

核医学

游金辉 教授 硕士导师

Tel: 0817-2262227

医学影像学系核医学教研室



川北医学院

North Sichuan Medical University

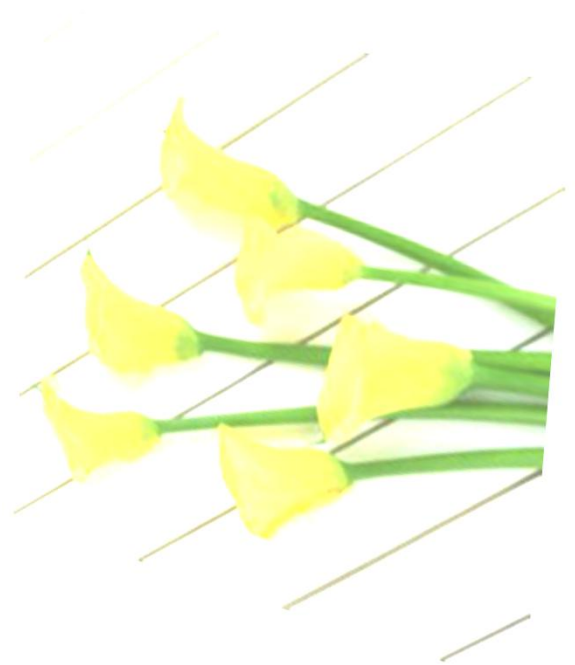


核物理基础



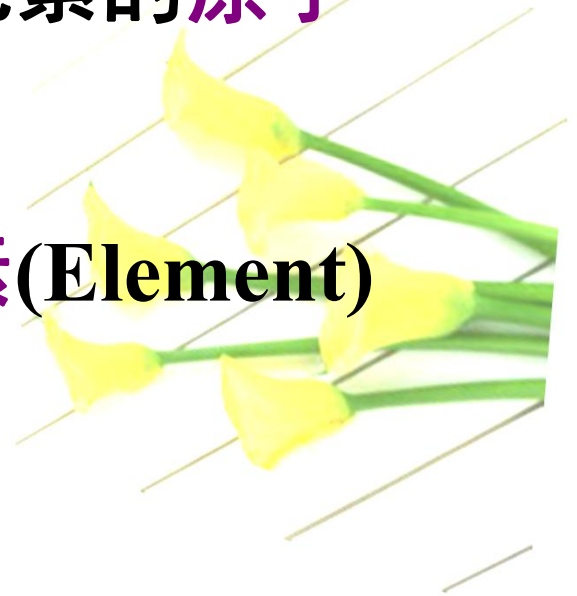
川北医学院

North Sichuan Medical University



一、原子核

- 自然界的一切物质都是由元素构成
- 元素的最基本单位是该元素的**原子**
- 化学上把同种原子叫**元素**(Element)



