# 第十二章 物质的微观结构

## 本章学习提要

1．α粒子散射实验及原子的核式结构模型。

2．天然放射现象和α、β、γ三种射线的基本特性及应用。

3．原子核由中予和质子组成，在核子间存在强大的核力。

4．重核裂变是获得核能的有效方法之一；链式反应和发生链式反应的条件。

5．核能在能源、军事、生命科学等领域的应用；核反应堆、核电站的基本构成；核能转变为电能的概况。

本章内容属于物质的微观领域。本章的重点是原子的核式结构和原子核的组成；难点是理解核能的来源。在了解我国核物理研究和核工业发展的成就的同时，要学习邓稼先等科学家乐于奉献、报效祖国的精神，树立献身科学的远大理想。

# A 原子的核式结构

## 一、学习要求

知道电子是原子的组成部分。知道卢瑟福的α粒子散射实验。知道卢瑟福原子核式结构模型的特点。在形成知识和解决问题的过程中，要知道用物理学的研究方法一一提出假设、建立物理模型、实验验证等方法，“感受”微观世界的奥秘。感悟科学家对事物敏锐的洞察力和创造性思维能力。

## 二、要点辨析

### 1．卢瑟福的α粒子散射实验

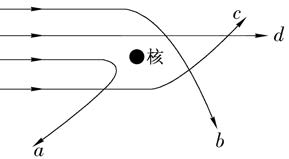
1909年，卢瑟福指导他的学生进行了α粒子散射的研究。在做α粒子轰击原子（4×10-7m厚的金箔）的实验时，从大量的观察记录中，发现了居然约有八千分之一的α粒子偏转90°，甚至有少数被反弹回来（约占总数）。卢瑟福为此苦思了好几个星期。经过严谨的理论推导，卢瑟福于1911年提出了原子的“有核结构模型”。他认为原子中的所有正电荷和几乎全部原子质量都集中在原子中心的“核”内，带正电的核和带负电的电子间的静电引力把整个原子结合在一起。由于α粒子的质量大约是电子质量的7000多倍，所以α粒子在与电子作用时，几乎不会改变方向。只有当α粒子打到原子核时，由于库仑斥力，才有可能发生大角度散射。

原子核的发现，使人们对原子的结构有了正确的认识，开始了人类对原子核研究的历史。

### 2．从卢瑟福的核式结构模型，看建立物理模型的重要意义

“卢瑟福核式结构模型”是一种物理模型，它是一种高度抽象的理想客体和形态。用物理模型可以使抽象的假说理论形象化，便于想像和思考研究问题。物理学的发展过程，可以说就是一个不断建立物理模型和用新的物理模型代替旧的或不完善的物理模型的过程。例如，对原子结构的认识就是从“葡萄干蛋糕”模型开始的，随后卢瑟福从α粒子散射实验出发提出了原子的核式结构模型，丹麦物理学家玻尔又以“定态、跃迁”理论解释了核式结构模型与经典电磁理论之间的矛盾等。

## 三、例题分析

【例】在卢瑟福的α粒子散射实验中，当α粒子被重核散射时，图中所示的运动轨迹中，可能的是（ ）。

（A）轨迹a （B）轨迹b

（C）轨迹c （D）轨迹d

【分析】由于原子核和α粒子都带正电荷，若α粒子靠近重核附近，应受到斥力而偏离原来轨道，即被散射了。

【解答】（A）是可能的。

## 四、基本训练

### A组

1. 最先发现电子，并确认电子是组成原子成分之一的是（ ）。

（A）汤姆孙 （B）卢瑟福 （C）盖革 （D）马斯登

1. 卢瑟福提出原子的核式结构学说，其根据是用α粒子轰击金箔的实验。在实验中，他观察到α粒子（ ）。

（A）全部穿过金原子，或发生很小的偏转

（B）绝大多数穿过金原子，只有少数发生大角度偏转，极少数甚至被弹回

（C）绝大多数发生很大的偏转，甚至被弹回，只有少数穿过金原子

（D）全部发生很大的偏转

1. 卢瑟福α粒子散射实验的结果是（ ）。

（A）证明了质子的存在

（B）证明了原子核是由质子和中子组成的

（C）说明原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在一个很小的核上

（D）说明原子中有电子存在

1. 在卢瑟福α粒子散射实验中，少数α粒子发生大角度偏转的原因是（ ）。

（A）原子的正电荷以及绝大部分质量都集中在一个很小的核上

（B）正电荷在原子中是均匀分布的

（C）原子中存在着带负电的电子

（D）原子核中有中子存在

1. 在分析α粒子散射实验现象时，并没有考虑α粒子跟电子的相互利用，在下列所述的各种原因中，正确的是（ ）。

（A）α粒子并不跟电子作用

（B）α粒子跟各电子相互作用的效果互相抵消

（C）电子的体积实在太小，α粒子碰不到它

（D）α粒子跟电子相互作用时，损失的能量极少，可忽略不计

1. 卢瑟福原子核式结构模型的主要论点是：

①\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；

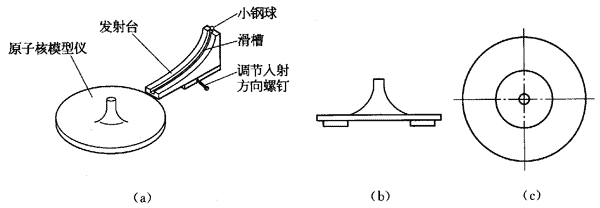
②\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；

