

元素丛书



铀 其他放射性元素

URANIUM
AND OTHER RADIOACTIVE ELEMENTS



山东教育出版社

元素丛书

Elements

铀 其他放射性元素

**URANIUM AND OTHER
RADIOACTIVE ELEMENTS**

出版发行：山东教育出版社

（济南市纬一路 321 号）

网 址：<http://www.sjs.com.cn>

印 刷：利丰雅高印刷（深圳）有限公司

作 者：（英）布莱恩·奈普

翻 译：马翠 李培刚

责任编辑：赵猛 刘辉

版 次：2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

规 格：16 开本

印 张：3.5 印张

字 数：60 千字

书 号：ISBN 7-5328-4939-2

定 价：18.00 元 / 册

（如印装质量有问题，请与印刷单位联系）

图书在版编目 (CIP) 数据

铀 其他放射性元素 / (英) 布莱恩·奈普著; 马翠, 李培刚译. —济南: 山东教育出版社, 2005

(元素丛书)

ISBN 7-5328-4939-2

I. 铀... II. ①布... ②马... ③李... III. ①铀 - 基本知识 ②放射性元素 - 基本知识 IV. ①0614.62 ②0615

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第046981号

Copyright©Atlantic Europe Publishing Company Limited 1996 and 2002

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior permission of the Publisher.

Suggested cataloguing location

Knapp, Brian

Uranium and other radioactive elements

ISBN 1 869860 69 1

- *Elements series*

540

Chinese edition published by Shandong Education Press. Copyright ©1996 and 2002 by Atlantic Europe Publishing Company Limited.

Chinese edition is authorized for sale and distribution in China exclusively.

本书依据英国 Atlantic Europe Publishing Company Limited 1996 和 2002 年国际版权 (C) 翻译。

Atlantic Europe Publishing Company Limited 拥有版权。未经许可, 不得以任何形式, 包括以电子的或机械的方式进行照片复制或录音, 或是将信息存贮在任何检索系统上来翻印书中的任何内容。

中文版由 Atlantic Europe Publishing Company Limited 授权山东教育出版社出版。

该版本的中文版只在中国境内销售。

山东省版权局著作合同登记号:

图字: 15-2004-068

目 录

走进铀和放射性元素的世界	4
探秘原子核	6
放射性衰变的模式	8
现代“炼金术”	10
核辐射活度的测量	12
宇宙背景辐射	14
半衰期	16
核时钟	18
同位素示踪	20
镭	22
铀	24
其他常见放射性元素	26
核裂变: 重原子核的分裂	28
核聚变: 轻原子核的聚合	30
人类的希望——核能	32
核反应堆	34
核事故	36
核武器	38
核废料的处理	40
核辐射与人体	42
长话短说——铀	44
元素周期表	46
理解化学方程式	48
科技术语表	50

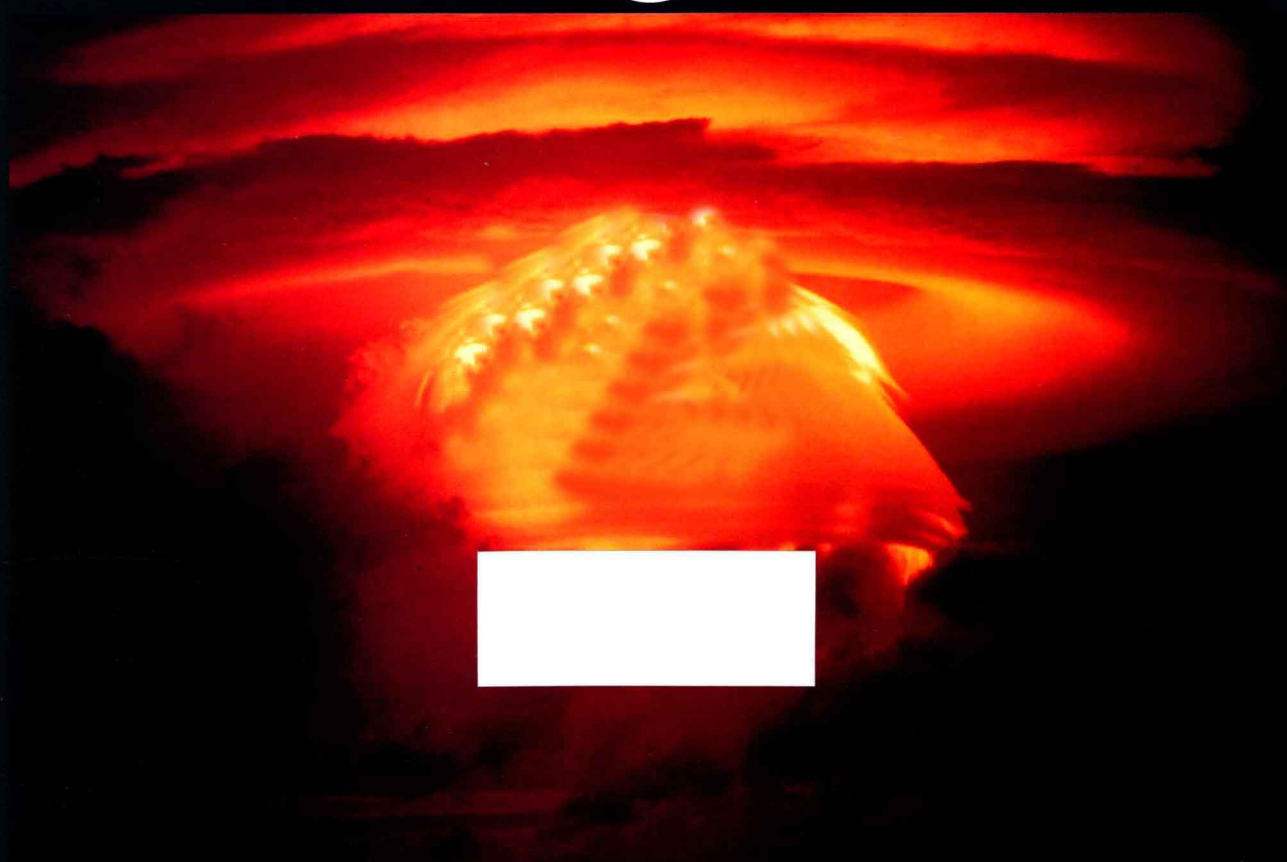
元素丛书



铀 其他放射性元素

URANIUM
AND OTHER RADIOACTIVE ELEMENTS

U



山东教育出版社

阅读指南

你手中的这本书是为帮助你学习与化学元素有关的知识而精心编写的。它将系统而全面地向你介绍每一种化学元素的基本性质。翻开书中任何一页，除了有对科技知识深入浅出的讲解以外，还有大量科技术语的定义及其解释，无论你已经掌握了多少化学知识，这本书都可以使你受益匪浅！在每一本书的最后，有详细注解的元素周期表，有出现在这套丛书中的全部科技术语一览表，还有一个专门栏目告诉你如何用化学方程式表达化学反应，另外还有一个栏目帮你提炼有关放射性元素最精华的知识，可谓精彩不断！

