

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201910008

www.dxhx.pku.edu.cn

元素达人秀 ——“金”贵人生

贾建华*, 石建新, 乔正平, 童明良

中山大学化学学院, 生物无机与合成化学教育部重点实验室, 广州 510275

摘要: 达人秀舞台迎来一枚宝藏元素: 金。它强大的物理“硬核”能力和迷人的化学“性格”魅力征服了四位梦想观察员, 也让观众对相对论效应和亲金作用有了初步的认识。最终, 金元素获得了直通达人秀半决赛的入场券。

关键词: 金; 相对论效应; 亲金作用

中图分类号: G64; O6

Element Talent Show: Golden Life

Jian-Hua Jia*, Jianxin Shi, Zhengping Qiao, Mingliang Tong

MOE Key Laboratory of Bioinorganic and Synthetic Chemistry, School of Chemistry, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, P. R. China.

Abstract: Gold, as a noble element, has attended the Element Talent Show. Four judges have been conquered by its hardcore ability in physics and chemistry, which let the audience understand the preliminary knowledge of relativistic effect and aurophilicity. Finally, Gold gets the express pass to semifinal of Talent Show.

Key Words: Gold; Relativistic effect; Aurophilicity

今天元素达人秀舞台迎来一位贵族元素, 它将给梦想观察员和现场观众带来一场饕餮盛宴。担任本场达人秀的四位梦想观察员分别是范德华、薛定谔、鲍林和徐光宪先生。在一众元素中, 组长范德华向观察员们推荐了金元素, 并按节目流程给他们分发了金的简历。首先一起认识下这枚贵族元素。

金是一种金属元素, 原子序数是 79, 相对原子质量为 196.97。金的化学符号是 Au, 来自拉丁文 Aurum, 意为“闪耀的黎明”, 它与罗马神话中的黎明女神欧若拉(Aurora)有关^[1]。在自然界中, 金以单质的形式分布在岩石的金块中、地下矿脉及冲积矿层里。游离形态的单质金通称为黄金, 是一种广受欢迎的贵金属。黄金在室温下为固体, 具有光亮、柔软、密度高、抗腐蚀以及良好的延展性等特点, 在多个世纪以来一直都被用作货币、保值物及珠宝饰品。在元素周期表中, 金位于第 6 周期的第 IB 副族。它还有两个好兄弟, 铜和银。因此, 这一族也被称为货币族。

金元素出生于名门望族, 家族历史悠久, 起初主要被用作货币和装饰物, 据说它们可能是人类最早使用的金属。金的家族历史可追溯到公元前 2600 年, 主要分布在古埃及和努比亚地区, 据象形文字记录, 米坦尼国王图什拉塔称古埃及遍地是金^[2]。在人类历史长河中, 金的家族统治其重要地

收稿: 2019-10-18; 录用: 2020-02-10; 网络发表: 2020-02-27

*通讯作者, Email: jiajh3@mail.sysu.edu.cn

基金资助: 国家自然科学基金(21771198); 广东省自然科学基金(2017A030313059); 广州市科技计划项目(201806010192)

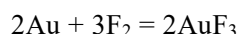
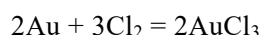
位长达 7000 多年。相比铂、钌、铑和铽等贵金属族，金并没有显得那么稀有和贵重，之所以如此备受青睐，其重要原因离不开它金光闪闪、熠熠生辉的贵族象征。现存的比较熟知的金匠工艺建筑有米诺斯王宫、埃及金字塔和美国陵墓等。

看来金是一枚不可多得的宝藏元素，多才多艺、能文能武，其家族事业兴旺、人才辈出。了解完金元素的背景，范德华示意表演开始。

探照灯下，舞台中央出现五个隔间，宛如火车，一字排开。隔间外分别标有“百毒不侵”“能伸能屈”“电力十足”“大度能溶”“阴阳两面”的字眼，隔间正面为透明玻璃，方便观察员和观众观看表演。舞台左边追光亮起，闪闪发光的金亮相了。此时，耳边传来主持人的声音，“下面有请金元素为我们展示达人绝活，第一项‘百毒不侵’”。

