场。

4.变化的电场和磁场总是相互联系，形成一个不可分割的统一的电磁场。

【精选例题】

【例1】下列关于麦克斯韦电磁场理论说法正确的是（　　）

A．有电场就一定存在磁场，有磁场就一定能产生电场

B．在变化的电场周围一定产生变化的磁场，在变化的磁场周围一定产生变化的电场

C．均匀变化的电场周围一定产生均匀变化的磁场

D．均匀变化的电场周围一定产生恒定的磁场

【跟踪训练】

1．关于电磁波，下列说法中正确的是（　　）

A．变化的电场一定在周围空间产生变化的磁场

B．电磁波既可以传递信息，又可以传递能量

C．麦克斯韦首先预言了电磁波的存在，法拉第最先用实验证实了电磁波的存在

D．不同频率的电磁波在真空中的传播速率不同

2．（多选题）关于电磁场和电磁波，下列说法正确的是（　　）

A．振荡的电场周围一定产生同频率变化的磁场

B．变化的电场周围一定产生变化的磁场，变化的磁场周围也一定产生变化的电场

C．电磁波波长越长，其能量子的能量越小

D．闭合导线的一部分在磁场中运动一定会产生感应电流

题型二：电磁波的产生与传播

1.电磁波产生：变化的电场和磁场交替产生，由近及远地向周围传播，形成电磁波。

2.电磁波的速度

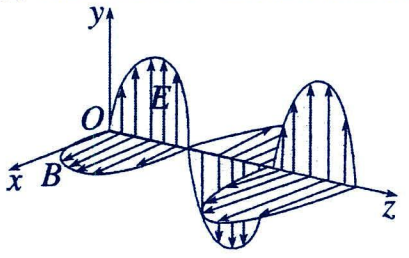
(1)电磁波的传播不需要介质；在真空中传播时，不同频率的电磁波传播速度相同，$v_{真空}=c=3.0\times10^8$ m/s.；

(2)电磁波波速 v、波长λ及频率 f 之间的关系为 $v=\lambda f$.；

(3)不同频率的电磁波，在同一介质中传播，其速度是不同的，频率越高，波速越小；

3.电磁波的特点

(1)电磁波是横波，在传播方向上的任一点，E 和 B 彼此垂直且均与传播方向垂直，如图；



(2)电磁波具有波的共性，能产生干涉、衍射、反射、折射和偏振等现象，电磁波也是传播能量的一种形式。

4.电磁波具有能量：电磁场的转换就是电场能量与磁场能量的转换，电磁波的发射过程是辐射能量的过程，传播过程是能量传播的过程。

5．电磁波与机械波的比较

类别	电磁波	机械波
产生	由周期性变化的电场、磁场产生	由质点(波源)的振动产生
波的特点	横波	纵波或横波
波速	在真空中等于光速(很大)，$c=3\times10^8$ m/s	在空气中不大(如声波波速在空气中一般为 340 m/s)
是否需要介质	不需要介质(在真空中仍可传播)	必须有介质(真空中不能传播)
能量传播	电磁能	机械能

【精选例题】

【例 1】下列关于机械振动和机械波、电磁振荡和电磁波的说法中，正确的是（　　）

A．机械波、电磁波都不能离开波源而在介质（或真空）中独立传播

B．所有的机械波、电磁波都存在衍射、干涉、偏振和多普勒效应等波特有的现象

C．机械振动和电磁振荡的周期都只与振动系统的结构有关，而与振动的振幅无关

D．做机械振动的物体由于摩擦的存在，其振动的振幅会逐渐减小，但 LC 振荡电路中并不存在摩擦，故电磁振荡一定都是等幅振荡

【例 2】关于机械波与电磁波，下列说法正确的是（　　）

A．电磁波与机械波的波动频率都由波源确定

B．电磁波不能发生衍射现象和偏振现象

C．机械波在给定的介质中传播时，振动的频率越高，则波传播速度越大

D．机械波与电磁波本质上是一致的

【跟踪训练】

1．关于电磁波和机械波，下列说法正确的是（　　）

A．电磁波和机械波均可在真空中传播

B．电磁波和机械波均可发生多普勒效应

B．机械波的波速只与介质有关，而电磁波在介质中的波速不仅与介质有关，而且与电磁波的频率有关

D．电磁波可以传递能量，机械波无法传递能量

2．（多选题）以下关于机械波与电磁波的说法，正确的是（　　）

C．只有机械波中的声波才会发生多普勒效应

B．机械波的波速只与介质有关，而电磁波在介质中的波速不仅与介质有关，而且与电磁波的频率有关

C．机械波可能是纵波，而电磁波必定是横波

D．它们都能发生反射、折射现象

考点三：无线电波与电磁波谱

题型一：无线电波的发射与接受

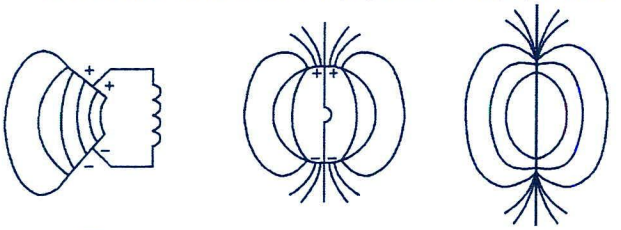
一、无线电波的发射

1 要有效地发射电磁波，振荡电路必须具有的两个特点：

(1)要有足够高的振荡频率，频率越高，发射电磁波的本领越大；

(2)振荡电路的电场和磁场必须分散到尽可能大的空间，因此采用开放电路。

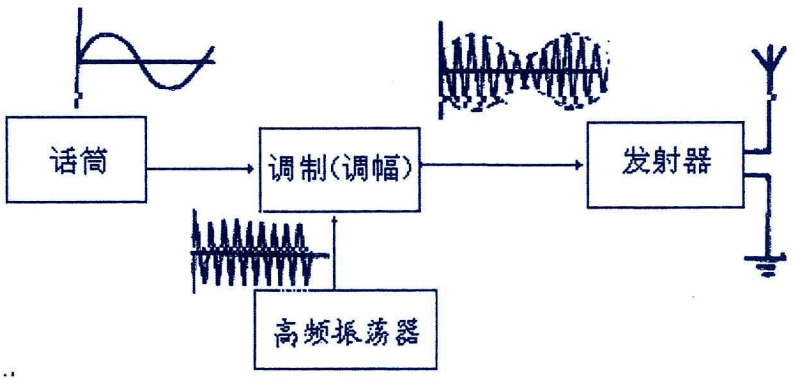
具体操作：将电容器两个极板拉开，增大板间距，减小极板正对面积，如图甲、乙、丙。



甲　　乙　　丙

2.实际应用中的开放电路，线圈的一端用导线与大地相连，这条导线叫作地线；线圈的另一端与高高地架在空中的天线相连。

发射过程



3.调制：把要传递的信号“加”到高频等幅振荡电流上，使载波随各种信号而改变.。

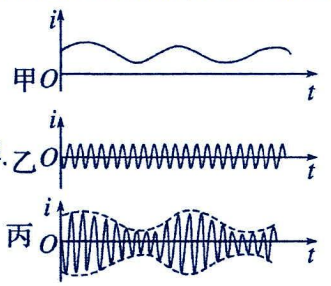
(2)调制的分类：调幅和调频。

①调幅：使高频电磁波的振幅随信号的强弱而改变的调制技术，如图。

甲：声音信号的波形.

乙：高频等幅振荡电流的波形.

丙：调幅波.

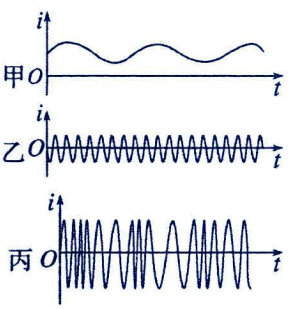


②调频：使高频电磁波的频率随信号的强弱而改变的调制技术，如图。

甲：声音信号的波形.

乙：高频等幅振荡电流的波形.

丙：调频波.



