# 第十四章 原子核

## 本章学习提要

1．放射性元素的衰变。

2．原子核的人工转变。

3．放射性同位素。

\*4．结合能和质能方程。

\*5．核聚变。

\*6．人类对物质微观结构的探索。

本章内容是基础型课程所学有关知识的深入和拓展。在学习过程中，可以认识到构建物理模型、科学假说等物理学的研究方法在探索不能直接感知的物质微观结构过程中的重要意义。通过本章知识的学习，还可以知道人们对微观世界的深度认识，是目前物理学研究的前沿，因此要立志为科学事业的发展做贡献。

# A 放射性元素的衰变

## 一、学习要求

理解放射性元素的衰变，知道原子核的电荷数和质量数的意义，知道原子核衰变时电荷数守恒和质量数守恒。会写α、β衰变方程。知道半衰期。

通过对放射性元素衰变规律的探索，感受科学家利用物质的放射性研究原子核结构的科学方法。

通过放射性物质核衰变规律的学习，了解利用碳-14鉴定年代的方法，感悟科学对研究人类文明发展史的作用，

## 二、要点辨析

### 1．α、β、γ射线在磁场中的偏转情况

在基础型课程中，介绍了三种射线在电场中发生偏转的情况，如图14-1（a）所示。射线是带正电的氦原子核，它打在负极板上较远处；β射线是带负电的电子，它打在正极板上较近处；γ射线是不带电的光子流，不发生偏转。

学习了洛伦兹力，还可以从理论上分析三种射线在匀强磁场中的“行为”。图14 - l（b）中表明，α粒子与β粒子偏转的方向是相反的，而γ光子仍然不发生偏转。

值得注意的是图14-1中（a）、（b）两种偏转曲线性质上是完全不同的，前者是类似于平抛运动的匀变速曲线运动；后者是圆的一部分，属于变加速运动。

### 2．关于原子质量、原子质量单位、质量数、原子量的辨别

原子核都有质量。其表示方法之一是直接用kg来表示，如α粒子（42He）的质量：*m*α = 6.646 582×10-27 kg。表示方法之二是用原子质量单位u来表示，人们规定以126C原子质量的作为1个原子质量单位u，126C的质量是19.926 78×10-27 kg，所以1 u = = 1.660565×10-27 kg。于是各种元素的原子都可以用u做单位来表示质量，如前面提到42He的质量可以写成*m*α = 4.002 603 u。

由于中子和质子的质量十分接近1 u，因此用这种方法表示原子的质量还能直接看出它有多少个核子，如α粒子由4个核子构成。

原子的质量数是“数”不是“质量”，是一种近似取整数的表示方法，各种原子核都由质子和中子组成，质子和中子的质量又都接近1 u，因此各种原子的质量都接近一个整数，人们把这个整数叫质量数。如α粒子的质量接近于4 u，氘核接近于2 u，氚核接近于3 u。在写核反应方程时只要做到中子、质子数守恒，也就是只需满足质量数守恒就行了。

原子量是各种元素原子的相对质量，它是没有单位的，它是以126C = 12.000 0作为标准得到的，但它是某种元素同位素的平均值，与该元素的各同位素在自然界的含量有关。如126C是12.000 0，含量为98.89%，136C是13.003 355，含量为1.11%，所以碳的原子量是12.011 15。同样氦元素在元素周期表中的原子量是4.002 60，与42He的质量4.002 603 u有所不同。

### 3．半衰期的测定

如何测定放射性元素的半衰期呢？通常是采用间接测量的方法进行的。人们把每秒钟放出射线的次数叫做放射性强度。放射性物质经一个半衰期之后，有半数原子核发生了衰变，放射性强度也将减少一半，因此，半衰期也可以说是放射性强度降为原来一半所需的时间。利用对放射性元素单值时间内放射次数的测量，可以确定它的半衰期。下面表格是某一种元素每秒钟放射次数，即计数率及放射时间的数据记录，根据数据画出的计数率-时间图象如图14 -2所示。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 计数率/s-1 | 1280 | 1043 | 870 | 700 | 567 | 482 | 381 | 317 | 256 | 204 | 174 | 146 | 119 | 98 | 82 |
| 时间/min | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |

从图可以看出，这种元素经过3.5 min后，每秒钟放射次数减少一半，表明它的半衰期是3.5 min。

## 三、例题分析

**示例1** 铋- 210 （Bi）经α衰变后变成一种新元素，试写出衰变方程．若铋的半衰期为5天，12 g铋经过20天后还剩下多少？

**分析** 从周期表可查知，铋的原子序数（即电荷数）是83，放出α射线后，原子序数向前推移2位，生成的新元素应是铊（Tl），铊的质量数应是210－4 = 206，于是可得衰变方程。

已知铋- 210的半衰期是5天，它表示每经过5天，铋210总数中的一半已发生衰变，剩下的一半仍为铋-210。20天可经过4个半衰期，因此，12 g铋-210经20天（4个半衰期）后，还剩下多少很容易计算出来。

**解答** 21084Bi→20681Tl＋42He。列出简单的算式：

×{×[×（×12 g）]） = （）4×12 g = 0.75 g，

或者直接用*m* = = g = 0.75 g来计算，得到结果相同。

**示例2** 23892U衰变为22286Rn，共发生了\_\_\_\_\_\_\_\_次α衰变，\_\_\_\_\_\_次β衰变。

**分析** 根据放射性元素发生α衰变和β衰变的规律求解。大家知道，放射性元素在连续的衰变过程中，每发生一次α衰变，其质量数减少4，电荷数减少2；每发生一次β衰变，质量数不变，电荷数增加1。因此，放射性元素在连续衰变过程中既有α衰变，又有β衰变时，应先由质量数的改变确定α衰变的次数，然后根据α衰变后电荷数相应减少的值与实际变化的值之差来确定β衰变的次数．

**解答** 23892U衰变为22286Rn过程中，质量数的变化是238－222 = 16，即发生了 = 4次α衰变．4次α衰变后其电荷数应变为92－4×2 = 84，而22286Rn的电荷数为86，表明还发生了86－84 = 2次β衰变，结论是发生了4次α衰变，2次β衰变。

如果用平衡核反应总方程方法求解，先写出核反应总方程

23892U→22286Rn＋\_\_\_\_\_\_\_42He＋\_\_\_\_\_\_\_0-1e

可以看出，上述方程中要满足质量数守恒，则前一空格应填4；要满足电荷数守恒，后一空格应填2，即共发生了4次α衰变，2次β衰变，最终方程为

23892U→22286Rn＋4 42He＋2 0-1e

## 四、基本训练

1. 关于减缓放射性元素衰变，下列说法中正确的是（ ）

（A）把放射性元素放置在低温处

（B）把放射性元素密封在铅盒里

（C）把放射性元素与其他稳定元素结合成化合物

（D）上述各种办法均无法减缓放射性元素的衰变

1. 关于α、β、γ三种射线，下列说法中正确的是（ ）

（A）α射线是原子核自发射出的氦核流，它的穿透能力最强

（B）β射线是原子核外电子电离形成的电子流，它具有中等的穿透能力

（C）γ射线一般伴随α或β射线产生，它的穿透能力最强

（D）γ射线是电磁波，它的穿透能力最弱

1. 写出下列各放射性元素的α衰变方程：21483Bi（铋核）；22286Rn（氡核）；21084Po（钋核）。
2. 写出下列各放射性元素的β衰变方程：6027Co（钴核）；22889Ac（锕核）；6629Cu（铜核）。
3. 在电子、正电子、α粒子中选出一个适当的粒子，分别填在下列横线上。

（1）23892U→23490Th＋\_\_\_\_\_\_\_\_。

（2）3015P→3014Si＋\_\_\_\_\_\_\_\_。

（3）22286Rn→21884Po＋\_\_\_\_\_\_\_\_。

（4）3817Cl→3818Ar＋\_\_\_\_\_\_\_\_。

1. 一个原子核经过一次α衰变和一次β衰变，成为一新原子核，则新核与原来核相比，质子少了\_\_\_\_个，中子少了\_\_\_\_\_个。
2. 现在，科学家们正在设法探寻“反物质”，所谓“反物质”是由“反粒子”构成的，“反粒子”与其对应的正粒子具有相同的质量和相同的电量，但电荷的符号相反，据此，若有反α粒子，它的质量数应为\_\_\_\_\_\_\_\_，电荷数应为\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
3. 放射性同位素2411Na的样品经过6 h后还剩下没有衰变，则该样品的半衰期是\_\_\_\_\_\_\_。
4. 原子核科学家在超重元素的探测方面取得了重大进展。1996年科学家们在研究某两个重离子结合成超重元素的反应时，发现生成的超重元素的核AZX经过6次α衰变后的产物是253100Fm。由此可以判定生成的超重元素的原子序数和质量数分别是（ ）

