

# 第 2 章

DI'ER ZHANG

## 原子结构

### 第 1、2 节



### 电子的发现与汤姆孙模型

### 原子的核式结构模型

书本：第22页

## 一、物质结构的早期探究

1. 早期，人们认为分子是发生化学反映的最小微粒，物质的化学性质由分子决定，而分子由原子构成，原子是构成物质的不可再分割的最小微粒。——错误

## 2. 电子的发现 —— 汤姆孙

(1) 19世纪后半叶，科学家在研究稀薄气体放电时，发现了阴极射线。 △

(2) 汤姆孙通过实验测出了阴极射线粒子的速度及比荷。

$$\frac{q}{m} = 10^{11} \text{ C/kg}$$



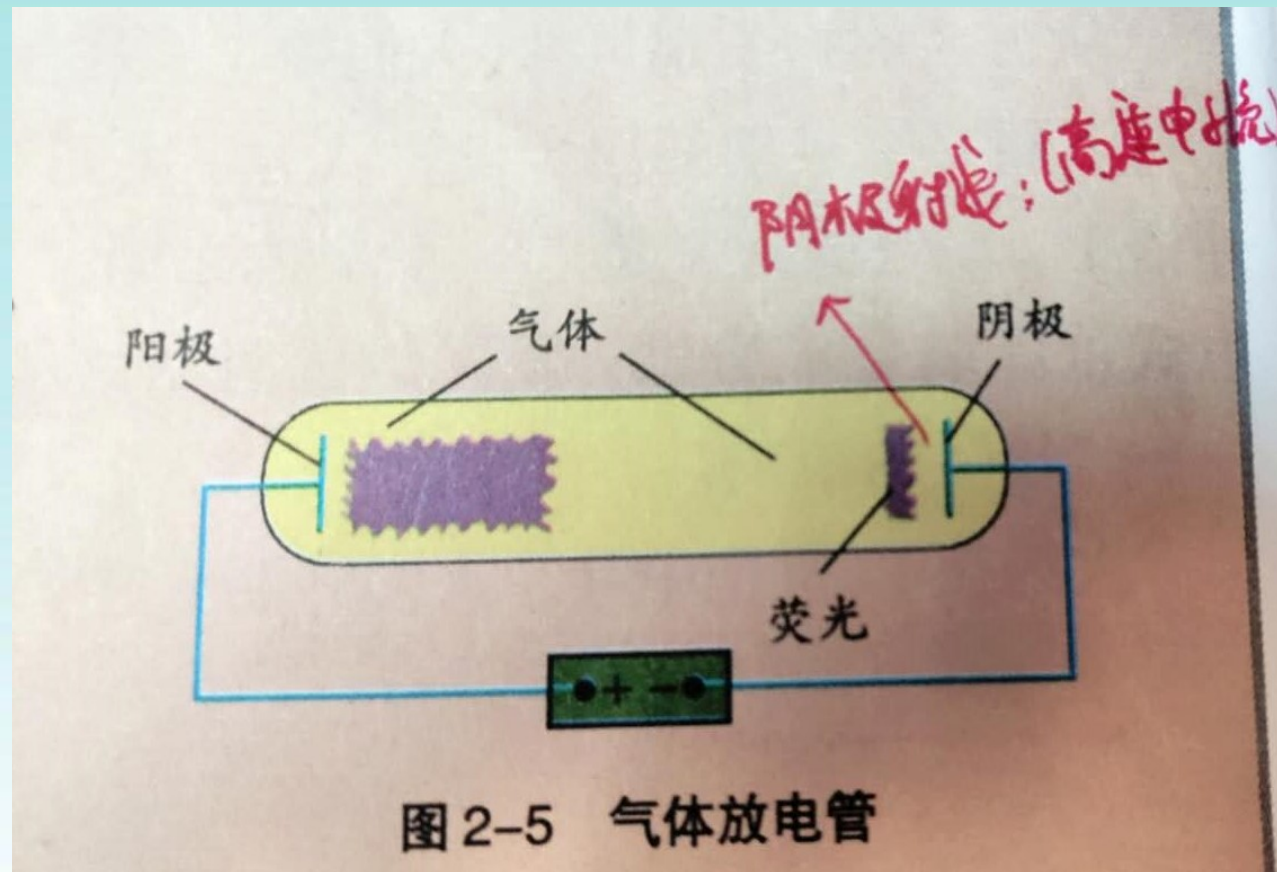
3.用汤姆孙气体放电管测

(3) 汤姆孙测出粒子电荷与氢离子同，但电性与氢离子相反，且质量约为氢离子质量的  $\frac{1}{1800}$ 。

(4) 汤姆孙把这种粒子命名为“电子”。阴极射线——高速电子流



阴极射线：科学家在研究稀薄气体放电时发现，当玻璃管内的气体足够稀薄时，阴极发出一种射线，这种射线能使玻璃管壁发出荧光，这种射线称为阴极射线。



当在放电管两极加上电压时，充入的气体就导电、发光、发热





