

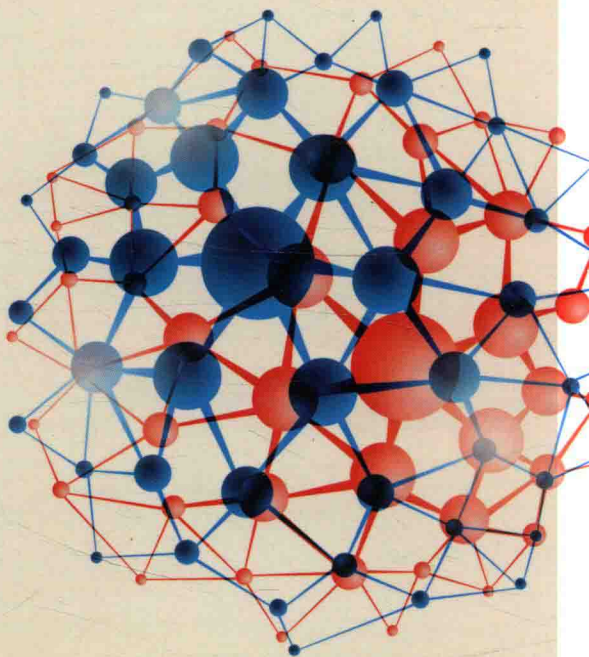
图灵新知

TURING

你不可不知的 50个 化学知识

[英] 海利·伯奇◎著 卜建华◎译

50 Chemistry Ideas
You Really Need to Know



中国工信出版集团



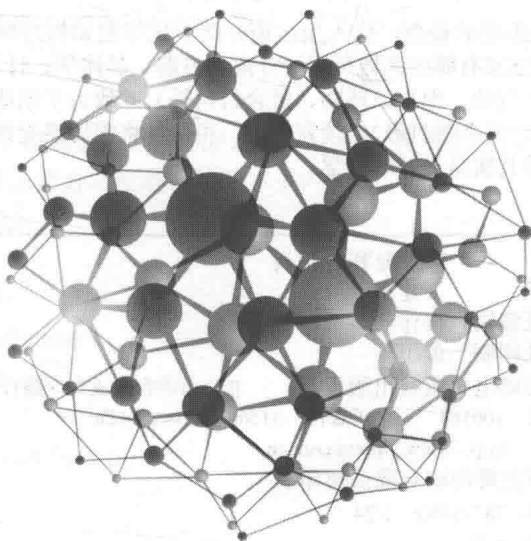
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

图灵新知

你不可不知的 50个化学知识

[英] 海利·伯奇◎著 卜建华◎译



50 Chemistry Ideas You Really Need to Know

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

你不可不知的50个化学知识 / (英) 海利·伯奇著 ;
卜建华译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2017.1
(图灵新知)
ISBN 978-7-115-43685-6

I. ①你… II. ①海… ②卜… III. ①化学—普及读
物 IV. ①06-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第243305号

内 容 提 要

本书精选化学中 50 个重要的概念, 深入浅出地介绍了化学是如何理解世界的(原子、能量、化学平衡、氧化还原等)、化学家有哪些武器可用(分离、电解、晶体学、计算化学等), 以及化学如何深入我们生活的每个角落(汽油、塑料、药物、复合材料等)并致力于创造一个更美好的世界(绿色化学、3D 打印、人造肌肉、未来燃料等)。读完本书, 相信你将深切感受到化学真正的魅力, 并且或许也会同意作者所说, 化学其实是最好的科学。

◆ 著 [英] 海利·伯奇
译 卜建华
责任编辑 楼伟珊
责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/24
印张: 8.75

字数: 220千字

2017年1月第1版

印数: 1—5 000册

2017年1月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2015-8504号

定价: 35.00元

读者服务热线: (010)51095186转600 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号

版 权 声 明

50 CHEMISTRY IDEAS YOU REALLY NEED TO KNOW BY HAYLEY BIRCH

Copyright © Hayley Birch 2015.