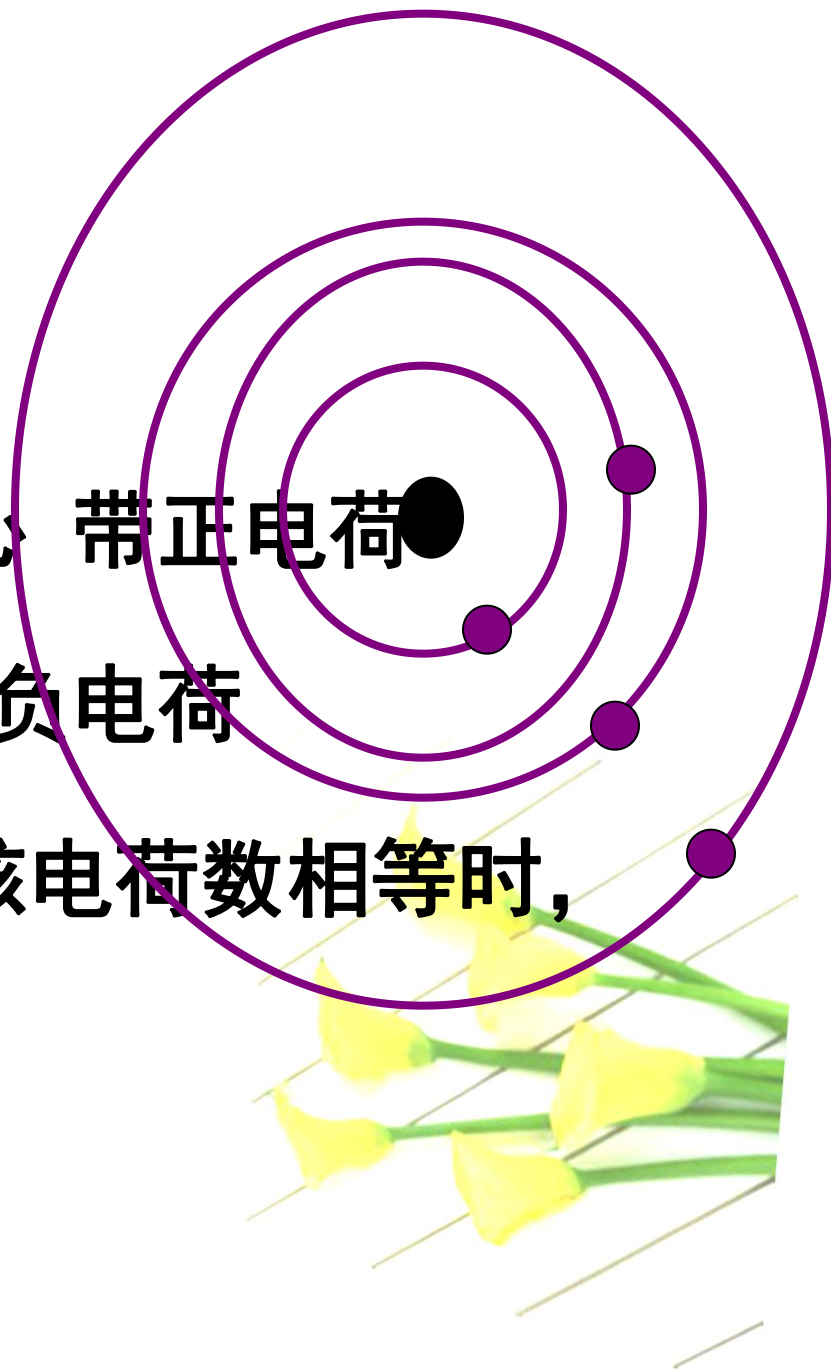
川北医学院

North Sichuan Medical University

一、原子核

原子的结构

- 原子核：原子的中心 带正电荷
- 电子：绕核旋转 带负电荷
- 当核外电子与原子核电荷数相等时，
原子呈中性



川北医学院

North Sichuan Medical University

一、原子核

原子核结构：

- 质子(Proton)
- 中子(Neutron)
 - 统称为核子(Nucleon)
 - 原子的**理化特性**主要取决于原子核中的质子数和中子数及其能量状态

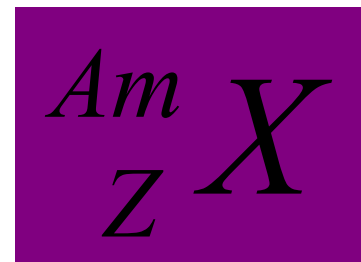


川北医学院

North Sichuan Medical University



一、原子核



- **核素**(Nuclide): 原子核具有特定的**质子数**(Z)和**中子数**(N)及一定**能态**(m)的原子, 称为核素。
- **同位素**(Isotope): 凡核内质子数相同而中子数不同, 在元素周期表中处于同一位置的一类核素称同位素。
- **同质异能素**(Isomer): 核内质子数和中子数都相同而能量不同的核素。



一、原子核

- **基态**：原子核处于能量最低的状态
- **激发态**：在一定条件下，原子核可处于较高能量状态，称为激发态。
 - 激发态的核素回到基态，释放能量，其方式不是连续的，而是跳跃式的。



二、核衰变(Nuclear Decay)

- **稳定核素**(Stable Nuclide): 指原子核能稳定存在, **不会自发**的发生改变的一类核素。



二、核衰变(Nuclear Decay)

