2021 年江苏

1. 用“中子活化”技术分析某样品的成分，中子轰击样品中的 ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ 产生 ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ 和另一种粒子 X，则 X 是 (A)

   A. 质子　　B. α 粒子　　C. β 粒子　　D. 正电子

   > 该核反应方程为 ${}^{14}_{7}\mathrm{N}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}\longrightarrow{}^{14}_{6}\mathrm{C}+{}^{1}_{1}\mathrm{H}$，可知 X 是质子。
   >
   > 故选 A。

2. 有研究发现，某神经细胞传递信号时，离子从细胞膜一侧流到另一侧形成跨膜电流，若将该细胞膜视为 $1\times10^{-8}\,\mathrm{F}$ 的电容器，在 $2\,\mathrm{ms}$ 内细胞膜两侧的电势差从 $-70\,\mathrm{mV}$ 变为 $30\,\mathrm{mV}$，则该过程中跨膜电流的平均值为 (D)

   A. $1.5\times10^{-7}\,\mathrm{A}$　　B. $2\times10^{-7}\,\mathrm{A}$　　C. $3.5\times10^{-7}\,\mathrm{A}$　　D. $5\times10^{-7}\,\mathrm{A}$

   > 根据 $Q=CU$ 可知：$\Delta Q=C\Delta U=10^{-8}\,\mathrm{F}\times(30+70)\,\mathrm{mV}=10^{-9}\,\mathrm{C}$。
   >
   > 则该过程中跨膜电流的平均值为 $I=\frac{\Delta Q}{t}=\frac{10^{-9}}{2\times10^{-3}}\,\mathrm{A}=5\times10^{-7}\,\mathrm{A}$。
   >
   > 故选 D。

3. 我国航天人发扬“两弹一星”精神砥砺前行，从“东方红一号”到“北斗”不断创造奇迹。“北斗”第 49 颗卫星的发射迈出组网的关键一步。该卫星绕地球做圆周运动，运动周期与地球自转周期相同，轨道平面与地球赤道平面成一定夹角。该卫星 (B)

   A. 运动速度大于第一宇宙速度

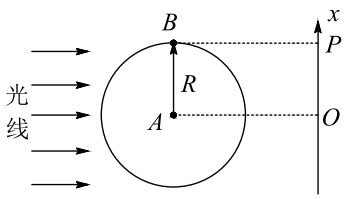
   B. 运动速度小于第一宇宙速度

   C. 轨道半径大于“静止”在赤道上空的同步卫星

   D. 轨道半径小于“静止”在赤道上空的同步卫星

   > AB．第一宇宙速度是指绕地球表面做圆周运动的速度，是环绕地球做圆周运动的所有卫星的最大环绕速度，该卫星的运转半径远大于地球的半径，可知运行线速度小于第一宇宙速度，选项 A 错误 B 正确；
   >
   > CD．根据 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 可知 $r=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$，因为该卫星的运动周期与地球自转周期相同，等于“静止”在赤道上空的同步卫星的周期，可知该卫星的轨道半径等于“静止”在赤道上空的同步卫星的轨道半径，选项 CD 错误。
   >
   > 故选 B。

4. 如图所示，半径为 R 的圆盘边缘有一钉子 B，在水平光线下，圆盘的转轴 A 和钉子 B 在右侧墙壁上形成影子 O 和 P，以 O 为原点在竖直方向上建立 x 坐标系。$t=0$ 时从图示位置沿逆时针方向匀速转动圆盘，角速度为 ω，则 P 做简谐运动的表达式为 (B)



A. $x=R\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})$　　B. $x=R\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$

C. $x=2R\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})$　　D. $x=2R\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$

由图可知，影子 P 做简谐运动的振幅为 R，以向上为正方向，设 P 的振动方程为 $x=R\sin(\omega t+\varphi)$。

由图可知，当 $t=0$ 时，P 的位移为 R，所用时间为 $t=\frac{\pi}{\omega}$。

代入振动方程解得 $\varphi=\frac{\pi}{2}$。

则 P 做简谐运动的表达式为 $x=R\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$。

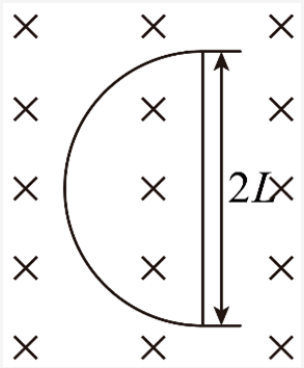
故 B 正确，ACD 错误。

故选 B。

5. 在光滑桌面上将长为 πL 的软导线两端固定，固定点的距离为 $2L$，导线通有电流 I，处于磁感应强度大小为 B、方向竖直向下的匀强磁场中，导线中的张力为 (A)