二、无线电波的接收

1.接收原理：电磁感应在接收电路产生和电磁波同频率的电流。

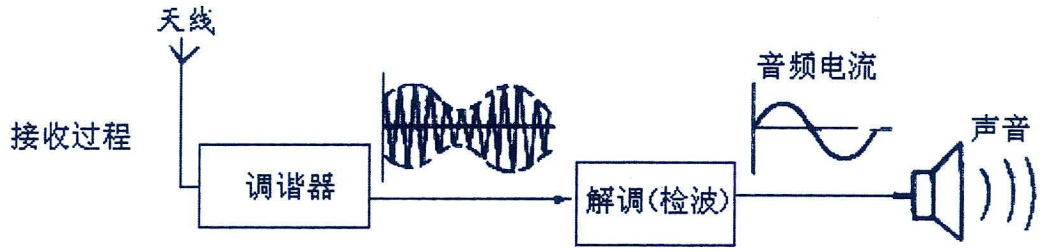
电磁波在传播时如果遇到导体（接收天线），会使导体中产生感应电流，从而可以用来接收电磁波。

2.电谐振：当接收电路的固有频率跟收到的电磁波的频率相同时，接收电路中产生的振荡电流最强，这种现象叫作电谐振，相当于机械振动中的共振。

(1)调谐：使接收电路产生电谐振的过程；

(2)解调：把声音或图像信号从高频电流中还原出来的过程。调幅波的解调也叫检波。

(3)调谐和解调的区别：调谐就是一个选台的过程，即选携带有用信号的高频振荡电流，在接收电路中产生最强的感应电流的过程；解调是将高频电流中携带的有用信号分离出来的过程。



三、电视广播的发射和接收

1．电视广播信号是一种无线电信号，实际传播中需要通过载波将信号调制成高频信号再进行传播．

2．高频电视信号的三种传播方式：地面无线电传输、有线网络传输以及卫星传输．

3．电视信号的接收：电视机接收到的高频电磁波信号经过解调将得到的电信号转变为图像信号和伴音信号．

【精选例题】

【例 1】各地高高耸立的电视塔是地标性建筑，电视塔上天线的作用是（　　）

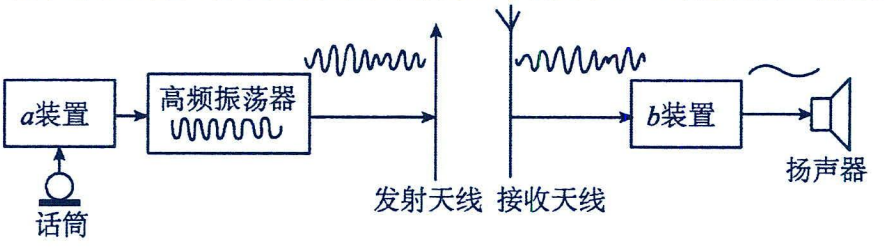
A．让声音、图象信号转化为电信号

B．让声音、图象信号加载到高频电流上

C．让音频、视频电信号加载到高频电流上

D．让载有音频、视频信号的高频电流产生电磁波

【例 2】无线电广播系统方框图如图所示，下列关于 a、b 装置说法正确的是（　　）



A．a 是调制、b 是调谐　　B．a 是调制、b 是解调　　C．a 是调谐、b 是解调　　D．a 是调谐、b 是调制

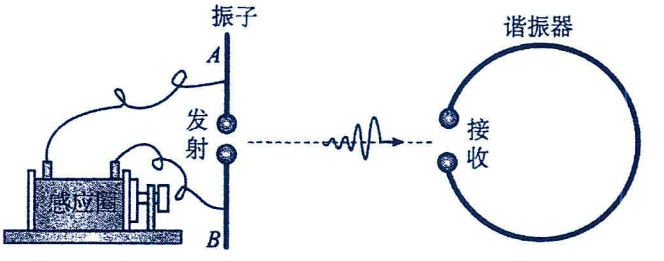
【例 3】1886 年，赫兹做了如图所示实验，关于该实验，以下说法正确的是（　　）

A．实验证实了电磁波的存在

B．实验证实了法拉第的电磁场理论

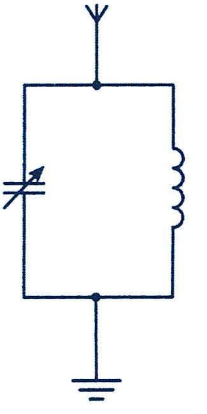
C．实验可以说明电磁波是一种纵波

D．在真空环境下进行实验，仍能观察到明显的火花放电



【跟踪训练】

1．收音机的调谐电路如图所示，旋转收音机面板上的“调频”旋钮可以改变可变电容器 C 的电容，进而改变调谐电路的频率。某同学发现一个频率最高的中波电台收不到，但可以接收其它中波电台。下列说法或做法正确的是（　　）



A．为了收到这个电台，他应该增加线圈的匝数

B．将可变电容器的动片旋出一些后将接收到波长更大的电信号

C．调节“调频”旋钮的目的是使调谐电路的固有频率跟接收的电磁波频率相同

D．收音机经过调谐电路后就可以得到我们所需要的声音信号

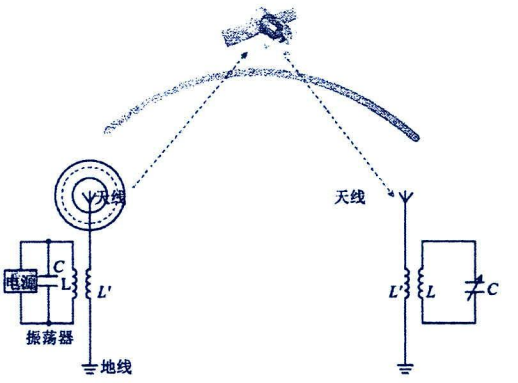
2．（多选题）电磁波的发射、传播及接收过程如图所示，下列说法正确的是（　　）

A．信号源发射出的电磁波是由自由电子周期运动而产生的

B．电磁波发射装置主要由振荡器和开放电路两部分组成。振荡器的作用是产生高频振荡电流和对开放电路供给能量

C．能直接穿过电离层，以空间波的形式进行直线传播是短波，这种直线传播受大气的干扰小、能量损失少、信号强

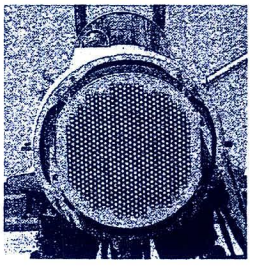
D．调节频道主要是在调节 LC 电路中的电容 C，改变其固有频率而产生“电谐振”现象



题型二：无线电波的应用

【精选例题】

【例 1】许多先进的军事作战单位安装了有源相控阵雷达，如图所示。有源相控阵雷达的每个辐射器都配有一个发射/接收组件，每一个组件都能自己产生、接收电磁波，因此在频宽、信号处理和冗度设计上都比无源相控阵雷达具有较大的优势。下列说法正确的是（　　）



A．雷达使用的电磁波是长波，它利用了长波容易发生衍射，可以绕开障碍物远距离传播的特点

B．雷达使用的电磁波是微波，它利用了微波直线性好，反射性强的特点

C．雷达发射的电磁波需要经过调制、调幅或调频过程

D．雷达使用的电磁波比红外遥感技术使用的电磁波频率高

【例 2】“小蜜蜂”是老师上课常用的扩音设备，随着无线电技术的应用，很多老师用上了蓝牙“小蜜蜂”（蓝牙信号属于电磁波），麦克风与扩音器不用导线连接，老师拿着麦克风在教室中间说话，放在讲台上的扩音器也能工作。下列说法正确的是（　　）

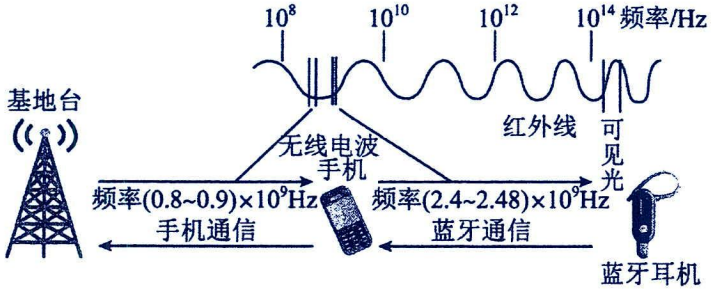
A．“小蜜蜂”直接接收到了来自麦克风的声波信号

B．麦克风中只要有变化的电场，就一定能发出蓝牙信号

C．“小蜜蜂”接收电磁波时，通过调制来使接收电路中出现电谐振现象

D．麦克风回路可通过减小发射电磁波的波长来提高 *LC* 振荡电路发射电磁波的本领

【例 3】使用蓝牙耳机接听手机来电，手机与基地台及耳机的信号传输如图所示．若基地台与手机、手机与蓝牙耳机之间通信的电磁波分别为甲波、乙波，则（　　）



A．甲波的波长比乙波短　　B．真空中甲波的传播速度比乙波小

C．测量体温时使用的测温枪探测的是乙波　　D．甲、乙波都能在真空中传播

【跟踪训练】

1．（多选题）6G 通信是下一代通信技术，6G 使用的无线电波频率在 100 GHz 以上频段，5G 使用的无线电波频率在 3 GHz~5 GHz 频段。下列说法正确的是（　　）

A．在真空中，6G 和 5G 使用的无线电波的传播速率相等

B．在真空中，6G 比 5G 使用的无线电波的传播速率更大

C．在真空中，相较于 5G，6G 使用的无线电波的波长更长

D．根据量子理论，相较于 5G，6G 使用的无线电波的一份能量子的能量更高

2．电磁波无处不在，我们身边的广播、电视、移动通信都与电磁波有着密不可分的联系。例如我国自主建立的北斗导航系统所使用的电磁波频率约为 1561MHZ；家用微波炉所使用的电磁波频率约为 2450MHZ； 家用 Wi-Fi 所使用的电磁波频率约为 5725MHZ。关于电磁波下列说法正确的是（　　）