This edition arranged with Quercus Editions Limited

through Big Apple Agency Inc., Labuan, Malaysia.

Simplified Chinese edition copyright © 2017 Posts & Telecom Press.

All rights reserved.

本书中文简体字版由 Quercus 通过 Big Apple Agency 授权人民邮电出版社独家出版。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有，侵权必究。

PICTURE CREDITS

107: Emw2012 via Wikimedia;

189: University of Hasselt;

192: NASA.

All other pictures by Tim Brown.

目 录

引言.....	1	28 碳.....	110
01 原子.....	2	29 水.....	114
02 元素.....	6	30 生命起源.....	118
03 同位素.....	10	31 天体化学.....	122
04 化合物.....	14	32 蛋白质.....	126
05 聚集在一起.....	18	33 酶作用.....	130
06 相变.....	22	34 糖.....	134
07 能量.....	26	35 脱氧核糖核酸.....	138
08 化学反应.....	30	36 生物合成.....	142
09 化学平衡.....	34	37 光合作用.....	146
10 热力学.....	38	38 化学信使.....	150
11 酸.....	42	39 汽油.....	154
12 催化剂.....	46	40 塑料.....	158
13 氧化还原.....	50	41 氯氟烃.....	162
14 发酵.....	54	42 复合材料.....	166
15 裂解.....	58	43 太阳能电池.....	170
16 化学合成.....	62	44 药物.....	174
17 哈伯制氨法.....	66	45 纳米技术.....	178
18 手性.....	70	46 石墨烯.....	182
19 绿色化学.....	74	47 3D 打印.....	186
20 分离.....	78	48 人造肌肉.....	190
21 光谱.....	82	49 合成生物学.....	194
22 晶体学.....	86	50 未来燃料.....	198
23 电解.....	90	化学元素周期表.....	202
24 微细加工.....	94	致谢.....	204
25 自组装.....	98	译后记.....	205
26 芯片实验室.....	102		
27 计算化学.....	106		

引言

化学常常被人视为“次等科学”。这不，前几天就有一位化学家向我抱怨，她已经厌倦了自己的专业被人说成是“一群人用难闻的东西把实验室鼓捣得一团糟”。当然，化学并不总是如此不受待见，但通常情况下，它还是被认为不如生物学有用，也不如物理学有趣。

因此，作为一本化学书的作者，我面临的首要挑战便是纠正大众对化学的偏见，展示化学真正的魅力。很多人并不知道，化学其实是最好的科学。

化学可以说是万物的基础。它的结构单元（原子、分子、化合物以及混合物）构成了地球上的所有物质；化学反应支撑着生命，并创造了生命所需的所有物质；而化学品则渗透到现代生活的每一个角落——从啤酒到莱卡热裤。

化学之所以存在形象问题，我认为是因为我们没有把精力放在化学中那些有趣或有用的事情上，而是纠结于化学原理和规则、分子结构式、实验流程之类的东西。也许化学家会说这些规则和流程的确非常重要，但其中大多数人也会同意它们确实无趣。

因此，在本书中我们不会过多地涉及规则，如果读者想了解它们，可以参考其他书籍或者资料。我会将本书的关注点尽量放在化学中我认为有趣和有用的内容上。这也算是向我的总是打着漂亮领带的化学老师斯迈尔斯先生致敬，他曾向我演示了如何制造肥皂和尼龙。

01

原子

原子是化学以及我们宇宙的基本结构单元，它们构成了元素、行星、恒星以及你和我。弄清原子由何构成以及它们之间如何相互作用，就几乎能解释实验室以及大自然中发生的所有化学反应。