元素知识是整个化学科学的基础，大家一起来分享学习化学的快乐吧！

正文对基础知识和概念进行系统的、深入浅出的讲解

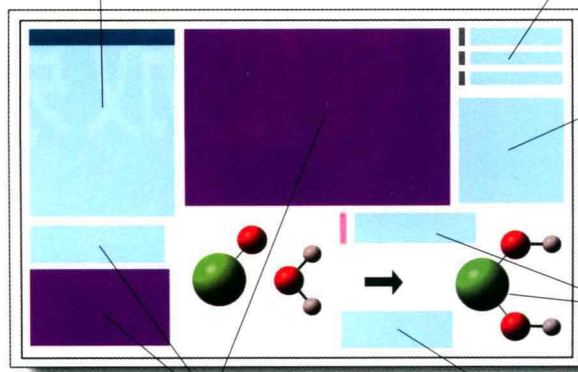
科技术语

结合实例，对正文中的有关内容进行更加深入的阐述

用化学符号书写化学方程式，以球-棍模型示意化学反应（参见本书第48页）

借助精心选择、注解清晰的图表，对知识进行更加直观、生动的讲解

多识一点：对相对深奥的知识和概念进行通俗易懂的解释



封面图：这是一个由众多金属管组成的气冷核反应堆燃料元件。往金属管中加入铀和二氧化铀燃料后，再把这个燃料元件放入核反应堆的反应芯中。这样一个燃料元件产生的能量相当于燃烧 3 000 吨煤。

扉页图：核爆炸试验。

图书在版编目 (CIP) 数据

铀 其他放射性元素 / (英) 布莱恩·奈普著; 马翠, 李培刚译. — 济南: 山东教育出版社, 2005

(元素丛书)

ISBN 7-5328-4939-2

I. 铀... II. ①布... ②马... ③李... III. ①铀 - 基本知识 ②放射性元素 - 基本知识 IV. ①0614.62 ②0615

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第046981号

Copyright©Atlantic Europe Publishing Company Limited 1996 and 2002

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior permission of the Publisher.

Suggested cataloguing location

Knapp, Brian

Uranium and other radioactive elements

ISBN 1 869860 69 1

- *Elements series*

540

Chinese edition published by Shandong Education Press. Copyright ©1996 and 2002 by Atlantic Europe Publishing Company Limited.

Chinese edition is authorized for sale and distribution in China exclusively.

本书依据英国 Atlantic Europe Publishing Company Limited 1996 和 2002 年国际版权 (C) 翻译。

Atlantic Europe Publishing Company Limited 拥有版权。未经许可, 不得以任何形式, 包括以电子的或机械的方式进行照片复制或录音, 或是将信息存贮在任何检索系统上来翻印书中的任何内容。

中文版由 Atlantic Europe Publishing Company Limited 授权山东教育出版社出版。

该版本的中文版只在中国境内销售。

山东省版权局著作合同登记号:

图字: 15-2004-068

目 录

走进铀和放射性元素的世界	4
探秘原子核	6
放射性衰变的模式	8
现代“炼金术”	10
核辐射活度的测量	12
宇宙背景辐射	14
半衰期	16
核时钟	18
同位素示踪	20
镭	22
铀	24
其他常见放射性元素	26
核裂变: 重原子核的分裂	28
核聚变: 轻原子核的聚合	30
人类的希望——核能	32
核反应堆	34
核事故	36
核武器	38
核废料的处理	40
核辐射与人体	42
长话短说——铀	44
元素周期表	46
理解化学方程式	48
科技术语表	50

走进铀和放射性元素的世界

也许你对“元素”这个词并不陌生，但是你知道元素到底是什么吗？简单地说，元素是指含有相同核电荷数的一类原子，是组成物质的基本成分。连绵的山脉、翻腾的云海、变幻的星云，就连你我都是由各种各样的元素组成的。天然存在的元素只有92种，而正是这92种元素构成了宇宙万物。这本书所要展现给大家的是其中的铀和其他放射性元素。