## 微观世界的三大发现

19世纪末，X射线、放射性和电子的发现揭开了研究微观世界的序幕，被称为微观世界的三大发现。

X射线的发现应该归功于伦琴。1895年，他在进行阴极射线实验时，发现在距离放电管较远的荧光屏上出现荧光，伦琴将这种具有很强穿透力的未知射线称为X射线。接着，他发表了题为《论新的射线》的论文，并公布了他妻子手骨的X射线照片，在世界上引起轰动。X射线首先应用于人体透视，为医学诊断提供了有力的手段。人类从此迈入了微观世界之门。伦琴由此获得了首届诺贝尔物理学奖。



图2-7 伦琴——X射线

X射线发现后不久，法国科学家贝可勒尔通过实验发现铀盐能自发辐射出一种使底片感光的射线，这就是铀的天然放射现象。此后，皮埃尔·居里夫妇从沥青铀矿渣和钡盐中分别提取了放射性更强的钋和镭。放射现象的发现进一步揭开了微观世界的奥秘。

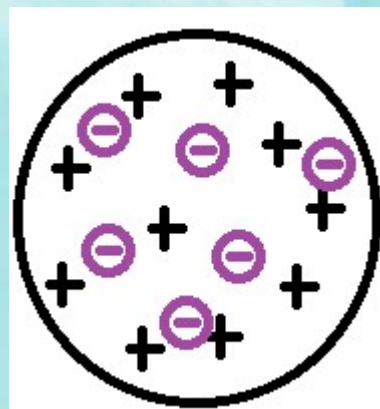
英国物理学家汤姆孙在研究阴极射线本质时，发现了电子的存在。他通过实验证明，阴极射线是带负电的粒子流，并测定了它的比荷和速率。1897年，汤姆孙在《阴极射线》的论文中指出，电子是一切原子所共有的组成成分。此后，汤姆孙直接测定了电子的电荷和质量。电子是人类认识的第一种微观粒子。