比尔·布莱森曾写过一句非常著名的话：我们每个人体内都可能含有十亿个曾经属于威廉·莎士比亚的原子。“哇，”你可能会想，“十亿个莎士比亚的原子，那可真不少！”十亿是个大数目，但有时也不是。一位三十三岁的人在这个世上度过的时光大约是十亿秒，十亿粒精盐大概可以装满一个普通浴缸，但十亿个原子还不到人体原子总数的一百亿分之一。换句话说，人体含有超过一千亿亿个原子，而十亿个已故莎士比亚的原子还构不成一个脑细胞。这也从一个侧面展现了原子是多么小。

多汁的桃子 原子如此之小，很久以来人类一直无法直接观测它们，直到超高分辨率显微镜技术出现才改变了这一状况。2012年，澳大利亚科学家终于设法拍摄到了单个原子投下的影子。不过，化学家并不总是需要亲眼看到它们才能认识到，在某一根本层面上，原子可以解

大事年表

约公元前4世纪

古希腊哲学家德谟克利特提到不可见的类似原子的粒子

1803年

约翰·道尔顿提出原子理论

1904年

J.J. 汤姆森提出原子的“梅子布丁”模型

1911年

欧内斯特·卢瑟福描述了原子核

原子理论与化学反应

1803年，英国化学家约翰·道尔顿在一次演讲中提出了原子理论，认为物质是由不可分割的微小粒子——原子构成的。要而言之，不同的元素由不同的原子构成，它们之间可以相互结合生成化合物，而化学反应则是这些原子的重新组合。

释实验室以及生命中大多数化学过程是如何发生的。更确切地说，这些化学过程与原子外层的一种更为微小的亚原子粒子——电子的活动有关。

如果把一个原子比作一只桃子，那么位于桃子中间的桃核便是原子核，它由质子和中子构成，而多汁的果肉便由电子构成。事实上，如果真有一只像原子一样的桃子，那么它大部分都是多汁的果肉，桃核则非常小，以至于你吞下它时都不会察觉到。这形象地说明了原子的大部分空间都被电子所占据。然而，原子核虽小，却维系着一个原子的存在。它含有带正电荷的质子，能够对带负电的电子产生足够的静电引力，防止电子四散逃逸。

为什么氧原子会是氧原子？ 并非所有原子都是相同的。你可能已经意识到一个原子与一只桃子并没有多少相似之处。但我们不妨继续使用这个比喻，并扩展水果的品种，那么我们就可以得到很多不同品种或“风味”的原子。如果将一个氧原子比作一只桃子，那么一个碳原子可能就是一个李子。两者都是由电子包裹着原子核而构成的小球，但性质却有天壤之别。氧原子喜欢成双成对形成氧气分子(O_2)漂浮在空中，而碳原子则喜欢相互连接在一起形成坚硬的金刚石或铅笔中的石墨(C)。而让它们成为不同元素(参见第6页)的根源是它们的质子数。

1989年

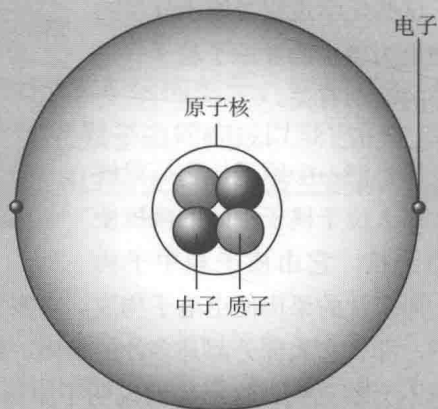
IBM的科学家用原子拼写出“IBM”

2012年

希格斯玻色子的发现完善了原子的标准模型

“解剖”一个原子

在 J.J. 汤姆森提出的早期的“梅子布丁”原子模型中，原子是一个带有正电荷的“布丁”，其中均匀分布着一些带有负电荷的“梅子”（电子）。后来原子的模型才成为现在的样子：质子与另外一种名为中子的亚原子粒子一起构成了一个微小、致密的原子核，它的周围笼罩着电子云。我们还知道质子和中子由更小的粒子——夸克构成。化学家通常不会与这些更小的粒子打交道，它们是物理学的研究对象，可以通过加速器轰击原子发现它们的身影。但需要注意且非常重要的一点是，原子以及宇宙中物质相互结合的模式是在不断发展的。比如，2012 年希格斯玻色子的发现，确认了另外一种粒子的存在，这种粒子早已被物理学家纳入模型并用于预测其他一些粒子。然而，还需要做很多工作去确认它是否就是物理学家一直在寻找的那一类型的希格斯玻色子。