③\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

### B组

1. 按卢瑟福的原子核式结构模型可知，原子中绝大部分是空的，原子核显得非常小，其半径只有原子半径的十万分之一。请你根据原子与原子核大小的比例举出一个比较恰当的比喻。
2. 原子核的体积极小，但原子的质量几乎全部集中在原子核内，因此原子核的密度很大。试估算出氢原子核的密度。试举出一个比较恰当的比喻。
3. 我国战国时代的庄子，在他的著作《庄子·天下篇》中提出了关于物质结构的思想：“一尺之棰，日取其半，万世不竭。”请你解释这句话的涵义。
4. 图（a）为α粒子散射实验模拟装置图，可以看出它由两大部分组成：①原子核模型仪；②发射台（包括滑槽、调节螺钉、小钢球）。图（b）是原子核模型仪的正视图，图（c）是原子核模型仪的俯视图。

为了使钢球能平滑地从滑槽滚到原子核模型仪上，滑槽下端弧形处应接近水平状态。仔细调节滑槽相对原子核模型仪的方位，释放钢球，观察钢球出射方向，并记录其位置。你认为可观察到什么现象？可得到什么结果？



# B 物质的放射性及其应用

## 一、学习要求

知道天然放射现象。知道α、β、γ射线来自原子核内部。通过对看不见的射线的探测，认识物理学中间接测量的方法。联系放射性在诊病、治疗和工业探伤等方面的应用，感悟科学、技术、社会三者之间的密切关系。

## 二、要点辨析

### 1．α、β、γ射线的特性比较（见下表）：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 射线名称 | 电离作用 | 贯穿本领 |
| α射线 | 较强 | 很小，用一张厚纸片就可以被挡住 |
| β射线 | 较弱 | 很大，用几毫米厚的铝片可挡住 |
| γ射线 | 很弱 | 最强，用几厘米厚的铅板才能挡住 |

### 2．为什么三种射线的电离作用和穿透能力有如此明显的区别呢？

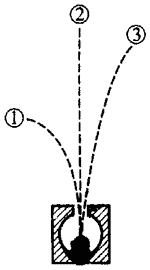
（1）关于射线电离作用的比较。电离，就是指使物质的原子或分子离解成离子的现象。α粒子与原子中电子的吸引力、β粒子与原子中电子的排斥力，使原子中的某些电子脱离原子，而原子变成了正离子，这就是α、β射线的电离作用产生的原因。带电粒子在同一物质中电离作用的强弱，主要决定于带电粒子的电荷量和速率：粒子的带电荷量越大，它与原子中电子的作用力越大，就容易把电子从原子中拉出来；射线粒子跑得慢，它与电子的相互作用时间长，容易把电子拉出原子（比如，我们用手指在蜡烛火焰上掠过，作用时间很短，一点不感到烫手；但如果手指在火焰上慢慢移动，作用时间较长，手会被烫痛）。α粒子比β粒子带电荷量大，运动速度又慢，显然α粒子的电离本领比β粒子强得多。

γ射线是由中性的γ光子组成，它为什么也会有电离作用呢？其中一种可能是，γ射线射入某种物质时，γ光子可能把全部能量传给原子中的一个电子，使原子电离。另一种情况是，当γ射线的能量相当高时，光子还可能在原子核附近转化为一个正电子和一个负电子，这对正负电子会对原子产生电离作用。由于电子对的速度很大，且带电荷量小，所以电离作用很弱。

（2）关于贯穿本领的比较。带电粒子经过物质时，每产生一对离子，都要消耗带电粒子自己的动能，因此越跑越慢。最后，α粒子和物质中的某两个电子结合成氦原子，β粒子则成了物质中的自由电子，或跟某个离子结合成中性原子。

带电粒子在物质中所走的路程的长短叫做射程。射程主要由电离作用决定：电离作用越强，则能量损失越快，射程就越短。上面已讲过，α粒子的电离作用比β粒子的电离作用强，因此它在物质中的射程较短，即贯穿本领较小。而γ射线可以通过很厚的铅板，其贯穿能力确实非常强。

## 三、例题分析

【例1】由天然放射性元素射出的三种射线，在通过水平匀强电场时呈现如图所示的三种不同轨迹①、②、③，下列说法中正确的是（ ）。

（A）射线③的穿透本领最强

（B）射线②的穿透本领最强

（C）射线①的电离本领最强

（D）射线②的电离本领最强

【分析】首先要从图中分辨出①、②、③各是哪一种射线，然后再从它们的特性选择答案。②在匀强电场中不发全偏转，肯定是γ射线；①和③在匀强电场中都发生偏转，而①的偏转较明显，可以判断出①是β射线，③是α射线。我们已经知道，电离本领最强的是α射线，穿透本领最强的是γ射线。

