

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201905038

www.dxhx.pku.edu.cn

无处不在的化学——探究生命的时钟

崔世勇, 黄雁翀, 骆睿昊, 吴红, 方思敏, 李玲玲, 王钰熙, 朱平平, 邵伟*

化学国家级实验教学示范中心(中国科学技术大学), 合肥 230026

摘要: 主要介绍同位素在探究生命起源中的作用以及相关的原理。此外通过回顾同位素的发现历史, 总结这一过程中主要科学家的贡献及向公众展示科学发现的一般过程。

关键词: 同位素; 化石; 发展史

中图分类号: G64; O6

Ubiquitous Chemistry: The Clock That Explores Life

CUI Shiyong, HUANG Yanchong, LUO Ruihao, WU Hong, FANG Simin, LI Lingling, WANG Yuxi, ZHU Pingping, SHAO Wei *

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (University of Science and Technology of China), Hefei 230026, P. R. China.

Abstract: This paper mainly introduces the role of isotopes in exploring the origin of life and related principles. In addition, by reviewing the discovery history of isotopes and summarizing the contributions of major scientists, we hope to show the general process of science developments to the public.

Key Words: Isotope; Fossil; Development history

我们去博物馆的时候经常能看到恐龙化石。恐龙是出现在中生代时期的一类爬行动物, 生活在距今 2.4 亿到 6500 万年前, 它们曾经统治地球达 1.6 亿年之久, 可是现在早已灭绝了。我们只能通过博物馆里的巨大的恐龙骨架来推测它活着的时候的样子。

图 1 是一副发掘于内蒙古的恐龙骨架, 科学家们推断它生活的时期距今已有 8000 万年^[1]。

这里你肯定会好奇吧, 科学家们又不能穿越时空, 他们怎么知道这位恐龙老爷爷已经有“8000 万岁”了呢?

这个呀, 还要从“同位素”开始说起。

1 同位素是什么?

大家知道, 我们的世界是由各种元素构成的。后来, 科学家门捷列夫发明了元素周期表。把不同的元素安排在元素周期表上不同的“小房间”里, 可是有的元素啊, 他们是好几个兄弟一起住一个房间。这些兄弟们除了“胖瘦”不同, 简直是一模一样(图 2)。科学家们把住一个房间的这些兄弟统统叫“同位素”^[2]。

收稿: 2019-05-14; 录用: 2019-06-10; 网络发表: 2019-06-19

*通讯作者, Email: weishao@ustc.edu.cn

基金资助: 中国科学院 2018 年度科普项目(2018D0038); 中国科学院 2019 年度科普项目(KP57)

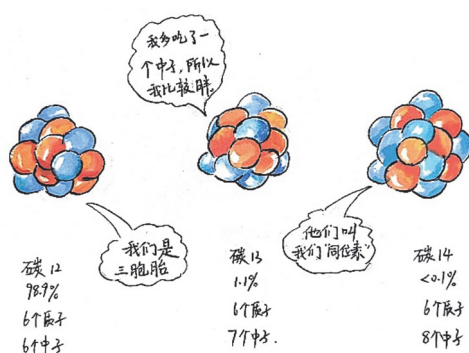
图1 发掘于内蒙古的恐龙骨骼化石^[1]

图2 碳的同位素三兄弟

氢是元素周期表中的第一个元素，它有三种不同的同位素，科学家给它们分别起名叫做氕、氘、氚，但并不是每个元素的同位素都有这样的中文名，比如我们今天的主角——碳元素，它也存在着三种同位素，人们根据分子量的不同，分别把它们叫做碳12 (^{12}C)、碳13 (^{13}C)、碳14 (^{14}C)，这也是同位素最常见的命名方法了。既然主角都登场了，就好好来介绍一下它吧。

碳的三种同位素以有机分子的形态广泛地存在于生物体中。与碳12和碳13不同，碳14是一种具有放射性的同位素，而且它不像自己的两个哥哥那样，自地球形成之日起便普遍存在，而是由宇宙射线撞击空气中的氮原子产生的，不能由其他放射性元素衰变生成。因此，环境中碳14的丰度基本是保持不变的。

由于同位素之间有着相似的化学性质，所以自然界中的碳14也可以与氧气化合形成二氧化碳(图3)。地球上的生物由于新陈代谢的作用不断地吸收和放出二氧化碳，这样便使得碳14与稳定的碳一样共存于生物细胞中。但碳14仍是一种不稳定的形态，随着时间的推移会发生放射性衰变而生成氮原子^[2]。碳14衰变的半衰期是5730年，也就是说，每过5730年，碳14的数量就减少一半。