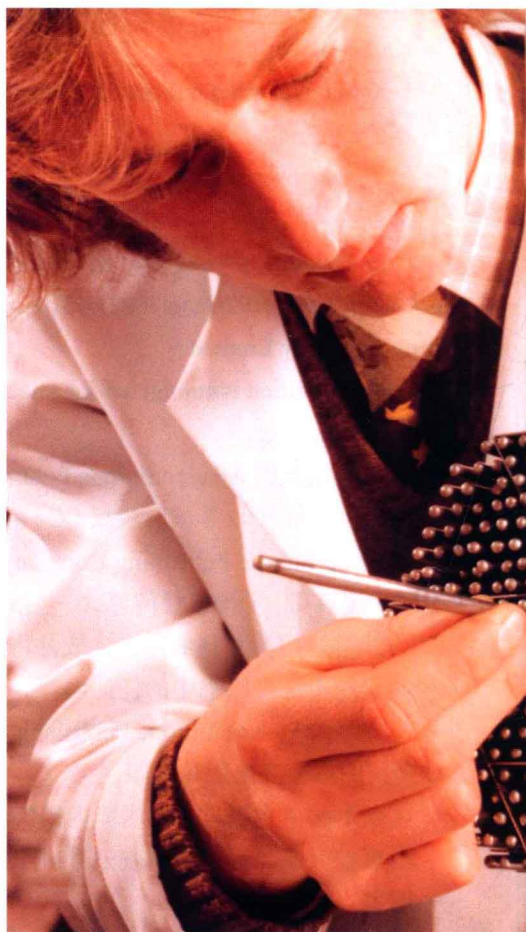
放射性元素

我们知道，在化学反应中，原子的原子核不发生变化。但在某些情况下，原子核却可以发生变化（例如两个氢原子核聚变成一个氦原子核），此时发生的不是化学反应，而是核反应。

所有核反应均能产生巨大的能量，其表现形式为发光、放热并产生大量的辐射。

在天然存在和人工制造的元素中，有一些能自发地发生原子核内的变化，并放射出人类肉眼看不见的射线，这些元素统称为放射性元素或放射性物质。在元素周期表中，自第84号元素钋(Po)起，所有元素都具有放射性。而许多“普通”的元素（如氢、氧、碳等）也都有放射性的同位素（原子核里质子数相同而中子数不同的同种元素的原子互称为同位素）。例如氢的同位素氚、碳的同位素碳-14(^{14}C)等都具有放射性。放射性元素最基本的特征是在不停地衰变，即它们的原子核在不断地发生变化，释放出某种粒子（形成射线），从而变成另一种原子核。

所以，放射性物质的衰变仅仅是其原子核释放



出能量粒子，并最终有可能转变成新的原子核，并非原子之间组合成新的物质，因此不是一个化学变化过程。

自宇宙产生以来就存在着放射性现象，只是到了20世纪初，人们才发现这一现象并开始进行研究。人们首次发现放射性是在1896年。当时法国科学家亨利·贝克勒尔正在进行一项有关未知射线的实验研究，他将一种铀的化合物放在用黑纸包住的未感光的胶片上。这个实验需要太阳光的照射，可是，正巧碰上连阴雨，他只好将所有实验物品放入抽屉中。几天后，他想检查一下胶片是否正常，当他对胶片显影时，奇迹出现了！他原以为能看到的只是非常微弱的影像，但恰恰相反，胶片上出现了极为明显的感光区。原来，使胶片感光的

的是一种肉眼看不见的射线——一个重大的发现由此诞生了！而“放射性”一词是由皮埃尔·居里和他的夫人玛丽·居里在20世纪初提出的，他们在放射性元素这一研究领域做出了开创性的贡献。

放射性元素不像其他元素那么稳定，它们在不断地释放出射线，不停地衰变。放射性元素产生的辐射超过一定的强度就会对包括人体在内的生命体产生伤害，甚至会致命。但是如果使用得当，却可以为人类服务。例如利用放射性元素发出的射线来杀灭癌细胞、利用 ^{14}C 来测量年代等。