A. BIL　　B. $2BIL$　　C. πBIL　　D. $2\pi BIL$

从上向下看导线的图形如图所示。



导线的有效长度为 $2L$，则所受的安培力大小 $F=2BIL$。

设绳子的张力为 T，由几何关系可知 $T=\frac{F}{2}$。

解得 $T=BIL$。

故 A 正确，BCD 错误。

故选 A。

6. 铁丝圈上附有肥皂膜，竖直放置时，肥皂膜上的彩色条纹上疏下密，由此推测肥皂膜前后两个面的侧视形状应当是 (C)

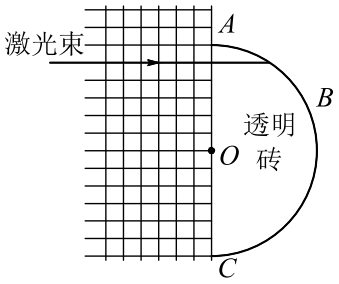


A. B. C. D.

薄膜干涉为前后两个面反射回来的光发生干涉形成干涉条纹，在复色光时，出现彩色条纹，由于重力作用，肥皂膜前后表面的厚度从上到下逐渐增大，从而使干涉条纹的间距上密下疏，由于表面张力的作用，使得肥皂膜向内凹陷，故 C 正确，ABD 错误。

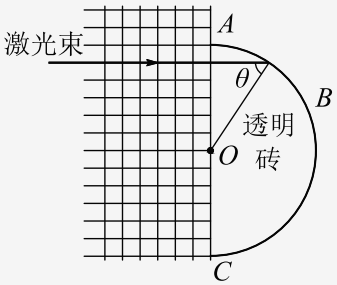
故选 C。

7. 某种材料制成的半圆形透明砖平放在方格纸上，将激光束垂直于 AC 面射入，可以看到光束从圆弧面 ABC 出射，沿 AC 方向缓慢平移该砖，在如图所示位置时，出射光束恰好消失，该材料的折射率为 (A)



A. 1.2 B. 1.4 C. 1.6 D. 1.8

画出激光束从玻璃砖射出时恰好发生全反射的入射角如图所示。



全反射的条件：$\sin\theta = \frac{1}{n}$。

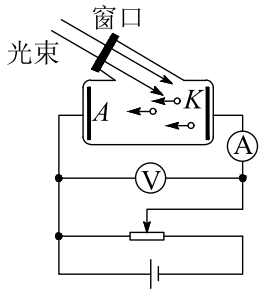
由几何关系知：$\sin\theta = \frac{5}{6}$。

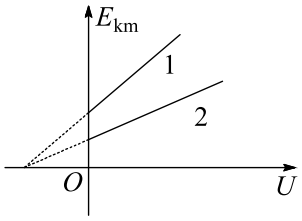
联立解得：$n = 1.2$。

故 A 正确，BCD 错误。

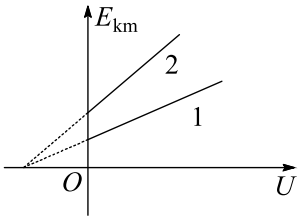
故选 A。

8. 如图所示，分别用 1、2 两种材料作 K 极进行光电效应探究，其截止频率 $\nu_1 < \nu_2$，保持入射光不变，则光电子到达 A 极时动能的最大值 E_{km} 随电压 U 变化关系的图像是 (C)

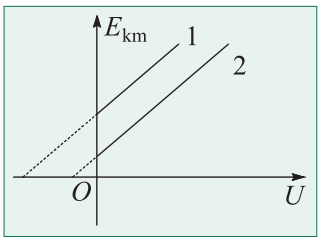




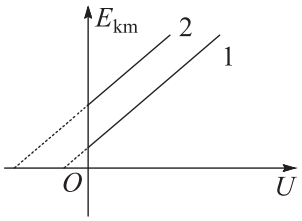
A.



