# 第五章 原子核

核能是蕴藏在原子核内部的能量。核能的发现是人们探索微观物质结构的一个重大成果。人类通过许多方式利用核能，主要的途径是发电。如今，全世界大约有 16% 的电能是由核反应堆生产的。核能的利用可以有效缓解常规能源的短缺。

图为某核电站核反应堆的本体。它是浸没在水下的（蓝色）。其中含有铀和钚的燃料棒被装进核反应堆的堆芯，用于产生受控核裂变反应，释放出大量的能量。



随着核能的出现，我们这一代人为世界带来了人类发现火以来最革命性的力量。

——爱因斯坦

# 第五章 1 原子核的组成

## 问题？

关于原子核内部信息的研究，最早来自矿物的天然放射现象。



铀矿

那么，人们是怎样从破解天然放射现象入手，一步步揭开了原子核秘密的呢？

## 天然放射现象

1896年，法国物理学家贝克勒尔发现，铀和含铀的矿物能够发出看不见的射线，它能穿透黑纸使照相底版感光。

受到贝克勒尔的发现的鼓舞，波兰裔法国物理学家玛丽·居里和她的丈夫皮埃尔·居里对铀和含铀的各种矿石进行了深入研究。



玛丽·居里（Marie Curie，1867—1934）和她的丈夫皮埃尔·居里（Pièrre Curie，1859—1906）

他们研究了一种沥青铀矿，根据它的含铀量计算发出的射线不会太强，但实际测得的射线要强得多。进一步研究后，发现这种沥青中还存在着两种能够发出更强射线的新元素，居里夫人把其中一种元素命名为钋（Po），另一种元素命名为镭（Ra）。

物质发出射线的性质称为**放射性**（radioactivity），具有放射性的元素称为放射性元素。后来发现，放射性并不是少数元素才有的，原子序数大于83的元素，都能自发地发出射线，原子序数小于或等于83的元素，有的也能发出射线。放射性元素自发地发出射线的现象，叫作天然放射现象。

## 射线的本质

发现了天然放射现象之后不久，人们就在想，这些射线到底是什么呢？

把放射源铀、钋或镭放入用铅做成的容器中，射线只能从容器的小孔射出，成为细细的一束。若在射线经过的空间施加磁场，可以发现射线分裂成三束，其中两束在磁场中向不同的方向偏转，这说明它们是带电粒子流；另一束在磁场中不偏转，说明它不带电（图5.1–1）。于是，人们把这三种射线分别叫作**α射线**、**β射线**和**γ射线**。

α

γ

β

*B*

图 5.1–1 三种射线在磁场中的运动径迹不同

### 思考与讨论

如果α射线、β射线都是带电粒子流，按照图5.1-1中标出的径迹判断，它们分别带什么电荷？

如果不用磁场而用电场判断它们带电的性质，两个电极怎样放置可以使三种射线大致沿图示的方向偏转？

物理学家们经过多方面的研究后确认α射线、β射线和γ射线具有以下特征。

α射线 是α粒子流，粒子带正电，电荷量是电子的2倍，质量是氢原子的4倍，其组成与氦原子核相同。α粒子的速度可以达到光速的 。由于α粒子带电，质量又比较大，通过气体时很容易把气体分子中的电子剥离，使气体电离。由于与物质中的微粒作用时会损失自己的能量，α粒子的穿透能力较弱，在空气中只能前进几厘米，用一张纸就能把它挡住。

射线使原子中的电子脱离核的束缚成为自由电子，这样的过程叫作电离。射线的上述作用叫作电离作用。

β射线 是电子流，速度可以接近光速。β射线的电离作用较弱，穿透能力较强，很容易穿透黑纸，也能穿透几毫米厚的铝板。

γ射线 是一种电磁波，波长很短的光子，波长在10−10 m以下。γ射线的电离作用更弱，穿透能力更强，甚至能穿透几厘米厚的铅板和几十厘米厚的混凝土。

实验发现，如果一种元素具有放射性，那么，无论它是以单质存在的，还是以化合物形式存在的，都具有放射性。放射性的强度也不受温度、外界压强的影响。由于元素的化学性质决定于原子核外的电子，这就说明射线与这些电子无关，也就是说，射线来自原子核。这说明原子核内部是有结构的。

### 拓展学习

**威耳逊云室**

由微观粒子构成的射线，肉眼是看不见的。但是，射线中的粒子与其他物质作用时产生的现象，会显示射线的存在。威耳逊云室就是一种常用的射线探测装置。

图5.1–2是威耳逊云室的实物照片。云室内部设计有可以上下移动的活塞，上盖是透明的，可以通过它观察粒子运动的径迹。

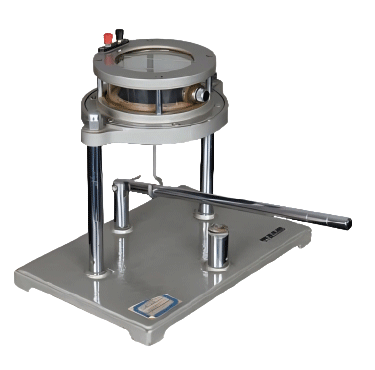


图 5.1–2 威耳逊云室

云室里面有干净的空气。实验时，先往云室里加少量酒精，使室内充满酒精的饱和蒸气，然后迅速向下拉动活塞，室内气体膨胀，温度降低，酒精蒸气达到过饱和状态。这时如果有粒子在室内气体中飞过，使沿途的气体分子电离，过饱和酒精蒸气就会以这些离子为核心凝结成雾滴，于是显示出粒子运动的径迹。这种云室是英国物理学家威耳逊在1912年发明的，叫作威耳逊云室。