【解答】（B）。

【例2】用下述方法可以减缓放射性元素的衰变的说法中，正确的是（ ）。

（A）把该放射性元素放置在低温处

（B）把该放射性元素密封在很厚的铅盒子里

（C）把该放射性元素同其他的稳定元素结合成化合物

（D）上述各种办法都无法减缓放射性元素的衰变

【分析】各种放射性元素的衰变的快慢程度是不同的，这是它们的一个特性，基本上不随外界条件（温度、压强等）的变化而变化，并与元素所处的状态（游离态还是化合态）无关。

【解答】（D）。

## 四、基本训练

### A组

1. 天然放射现象是指\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 放射性元素放射的射线有α、β、γ三种，其中α射线是\_\_\_\_\_\_\_\_，β射线是\_\_\_\_\_\_\_，γ射线是\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
3. 在天然放射现象中，放出的三种射线里有一种射线是带正电的。那么，组成这种射线的粒子是（ ）。

（A）质子 （B）中子 （C）电子 （D）氦原子核

1. 下列有关β射线的叙述中，正确的是（ ）。

（A）β射线粒子的质量与质子质量相同

（B）β射线粒子所带电荷量与阴极射线粒子所带电荷量相同

（C）β射线速度与光速相同

（D）β射线的电离本领比α射线大

1. 关于γ射线，下列说法中正确的是（ ）。

（A）γ射线是波长极短的电磁波

（B）γ射线是高速运动的电子流

（C）γ射线的贯穿本领比β射线弱

（D）γ射线对空气的电离作用比β射线强

1. 放射性物质发射的三种射线中，其中穿透能力、电离本领最强的射线分别是（ ）。

（A）α射线、β射线 （B）β射线、α射线

（C）γ射线、α射线 （D）β射线、γ射线

1. 怎样探测到看不见摸不着的射线？\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 放射性的应用大致可分为两大类：①\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；②\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

### B组

1. 贝可勒尔证实了β射线是速度接近光速的电子流，这说明了（ ）

（A）β射线是原子核外的电子

（B）β射线是原子核内的电子

（C）β射线是原子核内中子、质子间转化时放出的

（D）β射线就是阴极射线

1. 带电的验电器，在放射线的照射下，电荷会很快消失，其原因是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 在大气层上空存在着各种射线，有一部分会射到地球上。请根据下列资料估算一下，在我们生活的环境中，每人每年大概要受到多少辐射的剂量当量？是否超标了？

参考资料：

（1）辐射的剂量当量的单位是“Sv”，读作“希沃特”，简称“希”。1 μsV＝1×10-6 Sv。

（2）下面是各种因素产生的每人每年所受辐射的剂量当量的参考值：

①来自宇宙射线在海平面上的平均剂量当量（上海在北纬31°）：220 μSv；

②高于海平面60m处的修正的剂量当量：2 μSV；

③空中旅行时的剂量当量（每年旅行一次，以6 h计）：24 μSv；

④大地和建筑物产生的平均剂量当量（长期处在建筑物中）：500 μSv；

⑤空气中的平均剂量当量：2000 μSv；

⑥来自食物、饮料中的剂量当量：370 μSv；

⑦胸部X光透视剂量当量（每年两次）：70 μSv；

⑧其他接近放射医疗事例的剂量当量（例如，到放射室陪家人看病）：20 μSv；

⑨来自核试验的剂量当量：10 μSv；

⑩家用电器等辐射的剂量当量（主要是电脑、电视机）：2 μSv。

（3）人体对放射性有一定的自然抵御和恢复能力，只有受到过量的辐射，对人体才是有害的。目前国际上公认的辐射生物效应如下表（表内数据指全身受辐照、剂量在短时间内一次接受）：

|  |  |
| --- | --- |
| 剂量当量水平 | 生 物 效 应 |
| ＜0.1 Sv | 无影响 |
| 0.1～0.25 Sv | 未观察到临床效应 |
| 0.25～0.5 Sv | 可以引起血液的变化，但无严重的伤害 |
| 0.5～1 Sv | 血液发生变化且有一些伤害，但无倦怠感 |
| 1～2 Sv | 损伤，可能感到全身无力 |
| 2～4 Sv | 损伤，全身无力，体弱的人可能因此而死亡 |
| 4.5 Sv | 受照者有50％在30天内死亡，其余50％能恢复，但有某些永久性损伤 |
| ＞6 Sv | 可能因此而死亡 |

（4）为了保护工作人员和居民的身体健康，规定了“允许剂量当量（每年）”如下表：

|  |  |
| --- | --- |
| 从事放射性工作的人员 | 0.05 Sv |
| 居民 | 0.005 Sv |

1. 贝可勒尔为了研究荧光物质能否穿透黑纸使照相底片感光，发现了有划时代意义的天然放射现象。从中可以认识到作为科学工作者应具备哪些素质？谈谈你的看法。
2. 试以“我对放射性的认识”为题进行讲演，交流学习心得和见解。