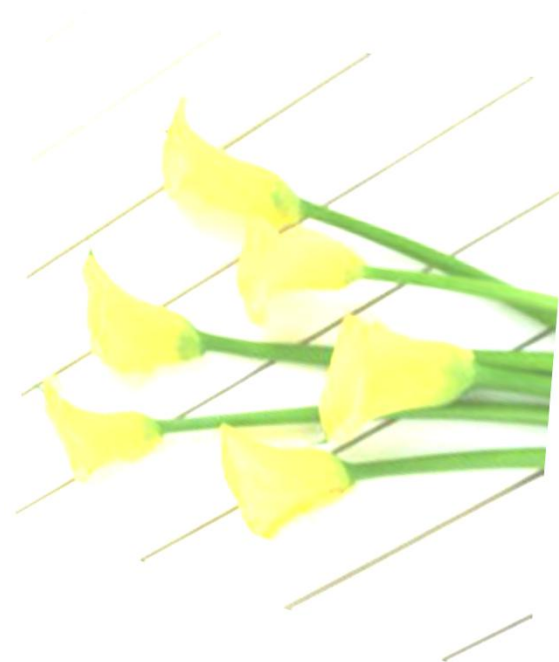
- **放射性核素(Radio Nuclide)**: 指原子核不稳定, 它能**自发的**放射出一种或几种核射线, 由一种核素衰变为另一种核素, 这种核转变过程即为**核衰变(Nuclear Decay)**。



二、核衰变(Nuclear Decay)

放射性核素的衰变方式

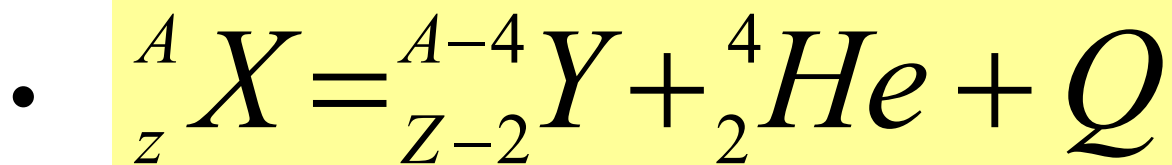
- α 衰变
- β^- 衰变
- β^+ 衰变
- EC(电子俘获)
- γ 跃迁(衰变)



川北医学院
North Sichuan Medical University

二、核衰变(Nuclear Decay)

- α 衰变，放射性核素每次衰变时，释放出一个氦核(${}^4_2\text{He}$)，称 α 粒子。



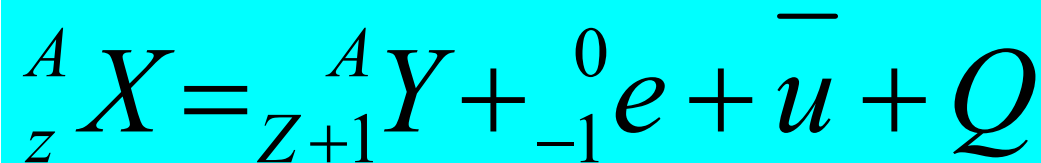
川北医学院

North Sichuan Medical University



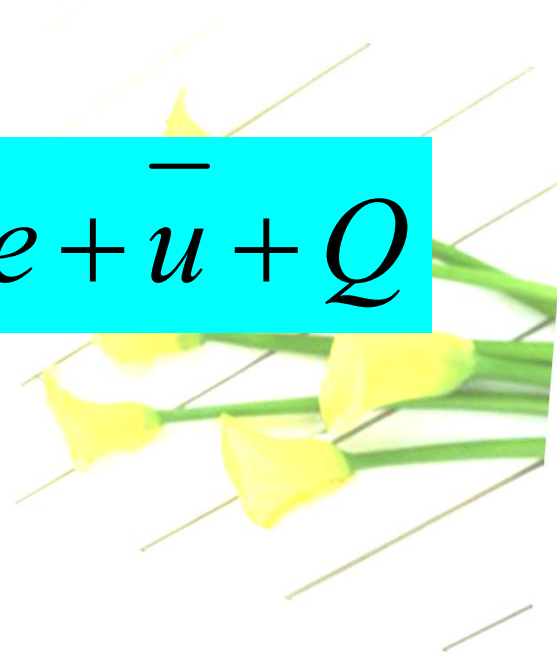
二、核衰变(Nuclear Decay)

- β -衰变，主要发生在中子相对过剩的核素
- 衰变时，核内一个中子转变为一个质子，总核子数不变，同时释放出一个负电子(e^- 粒子)及一个反中微子($\bar{\nu}$)。



