

1.4 质谱仪与回旋加速器

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 授课日期：2023.03.15

本课在课程标准中的表述：了解质谱仪与回旋加速器的工作原理。

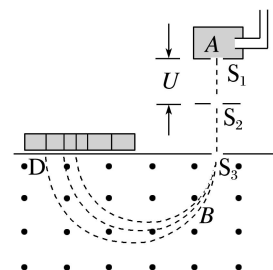
[学习目标]

- 1.知道质谱仪的构造及工作原理，会确定粒子在磁场中运动的半径，会求粒子的比荷。
- 2.知道回旋加速器的构造及工作原理，知道交流电的周期与粒子在磁场中运动的周期之间的关系，知道决定粒子最大动能的因素。

[课前预习]

一、质谱仪

1. 质谱仪构造：主要构件有加速_____、偏转_____和照相底片。
2. 运动过程(如图)



(1)带电粒子经过电压为 U 的加速电场加速， $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 。

(2)垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中，做匀速圆周运动， $r = \frac{mv}{qB}$ ，可得 $r =$ _____

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_____。

二、回旋加速器

1. 回旋加速器的构造：两个 D 形盒，两 D 形盒接_____流电源， D 形盒处于垂直于 D 形盒的匀强_____中，如图。

2. 工作原理

(1)电场的特点及作用

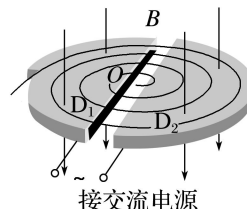
特点：两个 D 形盒之间的窄缝区域存在_____的电场。

作用：带电粒子经过该区域时被_____。

(2)磁场的特点及作用

特点： D 形盒处于与盒面垂直的_____磁场中。

作用：带电粒子在洛伦兹力作用下做_____运动，从而改变运动_____，_____圆周后再次进入电场。



即学即用

判断下列说法的正误。

- (1)质谱仪工作时，在电场和磁场确定的情况下，同一带电粒子在磁场中的半径相同。()
- (2)因不同原子的质量不同，所以同位素在同一质谱仪中的轨迹半径不同。()
- (3)利用回旋加速器加速带电粒子，要提高加速粒子的最终速度，应尽可能增大磁感应强度 B 和 D 形盒的半径 R 。()
- (4)增大两 D 形盒间的电压，可以增大带电粒子所获得的最大动能。()

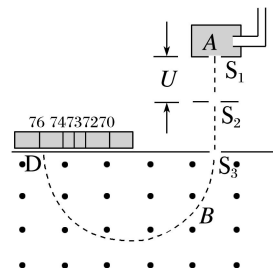
【课堂学习】

一、质谱仪

【导学探究】

如图所示为质谱仪原理示意图. 设粒子质量为 m 、电荷量为 q , 加速电场电压为 U , 偏转磁场的磁感应强度为 B , 粒子从容器 A 下方的小孔 S_1 飘入加速电场, 其初速度几乎为 0. 则粒子进入磁场时的速度是多大?

打在底片上的位置到 S_3 的距离多大?



【知识深化】

1. 带电粒子运动分析

(1) 加速电场加速: 根据动能定理, $\underline{\hspace{2cm}} = \frac{1}{2}mv^2$.

(2) 匀强磁场偏转: 洛伦兹力提供向心力, $\underline{\hspace{2cm}}$.

(3) 结论: $r = \underline{\hspace{2cm}}$, 测出半径 r , 可以算出粒子的 $\underline{\hspace{2cm}}$.

2. 质谱仪区分同位素: 由 $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 和 $qvB = m\frac{v^2}{r}$ 可求得 $r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$. 同位素电荷量 q $\underline{\hspace{2cm}}$, 质量 $\underline{\hspace{2cm}}$,

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.

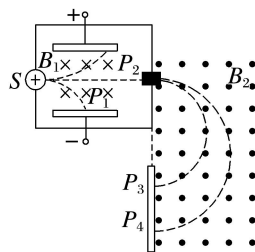
【例 1】如图所示为质谱仪测定带电粒子质量的装置的示意图. 速度选择器(也称滤速器)中电场强度 E 的方向竖直向下, 磁感应强度 B_1 的方向垂直纸面向里, 分离器中磁感应强度 B_2 的方向垂直纸面向外. 在 S 处有甲、乙、丙、丁四个一价正离子垂直于 E 和 B_1 入射到速度选择器中, 若 $m_{\text{甲}} = m_{\text{乙}} < m_{\text{丙}} = m_{\text{丁}}$, $v_{\text{甲}} < v_{\text{乙}} = v_{\text{丙}} < v_{\text{丁}}$, 在不计重力的情况下, 则打在 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 四点的离子分别是()