图5.1–3中甲、乙两图分别是α射线和β射线在云室中的径迹。α粒子的质量比较大，在气体中飞行时不易改变方向。由于它的电离本领大，沿途产生的离子多，所以它在云室中的径迹直而清晰。高速β粒子的径迹又细又直，低速β粒子的径迹又短又粗而且是弯曲的。γ射线的电离本领很小，在云室中一般看不到它的径迹。

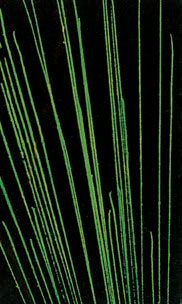
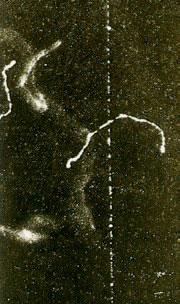


图 5.1–3 粒子在威耳逊云室中的径迹

甲 α粒子

乙 β粒子

## 原子核的组成

1919年，卢瑟福用镭放射出的α粒子轰击氮原子核，从氮原子核中打出了一种新的粒子（图5.1–4）。根据这种粒子在电场和磁场中的偏转，测出了它的质量和电荷量，原来它就是氢原子核，叫作**质子**（proton），用p表示。以后，人们用同样的方法从氟、钠、铝等原子核中都打出了质子，由此断定，质子是原子核的组成部分。

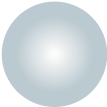
质子

氮原子核

粒子源

氧原子核

α粒子



N

O

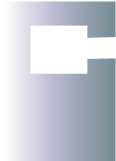


图 5.1–4 α粒子轰击氮原子核示意图

质子带正电荷，电荷量与一个电子的电荷量相等。质子的质量为

*m*p = 1.672 621 898×10-27 kg

### 思考与讨论

原子核是只由质子组成的吗？如果原子核中只有质子，那么，任何一种原子核的质量与电荷量之比，都应该等于质子的质量与电荷量之比。但事实是这样的吗？

实际情况并非如此。绝大多数原子核的质量与电荷量之比都大于质子的相应比值。卢瑟福猜想，原子核内可能还存在着另一种粒子，它的质量与质子相同，但是不带电，他把这种粒子叫作**中子**（neutron）。1932年，卢瑟福的学生查德威克通过实验证实了这个猜想（图5.1–5）。

中子不带电，用 n 表示。中子的质量是

*m*n = 1.674 927 471×10-27 kg

它与质子的质量非常接近，只比质子质量约大千分之一。

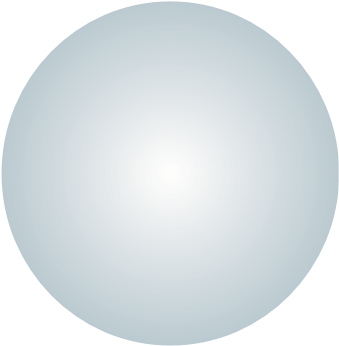


原子

原子核

中子（n）

质子（p）



10-10 m

10-15 m

图 5.1–5 原子核的示意图

质子和中子除了是否带电的差异以及质量上的微小差别外，其余性质十分相似，而且，都是原子核的组成成分，所以统称为**核子**（nucleon）。

由于中子不带电，原子核所带的电荷等于核内质子电荷的总和。所以，原子核所带的电荷总是质子电荷的整数倍，通常用这个整数表示原子核的电荷量，叫作原子核的**电荷数**，用 *Z* 表示。原子核的质量等于核内质子和中子的质量的总和，而质子与中子的质量几乎相等，所以原子核的质量几乎等于单个核子质量的整数倍，这个倍数叫作原子核的**质量数**，用 *A* 表示。

原子核的电荷数不是它所带的电荷量，质量数也不是它的质量。

原子核的电荷数就是核内的质子数，也就是这种元素的原子序数，而原子核的质量数就是核内的核子数。

原子核常用符号*AZ*X表示（图 5.1–6），X 为元素符号，A 表示核的质量数，Z 表示核的电荷数（即原子序数）。例如，氢原子核可以表示为11H，有时也用它表示质子。氦原子核可以表示为42He，它有 2 个质子和 2 个中子，所以电荷数是 2，质量数是 4。又如，23892U 代表一种铀核，它的质量数为 238，电荷数为 92，即核内有 92 个质子、146 个中子。

图 5.1-6 原子核符号

X

元素符号

质量数

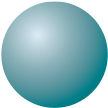
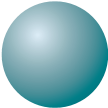
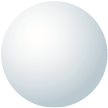
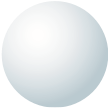
电荷数（原子序数）

*Z*

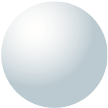
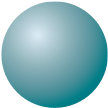
*A*

元素的性质与原子核外的电子有密切的关系。同种元素的原子，质子数相同，核外电子数也相同，它们就会具有相同的化学性质。但是，它们的中子数可能不同。这些具有相同质子数而中子数不同的原子核组成的元素，在元素周期表中处于同一位置，因而互称**同位素**（isotope）。