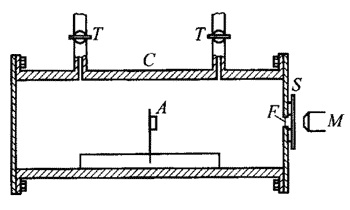
# C 原子核的组成

## 一、学习要求

知道卢瑟福用实验证实了原子核中有质子。知道中子的发现过程。知道原子核由质子和中子组成，而且核子间存在强大的核力。通过中子发现过程的学习，可以感受到科学假说方法在物理研究中的应用。通过对物质认识的不断深化的过程，感悟探索真理、研究科学的艰辛。

## 二、要点辨析

### 1．卢瑟福的α粒子轰击氮核实验

1919年，卢瑟福用镭原子放出的高速α粒子作为“炮弹”轰击氮原子核时，观察到了一个奇怪的现象。如图是实验装置示意图。密封容器C里放有放射源镭A，从A放出的α粒子射到一张薄银箔F上，适当选取银箔的厚度，使α粒子恰好被它完全吸收而不会透过。在银箔F的后面放一个涂有硫化锌的荧光屏S，用显微镜M可观察到荧光屏上是否出现闪光。当容器C不充气时，因为α粒子已全部被银箔吸收掉，荧光屏上不会有闪光。当通过阀门T往容器C里通入氮气后，从荧光屏上却观察到了闪光。如果把氮气抽掉，换进氧气或二氧化碳的话，荧光屏上的闪光又不见了。后来，把这种能使荧光屏闪光的粒子引进电场和磁场中，根据它在电场和磁场中的偏转，测出了它的质量和电荷量，确定它就是质子。

### 2．查德威克发现中子的过程回顾

中子发现的历史值得回顾。查德威克发现中子前，在实验中已有迹象表明，在原子核中可能存在一种中性粒子。例如，1930年德国物理学家玻特和他的学生，利用α粒子轰击铍（Be）时，发现产生了一种穿透力极强的中性粒子组成的射线。后来，居里夫人的女儿I·居里和她的丈夫F·约里奥，对这种射线进行了研究。通过实验，他们断言这种射线正是大家知道的γ射线。其实他们只要仔细地推算一下，假如射线粒子是γ光子的话，那么它的能量将达几十兆电子伏，要比实验测得的这种未知中性粒子的能量大得多，于是就会发现，这种未知的中性粒子不可能是γ射线。可惜旧观念太深了，以致快到手的成功机会丧失了。后来他们回顾这段研究工作时说，如果他们读过并领会1920年卢瑟福的演讲内容，了解卢瑟福的中子假说，那么就会对实验作出正确的分析和判断。

当时，查德威克对“核内可能存在中性粒子”早有思想准备，在知道约里奥-居里夫妇实验结果后，马上意识到这种中性粒子就是卢瑟福所预言的中子。查德威克仔细地研究了这种射线，发现这种射线在磁场中不发生偏转，可见它确实是中性粒子流。他测出这种粒子的速度不到光速的十分之一，因此排除了它是γ射线的可能。接着，查德威克用这种射线轰击氢原子和氮原子，打出了一些质子和氮核。他测出了被打出的质子和氮核的速度，并根据弹性碰撞理论推算出这种射线粒子的质量*m*≈1.15*m*H（*m*H是氢原子的质量）。后来更精确的实验测出，中子的质量非常接近质子的质量，相差极少（中子质量是1.008665u，质子质量是1.007227u，式中u是原子质量单位，1u＝1.6605402×10-27 kg）。查德威克因发现中子的杰出贡献，获得1935年诺贝尔物理学奖。

正如德国生物学家马斯德所说：“在观察的领域里，机遇只偏爱那些有准备的头脑”。I·局里夫妇的研究跟诺贝尔奖擦肩而过，太可惜了！

### 3．中子的发现与科学假说法

人类为了探索错综复杂的自然现象，揭示自然发展的规律，创立科学的理论，往往要根据已有的科学原理、科学事实，经过一系列的理论思维过程，预先在自己的头脑中做出一些假定性的解释。这种推测性解释尚未经过实践检验，只是一种假说。如果被实践证明了是正确的，那么它就由假说上升为理论。否则就需要进行修改或提出新的假说，直到达到目的为止。这种物理学的研究方法叫做科学假说的方法。中子的发现过程就体现了这种科学研究方法。

## 三、例题分析

【例1】放射性元素镭22888Ra的核有\_\_\_\_\_\_个质子，\_\_\_\_\_\_个中子。电荷量是\_\_\_\_\_\_C，质量是\_\_\_\_\_\_kg。

【分析】原子核的原子序数Z就是质子数，质量数A（核子数）减去质子数Z就是中子数。原子核的质子数就是它所带的元电荷数；原子核的质量数A等于核子数。

【解答】有88个质子，140个中子。

*q*＝88×1.6×10-19C＝1.41×10-17C；*m*＝228×1.67×10-27kg＝3.81×10-25 kg。

【例2】在下列几种元素的同位素碳12、碳13、碳14、氮12、氮13、氮14、氮15、氧16、氧17中，哪些同位素的核包含有相同的：（1）质子数；（2）中子数；（3）核子数；（4）核外电子数？

