

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201901010

www.dxhx.pku.edu.cn

铋先生的一天

毕睿豪[§], 朱亚先^{*}

厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005

摘要: 将元素周期表形象化为一个“元素城”, 铋元素则被拟人化为元素城内的一个居民——铋先生。通过描述铋先生一天的生活, 介绍了铋及其化合物的主要性质和应用。

关键词: 铋; 性质; 应用

中图分类号: G64; O6

A Day of Mr. Bismuth

BI Ruihao [§], ZHU Yaxian ^{*}

College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China.

Abstract: In this article, the periodic table is described as a thriving “city”, and Mr. Bismuth is one of the citizens. Through a day’s life of Mr. Bismuth, the main properties and applications of bismuth and its compounds are demonstrated.

Key Words: Bismuth; Properties; Applications

铋先生是“元素城”里的一位居民, 城里很多元素都视他为“怪”元素。

“元素城”最初的设计师是俄国门捷列夫, 他在人类公历 1869 年画出了“元素城”的蓝图, 当时“元素城”里只有 60 多位居民。之后, 随着人类科学技术的发展, 越来越多的元素伙伴相继住进了“元素城”, 城市的规模也在逐渐扩大。时至今日, “元素城”已经成为拥有东西七条大道(周期), 南北十八条街(族), 外加镧系、锕系两个特区的大都市, 现如今已经有 118 位元素入住。

铋先生的家住在城里第六大道第十五街(第六周期 VA 族), 这是稳定元素区和放射性元素区的交界。稳定元素们都觉得这不是一个好的住处, 因为那些放射性元素邻居们不太热爱自己的家, 他们甚至通过改变自己身体里的质子、中子或电子的方式来改变自己的身份, 从而住到别的元素的家里去。“爱家”的稳定区元素并不能理解这样的行为, 但是, 作为稳定区元素的铋先生好像并不介意这一点。

最近, 有人类声称铋先生也有极其微弱的放射性, 虽然半衰期长达超过十亿倍的宇宙年龄^[1], 以至于人类可以完全忽略铋先生的放射性。但是, 这消息一时间成为了元素城的元素们八卦的热门话题, 铋先生在元素们眼中更为奇怪了。

在铋先生很多看似奇怪的特性背后, 他更是位敬业的“多面手”, 坚守在多个岗位上, 为人类奉献着力量。

收稿: 2019-01-14; 录用: 2019-01-18; 网络发表: 2019-03-06

^{*}通讯作者, Email: yaxian@xmu.edu.cn

[§]2017 级本科生

基金资助: 国家基础科学人才培养基金项目(J1310024)

接下来的一天里，我们要悄悄地跟随铋先生，记录他平凡的生活，或许你能从中瞥见这个“怪”元素身上很多的闪光点。

1 铋先生的梳妆

清晨，当第一缕阳光射进窗户，铋先生醒了。作为一个爱美的元素，铋先生一天的生活是从对自己的精心打扮开始的。铋先生的化妆过程可能和你想象中的十分不同，他并不会给自己身上“涂脂抹粉”，而是用元素城里的小淘气——氧气来装扮自己。

首先，铋先生会将自己加热，使自己融化。在加热的过程中你会发现一个“怪”现象：铋先生的体积并不会像我们想象的那样膨胀，而是会逐渐收缩，在元素城的金属居民中，很少有这样热缩冷胀的特性。随着铋先生的逐渐熔化，我们会发现未熔化的固体部分漂浮在液态铋上，就像冰浮在水面上一样^[2]。铋先生的熔点不是很高(金属铋熔点为 271.4°C ^[3])，因此很容易就可以熔化，以此来完成自己化妆的第一步。