氢有三种同位素，分别叫作氕（也就是通常说的氢）、氘（也叫重氢）、氚（也叫超重氢），符号分别是11H、21H、31H（图 5.1–7）。



p



p

n

p

n

n

图 5.1–7 氢的同位素

氕11H

*A* ＝ 1

*Z* ＝ 1

*A* ＝ 2

*Z* ＝ 1

*A* ＝ 3

*Z* ＝ 1

氘21H

氚31H

### 科学漫步

**天然放射现象的发现**

1895 年末，德国物理学家伦琴发现了一种新的射线——X 射线，即伦琴射线。它具有一定的辐射性。现在我们知道，X 射线是原子内层电子跃迁时发射的波长很短的电磁波。但在当时并不知道这些，所以，它的发现激起了许多科学家的研究兴趣。

法国物理学家贝克勒尔对荧光研究了多年，他决定研究荧光与 X 射线的关系。1896 年年初，他选择了在日光照晒时能发出荧光的铀盐——硫酸钾铀酰做实验材料。他用黑纸把照相底片包住，放到这种铀盐的下面，在阳光下曝晒了几小时。底片显影后，发现了铀盐在底片上的黑色轮廓，表示底片已经感“光”。阳光是不能透过黑纸的，贝克勒尔认为，这种铀盐受到阳光照射后除了能够发出可见的荧光外，还能发射 X 射线，是 X 射线透过黑纸使底片感光。再次准备实验的时候遇到了几个阴天，贝克勒尔只好把准备好的铀盐和包好的底片一起放进了抽屉。几天以后，贝克勒尔在检查底片时意外发现底片又已经感光。这个事实使贝克勒尔认为铀盐本身能够发射一种神秘的射线，正是这种射线导致了底片感光。1896 年 3 月 2 日，他在法国科学院例会上公布了这一发现。贝克勒尔进一步用不发荧光的其他铀化合物进行实验，发现也能使底片感光。铀化合物发出的射线也像 X 射线一样能穿透多种物质。他还发现，只要有铀元素存在，不论是什么化合物，就一定有这种贯穿本领很强的射线发出。贝克勒尔认为这种射线不是 X 射线；他还进一步指出，发出射线的能力是铀原子自身的性质。

1897 年，居里夫人在撰写博士论文时选择了贝克勒尔发现的射线作为研究课题。她首先证实，铀盐发出射线的强度只与化合物中铀的含量成正比，而与化合物的种类无关，也不受光照、加热、通电等因素的影响。由此，她确认这一现象的起因在于原子内部，并提出了“放射性”这个词，用来描写这一现象。

居里夫妇提出了一个重要的问题：是否还有其他元素也具有这种性质？他们决定检查当时知道的所有元素，结果发现钍也发射类似的射线。居里夫妇还发现，某些含有铀钍混合物矿石的辐射强度比已测到的铀和钍的放射性强得多，他们大胆假定这些矿石中含有当时尚不知晓的某种其他放射性元素，并一起开始了一项艰苦的工作：从沥青铀矿中分离这种新元素。1898 年 7 月，他们得到了一种放射性比铀强 400 倍的新元素，并把它命名为钋，以表达居里夫人对祖国波兰的热爱。同年 12 月，他们又发现了放射性比铀强百万倍的镭。镭的发现再次轰动了科学界，但是也有人怀疑它的存在。为了排除这一怀疑，居里夫妇经过艰苦繁重的工作，在几万次提炼之后，终于在 1902 年从 8 t 沥青铀矿渣中提炼出 0.12 g 纯净的氯化镭，向世人证实了镭元素的存在。

居里夫妇和贝克勒尔由于对放射性的研究而一起获得 1903 年的诺贝尔物理学奖。在发现镭射线的治癌功能后，他们认为这种济世救人之物应该属于全世界。当镭以昂贵的价格出现在市场上时，他们自己却甘愿过着清贫的生活。居里夫人在 1911 年又因镭和钋的发现而获得了诺贝尔化学奖，成为两次获得诺贝尔奖的科学家。

可能是由于长期受到射线的照射，居里夫人死于白血病。

## 练习与应用

本节共 6 道习题。第1题在阅读教科书的基础上考查学生理解实验现象、进行科学推理的能力，培养学生实事求是的科学态度。第 2 题引导学生认识三种射线的本质。第 3 题结合验电器验电的功能，进一步加强对 α 射线电离作用的认识，明白电离要消耗能量的道理，同时消除学生对于 α 射线的陌生感和恐惧感。第 4 题考查学生科学推理能力，加深对原子核内部结构的认识。第 5 题考查原子核的表示方法，要求学生熟练掌握原子核符号中各部分所表示的物理意义，并能推算中子数。第 6 题考查学生对同位素的认识，会区分同位素之间的异同。第 5、6 题虽然都是关于训练原子核表示方法的题目，但两道题目的侧重点不同，又呼应了教科书正文的讲解。