带有正电荷的质子和不带电荷的中子构成了密度惊人的原子核，带有负电荷的电子环绕其运动

氧原子拥有八个质子，比碳原子多两个。有些重元素（像镓、锆等）的原子核中有上百个质子。这么多正电荷挤在一个小小的原子核中，它们相互排斥，平衡很容易被打破，因而这些重元素都是不稳定的。

通常，一个原子，无论其是何种“风味”，都会拥有与原子核中质子数目相同的电子。如果一个原子“丢失”了一个电子，或是获得了一个额外的电子，原子核所拥有的正电荷数目便与外层电子的负电荷数目不再相同，这时原子便成为了化学家所说的“离子”——带有电荷的原子或者分子。离子非常重要，它们所带的电荷会帮助物质（比如食盐中氯化钠以及石灰石中碳酸钙）紧密地聚集在一起。

构筑生命的“砖块” 除了构成厨房里的调味品，原子还构成了所有会爬、会呼吸或会生根的生物，构筑了它们体内那些结构令人惊叹的复杂分子，比如 DNA 和蛋白质（肌肉、骨骼、毛发的主要成分）。这些都是原子与原子通过化学键（参见第 18 页）生成的。然而，地球上生命的有趣之处在于，尽管它们的多样性令人眼花缭乱，但无一例外都含有一种原子：碳。

“生命之美不在于组成它的原子，而在于这些原子的组成方式。”

—— 卡尔·萨根

从幽暗深邃的海底热泉烟筒附近居民身上的细菌到翱翔在天空中的鸟儿，这个星球上没有哪种生命体内不包含碳元素。但由于我们还没在其他地方发现生命，我们无从得知这是否只是生命进化的偶然选择，也无从得知生命是不是可以使用其他原子繁衍生息。科幻小说的粉丝倒是应该很熟悉其他类型的生物，比如《星际迷航》以及《星球大战》中出现的硅基外星生物。

原子排排坐 纳米技术（参见第 178 页）领域的进步，让更高效的太阳能电池板、定向消灭癌细胞的药物等不再是科学幻想，也让原子世界成为了世界关注的焦点。纳米技术所要面对的是十亿分之一米的世界，虽然这一尺度依旧大于单个原子的尺寸，但已经可以触碰到数个原子以及单个分子了。2013 年，IBM 的科学家“拍摄”出了世界上最小的定格动画，内容是一个小男孩在玩皮球，其中的小男孩和皮球都由铜原子构成，每个原子都清晰可见。终于，科学开始能够在化学家看待这个世界的尺度上有所作为了。

砖块

02 元素

化学家花了很大气力去发现新元素，它们是最基本的化学物质。元素周期表提供了排列、整理这些元素的方法，但它并不仅仅只是一个“花名册”，它的布局暗示了各个元素的性质以及遇到其他元素之后它们的行为。

17 世纪的炼金术士亨尼希·布兰德非常痴迷于炼金。他在婚后辞去了军官的工作，用妻子的钱作为经费，试图找到炼金术士们已经搜寻了数个世纪的“哲人石”。传说这种神秘的矿石或者物质能够将普通金属（比如铁和铅）“点化”成金。当他的第一任妻子去世后，他又续娶了一位，然后一如既往地继续他的搜寻工作。布兰德看来非常相信哲人石能够用人的体液来合成，因此收集了至少 1500 加仑（约合 5700 升）人尿来试图合成它。1669 年，布兰德通过蒸馏、分离人尿，最终做出了一项惊人的发现。当然，并不是得到了哲人石，而是一种新元素。布兰德在无意之中成为了第一位利用化学方法发现新元素的人。