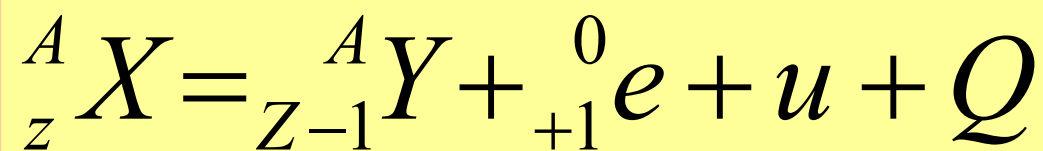
川北医学院

North Sichuan Medical University

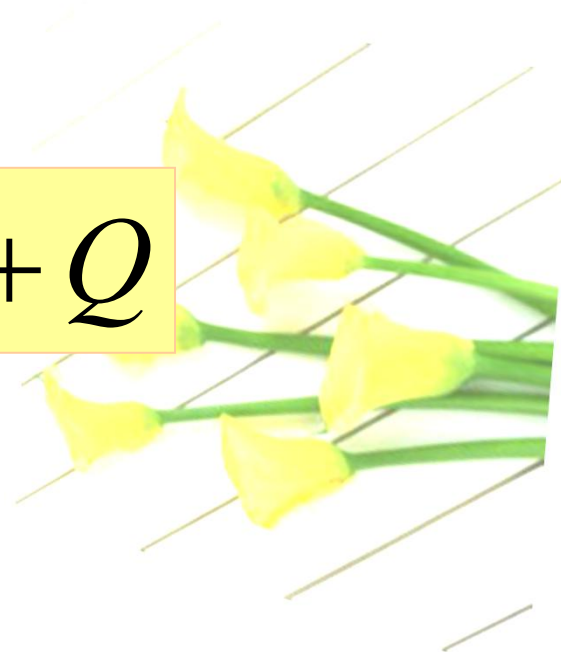


二、核衰变(Nuclear Decay)

- β^+ 衰变，主要发生在中子数相对不足的核素
- 衰变时一个质子变成一个中子，同时释放出一个
 β^+ 粒子(正电子)和一个中微子(μ)



川北医学院
North Sichuan Medical University



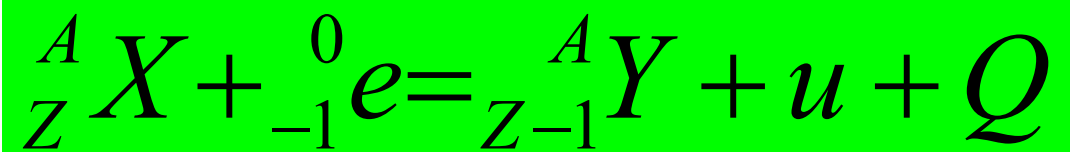
二、核衰变(Nuclear Decay)

- γ 衰变，既 γ 跃迁或同质异能跃迁
- 各种衰变产生的子核可能先处于激发态，再回到基态
- 并以 γ 光子的形式释放出多余的能量



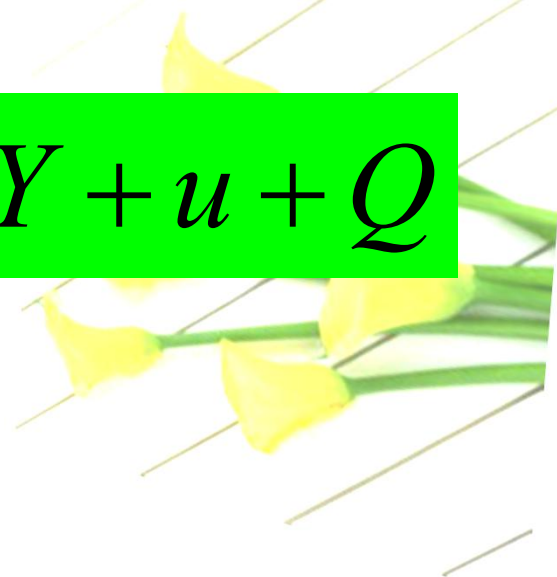
二、核衰变(Nuclear Decay)

- 电子俘获(electron capture, EC)主要发生在中子相对不足的核素
- 原子核先从核外较内层电子轨道上俘获一个电子, 使一个质子变为一个中子, 同时释放出一个中微子。



川北医学院

North Sichuan Medical University



二、核衰变(Nuclear Decay)