1．有什么事实和理由可以说明放射性元素放出的射线来自原子核的内部？天然放射现象的发现对物质微观结构的研究有什么意义？

**【参考解答】**实验发现，如果一种元素具有放射性，那么，无论它是以单质形式存在的，还是以化合物形式存在的，都具有放射性，而且放射性的强度也不受温度、外界压强等因素的影响。元素的化学性质决定于原子核外的电子，这说明射线与这些电子无关。也就是说，射线来自原子核的内部。

天然放射现象的发现，使人们认识到原子核内部有复杂的结构，而且原子核可以发生变化，成为另一种原子核。实际上，人们认清原子核的结构就是从天然放射现象开始的。

2．α 射线、β 射线和 γ 射线中哪种射线更像 X 射线？为什么说 γ 射线是能量很高的电磁波，它的波长就一定短？

**【参考解答】**γ 射线更像 X 射线。

提示：α 射线是速度可达到 0.1*c* 的氦原子核，β 射线是速度可接近光速的电子流，都是实物粒子。γ 射线和 X 射线都是光子，是电磁波，γ 射线更像 X 射线。

3．一个验电器带正电，因为空气干燥，验电器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上端的金属球，验电器金属箔的张角将会怎样变化？为什么？

**【参考解答】**验电器金属箔的张角将变小。因为放射性元素放出的 α 射线具有一定的电离作用，它能使所经过的路径上的空气分子电离，使空气变成导体，从而使带正电的验电器上的正电荷发生转移、中和，所以验电器金属箔的张角将变小。

4．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存在着另外不同种类的粒子？

**【参考解答】**如果原子核中只有质子，那么任何一种原子核的质量与电荷量之比都应该等于质子的质量与电荷量之比。实际并不是这样。绝大多数原子核的质量与电荷量之比都大于质子的相应比值。所以卢瑟福猜想，原子核内可能存在着另一种有质量但不带电的粒子。

5．用符号表示以下原子核，并说出原子核的质子数、中子数。

（1）α 粒子。

（2）质量数为 14 的碳原子核。

（3）电荷数为 8、质量数为 17 的氧原子核。

（4）质量数为 40 的钾原子核。

（5）电荷数为 86、核子数为 222 的氡原子核。

**【参考解答】**（1）42He；质子数是 2，中子数是 2。

（2）146C；质子数是 6，中子数是 8。

（3）178O；质子数是 8，中子数是 9。

（4）4019K；质子数是 19，中子数是 21。

（5）22286Rn；质子数是 86，中子数是 136。

6．写出原子核中的中子数分别为 0、1、2 的三种氢的同位素符号。比较铀的三种同位素 23492U、23592U、23892U 的异同。

**【参考解答】**氢的三种同位素分别是 11H、21H、31H。

铀的三种同位素具有相同的质子数、核电荷数，它们属于同种元素的原子，核外电子数也相同，会具有相同的化学性质；但是同位素的中子数是不同的，因此它们的质量数不同。

# 第五章 原子核

## 课程标准的要求

3.3.2 了解原子核的组成和核力的性质。知道四种基本相互作用。能根据质量数守恒和电荷守恒写出核反应方程。

3.3.3 了解放射性和原子核衰变。知道半衰期及其统计意义。了解放射性同位素的应用，知道射线的危害与防护。

3.3.4 认识原子核的结合能，了解核裂变反应和核聚变反应。关注核技术应用对人类生活和社会发展的影响。

3.3.5 了解人类对物质结构的探索历程。

## 一、本章教材概述

本章内容主要涉及两个方面，一是有关原子核的知识；二是有关核能的开发与利用的知识。前者包括原子核的组成、核力与结合能、核反应、衰变和半衰期、核裂变和核聚变、“基本”粒子等，并对现代物理最活跃而又紧密联系的领域——微观世界粒子物理的初步知识加以说明；后者则包括放射性同位素和核能的开发与利用。

本章是依循人类探索原子核内部奥秘的历程展开的。在结构设计方面可划分为以下三个单元。

第一单元由第 1 节“原子核的组成”和第 2 节“放射性元素的衰变”组成。教科书介绍了贝克勒尔、居里夫妇对天然放射现象的研究和射线的本质，以及质子和中子的发现、原子核的组成。指出了天然放射现象产生的机理，即原子核的衰变，以及用半衰期描述衰变遵从的规律。介绍了核反应、放射性同位素及其应用，特别强调了辐射与安全的相关问题。

第二单元由第 3 节“核力与结合能”和第 4 节“核裂变与核聚变”组成。教科书介绍了四种基本相互作用、结合能和比结合能等概念，针对重核裂变和轻核聚变，不仅介绍了利用核裂变的反应堆、核电站，还介绍了磁约束和惯性约束可控核聚变。

第三单元由第 5 节“‘基本’粒子”构成。教科书介绍了粒子物理中的一些基本知识，例如，粒子分为强子、轻子、规范玻色子、希格斯玻色子几种类别，还拓展介绍了夸克与粒子物理标准模型。

具体来说，在编写本章内容时有以下一些思考。

### 1．关注探索原子核的组成的科学历程和科学方法

在了解人类对物质结构的探索历程中，上一章完成了对“原子的核式结构模型”的学习。本章开篇就对“原子核的组成”展开讨论，引导学生认识人们怎样从天然放射现象一步一步揭开原子核秘密的科学过程。这有利于培养学生的探索兴趣，发展他们的思维能力。教科书把人类认识原子核的组成的历程大致分为以下三个阶段，每个阶段都体现了科学探究的特点。