A．麦克斯韦预言了电磁波，楞次首次用实验证实了电磁波的存在

B．Wi-Fi 信号与微波炉所使用的微波相比，更容易产生明显的衍射现象

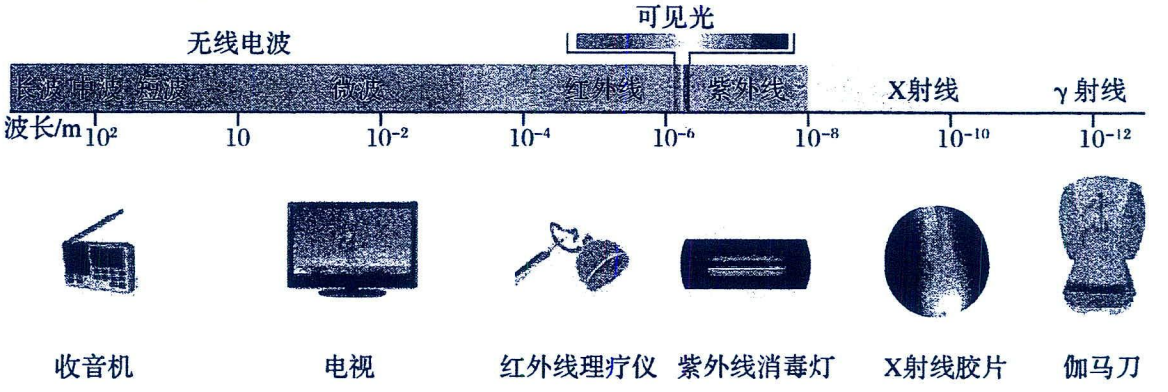
C．Wi-Fi 信号与北斗导航信号叠加时，将产生明显的干涉现象

D．Wi-Fi 信号从一个房间穿过墙壁进入另一个房间后，波长不变

题型三：电磁波的相关物理量

1.电磁波谱：按电磁波的波长大小或频率高低的顺序排列成的谱，叫作电磁波谱。

2.按照波长从长到短依次排列为无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、γ射线．不同的电磁波由于具有不同的波长(频率)，具有不同的特性。



3.无线电波：振荡电路中电子周期性运动产生。

①频率低于＜3×10^{11}Hz，波长大于 10^{-3}m，主要用于通信、广播及其他信号传输。

②雷达是利用电磁波遇到障碍物要发生反射，以此来测定物体位置的无线电设备，其利用的是波长较短的微波。

4.红外线、可见光、紫外线：原子的外层电子受激发后产生。

(1)红外线

①红外线是一种光波，频率介于 10^{11}～10^{15}Hz 之间，波长介于 10^{-7}～10^{-3}之间，比无线电波短，比可见光长；

②所有物体都发射红外线，热物体的红外辐射比冷物体的红外辐射强；

③红外线的应用主要有红外遥感技术和红外体温计。

(2)可见光：频率在 10^{15}Hz，波长在 400～760 nm 之间。

(3)紫外线：波长在，

①频率在 10^{15}～10^{16}Hz，波长范围在 10^{-8}～10^{-7}mnm 之间，不能引起人的视觉；

②具有较高的能量，应用于灭菌消毒；具有较强的荧光效应，用来激发荧光物质发光；

③可用于医用消毒、防伪。

5.X 射线：原子的内层电子受激发后产生。

①频率在 10^{16}～10^{19}Hz，波长范围在 10^{-11}～10^{-8}m 之间；

②具有较高的能量，穿透本领强；

③可用于检查金属构件内部有无裂纹或气孔，医学上用于检查人体的内部器官。

6.γ射线：原子核受激发后产生.

①频率在＞10^{19}Hz，波长范围在＜10^{-11}m 之间；

②具有很高的能量，穿透力很强；

③医学上用来治疗某些癌症，工业上也可用于探测金属构件内部是否有缺陷

7.各种电磁波的共性

(1)在本质上都是电磁波，遵循相同的规律，各波段之间的区别并没有绝对的意义；

(2)都遵循公式 v＝λf，在真空中的传播速度都是 c＝3×10^8 m/s；

(3)传播都不需要介质；

(4)不同电磁波的频率或波长不同，表现出不同的特性，波长越长，越容易产生干涉、衍射现象，波长越短，穿透能力越强；

(5)同频率的电磁波在不同介质中传播速度不同，不同频率的电磁波在同一种介质中传播时，频率越高，折射率越大，速度越小。

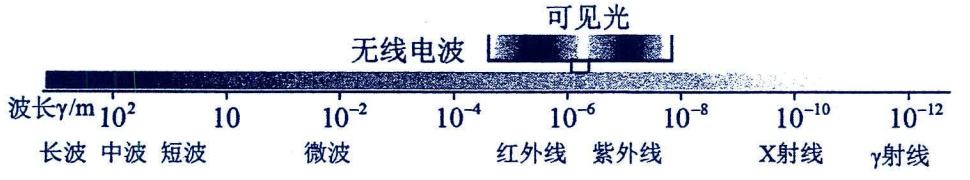
【精选例题】

【例 1】关于电磁波谱，下列说法正确的是（　　）

A．在真空中各种电磁波的传播速度不同　　B．γ 射线是波长最短的电磁波，它比 X 射线的频率还要高

C．紫外线比紫光更容易发生干涉和衍射　　D．在电磁波谱中，最容易发生衍射现象的是γ射线

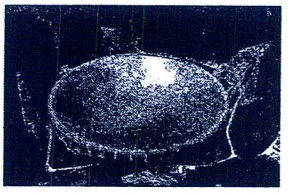
【例 2】太赫兹（THz）波是指频率在 0.1~10THz（波长为 3000μm~30μm）范围内的电磁波，利用该频段可以加深和拓展人类对物理学、化学、天文学、信息学和生命科学中一些基本科学问题的认识，通过和电磁波谱对比，下列说法正确的是（　　）



A．太赫兹波比短波频率更小　　B．太赫兹波比红光更容易发生明显衍射

C．太赫兹波比紫外线的能量更大，可以用于杀菌　　D．太赫兹波可以用于胸透检查

【例 3】（多选题）如图所示是我国 500m 口径球面射电望远镜（FAST），它可以通过接收来自宇宙深处的电磁波探索宇宙。下列关于电磁波的说法正确的是（　　）



A．频率越高的电磁波，波长越长

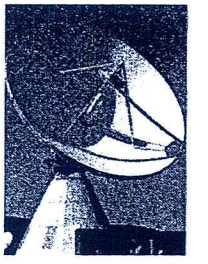
B．电磁波在任何介质中的传播速度均为 $3\times10^{8}\,\mathrm{m/s}$

C．赫兹通过实验捕捉到电磁波，证实了麦克斯韦的电磁场理论

D．不均匀变化的电场激发变化的磁场，空间将产生电磁波

【跟踪训练】

1. 2023 年 2 月 12 日消息，河北廊坊广阳区实行雷达探测精准“号脉”助力小区治理。雷达是利用电磁波探测目标的电子设备。雷达发射电磁波对目标进行照射并接收其回波，由此获得目标至电磁波发射点的距离、方位、高度等信息。关于雷达、电磁波的特性，下列说法正确的是（　　）



A．雷达所用无线电波的波长比短波更长，只有连续发射无线电波才能发现目标

B．雷达发出或接收的电磁波受天气影响，在浓雾天能见度低的黑夜不能使用

C．雷达发出的电磁波是纵波，电磁波中的电场和磁场平行，是振动方向与传播方向同轴的波

D．雷达发出的电磁波可以在真空中传播，是电场和磁场之间的相互感应并向周围空间传播电磁能

3．（多选题）雷达是运用电磁波来工作的，它发射的电磁波频率多在 300MHz 至 1000MHz 的范围内，已知真空中光速 $c=3\times10^{8}\,\mathrm{m/s}$。下列说法正确的是（　　）

