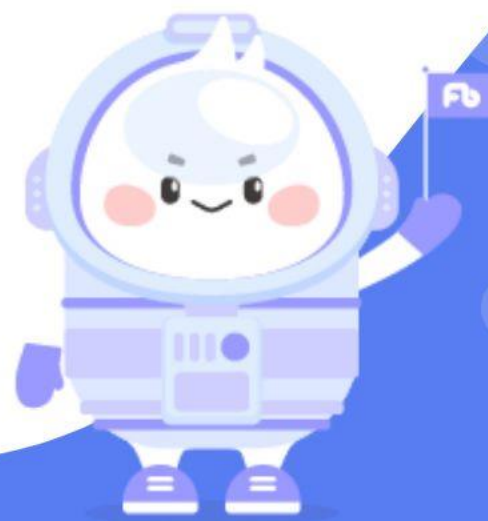


天猫课程

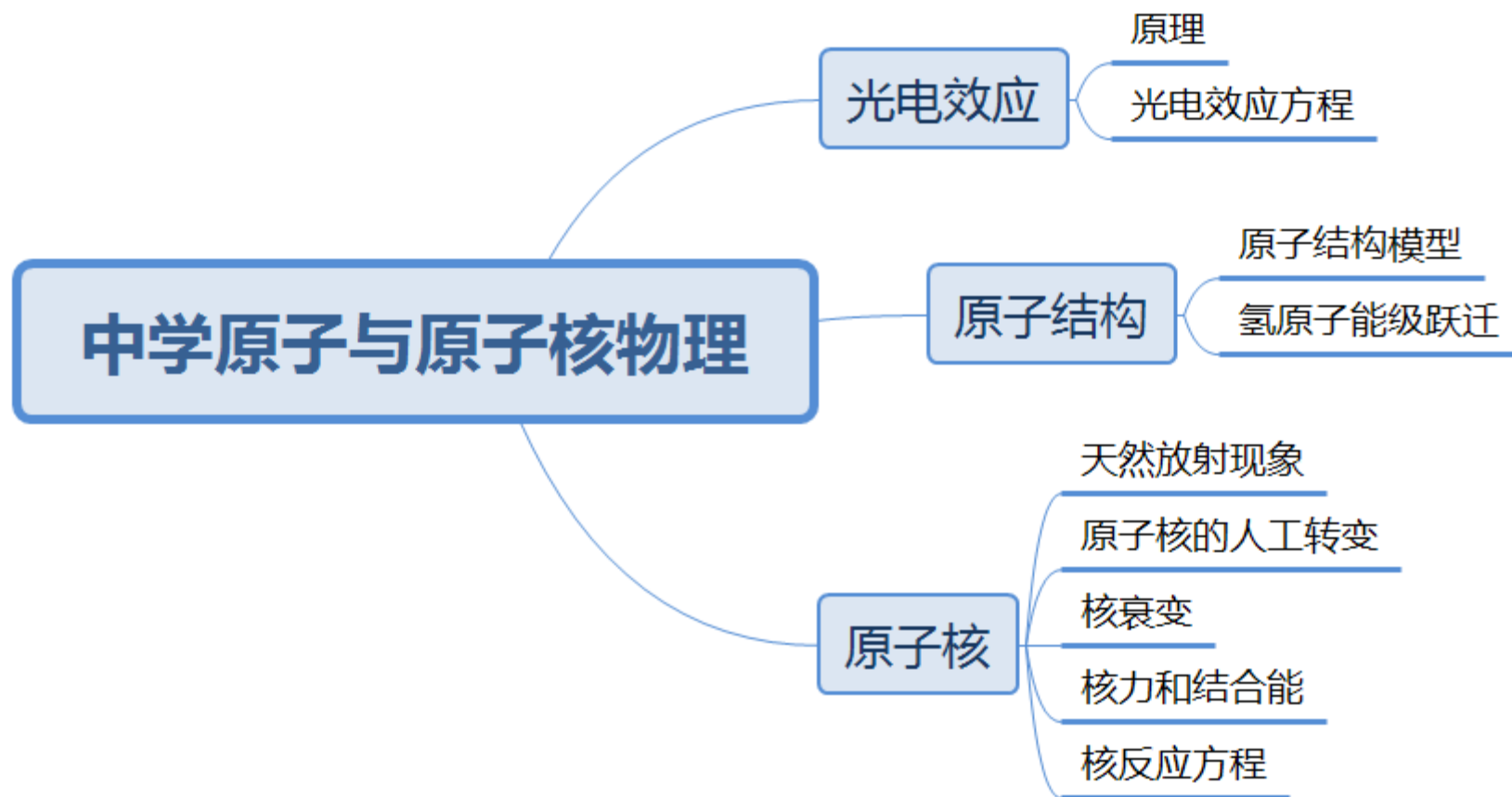
中学原子与原子核物理

►讲师：丁奉

更多干货关注  粉笔教师教育  粉笔教师



知识框架





• 第一节 光电效应

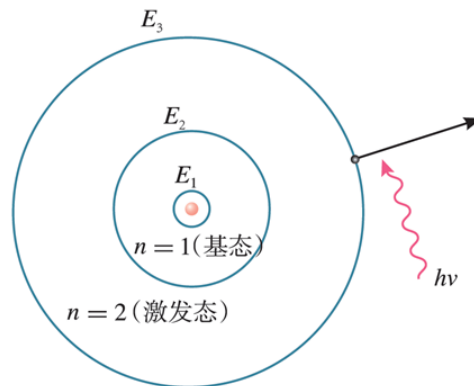
一、能量的量子化

(一) 能量子

振动着的带电微粒的能量只能是某一最小能量值 ε 的整数倍。例如，可能是 ε 或 2ε 、 3ε ……当带电微粒辐射或吸收能量时，也是以这个最小能量为单位一份一份地辐射或吸收的。这个不可再分的最小能量值 ε 叫做**能量子**， $\varepsilon = h\nu$ 。