第一阶段，发现天然放射线，认识到原子核内部是有结构的。教科书编写的逻辑线索如下：

铀和含铀的矿物能够发出看不见的射线，要探寻其本质（问题）

发现钍、钋、镭等都具有放射性且与是否为单质或化合物无关（证据）

放射现象与核外电子无关，发生在原子核内部（解释）

原子核内部有结构（推理、判定）

教科书通过正文和“科学漫步”栏目介绍了贝克勒尔、居里夫妇等人对天然放射现象和射线性质的研究，并指出实验发现的结果可以判定射线来自原子核内部。α 射线、β 射线都来自原子核（云室中的径迹显示射线的存在），这表明原子核内部是有结构的。

第二阶段，用 α 粒子轰击原子核，认识到质子是原子核的组成部分。教科书编写的逻辑线索如下：

原子核内部的结构会是什么样的呢?（问题）

用 α 粒子轰击氮原子核，放出氢原子核——质子（证据）

用 α 粒子轰击氟、钠、铝等原子核，也放出了氢原子核——质子（证据）

质子是原子核的组成部分（解释）

第三阶段，中子的发现，认识到质子和中子是原子核的组成部分。教科书编写的逻辑线索如下：

“原子核只由质子组成”的推测与实际情况不符（问题）

原子核内存在质量与质子相同，但不带电的粒子（猜想）

通过实验证实了这个猜想（证据）

质子和中子都是原子核的组成成分（结论）

教科书介绍了卢瑟福、查德威克等人通过实验证实了质子和中子的存在，从而确定了原子核的组成。对于微观世界，人们看不见，摸不着，如果缺乏丰富的想象力，不能从现有的经验、知识和观察到的实验现象进行大胆的、富于想象力的猜想，就不可能设计和构建出新的、有针对性的实验和创新理论，就没有今天物理学的辉煌成就。

这样，学生不仅逐步认识到了原子核的组成，而且还了解到贝克勒尔、居里夫妇发现天然放射现象的历史，感悟到科学家经历科学探究的科学过程，以及探索微观世界的方法——实验事实加科学思维，即在观察、实验得到确切的物理事实（信息）和已有知识基础上进行科学思维（猜想和推理）以得出科学结论。当然，这个结论还将经受更多的实验事实的检验。

### 2．强调统计概率思想在微观世界探索中的意义

放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间，叫作这种元素的半衰期。课程标准的内容要求是“知道半衰期及其统计意义”。教科书在讲到半衰期时明确指出，放射性元素的半衰期描述的是一种统计规律。对于某个特定元素的原子，我们只知道它发生衰变的概率，而不知道它将何时发生衰变。然而，量子理论可以对大量原子核的行为给出统计预测。为了强调统计概率思想在微观世界探索中的意义，教科书还通过旁批强调：“衰变是微观世界里原子核的行为，而微观世界规律的特征之一在于‘单个微观事件不可预测’。”目的是进一步让学生熟悉运用统计概率思想来处理和认识微观世界的问题。

### 3．在学习核反应方程中再次渗透“守恒思想”

衰变是原子核的自发变化，原子核衰变时电荷数和质量数都守恒。原子核在其他粒子的轰击下产生新原子核或者发生状态变化的过程，称为核反应。与衰变过程一样，在核反应中，质量数守恒、电荷数守恒。应该说，这个内容对学生来说难度不算大，但是就“守恒思想”的渗透而言意义是很大的。

高中物理学习的各守恒定律都是物理学的基本定律，例如，电荷守恒定律、动量守恒定律和能量守恒定律等。各种守恒定律的研究和建立经历了漫长的历史过程，是重要的科学思想方法。要让学生深刻地认识质量数和电荷数在核反应方程中保持不变的含义，目的是使学生再次领悟物理学中守恒的思想，逐步熟悉用守恒思想来处理和认识问题。这对本章后续要学习的核裂变、核聚变和结合能等概念的认识是有帮助的。

### 4．通过推理、类比思维加工认识核力和结合能

在“质子和中子是原子核的组成成分”提出以后，有个问题当时未能得到解释，那就是原子核中带正电的质子为什么能挤在一起而不飞散？教科书在这个问题的基础上介绍了四种基本相互作用，阐明万有引力、电磁力和强相互作用分别在不同的尺度上发挥作用。物理学家还发现，在某些放射现象中起作用的是弱相互作用，它的力程比强相互作用更短，是引起原子核 β 衰变的原因。

结合能的概念是本章重要的基础知识。教科书在让学生了解核力性质的基础上，通过推理、类比进行了比较充分的阐述。首先，从学生熟悉的宏观现象出发，回顾两个物体为了结合而付出的代价——失去了一部分能量，如果要把它们分开，还要重新赋予它们能量；然后，又讨论了类似的情形，即氢原子的电离也需要吸收能量。依此类推，原子核是核子凭借核力结合在一起的，核子结合成原子核会释放能量。要把核子分开，也需要提供能量，从而引出结合能的概念。又在此基础上介绍了比结合能的概念。