【分析】碳、氮、氧的原子序数Z分别是6、7、8，同一种元素的同位素的质子数相同，核外电子数相同，中子数（N＝A－Z）不同，总核子数也不同。

【解答】（1）质子数相同的核有三组：碳12、碳13、碳14的质子数是6；氮1 2、氮13、氮14、氮15的质子数是7，氧16、氧17的质子数是8。

（2）中子数相同的核有三组：碳12、氮13的中子数是6；碳13、氮14的中子数是7；碳14、氮15、氧16的中子数是8。

（3）核子数相同的核有三组：碳12、氮12的核子数是12；碳1 3、氮13的核子数是13；碳14、氮14的核子数是14。

（4）核外电子数与质子数相同，所以答案与（1）相同。

## 四、基本训练

### A组

1. 放射性元素的天然衰变和原子核的人工转变的区别是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 1919年，卢瑟福首创用原子核人工转变的方法，做了\_\_\_\_\_\_\_\_\_实验，从原子核中打出了质子；1932年，他的学生\_\_\_\_\_\_\_\_\_通过实验和推算发现了中子。
3. 一个原子序数是*Z*、质量数是*A*的原子核，它是由\_\_\_\_\_个质子和\_\_\_\_\_个中子组成的；组成该原子核的核子数有\_\_\_\_\_\_\_个。
4. 30个质子、34个中子组成的锌原子核，原子序数是\_\_\_\_\_\_\_，原子核的质量数是\_\_\_\_\_\_。
5. 在原子核12C中有\_\_\_\_\_\_\_个质子、\_\_\_\_\_\_个中子；在原子核56Fe中有\_\_\_\_\_\_\_个质子、\_\_\_\_\_\_\_个中子。
6. 下列各种粒子中，哪些是一切原子核的组成部分？（ ）。

（A）质子 （B）电子 （C）α粒子 （D）中子

1. 第一个发现中子的物理学家是（ ）。

（A）居里夫妇 （B）卢瑟福 （C）贝可勒尔 （D）查德威克

1. 一个锶（Sr）核的原子序数是38，质量数是95，那么（ ）。

（A）核外有38个电子，核内有95个质子 （B）核外有38个电子，核内有57个中子

（C）核外有57个电子，核内有57个中子 （D）核外有57个电子，核内有38个中子

### B组

1. 氢、氘、氚是同位素，那么（ ）。

（A）它们的核内具有相同的质子数 （B）它们的核内具有相同的中子数

（C）它们的核内具有相同的电子数 （D）它们的核内具有相同的核子数

1. 关于核力的说法，正确的是（ ）。

（A）原子核中任何两个核子都存在核力

（B）每个核子只能跟它相邻的核子间有核力

（C）从本质上讲，核力是一种万有引力

（D）核力是一种很强的力，它跟核子所带电荷量有关

1. 如图所示，一种元素的各同位素间的质量数（*A*）与中子数（*N*）的关系可用*A*-*N*图像来表示的是（ ）。

*A*

*N*

*O*

（A）

*A*

*N*

*O*

（B）

*A*

*N*

*O*

（C）

*A*

*N*

*O*

（D）

1. 原子的原子序数、相对原子质量、元素的化学性质分别由什么因素决定的？

# D 重核裂变 链式反应

## 一、学习要求

知道重核裂变会释放核能。知道链式反应和发生链式反应的条件。感受以虚拟实验模拟实验的方式体验重核裂变、链式反应的过程。学习邓稼先等科学家的爱国情怀和献身精神。

## 二、要点辨析

### 1．链式反应的可能性

在一次铀核裂变中可放出2～3个中子，这些中子被称为第一代中子。如果我们能使这些中子至少有一个能继续轰击铀核，使之发生裂变，继而又产生第二代中子；这样不断继续下去，中子数会不断增加，就可能实现链式反应。

值得注意的是，在这2～3个中子里包括了瞬发中子和缓发中子两类。瞬发中子是从裂变后高温碎片中在很短时间（10-3s）内发射出来的，如果完全靠它来实现链式反应，中子的增殖周期极短，无法人为控制。缓发中子是由处在激发态的裂变产物所放出的，增殖周期相当长，使我们有足够的时间去控制反应，即通过缓发中子的发射来控制反应速度，使控制链式反应成为可能。

### 2．如何控制链式反应的速率？

（1）减慢中子速度。中子对天然铀的两种主要同位素（铀235和铀238）的作用是不同的：中子很容易使铀235裂变，各种能量的中子都能引起核裂变，速度越慢的中子（热中子）被铀235吸收而引起裂变的可能性越大；而铀238必须用高能中子才能使它裂变，但可能性极小，绝大部分高能中子的能量损耗了（其中还有些被铀238俘获变成钚239）。中子打中铀核，裂变放出的第二代中子的平均能量约2MeV，属于快中子，这样快的中子引发铀核裂变的可能性很小，因此必须把裂变放出的第二代中子慢化到热中子。为此，在反应堆中要用慢化剂。常用的慢化剂是水（H2O）、重水（D2O）和石墨。普通水比重水和石墨的慢化性能差些，但普通水易处理，便于大规模应用。