◀核燃料在装入反应芯之前必须经过严格的检查。

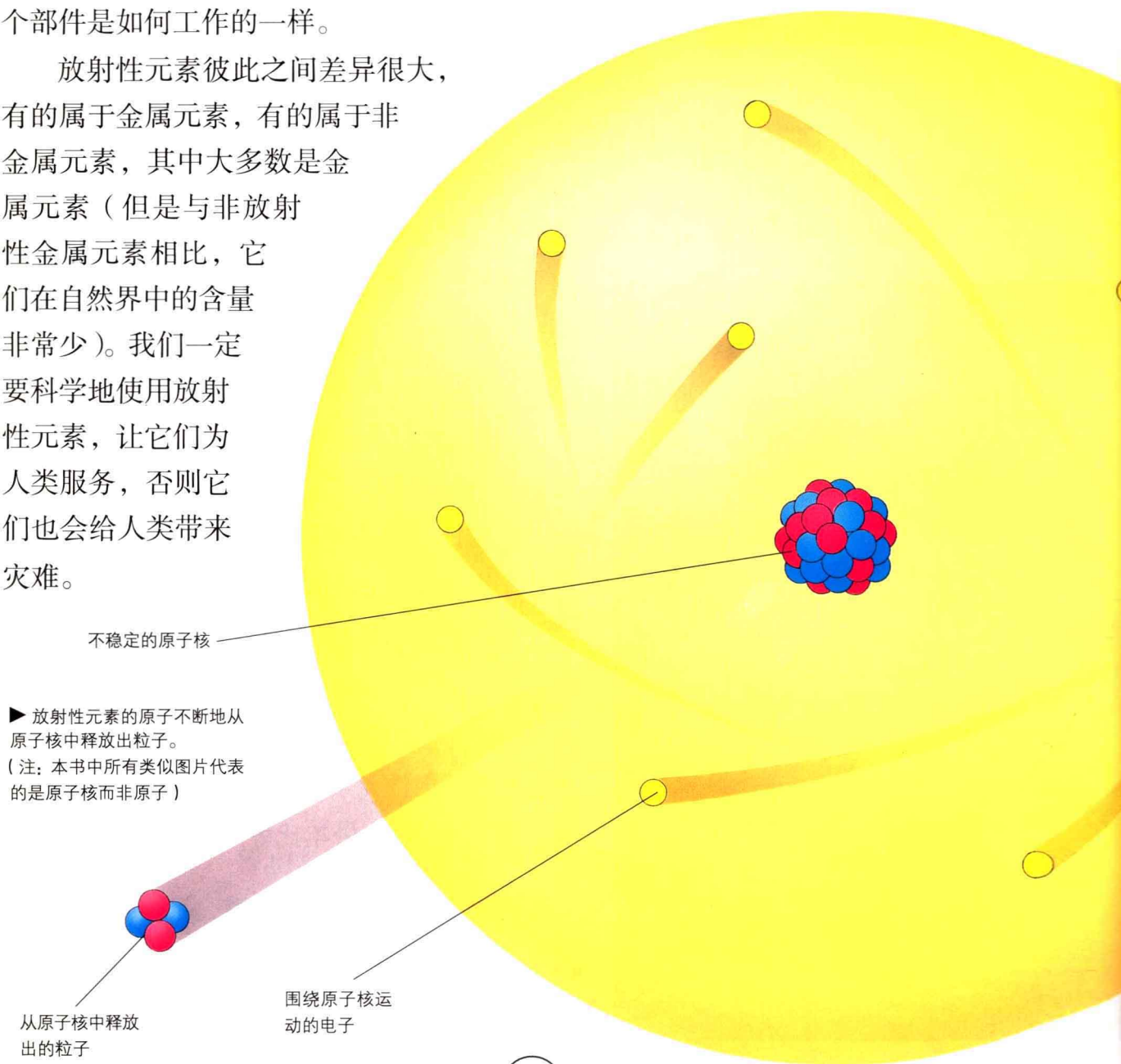


探秘原子核

化学科学研究的是原子外层电子的变化，而不探讨原子核内部发生了什么变化，就像道路设计者考虑的是车辆行驶的路线，而不关心汽车发动机是如何工作的。

科学家（尤其是物理学家）在研究放射性元素时，就必须深入到原子核中，弄清楚构成原子核的微观粒子究竟有哪些，它们都发生哪些变化，就像汽车设计师需要研究发动机的各个部件是如何工作的一样。

放射性元素彼此之间差异很大，有的属于金属元素，有的属于非金属元素，其中大多数是金属元素（但是与非放射性金属元素相比，它们在自然界中的含量非常少）。我们一定要科学地使用放射性元素，让它们为人类服务，否则它们也会给人类带来灾难。



► 放射性元素的原子不断地从原子核中释放出粒子。

（注：本书中所有类似图片代表的是原子核而非原子）

元素具有放射性的奥秘

原子内部有三种粒子——质子、中子和电子，质子和中子存在于原子核中。“原子核”这个词源于拉丁语，意思是“很小的核”。原子核的外面只有电子，电子的活动范围几乎占据了整个原子的体积。电子围绕原子核运动，类似于地球绕太阳公转。电子携带的负电荷数等于质子携带的正电荷数。

我们在元素周期表中看到的原子序数是按照原子核中质子数的大小排列的。原子的质量集中在原子核上。一般来说，核内的质子数等于中子数，所以相对原子质量在数值上约等于原子序数的两倍。

有些原子会有一个或几个“孪生兄弟”，它们属于同一种元素，它们的化学性质相同，惟一的差别是核内的中子数不同，这些原子彼此之间称为“同位素”。“同位素”一词源于希腊语，意为“相同的位置”，同位素正是位于元素周期表的同一位置。

同种电荷相互排斥，所以原子核内质子的趋势是彼此分开。如果原子核内的质子数量不多的话，来自其他粒子的作用力将会使质子聚集在一起。但是如果质子和中子的数量比超出一定范围，质子之间就不会稳固地聚集，从而形成不稳定的原子核，并向外释放出粒子，这就是有些元素的同位素具有放射性的原因。

例如，生命体的基本组成元素碳（元素符号为C）具有两种同位素 ^{12}C 和 ^{14}C ， ^{12}C 是最常见的形式，不具有放射性，而 ^{14}C 比 ^{12}C 多两个中子，具有放射性。

放射性与非放射性同位素之间不能相互转化，但是它们的化学性质相同。

质子：原子核中带正电荷的粒子，所带正电荷能与周围电子所带负电荷达成平衡。

中子：原子核中不带电、呈电中性的微粒。

电子：极小的带负电的粒子，是原子的一部分。固体材料（如金属丝）中电子的流动可以形成电流。

同位素：核内质子数相同而原子质量不同的一类原子，如碳-12和碳-14。

多识一点：元素的起源

为什么大自然中会有众多不同的元素，它们又来自哪里？核科学家为我们解开了这个谜团：宇宙早期（即大爆炸时期）惟一存在的元素是氢，所有其他元素在某种程度上都是氢的“孩子”。因为氢原子可以聚合成氦，然后是锂……后来陆续出现的碳原子和氧原子构成了生命的基础。原子核反应产生新元素，是宇宙中最重要的过程。自宇宙大爆炸后，这些反应仍在进行，其中大部分发生在恒星上。

放射性衰变的模式

有很多方法可以让原子核发生变化，每一种变化都会产生不同的放射性辐射，本书将对这些辐射逐一进行解释。

α 粒子

原子核发生 α 衰变时，释放出 α 粒子（即两个质子和两个中子稳定的结合体）。 α 衰变的结果是母核的电荷数减少，质量数减少，成为有着较低原子序数的新核。

α 粒子其实就是带正电的氦原子核。 α 粒子从其他原子处捕获两个电子就会成为氦原子，所有的 α 粒子都非常容易转变为氦原子。

铀和超铀元素通常发生 α 衰变，在这一过程中，它们最终转化成稳定的、不具有放射性的铅。

β 粒子

原子核也可以在衰变时释放出 1 个电子（成为 β 粒子），变成原子序数比该元素更高的下一个元素，这一过程叫做 β 衰变。轻元素通常发生 β 衰变，例如，氟可以衰变成氖，碳可以衰变成氮，氮可以衰变成氧。

γ 射线

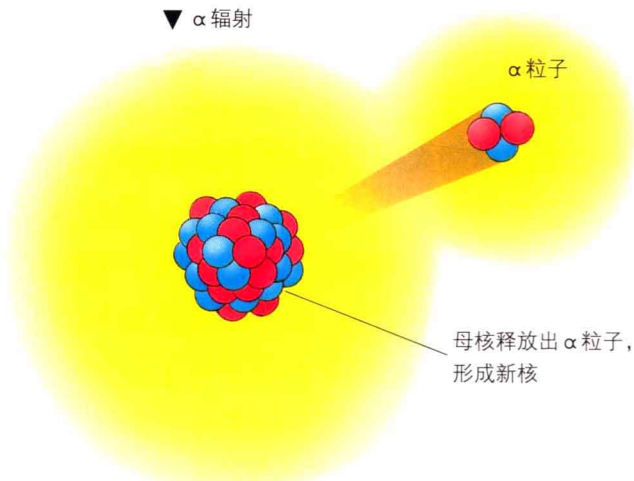
原子核从不稳定的较高能量状态跃迁到较低能量状态，这一过程以 γ 射线的形式释放出能量。 γ 射线的能量足以杀灭细胞，伤害生命体，必须用铅板等材料屏蔽。