(二) 能量的量子化

在微观世界中能量不能连续变化，只能取分立值，这种现象叫做**能量的量子化**。

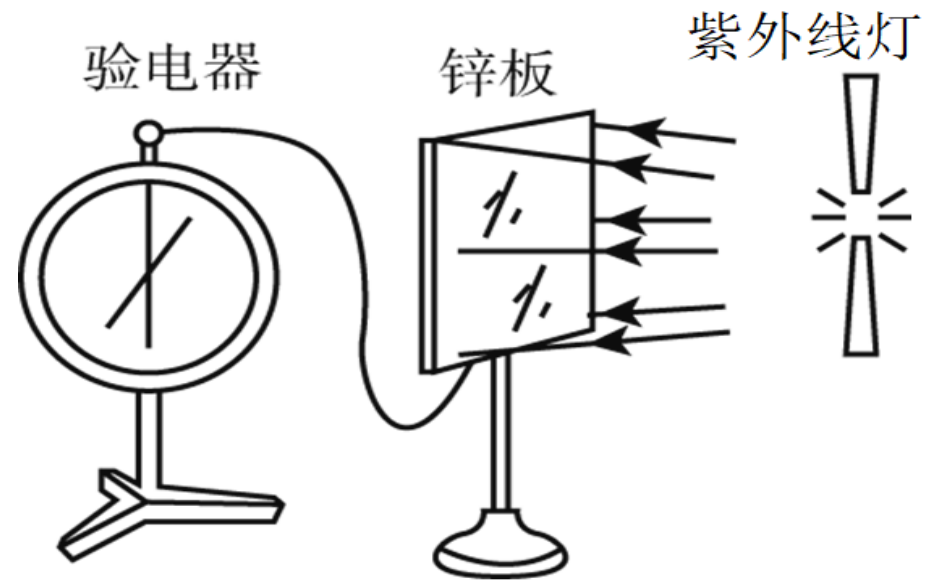


二、光电效应方程

(一) 光电效应实验

1. 光电效应现象

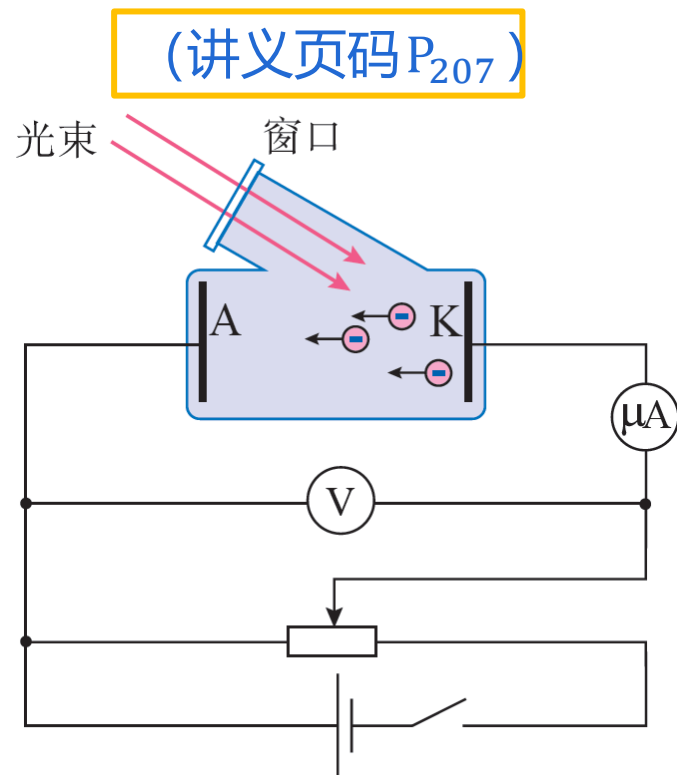
照射到金属表面的光，能使金属中的电子从表面逸出的现象，称为光电效应。光电效应发射出来的电子叫光电子。如图所示



2. 研究光电效应的实验装置

如图所示，阴极K和阳极A是密封在真空玻璃管中的两个电极，阴极K在受到光照时能够发射光电子。电源加在K与A之间的电压大小可以调节，正、负极也可以对调。

3. 光电效应的规律：每种金属都有一个极限频率，入射光的频率必须大于这个极限频率，才能产生光电效应。



4. 光电效应的四个规律

(1) 每种金属都有一个极限频率，入射光的频率必须大于这个极限频率，才能产生光电效应。

(2) 光电子的最大初动能与入射光的强度无关，只随入射光频率的增大而增大。

(3) 光电效应的发生几乎是瞬时的，一般不超过 10^{-9}s 。

(4) 当入射光的频率大于极限频率时，光电流的强度与入射光的强度成正比。

(二) 爱因斯坦光电效应方程

1. 基本概念

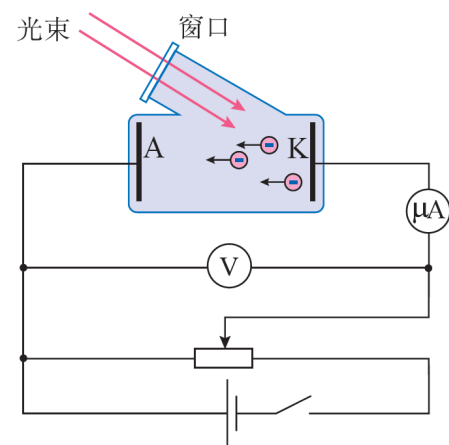
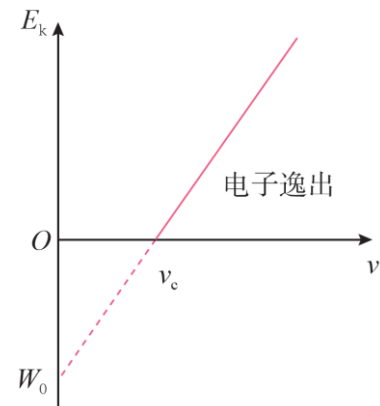
(1) 光子