三大发现激励着人们不断探索原子的内部结构，预示着人类开始了“分裂原子”的探索。

## 二、原子结构（三种模型）

（枣糕式）

### 1. 汤姆孙的葡萄干面包模型：

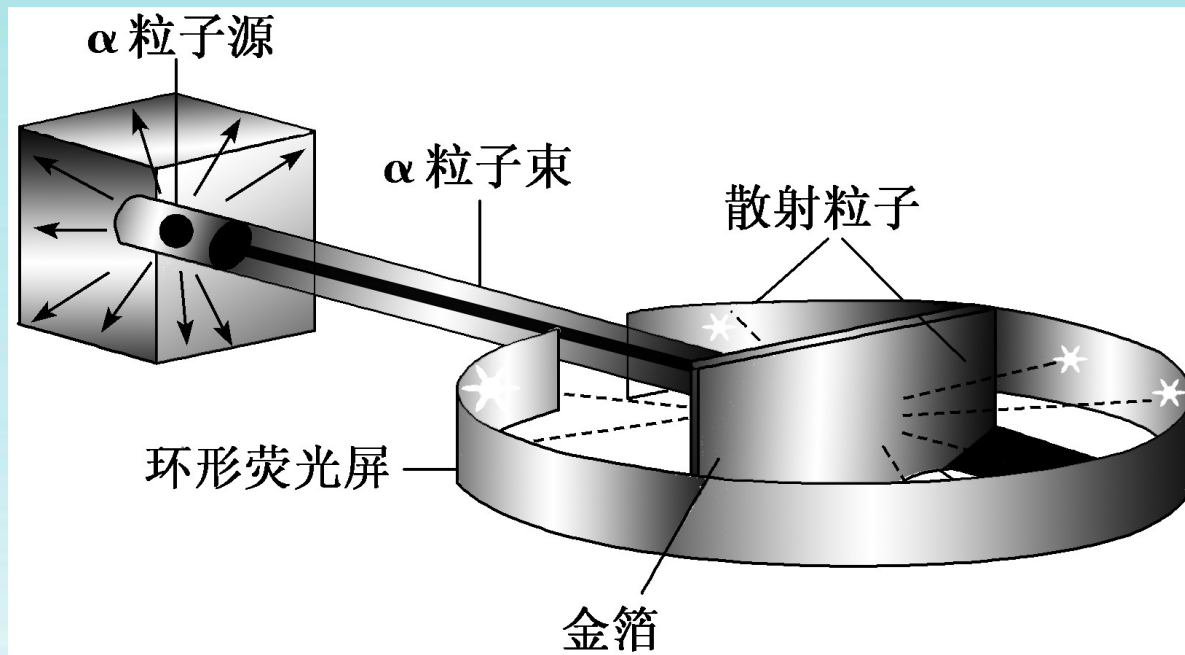


原子带正电的部分均匀充斥整个原子，电子象葡萄干嵌在面包中那样镶嵌在球体上，电子带的负电被原子内带正电的抵消，整个原子呈电中性。

—— 此模型是错误的

总结：该模型能解释一些实验事实（例：整个原子呈电中性）  
但无法解释 $\alpha$ 粒子散射实验。

# $\alpha$ 粒子散射实验





实验现象：

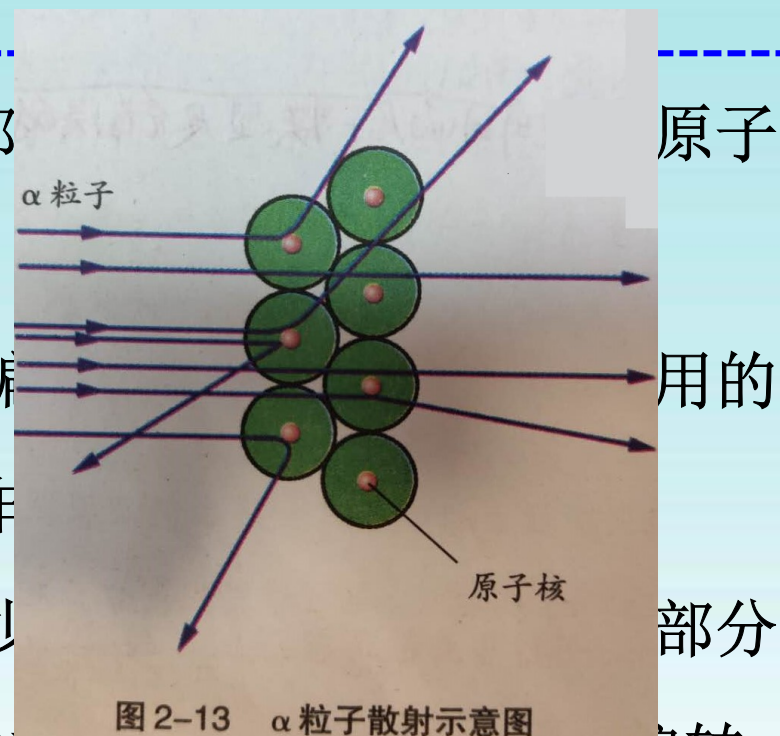
绝大多数的 $\alpha$ 粒子穿过金箔后不改变方向  
少数的 $\alpha$ 粒子发生较大的偏转  
极少数的 $\alpha$ 粒子偏转角超过 $90^\circ$ ，有的甚至被原路弹回

