

纳米金溶胶的丁达尔效应探究

刘雨鑫 / 北京景山学校

指导教师 龚 龔 张 凯

◎ 引言

当一束光线透过胶体时，可以观察到胶体里出现的一条光亮的“通路”，这种现象被称为丁达尔效应（Tyndall effect），也叫丁达尔现象。图1显示的现象就是气溶胶的丁达尔效应造成的，可见丁达尔效应与我们的生活密切相关。

中学化学教学中，使用 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体及红色激光笔演示胶体的丁达尔效应。但由于 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体易沉淀，只能在制备好新鲜胶体后立即进行实验演示，不仅实验准备工作繁琐，而且丁达尔现象单一。

我们通过实验找到了能够替代 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的纳米金溶胶，并采用多种色光照射通过，实验现象更明显，颜色更加鲜艳美丽。并且，纳米金稳定性极佳，目前放置8个月的纳米金溶胶仍然均一稳定、无沉淀，药品可使用时间长，实验更方便。

实验中，当标准光源发出的光通过品红色的纳米金溶胶时，我们可以看到一条光亮的“通路”，更换滤光片，实验现象随入射光颜色明显变化，且在添加绿色滤光片后，丁达尔现象消失。这个问题引起了极大的兴趣，因此我们



图1 自然界中的丁达尔效应

从色光的性质入手进一步探讨丁达尔效应的产生条件，进一步完善对丁达尔效应的理解。

◎ 实验

㊟ 试剂与仪器

实验应用到的试剂包括三氯化铁（ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ）、氯金酸（ $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ）、柠檬酸三钠（ $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）和蒸馏水。

实验使用的器材有电子天平、100 mL量筒、三孔圆底烧瓶、搅拌器、玻璃棒、100 mL烧杯、胶头滴管、温度计、恒温加热仪、紫外可见分光光度计、透射电子显微镜、倒置显微镜、原子力显微镜和标准光源。

所有实验试剂皆为分析纯。所有玻

璃器皿均由王水浸洗，再用蒸馏水多次冲洗后置于烘箱内干燥。

㊟ 氢氧化铁胶体制备

◇ 用电子天平，称取 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 12.0444 g，溶解于10 mL三蒸水中，部分固体不溶解，制得三氯化铁饱和溶液。

◇ 加热100 mL蒸馏水至沸腾，滴加三氯化铁饱和溶液5滴，继续加热一段时间，至溶液呈红褐色。

◇ 红色激光笔照射下，有丁达尔现象产生，证明实验制得氢氧化铁胶体。

㊟ 纳米金颗粒的制备

◇ 使用电子天平称取柠檬酸三钠0.0058 g，氯金酸0.0020 g，并配制浓度为 2.44×10^{-6} mol/L $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 溶液、 5.68×10^{-6} mol/L $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 溶液。

◇ 使用100 mL量筒量取三蒸水40 mL，10 mL烧杯量取 $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 5 mL，置于恒温加热仪中，加热温度90℃。

◇ 持续搅拌2 min，再向其加入5 mL HAuCl_4 溶液。

◇ 继续搅拌，持续95℃加热6 min，待液体颜色恒定，停止加热。

◇ 冷却至室温，所得液体为纳米金溶胶。

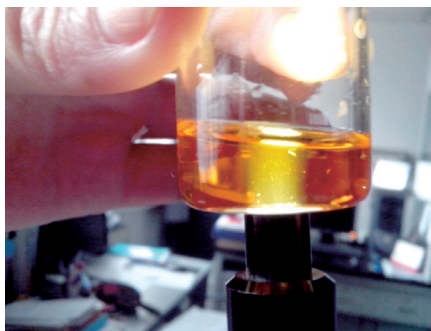


图2 氢氧化铁胶体

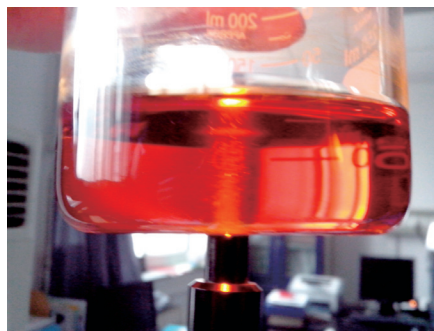


图3 纳米金溶胶

③ 纳米金的表征

用紫外-可见分光光度计对制得的纳米金溶胶进行分析,记录光谱数据。胶体金纳米粒子的尺寸和形状用 TEM (Hitachi-9000) 表征,将制备得到的金溶胶滴在镀有碳膜的铜网上,干燥后,放入透射电镜样品台,然后在操作电压 100 kV 时摄取 TEM 图像。

③ 观察纳米金的丁达尔效应

将适量纳米金溶胶置于锥形瓶中,封口,用标准光源照射通过,可观察到明显的丁达尔现象。在保证光束强度不变的前提下,依次加入红、绿、蓝、黄 4 种滤光片,观察丁达尔现象变化,结果记录在实验表格。