①定义：在空间传播的光不是连续的，而是一份一份的，每一份叫一个光量子，简称光子。

②光子的能量：每个光子的能量只决定于入射光的频率，即 $\varepsilon = h\nu$ ， ν 表示光的频率。

(2) 逸出功

电子脱离某种金属所做功的**最小值**，叫这种金属的逸出功。不同金属的逸出功不同。一般用 W_0 表示。



2. 爱因斯坦光电效应方程: $E_k = h\nu - W_0$, E_k 为光电子的初动能。

3. 截止频率

爱因斯坦光电效应方程表明, 只有当 $h\nu > W_0$ 时, 才有光电子逸出, $\nu_0 = \frac{W_0}{h}$ 就是光电效应的截止频率。

4. 光速、波长与频率的关系: $\lambda = \frac{c}{\nu}$

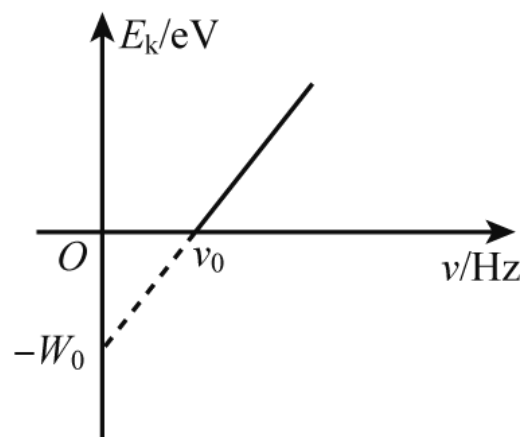
5. 光电效应的两个性质

(1) 瞬时性: 电子一次性吸收光子的全部能量, 不需要积累能量的时间, 光电流几乎是瞬时产生的。

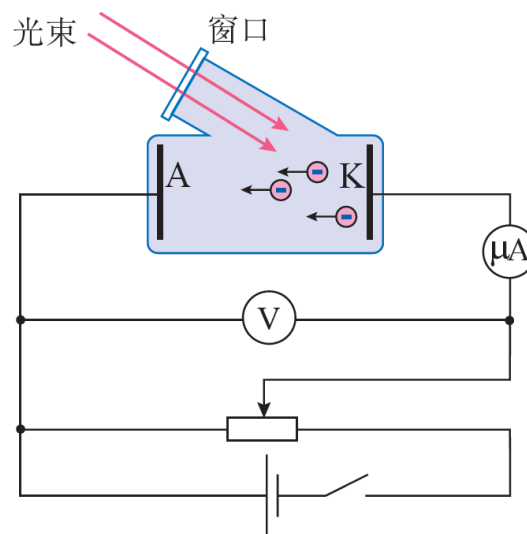
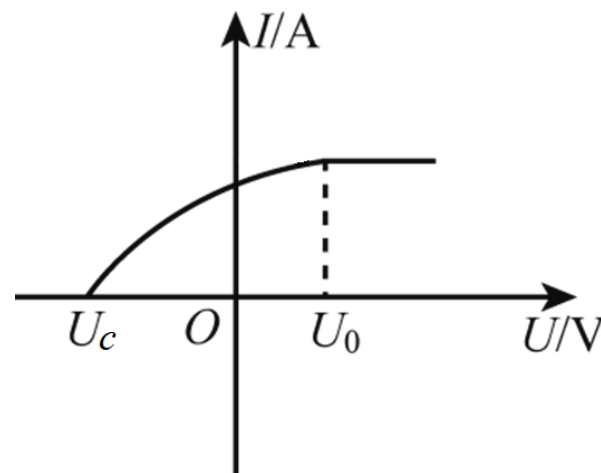
(2) 饱和光电流: 光强较大时, 包含的光子数较多, 照射金属时产生的光电子多, 因而饱和光电流大, 所以饱和光电流与光强成正比。

6. 光电效应的两个图像

(1) $E_k = h\nu - W_0$

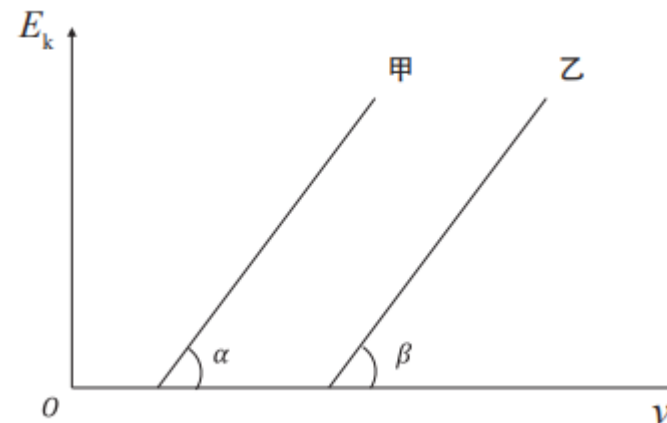


(2) 光电流随外电压变化而变化的规律



【例 1】（真题 2019 年上）在研究光电效应的实验中，从甲、乙两种金属中飞出光电子的 最大初动能 E_k 与入射光频率 ν 的关系如图 Z6-1-5 所示，下列说法正确的是（ ）

- A. 甲的逸出功一定大于乙的逸出功
- B. 甲的截止频率一定大于乙的截止频率
- C. 两条图线与横轴的夹角 α 和 β 一定相等
- D. 增大入射光频率，甲、乙的遏止电压一定不变



【答案】C

【解析】A、B 两项：由图像和光电效应方程 $E_k = h\nu - W$ 可知，甲的逸出功小于乙的逸出功，甲的截止频率小于乙的截止频率，A、B 两项均错误。

C 项：结合图像和光电效应方程 $E_k = h\nu - W$ 可知，图线的斜率为 h ，两条图线的斜率相同，故两条图线与横轴的夹角 α 和 β 一定相等，C 项正确。