B.



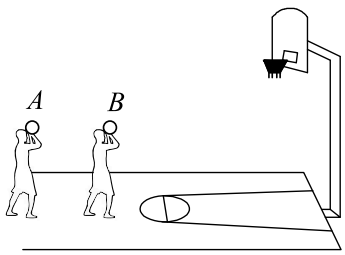
C.



D.

> 光电管所加电压为正向电压，则根据爱因斯坦光电效应方程可知光电子到达 A 极时动能的最大值
>
> $E_{km} = Ue + h\nu - h\nu_{截止}$
>
> 可知 $E_{km} - U$ 图像的斜率相同，均为 e；截止频率越大，则图像在纵轴上的截距越小，因 $\nu_1 < \nu_2$，则图像 C 正确，ABD 错误。
>
> 故选 C。

9. 如图所示，A、B 两篮球从相同高度同时抛出后直接落入篮筐，落入篮筐时的速度方向相同，下列判断正确的是 (D)



A. A 比 B 先落入篮筐

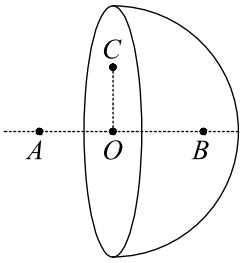
B. A、B 运动的最大高度相同

C. A 在最高点的速度比 B 在最高点的速度小

D. A、B 上升到某一相同高度时的速度方向相同

> AB．若研究两个过程的逆过程，可看做是从篮筐沿同方向斜向上的斜抛运动，落到同一高度上的 A、B 两点，则 A 上升的高度较大，高度决定时间，可知 A 运动时间较长，即 B 先落入篮筐中，AB 错误；
>
> C．因为两球抛射角相同，A 的射程较远，则 A 球的水平速度较大，即在最高点的速度比 B 在最高点的速度大，C 错误；
>
> D．由斜抛运动的对称性可知，当 A、B 上升到与篮筐相同高度时的速度方向相同，D 正确。
>
> 故选 D。

10. 一球面均匀带有正电荷，球内的电场强度处处为零，如图所示，O 为球心，A、B 为直径上的两点，$OA=OB$，现垂直于 AB 将球面均分为左右两部分，C 为截面上的一点，移去左半球面，右半球面所带电荷仍均匀分布，则 (A)



A. O、C 两点电势相等

B. A 点的电场强度大于 B 点

C. 沿直线从 A 到 B 电势先升高后降低

D. 沿直线从 A 到 B 电场强度逐渐增大

> A．由于球壳内部的场强为零，补全以后可知在右侧球壳任取一点，该点和 C 连线后过左半边球壳一点，两点对 C 的库仑力为零，即等大反向共线，将左侧沿竖直对称到右侧球面，则可以知道这两个点在 C 点的合场强水平向左，根据叠加原理可知 C 点场强向左，同理 OC 上都是水平向左，因此 OC 是等势线，故 A 正确；
>
> BD．将题中半球壳补成一个完整的球壳，且带电均匀，设左、右半球在 A 点产生的电场强度大小分别为 E_1 和 E_2；由题知，均匀带电球壳内部电场强度处处为零，则知 $E_1=E_2$，根据对称性，左右半球在 B 点产生的电场强度大小分别为 E_2 和 E_1，且 $E_1=E_2$。

在图示电场中，A 的电场强度大小为 E_2，方向向左，B 的电场强度大小为 E_1，方向向左，所以 A 点的电场强度与 B 点的电场强度相同，沿直线从 A 到 B 电场强度不可能逐渐增大，故 BD 错误；