布兰德得到的是一种含磷的化合物。由于它可以在黑暗中发光，布兰德称之为“冷火”。不过直到 18 世纪 70 年代，磷才被确认为一种新元素。在那个时期，元素的发现接踵而至，氧、氮、氯以及锰元素都是

大事年表

1669 年

利用化学方法发现了第一种元素——磷

1869 年

门捷列夫发表第一张元素周期表

1913 年

亨利·莫塞莱通过原子序数定义元素

在那十年间被发现的。

1869年，在布兰德发现磷两个世纪之后，俄国化学家德米特里·门捷列夫编制出了他的元素周期表，磷也在其中的硅元素与硫元素之间找到了自己的正确位置。

元素是什么？ 在很长的一段历史时期，“元素”指的是火、气、水、土。后来，由于亚里士多德认为星星不可能由上述四种地球上的元素制成，因而又加上了神秘的第五元素：以太。在英语中，元素（element）这个词来源于拉丁语 *elementum*，意为“第一原理”或“最基本的形式”。这对元素来说是一个不错的描述，但没有解释清楚元素与原子的区别。

区别其实很简单：元素是任意量的物质，而原子是微观的基本结构单元。一块磷便是磷元素的原子的聚集体——顺便一提，它是一种有毒化学品以及神经毒气的成分。有趣的是，并不是所有的磷块都是一样的，因为它的原子可以通过不同的方式排列，从而改变它的内部结构以及外观。根据磷原子的组合方式，它可以呈现出白、黑、红或紫等不同颜色。这些不同颜色的“磷”的性质也大不相同，比如它们的熔

解密元素周期表

在元素周期表（参见第202和203页）中，元素以元素符号及元素名称表示。其中一些元素的元素符号来自其英文名称的缩写，比如硅 Si 来自 *silicon*；而另外一些，比如钨 W，显然与它的英文名字 *tungsten* 无关，它们通常来自元素的古名（比如其拉丁文名或者希腊文名）。元素符号左上角的数是元素的相对原子质量，约等于其原子核中核子（质子和中子）的数目；右上角的数则是它的质子数，即原子序数。

1937年

合成出第一个人造元素——钨

2000年

俄罗斯科学家合成出超重元素钷

2010年

发现 117 号元素

点就相差巨大，白磷在炎热的阳光下就会融化，而黑磷需要在炙热的炉子中加热到 600°C 才行。但两者都由同一种含有 15 个质子和 15 电子的原子构成。

元素周期表的结构 对于外行人来说，元素周期表（参见第 202 和 203 页）看上去就像是不太正统的俄罗斯方块，其中有一些方块还没有落到底部（依元素周期表的版本而定），像是需要好好地整理一下。事实上，它已经很好地整理过了，任何一位化学家都能轻易地从这貌似杂乱的表格中找到所需要的东西。门捷列夫按照元素的原子结构和性质巧妙地设计了元素周期表，将暗含的秩序隐藏在了外表的杂乱之下。

沿着周期表的行从左到右，元素按照它们的原子序数，也就是元素原子核中的质子数排列。而门捷列夫的这项发明的巧妙之处在于，当元素的性质开始重复时，元素周期表便开始新的一行。因此，周期表的列蕴含着更为巧妙的设计。以周期表最右侧的一列为例，这一列包含氦到

“化学反应就像是一个舞台……上面的演员就是化学元素。”

—— 克莱门斯·亚历山大·温克勒，锗元素的发现者

氦六种元素，它们在室温下都是无色无味的气体，几乎不参与任何化学反应，因而被称为惰性气体（或者稀有气体）。比如，氦极不活泼，人们从未得到过它与其他元素生成的化合物。之所以如此，原因在于它的电子。任何原子的电子都是一层层排布的，称为电子层。每个电子层所能容纳的电子数是一定的，一旦一个电子层被排满，剩余的电子就必须进入外层电子层中去。由于原子的电子数与其原子序数相同，因而每种元素都具有不同的电子构型。而惰性气体的电子构型最主要的特征是最外层处于全满的状态，这是一种非常稳定的结构，意味着这些电子非常难以参与反应。