只见金走进第一个隔间，墙壁伸出数个喷头。“首先是强酸喷射”，主持人话音未落，硝酸便迫不及待地喷涌而出，不断地喷射在金的身上，整个过程持续半分钟。随后清水喷洗金外表的残留酸液。紧接着，强碱持续喷射半分钟再清水冲洗。受到强酸强碱的洗礼后，金毫发无损，观察员纷纷表示这招“百毒不侵”着实令人难以置信。好戏才刚刚开始，随后隔间模拟 1000 °C 高温火焰，金置身其中数分钟，除了表面有被融化的迹象外，依然面不改色，一副“真金不怕火炼”的架势。

“果然是炼丹炉出来的孙猴子，火眼金睛，现在大家知道什么是金钟罩铁布衫了吧？”范德华说，“不过据我所知金也有害怕的东西，比如氯、氟、王水及氰化物等，一旦遇见它们，金随时会被腐蚀，原本金光闪闪立马会黯然失色。”随后徐光宪也转过身对观众说道，“给大家普及一下，在加热的条件下，金与氯气或氟气的反应方程式为……”：



在大家侃侃而谈还未回过神的时候，金已走到第二个隔间“能伸能屈”。隔间内有一台车床，金躺下后示意主持人接通电源。随着齿轮转动，铰链带动隔间上方的千斤顶缓缓下降，在距离金约一尺左右的高度砸了下来，反复数次，金的身子被不断地捶打，眼看被压成厚度不足 2 mm 的薄片。主持人表示如果继续碾压，金将被碾成厚度小于 0.01 mm 的透明金箔。由于金对黄光和红光的强反射能力，太阳光又是多种颜色的混合，当它透过金箔时会呈现蓝绿色。在所有金属中金延展性最强，一盎司的金可以拉到 2500 m 长^[3]。优良的延展性使金成为饰品制造工艺的首选。徐光宪也夸奖金犹如卡通动画里的弹力超人，伸缩自如，简直就是“百变金君”。

金是热和电的良导体，接下来它将给大家展示第三个绝活“电力十足”。第三个隔间墙壁两侧装有一对机械手臂，它们与高压电源和顶部的高压汞灯相连。当金被机械手臂牢牢抓紧后，电压缓慢升高，电流经过机械手臂穿过金再回到另一侧点亮汞灯，一刹那房间亮如白昼。而此时的金闭目养神、全身放松，正享受如按摩般的高压电流。鲍林转向观众解释道，单质金有很强的电传导性，其电子密度为 $5.90 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ ，所以能作为电线被用在部分高能量用途中^[3]。其实以相同的容量计算，作为金的兄弟，银有更高的电传导性，但金的抗侵蚀能力更强。比如，金线被用在曼哈顿计划的原子实验中，而高电流银线只能用在该计划的电磁型同位素分离器的磁石中。

前三项绝活展现了金耐腐蚀、抗击打的硬核能力，接下来金会露一手软实力“大度能溶”给观众。主持人请出助演嘉宾汞，它将和金带来一场难舍难分的汞齐舞。这项绝活需要观众配合念出金汞合体口诀。待两位元素彼此相拥，主持人带动观众大声说出：“你中有我，我中有你，大度能溶，合二为一”。话音未落，金和汞互溶互通、融为一体。随着音乐响起，它们摆动着身体，变换着脚步，共同为大家刮了一场舞林风。整个过程二者融合，宛如一物，美其名曰金汞齐。飘逸的舞姿结合了二位舞者的优点，使合体的硬度、延展性、熔点、颜色等特性得到了巨大的改变。其实除了汞，金还能与一些其他金属共舞，这种难分彼此、互相融合的舞姿，学名叫固溶体，又称“合金”^[4]。比如，白金合金就是金与钯或镍的合体。我们常说的 K 金表示合金中黄金的纯度，1K 合金的含金量是 4.1667%，18K 就是 75%。所以，18K 白金合金含有 75% 金、17.3% 镍、5.5% 锌及 2.2% 铜，总体