（A）124、259 （B）124，265 （C）112、265 （D）112、277

1. 若元素A的半衰期为4天，元素B的半衰期为5天，则相同量的A和B，经过20天后，剩下的质量之比*m*A∶*m*B为（ ）

（A）30∶31 （B）31∶30 （C）1∶2 （D）2∶1

1. 天然放射性元素23290Th（钍）经过一系列α衰变和β衰变之后，变成20882Pb（铅），下列论断中正确的是（ ）

（A）铅核比钍核少24个中子

（B）铅核比钍核少8个质子

（C）衰变过程中共有4次α衰变和8次β衰变

（D）衰变过程中共有6次α衰变和4次β衰变

1. 设某放射性同位素A的半衰期为*T*，另一种放射性同位素B的半衰期为，在初始时刻，A的原子核数目为*N*0，B的原子核数目为4*N*0，则（ ）

（A）经过时间*T*，A、B的原子核数目都等于

（B）经过时间2*T*，A、B的原子核数目都等于

（C）经过时间3*T*，A、B的原子核数目都等于

（D）经过时间4*T*，A、B的原子核数目都等于

1. 自然界里一些放射性重元素往往会发生一系列连续的衰变，形成放射系．下图是锕系图．你能看懂这个图表吗？纵坐标*N*，横坐标*Z*表示什么？从U→Pb有几次α衰变，几次β衰变？
2. 用放射性碳-14来鉴定古生物死亡至今的年代的方法叫碳- 14鉴年法，原来自然界除了有大量的碳-12之外还有少量的碳-14，它是放射性元素，其半衰期是5 730年，它在大气中、食物中的含量与碳-12的比例是恒定的，生物体活着时通过呼吸、吃东西可使体内碳-14的含量与外界保持一致．生物体死亡之后，碳-14不断衰变减少，又得不到补充，这为检验古生物死亡的年代提供了依据。你能大致说明这种鉴测方法要测定哪些量及计算方法吗？

# B 原子核的人工转变

## 一、学习要求

理解原子核的人工转变。理解原子核的人工转变在发现质子、中子过程中的作用，知道人工转变的核反应方程。理解放射性同位素的应用，知道射线的危害和防范。

了解中子发现的过程和方法，感受到理论预见对实践的指导意义，并感受到假设、猜想、实验探究和分析推理方法在科学发现中的重要作用。

放射性物质的放射线可被人类利用，但放射性污染又给人类的生存带来危害，从而感悟到人类必须用科学技术来合理地利用自然，才能使社会可持续地发展。

## 二、要点辨析

### 1．原子核人工转变的基本应用

课本导图“北京正负电子对撞机”、“法国国家重离子加速器”，反映了原子核人工转变的两种基本应用：一种是通过较轻粒子加速后与其他粒子碰撞，用来研究物质的微观结构；另一种是让重粒子加速碰撞后组成新物质。

### 2．云室照片中的分叉部分意味着什么？

如图14 -3所示AO是α粒子径迹，它在O点轰击一个氮核，产生人工转变，生成氧核和质子，其中OB、OC分别是这两个核的径迹，OB径迹短而粗，OC径迹细而长，分别射向不同方向。云室中径迹的粗细是由云雾的浓淡显示的，云雾越浓表明电离作用越强。这又跟粒子带电数量有关，氧核带8个单位正电荷，质子只带1个单位正电荷，因此粗的是氧核，细的是质子。此外，带电粒子的电离作用愈强，能量损失愈快，射程就愈短。从上述分可以确定，粗而短的OB是氧核径迹，细而长的OC是质子的径迹。

### 3．发现中子过程中的科学研究方法

中子发现过程中科学家所采用的科学方法，非常值得总结与反思。

自从发现电子和质子之后，卢瑟福在一次讲演中指出：存在着一种电子与质子结合在一起的双子（即中子），这是一种科学猜想，后来居里夫人的女儿发现，α射线轰击铍后产生的射线射到石蜡上能产生质子，但受传统观念影响，断言这是一种γ射线，因而与中子的发现失之交臂，其实他们只要根据质子的动能仔细推算一下，假如入射粒子是γ光子的话，能量要达到几十兆电子伏，比未知粒子的能量要大得多，因而这种粒子不可能是γ射线。1932年查德威克综合上述各种研究结果，经过分析推理，终于宣布了一种新的中性粒子——中子的存在，为此他获得了诺贝尔物理学奖。