图3 碳14在生物体内的循环和衰变过程

当一个生物死亡后，便失去了新陈代谢的能力，体内也就不会再有新的碳14摄入，而原来存在的那些碳14因不稳定性而不断衰变。同时，在特殊的环境下，死亡的生物可能会形成化石。当挖掘出这些化石时，我们可以测定其碳14的含量，结合碳14的半衰期来推算出它们的衰变时间，由此便可以推断该生物体存在的年代。这种利用碳14衰变进行年代测定的方法是由科学家威拉德·利比提出的(图4)，他也因此获得了1960年的诺贝尔化学奖^[3]，所以现在我们使用的可是“诺贝尔奖”方法呢！当然，这种方法并不仅仅适用于生物体，很多非生物体文物(如陶瓷、青铜器等)的身上也总能找出一些碳14的残留，所以用此法来探测文物的年代也不在话下。

这里细心的同学可能会问了：碳 14 的半衰期是 5730 年，所以 5730 年后，碳 14 的数量变为原来的一半，11460 年后，碳 14 的数量变为原来的 1/4……五万多年后，碳 14 的数量只有原来的千分之一了，快检测不出来了！那还怎么测定物体的年代啊？不必担心，还有一些元素的同位素，它们的半衰期非常的长，比如铀 235 的半衰期是 7 亿多年，铀 238 的半衰期是 44.7 亿年。而据说地球的年纪也只有 45 亿年，这肯定够用了。

2 同位素的发现过程

如此重要的同位素性质究竟是谁发现的呢？谁又为同位素的发现和应用做出过重要的贡献呢？物理学家汤姆逊研究发现，带电气体原子(离子)受电场或磁场影响发生偏转时，能够对它们的质量加以测定。在同一个正电荷的作用下，较轻的原子比较重的原子更大地偏离它们的轨道，正如从旁边刮来的风，把乒乓球吹离轨道的距离比同样体积但更重一些的橡皮球更远一些。汤姆逊让偏转的气体离子(带正电的气体原子)落在照相底片上，在洗印底片时，离子触及的地方则有一道黑线^[4]。当他开始测定惰性气体氖的原子量时——照以往方式计算，其原子量是 20.2。而这次发现底片上有两道黑线(图 5)，相应的原子量分别是 20 和 22，这是最早发现的稳定同位素^[5]。

自从门捷列夫发明了元素周期表(图 6)^[6]，科学家们就热衷于发现各种新元素来填充这座元素“大厦”。放射性元素不可捉摸的放射性(一种元素的原子核自发地放出某种射线，并转变成另一种元素原子核的现象叫做放射性)引起了很多科学家的兴趣。当时传统的思想是“元素的原子是不可改变的”，这在当时的科学界被奉为真理。然而一位年轻的科学家索迪，经过大量的实验却发现：放射性是由于元素原子蜕变成另一种元素原子引起的，原子是可以改变的^[2]！可想而知，这个一反传统的元素蜕变说一提出，就遭到了学术界的强烈反对。甚至他的论文都被拒绝发表，后来索迪找了汤姆逊为他担保，论文才得以发表。

随着新的放射性元素不断被发现，以至于元素周期表的格子都不够用了，这时，索迪提出“存在有原子量和放射性不同但物理和化学性质完全相同的化学元素的变种，在元素周期表中应该处于



图 4 威拉德·利比(Willard F. Libby)^[3]

获 1960 年诺贝尔化学奖

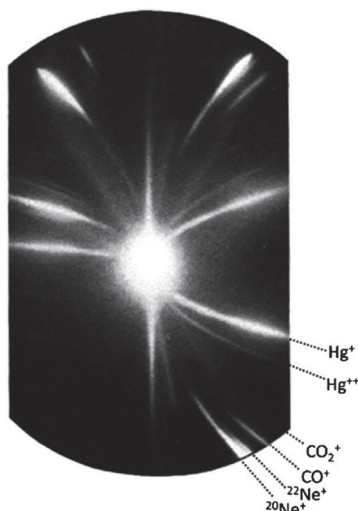


图 5 汤姆逊当时得到的底片^[4]

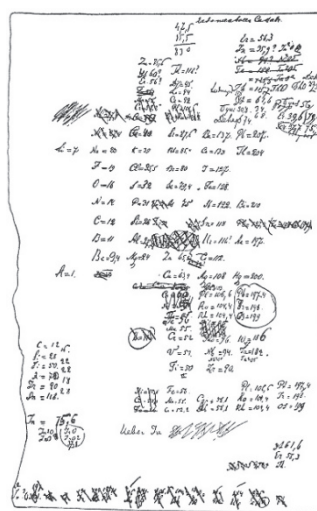


图 6 最初的元素周期表手稿^[6]