A．电磁波可由恒定不变的电场和磁场产生

B．电磁波可由周期性变化的电场或磁场产生

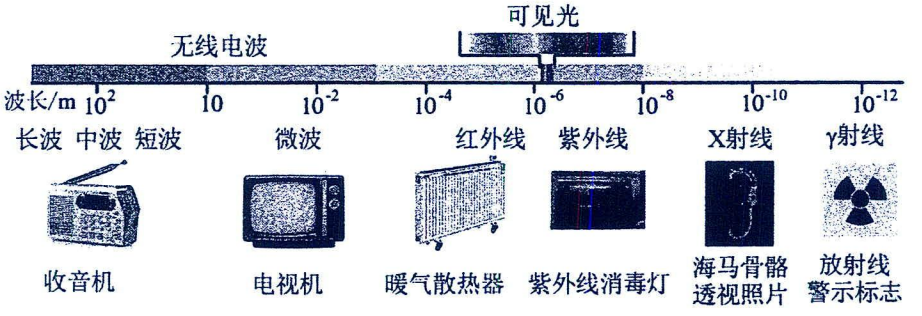
C．雷达发射的电磁波在真空中的波长范围多在 0.3m 至 1m 之间

D．雷达与目标之间的距离可由电磁波从发射到接收的时间间隔确定

题型四：红外线及紫外线的应用

【精选例题】

【例 1】（多选题）关于电磁波的应用，下列说法正确的是（　　）



A．微波炉不是利用电磁波来工作的

B．微波炉是利用电磁波的能量来快速加热食物的

C．雷达是利用电磁波的反射来侦测目标的

D．夜视仪是利用红外线来帮助人们在夜间看见物体的

【例 2】新冠肺炎疫情突发，中华儿女风雨同舟、守望相助，筑起了抗击疫情的巍峨长城。志愿者用非接触式体温测量仪，通过人体辐射的红外线测量体温，防控人员用紫外线灯在无人的环境下消杀病毒，为人民健康保驾护航。红外线和紫外线相比较（　　）

A．红外线的光子能量比紫外线的大　　B．真空中红外线的波长比紫外线的长

C．真空中红外线的传播速度比紫外线的大　　D．红外线能发生偏振现象，而紫外线不能

【例 3】电磁波在日常生活中有着广泛的应用。下列说法正确的是（　　）

A．微波炉加热食物是利用了红外线的热作用

B．红外线应用在遥感技术中，是利用了它穿透本领强的特性

C．医院用 X 射线进行透视，是因为它是各种电磁波中穿透能力最强的

D．利用紫外线灭菌消毒，是因为紫外线具有较高的能量

【例 4】（多选题）电磁波广泛应用在现代医疗中。下列属于电磁波应用的医用器械有（　　）

A．杀菌用的紫外灯　　B．拍胸片的 X 光机

C．治疗咽喉炎的超声波雾化器　　D．检查血流情况的“彩超”机

【跟踪训练】

1．（多选题）下列说法正确的是（　　）

A．医院中用于体检的“B 超”属于电磁波

B．无线网络信号绕过障碍物继续传播，利用了干涉原理

C．铁路、民航等安检口使用“X 射线”对行李箱内物品进行检测

D．列车鸣笛驶近乘客的过程中，乘客听到的声波频率大于波源振动的频率

2．关于电磁波的有关说法正确的是（　　）

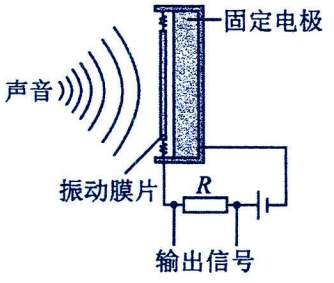
A．红外线有很强的热效应，它的波长比微波还要长

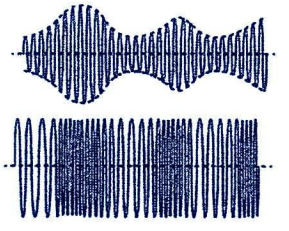
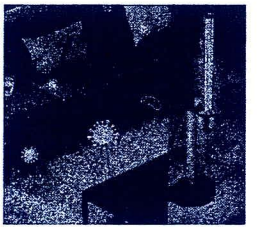
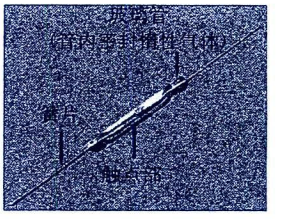
B．电磁波从空气传入水中，波速变小，波长变长

C．在电磁波发射技术中，使载波随各种信号而改变的技术叫调制

D．X 射线比可见光更容易发生衍射

3．（多选题）下列电磁相关知识的说法中正确的是（　　）



A．图中的电容式话筒是利用电容器的电容与极板间距离的关系来工作

B．传递声音图像等信息时，需要将其搭载在高频载波上发射出去，这一过程叫调谐

C．红外线具有较高能量，足以破坏细胞核中的物质，因此可以利用红外线灭菌消毒

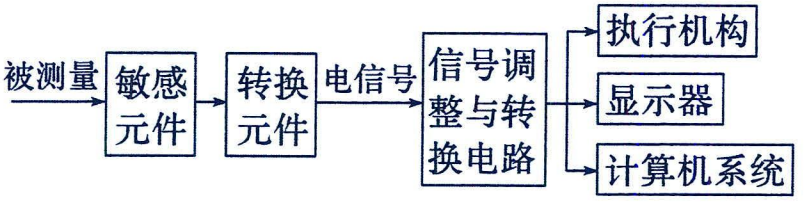
D．干簧管可以感知磁场的存在，两簧片会因磁化而接通，因此常被用作磁控开关

第十二讲：传感器

考点一：传感器的类别及工作原理

1．传感器的工作原理：能够感受诸如力、温度、光、声、化学成分等被测量，并能把它们按照一定的规律转换为便于传送和处理的可用信号输出．通常转换成的可用信号是电压、电流等电学量，或转换为电路的通断。把非电学量转换为电学量，可以很方便地进行测量、传输、处理和控制。

传感器应用的一般模式如图所示：



2．传感器的核心元件

(1)敏感元件：能直接感受或响应外界被测非电学量的部分；

(2)转换元件：能将敏感元件输出的信号直接转换成电信号的部分；

(3)信号调整与转换电路：能把输出的微弱的电信号放大的部分。

3．传感器的分类

	工作原理	举例
物理传感器	利用物质的物理特性或物理效应感知并检测出待测对象信息	力传感器、磁传感器、声传感器等
化学传感器	利用电化学反应原理，把无机或有机化学物质的成分、浓度转换为电信号	离子传感器、气体传感器等
生物传感器	利用生物活性物质的选择性来识别和测定生物化学物质	酶传感器、微生物传感器、细胞传感器等

题型一：传感器概念

【精选例题】

【例 1】关于物理传感器、化学传感器和生物传感器的下列说法中，正确的是（　　）

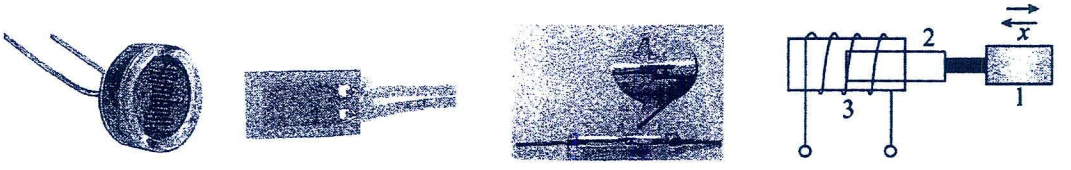
A．物理传感器利用材料的某种物理性质工作，因而只能用于机械加工行业不能用于化工领域

