

# 大学物理

# *College Physics*

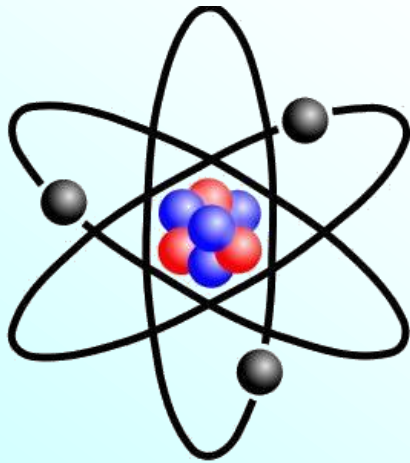
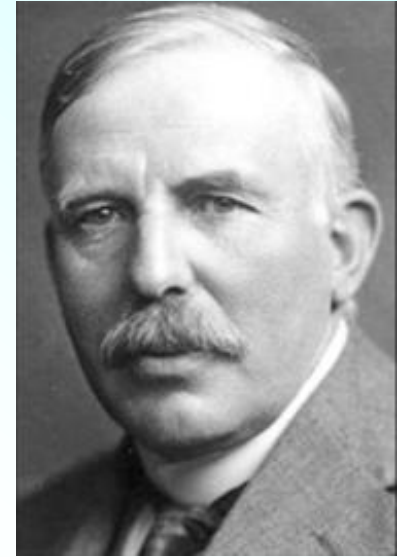
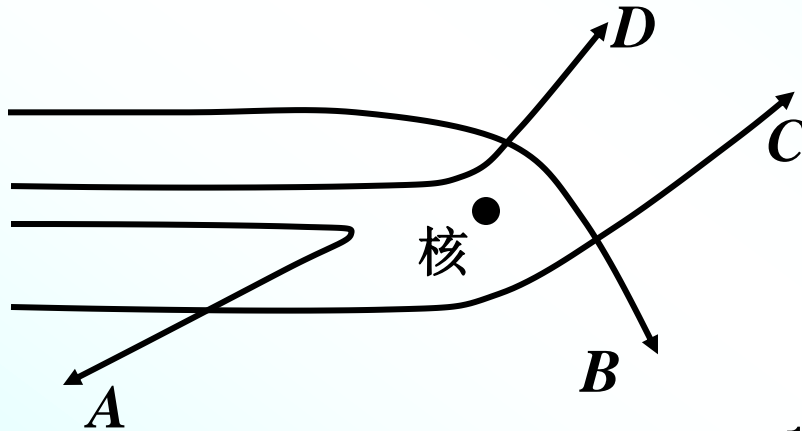
主讲

华中科技大学

刘超飞

# 原子核物理简介

## 卢瑟福 $\alpha$ 粒子散射实验



1911年，卢瑟福借助于 $\alpha$  粒子散射研究，提出原子正电荷必定集中在半径 $10^{-15}$ 米的范围内，而原子半径却有 $10^{-10}$ 米，因此原子里面绝大部分是空虚的，从而证明“原子行星模型”比汤姆逊的“西瓜模型”更接近于物理真实

## 查德威克发现中子

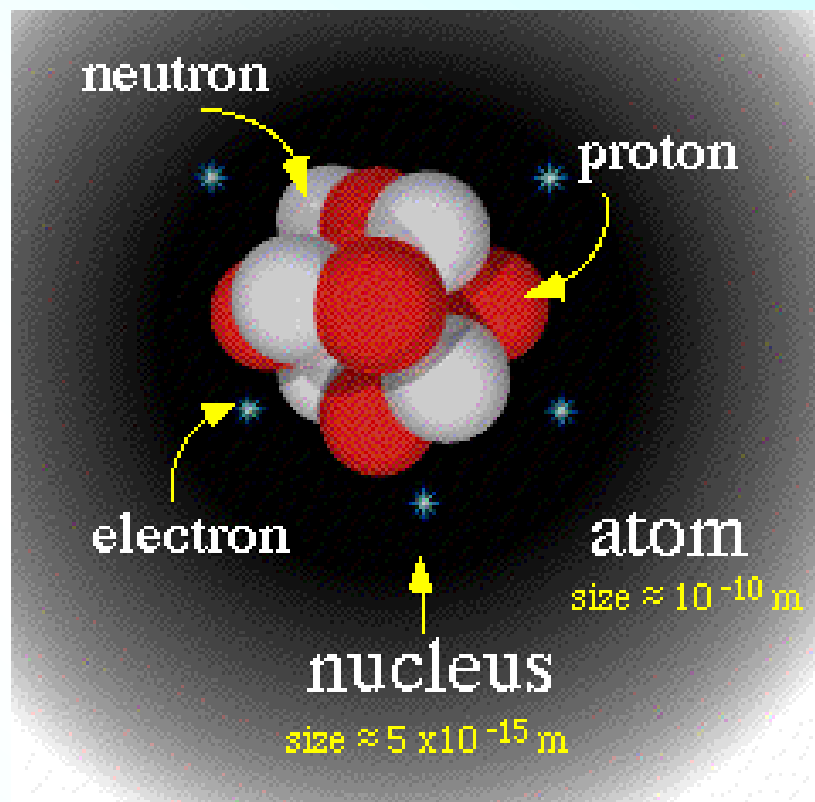


查德威克

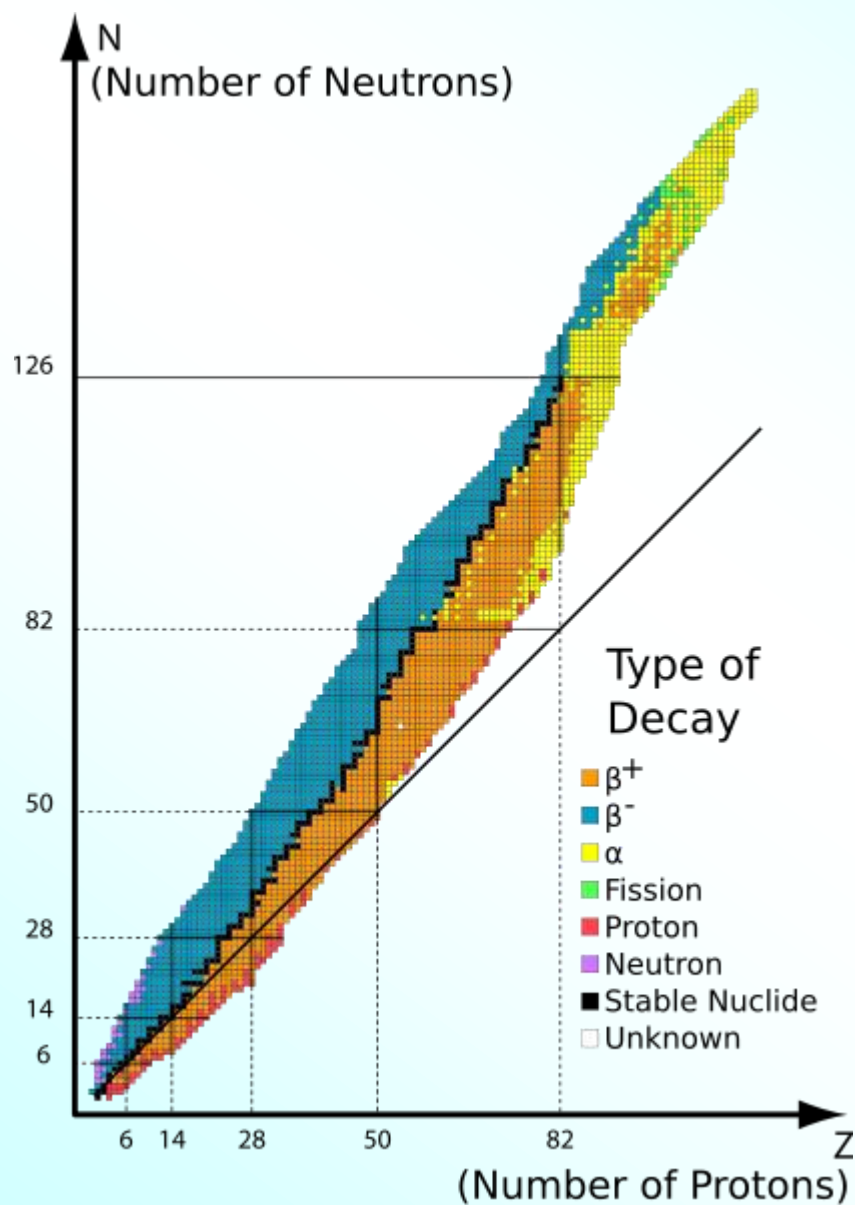


1932年，物理学家查德威克发现了其质量同质子相当的中性粒子，这正是1920年卢瑟福猜想原子核内可能存在的一种中性的粒子，即**中子**。他因此获1935年诺贝尔物理学奖。

## 现代原子结构



# 原子核物理研究对象：原子核，也叫核素



核素图

# 一、原子核的结构和基本性质

组成：原子核是由一定数目的质子和中子组成的，  
质子和中子统称为核子

（除了电荷不同，以及质量稍有差异之外，质子和中子在核内的很多性质都极为相似）

核子数：  $A = Z + N_n$  一原子核内质子数  $Z$  与中子数  $N_n$  之和

大小：原子核的体积与其核子数成正比

原子核的半径：  $R = R_0 A^{1/3}$        $R_0 \approx 1.20 \times 10^{-15} \text{m}$  (实验值)