探寻规律：

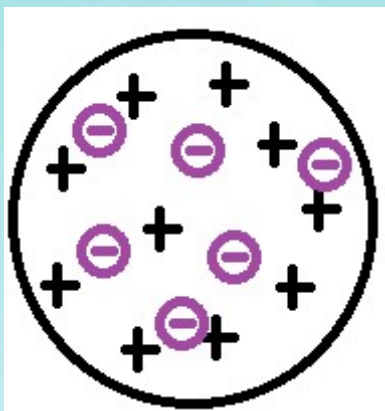
(1) $\alpha$  粒子散射实验中，绝大部分内部绝大部分是空的。

(2)有少数  $\alpha$  粒子发生大角度偏转，而是原子中质量大的部分作

(3)大角度偏转的  $\alpha$  粒子数很少，体积很小，只有少数  $\alpha$  粒子接近这部分时，才发生大角度偏转。

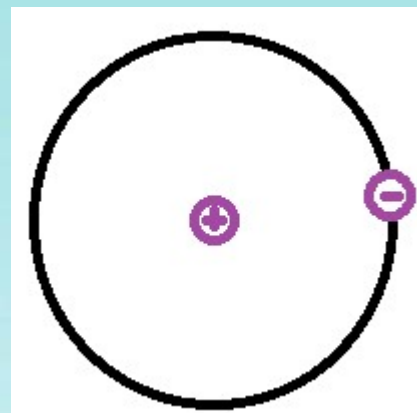


## 汤姆孙葡萄干面包模型



## 卢瑟福原子核式结构模型

——行星模型

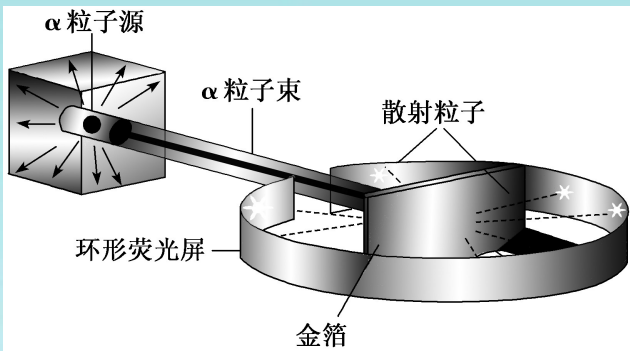


原子内部有一个很小的核，叫原子核，原子全部的正电荷以及几乎全部的质量都集中在原子核内，带负电的电子绕核高速旋转。——可以很好解释  $\alpha$  粒子散射实验



## 2. 卢瑟福的原子核式结构模型：

### (1) $\alpha$ 粒子散射实验：

装置	
现象	<u>绝大多数</u> $\alpha$ 粒子穿过金箔后不改变方向
	<u>少数</u> $\alpha$ 粒子发生较大的偏转
	<u>极少数</u> $\alpha$ 粒子偏转角超过 $90^\circ$ ，有的甚至被原路弹回
原因	靠近原子核的 $\alpha$ 粒子受 <u>库仑力</u> 作用使其发生了大角度偏转
结论	原子中存在体积 <u>很小</u> 的 <u>带正电</u> 的部分，几乎集中了原子全部质量

## (2) 原子核式结构模型：——行星模型

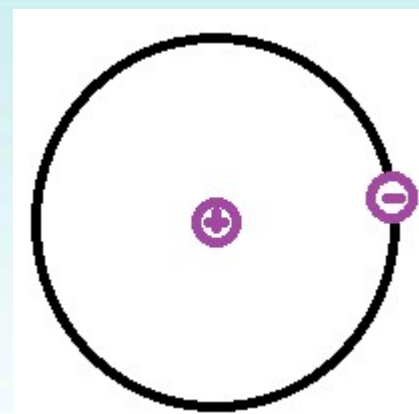
①内容：原子内部有一个很小的核，叫原子核，原子全部的正电荷以及几乎全部的质量都集中在原子核内，带负电的电子绕核高速旋转。

②该模型能成功解释了  $\alpha$  散射实验，但无法解释原子的稳定性与原子光谱的分立特征。

③据该模型可计算出原子核直径应在  $10^{-14}\text{m}$  以下。

（实际：原子核直径数量级约为  $10^{-15}\text{m}$ ）

原子直径数量级约为  $10^{-10}\text{m}$ ）



(2) 卢瑟福的原子模型是如何解释  $\alpha$  粒子散射实验结果的？

**提示：**  $\alpha$  粒子穿过原子时，如果离核较远，受到的库仑斥力很小，运动方向也改变很小。只有当  $\alpha$  粒子十分接近核时，才受到很大的库仑斥力，发生大角度的偏转。由于核很小， $\alpha$  粒子十分接近的机会很小，所以绝大多数  $\alpha$  粒子基本上仍沿原方向前进，只有极少数发生大角度偏转。

### 考点一

## 阴极射线的研究

### 通知识

#### 1. 阴极射线

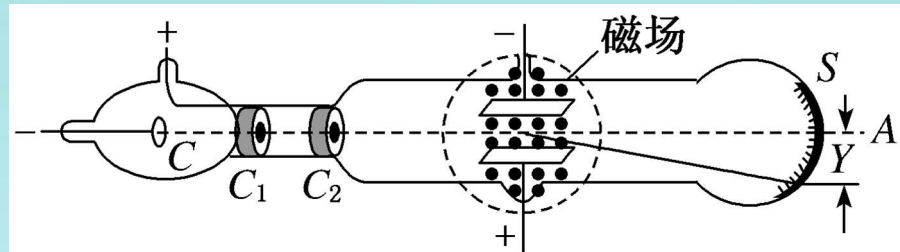
(1)气体的电离和导电:通常情况下,气体是不导电的,但在强电场中,气体能够被电离而导电。

(2)辉光放电现象:在研究气体放电时一般都用稀薄气体,稀薄气体导电时玻璃管中可以看到辉光放电现象,这是由于玻璃受到阴极射线的撞击而引发荧光。



## 2. 电子的发现

(1) 汤姆孙在研究阴极射线时的实验装置如图所示：



(2) 实验过程和方法：

① 从高压电场的阴极发出的阴极射线，穿过  $C_1C_2$  后沿直线打在荧光屏  $A'$  上。

② 当在平行极板上只加一如图所示的电场，发现阴极射线打在荧光屏上的位置向下偏，则可判定，阴极射线带有负电荷。

③为使阴极射线不发生偏转，需要在平行极板区域加一磁场，且磁场方向垂直纸面向外。当满足条件  $qvB=qE$  时，阴极射线不发生偏转，则  $v=\frac{E}{B}$ 。