之后，铋先生开始冷却结晶。在此过程中原子间距变小并且有序排列，最外层的原子由于和氧气接触并结合，因此铋先生在自己的表面附上了一层三氧化二铋(Bi_2O_3)薄膜。你或许会觉得很多金属都拥有这样的特性，铋先生的妆也不过如此。但是铋先生的妆有自己的精巧之处，他可以通过控制薄膜厚度的变化，来获取由黄到蓝渐变的效果，就像是给自己的表面涂上了彩虹。用我们人类的话来说，这个原理叫做薄膜干涉^[1]。

除了“彩虹妆”，铋先生的形状也有所改变。结晶后的铋先生变得方方正正，呈现出像台阶一样的阶梯状结构^[1]。

由于巧妙的彩虹妆，还有这种化妆赋予他的奇特外观，在元素城里的一次选美比赛中，铋先生力压所有参赛的金属元素，获得了最美金属的称号。同时，铋先生的“彩虹妆”也受到了人类的青睐，现在已经有很多人选择将铋晶体作为家中的装饰品了。

2 意外的插曲

元素城中的元素，和我们人类一样，也需要工作，元素们也会根据自己的性质特点在不同的部门任职，它们的工作涉及到人类世界的方方面面。

在梳洗完毕后，铋先生走出了自己的房间，发现铅叔叔已在门前等待，铋先生不久前应聘到材料部工作，他们约好今天上午一起去。铋先生和铅叔叔在元素城里是邻居，也是非常要好的朋友，他们在自然界中经常以共生矿的形式所存在。他们的很多物理、化学性质都非常相似^[3]，以至于在历史上人类一度很难将他们分离开来。

他们今天决定沿着第十五街(第 V 主族)走向他们的工作点——材料部。

在这条街道上，住着铋先生和他的元素“家族”。走着走着，铋先生就情不自禁地向铅叔叔说起了自家的故事。“我们家族住的这个地方，按照人类现在的说法，叫第 V 主族。当时人类建筑师考虑到我们家族的元素的最外层都具有 2 个 s 电子和 3 个 p 电子，为了方便人类管理，就让我们都住在这条街上。”

“说起我们，可是元素城里分配最均衡的一家。我们家族的价电子占据了一半的 p 轨道，不多也不少。既不像碱金属和 d 区元素一样全是金属，也不像稀有气体和卤素全是非金属。我们家的氮爷爷和磷伯伯是典型的非金属元素，而砷哥哥属于准金属，我和铋关系最亲近，都是金属。除此之外啊，我的爷爷……”

铋先生滔滔不绝地向铅叔叔讲着自家那些事情。

当铋先生和铅叔叔来到材料部门口时，迎接他们的却是工人们一脸愁容，两个元素互相看看，

也面面相觑，铋先生已经失去了自己彩虹般的光泽，而变成了黑黑的一块；铅叔叔也已经失去了金属的光泽，变成蓝黑色了。

原来，在元素们匆匆拥挤地赶往工作地点时，难免会相互接触，发生了化学反应。一位经验丰富的工人说：“一定是你们这两种亲硫元素在上班路上和冒冒失失的硫小姐发生了“碰撞”，反应成硫化铋(Bi_2S_3)和硫化铅(PbS)了。”好在元素城的设计者——化学家们，早已经掌握了一套成熟的方法，将铋先生和铅叔叔变回单质形态：首先，这两种金属的硫化物需要经过烈火的灼烧，让氧原子替换硫原子，他们分别变成氧化物形态(Bi_2O_3 , PbO)。接着加入碳粉，继续灼烧，使与这两种金属结合的氧原子跑去和碳元素结合，这样铋先生和铅叔叔就能回到单质的样子了。

经过上面的一通折腾，上午的时间已经所剩不多。铋先生和铅叔叔向工人师傅道谢后，马上投入到紧张的工作中。

3 合金加工车间

铋先生和铅叔叔首先来到合金加工车间。

合金加工车间是材料部下属的一个比较大的部门，这里为人类世界提供了各种各样功能的合金材料。在这里，既有生产类似制作锅碗瓢盆所用材料的场所，也有日日夜夜尝试突破科学前沿的实验室。铋先生在这两方面都一直贡献着自己的力量。