中子流

原子核衰变时，也可以释放出中子。用 α 粒子轰击铀时，会产生一种辐射，这种辐射就是人们后来知道的中子流（也叫中子射线）。

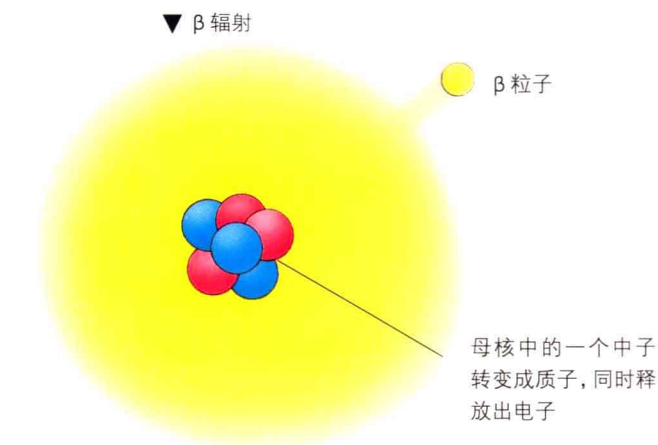


▼ α 辐射



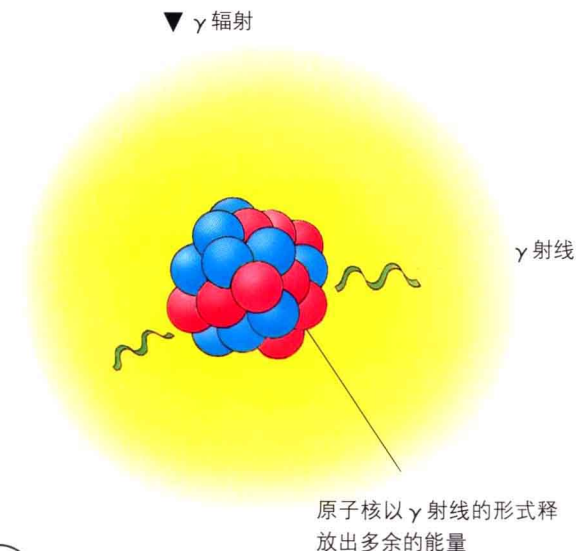
母核释放出 α 粒子，形成新核

▼ β 辐射

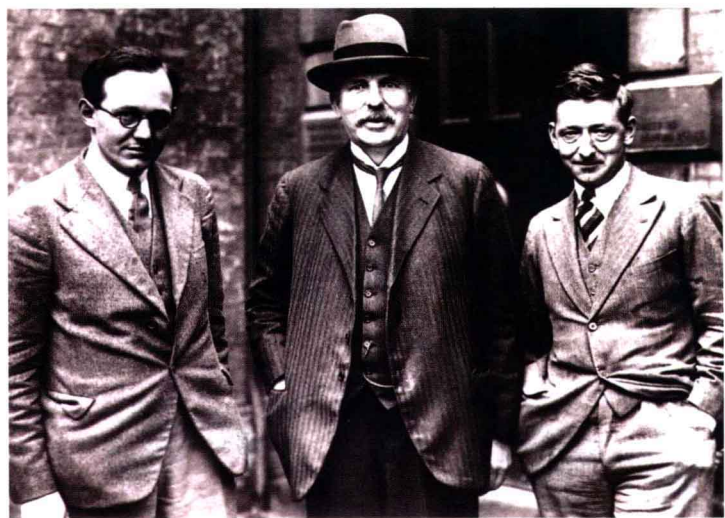


母核中的一个中子转变成质子，同时释放出电子

▼ γ 辐射



原子核以 γ 射线的形式放出多余的能量



▲ 卢瑟福（中）、瓦尔顿（左）和科克罗夫特（右）在一起。1917年，卢瑟福成为第一位人为地使一种元素变成另一种元素（将氮变成氧）的科学家。

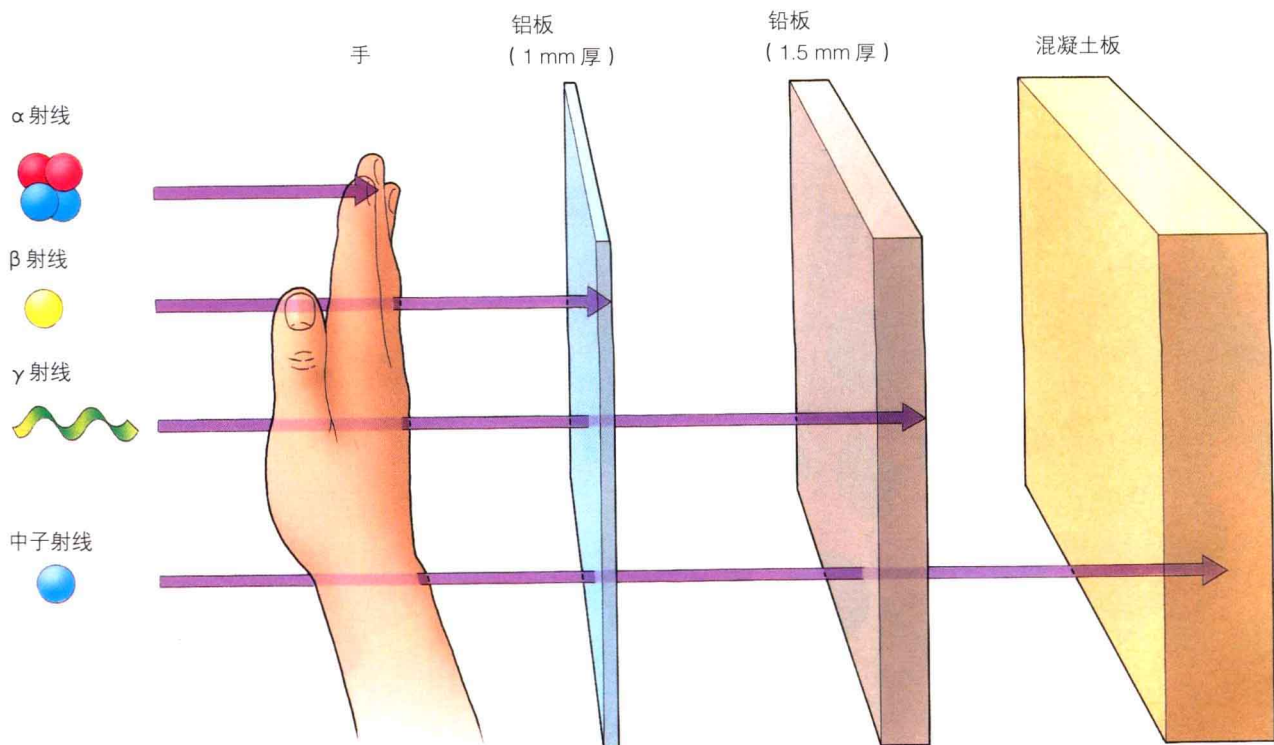
α 粒子：放射性原子衰变时从其原子核中发射出来的由两个质子和两个中子构成的一种复合粒子。一个 α 粒子也是一个氦原子的原子核。如果再捕获到（得到）两个电子，就变成了一个氦原子。