◎ 结果与讨论

③ 纳米金溶胶紫外光谱分析

将纳米金胶体置于紫外光谱分析仪,得到其紫外吸收光谱。在 250 ~ 400 nm 范围内,纳米金溶胶的紫外吸收率逐渐下降,当 450 nm 后吸收量迅速增加,并在约 520 nm 处出现明显的

吸收峰,随后吸收量迅速减少。

由经典 MIE 理论可知,在 520 nm 左右有明显吸收峰,说明实验制得的产物是纳米金。

③ 透射电镜表征观察

我们在电镜下对纳米金进行透射观察,并用比例尺考查纳米金颗粒粒径。结果表明:以柠檬酸三钠为还原剂制得的纳米金颗粒呈球形或椭球形,分散性较好,仅有少部分聚集;粒径为 15 ~ 18 nm,其中夹杂少量纳米金小颗粒。这为丁达尔效应的演示实验提供了良好的胶体环境。

③ 纳米金溶胶的丁达尔效应

用标准光源照射纳米金及氢氧化铁胶体,均可观察到丁达尔效应。在标准光源光强度不变的情况下,依次加入红、绿、蓝、黄滤光片,并旋转光强度旋钮观察实验现象。

氢氧化铁胶体与纳米金溶胶在黄色光照射下的实验现象对比如图 2 与图 3 所示。可以看到,在排除胶体自身颜色的影响后,氢氧化铁胶体较纳米金溶胶

实验现象不明显,更换红、绿、黄、蓝滤光片后,变化细微,不易被观察。

我们观察到,纳米金溶胶稳定性极佳,放置 8 个月后仍不聚沉,胶体均一稳定,色泽鲜艳,且其丁达尔效应也不因放置时间的推移而受到影响。

◎ 应用构想及实验结论

③ 应用构想

根据本文实验结果,当 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体通过蓝色光时,丁达尔现象明显衰减,甚至消失。由此,我们发现了丁达尔效应的新现象:并不是所有胶体在任何光线照射通过下都有明显的丁达尔现象。

本论文实验中采用的纳米金溶胶、标准光源及滤光镜可以广泛应用于中学生化学课的课堂教学。对于教师而言,稳定的纳米金溶胶可长时间放置不变质,实验方便,且现象变化明显,且把单一的红色激光笔变换为缤纷的多色光实验,将有助于提高学生学习实验的兴趣,帮助学生在理解课本知识之余,理



图4 十二色相环

解丁达尔效应产生的根本原因及其影响因素。有利于培养中学生的严谨性和创新性思维,为今后的科学学习探究做好准备。

令我们兴奋的是,由我们实验团队制作的纳米金溶胶已于10月13日正式入住中国科技馆用于丁达尔效应的演示实验,这不仅是对我们实验结果的肯定,也是我们实验结果走出中学实验室、让更多的人分享科研魅力的开始。

实验结论及分析

以柠檬酸钠为还原剂制成的纳米金溶胶呈品红色,用标准光源照射通过纳米金溶胶,可以看到一条光亮的“通路”,有丁达尔现象产生,证明制得纳米金胶体。在显微镜及电镜下对纳米金颗粒进行观察,可以清楚地看到纳米金颗粒的分散性较好,大多呈球形,基本不团聚。对比比例尺可知,本次实验制得的纳米金颗粒粒径在15~18 nm之间,进一步证明本次实验制得纳米金胶体。

在进行丁达尔现象实验过程中我们发现,呈品红色的纳米金溶胶,在加入绿色滤光片后,丁达尔现象消失,对比图4所示的互补色十二色相环可知,品红与绿色互为互补色。将这2种色光以适当比例混合,能给人以白色的感觉。进而对比纳米金溶胶在紫外吸收光谱和人眼可见波长范围图,我们可以看出,纳米金颗粒在520 nm附近有明显的吸收峰,波长在505~540 nm范围之间的绿光被吸收。

我们知道,位于12色相圈对位上的2种色光在一定程度上相互吸收,它在实验中的具体表现是,当胶体被其互补色色光照射通过时,显色为其本色。

因此,胶体的丁达尔效应的显示效果会受到照射光源颜色的影响,在胶体与入射光源颜色互为补色时,丁达尔现象因色光被胶体吸收而消失。

最后,本次实验采用高中实验演示的药品—— $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体进行实验,在添加黄、蓝、绿色滤光片时只能观察到微弱光亮,且现象变化不明显。因此与

纳米金溶胶相比,氢氧化铁胶体不是良好的丁达尔现象演示药品。

该项目获得第28届全国青少年科技创新大赛创新成果竞赛项目中学组化学一等奖。

专家评语

该项目是对中学化学实验“丁达尔现象研究”的改进。以酒红色的纳米金溶胶取代 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶胶后,丁达尔现象更鲜艳,更引人入胜。纳米金溶胶稳定性好,使用时间长。该项目选题角度好,富有创新性,值得鼓励。■