我们还能够从元素周期表中找到很多其他规律。比如，从一种元素的原子中打掉一个电子所需的能量，是按照元素周期表从左往右、从下

往上的顺序逐渐增大的。

又比如，元素周期表的中部几乎全部由金属元素占据，而且越靠近左下角金属性越强。化学家可以利用他们所掌握的这些规律来预测某种元素在化学反应中的表现。

超重元素 化学与拳击为数不多的相似点之一是，它们都有“超重量级选手”。化学中的“超重量级选手”称为超重元素，是指那些原子核非常重的元素，它们都“沉”在了元素周期表的底部；与此相对应，那些“最轻量级选手”则“漂浮”在周期表的顶部，比如氢和氦元素，它们的原子加起来只有三个质子。伴随着更重的元素不断被发现，元素周期表也一直在扩展。但具有放射性的92号元素铀是最后一种存在于自然界中的元素。尽管铀在衰变后能够产生钚，但它的量微乎其微。钚可以在核反应堆中发现，而其他超重元素则是通过在加速器中轰击原子得到的。寻找重元素的步伐依旧在前进，显然这要比蒸馏体液复杂多了。

寻找更重的超重元素

没有人喜欢骗子，但各行各业包括科学界都不乏骗子。1999年，来自加州劳伦斯伯克利实验室的科学家们发表了一篇文章，宣称他们发现了116号和118号元素。然而，事情并不是这么简单。在看过他们的论文之后，其他一些科学家试图重复他们的实验，但无论怎么努力，他们都没有得到过哪怕116号元素的一个原子。最终证明是“发现者”中的一位伪造了数据。这使项目资助方，一家美国政府机构非常尴尬地撤回了相关的官方报道。论文最终撤稿，伪造数据的科学家被解雇，而发现116元素的荣誉则在一年后归于一个俄罗斯的科研小组。这件事说明发现一种新元素所能带来的荣誉足以让一名科学家以他的整个职业生涯做赌注。

最简单的物质

03

同位素

同位素指的并不只是那些制造原子弹和杀人毒药的危险物质。其实，很多元素都存在同位素，它们之间的区别仅仅是所含的一种亚原子粒子的数目略有不同而已。同位素存在于我们呼吸的空气中以及喝的水中，你甚至还可以用它（非常安全地）制出能沉到水下的冰块。

冰通常浮于水上，不过有时也不一定。类似地，同一种元素的所有原子通常都相同，不过有时也有不同。如果我们取最简单的氢元素，那么毋庸置疑所有的氢原子都含有一个质子和一个电子。换言之，如果一个原子的原子核中有不止一个质子，那么它就不是氢原子。但如果向氢原子核中再加入一个中子，那它还是氢原子吗？

中子是拼图中丢失的一块，物理学家和化学家直到 20 世纪 30 年代才找到它（参见对页“丢失的中子”）。这种中性粒子不会改变一个原子的电荷平衡，却会显著地改变它的质量。在氢原子的原子核中加入一个或两个中子，足以使得冰沉到水底。