——轻、重核半径量级都在  $10^{-15}$  米

电荷：正比于原子核中的质子数

原子核的电荷：  $Q = +Ze$

$Z$  表示质子数，又称原子核的电荷数，  
也等于元素的原子序数。

原子核的表示：  ${}_Z^A \text{X}$  例如：  ${}_1^1 \text{H}$ ,  ${}_2^4 \text{He}$ ,  ${}_6^{12} \text{C}$  推广：  ${}_0^1 \text{n}$ ,  ${}_{-1}^0 \text{e}$

质量 = 所有核子的质量之和 ? 略小于

原子核的质量:  $m < Zm_p + N_n m_n$  ——原子核都有结合能。

$$\left. \begin{array}{l} \text{例: } m_{\text{He}} = 6.644763 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ Zm_p + N_n m_n = 6.695206 \times 10^{-27} \text{ kg} \end{array} \right\} \Rightarrow m_{\text{He}} < Zm_p + N_n m_n$$

原子质量单位:  $1\text{u} = 1.660566 \times 10^{-27} \text{ kg}$

$$\Rightarrow \begin{cases} m_n = 1.008665 \text{ u} \\ m_p = 1.007276 \text{ u} ; \end{cases}$$

以新单位表示核素的质量, 都近似为整数, 即核子数A。  
所以A又称为**质量数**

核的质量密度:  $\rho = \frac{m}{4\pi R^3 / 3} \approx 2.29 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$  ( $\rho_{\text{水}} \approx 10^3 \text{ kg/m}^3$ )

各种原子核的密度近乎相同。这表明无论原子核中核子数目有多少, 每一个核子在核内几乎都占有相同大小的体积。这也说明核力是短程力, 具有**饱和性**。

# 原子核的自旋和磁矩:

实验表明:

- 质子和中子都有内禀角动量, 即 **自旋**, 其自旋量子数均为1/2。
- 核子在核内的空间运动还有 **轨道角动量**。

二者合称 **总角动量**。

实验发现, 处于一定能态的核的总角动量具有确定的数值。

**核的自旋**是指 **原子核基态的总角动量**。

**核自旋:**  $P_J = \sqrt{J(J+1)}\hbar$  ——  $J$  为原子核的自旋量子数。

**核磁矩:**  $\mu_J = g_N \frac{e}{2m_p} P_J$  ——  $g_N$  为实验测定的朗德因子。

$$\mu_{Jz\max} = g_N \frac{e}{2m_p} J\hbar = g_N \cdot J \cdot \mu_N \quad z\text{方向投影最大值}$$

**核磁子:**  $\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p}$  —— 描述核磁矩的一个新单位。

**波尔磁子:**  $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$

$$\Rightarrow \mu_B = 1836\mu_N$$

可见: 原子核的自旋对原子能级的影响较小。但是根据原子光谱的超精细结构, 是可以分析测定核自旋。



# 原子核的核力

- 原子核内，核子之间的距离都在  $10^{-15}\text{m}$  以内，质子之间的静电库仑力为很强的斥力
- 把原子核拆散成质子和中子还是需要耗费巨大的功

⇒ 核子之间一定还存在一种比静电斥力更强的相互作用力，使质子和中子集结在一起。这种力称为**核力**（强相互作用）

- 任意两个核子之间的核力大致相等。
- 核力是一种**短程力**。在大于  $10^{-15}\text{m}$  的距离，核力远比库仑力小，在小于  $10^{-15}\text{m}$  的距离，核力比库仑力增加得更快，这时核力起主要作用。
- 核力具有“**饱和**”的性质。即一个核子仅与它相紧邻的核子之间才有核力相互作用，而不能与核内所有更远的核子都以核力相互作用。
- 在核子之间的作用范围内，**远程时**核力表现为**引力**；**近程时**核力表现为**强大的斥力**，这种斥力的存在使得核子不可能非常接近。



# 核力的介子理论

核力的本质，是核子之间交换 $\pi$  介子而获得能动力

库仑势：
$$\Phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{r}$$

汤川势：
$$\Phi' = \frac{g}{r} e^{-mcr/\hbar}$$

当  $r \geq \frac{\hbar}{mc}$  时， $\Phi' \approx 0$  即核力的短程性质

$\frac{\hbar}{mc} \approx R$  时，其中 $R$  是原子核半径

$$\Rightarrow \frac{m}{m_e} \approx \frac{\hbar}{m_e c R} \approx 275$$

1974和1950年在宇宙线中发现了 $\pi$ 介子

$$m_{\pi^\pm} \approx 273m_e, \quad m_{\pi^0} \approx 264m_e$$



汤川秀树(Hideki Yukawa)  
Nobel prize in 1949

# 原子核的结合能

实验测定的原子核的质量总是小于组成核的质子和中子的质量之总和，其差额为称为**质量亏损**。

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m \\ E = mc^2 \end{array} \right. \quad \text{——物质去哪里啦？}$$

$$\Rightarrow \Delta E = \Delta mc^2 \quad \text{结合能}$$

由质子和中子形成原子核时所放出的能量，称为**结合能**。  
如果把原子核拆解为单个的质子和中子时，外界所做的功必须与结合能等值或者更多。

**例：** He原子核的质量亏损与结合能分别为

$$\Delta m = 4.031882\text{u} - 4.001505\text{u} = 0.030377\text{u}$$

$$\Delta E = \Delta mc^2 = 4.539871 \times 10^{-12} \text{J} \approx 28.34 \text{MeV}$$

形成 1 mol的氦原子核所放出的能量为

$$\Delta E_{\text{mol}} = N_A \cdot \Delta E = 2.73 \times 10^{12} \text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(相当于燃烧100 吨煤)

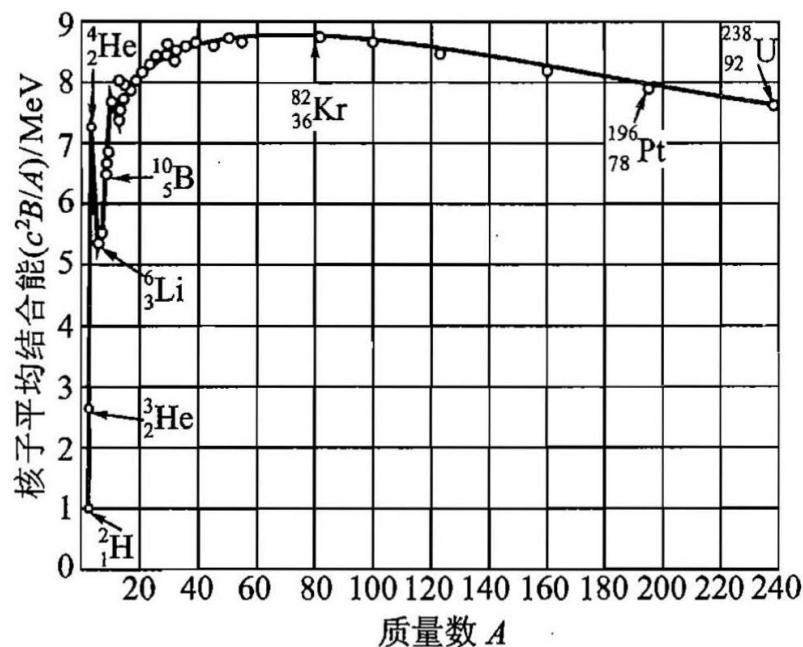
# 原子核的结合能

原子核的结合能与它包含的核子数有关。核子数多则结合能大，为比较不同原子核的结合能，需要定义**平均结合能**：

$$\Delta E / A = \Delta mc^2 / A \quad \text{——描述原子核结合的紧密程度}$$

即：若把原子核拆成自由核子，平均对每个核子所要做的功

- 对应于中等原子量元素的核，核子的平均结合能最大，且近似地均等于8.6MeV，因此最稳定。
- 对于轻核和重核，每个核子的平均结合能都比上述数值小。因此当**轻核聚合**成中等质量的核，或**重核分裂**成中等质量的核时，都有大量能量放出，这种能量称为原子核能，简称**原子能**。



平均结合能与核子数的关系

# 原子核的结构与模型

质子和中子是如何结合组成原子核的呢？

到目前为止, 原子核的结构还没有精确、全面的理论描述, 因此, 只能利用一些模型来近似说明。

**液滴模型：**此模型设想核是一滴带电“核液”

- 从平均结合能曲线看出, 原子核平均每个核子的结合能几乎是常数, 即  $B \propto A$ 。说明**核子间的相互作用力具有饱和性**(短程)。这种饱和性与液体中分子力的饱和性类似。
- 从原子核的体积近似地正比于核子数的事实知道, 核物质密度几乎是常数, 表示**原子核是不可压缩的**(排斥性), 这与液体的不可压缩性类似