B．化学传感器是利用某种化学反应来工作的，因而只能输出某种化学物质而不能输出电学量

C．生物传感器的适用范围广，可在任意温度条件下工作

D．生物传感器对生物物质敏感，因而对使用传感器的环境有一定的要求

【例 2】一下列关于传感器元件说法错误的是（　　）



甲　　乙　　丙　　丁

A．如图甲，是一光敏电阻，随着光照的增强，载流子增多，导电性变好

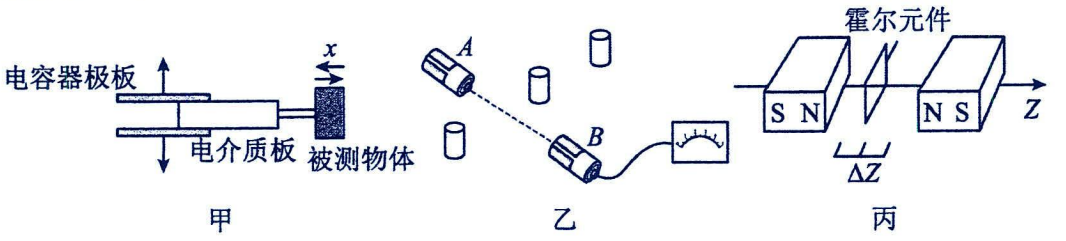
B．如图乙，是一电阻应变片，其电阻随受外力而发生机械形变的变化而发生变化

C．如图丙，当磁体靠近“干簧管”时电路接通，其开关的功能是利用了电磁感应原理

D．如图丁，是一种电感式微小位移传感器，当物体 1 向左移动时，线圈自感系数变大

【跟踪练习】

1．传感器的功能与人的视觉、听觉、触觉、嗅觉等功能相似。关于图中应用传感器的实际情景，下列说法错误的是（　　）



甲　　乙　　丙

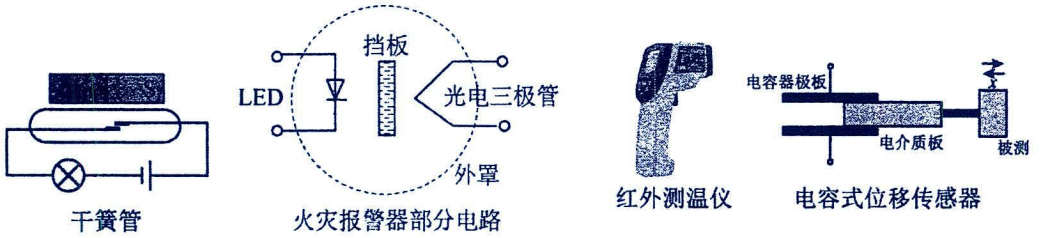
A．甲图传感器用来测量位移的微小变化，是位移传感器

B．乙图光电计数器用到了光敏电阻这个传感元件，是光传感器

C．丙图利用霍尔元件可以测量微小位移，是位移传感器

D．传感器感受力、温度、光、声等信号，把电学信号转换成非电学信号

2．（多选题）图中为传感器的应用，下列说法正确的是（　　）



干簧管　　火灾报警器部分电路　　红外测温仪　　电容式位移传感器

A．干簧管是利用磁场来控制电路的通断

B．当有烟雾进入火灾报警器罩内时，光电三极管上就会因烟雾的散射而有光的照射，表现出电阻的变化

C．红外测温仪向人体发射红外线，从而测量人体温度

D．电容式位移传感器能把物体的位移这个力学量转换成电容这个电学量

题型二：光敏传感器

1．光敏电阻

(1)特点：光照越强，电阻越小。

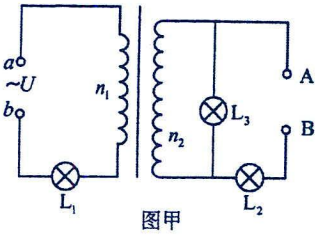
(2)原因：光敏电阻的构成物质为半导体材料，无光照时，载流子极少，导电性能差；随着光照的增强，载流子增多，导电性变好。

(3)作用：把光照强弱这个光学量转换为电阻这个电学量。

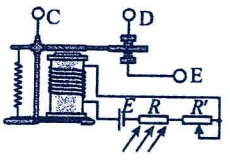
【精选例题】

【例 1】（多选题）为了节能环保，一些公共场所使用光控开关控制照明系统，天亮灯熄、天暗灯亮，如图甲所示，L_1、L_3为指示灯，L_2为照明灯，电源提供的电压U恒定。光控开关可采用光敏电阻和电磁铁来控制，如图乙所示，当线圈中的电流大于I_0时，继电器的衔铁将被吸合。光敏电阻R是阻值随光照强度增大而减小的元件，

下列说法正确的是（　　）



图甲



图乙

A．照明灯 L_2 灯亮时，L_1 会变暗

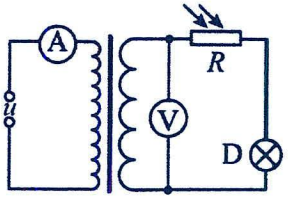
B．照明灯 L_2 灯亮时，L_3 会变暗

C．AB 应该接入光控开关的 CE 端

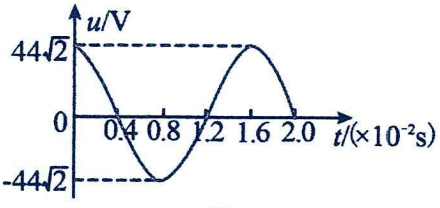
D．为了让天色更暗时，路灯才被点亮，变阻器 R' 的阻值应适当调小

【跟踪训练】

1．（多选题）如图甲所示的电路中，理想变压器原、副线圈匝数比为 2∶1，电流表、电压表均为理想电表，R 和 D 分别是光敏电阻（其阻值随光强增大而减小）和灯泡。原线圈接入如图乙所示的正弦交流电压 u，下列说法正确的是（　　）



甲



乙

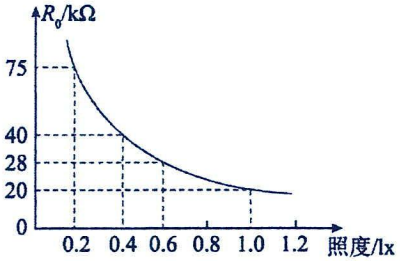
A．电压的频率为125Hz

B．原线圈中电压的瞬时值表达式为 $u=44\sqrt{2}\cos(125\pi t)$ V

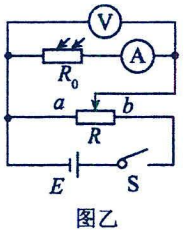
C．用光照射 R 时，电流表的示数变大

D．用光照射 R 时，电压表的示数变大

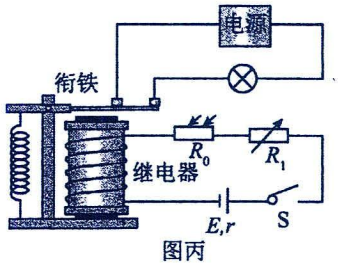
2．光敏电阻的阻值会随着光的照度的变化而改变。如图甲所示是某光敏电阻阻值随光的照度变化曲线，照度可以反映光的强弱，光越强照度越大，照度单位为勒克斯（lx）。为了验证光敏电阻在不同照度下的电阻值 R_0，某学习小组设计了如图乙所示的电路。



图甲



图乙



图丙

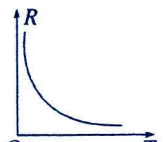
(1)在电路图乙中，开关 S 闭合前，应将滑动变阻器 R 的滑片移至_____（填“a”或“b”）端。

(2)在某一照度时，电压表读数为 1.80V，电流表读数为 90.0μA，测得此照度下光敏电阻的电阻值 R_{01} =_____；理论上，_____（填“电流表”或“电压表”）的内阻会引起测量误差，光敏电阻的测量值比实际值_____（填“偏大”或“偏小”）。

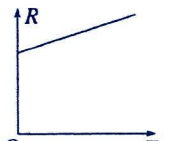
(3)某同学利用该光敏电阻制作一个简易的光控装置，电路图如图丙所示。当继电器的电流超过某一特定值时，衔铁被吸合，电灯停止照明，实现白天关灯夜晚开灯的自动控制效果。目前达到的效果为当照度增加到1.0lx 时，衔铁被吸合，电灯熄灭，此时电阻箱 R_1 的阻值为 60kΩ。若要设置照度增加到 0.6lx 时电灯就熄灭，以节省能源，则电阻箱 R_1 的阻值应调整为_____kΩ。

题型二：热敏传感器

1.热敏电阻：热敏电阻一般由半导体材料制成，其电阻随温度的变化明显，温度升高电阻减小，如图甲所示为某一热敏电阻的阻值随温度变化的特性曲线。



甲



乙

2.金属热电阻：有些金属的电阻率随温度的升高而增大，这样的电阻也可以制作温度传感器，称为热电阻，如图乙所示为某金属导线电阻的温度特性曲线。

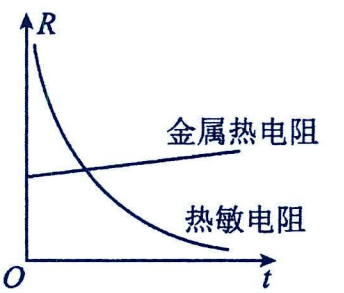
3.作用：热敏电阻和金属热电阻都能够把温度这个热学量转换为电阻这个电学量。

注意：在工作温度范围内，电阻值随温度上升而增加的是正温度系数(PTC)热敏电阻器；

电阻值随温度上升而减小的是负温度系数(NTC)热敏电阻器。

【精选例题】

【例 1】嫦娥六号采用了大量的传感器。某金属热电阻和热敏电阻的阻值 R 随温度 T 变化的关系图像如图所示，下列说法中正确的是（　　）



A．金属热电阻不可用来做电阻温度计

B．金属热电阻在温度上升时导电能力增强

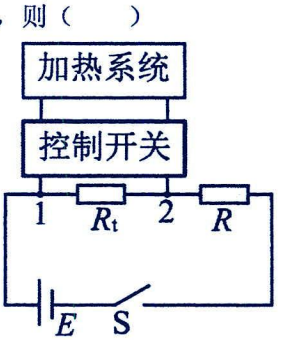
C．热敏电阻的阻值随温度的变化不明显

D．它们都能够把温度这个热学量转换为电阻这个电学量

【例 2】在探究热敏电阻的特性及其应用的实验中，测得热敏电阻 R_t，在不同温度时的阻值如下表：

温度/℃	4.1	9.0	14.3	20.0	28.0	38.2	45.5	60.4
电阻/（$10^2\Omega$）	220	160	100	60	45	30	25	15