β 粒子：也叫 β 射线，是原子核裂变释放出的高速运动的电子。

放射性衰变：放射性元素通过放射过程而使其质量减少的过程，例如铀衰变为铅。

辐射：物质通过发射能量波或粒子与外界发生能量交换的过程。辐射是发生在空间中的一种能量传输与转换，不需要其他介质（与传导、对流相比较）。

▼ 不同的射线具有不同的穿透力。 α 射线穿透力最弱（多数情况下用衣物或一张纸就可以遮挡住）； β 射线可以穿过几毫米厚的铝板，之后强度明显减弱； γ 射线穿透力很强，能穿过大多数金属，要挡住它，需用又厚又重的铅板；中子射线的穿透力最强。

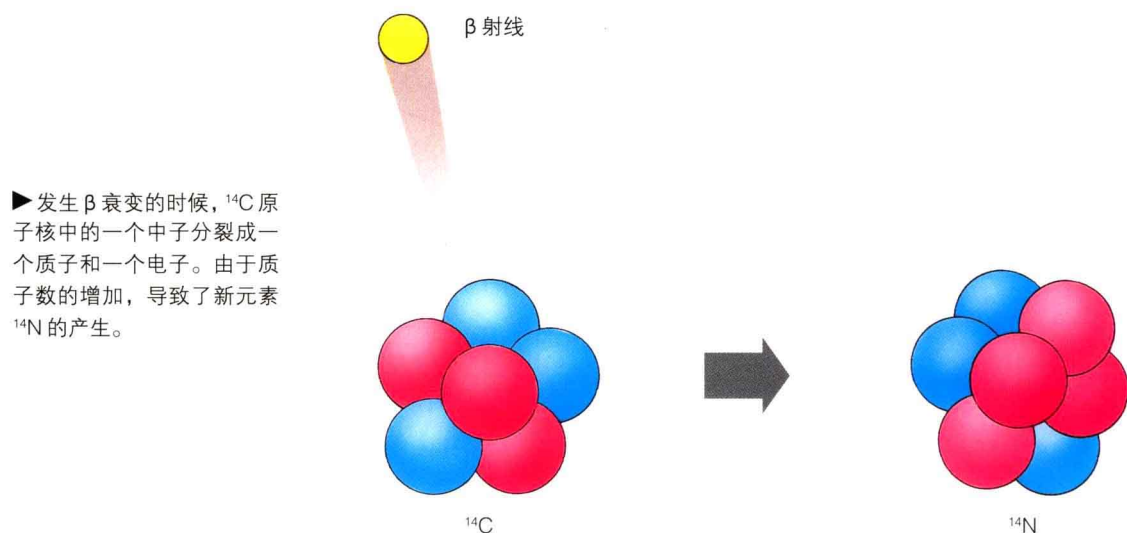


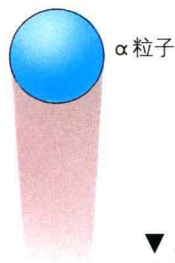
现代“炼金术”

一种原子变成另一种原子叫做核反应。原子是质子、中子和电子的结合体，原子失去质子或中子，都会形成新的原子。例如铀经过一系列放射性衰变，最终成为铅，通常这一过程进行得非常缓慢，需要几十亿年。

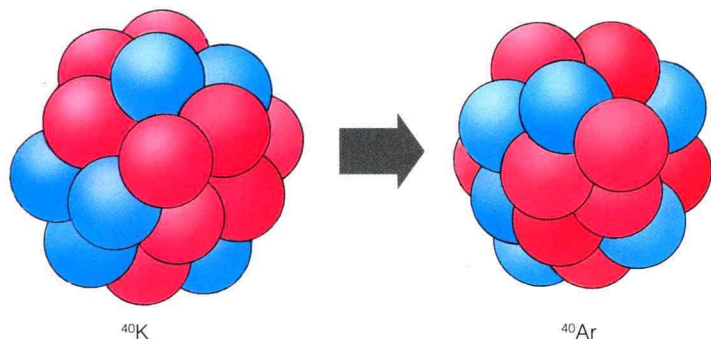
在自然界中，自发的核反应每时每刻都在发生着。例如，来自太空的粒子（宇宙射线）持续撞击地球大气层和地表（包括人体），宇宙射线中的中子会与大气中的 ^{14}N 发生核反应，生成 ^{14}C 。 ^{14}C 与 ^{12}C 化学性质相同，因此可被活的生物体以相同的方式吸收进体内，因为 ^{14}C 具有固定的半衰期，可用来对文物、化石等进行年代测定（见第18页）。

凡原子核不稳定，在自然界中能自发变成其他元素原子核的元素，都叫做放射性元素。这类元素在自然界中有数十种，分成三个系列：铀系、钍系和镭系。另外还有许多通过核反应制造出来的人工放射性元素（如钷、钷、钷等）。这些放射性元素都可以自发地或人为地转变为另一种元素。