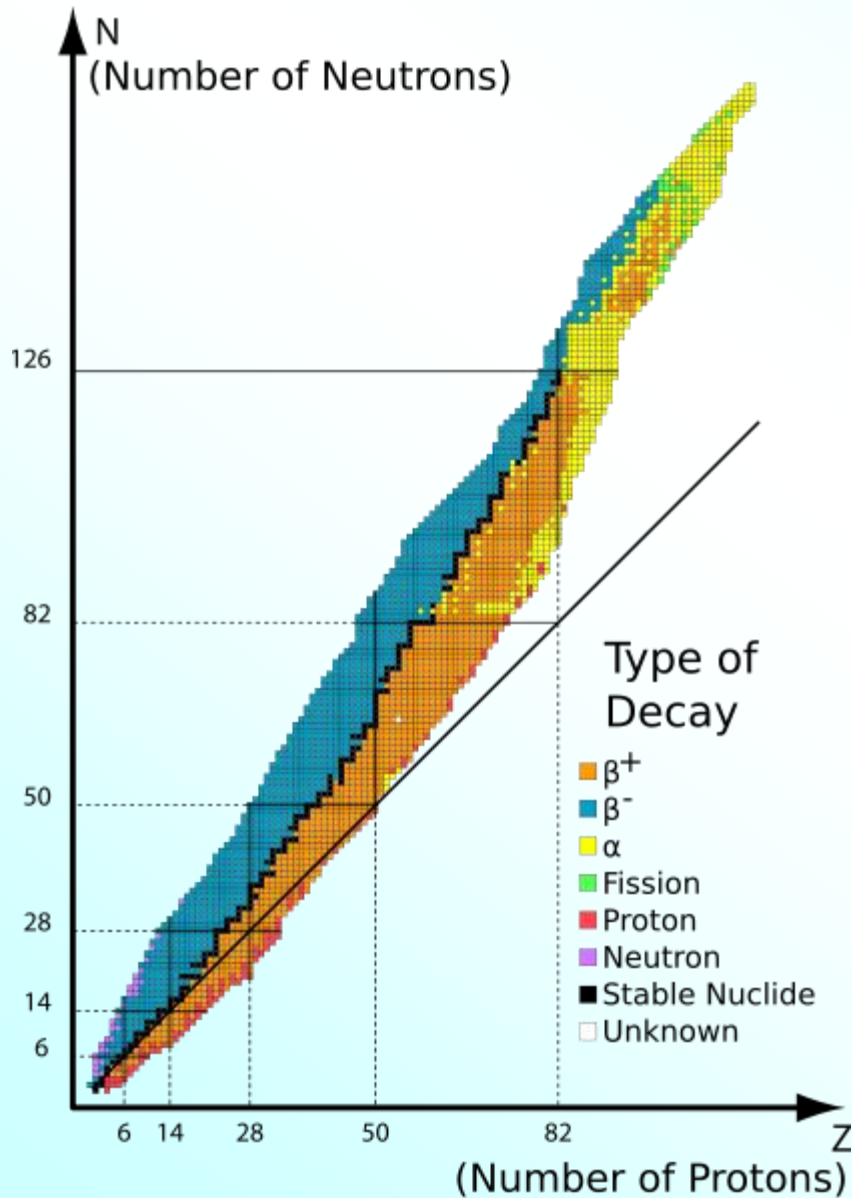
根据液滴模型, 原子核结合能公式(韦塞克半经验公式)为:

$$E_b = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 Z^2 / A^{1/3} - a_4 (A - 2Z)^2 / A + a_5 A^{-1/2}$$

式中有**5**个待定常数, 可以根据实验数据拟合而得。

人们利用这一公式**成功地计算过重核的裂变能**。

# Band of Stability



为什么稳定的原子核里面中子数比质子数要多？





# 壳层模型

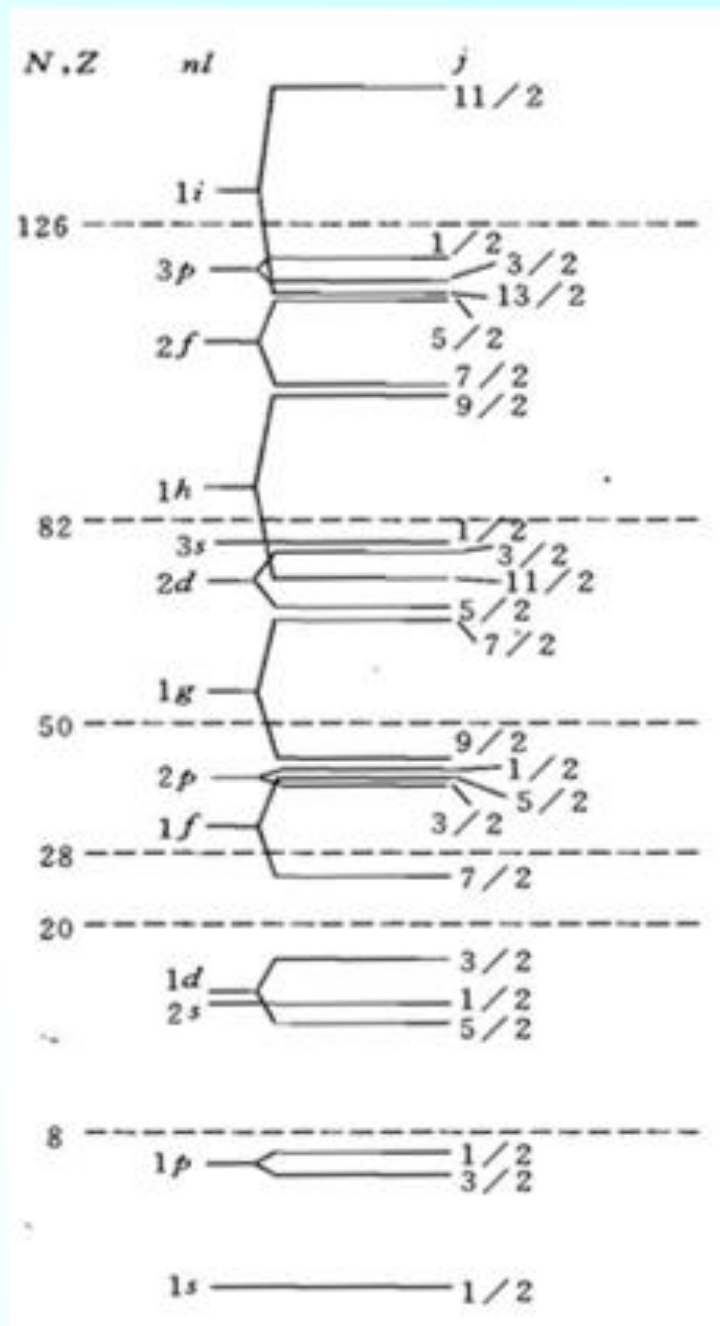
实验发现:

- 核素的平均结合能曲线微结构 ( $^4\text{He}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ 等的平均结合能都冒尖)
- 中子数 $N$ 和质子数 $Z$ 为8、20、28、50、82、126 (幻数-Magic Number) 的核素表现特别稳定等。