重水 向氢原子核中加入一个中子，会使这种“最轻量级”的原子核子数加倍，从而变得大不相同。由此生成的原子叫作“重氢”，学

大事年表

16 世纪

炼金术士试图将廉价的物质转化为贵金属

1896 年

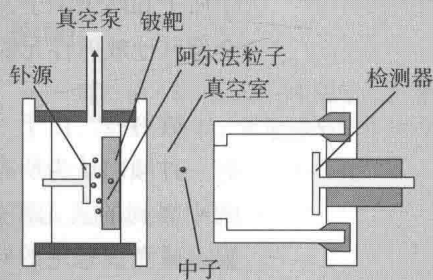
首次利用辐射治疗癌症

1920 年

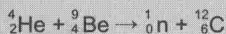
欧内斯特·卢瑟福初步描述了中子

丢失的中子

中子由物理学家詹姆斯·查德威克发现，他后来参与了原子弹的研制。他的这一发现解决了一个与元素重量有关的棘手问题。多年以前，科学家就已经发现每种元素的原子都明显比应有的重。在查德威克看来，如果原子核只含有质子的话，它们绝对不可能这么重。这就像是化学元素背着一麻袋砖头去度假，只是没人能发现这些砖头都藏在了哪里。他的导师欧内斯特·卢瑟福认同他的观点，认为原子“私藏”了一些亚原子粒子，并在1920年描述了这些中性粒子。但直到1932年，查德威克才找到了确凿的理论支持这一理论。他利用钋的射线轰击银色的金属铍，从而得到中性的亚原子粒子——中子。



从铍靶上撞击出中子的反应是：



名为氘（用D或者 ${}^2\text{H}$ 表示）。它会像普通氢原子一样与氧原子结合生成水，当然生成的不是普通水（ H_2O ），而是多一个中子的“重水”（ D_2O ），它还有一个不太常用的正式名称（氧化氘）。你可以用它做一个小小的“科学魔术”，在网上买一点重水（这很容易），将其放入冰箱中冻成冰块，然后丢进一杯普通水中，你猜咋样？它沉底了！为了更加直观，可以同时加入一块普通冰作为参照，这会让你以及你的观众充分体会到一个亚原子粒子的威力。

1932 年

詹姆斯·查德威克发现中子

1960 年

威拉德·利比因碳-14 测年法获
颁诺贝尔化学奖

2006 年

亚历山大·利特维年科死于放射性钋
中毒

在自然界中，大约每 6400 个氢原子中会有一个重氢原子。另外，氢原子还有第三种同位素——氚（或者称为超重氢）。氚的原子核中含有一个质子和两个中子。它更为稀有，在家中操作也不安全，因为它不稳定，会像其他放射性元素那样发生衰变。它被用在引发氢弹爆炸的机制当中。

放射性 由于“同位素”一词经常与“放射性”联系在一起，因此有一种倾向认为所有的同位素都具有放射性。事实当然不是这样，我们刚刚提到的氢元素就是一个很好的反例，它拥有一种非放射性的同位素，或者说稳定的同位素。除此之外，碳、氧以及其他一些自然界存在的元素都有稳定的同位素。

不稳定的、具有放射性的同位素会衰变。也就是说，它们的原子会分解，并以质子、中子、电子的形式从原子核中释放出物质（参见本页“射线的类型”），结果使它们的原子序数发生变化，从而变成了其他元素。这听上去不就是 16 和 17 世纪那些炼金术士们梦寐以求的、将一种元素变成另一种元素的能力吗？（在他们看来，另一种元素自然最好是金子！）

每种放射性元素都有不同的衰变速率。比如，原子核中含有 14 个核子的碳-14（普通的碳只有 12 个）是一种放射性同位素，但它很安全，操作时并不需要特殊的防护。如果将一克碳-14 放在窗边，你需要很长的时间来观察它的衰变。准确地说，其中一半碳-14 原子完全衰变需要 5700 年。这一表示衰变速率的方式称为半衰期。与碳-14 相比，钋-214 的衰变速率就快得多了。它的半衰期不到千

射线的类型

阿尔法射线含有两个质子和两个中子，相当于氦原子核，它的穿透能力较弱，用一张纸就可以挡住。贝塔射线是高速移动的电子流，它能够穿透皮肤。伽马射线是与可见光相似的电磁波，只有厚厚的铅块才能挡住它；伽马射线破坏力很强，高能伽马射线被用作放疗以杀死癌细胞。