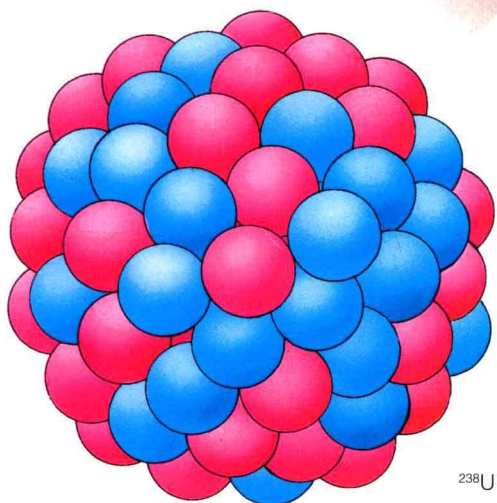
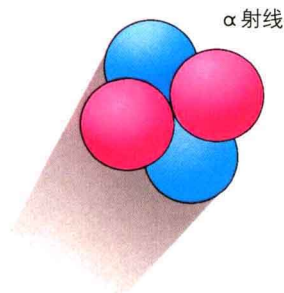




▼ 具有放射性的钾原子核
衰变成氩原子核



▼ 铀-238失去一个α
粒子，变成一种新的元
素——钍，同时释放出
能量。



炼金术：在中世纪欧洲盛行的一种用化学方法来处理物质的传统“技术”，其主要目的是从铅中获得金。自17世纪随着现代化学的兴起，炼金术逐渐消亡。

宇宙射线：穿越太空的高能粒子流。地表的所有原子都有可能遭受其轰击。当它们与大气层相互作用时，会产生大量的二级粒子。

核反应：发生在核裂变、聚变或放射性衰变等条件下的改变原子核能量、组成或结构的反应。

多识一点：炼金术士的梦想

在中世纪，炼金术士总想将铅（一种普通金属）变成金这种贵重金属，他们把这一过程称为“transmutation”（该词源于拉丁语，原意为“转变为希望的状态”），最后都以失败告终。事实上，任何化学或动力学方法都不可能改变原子核。

造化弄人，炼金术士们不知道大自然正悄悄地实现着这种变化——宇宙射线正在不断地将一种元素转变成另一种元素，只是并非把铅变成金罢了。

核辐射活度的测量

法国科学家贝克勒尔是世界上第一个发现放射现象的人。贝克勒尔发现铀发出的射线能使胶片强烈曝光。进一步的研究表明，这种射线不仅能引发荧光，使胶片感光，还能使空气具有导电性。在此基础上，人们发明了核辐射活度的测量方法——只要观察一下胶片的曝光程度，便可测出放射性的强弱。

直至今今天，这种测量方法仍被用来检测医护人员、实验人员所受的辐射量。这类人员佩戴的“肩章”实际上就是一个很小的辐射探测器。

盖革计数器

盖革计数器是一种最早使用的核辐射探测器。它是由盖革（H.Geiger）和缪勒（Müller）发明的，因此也叫G·M计数器。

盖革计数器由圆筒阴极和金属丝阳极组成，整体封装在玻璃管中。玻璃管的一端为很薄的云母片，可以允许入射的带电粒子通过。玻璃管内充有适量的气体介质。在阳极金属丝和阴极圆筒之间加上足够的电压，入射粒子引发介质气体电离，产生的次级离子和电子在高压电场下分别向阴极和阳极漂移，形成电流。

