

1.4 质谱仪与回旋加速器

班级_____ 姓名_____ 小组_____

【学习目标】

- 1.了解质谱仪和回旋加速器的工作原理。
- 2.经历质谱仪工作原理的推理过程，体会逻辑推理的思维方法。了解回旋加速器面临的技术难题，体会科学与技术之间的相互影响。

【学习重难点】

- 1、教学重点：质谱仪与回旋加速器的工作原理
- 2、教学难点：如何分离不同的带电粒子以及如何获得高能粒子

【新课教学】

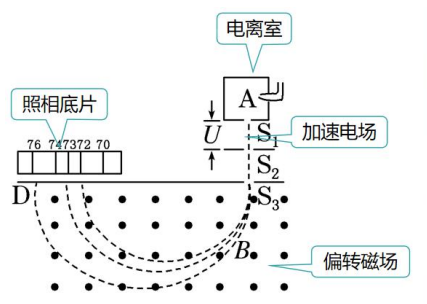
任务一、质谱仪

（一）质谱仪的结构

电离室：

偏转磁场：

照相底片：



（二）质谱仪的原理

你能根据所学知识解释一下质谱仪的工作原理吗？

质谱仪还可以完成其他实验任务吗？

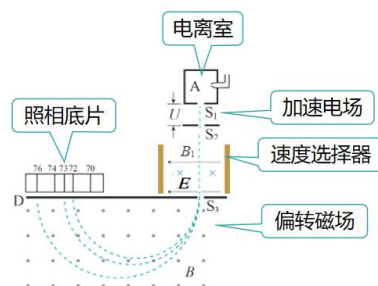
（三）质谱仪的作用

质谱仪还可以计算粒子的质量，其原理是：

若粒子初速度不为零，上述结论是否还成立，如何克服这一问题带来的困难？

（四）质谱仪的改进

观察改进后质谱仪的结构，这样的设计有什么优点？



（五）典例探究

【例1】 如图为质谱仪原理示意图，电荷量为 q 、质量为 m 的带正电的粒子从静止开始经过电压为 U 的加速电场后进入粒子速度选择器。选择器中存在相互垂直的匀强电场和匀强磁场，匀强电场的场强为 E 方向水平向右。已知带电粒子能够沿直线穿过速度选择器，从 G 点垂直 MN 进入偏转磁场，该偏转磁场是一个以直线 MN 为边界、方向垂直纸面向外的匀强磁场。带电粒子经偏转磁场后，最终到达照相底片的 H 点。可测量出 G 、 H 间的距离为 L ，带电粒子的重力可忽略不计。求：

(1)粒子从加速电场射出时速度 v 的大小；

(2)粒子速度选择器中匀强磁场的磁感应

强度 B_1 的大小和方向；

(3) 偏转磁场的磁感应强度 B_2 的大小。

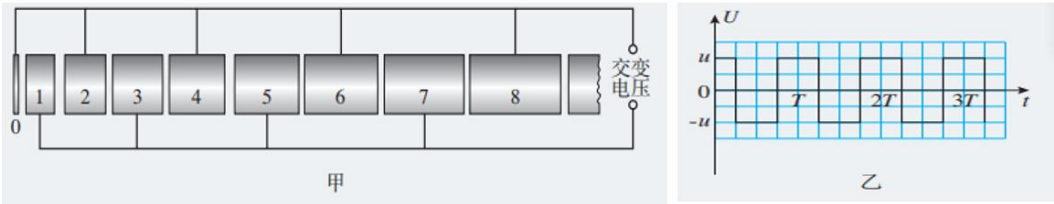
任务二、回旋加速器

(一) 问题引出

要认识原子核内部的情况，必须把核“打开”进行“观察”。然而，原子核被强大的核力约束，只有用极高能量的粒子作为“炮弹”去轰击，才能把它“打开”。如何产生极高能量的粒子？

还记得必修三中学过的直线加速器吗，他的工作原理是怎样的，它有什么弊端？

(二) 直线加速器



直线加速器占有的空间范围大，在有限的空间范围内制造直线加速器受到一定的限制。有没有什么办法改进？

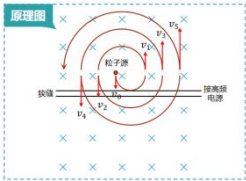
(三) 回旋加速器

1932 年美国物理学家劳伦斯发明了回旋加速器，实现了在较小的空间范围内进行多级加速。观察结构，并尝试说明其工作原理？



工作原理：

回旋加速器要如何设置才能保证电荷被加速？



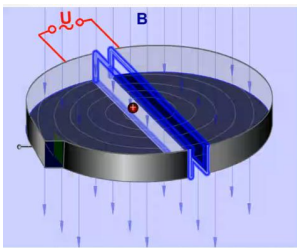
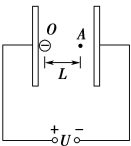
加速条件