C．根据电场的叠加原理可知，在 AB 连线上电场线方向向左，沿着电场线方向电势逐渐降低，则沿直线从 A 到 B 电势升高，故 C 错误。

故选 A。

11. 小明利用如图 1 所示的实验装置验证动量定理。将遮光条安装在滑块上，用天平测出遮光条和滑块的总质量 $M = 200.0\,\mathrm{g}$，槽码和挂钩的总质量 $m = 50.0\,\mathrm{g}$。实验时，将滑块系在绕过定滑轮悬挂有槽码的细线上。滑块由静止释放，数字计时器记录下遮光条通过光电门 1 和 2 的遮光时间 Δt_1 和 Δt_2，以及这两次开始遮光的时间间隔 Δt，用游标卡尺测出遮光条宽度，计算出滑块经过两光电门速度的变化量 Δv。

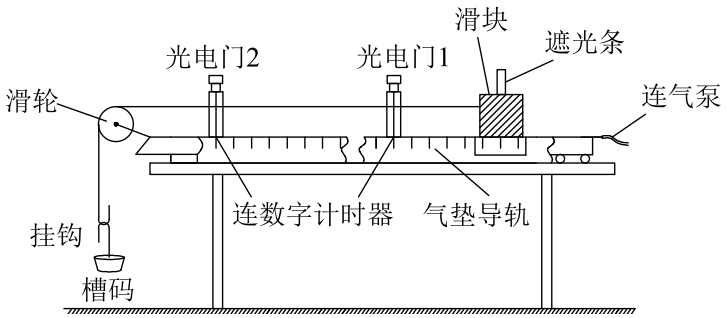


图 1

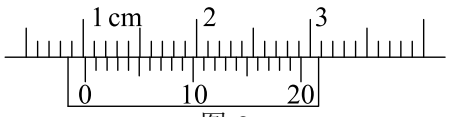


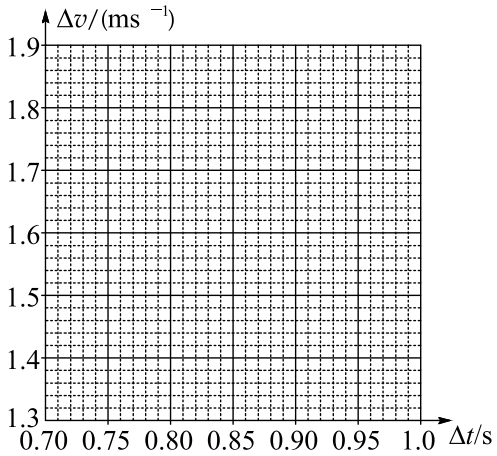
图 2

(1) 游标卡尺测量遮光条宽度如图 2 所示，其宽度 $d =$ 10.20 mm；

(2) 打开气泵，待气流稳定后调节气垫导轨，直至看到导轨上的滑块能在短时间内保持静止，其目的是 将气垫导轨调至水平；

(3) 多次改变光电门 2 的位置进行测量，得到 Δt 和 Δv 的数据如下表，请根据表中数据，在方格纸上作出 $\Delta v - \Delta t$ 图线。

$\Delta t/\,\mathrm{s}$	0.721	0.790	0.854	0.913	0.968
$\Delta v/\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$	1.38	1.52	1.64	1.75	1.86



(4) 查得当地的重力加速度 $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$，根据动量定理，$\Delta v - \Delta t$ 图线斜率的理论值为 1.96 $\mathrm{m/s^2}$；

(5) 实验结果发现，图线斜率的实验值总小于理论值，产生这一误差的两个可能原因是 BD。

A．选用的槽码质量偏小

B．细线与气垫导轨不完全平行

C．每次释放滑块的位置不同

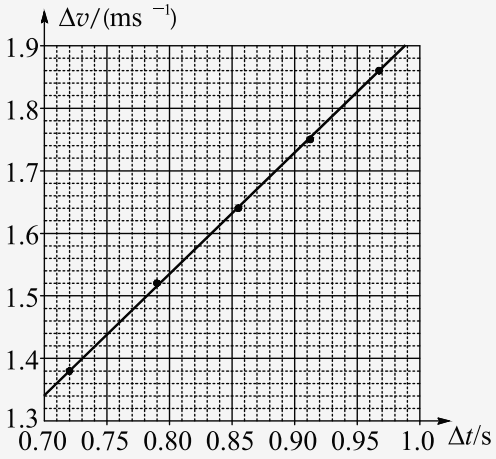
D．实验中 Δt 的测量值偏大

(1) 10.20　(2) 将气垫导轨调至水平　(3) （作图见解析）　(4) 1.96　(5) BD

（1）游标卡尺的读数为 $10\,\mathrm{mm} + 4 \times 0.05\,\mathrm{mm} = 10.20\,\mathrm{mm}$。

（2）滑块保持稳定，说明气垫导轨水平。

（3）根据表格中数据描点并用直线连接。



（4）由动量定理得 $mg\Delta t = (M+m)\Delta v$，则 $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{mg}{M+m} = \frac{0.05\times 9.80}{0.25}\,\mathrm{m/s^2} = 1.96\,\mathrm{m/s^2}$。