呈亮银色。

到了表演最后一项绝活的时候，金却犹豫再三迟迟未向大家呈现，与节目组沟通后它决定以视频放映的方式公开。世间万物皆有“阴阳两面”，接下来金会展示它的另一面：毒性。人们所熟知的单质金是无毒、无刺激性的，可以作为饮品添加剂，欧洲联盟已经准许金作为某种食物的添加剂，在国际食品法典标准(Codex Alimentarius)的 E 编码为 175。当隔间内的视频播放完毕，我们才发现闪闪发光的金也会变身成危险多多的角色。比如，电镀中广泛使用的氰化金钾会对人体的肺脏及肝脏产生严重的毒害作用。所以，我们在喜爱天使般金制饰品的时候也要留意它魔鬼的一面，在处理金盐类物质时一定要采取必要的安全防护措施。

表演结束，主持人稍作总结，他说金元素通过个体和合作的方式向大家展示了单质金及合金两个身份的绝活，四位梦想观察员也着实被它折服。为了满足各位观察员的好奇心，进一步了解这位身怀绝技的元素，下面开始你问我答环节。

鲍林首先发问，为什么金元素特别喜爱电子，有如此之强的电子亲和力？其实这个问题既是在夸奖金，又缓解了它的紧张感，因为对金来说，答案早已烂熟于心——就是“相对论效应”在作怪^[5]。爱因斯坦当年提出的狭义相对论原理已经成为现代物理理论的基础之一，比如被用来研究基本粒子理论。金是一种重原子，其内部电子的运动速度足够快，以至于相对论质量的增加和长度的收缩都相当显著。因此，当电子受到吸引落入金原子的核场内，由于相对论效应，电子绕原子核运动的路径会缩短，也就是我们熟知的 $6s$ 轨道强收缩性。此时，势能会降低，整个体系的能量也随之减小，有利于稳定落入核场的电子。在所有金属中金电势能最低，电负性最高(以氟为 3.9 计算，金的数值为 2.4)，从而表现出很强的电子亲和力^[6,7]。听完金的回答，鲍林会心一笑，然后转向范德华，说道：“范老先生应该会有不少问题，您与金的家族是世交，帮我们挖掘一些秘密出来吧”。

被鲍林这么一说，范德华清了清嗓子，一本正经地对金说：“我有一个藏在心里多年的谜团，百思不得其解，今天正好借这个机会，请小金帮我解开它。你有三个身份， Au(I) 、 Au(II) 和 Au(III) ，每个身份的配位形式不同，为什么常见的 Au(I) 是线型二配位的，其中一定有很深的奥秘吧？”说完后范德华挪了下身子正坐起来，宛如等待女婿敬酒的老丈人一般，虽内心焦急万分，但外表故作镇定。“其实这也算不上什么秘密”，金微微耸肩说道，“因为 Au(I) 的 s 、 p 和 d 轨道的能量差别较小，有利于 sd 或 sp 形式的轨道杂化，所以通常 Au(I) 与其他原子键合的方式都是二配位。”听完金的回答，范德华若有所思地停顿片刻，随后说道：“原来如此，看来我所认为的机密其实是如此浅显易懂的原理，真是活到老学到老啊，哈哈。”