某同学利用上述热敏电阻 R_t、电动势 $E=3\text{V}$（内阻不计）的电源、定值电阻 $R=3\text{k}\Omega$，控制开关和加热系统，设计了如图电路。若环境温度低于 20℃，1，2 两端大于 2V，控制开关自动开启加热系统，若环境温度高于 28℃，1，2 两端小于一定值，控制开关自动关闭加热系统（不考虑控制开关对电路的影响），则（　　）



A．由表格可知热敏电阻的阻值与温度成反比

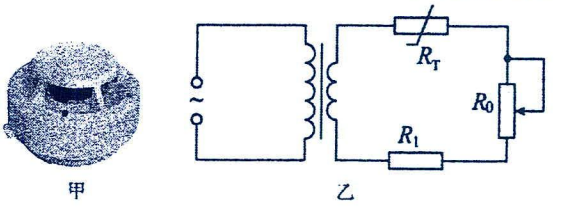
B．室内温度升高，R_t 两端的电压增大

C．若设置环境温度低于 18℃时自动开启加热系统，则应选用更小定值电阻

D．R_t 两端的电压小于 1.8V 时，自动关闭加热系统

【跟踪训练】

1．（多选题）某种感温式火灾报警器如图甲所示，其简化的工作电路如图乙所示。变压器原线圈接电压有效值恒定的交流电源。副线圈连接报警系统，其中 R_T 为热敏电阻，其阻值随温度的升高而减小，R_0 为滑动变阻器，R_1 为定值电阻。当警戒范围内发生火灾，环境温度升高达到预设值时，报警装置（图中未画出）通过检测通过 R_1 的电流触发报警。下列说法正确的是（　　）



甲　　乙

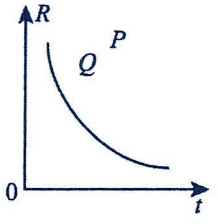
A．警戒范围内出现火情时，副线圈两端电压不变

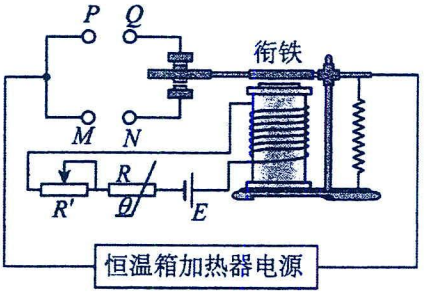
B．警戒范围内出现火情时，原线圈输入功率变小

C．通过定值电阻 R_1 的电流过大时，报警装置就会报警

D．若要调低预设的报警温度，可减小滑动变阻器 R_0 连入电路的阻值

2．（多选题）如图所示，图甲为热敏电阻的阻值 R 随温度 t 的变化关系曲线，图乙为用此热敏电阻和继电器组成的一个简单恒温箱温控电路。当线圈中的电流大于或等于某一电流时，继电器的衔铁被吸合。则（　　）





甲　热敏电阻的$R-t$曲线　　乙　简单恒温箱温控电路

A．恒温箱内的加热器接在 P、Q 之间

B．恒温箱内的加热器接在 M、N 之间

C．滑动变阻器 R' 的滑动触头向右移动，恒温箱内保持的温度越高

D．滑动变阻器 R' 的滑动触头向右移动，恒温箱内保持的温度越低

题型三：力敏传感器

电阻应变片

1.电阻应变片的作用：电阻应变片能够把物体形变这个力学量转换为电阻这个电学量。

2.电子秤的组成及敏感元件：由金属梁和电阻应变片组成，敏感元件是应变片。

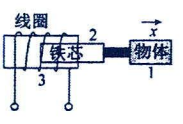
3.电子秤的工作原理

金属梁自由端受力 F ⇒ 金属梁发生弯曲 ⇒ 应变片的电阻变化 ⇒ 两应变片上电压的差值变化

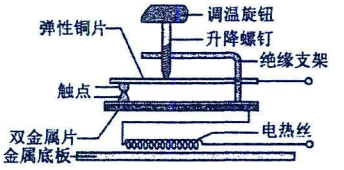
【精选例题】

【例 1】下列关于传感器元件的说法，正确的是（　　）


甲　干簧管



乙　电感式位移传感器



丙　电熨斗构造示意图



丁 应变式力传感器

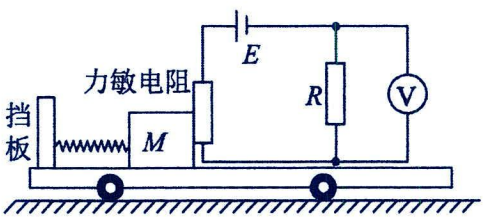
A．图甲：“干簧管”利用电磁感应原理实现开关作用

B．图乙：当物体带动铁芯向右移动时，线圈的自感系数变大

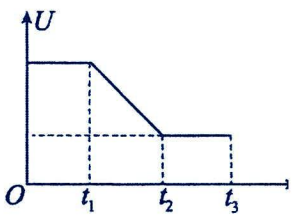
C．图丙：常温下，电熨斗的上下触点是分离的

D．图丁：应变式力传感器可用于制作电子秤

【例 2】（多选题）某力敏电阻的阻值随着压力的增大而线性减小。一同学利用该力敏电阻设计了判断小车在水平方向上运动状态的装置，其工作原理如图甲，将力敏电阻和一块挡板固定在绝缘小车上，光滑绝缘重物与挡板之间通过轻弹簧连接，电源内阻不计。某次实验中，电压表示数随时间变化的规律如图乙，已知$0\sim t_1$时间内，小车处于静止状态。则下列说法正确的是（　　）



甲



乙

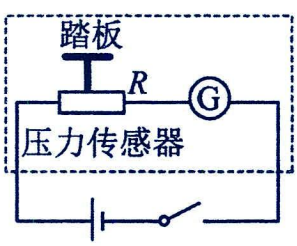
A．$0\sim t_1$时间内，弹簧处于压缩状态

B．$t_1\sim t_2$时间内，小车的加速度随时间均匀减小

C．$t_2\sim t_3$时间内，小车一定做匀变速直线运动

D．$t_2\sim t_3$时间内，小车可能向右做匀加速直线运动

【例 3】有一种测量物体重力的电子秤，其电路原理图如图中的虚线所示，主要由三部分构成：踏板、压力传感器R（实际上是一个阻值可随压力变化的电阻器）、显示体重的仪表G（实质上是电流表）。不计踏板的质量，已知电流表的量程为2A，内阻为1Ω，电源电动势为12V，内阻为1Ω，电阻R随压力F变化的函数式为$R=30-0.01F$（F和R的单位分别为N和Ω）。下列说法中正确的是（　　）



A．该秤能测量的最大体重是1600N

B．电流表G的量程越大，则能测量的最大体重越小

C．该秤零刻度线（即踏板空载时的刻度线）应标在电流表G刻度盘的0.375 A处

D．该秤可以通过电路规律转换成$F=3200+\dfrac{1200}{I}$关系进行刻度转换

【跟踪训练】

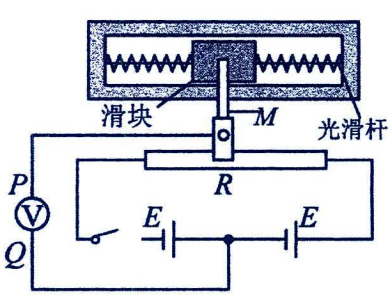
1．如图所示为一个加速度计的原理图。滑块可沿光滑杆移动，滑块两侧与两根相同的轻弹簧连接；固定在滑块上的滑动片M下端与滑动变阻器R接触良好，且不计摩擦；两个电源的电动势E相同，内阻不计。两弹簧处于原长时，M位于R的中点，理想电压表的指针位于表盘中央。当P端电势高于Q端时，指针位于表盘右侧。将加速度计固定在水平运动的被测物体上，则下列说法正确的是（　　）

A．若M位于R的中点右侧，P端电势低于Q端

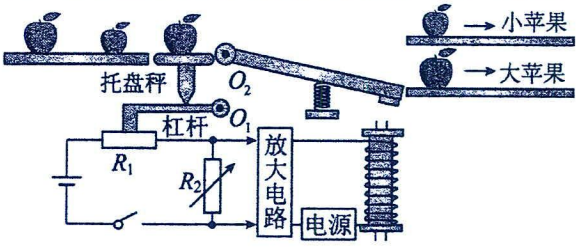
B．电压表的示数随物体加速度的增大而增大，但不成正比

C．若电压表指针位于表盘左侧，则物体速度方向向右

D．若电压表指针位于表盘左侧，则物体加速度方向向右



2．（多选题）如图为苹果自动分拣装置，可以把质量大小不同的苹果，自动分拣开。该装置的托盘秤压在一个以 O_1 为转动轴的杠杆上，杠杆末端压在压力传感器 R_1 上。当大苹果通过托盘秤时，R_1 所受的压力较大因而电阻较小，R_2 两端获得较大电压，该电压激励放大电路并保持一段时间，使电磁铁吸动分拣开关的衔铁，打开下面通道，让大苹果进入下面通道；当小苹果通过托盘秤时，R_2 两端的电压不足以激励放大电路发生吸动分拣开关衔铁的动作，分拣开关在弹簧向上弹力作用下处于水平状态，小苹果进入上面通道。若提高分拣标准，要求进入下面通道的大苹果的最小质量增大，下面操作可行的是（　　）