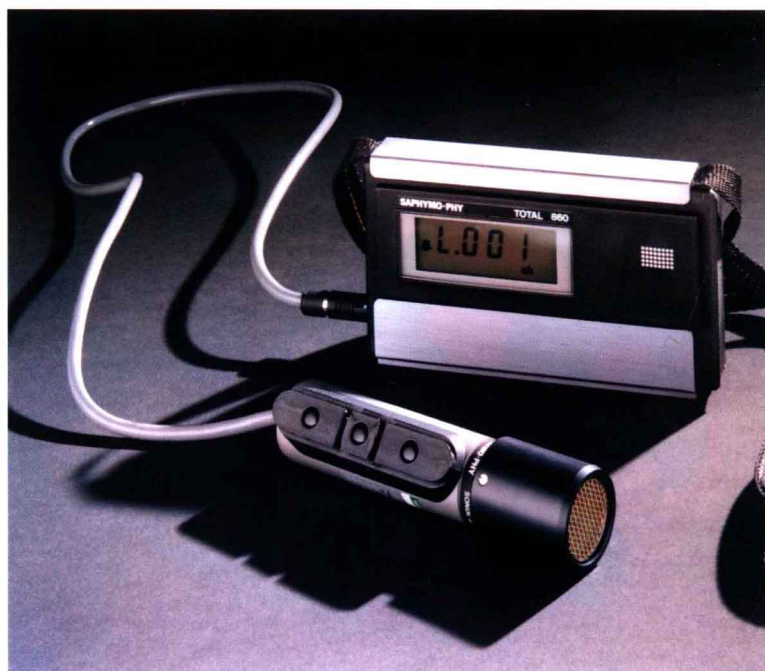
电流的强度与入射粒子的能量成正比，从而可以测出射线的强弱。

不同的射线具有不同的穿透力，所以圆筒内安装有不同质地的隔板，从而可以同时探测出射线的类型。



▲ “肩章”中的胶片可以检测出佩戴者所受辐射的剂量。像盖革计数器一样，“肩章”也能同时测出射线的类型。

▼ 现代盖革计数器





贝克勒尔：放射性活度单位。1 贝克勒尔定义为放射性核素每秒衰变 1 次。

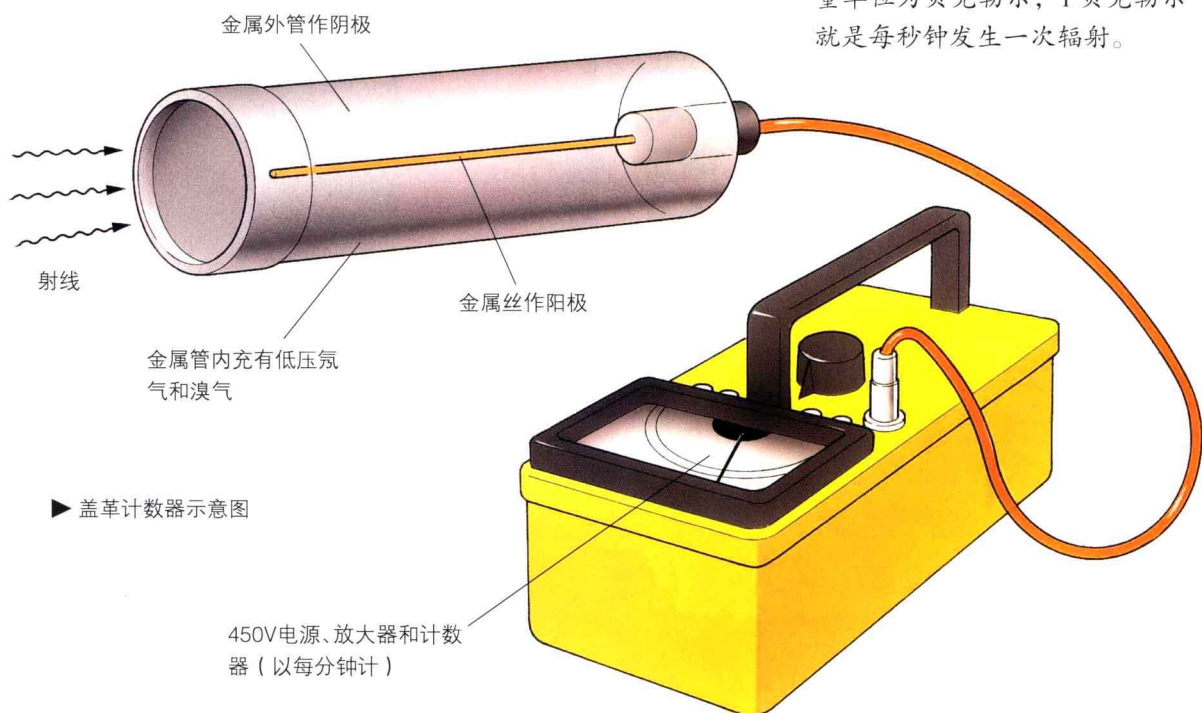
居里：一种放射性活度单位。即 1 克镭每秒钟产生的辐射量（1 居里等于 370 亿贝克勒尔）。

离子：由于失去或得到一个或多个电子而带正电或负电的原子或原子团。离子与呈电中性的原子和分子截然不同，它们能够在电场中移动，也能和溶剂（如水）分子结合在一起。带正电的离子叫阳离子，带负电的离子叫阴离子。

◀ 使用盖革计数器检测环境核污染情况。

多识一点…

人们利用盖革计数器计量每克镭每秒钟的辐射量，并将这一数值（每秒 370 亿次辐射）定义为 1 居里。放射性活度的另一计量单位为贝克勒尔，1 贝克勒尔就是每秒钟发生一次辐射。



宇宙背景辐射

辐射是宇宙中普遍存在的现象之一，所以地球上也应该存在辐射。正如人们所料，我们正受到来自不同辐射源发出的射线的照射。然而不必大惊小怪，这没有什么。这些射线构成了宇宙背景辐射。尽管宇宙背景辐射的绝大部分是天然存在的，但由于人类活动的增加，现在的背景辐射较之以前增加了三分之一。那些居住在镭含量偏高地区或用表面有氡气渗出的石头修建的房屋里的人们，比其他人更容易受到辐射的伤害。

宇宙射线

宇宙射线包括从太空（如太阳和其他星体）到达地球的各种形式的射线。

澳大利亚物理学家海斯是证明太空正在源源不断地向地球释放辐射线的第一人，为此，他于1936年获得了诺贝尔奖。海斯利用气球做的测量表明，宇宙射线的辐射强度随距离地面的高度递增。在大气平流层，辐射强度是地表的数倍，这也就意味着经常驾乘飞机的人要比其他人受的辐射多一些。多数宇宙射线粒子是质子，也有 α 粒子、 β 粒子和中子。

► 像花岗岩这样的火成岩中往往富含含有放射性的氡气。

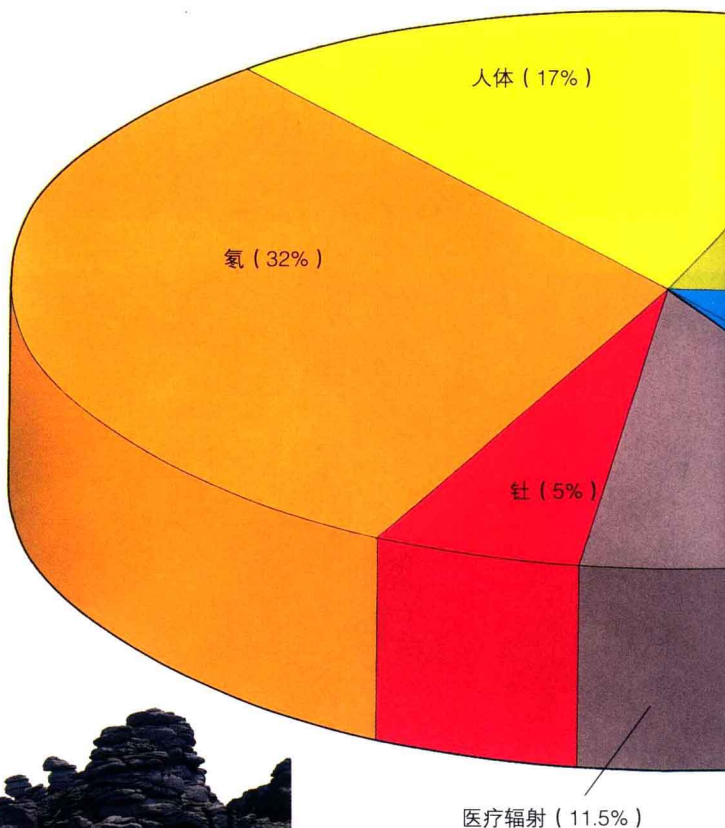


放射性二氧化碳

宇宙射线与地球大气中的各种组分作用，结果之一就是要把 ^{14}N 变成 ^{14}C （ ^{12}C 的放射性同位素）。 ^{14}C 和O在大气中结合，就形成了具有放射性的二氧化碳。

▼ 宇宙辐射的主要来源

地面天然辐射
(大约37%)



来自人造辐射源的辐射主要是X—射线和核反应堆产生的放射性尘埃（约13%）。