“万物皆因果，彼此都关联，我们大家谁也离不开谁嘛”，薛定谔看似开玩笑地说，“就像我离不开自己的猫一样，谁让它是薛定谔的猫”。听他这么一说，观察员们哈哈大笑，气氛瞬间热了起来。“我也有个疑问”，待大家合拢了嘴后，薛定谔继续说道，“你今天还有个绝活没有展示，据说如果 Au(I) 形成聚集体后，整个化合物的发光可能会被改变？”金谦虚地答道：“您这么说过奖了，主要原因是亲金相互作用(aurophilicity)。对 Au(I) 而言，它外层电子的排布方式为 $5d^{10}$ 闭壳型，两个 Au(I) 相互靠近到一定距离时会形成 $\text{Au(I)}-\text{Au(I)}$ 相互作用力，强度与氢键相当。这种作用力可以存在分子内或分子间，主要与 $5d$ 和 $6p$ 轨道的电子相关^[8]。德国著名化学家 Schmidbaur 认为这是一种前所未有的原子间亲和力，甚至可能适用于拥有闭壳电子构型和等价电荷的其他原子^[9,10]。芬兰的理论化学家 Pyykkö 给出一种更贴切的解释，他认为亲金相互作用是一种很强的、与众不同的范德华相互作用力”^[11,12]。金的话匣子被打开，它滔滔不绝，继续说道：“当分子在亲金相互作用下聚集，由于前面所说的相对论效应， Au(I) 聚集体的 $5d$ 轨道能量上升并发生裂分，从而降低了 $5d$ 轨道激发所需的能量，缩短了电子的跃迁路径，使得电子更容易从激发态跃迁到其他态而放出能量，从而影响了整个分子的能量输出，所以 Au(I) 形成聚集体后时常发出不同颜色的光”^[13-15]。

“虽人无完人，但金有足赤”，主持人最后说道，“看来金元素如此受欢迎不只是因为它外表亮丽、富丽堂皇的贵族象征，更重要的是它‘金贵的人生’——强大的硬核能力和迷人的人格魅力，

当然也离不开整个家族的悉心培养和教导”。节目最后,各位观察员要给出自己的决定,是否通过金元素的这场达人秀。薛定谔、鲍林和徐光宪三位观察员一致表示通过,但组长范德华并未立即开口,而是起身走到主席台中间用力拍下“黄金按钮”,行使了每人唯一一次的观察员特权,根据节目的“黄金规则”金元素直接晋级第6周期达人秀半决赛。范德华表示希望下次能看到金以 Au(III)的身份为大家呈现不同的风采。

精彩的节目落幕了,金族的神秘面纱才刚被掀开。

参 考 文 献

- [1] Laguna, A. *Modern Supramolecular Gold Chemistry: Gold-Metal Interactions and Applications*; Wiley-VCH: Weinheim, 2008.
- [2] 百度百科. [2019-09-08]. <https://baike.baidu.com/item/%E9%87%91/8243?fr=aladdin>.
- [3] 互动百科. [2019-07-24]. http://www.baike.com/wiki/%E9%BB%84%E9%87%91&prd=button_doc_entry.
- [4] Sloboda, M. H. *Gold Bull.* **1971**, 4 (1), 2.
- [5] Schmidbaur, H. *Gold Bull.* **1990**, 23 (1), 11.
- [6] Puddephatt, R. J. *The Chemistry of Gold*; Elsevier: Amsterdam, 1978.
- [7] 龚孟濂, 乔正平, 梁宏斌, 甘峰, 石建新, 卢锡洪. 大学化学. 北京: 科学出版社, 2018.
- [8] 欧阳一夫, 刘畅, 于航, 于乐飞. 大学化学, **2017**, 32 (2), 79.
- [9] Schmidbaur, H. *Gold, Progress in Chemistry, Biochemistry and Technology*; John Wiley & Sons: Chichester, 1999.
- [10] Schmidbaur, H.; Schier, A. *Chem. Soc. Rev.* **2012**, 41 (1), 370.
- [11] Pyykkö, P. *Chem. Rev.* **1997**, 97 (3), 597.
- [12] Pyykkö, P. *Chem. Soc. Rev.* **2008**, 37 (9), 1967.
- [13] King, C.; Wang, J. C.; Khan, M. N. I.; Fackler, J. P. *Inorg. Chem.* **1989**, 28 (11), 2145.
- [14] Yam, V. W. -W.; Li, C. -K.; Chan, C. -L. *Angew. Chem. Int. Ed.* **1998**, 37 (20), 2857.
- [15] Lee, Y. A.; Eisenberg, R. *J. Am. Chem. Soc.* **2003**, 125 (26), 7778.