电子俘获(electron capture, EC)

- 随后由外层电子向内层补充，并将多余的能量以X线的形式释出，称**特征X线**。
- 或把过剩的能量传递给更外层的轨道电子使之脱离轨道而释出，称**俄歇电子**(Auger Electron)。



特征X线

Auger Electron

原子核

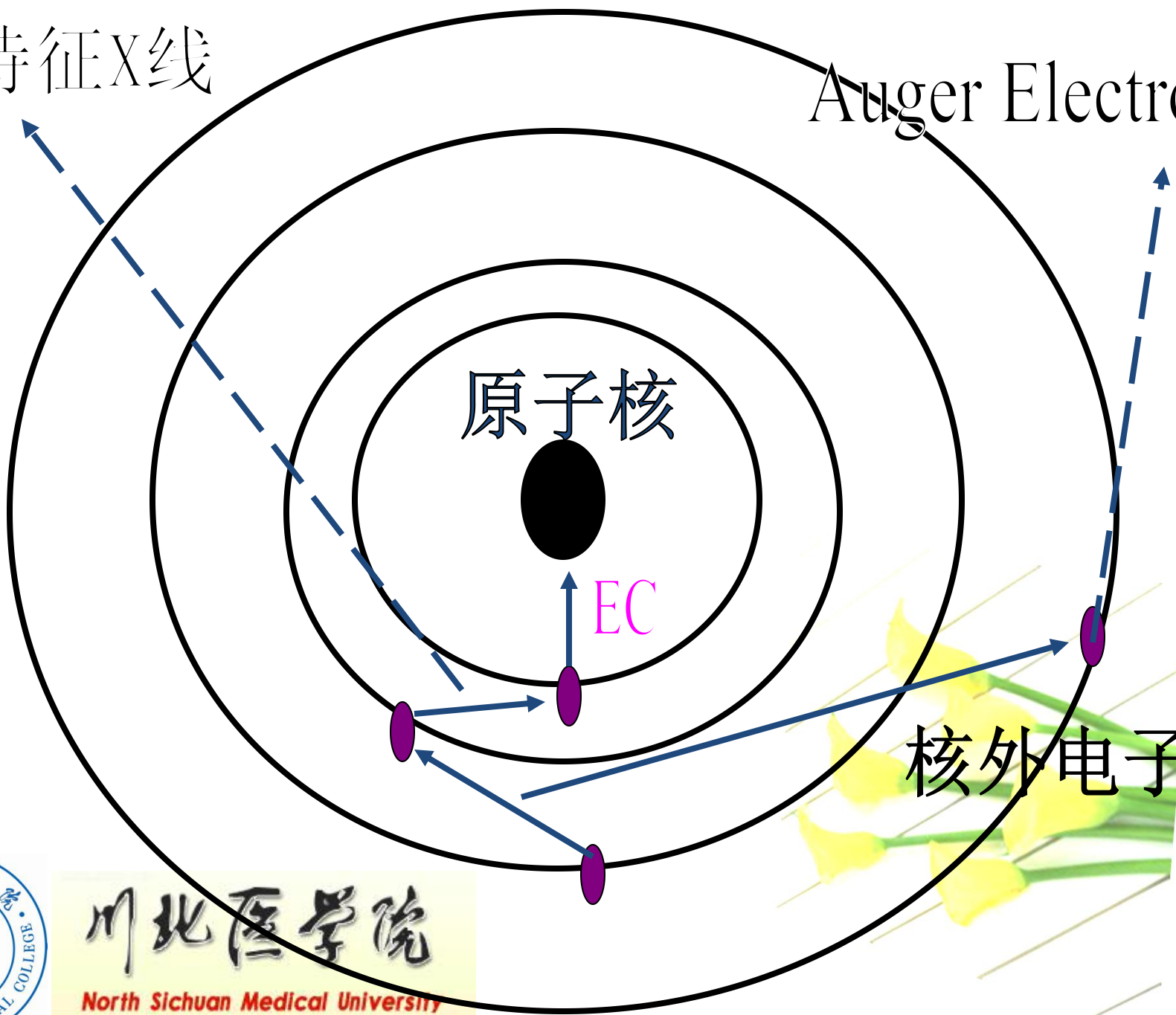
EC

核外电子



川北医学院

North Sichuan Medical University



三、 α 、 β 、 γ 射线的特性

射线	α	β	γ
性质	带电粒子流	电子流	电磁波
电离能力	10000-70000对/cm	60-700对/cm	很小
穿透能力	弱	较强	最强
射程	3-4cm	10-20m	理论上无限大
内照射危害	最大	大	最小
外照射危害	几乎无危害	大	最大