铋先生在这里最接地气的一个应用是用来制作保险丝，这和它熔点低的特性密不可分。这种保险丝和一般的电流保险丝不同，当电路环境温度超过限度(异常值)时，它可以在电器正常工作电流下立刻熔断，从而切断电路而防止险情的发生。这样的保险丝被称作温度保险丝^[4]。

这种保险丝的制作不能只凭铋先生的一己之力，还得要有其他元素的合作。铋先生的身子骨比较脆，熔点 270°C 左右，只有通过与其他韧性好、熔点也比较低的金属一同形成合金，才能有效结合各家之长，让保险丝真正地“保险”。

除铋先生外，传统的低熔点金属还有锡、铅、铟和镉，但是很不巧的是，铅、铟和镉都具有毒性。因此，从安全角度来看，毒性非常低的锡先生是铋先生的最佳拍档。但由于成本和性能的问题，目前市场上铅锡合金保险丝还是占据主导地位^[4]，相信在科研工作者的努力下，锡铋保险丝定会早日进入千家万户。

4 超导实验室

“你好，铋先生！我是超导实验室的研究员，BSCCO 项目现在需要你过去一趟。”一个穿着白大褂的年轻人匆匆走过来叫住了铋先生。

于是，铋先生停下了手头的工作，跟着年轻人前往超导实验室。

超导实验室，和合金加工车间一样，隶属于材料部。但和车间流水线式的工作形式不同，这里更多的是实验台、科研人员以及他们使用的各种试剂。

年轻人所提的项目，是关于 BSCCO 族(铋锶钙铜氧化物)超导材料的研究课题。BSCCO 于 1988 年被人们发现，是很有前景的高温超导材料。所谓高温超导，就是指材料在液氮温度(77 K)下就能表现出超导特性。最早发现的一种 BSCCO 材料就有 105 K 的临界温度^[5]，远远高于液氮温度。

而我们的铋先生在项目中所做的工作，就是作为合成 BSCCO 的基本“建筑材料”。BSCCO 实质上是铋、锶、钙和铜四种元素的氧化物，它是由最基本的“建筑单元”——晶胞所构成。每个建筑单元中，既有铋、锶、钙和铜这四种金属阳离子“砖块”，还有带负电的氧离子。由于正负电荷会互相吸引，带负电的氧离子就像水泥一样将阳离子“黏合”在一起。这样的晶胞不断地重复，就构成了我们需要的材料。

随着科研工作的继续，BSCCO 将有望应用于超导磁悬浮和超导大功率发电机等领域。

5 “啊！有人倒下了”

不知不觉间，强烈的阳光直射着厂房的屋顶，已经快到中午了。工作人员们纷纷离开工位去吃饭，我们的元素们也能借此机会稍事休息，他们围坐在一起聊天。

“嘿！老兄，感觉之前没怎么在材料部见过你，能给我讲讲你来这儿之前的故事吗？”铜元素向旁边的铋先生说道。

“当然可以，铜前辈。您是人类最早开始使用的金属，跟您相比，我在材料方面的应用才刚刚开始哩。”铋先生谦虚地回答。

“我的化合物最早主要用于制作药物，它们主要用于治疗胃痛、烧伤、腹泻和肠道功能紊乱等疾病^[6]。我的化合物第一次作为缓解胃痛的药物是在16世纪，从那以后到1930年，我都一直主要在医药部工作。直到1930年，每年有大概90%^[2]的铋被用于药物的生产呢！……”铋先生的故事娓娓道来，元素们都听得十分投入。此时，突然有人喊道：“啊！有人倒下了。”大家听到了求救，都急忙赶了过去。

只见一位工人师傅坐在地上，捂着自己的上腹。

“怎么了，哪里不舒服？”

他回答说：“已经好几天了，每天吃完饭以后上腹部就有点痛。我以为是小事，就没去管它，谁知道今天突然加剧了，站都站不稳了！”