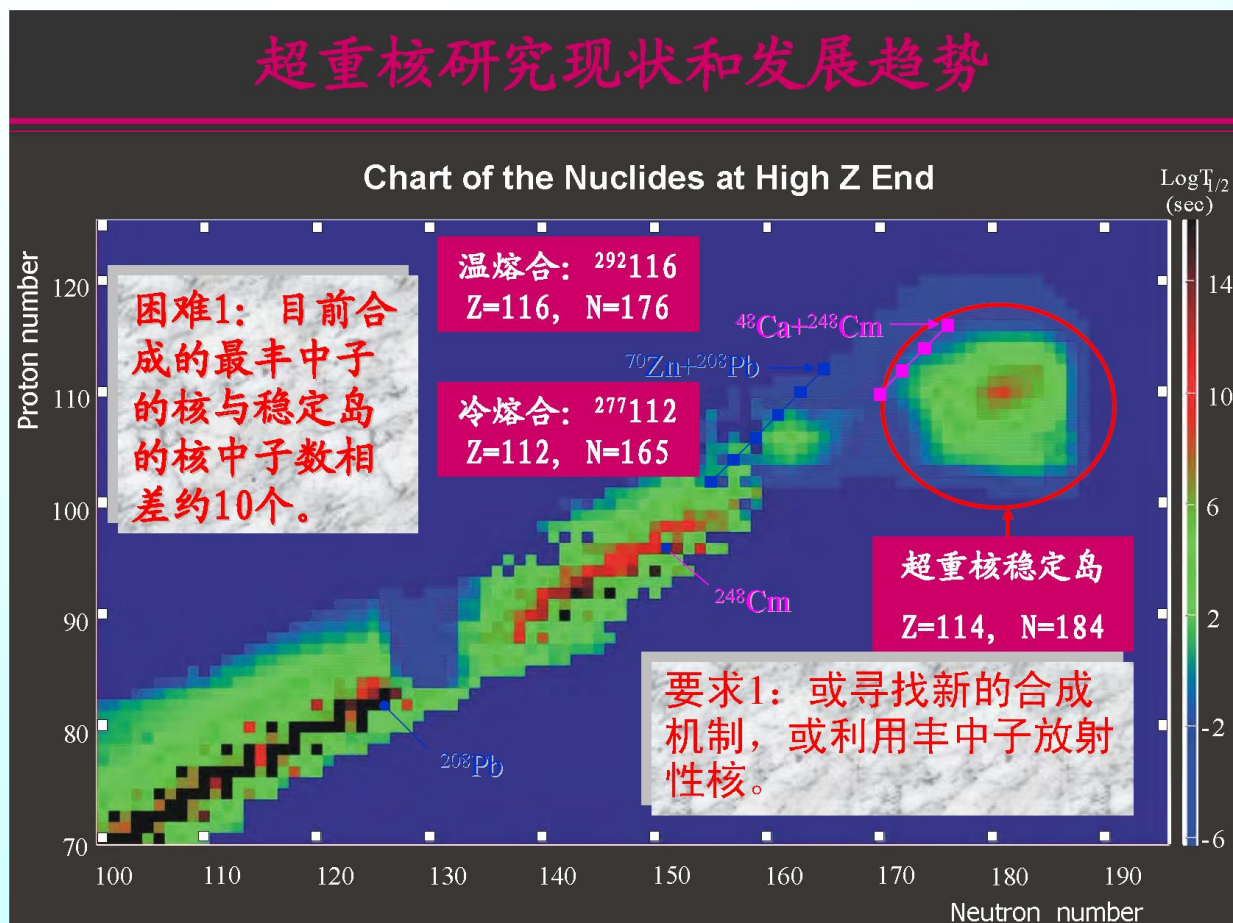
上述性质与原子中电子的壳层结构表现十分相似。

为此, 迈耶和金森提出了类似于原子能级的壳层模型

- 与原子能级不同的是: 能级差变大 (MeV量级), 特别是由于自旋-轨道耦合甚强而引起的轨道能级的分裂间隔很大。
- 壳层模型成功解释了幻数



壳结构理论预言，82 以后的质子幻数可能是114；126以后的中子幻数是184。因此，根据理论预言，质子数为114和中子数为184的原子核是**双幻核**。该核及其附近的一些核可能具有相当大的稳定性，称为**超重核**。实验发现和研究超重核，对核结构理论的发展和应用将起重大作用



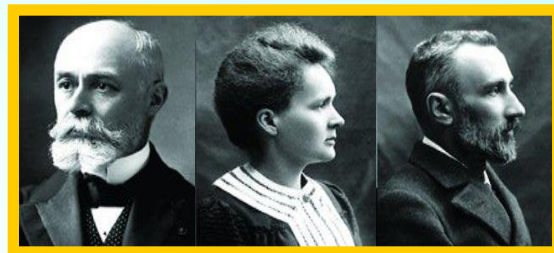


## 二、原子核的衰变

### (一) 天然放射性现象

1896年贝克勒尔(H. Becquerel) 发现铀盐(铀化钾)不断地放出一些射线。

接着居里夫妇发现镭和钋也都能够放出类似的射线，而且强度比铀放出的更强。



1903年诺贝尔物理奖

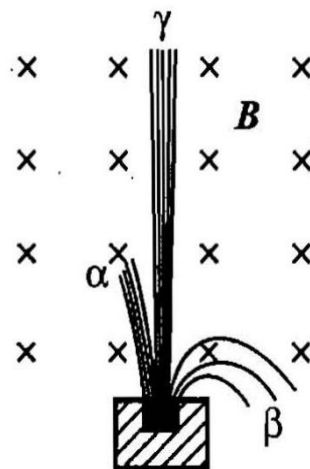
人们后来又发现位于门捷列夫元素周期表末尾的一些其它重元素都具有放射性。这些元素不用人工处理，就会自发地放出上述射线，故称为**天然放射性**。

天然放射性元素的衰变方式有下列三种：

$\alpha$  衰变——从核中放出  $\alpha$  粒子的过程；

$\beta$  衰变——从核中放出电子的过程；

$\gamma$  衰变——从核中放出光子的过程。



## (二) 原子核衰变的规律

原子核的放射性及其衰变方式，取决于核内的强相互作用和弱相互作用。与温度、压强、电场或磁场等外界条件无关。

**衰变规律：**在核衰变的过程中，原子核的数目 $N$ 随时间按指数规律而减少。

$$dN = -\lambda N dt \Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$\lambda$  : 衰减常数

**放射性活度：**物体放射性的强弱，即单位时间内发生核衰变的次数，以 $A$ 表示。

$$A = \frac{-dN}{dt} = \lambda N \Rightarrow A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t}$$

单位：贝克勒尔 ( $Bq$ )  $1 Bq =$  一次核衰变/秒

居里 ( $Ci$ )  $1 Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$

**半衰期:** 放射性活度减弱为原来的一半时所需要的时间 $\tau$ 称为放射性元素的半衰期。

$$\frac{A_0}{2} = A_0 e^{-\lambda \tau}$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0.693}{\lambda}$$

各种放射性元素半衰期的长短相差很大。

铀 ( $^{238}_{92}\text{U}$ ) ——  $4.5 \times 10^9 \text{ a}$  (a表示以年为单位)

镭 ( $^{226}_{88}\text{Ra}$ ) ——  $1600 \text{ a}$

钋 ( $^{212}_{84}\text{Po}$ ) ——  $3 \times 10^{-7} \text{ s}$

**例：** $^{226}_{88}\text{Ra}$  的半衰期为1600a。10g纯的 $^{226}_{88}\text{Ra}$  活度是多少？

这一样品经过400a和6000a时的活度又分别是多少？

(a表示以年为单位)

**解：**活度满足指数方程：

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

半衰期为：

$$\tau = \ln 2 / \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{\tau}$$

10g纯 $^{226}_{88}\text{Ra}$  的原子数为：

$$\begin{aligned} N_0 &= \frac{10}{226} \times 6.022 \times 10^{23} \\ &= 2.66 \times 10^{22} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow A = \frac{0.693}{\tau} N_0 \cdot \text{Exp}\left(-\frac{0.693t}{\tau}\right)$$

10g纯 $^{226}_{88}\text{Ra}$  , 即起始活度为：

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{0.693}{\tau} N_0 = \frac{0.693 \times 2.66 \times 10^{22}}{1600 \times 3.1536 \times 10^7} \\ &= 3.65 \times 10^{11} (\text{Bq}) \\ &\approx 10 (\text{Ci}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{400} &= A_0 \times e^{-0.693 \cdot 400 / 1600} \\ &= 3.07 \times 10^{11} (\text{Bq}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{6000} &= A_0 \times e^{-0.693 \cdot 6000 / 1600} \\ &= 2.71 \times 10^{10} (\text{Bq}) \end{aligned}$$

**例：**设有一台 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -刀初装时钴源的活度为  $604\text{Ci}$ ，使用5年后，钴源活度还剩多少 $\text{Bq}$ ？已知 $^{60}\text{Co}$ 的半衰期为 $5.27\text{a}$ 。

**解：**

活度满足指数方程：

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

半衰期为：

$$\tau = \ln 2 / \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{\tau}$$

$$\Rightarrow A = A_0 e^{-0.693 \cdot t / \tau}$$

$$A_0 = 604\text{Ci}$$

$$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$$

$$\Rightarrow A_0 = 2.24 \times 10^{13} \text{Bq}$$

$$\Rightarrow A = 2.24 \times 10^{13} \times e^{-0.693 \cdot 5 / 5.27} \text{Bq}$$

$$= 1.16 \times 10^{13} \text{Bq}$$

此外，和其它物理过程一样，原子核的衰变过程也要遵从电荷守恒、动量守恒和能量守恒等自然界的普遍规律。衰变前各原子核的电荷数与质量数的总和应分别等于衰变后的总和。

例如：  ${}^A_Z\mathbf{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\mathbf{Y} + {}^4_2\mathbf{He}$  ( $\alpha$  衰变)

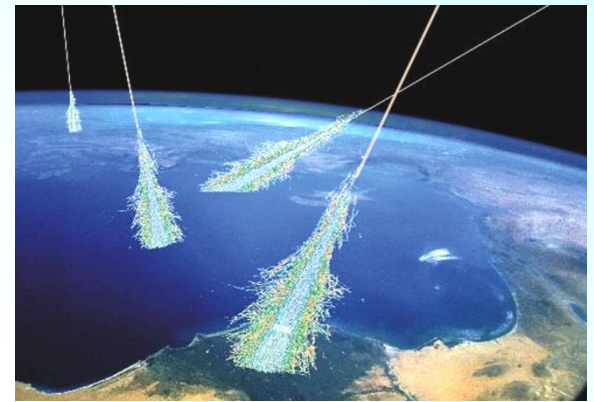
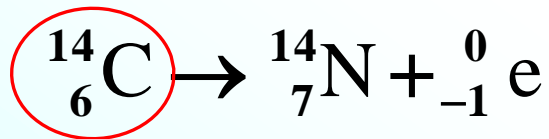
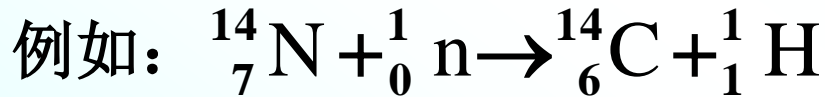
$${}^A_Z\mathbf{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\mathbf{Y} + {}^0_{-1}\mathbf{e} \quad (\beta \text{ 衰变})$$