四、核衰变规律

- 放射性核素在发生 α 或 β 或EC衰变时，原来核素的原子核数不断减少，并产生新的核素，这就是核素的衰变过程；
- 它与环境因素无关，但却遵循一定的规律，并非杂乱无章。



四、核衰变规律

- 放射性核素单位时间内衰变的原子核数目与现有的原子核数目的总数 N 成正比。

- 即 $\frac{dN}{dt} \propto N$ 或 $\frac{dN}{dt} \propto -\lambda \cdot N$

- 将上式积分得

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$



川北医学院

North Sichuan Medical University



四、核衰变规律

- **衰变常数**(Decay Constant, λ): 每个原子核在单位时间内发生衰变的几率。
- **物理半衰期**(Physical half life, $T_{1/2}$): 放射性核素因物理衰变减少至原来的一半所需的时间。
- $\lambda=0.693/T_{1/2}$ (二者的关系)



四、核衰变规律

- **生物半衰期**(Biological half life, T_b): 生物体内的放射性核素因生物代谢的作用, 使其减少至原来的一半所需的时间。
- **有效半衰期**(Effective Half Life, T_e): 生物体内的放射性核素因物理衰变和生物代谢的**共同作用**, 使其减少至原来的一半所需的时间。



四、核衰变规律

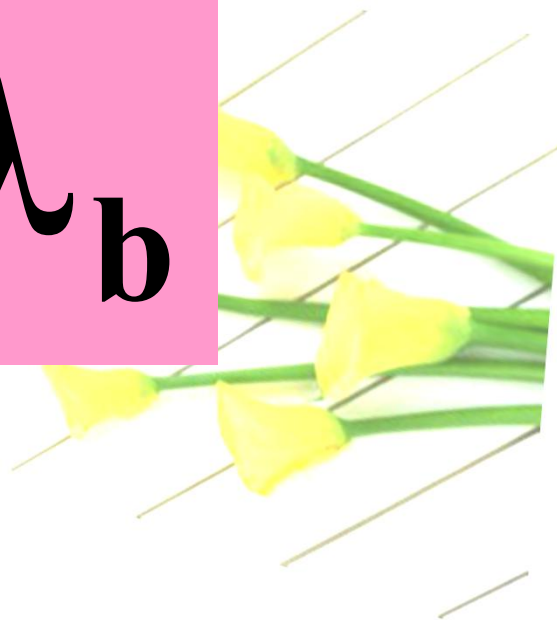
$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_{1/2}} + \frac{1}{T_b}$$

$$\lambda_e = \lambda + \lambda_b$$



川北医学院

North Sichuan Medical University

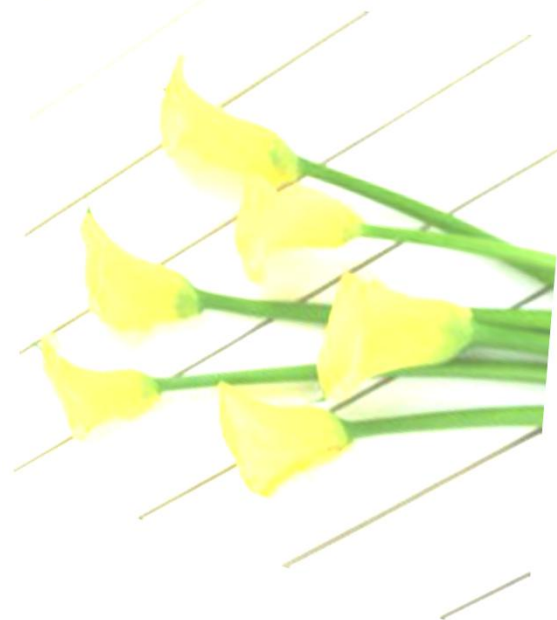


四、核衰变规律

- **放射性活度**(Radioactivity, A): 指单位时间内衰变的原子核数量, 等于原子核的衰变

常数与其核数目之乘积, 即 $A = \lambda \cdot N$

- $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$
- 可改写成 $A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$