从这个事件中可以体会到假设猜想、实验探究和分析推理方法在科学发现中的重要作用。

### 4．如何区别人工转变与放射性衰变？

人工转变与放射性衰变后原子核均变成另一种新的核，而且都遵循了电荷数守恒和质量数守恒，但它们的转变条件不同，放射性衰变是具有天然放射性的原子核的自发衰变，且每一种放射性原子核是按它自己内在规律进行衰变（如每一种放射性原子核有一定的半衰期），不受外加的条件影响。人工转变要有高能粒子轰击时，才能使原子核被“轰开”而产生新核，例如，卢瑟福做的第一例人工转变，就是用α粒子把氮核轰开而放出质子，并产生新的氧核；发现中子的实验是用α粒子“轰开”铍核，放出中子，并形成新的碳核。

### \*5．人造放射性同位素的优点

天然的放射性同位素只有40多种。而人工制造的放射性同位素至今已有1 000多种，每种元素都有了自己的放射性同位素。丰富的放射性同位素资源，使它在国民经济和科学研究各个领域得到了广泛的应用，与天然放射牲物质相比，人造放射性同位素的放射强度容易控制，还可以制成各种所需的形状．特别是它的半衰期比天然放射性物质短得多，因此放射性废料容易处理。由于上述优点，凡要用到射线时，用的都是人造放射性同位素，而不用天然放射性物质。

## 三、例题分析

**示例** 物理学家费米认识到中子穿透性很强，他发现中子与199F作用后被199F吸收，继而又发生β衰变，写出这一反应过程的方程。

**分析与解答** 本题是一个原子核的人工转变反应，其核反应方程应遵循质量数和电荷数守恒原理．核反应方程如下：

199F＋10n→209F；

209F→2010Ne＋0-1e。

## 四、基本训练

1. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_叫做原子核的人工转变．具有相同\_\_\_\_\_\_，不同\_\_\_\_\_\_\_\_的元素叫做同位素，具有\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_叫做放射性同位素。
2. 写出卢瑟福进行的用α粒子轰击氮的世界上第一个人工核反应的方程\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
3. 写出历史上著名的α粒子轰击铍发现中子的核反应方程\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
4. 写出约里奥·居里夫妇用α粒子轰击铝（2713Al）得到放射性同位素磷（3015P）的核反应方程\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，磷最终衰变为3014Si的核反应方程是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
5. 平衡下列核反应方程：73Li＋11H→42He＋\_\_\_\_\_\_\_\_\_；105B＋\_\_\_\_\_\_\_→73Li＋42He。
6. 第一例用人工加速粒子产生核反应的方法，是用质子轰击某核产生2个α粒子。写出它的反应方程。
7. 完成下列核反应方程：

（1）115B＋\_\_\_\_\_\_\_→10n＋147N；

（2）\_\_\_\_\_\_\_＋10n→6528Ni＋11H；

（3）147N＋10n→\_\_\_\_\_\_\_\_＋11H。

1. 完成下列核反应方程，并在括号内注明粒子的名称。

（1）21H＋31H→42He＋\_\_\_\_\_\_\_\_（ ）；

（2）3015P→3014Si＋\_\_\_\_\_\_\_（ ）；

（3）115B＋42He→147N＋\_\_\_\_\_\_\_\_（ ）。

1. 在基础型课程中已经了解放射性同位素有两个最基本的应用，其一是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，，其二是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 利用核反应后获得α粒子可以探测中子的存在，如105B变为73Li过程中获得了α射线，表明105B受到了中子的照射，写出此反应方程。
3. 5927Co俘获什么粒子后变成放射性同位素6027Co核，而6027Co放出β粒子后变成什么核？分别写出两个核反应的方程。
4. 中子轰击23592U发生裂变，分裂成14156Ba和9236Kr。写出其裂变方程。
5. 1934年以后，在费米等物理学家指导下，美国劳伦斯实验室开始探索创造*Z*＞92的超铀元素。1939年首例超铀元素是用慢中子轰击铀得到的，其方法是：用中子轰击23892U得到23992U，它放出β射线后变成23993Np，再一次放出β射线后变成23994Pu。Np（镎）和Pu（钚）都是超铀元素。