D 项：由 $E_k = eU_c$ 可知，增大入射光频率，光电子的最大初动能 E_k 同时增大，则 U_c 增大，D 项错误。

故正确答案为 C。



【例2】现用某一光电管进行光电效应实验，当用某一频率的光入射时，有光电流产生。下列说法正确的是（ ）。

- A. 保持入射光的频率不变，入射光的光强变大，饱和光电流变大
- B. 入射光的频率变高，饱和光电流变大
- C. 保持入射光的光强不变，不断减小入射光的频率，始终有光电流产生
- D. 遏止电压的大小与入射光的频率有关，与入射光的光强有关



“吃透这道题！”

(讲义页码 P₂₁₀)



【答案】A

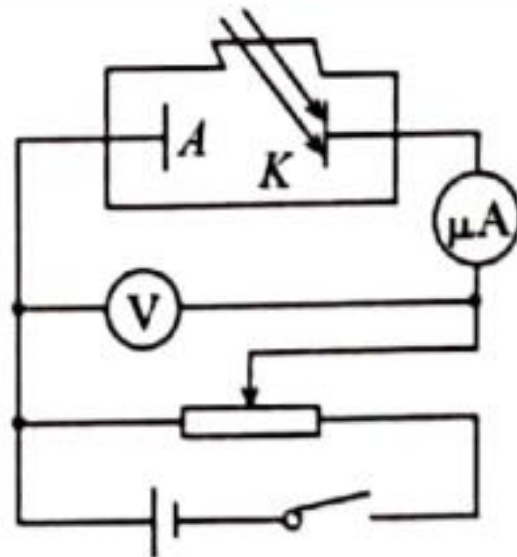
【解析】由光电效应规律可知，当频率低于截止频率时无论光照强度多大，都不会有光电流，因此C错误；在发生光电效应时，饱和光电流大小由光照强度来决定，与频率无关，光照强度越大饱和光电流越大，因此A正确，B错误；由 $E_k = eU_c$ 和 $E_k = h\nu - W$ ，得 $h\nu - W = eU_c$ ，遏制电压只与入射光频率有关，与入射光强无关，因此D错误。

故正确答案为A。



【例3】光电效应的电路如图所示，当用蓝光照射阴极K时，微安表示数不为零，则以下说法正确的是（ ）。

- A. 改用黄光照射阴极K时，微安表示数一定为零
- B. 增大蓝光的照射强度，光电子的最大初动能一定增大
- C. 改用紫光照射阴极K时，微安表示数一定不为零
- D. 移动滑动变阻器滑片到合适位置，可以使微安表示数为零



“吃透这道题！”

(讲义页码 P₂₁₀)



【答案】C

【解析】A项：虽然黄光频率低于蓝光，但阴极K的极限频率未知，黄光照射时也有可能产生光电流，A选项错误；

B项：根据光电效应方程，光电子的最大初动能只与入射光频率和逸出功有关，与光强无关，B选项错误；

C项：紫光频率高于蓝光，蓝光照射阴极K时，电路中有光电流，紫光照射一定能产生光电流，C选项正确；

D项：要使电路中光电流为零，应该加反向的电压并达到遏止电压，D选项错误。
故正确答案为C。



“吃透这道题！”

(拓展)



【例4】在光电效应实验中，分别用频率为 ν_a 、 ν_b 的单色光 a 、 b 照射到同种金属上，测得相应的遏止电压分别为 U_a 和 U_b 、光电子的最大初动能分别为 E_{ka} 和 E_{kb} 。 h 为普朗克常量。下列说法正确的是（ ）

- A. 若 $\nu_a > \nu_b$ ，则一定有 $U_a < U_b$
- B. 若 $\nu_a > \nu_b$ ，则一定有 $E_{ka} > E_{kb}$
- C. 若 $U_a < U_b$ ，则一定有 $E_{ka} > E_{kb}$
- D. 若 $\nu_a > \nu_b$ ，则一定有 $h\nu_a - E_{ka} > h\nu_b - E_{kb}$



“吃透这道题！”

(拓展)



【答案】B

【解析】由爱因斯坦光电效应方程 $E_{km} = h\nu - W$ ，又由动能定理有 $E_{km} = eU$ ，
当 $\nu_a > \nu_b$ 时， $E_{ka} > E_{kb}$ ， $U_a > U_b$ ，A错误，B正确；若 $U_a < U_b$ ，则有 $E_{ka} < E_{kb}$ ，C
错误；同种金属的逸出功不变，则 $W = h\nu - E_{km}$ 不变，D错误。

故正确答案为B。



【例 5】（真题 2021 年下）光电管是一种利用光照射产生电流的装置，当入射的光子能量为 4.0eV 时，逸出光电子的最大初动能为 0.9eV ，若入射光子的能量为 8.0eV 时，逸出光电子的最大初动能为（ ）。

A. 0.9eV

B. 3.1eV

C. 4.0eV

D. 4.9eV

【答案】D

【解析】根据逸出光电子的最大初动能 $E_k = h\nu - W$ ，可知金属的逸出功 $W = 4.0\text{eV} - 0.9\text{eV} = 3.1\text{eV}$ ，当入射光子的能量为 8.0eV 时，逸出光电子的最大初动能 $E_k = h\nu - W = 8.0\text{eV} - 3.1\text{eV} = 4.9\text{eV}$ 。

故正确答案为 D。





• 第二节 原子结构

一、原子结构模型

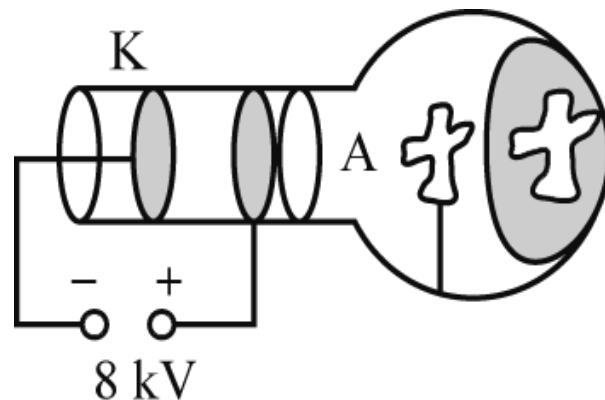
(一)电子的发现

1.产生

如图所示，真空玻璃管中 K 是金属板制成的阴极， A 是金属环制成的阳极，它们分别连接在感应圈的负极和正极上。在两极间加有高电压时，阴极会发出一种射线，这种射线称为阴极射线。