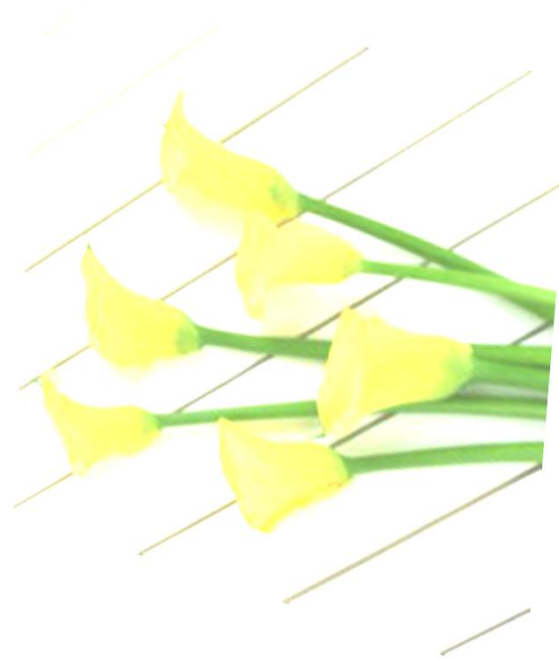
四、核衰变规律

- 专门名称：贝克勒尔(Becquerel, Bq)
- 定义：1Bq=1次/秒，即1Bq=1 S⁻¹。
- 1KBq = 10³ Bq ; 1MBq =10⁶ Bq



四、核衰变规律

- 旧的专用单位：居里(Ci)
- 定义：1 Ci等于 3.7×10^{10} 次核衰变
- 即：1 Ci= $3.7 \times 10^{10} \text{S}^{-1}$
- 1 Ci= $10^3 \text{ mCi} = 10^6 \text{ uCi}$,
- 1 mCi= 10^3 uCi



四、核衰变规律

Bq与Ci的换算关系是：

- $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
 $= 3.7 \times 10^7 \text{ KBq}$
 $= 3.7 \times 10^4 \text{ MBq}$
- $1 \text{ mCi} = 3.7 \times 10^7 \text{ Bq}$
 $= 3.7 \times 10^4 \text{ KBq}$
 $= 37 \text{ MBq}$
- $1 \mu\text{Ci} = 3.7 \times 10^4 \text{ Bq} = 37 \text{ KBq}$



川北医学院

North Sichuan Medical University



四、核衰变规律

- **比活度**(Specific Radioactivity): 指**单位质量**的**物质**的放射性活度, 单位是Bq/g, Bq/mol。
- **放射性浓度**(Radioactive Concentration): **单位体积**的**溶液**内所含的放射性活度, 单位是Bq/ml。



五、射线与物质的相互作用

- **电离辐射**(Ionizing Radiation): 直接电离粒子(α 、 β 、电子、质子)或间接电离粒子(X、 γ 、中子等)或两者混合所组成的核射线的统称。
- 射线的物理效应: 射线与物质的相互作用, 包括**射线对物质的作用和物质对射线的作用**相互联系的两个方面。