试写出每一过程的核反应方程。

# C 结合能和质能方程

## 一、学习要求

知道有关核力的初步知识。知道结合能概念．知道质量亏损和质能方程。

知道爱因斯坦质能方程对物体质量和能量之间关系的描述，感受到用数学语言表达物理规律是研究物理学的重要方法。

通过质能方程的应用，感悟核能的威力，既可为人类造福，又可制成威胁世界和平的核武器，从而感悟到科学技术的发展是一把“双刃剑”，要形成正确的科学态度和价值观。

## 二、要点辨析

### 1．核力

核力是存在于核子之间的一种特殊的力，其特殊性在于：

（1）核力与核子是否带电无关，也就是说，它不但出现在带同种电荷的质子之间，也作用于带电的质子和不带电的中子之间，而且质子与质子、质子与中子、中子与中子间核力大小大致是相等的。

（2）核力比电磁力要强100多倍，属于强相互作用，因而它足以保证静电斥力不致于破坏原子核的稳定。

（3）核力是短程作用的力，其作用范围只有10-15 m数量级，电磁力虽然也随着两个带电质点间的距离增大而减弱，但减弱得远比核力慢。

（4）核力的饱和性。我们知道，原子核的体积大致与它所包含的核子数成正比，也就是说，所有原子核的密度大致都是相等的．因为除轻原子核外，一般原子核的半径比核力的力程大得多，所以对于每一个核子发生核力作用的核子的平均数目也大致是一定的。由此可知，每个核子所受的核力有一个饱和值，不是随周围核子数增多而不断增大的。

### 2．对结合能概念的理解

结合能就是把各个处于自由状态的物体质点（小到分子、原子、核子等，大到各种天体）结合成一个复合体时所放出的能量，或者把一个复合体分裂成各个自由体所必须给予的能量。我们举下面两个例子来说明，可以加深对结合能的理解。

例如，在宏观范畴内，有两个相距很远的物体，由于有万有引力而相互接近．在接近过程中，万有引力做正功，物体速度越来越大，引力势能转化为动能．最后两个物体相撞在一起，动能转化为内能散失掉．这两个物体的结合付出了代价——损失了一些机械能．如果再要把它们分开，必须再给予这份能量，两个自由状态的物体结合时释放的能量，或者它们再分开时需给予的能量，就是它们的结合能。

再如，在微观范畴内，要使稳定的氢原子电离，即把氢原子中的核外电子剥离，需要通过某些途径（如碰撞、加电场、光子照射等），让它得到13.6 eV能量，通常称为氢原子的电离能。实质上就是氢原子的结合能。

由于原子核的结合能数值特别大，所以，往往在“原子核”中才用结合能，而通常所说的核能只是指原子核释放的结合能。

### 3．质量亏损与质能方程

爱因斯坦在狭义相对论中指出，物体的质量跟它的能量之间有着密切的联系：物体的能量跟它的质量成正比，即*E* = *m*·*c*2。这就是质能方程．如果物体放出能量ΔE，其物体的质量必然相应地减少Δ*m*（质量亏损），它们之间的关系是Δ*E* = Δ*m*·*c*2。

应用质能方程计算核反应中释放的核能，首先必须写出核反应方程；然后根据每个核子的质量，分别算出反应前、后原子核及核子的总质量，找到质量亏损；最后，应用质能方程计算相应的核能，例如，要算出由两个氘核结合成32He的核反应中释放的核能，先写出核反应方程：21He＋21He→32He＋10n；已知氘核质量*m*D = 2.013 6 u，氦核32 He的质量*m*He = 3.015 0 u，中子质量*m*n = 1.008 6 u，可算出反应前总质量*M*1 = 2*m*D = 4.027 2 u，反应后总质量*M*2 = *m*He＋*m*n = 4.023 6 u，则Δ*m* = 0.003 6 u = 5.978×10-30 kg；最后可算得Δ*E* = Δ*m*·*c*2 = 5.978×10-30×（3×108）2 J≈5.38×10-13 J≈3.36 MeV。

## 三、例题分析

**示例** 铀核裂变的一种是 23592U 在中子轰击下分裂为 14156Ba 和 92Kr，同时产生三个中子，试写出此核反应方程，并根据质量亏损计算释放的结合能。（23592U 的质量是 235.043 9 u，14156Ba 的质量是 140.913 9 u，9236Kr 的质量是 91.897 3 u，中子的质量是 1.008 7 u）

**分析** 核反应方程为 23592U + 10n → 14156Ba + 9236Kr + 310n

**解答** 裂变前质量

23592U 235.043 9 u ＋ 10n 1.008 7 u = 236.052 6 u

裂变后质量

14156Ba 140.913 9 u ＋ 9236Kr 91.897 3 u ＋310n 3.026 1 u = 235.837 3 u

反应过程中质量亏损 Δ*m* = 0.215 3 u，释放结合能 Δ*E* = 0.215 3×931 MeV ≈ 200 MeV，即在此核反应中释放的结合能约为 200 MeV。