同一个位置”，因此把它们命名为同位素(指同一个位置)。同位素的发现，使元素周期表的范围扩大了许多，使人类认识并可以利用的化学元素的实际数量增加了很多倍。因此，同位素的发现被认为是 20 世纪自然科学的重要成果之一。索迪(图 7)也因此而获得了 1921 年诺贝尔化学奖^[7]。

索迪进一步指出：“一种化学元素有两种或两种以上的同位素变种的存在可能是普遍现象，也就是说，非放射性元素也会有几种稳定的同位素。但是，要识别稳定同位素，就需要找到一种能将质量不同的同位素彼此分离并分别称量的方法。”1919 年，索迪提出的难题由英国物理学家、剑桥大学教授阿斯顿(图 8)解决了——他设计了一台质谱仪^[8]。阿斯顿利用质谱仪研究同位素，发现氖、氩、氙、氯等元素都有同位素存在。随后，又在 71 种元素中发现了 202 种同位素。他也因此被世人称为“同位素猎手”，并获得了 1922 年的诺贝尔化学奖。这个故事里的汤姆逊先生(图 9)呢，他并没有获得诺贝尔化学奖，因为他在物理领域的突出贡献，他获得了 1906 年的诺贝尔物理学奖^[9]。



图 7 索迪(Frederick Soddy)^[7]
获 1921 年诺贝尔化学奖

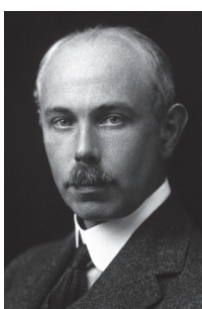


图 8 阿斯顿(Francis W. Aston)^[8]
获 1922 年诺贝尔化学奖



图 9 汤姆逊(J.J. Thomson)^[9]
获 1906 年诺贝尔物理学奖

图 10 是阿斯顿当年所设计的质谱仪^[10]，看起来很简陋吧。质谱技术出现后，立即得到迅猛的发展，现在已经出现了各种各样的质谱仪，并广泛应用于环境监测、食品分析、医药卫生等多个领域，成为一种非常有用的仪器。图 11 是现代的一款质谱仪，看起来很简单吧，方方正正的像个大箱子；但是它的内部结构可是很精密很复杂的哦！我们拆了一款质谱仪，让大家看看它内部的结构(图 12)，欢迎你哪天来我们实验室看看它。



图 10 阿斯顿当时设计的质谱仪^[10]



图 11 现在的一款质谱仪

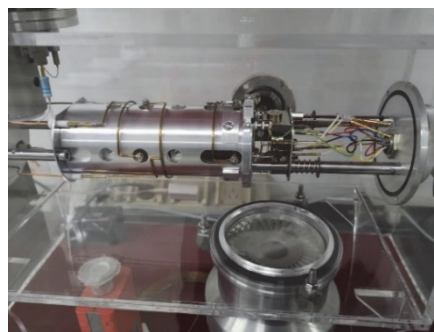


图 12 质谱仪的内部结构

3 结语

试想如果当初没有索迪敢于向权威挑战的勇气，没有汤姆逊对后辈的支持，没有阿斯顿敢于创新的思想，没有威拉德将科学发现与生活结合的能力，那我们今天可能也无法利用同位素去判定物质的年代了。科学发展的过程往往就是这样，总要有人敢于进行这些看似荒谬却可能大有意义的事情！

参 考 文 献

- [1] 内蒙古发现罕见完整大型恐龙化石. 内蒙古日报. 2016-09-21.
- [2] 马向于. 诺贝尔化学奖获得者传奇故事. 郑州: 河南人民出版社, 2016.
- [3] Libby, W. F. [2019-06-10]. <https://www.nobelprize.org/>.
- [4] Maher, S.; Jjunju, F. P. M.; Taylor, S. *Rev. Mod. Phys.* **2015**, 87 (1): 113.
- [5] 黄勇, 张景丽, 崔今淑. 扑朔迷离的化学宫殿. 延吉: 延边大学出版社, 2005.
- [6] Elements and Atoms: Chapter 12 Mendeleev's First Periodic Table. [2019-06-10]. <https://web.lemoyne.edu/giunta/EA/MENDELEEVann.HTML>.
- [7] Soddy, F. [2019-06-10]. <https://www.nobelprize.org/>.
- [8] Aston, F. W. [2019-06-10]. <https://www.nobelprize.org/>.
- [9] Thomson, J. J. [2019-06-10]. <https://www.nobelprize.org/>.
- [10] Aston, F. W. Wikipedia. [2019-06-10]. https://en.wikipedia.org/wiki/Francis_William_Aston.