（5）根据动量定理 $F\Delta t = M\Delta v$ 变形得 $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{F}{M}$。

A．槽码质量偏小，而实际的槽码质量偏大，则合外力 F 偏大，所以图线斜率的实验值偏大，A 错误；

B．细线与气垫导轨不平行，滑块实际所受合外力为 F 的水平分力，所以图线斜率的实验值偏小，B 正确；

C．滑块释放的位置与斜率相关的参量无关，C 错误；

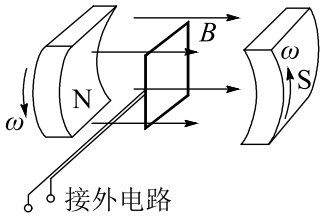
D．Δt 偏大，则 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 偏小，图线斜率偏小，D 正确。

故选 BD。

12. 贯彻新发展理念，我国风力发电发展迅猛，2020 年我国风力发电量高达 4000 亿千瓦时。某种风力发电机的原理如图所示，发电机的线圈固定，磁体在叶片驱动下绕线圈对称轴转动，已知磁体间的磁场为匀强磁场，磁感应强度的大小为 0.20 T，线圈的匝数为 100、面积为 0.5 m^2，电阻为 0.6 Ω，若磁体转动的角速度为 90 rad/s，线圈中产生的感应电流为 50 A。求：

(1) 线圈中感应电动势的有效值 E；

(2) 线圈的输出功率 P。



(1) $E = 6.4 \times 10^2\,\mathrm{V}$　(2) $P = 3.1 \times 10^4\,\mathrm{W}$

（1）电动势的最大值 $E_m = NBS\omega$。

有效值 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$。

解得 $E = \frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$。

代入数据得 $E = 6.4 \times 10^2\,\mathrm{V}$。

（2）输出电压 $U = E - Ir$。

输出功率 $P = IU$。

解得 $P = I(E - Ir)$。

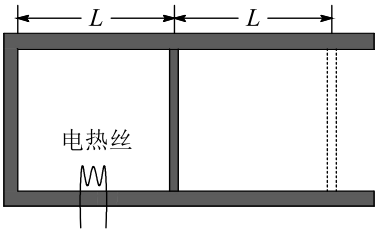
代入数据得 $P = 3.1 \times 10^4\,\mathrm{W}$。

13. 如图所示，一定质量理想气体被活塞封闭在气缸中，活塞的面积为 S，与气缸底部相距 L，气缸和活塞绝热性能良好，气体的压强、温度与外界大气相同，分别为 p_0 和 T_0。现

接通电热丝加热气体，一段时间后断开，活塞缓慢向右移动距离 L 后停止，活塞与气缸间的滑动摩擦为 f，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，整个过程中气体吸收的热量为 Q，求该过程中