之后，在介绍质量亏损的内容中特地安排了一个例题，让学生从具体的事例中认识到什么是质量亏损，从质量亏损推知原子核的结合能。这样就对结合能形成了一个比较完整的认识。

### 5．认识科学技术在促进人类社会发展中扮演的“双刃剑”角色

核能在人类的生产和生活中有着广泛的应用。核能的重要作用在于它可作为一种新能源。核能包括核裂变和核聚变产生的能。核裂变是当前获得核能的重要途径之一，对于核裂变的产生及其和平利用，教科书的编写线索是沿着“核裂变的发现→链式反应→反应堆与核电站”这条主线展开的。其中，教科书还特别提到了我国科学家钱三强和他的夫人何泽慧对铀核裂变的实验研究，其成果得到了广泛的认可和赞赏。而对于核聚变这一获得核能的另一重要途径，教科书介绍了核聚变的原理、特点以及目前的研究进展。人类对核聚变的研究已取得了一定的成果，但目前核聚变所获得的核能还只能用于核武器中，和平利用核聚变所产生的核能还在研究之中，虽然取得一些进展，但技术还不够成熟。为了解决可控核聚变的困难，科学家设想了两种方案，即磁约束和惯性约束。教科书精选了反映我国在磁约束核聚变领域的成就——中国科学院的环流器装置 EAST，以及惯性约束核聚变领域的成就——中国工程物理研究院等单位的“神光 Ⅲ”装置，作为教育素材。

另外，教科书对核技术的应用也有阐述。一方面，在“放射性同位素及其应用”部分，教科书列举了大量实例，包括直接利用射线测厚、治疗、培优以及作为示踪原子进行生物和医学研究等；在“科学漫步”栏目中还介绍了碳 14 测年技术的原理及其在测量古木年代、基本建设等方面的应用。另一方面，教科书对核技术应用中可能出现的问题也进行了讨论，主要集中在辐射的危害、核泄漏和核废料处理等方面，并提出了要遵守放射性同位素操作流程、防止污染、竖立标志、用特制容器深埋核废料等措施。通过对这些问题的介绍和讨论，希望让学生认识到，科学技术对人类生活和社会发展能够带来积极影响，但同时也会带来一系列问题，人类必须尊重自然，遵循自然规律。

### 6．建构相对完整、科学的物质观念

本章根据科学发展的历史脉络展现核物理的基础知识。教科书中安排了一些中学生能够接受又符合课程标准要求的新内容、新知识，这些内容反映了物理学的最新进展，增强了教科书的时代性，能够帮助学生建立起比较完整的物质观念。

从 20 世纪 30 年代以来，人们在对宇宙线的研究中陆续发现了一些新的粒子。教科书以轴向列表的形式展示了部分新粒子的实验发现年代，用强有力的证据说明基本粒子并不“基本”的事实。同时，也表明人类对物质结构的探索是层层深入、永不停息的。对于粒子物理中的基本概念，教科书的阐述力求准确、清楚、层次分明、严谨扎实，充分体现高中物理课程的基础性。其中，将“粒子的分类”的内容作为正文处理；而对于“夸克与粒子物理标准模型”的内容则以“拓展学习”栏目来处理。这样有助于教师分层教学，同时也有助于学生把这些微观世界的相关内容与之前学过的有关物质的知识相结合，形成相对完整、科学的物质观念。

## 课时安排建议

第 1 节 原子核的组成 2 课时

第 2 节 放射性元素的衰变 1 课时

第 3 节 核力与结合能 1 课时

第 4 节 核裂变与核聚变 1 课时

第 5 节 “基本”粒子 1 课时

# 第 1 节 原子核的组成 教学建议

## 1．教学目标

（1）了解放射性现象和放射性元素。

（2）知道三种射线的特性，了解原子核的组成，会正确书写原子核符号。

（3）通过对原子核结构的探究，感悟探索微观世界的研究方法，强化证据意识和推理能力。

## 2．教材分析与教学建议

本节先介绍了贝克勒尔发现的天然放射现象，引起人们对 α 射线、β 射线和 γ 射线这三种射线的研究，确认射线来自原子核，进而介绍原子核的组成成分。原子核的组成是比较抽象的，教科书引导学生注意把微观机制和它的宏观现象紧密地联系在一起，通过一些宏观实验，去猜测、探究微观结构，建立微观模型。教学中要关注依据实验证据进行科学推理能力的培养，即在观察、实验得到的确切物理事实（信息）和已有知识基础上进行科学推理和论证，猜想原子核的结构。了解实验是探索微观世界奥秘的基础，猜想与假设都必须接受实验的检验。

本节教学的重点是三种射线的性质和原子核的组成。

### （1）问题引入

本节教科书遵循科学史的轨迹，一开始就直截了当地指出：“关于原子核内部信息的研究，最早来自矿物的天然放射现象。”选择铀矿照片的情境源于下文对 1896 年法国物理学家贝克勒尔的发现的叙述，目的是要引导学生尊重科学的历史，了解科学家是怎样从矿物的天然放射现象入手，一步步揭开原子核的秘密的，由此激发学生探索原子核结构的求知欲望。

这部分教学的引导很重要，让学生依据证据了解科学家开展科学探究的科学过程。

### （2）天然放射现象

在教学过程中，建议通过介绍天然放射现象发现的历史（它是科学探究教育的好素材），引导学生感悟探索微观世界的方法。具体教学线索设计如下：贝克勒尔发现一种能够使照相底片感光的神秘射线（观察宏观现象提出问题）→这种射线不是 X 射线，它来自原子核内部（猜想）→居里夫妇用不同元素进行实验，发现钍、钋、镭等都具有放射性（对猜想进行验证，寻找证据）→放射现象与元素种类有关，发生在原子核内部（得出科学的结论）。教学中要注意强调说明：自然界具有天然放射性的元素种类很多。