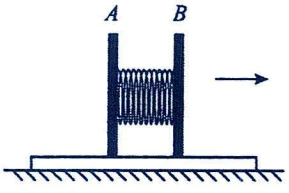
A．其他条件不变的情况下，将托盘秤压在杠杆上的位置适当向右移动一些

B．其他条件不变的情况下，适当减小 R_2 的阻值

C．其他条件不变的情况下，改变放大电路中电磁铁导线绕行的方向

D．其他条件不变的情况下，适当增大和传感器 R_1 相连接电路中的电源电动势

3．某同学制成了一种电容式加速度仪，结构如图所示。A、B 两板间连接有劲度系数为 k 的用绝缘材料制成的轻弹簧，A 板固定在运动物体上，B 板可自由运动，B 板质量为 m，电容器的带电量保持恒定，两板与电压传感器连接。物体不动时，弹簧长度为 d，电压传感器的示数为 U，当物体向右做匀加速直线运动，稳定时，电压传感器的示数为 0.8U，不计一切摩擦，则物体运动的加速度大小为（　　）



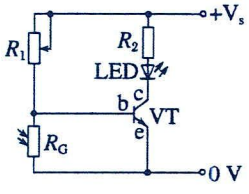
A．$\frac{kd}{5m}$　　B．$\frac{2kd}{5m}$　　C．$\frac{3kd}{5m}$　　D．$\frac{4kd}{5m}$

考点二：实验中的传感器问题

题型一：光控开关

1.实验目的：了解光控开关电路及控制原理，会组装光控开关。

2.电路如图所示。



3.工作原理：当环境光比较强时，光敏电阻 R_G 的阻值很小，三极管不导通，发光二极管或继电器所在的回路相当于断路，即发光二极管不工作；继电器处于常开状态，小灯泡 L 不亮。当环境光比较弱时，光敏电阻 R_G 的阻值变大，三极管导通，且获得足够的基极电流，产生较大的集电极电流， 点亮发光二极管或驱动继电器吸合而点亮小灯泡 L。

4.实验器材：发光二极管 LED、晶体三极管 VT、可调电阻 R_1、限流电阻 R_2、光敏电阻 R_G、集成电路实验板、直流电源、导线若干、黑纸、小灯泡 L.

5.实验步骤

(1)按照电路图连接电路，检查无误后，接通电源；

(2)让光敏电阻 R_G 受到白天较强的自然光照射，调节电阻 R_1 使发光二极管 LED 或小灯泡 L 刚好不发光；

(3)遮挡 R_G，当光照减弱到某种程度时，就会看到发光二极管 LED 或小灯泡 L 发光；

(4)让光照加强，当光照强到某种程度时，则发光二极管 LED 或小灯泡 L 熄灭。

6.注意事项

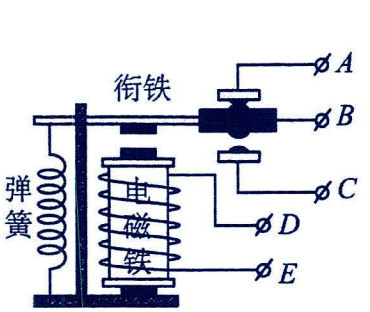
(1)安装前，对实验器材进行测试，确保各元件性能良好后，再进行安装；

(2)光控开关实验中，二极管连入电路的极性不能反接；

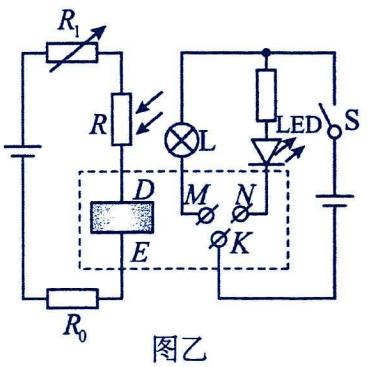
(3)如果实验现象不明显，可用手电筒加强光照，或遮盖光敏电阻，再进行观察。

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图甲所示为电磁继电器自动双向开关，当 DE 中通过的电流较小时，电磁铁磁性弱，A 与 B 接线柱接通；当 DE 中通过的电流增大到一定数值时，C 与 B 接线柱接通。图乙为应用电磁继电器和光敏电阻实现路灯自动开、关的电路图，虚线框内为电磁继电器接入电路时的符号（M、N 两接线柱分别与电磁继电器中接线柱 A 或 C 连接）。R 为光敏电阻（光敏电阻阻值随光照强度增大而减小），R_1 为可调电阻，R_0 为保护电阻。开关 S 闭合，在光线暗时对路灯 L 供电，光线亮时对路灯 L 断电并同时接通 LED。下列说法中正确的是（　　）



图甲



图乙

A．为使电路正常工作，图甲中电磁继电器的 C 接线柱应与图乙中 M 接线柱连接

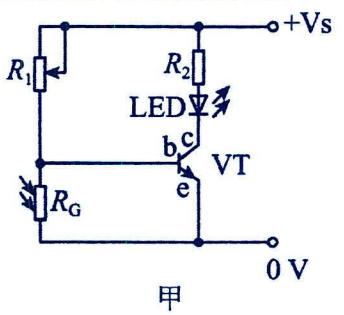
B．为更好的节能环保，天色更暗时对路灯自动供电，可将 R_1 的阻值调小

C．随着电池的使用，电池电动势降低，内阻增大，路灯在天色更（亮）时就会自动供电

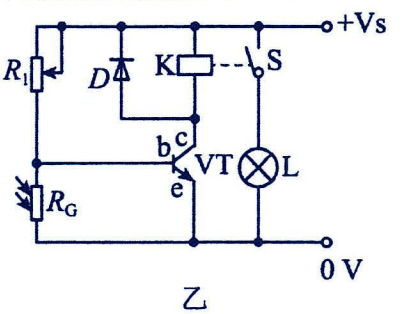
D．当 LED 出现断路故障时，电磁继电器将不能正常工作

【跟踪训练】

1．（多选题）光敏电阻完成光信号向电信号的转变，晶体三极管将电流进行放大，同时具有完成断路和接通的开关作用，发光二极管 LED 模仿路灯，电路设计如图甲。为了能够驱动更大功率的负载，需用继电器来启、闭另外的供电电路如图乙所示。下列说法正确的是（　　）



甲



乙

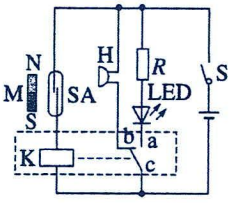
A．光较强时，光敏电阻阻值小，三极管不导通，继电器断路，处于常开状态，小灯泡 L 不亮

B．光较弱时，光敏电阻阻值变大，三极管导通，产生较大的集电极电流，点亮发光二极管或驱动继电器吸合，点亮小灯泡 L

C．为节省用电，调节 R_1 增大，天黑更晚些，电灯亮

D．为节省用电，调节 R_1 减小，天黑更晚些，电灯亮

题型二：报警器



1.实验目的：了解门窗防盗报警装置，会组装门窗防盗报警装置。

2.电路如图所示。

3.工作原理：闭合电路开关 S，系统处于防盗状态．当门窗紧闭时，磁体 M 靠近干簧管 SA，干簧管两个簧片被磁化相吸而接通继电器线圈 K，使继电器工作．继电器的动触点 c 与常开触点 a 接通，发光二极管 LED 发光，显示电路处于正常工作状态．当门窗开启时，磁体离开干簧管，干簧管失磁断开，继电器被断电．继电器的动触点 c 与常闭触点 b 接通，蜂鸣器 H 发声报警．干簧管在电路中起传感器和控制开关的作用，继电器则相当于一个自动的双向开关。

4.实验器材：干簧管 SA、继电器、发光二极管 LED、蜂鸣器 H、电源、导线若干、开关、电阻 R、小磁体。

5.实验步骤

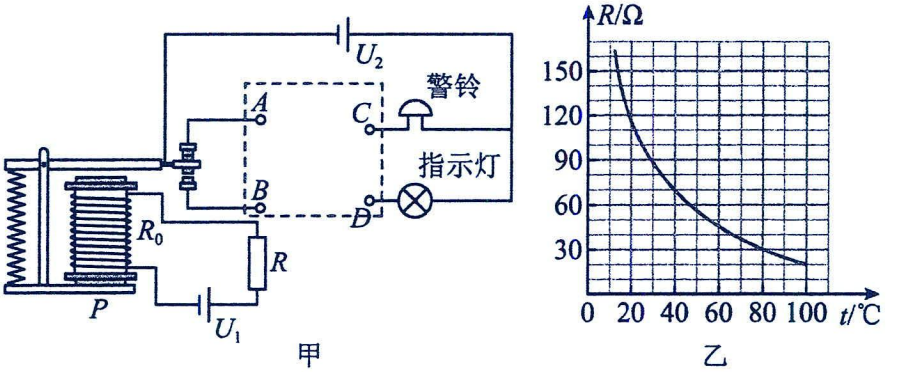
(1)连接电路前，要先判断一下干簧管是否可以正常工作．用磁体直接靠近干簧管，观察簧片能否正常工作；