2.实质：阴极射线是电子流。

3.作用：阴极射线能使荧光物质发光。



(二)原子的核式结构模型

卢瑟福核式结构模型被称为原子的核式结构模型。

1. 模型内容

原子的中心有一个很小的核，称为原子核，原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核里，带负电的电子在核外空间绕核旋转。

汤姆孙的原子模型：汤姆孙认为原子是一个球体，正电荷弥漫性地均匀分布在整个球体内，电子镶嵌其中，这种模型称为“西瓜模型”或“枣糕模型”。该模型是一种错误的模型。

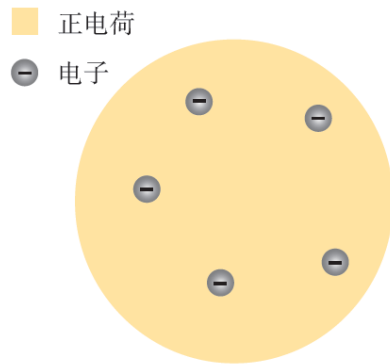


图 4.3-2 J. J. 汤姆孙的原子模型

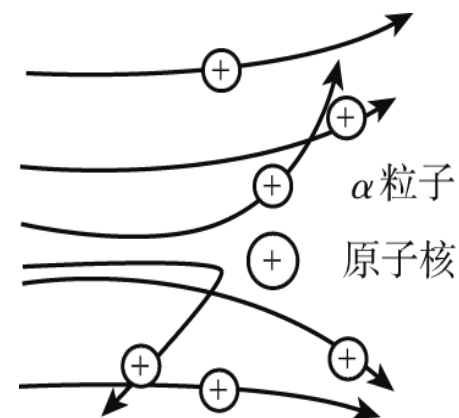
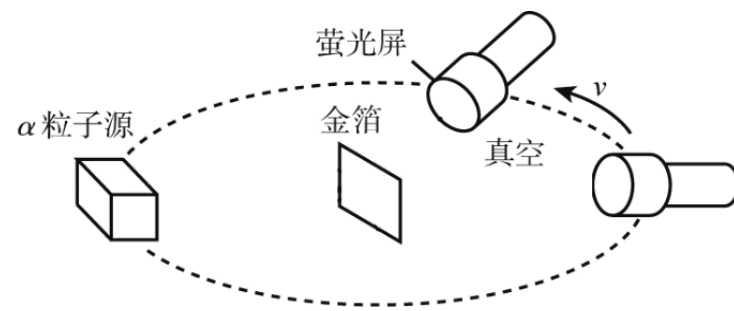


2. α 粒子散射实验

(1) 实验装置如图所示

(2) 实验现象

- ① 绝大多数 α 粒子穿过金箔后仍沿原来的方向前进
- ② 少数 α 粒子发生较大偏转
- ③ 极少数 α 粒子偏转超过 90°



3.核式结构模型对 α 粒子散射实验的解释

由于原子核很小，大部分 α 粒子穿过金箔时都离核很远，受到的斥力很小，它们的运动几乎不受影响；只有少数 α 粒子从原子核附近飞过，受到很强的斥力，发生大角度散射。

4. 原子核的电荷与尺度

(1) 原子核的电荷数与核外电子数相等；

(2) 原子半径数量级为 10^{-10}m ，原子核半径数量级为 10^{-15}m 。

第二节 玻尔的原子模型

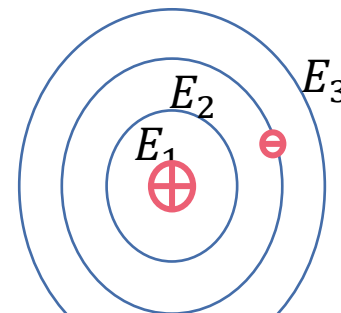
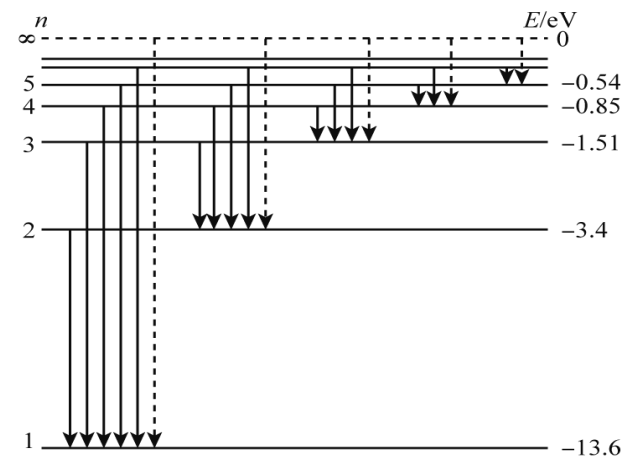
一、氢原子的能级跃迁

(一) 玻尔原子理论的基本假设

1.定态假设：原子只能处于一系列不连续(即量子化)的能量状态，在每个状态中原子是稳定的，电子虽然做变加速运动，但并不向外辐射能量，这些状态叫做定态。

2.跃迁假设：原子从一种定态 E_m 跃迁到另一种定态 E_n 时，要辐射(或吸收)一定频率的光子，光子的能量等于这两个定态的能量差，即 $h\nu = |E_m - E_n|$ 。