—— 这两个公式通常称为核衰变过程中的位移定则

放射性的一个重要应用是鉴定古物的年代。

1960年诺贝尔化学奖，威拉德·利比（Willard Frank Libby，美国），发展了使用碳14同位素进行年代测定的方法。

宇宙射线不停的轰击地球大气层，产生宇宙射线广延大气簇射。其中发生很多原子核反应，形成放射性同位素



宇宙射线

${}^{14}\text{C}$ 是放射性同位素，半衰期约为5730a。

由于宇宙射线的强度非常稳定，而且地球生物固化碳的能力也相对稳定，所以千万年以来，**地球大气中的 ${}^{14}\text{C}$ 已达到了恒定的丰度**，约为 $1.3 \times 10^{-10}\%$ ，即 $1.3 \times 10^{-12}$ 。

所以，活的生物体中 ${}^{14}\text{C}$ 的丰度与大气一致。

而死的生物体中 ${}^{14}\text{C}$ 将不停的衰变，**丰度按指数减少**



**例：**2003年，河北某地在考古遗迹中发现有古时候的粟，其中含有1g碳，它的活度经测定为 $2.8 \times 10^{-12} \text{Ci}$ 。求这些粟距今的年代。

**解：**活度满足指数衰减规律：

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$^{14}\text{C}$ 的半衰期为5730a

$$A_0/2 = A_0 e^{-\lambda \tau} \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{\tau}$$

粟中 $^{14}\text{C}$ 的初始丰度就是大气中的恒定丰度 $1.3 \times 10^{-12}$ ，则1g碳中  $^{14}\text{C}$  原子数为：

$$N_0 = \frac{1}{12} \times 6.022 \times 10^{23} \times 1.3 \times 10^{-12} = 6.5 \times 10^{10}$$

$$\Rightarrow A = \frac{0.693}{\tau} N_0 e^{-0.693 \cdot t / \tau}$$

$$\Rightarrow t = \frac{\tau}{0.693} \ln \frac{0.693 N_0}{A \tau} = 7300 \text{ a}$$

据考证，这些粟是世界上发现的最早的粟。

**例：**一古木片在纯氧环境中燃烧后收集了0.3mol的CO<sub>2</sub>，此样品由于<sup>14</sup>C的衰变而产生的总活度测得为每分钟9次计数。试由此确定古木片的年龄。

**解：**活度满足指数衰减规律：

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

古木片现在的活度为：  $A = \frac{9}{60} \text{ Bq}$

<sup>14</sup>C的半衰期为5730a

$$A_0/2 = A_0 e^{-\lambda \tau} \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{\tau}$$

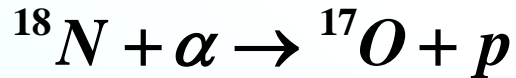
0.3mol碳中，初始 <sup>14</sup>C 原子核数为：

$$N_0 = 0.3 \times 6.022 \times 10^{23} \times 1.3 \times 10^{-12} = 2.35 \times 10^{11}$$

$$\Rightarrow t = \frac{\tau}{0.693} \ln \frac{0.693 N_0}{A \tau} = 1.5 \times 10^4 \text{ a}$$

### 三、核反应与核能的利用

卢瑟福用镭发射的 $\alpha$ 粒子作“炮弹”，研究被轰击的粒子的情况。1919年，终于观察到氮原子核俘获一个 $\alpha$ 粒子后放出一个氢核，同时变成了另一种原子核的结果。



这是人类历史上第一次实现原子核的人工衰变，使古代炼金术士梦寐以求的把一种元素变成另一种元素的空想变成现实。当时卢瑟福写了一本书就取名为《新炼金术》。

1934年，居里夫妇发现，用粒子轰击各种物质时，经过核反应所产生的新元素是放射性元素

这种用人为方法产生放射性元素的现象，称为**人工放射性现象**。这一发现对产生人为放射性同位素提供了重要的实验基础。



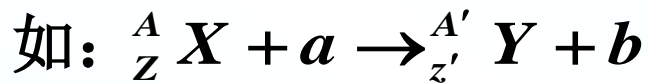
卢瑟福在实验室



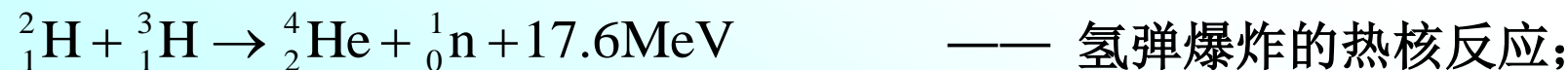
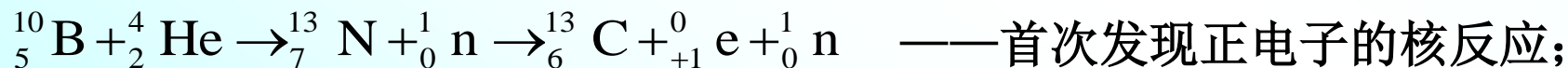
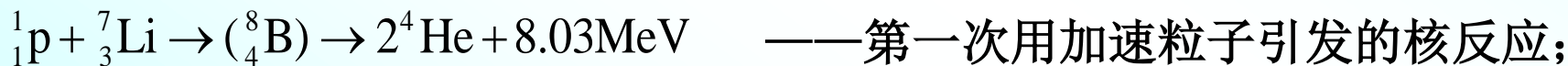
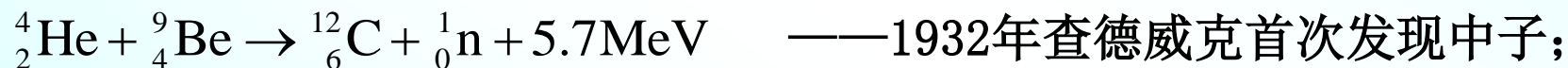
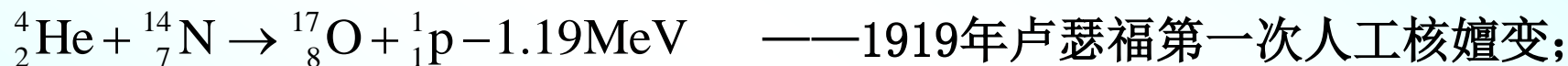
第一次实现原子核人工嬗变的装置

这种用高能粒子轰击原子核使原子核发生改变的过程叫做**核反应**。

$a$ 是入射粒子； $b$ 是反应后放出的粒子；  
 $X$ 是被轰击的原子核，称为靶核；  
 $Y$ 是形成的新核，称为反冲核。



**基本规律：能量守恒，电荷守恒，角动量守恒，...**



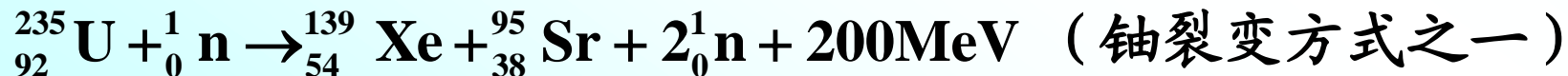
## （二）核能的利用

把轻核聚合成较重的中等质量的原子核，或把重核分裂成两个中等质量的原子核，都会放出大量能量。前者叫做**轻核聚变**，后者叫做**重核裂变**，这是获得原子核能的两种途径。

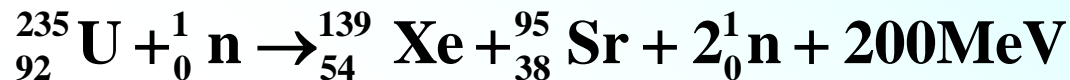
### 核裂变反应（1938年末-1939年初）

重核分裂的过程相对较易产生。实际上，天然放射性元素就在自发地进行这种过程，但是这种过程不容易用人工的方法加以控制；另一方面由于功率太低，所以不能加以大量利用。

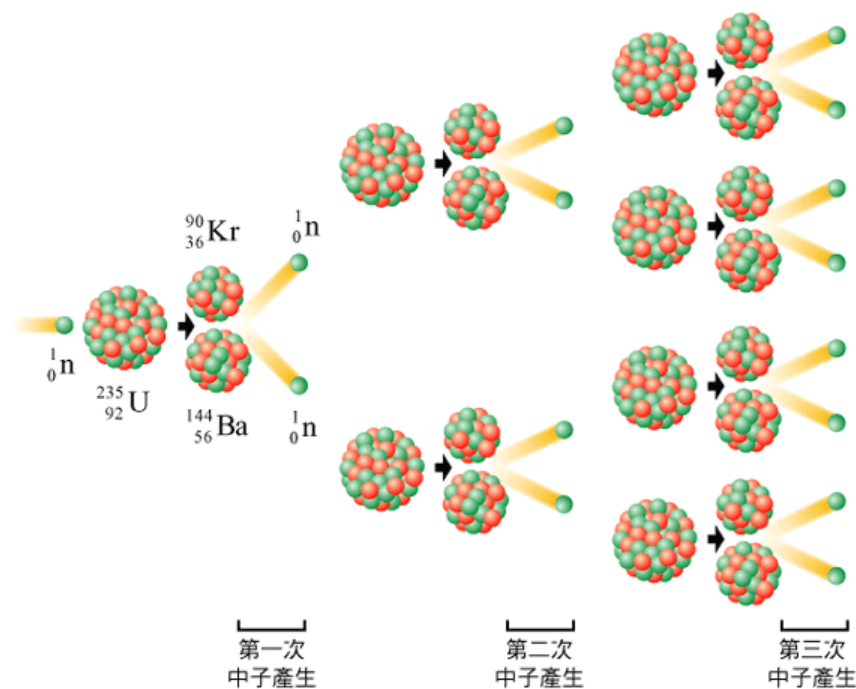
利用重核裂变时释放的原子核能，只是在1938年开始发现用中子轰击铀（ ${}_{92}^{235}\text{U}$ ）等几种重核时的分裂现象后，才成为可能。