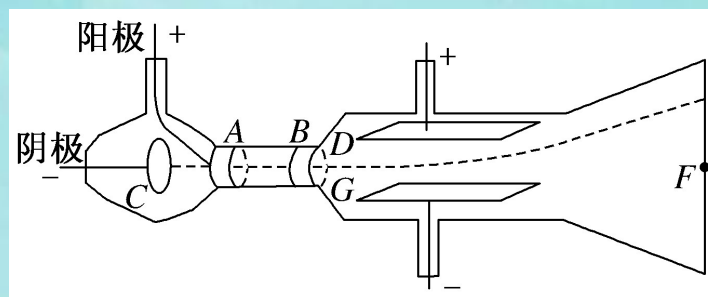
④使电场强度为 0，带电粒子在磁场区内做圆周运动时洛伦兹力提供向心力，即  $qvB=m\frac{v^2}{R}$ 。将  $v=\frac{E}{B}$  代入可得： $\frac{q}{m}=\frac{E}{RB^2}$ 。测量结果大约是  $10^{11}$  C/kg。

### (3)实验结论：

用不同材料的阴极和不同的方法做实验，所得比荷的数值是相等的。这说明，这种粒子是构成各种物质的共有成分，并由实验测得的阴极射线粒子的比荷是氢离子比荷的近两千倍。汤姆孙把新发现的这种粒子称之为电子。

## 通方法

**[例 1]** 在汤姆孙测阴极射线比荷的实验中, 采用了如图所示的阴极射线管, 从  $C$  出来的阴极射线经过  $A$ 、 $B$  间的电场加速后, 水平射入长度为  $L$  的  $D$ 、 $G$  平行板间, 接着在荧光屏  $F$  中心出现荧光斑。若在  $D$ 、 $G$  间加上方向向下、场强为  $E$  的匀强电场, 阴极射线将向上偏转; 如果再利用通电线圈在  $D$ 、 $G$  电场区加上一垂直纸面的磁感应强度为  $B$  的匀强磁场(图中未画), 荧光斑恰好回到荧光屏中心; 接着再去掉电场, 阴极射线向下偏转, 偏转角为  $\theta$ 。试解决下列问题:



(1)说明阴极射线的电性;

(2)说明图中磁场的方向;

(3)根据  $L$ 、 $E$ 、 $B$  和  $\theta$ , 求出阴极射线的比荷。

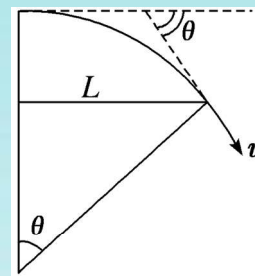
**[思路点拨]** 两板间只加电场时电子在电场力作用下做类平抛运动, 同时加上电场和磁场后电场力和洛伦兹力相等, 做匀速直线运动, 只加磁场时做匀速圆周运动。



**[解析]** (1)由于阴极射线向上偏转，因此受电场力方向向上；又由于匀强电场方向向下，则电场力的方向与电场方向相反，所以阴极射线带负电。

(2)由于所加磁场使阴极射线受到向下的洛伦兹力，由左手定则得磁场的方向垂直纸面向里。

(3)设此射线带电荷量为  $q$ ，质量为  $m$ ，当射线在  $D$ 、 $G$  间做匀速直线运动时，由平衡条件得  $qE = Bqv$



当射线在  $D$ 、 $G$  间的磁场中偏转时，由洛伦兹力提供向心力得  $Bqv = \frac{mv^2}{r}$ ，由几何关系得  $L = r \sin \theta$ ，解得  $\frac{q}{m} = \frac{E \sin \theta}{B^2 L}$ 。

**[答案]** (1)负电 (2)垂直纸面向里 (3)  $\frac{E \sin \theta}{B^2 L}$

### 探规寻律

(1)带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动时，要注意确定圆心位置，利用几何关系求出半径。

(2)洛伦兹力提供向心力，列出牛顿第二定律方程求解问题。

## 通题组

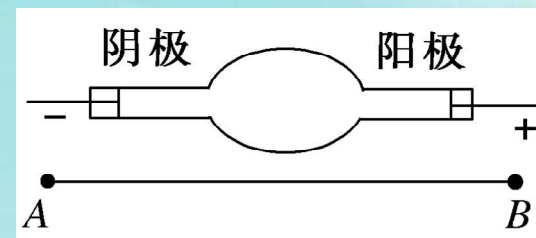
1. 英国物理学家汤姆孙通过对阴极射线的实验研究发现( )