## 四、基本训练

1. 核力是存在于\_\_\_\_\_\_之间的相互作用力，核力发生作用的范围约是\_\_\_\_\_\_\_m。
2. 核子\_\_\_\_\_\_或原子核\_\_\_\_\_\_时放出或吸收的能量叫结合能。
3. 某一核反应过程中质量亏损为1×10-12 kg，则释放的结合能是\_\_\_\_\_\_J。
4. 94Be的质量为9.012 182 u，它由多少个中子和质子组成？计算这些核子结合成铍核时的质量亏损。
5. 自由核子结合成1 mol氦核时放出多少核能？
6. 23592U核的质量是390.313 9×10-27 kg，中子的质量是1.674 9×10-27 kg。裂变后，生成Xe（氙）核的质量是217.958 0×10-27 kg，Sr（锶）核的质量是145.449 0×10-27 kg。写出核裂变方程，并计算一个23592U裂变所释放的结合能为多大？
7. 质子与中子相距10-14 m时两者之间存在着（ ）

（A）核力、库仑力、万有引力 （B）库仑力、万有引力

（C）核力、万有引力 （D）万有引力

1. 计算下面核反应方程中的结合能，并说明是吸收结合能，还是释放结合能？

α＋147N→178O＋p

（147N的质量是14.003 074 u，178O的质量是16.999 130 u）

1. 1930年，中国物理学家赵忠尧在实验中发现，高能量的射线在铅中具有很强的吸收能力，同时还伴随着一种“额外散射”，大约是0.5 MeV光子．这是历史性的重大发现，但当时出现了某种评价上的失误，使赵忠尧那篇论文没有得到应有的评价。20世纪90年代，著名物理学家杨振宁撰写专文澄清事实，以正视听。

后来证实，赵忠尧的“额外散射”与正负电子湮灭转化为光子有关，当然光子也能转变为一对正负电子（图中的上方为气泡室中正负电子对的径迹）。试从能量转化的角度计算要转化为一对电子，每个光子的频率至少应多大。（电子的质量*m*e = 9.1×10-31 kg）

1. 印制“两弹一星”这四个字的油墨质量大约是1 μg（10-9 kg），与这些质量相当的能量如果完全用来增加重力势能，它可以使一架本身质量是6 000 kg、载有60名体重50 kg学生的直升机升到多高？通过这些数字的计算，你有什么感受？

# D 核聚变

## 一、学习要求

知道核聚变，知道核聚变的条件。

了解对可控热核反应的研究过程，感受理论必须通过实践验证，才能取得成功。

通过收集、交流和展示世界各国有关可控热核反应的研究进展，形成对科学、技术和社会相互关系的正确认识，树立为科学的发展作贡献的远大理想。

## 二、要点辨析

### 1．聚变与裂变的比较

在基础型课程中，我们已经学过重核裂变、链式反应、反应堆等，聚变是另一种核变化的过程，那么这两个过程有什么不同呢？

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 核反应形式 | 核能的获得 | 反应持续进行 | 所需原料 | 持续反应条件 | 开发利用 | 其他应用 |
| 重核裂变 | 质量亏损释放结合能 | 链式反应 | 浓缩铀-235等 | 临界质量（体积），慢中子，中子再生率＞1 | 反应堆，核电站 | 原子弹 |
| 轻核聚变 | 同上 | 可控热核反应 | 自然界中的氘、氚及其化合物 | 几百万度高温（足以克服静电斥力） | 托卡马克装置（试验） | 氢弹 |

将聚变与裂变进行对比分析，有利于对两种核反应形式的理解和把握。

### 2．为什么轻核聚变和重核裂变都能放出核能？

原子核的结合能就是自由核子（中子和质子）结合成原子核时放出的能量。对于各个不同的原子核来说，其结合的紧密程度（或者说稳定程度）是不一样的。结合能越大，原子核的紧密程度是否也越大呢？对此我们来作一些定性的分析。

较轻的原子校的核子数很少，核子全部处在原子核表面，周围没有其他核子对它有作用力，每个核子受的束缚作用不大，所以这种核的结合是不太紧密的，稳定程度不大．随着核子数的增加，越来越多的核子被周围的核子完全包围起来，因此核子所受束缚增加。对较重的原子核来说，核子数较多，体积也随之增大，原子核半径比核力的力程大得多．由于核力是短程力，每一个核子只能与相邻的几个核子发生作用，因此当原子核的核子数增加到一定程度，每个核子受到的束缚作用不会再增大。相反，由于库仑力是长程力，在体积较大的重核中，库仑力使带正电的质子间的斥力远大于核力，造成重核的稳定程又要下降。