## 铀裂变方式之一:



一个 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 核分裂时放出约195MeV的能量，而且分裂时放出的再生中子又能够引起另外的 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 核的分裂。依次滚雪球似的扩大，可使反应继续进行下去，并不断释放出大量原子核能。这种反应称为**链式反应**。



要发生链式反应，铀要到达一定的体积（**临界体积**）和质量（**临界质量**）。当几块质量小于临界质量的铀很快的合拢起来而总质量超过临界质量时，就会发生极猛烈的链式反应而引起爆炸。原子弹的构造就是根据这个原理制成的。



# 爱因斯坦于1939年8月2日给时任美国总统罗斯福的信

Albert Einstein  
Old Grove Rd.  
Nassau Point  
Peconic, Long Island  
August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,  
President of the United States,  
White House  
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

Because of the danger that Hitler might be the first to have the bomb, I signed a letter to the President which had been drafted by Szilard.

Had I known that the fear was not justified, I would not have participated in opening this Pandora's box, nor would Szilard. For my distrust of governments was not limited to Germany.



1939年当爱因斯坦知道德国人有可能研制核武器的消息后，出于对人类命运的关注，写信给美国总统罗斯福，促使罗斯福批准美国研制原子弹的“曼哈顿计划”。





## 美国曼哈顿计划

1945年7月16日凌晨

第一颗试验原子弹

(代号：小玩意儿 The Gadget)

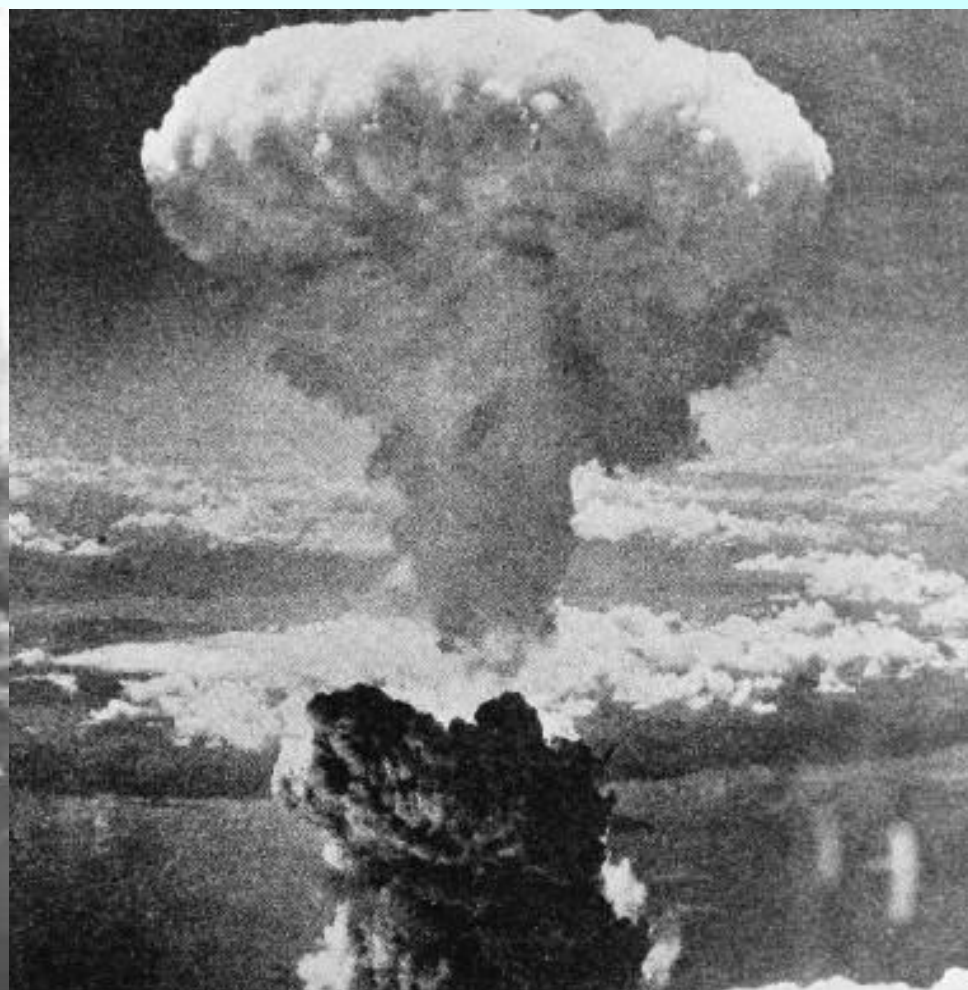
在美国 新墨西哥州 Los Alamos阿拉

默多尔空军基地的沙漠地区爆炸成功

它的爆炸威力相当于二万吨TNT炸药



1945年8月6日，美国向日本广岛投下第一颗原子弹（代号：小男孩），浓烟笼罩广岛上空。广岛死于原子弹爆炸以及核辐射的人数已超过了24万人。



1945年8月9日，美国空军向日本长崎投下第二颗原子弹（代号：胖子），蘑菇云直冲云霄。爆炸当日使10万余人死伤和失踪，60%—70%的建筑物被毁。



人民日报

1964年10月16日

号外

加强国防建设的重大成就，对保卫世界和平的重大贡献

# 我国第一颗原子弹爆炸成功

我国政府发表声明，郑重建议召开世界各国首脑会议，讨论全面禁止和彻底销毁核武器问题。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

我国政府发表声明，郑重建议召开世界各国首脑会议，讨论全面禁止和彻底销毁核武器问题。

我国政府发表声明，郑重建议召开世界各国首脑会议，讨论全面禁止和彻底销毁核武器问题。

我国政府发表声明，郑重建议召开世界各国首脑会议，讨论全面禁止和彻底销毁核武器问题。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

新华社北京十六日电 我国第一颗原子弹，于一九六四年十月十六日（北京时间）上午九时，在我国西部地区成功地进行了第一次核试验。

1964年10月16日  
《人民日报》号外  
中国第一颗原子弹  
爆炸成功



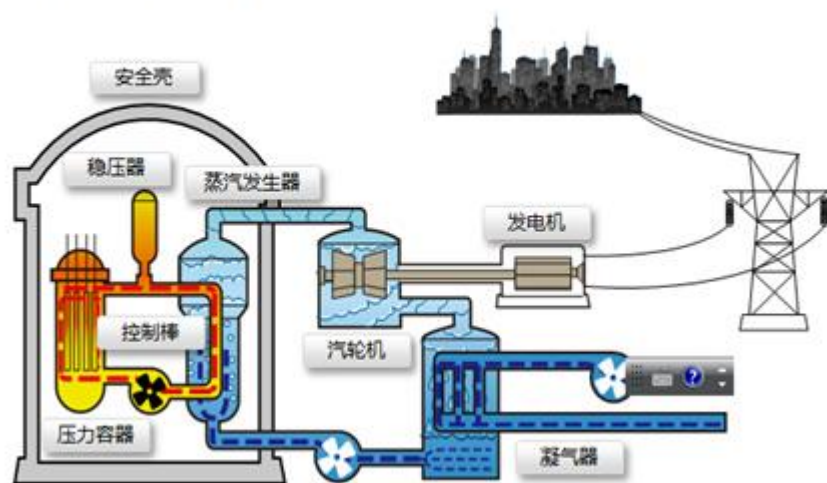
# 核电站原理

一般反应堆都应该包括下述三个部分：(1) 某种可以分裂的物质（即核燃料），有的用天然铀，有的用的浓缩铀  $^{235}_{92}\text{U}$ ；(2) 减速剂；(3) 冷却剂。

在  $^{235}_{92}\text{U}$  吸收了慢中子而分裂时便放出原子核能。通过某种冷却剂的循环工作可以吸收这种能量，使反应堆的温度不致增高，并把原子核能传输到反应堆外，以供应用。

在反应堆中，除产生大量热能外，尚可得到大量放射性同位素。同时，因为反应堆中产生的碎片都有放射性，为了防止这种射线伤害工作人员，反应堆外以及其他有放射性的部分都用足够厚的混凝土壁屏蔽起来，操作过程则通过远距离自动控制来实现。

核能发电（压水堆）的基本原理如下：

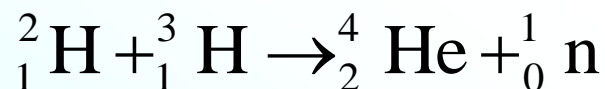




# 核聚变

轻核聚变是利用原子核能的另一种方法。在高温下，使轻核聚合而放出大量原子核能的反应称为**热核反应**。

氢同位素氘( ${}^2_1\text{H}$ )和氚( ${}^3_1\text{H}$ )聚合形成氦核( ${}^4_2\text{He}$ )是一个比较容易产生的热核反应，它的反应式是：