粒子加速后的最大速度或最大能量是多少，它们由什么因素决定？跟电压大小有粒子最大动能：

带电粒子加速后速度增大,周期需要改变吗?如果改变，这将带来什么技术难关，如何改进？

课堂训练

1. 两平行金属板相距为 d ，电势差为 U ，一电子质量为 m ，电荷量为 e ，从 O 点沿垂直于极板的方向射入，最远到达 A 点，然后返回，如图所示， $OA = L$ ，则此电子具有的初动能是()



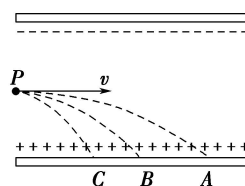
关

你觉得

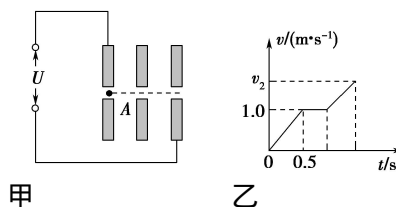
A. $\frac{edL}{U}$ B. $edUL$ C. $\frac{eU}{dL}$ D. $\frac{eUL}{d}$

2. 如图所示，有三个质量相等，分别带正电、负电和不带电的小球，从平行板电场左端的中点 P 以相同的初速度沿水平方向垂直于电场方向进入电场，它们分别落在 A 、 B 、 C 三点，可以判断()

- A. 小球 A 带正电， B 不带电， C 带负电
B. 三个小球在电场中运动时间相等
C. 三个小球到达极板时的动能 $E_{kA} > E_{kB} > E_{kC}$
D. 三个小球在电场中运动的加速度 $a_A > a_B > a_C$

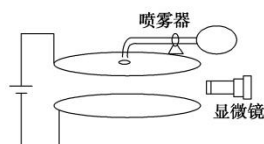


3. (多选)如图甲所示，三个相同的金属板共轴排列，它们的距离与宽度均相同，轴线上开有小孔，在左边和右边两个金属板上加电压 U 后，金属板间就形成匀强电场；有一个比荷 $\frac{q}{m} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ C/kg}$ 的带正电的粒子从左边金属板小孔轴线 A 处由静止释放，在电场力作用下沿小孔轴线射出(不计粒子重力)，其 $v-t$ 图像如图乙所示，则下列说法正确的是()



- A. 右侧金属板接电源的正极
B. 所加电压 $U = 100 \text{ V}$
C. 乙图中的 $v_2 = 2 \text{ m/s}$
D. 通过极板间隙所用时间比为 $1 : (\sqrt{2} - 1)$

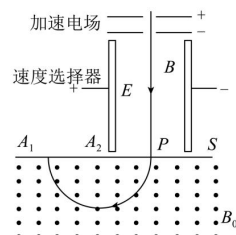
4. (新情境题，以“测油滴带电荷量”为背景，考查带电粒子在电场中加速)如图所示，两块水平放置的平行金属板与电源连接，上、下板分别带正、负电荷。油滴从喷雾器喷出后，由于摩擦而带负电，油滴进入上板中央小孔后落到匀强电场中，通过显微镜可以观察到油滴的运动情况。



两金属板间的距离为 d ，忽略空气对油滴的浮力和阻力。若油滴进入电场时的速度可以忽略，当两金属板间的电势差为 U 时，观察到某个质量为 m 的油滴进入电场后做匀加速运动，经过时间 t 运动到下极板。求该油滴所带电荷量。

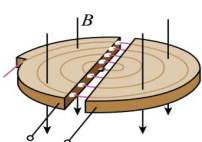
课后练习

1. 如图所示是质谱仪的工作原理示意图。带电粒子被加速电场加速后，进入速度选择器。速度选择器内相互正交的匀强磁场和匀强电场的强度分别为 B 和 E 。平板 S 上有可让粒子通过的狭缝 P 和记录粒子位置的胶片 A_1A_2 平板 S 下方有强度为 B_0 的匀强磁场。下列表述正确的是()