### （3）射线的本质

天然放射现象被发现后，产生关于“射线到底是什么”的疑问是自然而然的。教科书在处理这部分内容时，很好地利用了之前学过的物理知识，充分体现了物理知识的系统性和完整性。同时启迪学生要善于利用已有的知识储备解决出现的新问题。由于实验有一定难度，可以让学生讨论如何设计实验方案来检验“射线到底是电磁波还是粒子？是什么粒子？”培养学生基于证据意识的科学探究能力和科学推理能力。也可以利用多媒体展示相应图片或者历史资料进行验证，加深学生对于射线的认识。

①判断射线的电性

教科书图 5.1–1 展示了射线在磁场中的行为。看到的现象是，射线分裂成三束，其中两束在磁场中向不同的方向偏转，另一束在磁场中不偏转。教学中务必对射线在磁场中不同行为的形成原因进行分析。

在处理教科书“思考与讨论”栏目中的问题时，要充分调动学生的积极性，引导学生分组讨论。

第一，运动电荷在磁场中受到洛伦兹力发生偏转，利用左手定则可以判定：α 射线带正电，β 射线带负电。不带电的粒子在磁场中运动不会受到洛伦兹力的作用，所以不偏转，可见，γ 射线不带电。

第二，让射线进入电场中，同样可以通过观察偏转情况来判断其电性。可引导学生结合教科书图 5.1–1，讨论怎样放置两个电极使三种射线大致沿图示的方向偏转。

②列表对比 α 射线、β 射线和 γ 射线的性质

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 射线  种类 | 射线  组成 | 符号 | 电荷量 | 质量 | 射出  速度 | 电离  本领 | 穿透  本领 |
| α 射线 | 氦核 | 42He | +2e | 4×1.67×10−27 kg | 0.1*c* | 强 | 弱 |
| β 射线 | 电子 | 0−1e | − e | 0.91×10−30 kg | 接近光速 | 较弱 | 较强 |
| γ 射线 | γ 光子 | hν | 0 | 无静止质量 | 光速 *c* | 弱 | 强 |

**教学片段**

**射线的本质**

猜想 这些射线是电磁辐射还是带电微粒？为什么？

实验设计 如果这些射线带电，带电微粒在磁场中的运动状态就会发生改变；如果不带电，微粒在磁场中的运动状态就不会改变。所以，可以设计将射线置于磁场中的实验，从而判断射线是否带电。

现象分析 根据教科书提供的图 5.1–1 分析实验结果。可以发现，射线分裂成三束，其中两束在磁场中向不同的方向偏转，这说明它们是带电粒子流；另一束在磁场中不偏转，说明它不带电。于是，人们把这三种射线分别叫作α射线、β射线和 γ 射线。

阅读课文 让学生尝试填写关于三种射线性质的空白表格（参考上表）。

归纳总结 α 射线是 α 粒子流，α 粒子带正电，电荷量是电子的 2 倍，质量是氢原子的 4 倍，其组成与氦核相同。β 射线是电子流。γ 射线是一种电磁波，波长很短的光子，波长在 10−10 m 以下。

关于元素的放射性与元素的存在形式无关的问题，教学中可以直接阐述，即单质或化合物都具有放射性。放射性强度不受外界温度、压强等因素的影响。由于元素的化学性质决定于原子核外的电子，这就说明射线与这些电子无关，也就是说，射线来自原子核，原子核内部是有结构的。这也与本节“问题”栏目中“关于原子核内部信息的研究，最早来自矿物的天然放射现象”相呼应，同时，为“原子核的组成”的教学埋下伏笔。

另外，关于“威耳逊云室”的拓展学习内容，主要目的是让学生了解探测射线的方法和思想。同时，让学有余力的学生进一步增强证据意识，云室中的径迹显示了射线的存在。

### （4）原子核的组成

①质子和中子的发现

认识原子核内部结构，经历了“实验事实→猜想（预言）→实验验证”的过程，这个过程充分表明了人类对微观世界的认识是不断扩大和加深的。人类认识原子核组成的科学过程和研究方法具有典型性，应该在教学中渗透这种探索微观世界的科学方法。

* 质子的发现

要引导学生遵循科学史的轨迹，认识科学家发现质子的科学过程。在教学中，要让学生了解并感悟到用高速运动的粒子去轰击原子核是揭开原子核内部奥秘的基本方法。科学家用镭放射出的α粒子轰击氮、氟、钠、铝等原子核，都打出了一种新的粒子——质子，认识到质子是原子核的组成部分。但是，科学家对该问题的研究并没有停止。

* 中子的发现

在教学中要引导学生认识科学家发现中子的科学过程。教科书介绍了卢瑟福根据实验事实猜想中子的存在，他的学生查德威克通过实验证实了中子的存在，从而确定了原子核的组成成分。学生在学习原子核组成的知识的同时，更重要的任务是感悟科学家经历的包含探究要素（问题、证据、解释、交流）的科学过程。