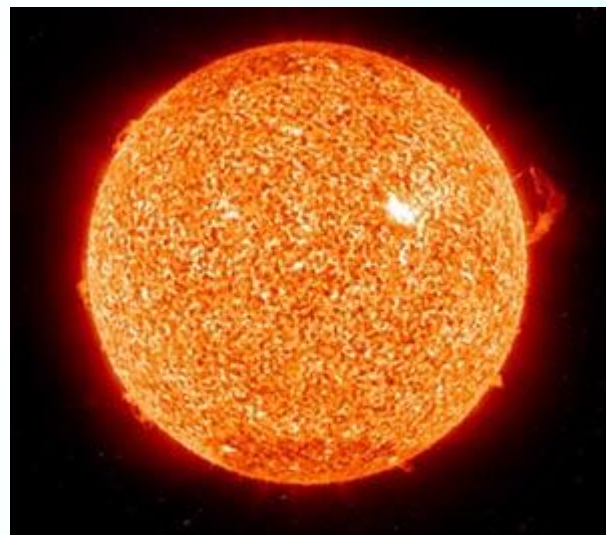
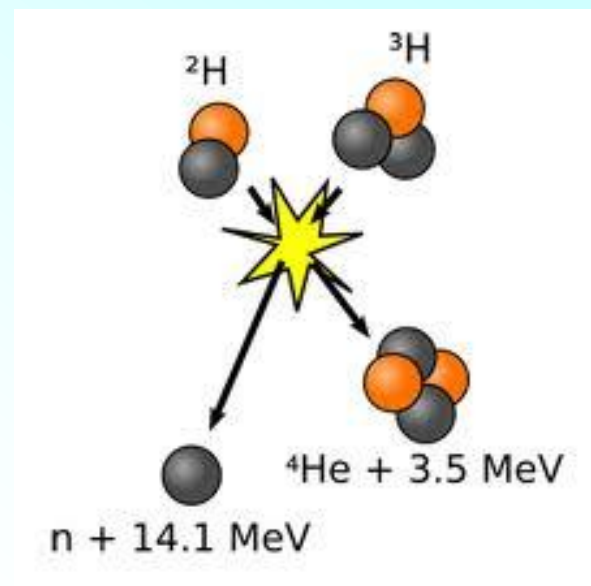


聚变释放的能量比铀核裂变大**10倍**。

轻核聚变需要巨大的能量克服带电粒子靠近时的静电斥力。

氢弹中，引爆方法为**通过引爆原子弹**，产生几百万度的高温，引发热核反应。

太阳的能量来自它中心的热核聚变



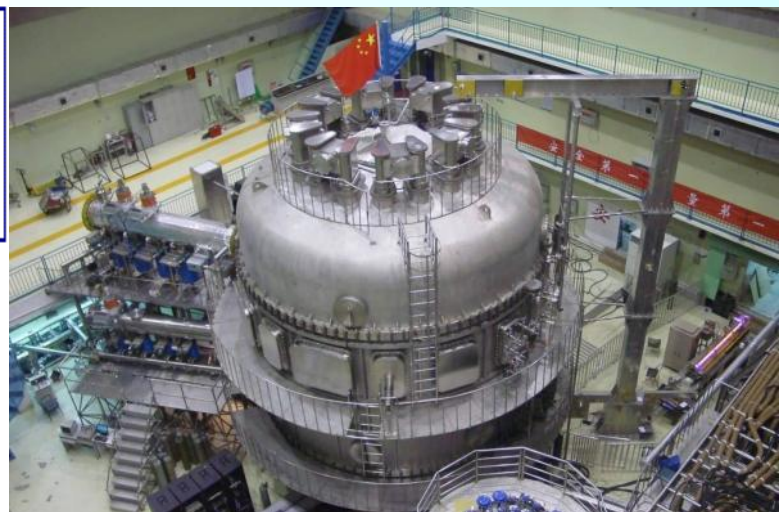
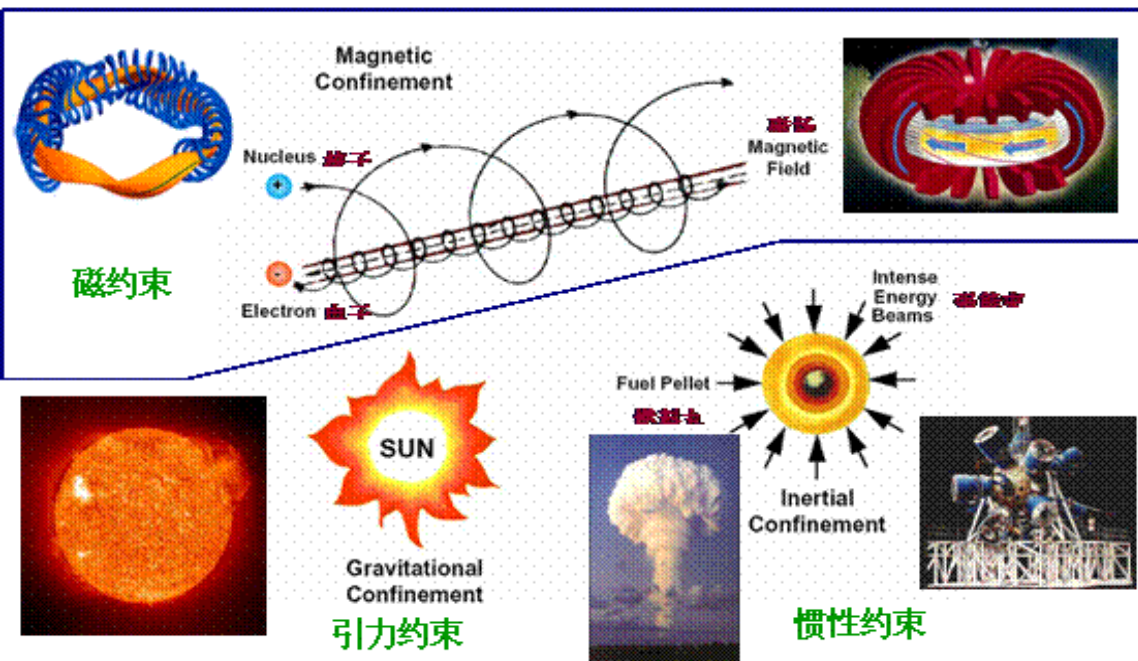
太阳





氢弹爆炸是一种不可控制的热核反应。在人工控制下进行的热核反应叫做**受控热核反应**，它能够根据需要控制热核反应的速度，使之缓慢而均匀地进行，以能适应在生产实践中的应用。

### 实现聚变的三种途径



国际热核聚变实验堆（**ITER**）计划是当今世界最大的大科学工程国际科技合作计划之一。

中科院等离子体物理研究所的 **EAST** 是世界上第一个建成并真正运行的全超导非圆截面核聚变实验装置



# 人类认识物质“基本砖块”历程

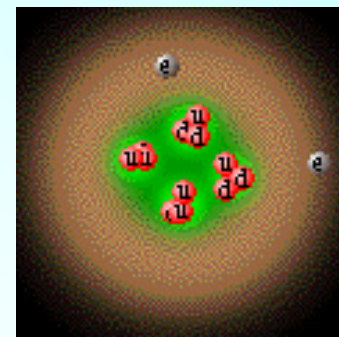


德谟克利特

公元前4世纪  
德谟克利特



1913  
玻耳

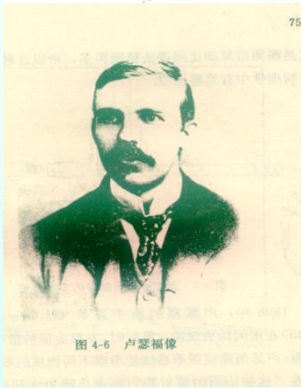
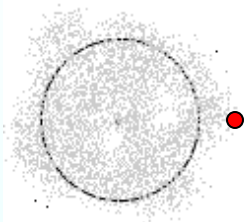