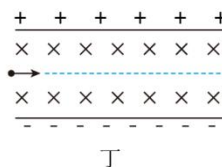
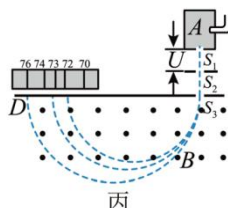
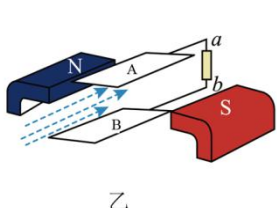
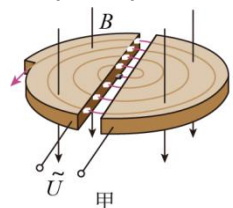
- A. 速度选择器中的磁场方向垂直纸面向里
B. 质谱仪是分析同位素的重要工具
C. 能通过狭缝 P 的带电粒子的速率等于 $\frac{B}{E}$
D. 粒子打在胶片上的位置越靠近狭缝 P ，粒子的荷质比越小

2. (多选) I 如图是回旋加速器的结构示意图，主要由两个半圆形的中空铜 D 形盒构成，两盒间留有一狭缝，置于真空中。匀强磁场 B 垂直穿过盒面，由高频振荡器产生的交变电压加在两盒间的狭缝处。关于回旋加速器，下列说法正确的是()

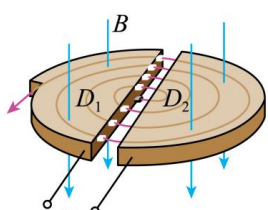


- A. 图中两 D 形盒内所加磁场使粒子发生偏转
- B. 图中两 D 形盒间所加电场使粒子发生偏转
- C. 粒子在磁场中的运动周期随粒子速度的增大而减小
- D. 图中 D 形盒的半径越大，同一粒子最终获得的动能越大

3. (多选) 下列装置中都涉及到磁场的具体应用，关于这些装置的说法正确的是 ()



- A. 甲图为回旋加速器，粒子可以从磁场中获得能量
- B. 乙图为磁流体发电机，可判断出 A、B 极板的正对面积越大两极板间的电势差越大
- C. 丙图为质谱仪，打到照相底片 D 点的带电粒子距离射入点 S_0 越远，粒子比荷越小
- D. 丁图为速度选择器，电子和质子的速度符合要求时均可以从左侧沿直线运动到右侧



4. (多选) 回旋加速器是加速带电粒子的装置，其核心部分是分别与高频交流电极相连接的两个 D 形金属盒，两盒间的狭缝中有周期性变化的电场，使粒子在通过狭缝时都能得到加速，两个 D 形金属盒处于垂直于盒底的匀强磁场中，如图所示，下列说法正确的是 ()

- A. 仅增大狭缝间的加速电压，则同一粒子射出加速器时的速度大小不变
- B. 仅增大磁场的磁感应强度且使电场变化周期与粒子做圆周运动周期相同，则同一粒子射出加速器时的动能增大

- C. 仅增大 D 形金属盒的半径，则同一粒子射出加速器时的速度不变
- D. 比荷不同的粒子也可用同一加速器进行加速

5. 某型号的回旋加速器的工作原理如图甲所示，图乙为其结构简图（俯视图）。回旋加速器的核心部分为两个 D 形盒，分别为 D_1 、 D_2 。D 形盒装在真空容器里，整个装置放在巨大的匀强磁场中，且磁场与 D 形盒底面垂直。已知两盒间的狭缝很小，带电粒子穿过狭缝的时间可以忽略，D 形盒的半径为 R ，磁场的磁感应强度大小为 B 。若质子从粒子源 O 处进入加速电场的初速度不计，质子的质量为 m 、电荷量为 $+q$ ；加速器接入一定频率的高频交变电压，加速电压为 U ，不考虑相对论效应和重力作用。求：

- (1) 质子第一次经过狭缝被加速后进入 D 形盒时的轨道半径大小 r_1 和第四次经过狭缝加速后进入 D 形盒的轨道半径大小 r_2 之比
- (2) 质子被加速后获得的最大动能 E_{km} 。

答案：1.B 2.AD 3.CD 4.AB 5. (1) $\frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$, $\frac{1}{2}$; (2) $\frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$