（2）用控制棒控制中子数目，以控制反应速度。反应堆的反应速度控制，主要是靠缓发中子数量的控制。实际设计是使用对慢中子有很强吸收能力的镉制成的控制棒，在反应堆芯中插进或抽出，控制吸收中子的多少，以达到控制反应速度的目的。

### 3．从核物理研究中看物理实验方法的重要性

实验的方法是探讨物理现象及其规律的基本方法。一般来说，实验方法是人们根据研究目的，利用物理仪器设备，人为地控制或模拟物理现象，排除各种偶然、次要因素的干扰，突出主要因素，在有利的条件下能重复地去研究物理现象及其规律。实验是建立和检验理论的基础。利用物理实验得出正确结论的例子实在太多了。以本章内容为例，科学家在探索物质的微观结构所进行的一系列实验活动，就可以说明实验对物理学发展的重要作用。例如，汤姆孙研究阴极射线发现了电子；卢瑟福通过α粒子散射实验，提出了原子核式结构模型；贝可勒尔在实验中发现了放射性；卢瑟福首次在实验中实现了人工转变；查德威克研究了实验现象而发现了中子；哈恩和斯特拉斯曼在实验中使铀核发生了裂变；恩瑞克·费米领导了世界上第一座核反应堆的建设和试验工作……

我们在学习“核能”时，靠中学实验室的条件不可能重现当时的探索过程，只能以虚拟实验和模拟实验来加深印象。但是，课本所介绍的一系列实验，可以让我们认识到实验的方法是研究物理学的一种重要方法。

## 三、例题分析

【例】1 g铀235在裂变后所释放的能量是多少？（每个铀235核裂变可释放200 MeV能量，铀235的摩尔质量是235 g/mol）

【分析】1 mol铀有6.02×1023个铀核，由此可知1g铀235核裂变可释放的能量。

【解答】设1 g铀235有*n*个核，则

*n*＝×6.02×1023个≈2.56×1021个。

那么，1 g铀235在裂变后所释放的能量是

*E*＝2.56×1021×200 MeV＝5.12×1023 MeV≈8.2×1010 J。

## 四、基本训练

### A组

1. 什么是核能？\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 重核裂变是指\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，它是获得核能的一个重要途径。
3. 实现连续不断的裂变的过程叫做\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，它使大规模利用核能成为可能。
4. 铀块产生链式反应的条件是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
5. 原子弹爆炸是百分之一秒极短时间内产生的不可控制的链式反应。为了确保原子弹在指定的时间爆炸（即不应当爆炸时决不爆炸，要求爆炸时立即爆炸），对“原子炸药”要求是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
6. 原子弹的破坏和杀伤作用，主要有哪几方面？怎样防御？
7. 1964年10月16日中国第一颗原子弹在新疆罗布泊爆炸成功。同时，中国政府郑重承诺：中国在任何时候、任何情况下都不会首先使用核武器。43年过去了，“核”对于世界的意义及世界的核环境发生了巨大变化。查阅有关我国当前核政策的资料，并谈谈你的见解。
8. 谈谈你学习我国“两弹元勋”邓稼先事迹后的感想。

### B组

1. 某原子弹爆炸时放出的能量相当于2×104 t TNT炸药可释放的能量，约为8.36×1013J，一个铀235核裂变时释放的核能约200 MeV。试问：该原子弹有多少个铀235核发生了裂变？
2. 【小实验】模拟链式反应

按照下面介绍的方法，做一做链式反应的模拟实验，从中感悟链式反应的过程（注意安全）。想一想，还有什么既安全又有明显效果的实验方法？

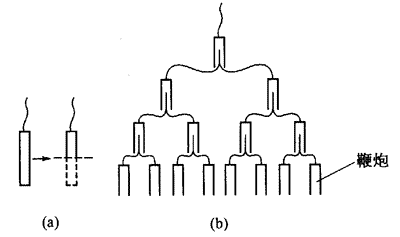
（1）实验目的

观察链式反应模拟实验，加深理解链式反应概念。

（2）实验装置

将小鞭炮如图（a）所示剪成两段，将有硫磺的部分丢弃。再用圆珠笔芯在装火药处掏一个孔，将第二级鞭炮的两根导火线塞进去，搭成如图（b）所示的装置。

（3）操作与观察

先接好小鞭炮链，然后将一张纸折叠，折痕间距宽为0.7cm。展开折纸形成波浪状“纸桥”，将鞭炮链置于波浪状“纸桥”上。用打火机点燃第一个鞭炮。当第一个鞭炮的导火线燃尽的时候，火星接触到火药，喷射出烟火。接着便点燃了第二个鞭炮的导火线，隔2～3 s后，第二级的两个鞭炮也喷射出烟火。再接着第三级的四个鞭炮的导火线也点燃……每隔2～3 s有一级鞭炮喷射出烟火，而且范围一次比一次广，其场面很壮观。