**教学片段**

**中子的发现**

科学背景 卢瑟福已经在 1919 年发现原子核内部存在质子，并测出了质子的电荷量和质量。提出问题 原子核内部只有质子吗？

科学推理 如果原子核内部只有质子，那么，任何一种原子核的质量与电荷量之比都应该相同，且都等于一个质子的质量与电荷量之比。

实验事实 绝大多数原子核的质量与电荷量之比都大于一个质子的质量与电荷量之比。

归纳总结 原子核内部除了质子之外，一定还存在另外一种未知的粒子，而且这种粒子的电荷量一定比质子小。

提出新问题 未知粒子是什么？

猜想（预言） 1920 年卢瑟福根据实验测定的结果，大胆猜想并预言在原子核内部存在一种不带电的、与质子等质量的粒子——中子。

实验验证 卢瑟福的学生查德威克在 1932 年发现了中子。

总结交流 通过学习中子的发现过程，谈一谈你的认识和感悟。

②原子核的组成

引导学生关注质子和中子的区别：它们的质量非常接近；质子带一个元电荷的正电，中子不带电，两者统称为核子。在原子核内质子和中子的总数就是质量数 *A*，在这里要特别强调质量数仅仅是核子的个数，并不是原子核的质量！为今后处理核反应方程中存在质量亏损，同时质量数又守恒，作好铺垫。电荷数 *Z* 是指原子核内质子的个数，但要注意，这个电荷数的单位不是库仑，而是“元电荷”数，即表示原子核中有 *Z* 个“元电荷 *e*”，原子核的电荷量等于 *Ze*。

③原子核的符号

关于原子核的符号的教学，是本节的重点和难点。教学中要注意结合教科书图 5.1–6 来突破难点。书写原子核的一般步骤可以总结为：确定元素符号 *X*→确定电荷数（原子序数） *Z*→确定质量数 *A*。为了加深印象，可以让学生结合本节教科书“练习与应用”第 5 题进行巩固练习。

④同位素

在教学中，应注意引导学生认识同位素之间的“同”和“异”，可以从以下几个方面认识同位素的概念。具有相同质子数而中子数不同的原子核组成的元素，在元素周期表中处于同一位置，互称同位素。同一元素的不同种同位素在元素周期表上具有相同的位置（因为原子序数相同所以“同位”），它们的核电荷数相同，核外电子数也相同，所以具有相同的化学性质。同一种元素的多种同位素中，有稳定的，也有不稳定的。不稳定的同位素会自发地放出 α 粒子或正负电子，衰变为新的元素。在此，为下一节的教学作好铺垫。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共 6 道习题。第1题在阅读教科书的基础上考查学生理解实验现象、进行科学推理的能力，培养学生实事求是的科学态度。第 2 题引导学生认识三种射线的本质。第 3 题结合验电器验电的功能，进一步加强对 α 射线电离作用的认识，明白电离要消耗能量的道理，同时消除学生对于 α 射线的陌生感和恐惧感。第 4 题考查学生科学推理能力，加深对原子核内部结构的认识。第 5 题考查原子核的表示方法，要求学生熟练掌握原子核符号中各部分所表示的物理意义，并能推算中子数。第 6 题考查学生对同位素的认识，会区分同位素之间的异同。第 5、6 题虽然都是关于训练原子核表示方法的题目，但两道题目的侧重点不同，又呼应了教科书正文的讲解。

1．实验发现，如果一种元素具有放射性，那么，无论它是以单质形式存在的，还是以化合物形式存在的，都具有放射性，而且放射性的强度也不受温度、外界压强等因素的影响。元素的化学性质决定于原子核外的电子，这说明射线与这些电子无关。也就是说，射线来自原子核的内部。

天然放射现象的发现，使人们认识到原子核内部有复杂的结构，而且原子核可以发生变化，成为另一种原子核。实际上，人们认清原子核的结构就是从天然放射现象开始的。

2．γ 射线更像 X 射线。

提示：α 射线是速度可达到 0.1*c* 的氦原子核，β 射线是速度可接近光速的电子流，都是实物粒子。γ 射线和 X 射线都是光子，是电磁波，γ 射线更像 X 射线。

3．验电器金属箔的张角将变小。因为放射性元素放出的 α 射线具有一定的电离作用，它能使所经过的路径上的空气分子电离，使空气变成导体，从而使带正电的验电器上的正电荷发生转移、中和，所以验电器金属箔的张角将变小。

4．如果原子核中只有质子，那么任何一种原子核的质量与电荷量之比都应该等于质子的质量与电荷量之比。实际并不是这样。绝大多数原子核的质量与电荷量之比都大于质子的相应比值。所以卢瑟福猜想，原子核内可能存在着另一种有质量但不带电的粒子。

5．（1）42He；质子数是 2，中子数是 2。

（2）146C；质子数是 6，中子数是 8。

（3）178O；质子数是 8，中子数是 9。

（4）4019K；质子数是 19，中子数是 21。

（5）22286Rn；质子数是 86，中子数是 136。

6．氢的三种同位素分别是 11H、21H、31H。

铀的三种同位素具有相同的质子数、核电荷数，它们属于同种元素的原子，核外电子数也相同，会具有相同的化学性质；但是同位素的中子数是不同的，因此它们的质量数不同。