A. 甲乙丙丁

B. 甲丁乙丙

B. 丙丁乙甲

D. 甲乙丁丙

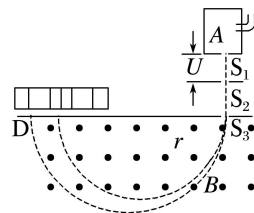


针对训练: 如图所示为质谱仪的示意图, 在容器 A 中存在若干种电荷量相同而质量不同的带电粒子, 它们可从容器 A 下方的小孔 S_1 飘入电势差为 U 的加速电场, 它们的初速度几乎为 0, 然后经过 S_3 沿着与磁场垂直的方向进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 最后打到照相底片 D 上. 若这些粒子中有两种电荷量均为 q 、质量分别为 m_1 和 m_2 的粒子($m_1 < m_2$).

(1) 分别求出两种粒子进入磁场时的速度 v_1 、 v_2 的大小;

(2) 求这两种粒子在磁场中运动的轨道半径之比;

(3) 求两种粒子打到照相底片上的位置间的距离.

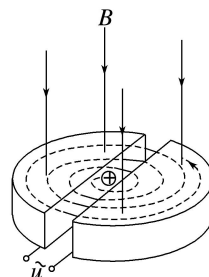


二、回旋加速器

【导学探究】 回旋加速器两 D 形盒之间有窄缝, 中心附近放置粒子源(如质子、氘核或 α 粒子源), D 形盒间接上交流电源, 在狭缝中形成一个交变电场. D 形盒上有垂直盒面的匀强磁场(如图所示).

(1)回旋加速器中磁场和电场分别起什么作用? 对交流电源的周期有什么要求? 在一个周期内加速几次?

(2)带电粒子获得的最大动能由哪些因素决定? 如何提高粒子的最大动能?



【知识深化】

1. 粒子被加速的条件: _____

2. 粒子最终的能量

粒子速度最大时的半径等于_____, 即 $r_m = \underline{\hspace{1cm}}$, $r_m = \underline{\hspace{1cm}}$, 则粒子的最大动能 $E_{km} = \underline{\hspace{1cm}}$.

3. 提高粒子的最终能量的措施: 由 $E_{km} = \underline{\hspace{1cm}}$ 可知, 应增大_____和_____.

4. 粒子被加速次数的计算: 粒子在回旋加速器中被加速的次数 $n = \underline{\hspace{1cm}}$.

5. 粒子在回旋加速器中运动的时间: 在电场中运动的时间为 t_1 , 在磁场中运动的时间为 $t_2 = \underline{\hspace{1cm}}$ --(n 为加速次数), 总时间为 $t = t_1 + t_2$, 因为 $t_1 \ll t_2$, 一般认为在盒内的时间近似等于 t_2 .

【例 2】回旋加速器利用磁场和电场使带电粒子做回旋运动, 经过多次加速, 粒子最终从 D 形盒边缘引出, 成为高能粒子. 若 D 形盒中磁场的磁感应强度大小为 B , D 形盒缝隙间电场变化周期为 T , 加速电压为 U . D 形盒的半径为 R , 则下列判断正确的是()

①被加速粒子的比荷为 $\frac{2\pi}{TB}$ ②被加速粒子获得的最大速度为 $\frac{2\pi R}{T}$

③粒子被加速的次数为 $\frac{2\pi BR^2}{TU}$

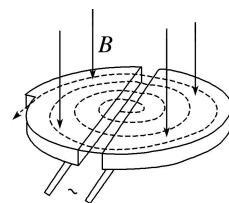
④粒子获得的最大动能会随着加速电压的变化而变化

A. ①②

B. ②③

B. C. ③④

D. ①④



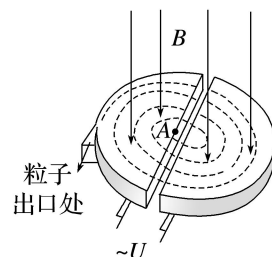
【例 3】回旋加速器工作原理示意图如图所示, 磁感应强度为 B 的匀强磁场与盒面垂直, 两盒间的狭缝很小, 粒子穿过的时间可忽略, 它们接在电压为 U 、频率为 f 的交流电源上, 若 A 处粒子源产生的质子在加速器中被加速, 下列说法正确的是()

A. 若只增大交流电压 U , 则质子获得的最大动能增大

B. 若只增大交流电压 U , 则质子在回旋加速器中运行时间会变短

C. 用同一回旋加速器可以同时加速质子(${}^1_1\text{H}$)和氘核(${}^2_1\text{H}$)

D. 若磁感应强度 B 增大, 交流电频率 f 必须适当减小才能正常工作



【课后作业】 完成课后作业

【课后感悟】 _____