- A. 阴极射线在电场中偏向正极板一侧
- B. 阴极射线在磁场中受力情况跟正电荷受力情况相同
- C. 不同材料所产生的阴极射线的比荷不同
- D. 汤姆孙并未得出阴极射线粒子的电荷量

**解析：**汤姆孙利用其设计的阴极射线管，将不同的气体充入管内，用多种不同的金属分别制成阴极，结果证明比荷大体相同，**C** 错；汤姆孙和他的学生通过测量得知阴极射线粒子的电荷量与氢离子的电荷量大小基本相同，**D** 错；阴极射线带负电，**A** 对，**B** 错。

**答案：** A

2.[多选]如图所示，一只阴极射线管，左侧不断有电子射出，若在管的正下方放一通电直导线  $AB$  时，发现射线径迹向下偏转，则



( )

- A. 导线中的电流由  $A$  流向  $B$
- B. 若要使电子束的径迹往上偏转，可以通过改变  $AB$  中的电流方向来实现
- C. 电子束的径迹与  $AB$  中的电流方向无关
- D. 若将直导线  $AB$  放在管的正上方，电流方向不变，则电子束的径迹将向上偏



**解析：**阴极射线是高速电子流，由左手定则判断可知，磁场垂直纸面向里，由安培定则可知，导线  $AB$  中的电流由  $B$  流向  $A$ ，且改变  $AB$  中的电流方向时可以使电子束的轨迹往上偏。若电流方向不变，将导线  $AB$  放在管的上方，由左手定则可以判断，电子束的轨迹将向上偏。故 **B**、**D** 均正确。

**答案：**BD

## 考点二

## 对 $\alpha$ 粒子散射实验的理解

### 通 知 识

#### 1. $\alpha$ 粒子的散射实验的认识

(1) $\alpha$  粒子在穿过原子时，所受周围的正、负电荷作用的库仑力是平衡的， $\alpha$  粒子不会发生偏转。

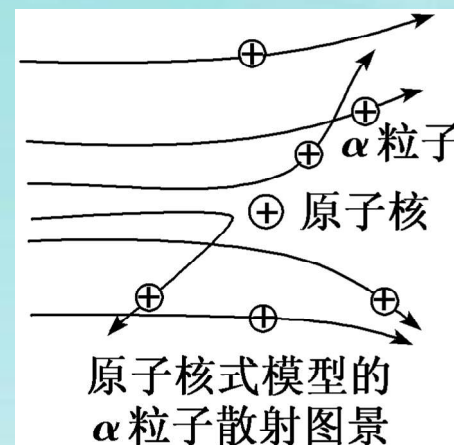
(2) $\alpha$  粒子正对着电子射来，质量远小于  $\alpha$  粒子的电子不可能使  $\alpha$  粒子发生明显偏转，更不可能使它反弹。

(3)熟练记忆  $\alpha$  粒子散射实验的实验结果，重点把握几个关键词：“绝大多数”“少数”“甚至”等。

(4) $\alpha$  粒子散射实验的现象和结果，只能推测出原子的结构，不能证明原子及原子核的组成。

## 2. 原子的核式结构模型对 $\alpha$ 粒子散射实验结果的解释

(1) 当  $\alpha$  粒子穿过原子时，如果离核较远，受到原子核的斥力很小， $\alpha$  粒子就像穿过“一片空地”一样，无遮无挡，运动方向改变很小。因为原子核很小，所以绝大多数  $\alpha$  粒子不发生偏转。



(2) 只有当  $\alpha$  粒子十分接近原子核穿过时，才受到很大的库仑力作用，发生大角度偏转，而这种机会很少，所以有少数粒子发生了大角度偏转。

(3) 如果  $\alpha$  粒子正对着原子核射来，偏转角几乎达到  $180^\circ$ ，这种机会极少，如图所示，所以极少数粒子的偏转角度甚至大于  $90^\circ$ 。