一旁的铋先生说：“你应该是患了胃溃疡，哪位师傅帮他到药店买点‘得乐’吧”。一位热心的工友立刻跑去了药店。

胃痛的工人皱着眉头，看起来还是有一丝担忧。

铋先生解释道，“放心，我让他去买的‘得乐’，是枸橼酸铋钾，是我的化合物。它是治疗胃溃疡的特效药，它可以在胃液pH的条件下水解，形成保护性的、弥散性涂膜附着在溃疡处，隔离胃液和溃疡，从而缓解疼痛感。”

不一会儿，工友就拿着药回来了，胃痛的工人喝了药以后好了很多。铋先生脸上露出了欣慰的笑容。

6 珍珠般的光泽

意外过后，元素们和工作人员又继续进行工作。铋先生在这个时间要离开材料部了，他今天还有一项特别的工作。这究竟是什么样的任务呢？我们继续跟随铋先生的脚步，一探究竟。

瞧，他顶着烈日来到了一家化妆品店。只见他走到一个展台前，拿出了之前准备好的广告牌，放到了展台边最显眼的位置，上面写着：

“珍珠般光泽的眼影，值得你拥有！”

哈哈！原来铋先生今天的工作是要推荐一款最新开发的眼影。没想到我们的铋先生不仅在药学和材料方面有很大应用，在化妆品领域也是颇有建树啊！

过了一会儿，一位女士收起了遮阳伞，走进了店里。铋先生的广告牌吸引了她，她径直走向铋先生：

“有珍珠般的光泽，这广告牌上的效果看起来倒是不错，真的能做到和珍珠光泽一样吗？”女士疑惑地问。

铋先生热心地推销：“不妨一试，我们的新品免费试涂！”

女士在自己的手上试了试这款眼影，涂抹的部分在天花板上日光灯的照射下，反射出珍珠般的耀眼光泽。女士看起来对这个新品十分满意：

“效果还真不错哦。不过，我还是有些疑惑，你们是怎么让它的光泽像珍珠一样的呢？”

“啊，你问我可就问对元素了！”铋先生非常开心。

“因为这种眼影中含有氯化氧铋(BiOCl)的成分，氯化氧铋的晶格是层状的，铋元素——也就是

我，和氧元素结合形成了平面网格的结构。但是，因为我是+3价，氧是-2价，这样电荷不能平衡，所以层与层间存在-1价的氯来平衡电荷。正因为氯化氧铋具有这样的层状晶格结构，经过一定的工艺结晶就可以得到非常薄的固体片。这种固体片非常薄以至于具有很强的透光率，看起来是半透明的。”

铋先生一时激动，自顾自地讲了起来：“在使用时，混在化妆品中的这些小片会一层层地堆叠起来。光照射在这样的薄片表面时会发生反射，还有一部分会通过折射透过薄片。由于薄片是一层一层堆叠的，折射的光也会在下面的薄片上反射，最终进入人眼。因此，除被吸收的光之外，入射的光会在表面充足地反射，这就是我们看到闪亮光泽的原因。”

旁边的女士已经开始打盹了，好在她对产品十分满意，也没有在意铋先生的这套让人头晕的长篇大论，高高兴兴地带着眼影离开了化妆品店。

成功地卖出含自己化合物的新品，铋先生内心充满了喜悦，他迫不及待地等待着下个顾客的到来，让更多的顾客了解这款产品，同时了解自己。

7 实验室的“变脸”

当铋先生走出化妆品店时，时间已经到了下午，阳光已经没有刚才那么毒辣了。他今天的最后一项工作要在学校的实验室进行，今天他可是实验室的特邀嘉宾。

当铋先生赶到实验室时老师已经开始上课，黑板上写着“铋价态变化”。同学们正在认真地记录老师所讲的内容。

铋先生快步走进实验准备室，摇身一变，成了无色的硝酸铋(III)溶液，他静静地躺在试剂瓶里，等待着亮相。

老师走过来，指着铋先生说：“这就是我们今天的嘉宾，我们看一看他如何变脸。”