(2)确定各元件可以正常工作后，按照电路图连接电路；

(3)接通电源后，将磁体靠近和离开干簧管，分别观察实验现象。

【精选例题】

【例 1】小明利用热敏电阻设计了一个“过热自动报警电路”，如图甲所示（虚线框内的连接没有画出）。将热敏电阻 R 安装在需要探测温度的地方，当环境温度正常时，继电器的上触点接触，下触点分离，指示灯亮；当环境温度超过某一值时，继电器的下触点接触，上触点分离，警铃响。图甲中继电器的供电电源 $E_1=5\text{V}$，内阻不计，继电器线圈用漆包线绕成，其电阻 $R_0=30\Omega$。当线圈中的电流大于等于 50mA 时，继电器的衔铁将被吸合，警铃响。图乙是热敏电阻的阻值随温度变化的图像。



（1）由图乙可知，当环境温度为80℃时，热敏电阻阻值为_____Ω；

（2）由图乙可知，当环境温度升高时，热敏电阻阻值将_____（选填“增大”、“减小”或“不变”），继电器的磁性将_____（选填“增强”、“减弱”或“不变”）；

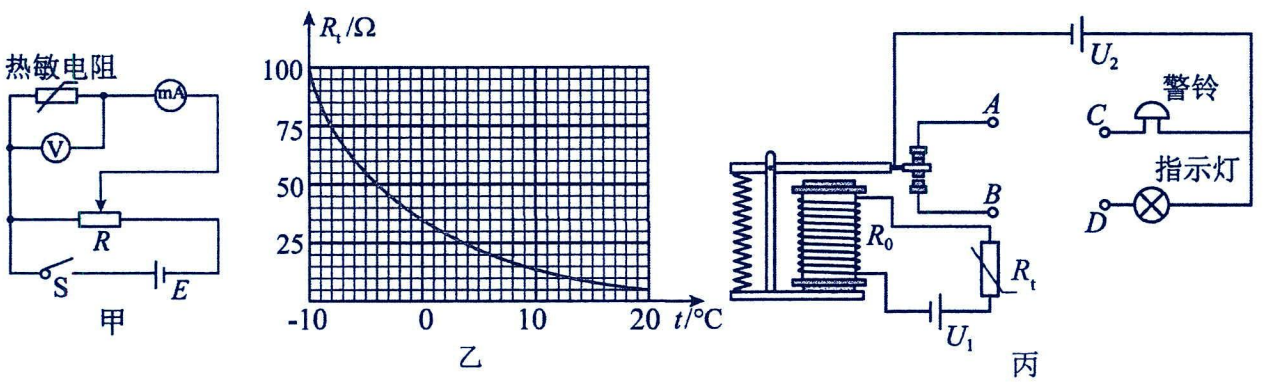
（3）图甲中指示灯的接线柱 D 应与接线柱_____相连（均选填“A”或“B”）；

（4）当环境温度大于等于_____℃时，警铃报警。

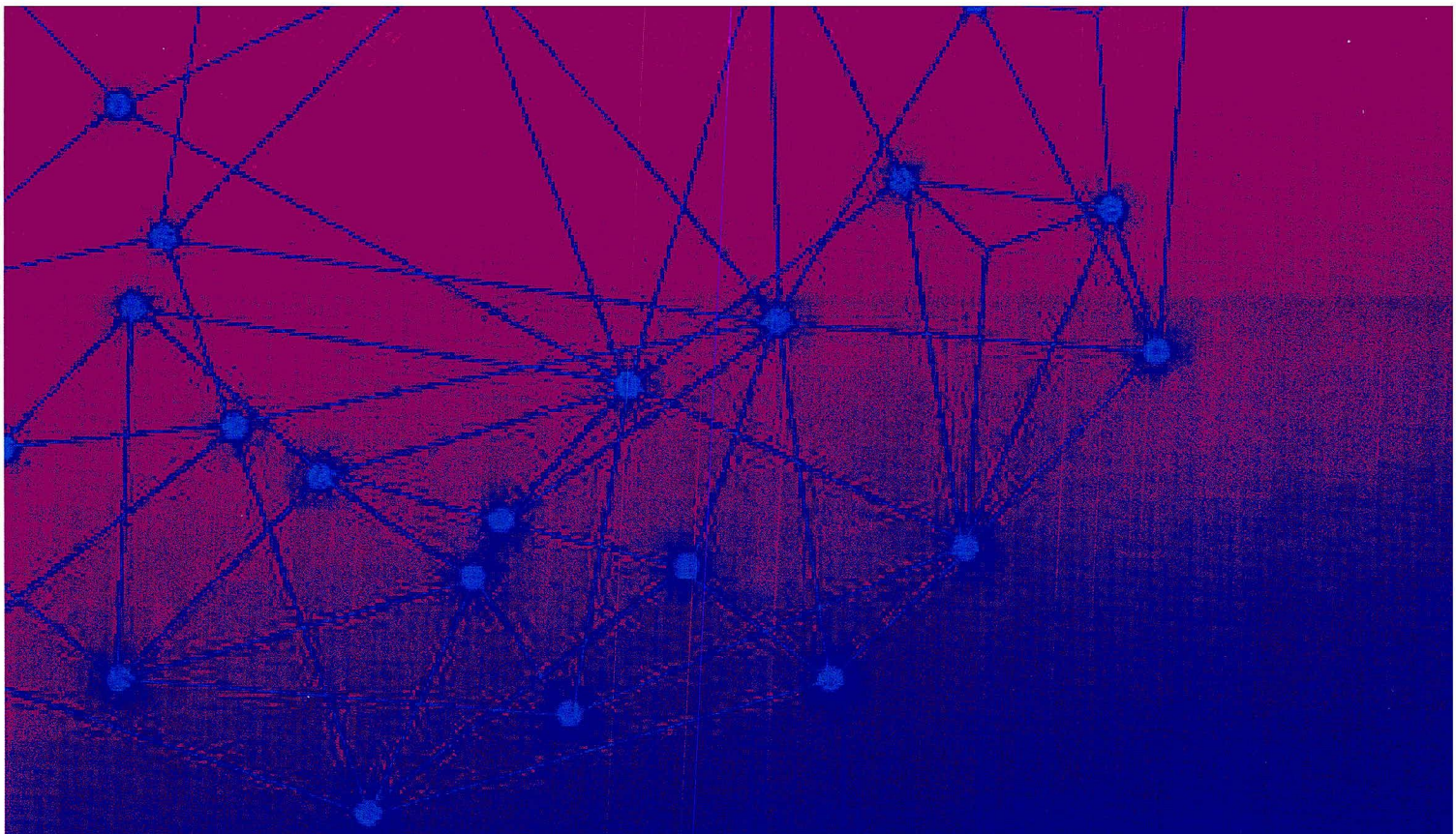
【跟踪训练】

1．在2022北京冬奥会室内赛场利用温度传感器实时监控赛场温度，温度传感器的主要部件通常是热敏电阻，某科技小组网购了一个热敏电阻，设计了一个简易的“过热自动报警电路”。

（1）科技小组采用甲图的电路图探究热敏电阻与温度间的关系。将热敏电阻置于温度控制室中，记录不同温度下电压表和毫安表的示数，计算出相应的热敏电阻阻值。若某次测量中电压表和毫安表的示数分别为1.43V和26mA，则此时热敏电阻的阻值为_____Ω（保留一位小数）。这种方法测量的热敏电阻的阻值比真实值__（填“偏大”或“偏小”）。通过多次实验描绘出热敏电阻的阻值R_t与温度t的关系如图乙所示。



（2）该科技小组设计的“过热自动报警电路”如图丙所示，电源U_1的电动势$E=1.5\text{V}$，电源内阻可忽略，继电器线圈用漆包线绕成，阻值$R_0=17\Omega$。将热敏电阻R_t安装在需要探测温度的地方，当线圈中的电流大于等于50mA时，继电器的衔铁将被吸合，警铃响起，同时指示灯熄灭。则图丙中警铃的接线柱C应与接线柱_____（填“A”或“B”）相连，指示灯的接线柱D应与接线柱_____（填“A”或“B”）相连；请计算说明，环境温度超过_____℃时，警铃响起报警；若电源有一定的内阻，则警铃报警时对应的温度将_____（填“升高”“降低”或“不变”）。



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