由上述分析可知，中等质量的核比轻核或重核结合更紧密。由结合较松散的核变为结合紧密的核，就会放出结合能。重核裂变是由较重的核在中子轰击下裂变为中等质量的核，当然是放出核能；聚变是轻核在一定条件下结合成比轻核稳定的核，显然也能放出核能。

## 三、例题分析

**示例** 4个氢核聚变成一个氦核，同时放出两个正电子，释放28 MeV的能量。（1）写出此核反应方程；（2）计算1 g氢完成这个核反应释放多少能量。

**分析** 要计算1 g氢聚变释放的核能，必须先算出1 g氢有多少个氢原子核，然后按4个氢核放出28 MeV核能进行计算，就可以得到答案。

**解答** （1）411H→42He＋201e＋28 MeV。

（2）设1 g氢（0.5 mol）有*N*个氢原子核，则

*N* = 0.5×6.02×1023个 = 3.01×1023个。

1 g氢参与聚变而释放的能量

*E* = ×28 MeV = 2.1×1024 MeV。

由此可见，1 g氢聚变释放的能量比1 g铀-235裂变释放的能量大好多倍。

## 四、基本训练

1. 完成下面四个核反应方程，并指出分别属于哪一类核反应。

（1）24Na→24Mg＋e （ ）

（2）19F＋4He→22Ne＋H （ ）

（3）235U＋n→140Xe＋94Sr＋2n （ ）

（4）3He＋3He→4He＋2H （ ）

1. 氘核（21H）和氚核（31H）聚合成氦核（42He）的核反应方程如下：

21H＋31H→42He＋10n。

设氘、氚、氦核的质量分别为*m*1、*m*2、*m*3，中子的质量为*m*4，则反应过程中释放能量是（ ）

（A）（*m*1＋*m*2－*m*3）*c*2 （B）（*m*1＋*m*2－*m*4）*c*2

（C）（*m*1＋*m*2－*m*3－*m*4）*c*2 （D）（*m*3＋*m*4－*m*1－*m*2）*c*2

1. 可控核聚变到目前还未能真正实现是因为（ ）

（A）无法提取高纯度的聚变原料

（B）热核反应的理论未解决

（C）难以将等离子体约束到维持聚变自动进行的程度

（D）无法产生几百万度高温

1. 一个中子和一个质子结合成氘核时，其结合能以γ射线的形式释放出来，已知氘核质量是2.014 102 u，计算射出γ射线的频率。
2. 有关太阳内的热核反应，有一种理论认为其中由碳-13和质子结合生成氮-14，产生γ射线．在这一过程中会释放多少结合能？（碳-13的质量是13.003 355 u，氮-14的质量是14.003 074 u）
3. 在某些恒星内，三个α粒子结合成一个126C，在这个核反应中放出多少结合能？（126C的质量是12.000 0 u，42He的质量是4.002 6 u）

# E 人类对物质微观结构的探索

## 一、学习要求

知道人类对物质微观结构的探索历程。

了解人类在对原子、原子核结构的探索历程中获得的重要思想方法，体会人类对于不能直接感知的事物的认识方法。

通过了解人类在探索物质微观结构的曲折历程中科学家们感人的故事，感悟科学家表现出的科学精神、人文精神和治学态度。

## 二、要点辨析

### 1．物理学研究方法在探究微观世界中的重要作用

研究物理学的方法是丰富多彩的，对于不能直接感知的微观世界规律的研究，科学的方法对探索过程显得尤其重要．除观察、实验方法外，再介绍几种有用的研究方法。

（1）理想实验的方法。这是一种逻辑推理的思维过程，但并不是脱离实际的主观臆想，它是在真实科学实验基础上，抓住主要矛盾，忽略次要矛盾，对实际过程做出更深入一层的抽象分析。理想实验可以弥补实验条件的限制。例如，假想的质子和中子的聚变导致了质能公式的发现等。当然，由理想实验得出的任何结论，都必须由观察或实验的结果来检验。