100

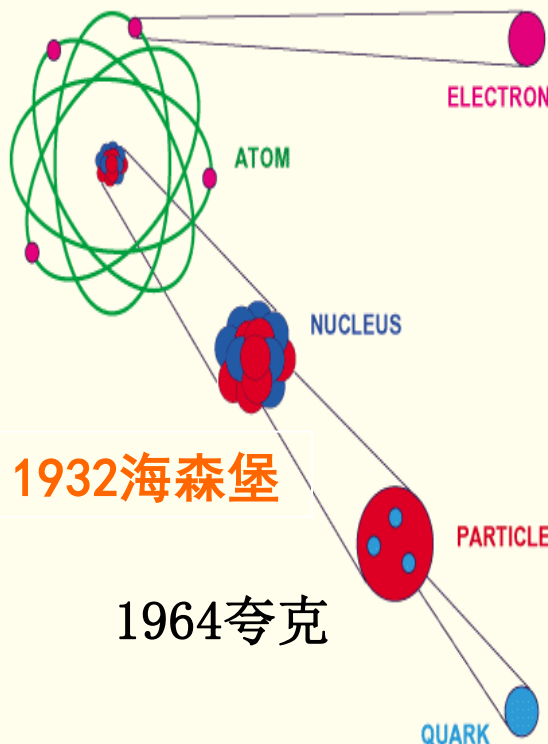
60多年



1803  
道尔顿



1911  
卢瑟福



现代“基本砖块”：

轻子 12

夸克 36

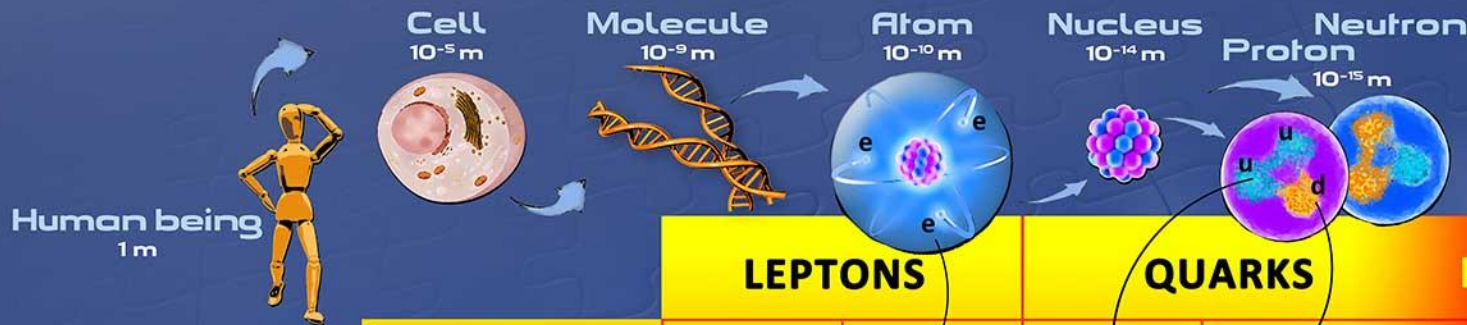
媒介子 13

希格斯粒子 1

合计 62

其中引力子尚未发现

# Elementary constituents of matter



	LEPTONS		QUARKS		HIGGS BOSON H
1 <sup>st</sup> family Components of everyday matter	$\nu_e$ electron neutrino $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \times 10^{-6} \text{ GeV}/c^2$	$e$ electron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0.00051 \text{ GeV}/c^2$	$u$ up $t = \infty$ $Q = 2e/3$ $m = 0.002 \text{ GeV}/c^2$	$d$ down $t = 15 \text{ min}$ $Q = -e/3$ $m = 0.005 \text{ GeV}/c^2$	<p>The Higgs boson is the manifestation of the Higgs field. Through its interaction with the elementary constituents of matter, this field is responsible for their masses. It also brings about the splitting between the electromagnetic and weak forces.</p> <p><math>t = 1.6 \times 10^{-13} \text{ s}</math> <math>Q = 0</math> <math>m = 125 \text{ GeV}/c^2</math></p>
2 <sup>nd</sup> family A more massive copy of the 1 <sup>st</sup> family	$\nu_\mu$ muon neutrino $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \times 10^{-6} \text{ GeV}/c^2$	$\mu$ muon $t = 2.2 \times 10^{-6} \text{ s}$ $Q = -e$ $m = 0.106 \text{ GeV}/c^2$	$c$ charm $t = 10^{-13} \text{ s}$ $Q = 2e/3$ $m = 1.3 \text{ GeV}/c^2$	$s$ strange $t = 10^{-13} \text{ s}$ $Q = -e/3$ $m = 0.1 \text{ GeV}/c^2$	
3 <sup>rd</sup> family A more massive copy of the 1 <sup>st</sup> and 2 <sup>nd</sup> families	$\nu_\tau$ tau neutrino $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 3 \times 10^{-6} \text{ GeV}/c^2$	$\tau$ tau $t = 2.9 \times 10^{-13} \text{ s}$ $Q = -e$ $m = 1.78 \text{ GeV}/c^2$	$t$ top $t = 3 \times 10^{-13} \text{ s}$ $Q = 2e/3$ $m = 173 \text{ GeV}/c^2$	$b$ beauty / bottom $t = 1.5 \times 10^{-12} \text{ s}$ $Q = -e/3$ $m = 4.2 \text{ GeV}/c^2$	

## FUNDAMENTAL INTERACTIONS

10 <sup>-17</sup> m	Weak Interaction
Infinite	Electromagnetic interaction
10 <sup>-15</sup> m	Strong interaction
Infinite	Gravitation

Z, W <sup>±</sup> Bosons	Radioactive decays (β <sup>+</sup> and β <sup>-</sup> of unstable nuclei)
γ Photon	Electricity, magnetism, atomic and molecular binding, chemistry
g Gluons	Binding of protons, neutrons and nuclei, nuclear energy
Graviton (?)	Gravity, universal attraction, solar system, galaxies

Each fundamental interaction is mediated by the associated **particles**

The stars that populate the galaxies, including the Sun, make use of the four fundamental interactions:

- gravity shapes interstellar dust clouds into stars;
- the weak and strong interactions are required for the nuclear fusion reactions;
- the electromagnetic interaction is needed to emit light.

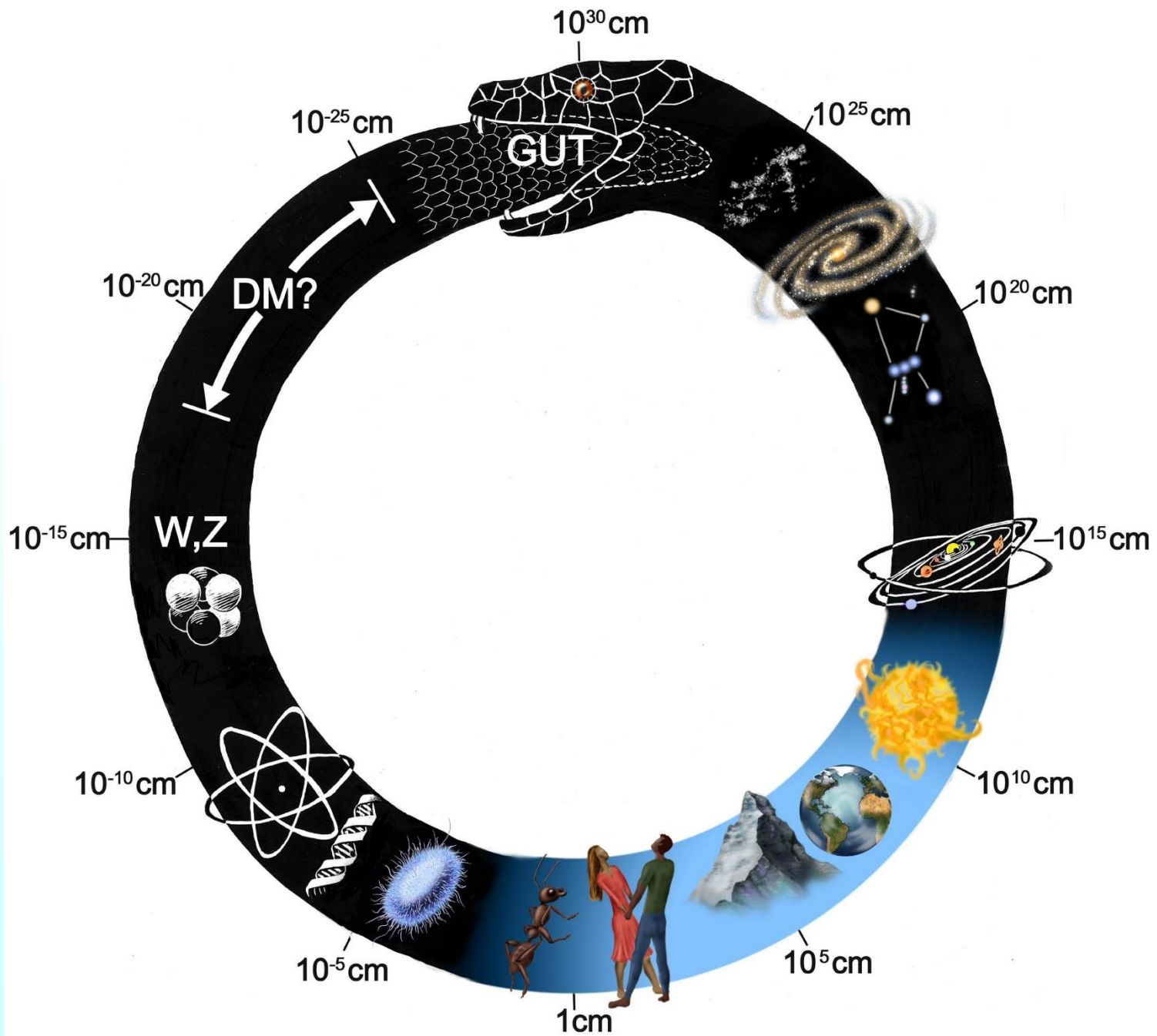


Antiproton

## ANTIMATTER

Each particle has an antiparticle. Their properties are almost the same. A particle and its antiparticle have equal masses but opposite charges.





# 作业： 17 —T1-T5（不用交）

期末考试：2025年1月7日上午

期末答疑：

2024年12月30日 19:00-21:00 西五楼116

2025年1月2日 19:00-21:00 西五楼116

*预祝大家取得好成绩！*