（4）实验原理分析

在链式反应中，一个快速中子与铀核反应会产生2个中子，2个中子再参与反应产生4个中子……利用小鞭炮演示链式反应，十分形象。

（5）注意事项

由于这个实验中小鞭炮能喷射出烟火，因而“纸桥”上多处被喷成黄黑色，故演示效果十分明显，会给大家留下特别深刻的印象。但是要注意相邻两级间的链接不能松开。开始实验时可以少用一些鞭炮，多试几次，待操作熟练以后再多用一些鞭炮。实验过程中一定要注意安全。

（6）讨论与思考

如果用火柴做这个实验，效果会怎样？

# E 反应堆 核电站

## 一、学习要求

知道核反应堆、核电站的基本构成，知道核能转化为电能的概况。通过阅读、讨论和课题研究，学习本节内容，并了解我国核物理研究和核工业发展取得的成就。了解核能的开发和利用，懂得保障核安全对建立一个生态、和平、和谐发展社会的重要意义。

## 二、要点辨析

### 1．反应堆的组成部分及其作用

反应堆是人工控制链式反应速度、并获得核能的装置。反应堆由以下几个主要部分构成：

（1）铀棒：由天然铀矿经过提炼成浓缩铀，制成一定形状的铀棒作为核燃料。

（2）中子减速剂：由于铀235裂变需要的是慢中子，增加与铀核碰撞的机会，而裂变中产生的快中子要通过减速，才能维持链式反应的进行。常用的减速剂有石墨、重水，利用中子与氘核或碳核的碰撞使之慢化。

（3）控制棒：用镉制成。由于镉吸收中子的能力很强，只需调节镉棒插入的深度，就可以改变铀235吸收中子的数量，达到控制链式反应速度的目的。

（4）冷却剂：常用水在反应堆内外循环流动，把反应堆产生的热量传出去，同时又起了使反应堆降温、冷却的作用。在核电站中一般采用两个热循环系统，可以避免受污染的水直接进入发电机组，以减少对外界的污染。

### 2．反应堆有哪些用途？

核裂变可释放大量能量，同时又产生了大量中子。因此，反应堆的用途主要可归结为利用核能和利用中子两个方面。

（1）利用核能。

①核能主要用于发电。核电站就是利用反应堆中重核裂变链式反应释放的核能转变为电能的发电厂。

②核能供热。核供热是一种前途远大的核能利用方式，不仅可用于冬季民用采暖（低温供热反应堆），也可用于工业供热。特别是高温气冷堆（课本图12－35），不仅本身具有高度的安全性能，而且可提供高温热源，用于耗热巨大的工业行业。另外，在各种海水淡化方案中，采用核供热是经济效益最好的一种热源。

③核动力。核能是一种具有独特优越性的动力，因为它不需要空气助燃，可在地下、水中和太空等缺乏空气的环境下提供动力；又由于耗料少、高能量，一次装料后可长时间供能，因而可作为火箭、宇宙飞船、人造卫星等的特殊动力，将来还可能用于星际航行。核动力在军事上有很大的应用价值，目前核航空母舰、核驱逐舰、核巡洋舰与核潜艇一起，已形成了一支强大的海上核力量。

（2）利用中子。反应堆链式反应中放出的大量中子，其用途非常多。例如，许多稳定元素的原子核吸收一个中子就会变成一种放射性同位素，因此反应堆可用来大量生产各种放射性同位素。又如，现在工业、医学和科研中经常需用一种带有极微小孔洞的薄膜，用来过滤、去除溶液中极细小的杂质或细菌之类的东西，若利用反应堆放出的中子轰击薄膜材料，可以生成极微小的孔洞。再如，利用反应堆放出的中子，采用中子掺杂技术可以生产优质的半导体材料。另外，利用反应堆放出的中子还可以治疗癌症，因为硼被癌组织吸收后，经中子照射后会放出α射线，α射线能有效地杀死癌细胞，其治疗效果要比从外部用γ射线照射好得多。

总之，反应堆是一个巨大的中子源，是进行基础科学研究、应用科学研究的一种有效工具，应用领域日益扩大，其应用潜力有待人们进一步开发。

反应堆除了有上述两大类用途外，还可以用来生产钚239（这种反应堆叫生产堆）等。

## 三、例题分析

【例】试说明核电站发电过程中的能量转化情况。

【解答】核电站是将核能转变为电能的设施。反应堆中的核燃料发生链式反应时，释放出大量核能；通过热交换器将核能转化为水蒸气的内能；蒸汽推动汽轮机转动，将内能转化为机械能；汽轮机带动发电机转动，将机械能转变为电能。下图是核电站发电过程中的能量转化示意图：

12-7

## 四、基本训练

### A组

1. 在核反应堆中，为了使快中子的速度减慢，可选用作为中子减速剂的物质是（ ）。

（A）氢 （B）镉 （C）压力容器 （D）水

1. 核反应堆中的石墨起\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_作用；镉棒起\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_作用。
2. 核反应堆主要构造有\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；它跟一般发电厂的主要区别是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
3. 核反应堆中，控制核裂变速度的方法是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
4. 为什么说核电是经济、安全、干净的能源？
5. 核电站为防止放射性物质的泄漏设置了四道屏障，它们是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