（2）建立物理模型的方法。物理模型是一种高度抽象的理想客体和形态，它排除了次要的、非本质的因素的干扰，突出地反映出客观事物的主要矛盾和主要特性。它是进行科学抽象的一种形式。例如，对原子的认识经历了从“葡萄干蛋糕”模型、卢瑟福的核式结构模型到玻尔模型的过程。但我们不能把模型看成僵死的，物理学的发展过程，可以说是一个不断建立物理模型和用新的物理模型替代旧的或不完善的物理模型的过程。当然，这种方法也不是万能的，例如微观粒子的波粒二象性至今未找到一个合适的物理模型去表述它。

（3）数学的方法。数学是研究物理现象必不可少的重要工具，许多定律、公式和常数，都是经过大量的精确的定量实验后，通过数学计算得到的．不仅如此，物理学史上许许多多伟大的发现，都是先通过数学上的严密的逻辑运算而得出结论，随后再由实验证实的。

（4）科学假说的方法。根据已有科学原理和科学知识，经过一系列理论思维过程，预先作出一些假定性解释，如果被实践证明是正确的，它就由假说上升为理论．否则就必须进行修改或另辟蹊径，提出新的假说，直到达到目的为止。这就是科学假说方法，例如普朗克提出了能量量子化假说、卢瑟福提出原子核式结构假说、玻尔提出“定态、跃迁”理论的假说等，都对物质微观结构的探索作出了重要贡献。

### 2．量子力学的诞生与科学协作精神

量子力学是反映微观世界运动规律的正确理论，它的诞生是普朗克、爱因斯坦、玻尔、海森堡、德布罗意、薛定谔、玻恩、狄拉克等一大批杰出物理学家共同努力的结晶，量子理论的建立可以认为是物理学研究工作方式上的转折点．这种群体协作的特点在20世纪以来的科学和技术研究中，例如核能的开发和利用、原子弹的研制中，都表现得十分突出。

## 三、例题分析

**示例** 查阅有关资料，了解粒子的分类情况，并设计一张合理的表格，把它们填在表格中。

**解答**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 种类 | 名称 | 符号 | 反粒子 | 半衰期（秒） |
| 重子 | Ω超子 | Ω- | Ω+ | ～10-10 |
| Ξ超子 | Ξ- | $$\overbar{Ξ}^{-}$$ | 1.2×10-10 |
| Ξ0 | $$\overbar{Ξ}^{0}$$ | 2.1×10-10 |
| Σ超子 | Σ- | $$\overbar{Σ}^{-}$$ | 1.1×10-10 |
| Σ0 | $$\overbar{Σ}^{0}$$ | ～10-20 |
| Σ+ | $$\overbar{Σ}^{+}$$ | 5.5×10-11 |
| Λ超子 | Λ0 | $$\overbar{Λ}^{0}$$ | 1.8×10-10 |
| 中子 | n | $$\overbar{n}$$ | 700 |
| 质子 | p | $$\overbar{p}$$ | 稳定 |
| 介子 | η介子 | η0 | $$\overbar{η}^{0}$$ | ～10-20 |
| Κ介子 | Κ+ | $$\overbar{Κ}^{+}$$ | 8.5×10-7 |
| Κ0 | $$\overbar{Κ}^{0}$$ | 6.4×10-9 |
| 4.0×10-8 |
| π介子 | π+ | π- | 1.8×10-8 |
| π0 | $$\overbar{π}^{0}$$ | 1.3×10-16 |
| 轻子 | μ介子 | μ- | μ+ | 1.5×10-6 |
| 电子 | e | e+ | 稳定 |
| 中微子μ | νμ | $$\overbar{ν\_{μ}}$$ | 稳定 |
| 中微子e | νe | $$\overbar{ν\_{e}}$$ | 稳定 |
| 玻色子 | 光子 | γ | γ | 稳定 |
| 引力子 | g | g | 稳定 |

注：在每种情况中反粒子具有相同大小的静质量但有相反的符号．半衰期也是属于正粒子的，反粒子的半衰期和相应正粒子的半衰期大不相同。

## 四、基本训练

1. 汤姆生发现电子对揭示物质的微观结构有什么意义？
2. 一个带正电荷的验电器，在空气干燥的室内，金属箔的张角能维持很长的时间，现有一束α射线射向这个验电器，验电器金属箔的张角将会怎样变化？为什么？
3. 当人们发现了质子，并在很多原子核中打出了质子以后，有什么理由可以认定原子核中一定还有另外不同种类的粒子？
4. β射线是高速的电子流，原子核中没有电子，为什么有些放射性元素的原子核会放出β粒子？
5. 在粒子物理领域，有一批华人科学家作出了举世瞩目的重大贡献。你知道多少？可以组成小组进行调查，在课堂上交流讨论。