3.轨道假设：原子的不同能量状态跟电子沿不同的圆形轨道绕核运动相对应，轨道的分布是不连续(即量子化)的。



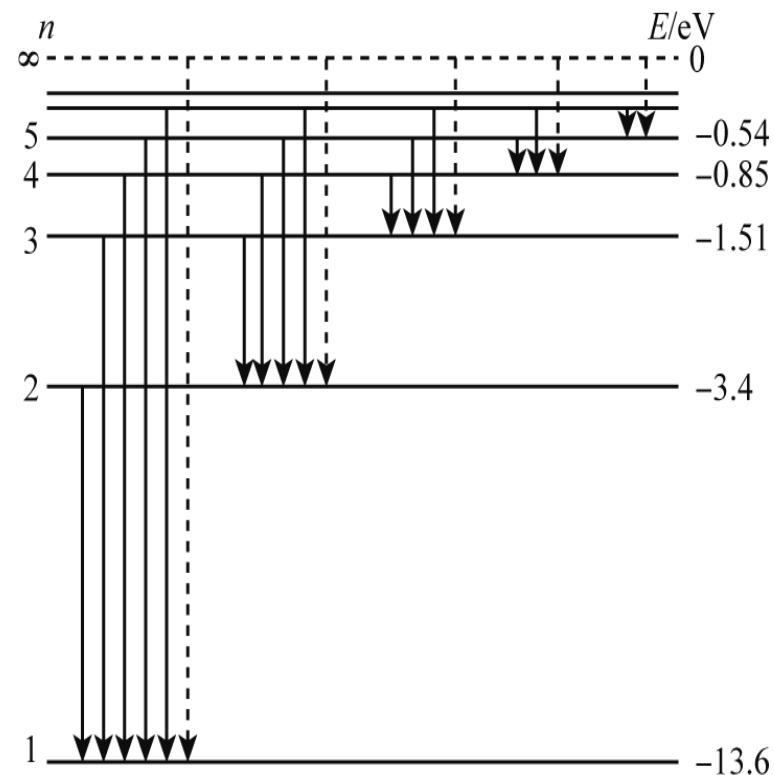
(五) 谱线条数的确定方法

1. 一个氢原子跃迁发出可能的光谱线条数最多为 $(n - 1)$ 。

2. 一群氢原子跃迁发出可能的光谱线条数的两种求解方法。

(1) 用数学中的组合知识求解： $N = C_n^2$
 $= \frac{n(n-1)}{2}$ 。

(2) 利用能级图求解：在氢原子能级图中将氢原子跃迁的各种可能情况一一画出，然后相加。



【例6】氢原子的能级如图所示，当氢原子从 $n = 4$ 的能级跃迁到 $n = 2$ 的能级时，辐射出光子 a ，当氢原子从 $n = 3$ 的能级跃迁到 $n = 1$ 的能级时，辐射出光子 b ，则下列判断正确的是（ ）。

- A. 光子 a 的能量大于光子 b 的能量
- B. 光子 a 的波长小于光子 b 的波长
- C. b 光比 a 光更容易发生衍射现象
- D. 若 a 为可见光，则 b 有可能为紫外线

n		E/eV
∞	-----	0
4	=====	-0.85
3	=====	-1.51
2	=====	-3.4
1	=====	-13.6



“吃透这道题！”

(讲义页码 P₂₁₆)



【答案】D

【解析】A、B、C三项：氢原子从 $n = 4$ 的能级跃迁到 $n = 2$ 的能级的能级差小于从 $n = 3$ 的能级跃迁到 $n = 1$ 的能级的能级差，根据 $E_m - E_n = h\nu$ ，可知光子 a 的能量小于光子 b 的能量。所以 a 光的频率小于 b 光的频率， a 光的波长大于 b 光的波长， a 光比 b 光更容易发生衍射现象，A、B、C选项均错误；

D项：因为 a 光的频率小于 b 光的频率，所以若 a 为可见光，则 b 有可能为紫外线，D选项正确。

故正确答案为D。



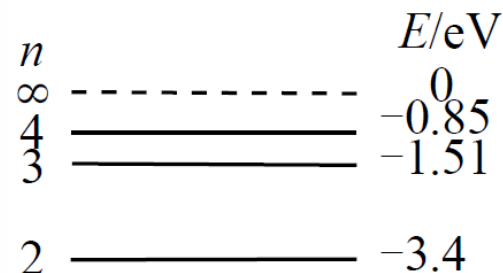
【例7】氢原子能级示意图如图所示。光子能量在 $1.63\text{eV} \sim 3.10\text{eV}$ 的光为可见光。要使处于基态 ($n = 1$) 的氢原子被激发后可辐射出可见光光子，最少应给氢原子提供的能量为 ()。

A. 12.09eV

B. 10.20eV

C. 1.89eV

D. 1.51eV



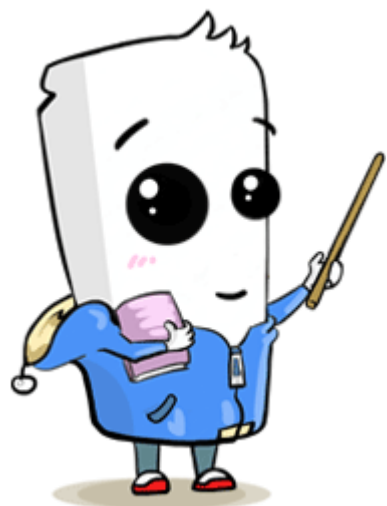
【答案】A

【解析】由题意可知，基态 ($n = 1$) 氢原子被激发后，至少被激发到 $n = 3$ 能级后，跃迁才可能产生能量在 $1.63\text{eV} \sim 3.10\text{eV}$ 的可见光。故 $\Delta E = -1.51\text{eV} - (-13.60)\text{eV} = 12.09\text{eV}$ 。