## 通方法

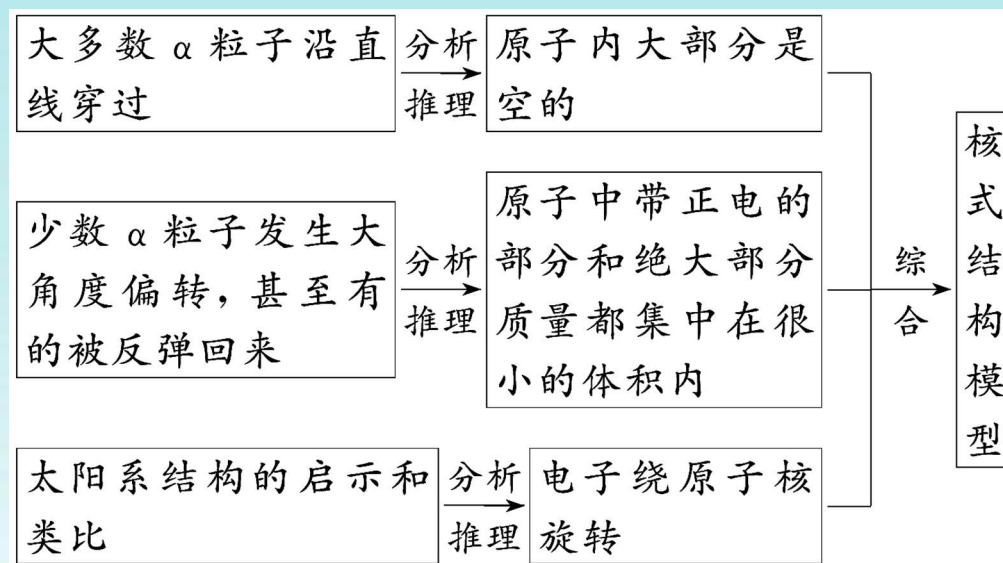
**[例 2]** [多选]关于  $\alpha$  粒子散射实验的下述说法中正确的是 ( )

- A. 在实验中观察到的现象是绝大多数  $\alpha$  粒子穿过金箔后，仍沿原来方向前进，少数发生了较大偏转，极少数偏转角超过  $90^\circ$ ，有的甚至被弹回
- B. 使  $\alpha$  粒子发生明显偏转的力是来自带负电的核外电子；当  $\alpha$  粒子接近电子时，是电子的吸引力使之发生明显偏转
- C. 实验表明原子中心有一个极小的核，它占有原子体积的极小部分
- D. 实验表明原子中心的核带有原子的全部正电荷及全部质量



**[思路点拨]** 正确理解  $\alpha$  粒子散射实验的现象、结论和原子核式结构模型的理论基础。

**[解析]** 关于卢瑟福  $\alpha$  粒子散射实验的现象主要是理解性地记住结论，此实验分析推理路线如下：



故 A、C 正确。

**[答案]** AC

### 探规寻律

(1) $\alpha$  粒子散射实验中，绝大部分  $\alpha$  粒子不偏转，说明原子内部绝大部分是空的。

(2)有少数  $\alpha$  粒子发生大角度偏转，这一定不是电子作用的结果，而是原子中质量大的部分作用的结果。

(3)大角度偏转的  $\alpha$  粒子数很少，说明原子中质量大的部分体积很小，只有少数  $\alpha$  粒子接近这部分时，才发生大角度偏转。

## 通 题 组

1. [多选]卢瑟福原子核式结构理论的主要内容有 ( )

- A. 原子的中心有个核，叫原子核
- B. 原子的正电荷均匀分布在原子中
- C. 原子的全部正电荷和几乎全部的质量都集中在原子核里
- D. 带负电的电子在核外绕核旋转

**解析：**由卢瑟福依据  $\alpha$  粒子散射实验建立的原子的核式结构模型可知，A、C、D 正确。

**答案：**ACD

2. 在  $\alpha$  粒子散射实验中，发现两个具有相同能量的  $\alpha$  粒子由不同的角度散射出去，如果只考虑原子核的散射情况，散射角度大的那个  $\alpha$  粒子将 ( )

- A. 更接近原子核
- B. 更远离原子核
- C. 可能更接近也可能更远离原子核
- D. 无法判断

**解析：**动能转化成电势能的部分越多，则该  $\alpha$  粒子离核越近，库仑力对  $\alpha$  粒子的冲量越大，动量变化量越大，散射角度越大。选项 A 正确。

**答案：** A

### 考点三

## 对原子核式结构模型的分析

### 通 知 识

### 汤姆孙的原子结构模型与卢瑟福的原子核式结构模型对比

	汤姆孙的 葡萄干面包模型	卢瑟福的原子核式结构模型
分布 情况	正电荷和质量均匀分布，负电荷镶嵌在其中	正电荷和几乎全部质量集中在原子中心的一个极小核内，电子质量很小，分布在很大空间内
受力 情况	$\alpha$ 粒子在原子内部时，受到的库仑斥力相互抵消，几乎为零	少数靠近原子核的 $\alpha$ 粒子受到的库仑力大，而大多数离核较远的 $\alpha$ 粒子受到的库仑力较小



	汤姆孙的 葡萄干面包模型	卢瑟福的原子核式结构模型
偏转 情况	不会发生大角度偏转， 更不会被弹回	绝大多数 $\alpha$ 粒子运动方向不变， 少数 $\alpha$ 粒子发生大角度偏转，极 少数 $\alpha$ 粒子偏转角度超过 $90^\circ$ ， 有的甚至被弹回
分析 结论	不符合 $\alpha$ 粒子散射现象	符合 $\alpha$ 粒子散射现象