(1) 内能的增加量 ΔU；

(2) 最终温度 T。



(1) $\Delta U = Q - (p_0S + f)L$　(2) $T = \frac{2(p_0S+f)}{p_0S}T_0$

（1）活塞移动时受力平衡 $p_1S = p_0S + f$。

气体对外界做功 $W = p_1SL$。

根据热力学第一定律 $\Delta U = Q - W$。

解得 $\Delta U = Q - (p_0S + f)L$。

（2）活塞发生移动前，等容过程 $\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1}$。

活塞向右移动了 L，等压过程 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T}$。

且 $V_2 = 2V_1$。

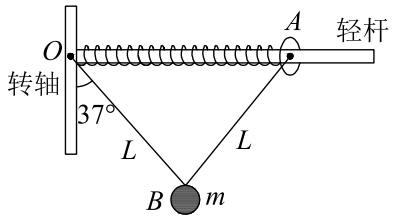
解得 $T = \frac{2(p_0S+f)}{p_0S}T_0$。

14. 如图所示的离心装置中，光滑水平轻杆固定在竖直转轴的 O 点，小圆环 A 和轻质弹簧套在轻杆上，长为 $2L$ 的细线和弹簧两端分别固定于 O 和 A，质量为 m 的小球 B 固定在细线的中点，装置静止时，细线与竖直方向的夹角为 $37°$，现将装置由静止缓慢加速转动，当细线与竖直方向的夹角增大到 $53°$ 时，A、B 间细线的拉力恰好减小到零，弹簧弹力与静止时大小相等、方向相反，重力加速度为 g，取 $\sin 37° = 0.6$，$\cos 37° = 0.8$，求：

(1) 装置静止时，弹簧弹力的大小 F；

(2) 环 A 的质量 M；

(3) 上述过程中装置对 A、B 所做的总功 W。



(1) $\frac{3mg}{8}$ (2) $\frac{9}{64}m$ (3) $\frac{31}{30}mgL$

（1）设 AB、OB 的张力分别为 F_1、F_2，A 受力平衡 $F = F_1 \sin 37°$。

B 受力平衡 $F_1 \cos 37° + F_2 \cos 37° = mg$，$F_1 \sin 37° = F_2 \sin 37°$。

解得 $F = \frac{3mg}{8}$。

（2）设装置转动的角速度为 ω，对 A 有 $F = M\omega^2 \cdot \frac{8}{5}L$。

对 B 有 $mg \tan 53° = m\omega^2 \cdot \frac{4}{5}L$。

解得 $M = \frac{9}{64}m$。

（3）B 上升的高度 $h = \frac{1}{5}L$，A、B 的动能分别为

$E_{\mathrm{kA}} = \frac{1}{2}M\left(\omega\frac{8}{5}L\right)^2$，$E_{\mathrm{kB}} = \frac{1}{2}m\left(\omega\frac{4}{5}L\right)^2$。

根据能量守恒定律可知 $W = (E_{\mathrm{kA}} - 0) + (E_{\mathrm{kB}} - 0) + mgh$。

解得 $W = \frac{31}{30}mgL$。

15. 如图 1 所示，回旋加速器的圆形匀强磁场区域以 O 点为圆心，磁感应强度大小为 B，加速电压的大小为 U、质量为 m、电荷量为 q 的粒子从 O 附近飘入加速电场，多次加速后粒子经过 P 点绕 O 做圆周运动，半径为 R，粒子在电场中的加速时间可以忽略。为将粒子引出磁场，在 P 位置安装一个“静电偏转器”，如图 2 所示，偏转器的两极板 M 和 N 厚度均匀，构成的圆弧形狭缝圆心为 Q、圆心角为 α，当 M、N 间加有电压时，狭缝中产生电场强度大小为 E 的电场，使粒子恰能通过狭缝，粒子在再次被加速前射出磁场，不计 M、N 间的距离。求：

(1) 粒子加速到 P 点所需要的时间 t；

(2) 极板 N 的最大厚度 d_m；

(3) 磁场区域的最大半径 R_m。

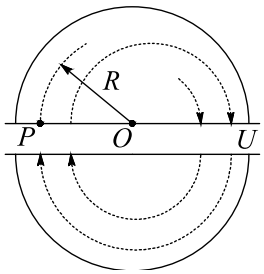


图 1

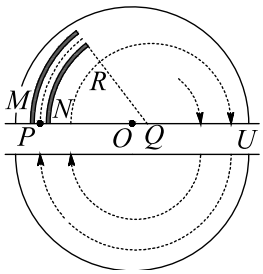


图 2

(1) $\left(\frac{qB^2R^2}{2mU}-1\right)\frac{\pi m}{qB}$ (2) $2\left(\sqrt{R^2-\frac{2mU}{qB^2}}-\sqrt{R^2-\frac{4mU}{qB^2}}\right)$ (3) $R+\frac{2mER}{qB^2R-mE}\sin\frac{\alpha}{2}$