### B组

1. 上网查阅有关资料，谈谈核反应堆除了发电之外，还有哪些用途？
2. 秦山核电站第一期工程的装机容量为3×105kW。假定铀235裂变释放的能量全部转变成了电能，那么每年要消耗多少质量的铀235？
3. 某报报道：“中国政府的相关部门已对中国发展核电作出规划，到2020年，国内核电装机容量将达到3.6×107 kW以上，占到2020年全国发电总量的4%。这个规划意味着，从今年起，中国每年将批准建设两个百万千瓦核电机组，相当于中国在今后16年内，每年要建一座‘大亚湾’。自开工建设中国第一座核电站——秦山核电站至今，已建成和在建的核电站达6座，共11台机组……总装机容量为8.7×106 kW。目前核电全年发电量占全国发电总量的2%左右。也就是说，要达到2020年规划的要求，中国的核电发电量占全国发电总量的比例，要在未来的16年内翻一番……今后中国的核电还要向更高层次的快中子增殖堆、高温气冷堆和聚变堆迈进。”

看了上述报道，你有什么感想？

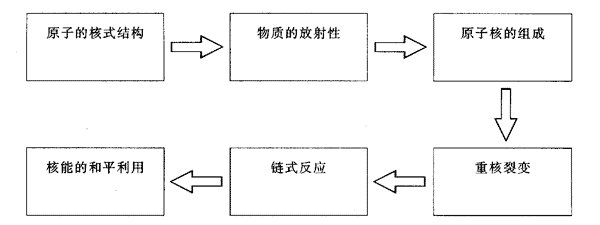
1. 在下列两个问题中任选一题，谈谈你的看法：

（1）核电站跟火力发电厂相比有哪些优点？

（2）在核电的发展中还有哪些亟待解决的问题？

# 本章自测

1. 将你学过的有关“物质微观结构”的知识要点填入图各方框内：



1. 最先发现电子、并确认电子是组成原子的成分之一的，是下面科学家中的（ ）。

（A）汤姆孙 （B）卢瑟福 （C）贝可勒尔 （D）居里夫人

1. 卢瑟福α粒子散射实验的结果（ ）

（A）证明了质子的存在

（B）证明了原子核是由质子和中子组成的

（C）说明原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在一个很小的核上

（D）说明原子中的电子在核外绕核运转

1. 下列说法中正确的是（ ）。

（A）β射线是原子外层电子脱离原子放出的

（B）α射线是高速的氦核流

（C）α、β、γ三种射线相比较，α射线的穿透本领最强

（D）α、β、γ三种射线相比较，γ射线的电离本领最强

1. 用直线把左边列出的实验和右边对应的仪器名称连接起来：

（A）观察粒子的径迹 （a）G-M传感器

（B）记录粒子数 （b）回旋加速器

（C）产生高速粒子 （c）云室

（D）用DIS探测粒子 （d）计数器

1. 关于放射性同位素，下列说法中不正确的是（ ）。

（A）现在已能用人工的方法制造每种元素的放射性同位素

（B）利用放射性同位素放出的γ射线可以探伤

（C）放射性同位素可用来做示踪原子

（D）利用放射性同位素鉴年法可鉴定古生物死亡的时间

1. 填写下列有关α、β、γ三种射线的性质：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 符号 | 组成 | 带电荷量 | 质量（u） | 穿透物质本领 | 对气体的电离作用 | 在电场中偏转情况 |
| α射线 |  | 氦核 | ＋2e |  | 最弱 |  |  |
| β射线 |  |  | －e |  |  | 次之 |  |
| γ射线 |  | 光子 |  | 0 |  |  | 不偏折 |

（与前面重复）第一个发现中子的物理学家是（ ）。

（A）居里夫人 （B）卢瑟福

（C）贝可勒尔 （D）查德威克

1. 钍核23290Th经过一系列衰变后，成为铅核20882Pb，则（ ）。

（A）铅核比钍核少8个质子 （B）铅核比钍核少16个质子

（C）铅核比钍核少8个中子 （D）铅核比钍核少24个中子

1. 11H、21H、31H的质量数分别\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_，电荷数分别是\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_。3H和3He的质量数分别是\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_\_\_，电荷数分别是\_\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_\_\_。
2. 一个钙离子有20个质子、20个中子和18个电子，那么钙原子核带的电荷量是\_\_\_\_\_个元电荷。如果用库仑表示，钙离子带的电荷量是\_\_\_\_\_\_。
3. 据报道，国外有一座水库建成100多年来一直漏水，使用过许多方法都找不到原因。请你应用所学到的知识设计一种方法找出泄漏地点、洞的大小和形状等。

（与前面重复）核电站主要组成部分有哪几个？它与一般发电厂的区别主要在哪里？

1. 查阅对我国核工业发展有重大贡献的科学家的事迹，学习他们的爱国情怀和献身科学的精神，建议用报告文学体裁写成文章后进行交流。
2. 历代科学家们对物质的微观结构的探索，共经历了哪些阶段？你对“基本粒子”不基本的观点有什么新的认识？
3. 通过本章学习，你认为科学家们哪些科学与人文精神值得你学习？