故正确答案为A。

1 ————— -13.6





• 第三节 原子核

一、天然放射现象

(一) 天然放射现象：放射性元素自发地放出射线的现象叫天然放射现象，由法国物理学家贝可勒尔于1896年首先发现。

(二) 核放射性与放射性元素：物质发射射线的性质称为放射性，具有放射性的元素叫放射性元素。

二、原子核的构成

(一) 质子的发现——卢瑟福

卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子核产生一种新粒子，根据这种粒子在电场和磁场中的偏转测出了其质量和电荷，确定为质子，用 p 表示(有时也用氢原子核的符号 ${}_1^1\text{H}$ 表示质子)，证明了质子是原子核的组成部分。

核反应方程如下： ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{1}^{1}\text{H}$, $m_p = 1.672\ 623\ 1 \times 10^{-27}\text{kg}$ 。

(二) 中子的发现——查德威克

卢瑟福发现质子的同时预言了原子核中还存在一种不带电的粒子，其质量与质子相同，叫做中子，卢瑟福的学生查德威克用实验证实了这个预言。

其核反应方程如下： ${}_4^9\text{Be} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{6}^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$, $m_n = 1.674\ 928\ 6 \times 10^{-27}\text{kg}$ 。

(三) 原子核的组成

原子核是由质子、中子构成的，不同的原子核内质子和中子的个数并不相同。原子核用符号 ${}_Z^AX$ 表示，X为元素符号，A表示质量数，Z表示核的电荷数(即原子序数)。

(四) 原子核中的两个等式

1. 电荷数(Z) = 质子数 = 元素的原子序数 = 核外电子数。
2. 质量数(A) = 核子数 = 质子数 + 中子数。

(五) 同位素

具有相同质子数不同中子数的原子核，在元素周期表中处于同一位置，因而互称同位素。如 ${}_1^1\text{H}$ 、 ${}_1^2\text{H}$ 、 ${}_1^3\text{H}$ 互为同位素。

【例8】1934年，约里奥-居里夫妇用 α 粒子轰击铝核 ${}_{13}^{27}\text{Al}$ ，产生了第一个人工放射性核素X： $\alpha + {}_{13}^{27}\text{Al} \rightarrow \text{n} + \text{X}$ 。X的原子序数和质量数分别为（ ）。

A.15和28 B.15和30 C.16和30 D.17和31

【答案】 B

【解析】 根据核反应遵循的质量数守恒和电荷数守恒可知，X的电荷数为 $2+13=15$ ，质量数为 $4+27-1=30$ ，根据原子核的电荷数等于原子序数，可知X的原子序数为15，质量数为30。

故正确答案为B。



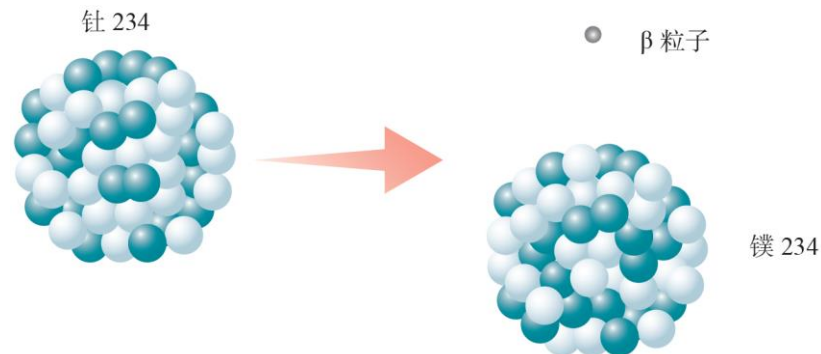
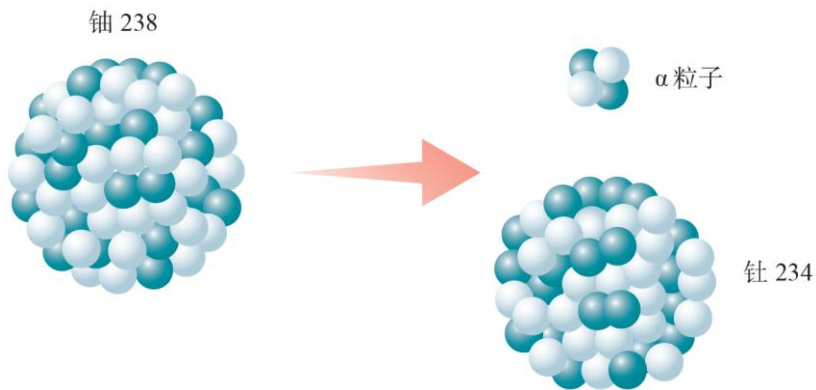
三、原子核的衰变

1.定义：原子核放出 α 粒子或 β 粒子，由于核电荷数变了，它在元素周期表中的位置就变了，变成另一种原子核，我们把这种变化称为原子核的衰变。

2.两种衰变

(1) α 衰变典例： ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$

(2) β 衰变典例： ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^0_{-1}\text{e}$



3.三种射线的本质及特征

	α 射线	β 射线	γ 射线
实质	氦核流(4_2He)	高速电子流(${}^0_{-1}e$)	光子(高频电磁波)
速率	$0.1c$	$0.99c$	c
在电、磁场中	偏转	与 α 射线反向偏转	不偏转
穿透能力	最弱，用纸能挡住	较强，穿透几毫米厚的铝板	最强，穿透几厘米厚的铅板
电离作用	很强	较弱	很弱

(三) 半衰期

1. 定义

放射性元素的原子核有半数发生衰变需要的时间，叫做这种元素的半衰期。

2. 衰变公式

$$N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \text{ 或 } N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

其中， N 为经过 t 时间后剩余的原子核数， N_0 为初始时刻的原子核数， T 为半衰期。

3. 特点

- (1) 半衰期是由原子核本身的因素决定的，跟原子所处的物理状态或化学状态无关。
- (2) 半衰期只对大量原子核衰变才有意义，因为放射性元素的衰变规律是统计规律，对少数或单个原子核衰变无意义。

【例9】一静止的铀核放出一个 α 粒子衰变成钍核，衰变方程为 ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$ 。