老师向坩埚中注入少量的硝酸铋溶液，再加入氢氧化钠和氯水，加热。过了一会儿，倾去溶液，同学们看到了土黄色的沉淀。

“钠盐大多是易溶的，但是并不是所有的钠盐都易溶，这就是其中一种难溶钠盐——铋酸钠。它是土黄色的粉末，不溶于水。由于铋表现为+5价，在酸性环境中拥有极强的氧化性，常作为氧化剂使用。”

老师继续实验演示，他在试管中滴入1滴淡粉红色的硫酸锰溶液和几滴硝酸，再加入少量刚刚制备的铋酸钠固体，微微加热，溶液变成了紫红色。

“大家觉得这紫红色的溶液是什么呢？”老师问道。

台下有同学小声回答：“高锰酸钾”。

“对了，是高锰酸钾。这个反应颜色变化很敏锐，实验室里用来定性鉴定锰离子。”

“为什么铋先生会变脸呢？从+3价变到+5价，又从+5价变回+3价呢？”老师继续问。有的在挠头，有的在沉思，有一位同学举手发言：

“当铋先生以硝酸铋(III)形式进入碱性溶液时，遇到了氯水先生，氯水先生可是鼎鼎大名抢夺电子的高手。刚开始的时候，两位选手都只是在互相试探、制造摩擦以寻找对方的弱点，之后随着周围的热度不断升高(指加热)，两人的碰撞越来越剧烈，慢慢地，三价铋先生有些力不从心了，他身上的电子已经开始偏向氯水先生，被氧化为铋酸钠。”

“这时的铋先生呈现+5价，失去这么多电子，他的性格变得暴躁。当他进入酸性的硫酸锰溶液时，本来平静的溶液又变成了他和锰先生的角斗场，水中富足的氢离子助长了铋先生的力气。终于，铋先生战胜了锰先生，成功地获得了他的电子，从+5价变成了+3价。失去电子的锰先生成为+7价，他和氧元素结盟，成为紫红色的高锰酸根离子。”

老师听到答案后十分满意，露出了笑容。同学们开始亲自体验铋先生的“变脸”……

铋先生离开学校的时候已是黄昏，他独自在夕阳下慢慢地走着，回忆这充实又忙碌的一天。他

觉得自己并不是一个怪元素，正是这些独特的性质才代表着自己是铋先生——一个独立而勤奋的元素。而且，他的这些性质也一直在造福着人类，自己和其他元素一样都是自然界中不可或缺的一部分。

铋先生快乐地回到了自己的家中，准备为明天的工作积蓄力量。

我们这一天的记录也结束了……嘘，元素们已经休息了，让我们悄悄离开元素城，让这些特殊的居民们做个好梦吧！

参 考 文 献

- [1] Wikipedia.com. Bismuth. [2018-04-21]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Bismuth>.
- [2] Chagnon, M. J. Bismuth and Bismuth Alloys. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 5th ed.; John Wiley & Sons, Inc.: USA, 2010; Vol. 34, pp 1–16. Doi: 10.1002/0471238961.0209191303080107.a01.pub3.
- [3] Greenwood, N. N.; Earnshaw, A. 元素化学(中册). 李学同, 译. 北京: 高等教育出版社, 1996: 220–229.
- [4] 刘尧. 无铅温度保险丝的制备及其性能研究(M). 广州: 广东工业大学, 2008.
- [5] Maeda, H.; Tanaka, Y.; Fukutomi, M.; Asano, T. *Jpn. J. Appl. Phys.* **1988**, 27, L209.
- [6] Encyclopedia.com. Bismuth (revised). [2018-05-24]. <http://www.encyclopedia.com/science/news-wires-white-papers-and-books/bismuth-revised>.