（1）设粒子在 P 的速度大小为 v_P，则根据 $qvB=m\frac{v^2}{r}$ 可知半径表达式为 $R=\frac{mv_P}{qB}$。

根据动能定理粒子在静电场中加速有 $nqU=\frac{1}{2}mv_P^2$。

粒子在磁场中运动的周期为 $T=\frac{2\pi m}{qB}$。

粒子运动的总时间为 $t=(n-1)\times\frac{T}{2}$。

解得 $t=\left(\frac{qB^2R^2}{2mU}-1\right)\frac{\pi m}{qB}$。

（2）由粒子的运动半径 $r=\frac{mv}{qB}$，结合动能表达式 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 变形得 $r=\frac{\sqrt{2mE_k}}{qB}$。

则粒子加速到 P 前最后两个半周的运动半径为

$r_1=\frac{\sqrt{2m(E_{kP}-qU)}}{qB}$，$r_2=\frac{\sqrt{2m(E_{kP}-2qU)}}{qB}$。

由几何关系 $d_m=2(r_1-r_2)$。

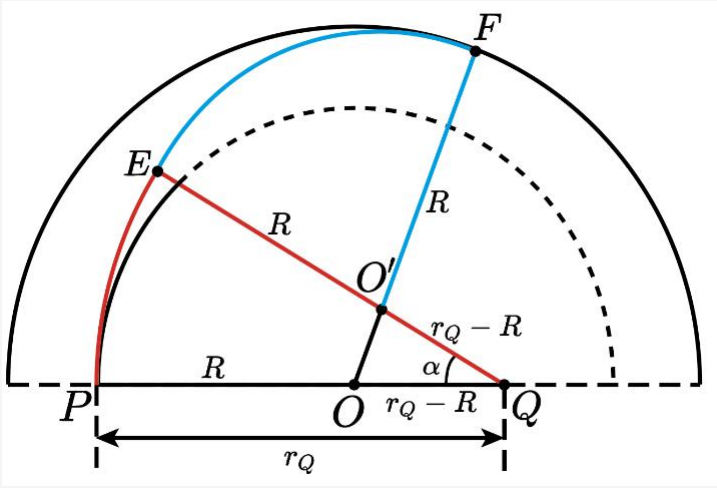
结合 $E_{kP}=\frac{(qBR)^2}{2m}$ 解得

$d_m=2\left(\sqrt{R^2-\frac{2mU}{qB^2}}-\sqrt{R^2-\frac{4mU}{qB^2}}\right)$。

（3）设粒子在偏转器中的运动半径为 r_Q，则在偏转器中，要使粒子半径变大，电场力应和洛伦兹力反向，共同提供向心力

$qv_PB-qE=m\frac{v_P^2}{r_Q}$。

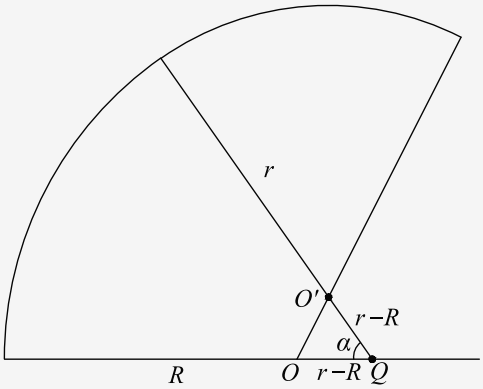
设粒子离开偏转器的点为 E，圆周运动的圆心为 O'。由题意知，O' 在 SQ 上，且粒子飞离磁场的点与 O、O' 在一条直线上。



粒子在偏转器中运动的圆心在 Q 点，从偏转器飞出，即从 E 点离开，又进入回旋加速器中的磁场，此时粒子的运动半径又变为 R，然后轨迹发生偏离，从偏转器的 F 点飞出磁场，那么磁场的最大半径即为

$R_{\mathrm{m}} = OF = R + OO'$。

将等腰三角形 $\triangle OO'Q$ 放大如图。



虚线为从 Q 点向 OO' 所引垂线，虚线平分 α 角，则

$OO' = 2(r_Q - R)$。

解得最大半径为

$R_{\mathrm{m}} = R + \frac{2mER}{qB^2R - mE} \sin\frac{\alpha}{2}$。