下列说法正确的是（ ）。

- A. 衰变后钍核的动能等于 α 粒子的动能
- B. 衰变后钍核的动量大小等于 α 粒子的动量大小
- C. 铀核的半衰期等于其放出一个 α 粒子所经历的时间
- D. 衰变后 α 粒子与钍核的质量之和等于衰变前铀核的质量



“吃透这道题！”

(讲义页码 P₂₂₀)



【答案】B

【解析】根据动量守恒定律可知，生成的钍核的动量与 α 粒子的动量等大反向，选项B正确；根据 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 可知，衰变后钍核的动能小于 α 粒子的动能，选项A错误；铀核的半衰期等于一半数量的铀核衰变需要的时间，而放出一个 α 粒子所经历的时间是一个原子核衰变的时间，故两者不等，选项C错误；由于该反应放出能量，由质能方程可知，衰变后 α 粒子与钍核的质量之和小于衰变前铀核的质量，选项D错误。

故正确答案为B。



【例10】（真题2018年上）某放射性元素经过11.4天有 $\frac{3}{4}$ 的原子核发生了衰变，该元素的半衰期为（ ）。

A.3.8天

B.5.7天

C.8.6天

D.11.4天

【答案】B

【解析】原子核的衰变公式为 $N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$ ，化简可得为 $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T}\right)}$ ，由题意可知，该

元素经过11.4天有 $\frac{1}{4}$ 的原子核未发生改变，带入公式中得 $\frac{1}{4} N_0 = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{11.4}{T}\right)}$ ，得 $\frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{11.4}{T}\right)}$ ，

得 $2 = \frac{11.4}{T}$ ，该元素的半衰期为 $T = 5.7$ 天，B选项正确。

故正确答案为B。



四、核力与结合能

(一) 核力

1. 定义

在原子核内，核子间存在着一种很强的作用力，将核子紧紧束缚在核内，这种力称为核力。

2. 特点

- (1) 核力是短程力。
- (2) 核力是一种强相互作用力。
- (3) 每个核子只跟它相邻的核子间才有核力作用。

(二) 结合能与比结合能

核子结合成原子核时放出的能量或原子核分解成核子时吸收的能量，都叫做原子核的结合能。结合能与核子数之比叫比结合能，也叫平均结合能，比结合能越大，表示原子核中核子结合得越牢固，原子核越稳定。

(三) 质量亏损与质能方程

1. 质量亏损：组成原子核的核子的总质量与新原子核的质量之差，叫做质量亏损。

2. 质能方程：原子核释放能量时，要产生质量亏损。物体的能量和质量之间存在着密切的联系，它们之间的关系是 $E = mc^2$ 或 $\Delta E = \Delta mc^2$ 。这就是著名的爱因斯坦质能方程。

【例11】大科学工程“人造太阳”主要是将氘核聚变反应释放的能量用来发电。氘核聚变反应方程是 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ 。已知 ${}^2_1\text{H}$ 的质量为 2.0136u ， ${}^3_2\text{He}$ 的质量为 3.0150u ， ${}^1_0\text{n}$ 的质量为 1.0087u ， $1\text{u} = 931\text{MeV}/c^2$ 。氘核聚变反应中释放的核能约为（ ）。

A. 3.7MeV

B. 3.3MeV

C. 2.7MeV

D. 0.93MeV

【答案】 B

【解析】根据质能方程，释放的核能 $\Delta E = mc^2$ ， $\Delta m = 2m_{\text{H}} - m_{\text{He}} - m_{\text{n}} = 0.0035\text{u}$ ，

$$\Delta E = 0.0035\text{u} \times \frac{931\text{MeV}}{c^2} \times c^2 \approx 3.3\text{MeV}。$$

故正确答案为B。



(四) 核裂变

1. 定义：重核分裂成两个中等质量的核，释放出核能的反应叫做核裂变。

2. 铀核裂变方程： ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1n \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1n$ 。

3. 链式反应

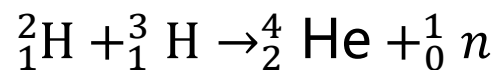
(1) 定义：铀核裂变时，同时放出若干个中子，如果这些中子再引起其他铀核的裂变，就可以使裂变反应不断地进行下去，这种反应叫链式反应。

(2) 链式反应发生条件

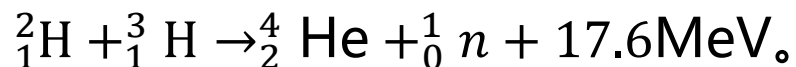
铀块的体积大于临界体积(裂变物质能够发生链式反应的最小体积)，或裂变时的质量大于临界质量。另外有足够数量的慢中子。

(五) 核聚变

1.定义：两个轻核结合成质量较大的原子核的反应叫核聚变。例如：



2.典型的核聚变方程



3.核聚变发生条件

在超高温条件下，剧烈的热运动使得一部分原子核具有足够的动能，可以克服库仑斥力，发生核聚变。

【例12】（真题2016年上）在极短的距离上，核力将一个质子和一个中子吸引在一起形成一个氦核，下述说法中正确的是（ ）。

- A. 氦核的能量大于一个质子和一个中子能量之和
- B. 氦核的能量等于一个质子和一个中子能量之和
- C. 氦核的能量小于一个质子和一个中子能量之和
- D. 氦核若分裂为一个质子和一个中子，一定要放出能量

【答案】C

【解析】一个质子和一个中子发生核反应聚变生成一个氦核时，向外界释放能量，故氦核的能量小于一个质子和一个中子能量之和，C选项正确。

故正确答案为C。



岸上等你

THE TEST

光芒万丈
不负理想

粉笔
教师



机读卡

姓名:

考号

(0)	(0)
(1)	(1)
(2)	(2)
(3)	(3)
(4)	(4)
(5)	(5)
(6)	(6)
(7)	(7)
(8)	(8)
(9)	(9)