## 通方法

**[例 3]** 在  $\alpha$  粒子散射实验中, 根据  $\alpha$  粒子与原子核发生对心碰撞时能达到的最小距离可以估算原子核的大小。现有一个  $\alpha$  粒子以  $2.0 \times 10^7 \text{ m/s}$  的速度去轰击金箔, 若金原子的核电荷数为 79。求  $\alpha$  粒子与金原子核间的最近距离(已知带电粒子在点电荷电场中的电势能表达式为  $E_p = k \frac{q_1 q_2}{r}$ ,  $r$  为距点电荷的距离。 $\alpha$  粒子质量为  $6.64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ )。

**[思路点拨]** 解答本题应把握以下三点:

- (1) 明确  $\alpha$  粒子的运动为沿粒子与原子核连线的直线运动。
- (2) 当动能减为零时, 电势能最大, 离原子核最近。
- (3) 原子核的大小应该比最近距离小一些。

**[解析]** 当  $\alpha$  粒子靠近原子核运动时,  $\alpha$  粒子的动能转化为电势能, 达到最近距离时, 动能全部转化为电势能, 设  $\alpha$  粒子与原子核发生对心碰撞时所能达到的最小距离为  $d$ , 则  $\frac{1}{2}mv^2 = k\frac{q_1q_2}{d}$ 。

$$d = \frac{2kq_1q_2}{mv^2} = \frac{2 \times 9.0 \times 10^9 \times 2 \times 79 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{6.64 \times 10^{-27} \times (2.0 \times 10^7)^2} \text{ m}$$
$$= 2.7 \times 10^{-14} \text{ m}。$$

**[答案]**  $2.7 \times 10^{-14} \text{ m}$

## 探规寻律

### 估算原子核大小的方法

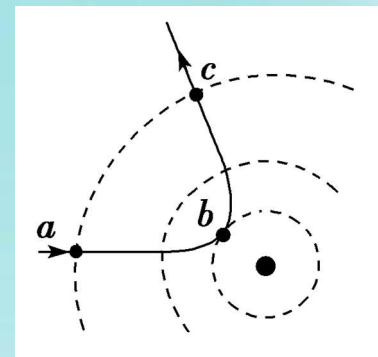
(1)应该选择与被测原子核发生对心碰撞的  $\alpha$  粒子为研究对象。

(2)根据能量守恒原理知，当  $\alpha$  粒子的动能减小为零时，其电势能最大，此时  $\alpha$  粒子与被测原子核的距离最近，如果已知  $\alpha$  粒子的质量和速度，即可求得被测原子核的大小。

(3)要注意原子核的实际大小应该比通过这种方法求得的原子核的大小要小。

### 通题组

1.如图所示，根据  $\alpha$  粒子散射实验，卢瑟福提出了原子的核式结构模型。图中虚线表示原子核所形成的电场的等势线，实线表示一个  $\alpha$  粒子的运动轨迹。



在  $\alpha$  粒子从  $a$  运动到  $b$ ，再运动到  $c$  的过程中，下列说法中正确的是 ( )

- A. 动能先增大，后减小
- B. 电势能先减小，后增大
- C. 电场力先做负功，后做正功，总功等于零
- D. 加速度先变小，后变大



**解析：**根据卢瑟福提出的核式结构模型，原子核集中了原子的全部正电荷，即原子核外的电场分布与正点电荷电场类似。 $\alpha$  粒子从  $a$  运动到  $b$ ，电场力做负功，动能减小，电势能增大；从  $b$  运动到  $c$ ，电场力做正功，动能增大，电势能减小； $a$ 、 $c$  在同一条等势线上，则电场力做的总功等于零，**C** 正确，**A**、**B** 错误； $a$ 、 $b$ 、 $c$  三点的场强大小关系  $E_a = E_c < E_b$ ，故  $\alpha$  粒子的加速度先变大，后变小，**D** 错误。

**答案：** C

2. 已知电子质量为  $m$ ，电荷量为  $e$ 。当氢原子核外的电子绕核旋转时的轨道半径为  $r$  时，求电子绕核运行的速度、频率、动能和等效电流强度。

**解析：** 由库仑力提供向心力  $F_{\text{向}} = F_{\text{库}} = \frac{ke^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,

得速度  $v = e \sqrt{\frac{k}{mr}}$ , 频率  $f = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi r} = \frac{e}{2\pi r} \sqrt{\frac{k}{mr}}$ ,

动能  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}$ ,

等效电流强度  $I = \frac{e}{T} = ef = \frac{e^2}{2\pi r} \sqrt{\frac{k}{mr}}$ 。

**答案：** 见解析