五、射线与物质的相互作用

带电粒子与物质的相互作用

◆**电离**：带电粒子(α 、 β 射线)与物质的原子相互作用，使核外轨道电子获得足够的能量而脱离原子，成为自由电子。失去电子的原子成为离子。



川北医学院

North Sichuan Medical University



五、射线与物质的相互作用

带电粒子与物质的相互作用

◆电离：

- ◆ 入射带电粒子引起的电离称为一次电离或原电离。
- ◆ 原电离产生的自由电子中能量较高者，可引起电离，称为次电离。
- ◆ 原电离与次电离之和称为总电离。



川北医学院

North Sichuan Medical University



五、射线与物质的相互作用

带电粒子与物质的相互作用

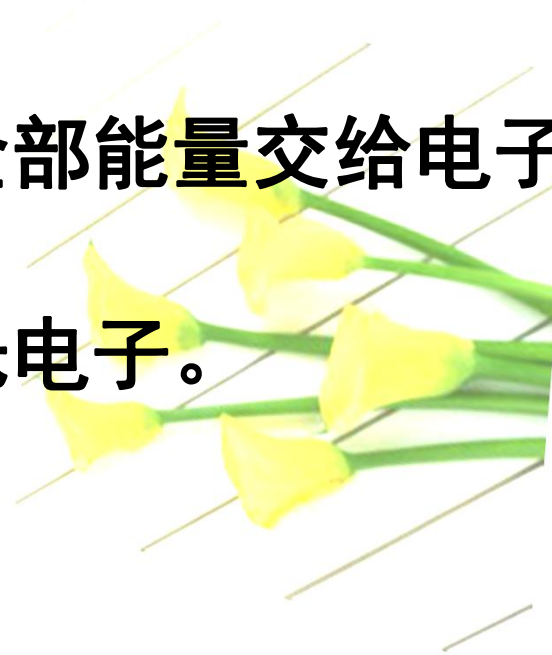
◆ **激发**：如果在带电粒子与原子的相互作用中传递给轨道电子的能量不足以使原子电离，相互作用的结果是轨道电子运动到更高的壳层，原子激发，激发后的原子退激时放出特征X射线或产生俄歇电子。



五、射线与物质的相互作用

γ 光子与物质的相互作用

◆**光电效应**(Photoelectric Effect): 入射光子与
原子的壳层电子作用时, 把全部能量交给电子,
使其脱离原子核束缚而成为光电子。



五、射线与物质的相互作用

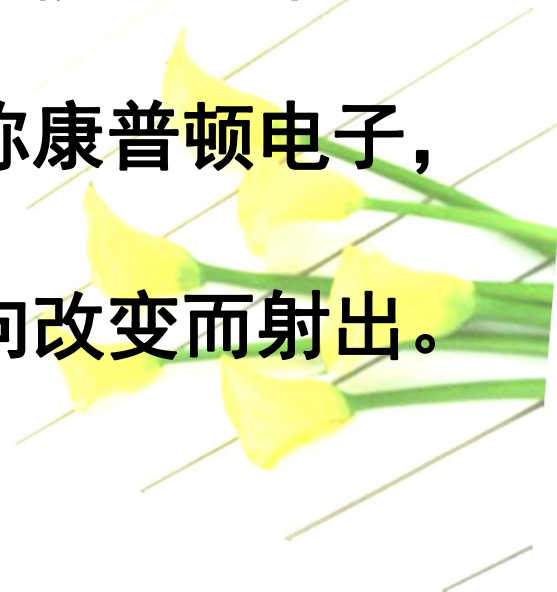
γ 光子与物质的相互作用

◆ **康普顿效应**(Compton-Wu Effect): 光子与壳层电子发生弹性碰撞, 仅将其部分能量交给电子使其脱离原子而运动, 该电子称康普顿电子, 而光子本身能量减少, 运动方向改变而射出。



川北医学院

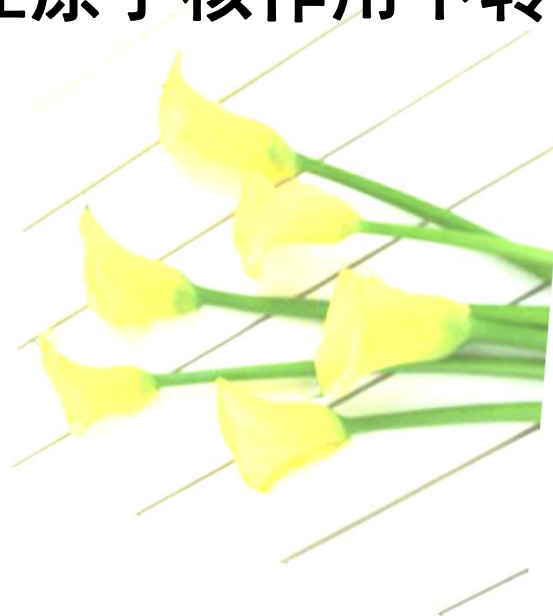
North Sichuan Medical University



五、射线与物质的相互作用

γ 光子与物质的相互作用

◆**电子对生成**(Electron Pair Production): 当入射光子能量大于1.02Mev时, 光子在原子核作用下转化为一对正负电子对。



川北医学院

North Sichuan Medical University

思考题

- 射线的基本性质是什么？
- γ 射线衰变的实质是什么？
- 物理半衰期，生物半衰期和有效半衰期的区别？
- γ 光子与物质的相互作用有哪些？



川北医学院

North Sichuan Medical University