

“紫外吸收光谱” 教学设计

【教学分析】

内容分析：紫外吸收光谱隶属于《仪器分析》课程中的第九章，是学生学习的第二种分子光谱。本课程通过对比前修原子吸收光谱课程，重点阐述分子光谱与原子光谱的异同之处，紫外吸收光谱法的定性定量依据，以及在环境分析中的应用。

学情分析：授课对象为大二化生专业的学生，已具备的知识有：物理中光的性质、干涉等知识，无机化学、有机化学中原子结构和分子结构等知识，《仪器化学》课程中的原子吸收光谱和原子发射光谱等知识，并完成《仪器化学实验》中的“邻二氮菲法测 Fe”实验，已具备一定的理论和实验基础。但《仪器化学》涉及内容繁多，学生恐难以快速掌握新知识，因此需要在教学过程中建立知识关联，结合实际应用，引导学生温故知新，并熟练掌握紫外吸收光谱的检测原理及其相关的定性、定量分析。

【教学目标】

认知目标：理解紫外吸收光谱的测定原理及其与原子吸收光谱的区别，应用紫外吸收光谱进行定性定量、分析。

能力目标：理论联系实际，选择适宜的仪器分析方法测定复杂环境中的有机物、无机物。

情感目标：通过对比原子吸收光谱与分子吸收光谱，认识到“构-效关系”的重要性，培养严谨、求实的工作、学习作风；通过联动“邻二氮菲法测 Fe”实验中的定性、定量分析，激发学生运用理论知识指导生产、生活实践的兴趣和热情。

【教学过程】

1、**导入：**本次课程从高锰酸钾污染出发，引起对学生环境问题及其监测的关注。高锰酸钾是一种常用的强氧化剂。当将含有大量高锰酸钾的工业废水违规排放至水体中，会使水生生物中毒，并对水生环境造成长期的不良影响。高锰酸钾污染最直观的表现形式是水呈现出（紫）红色。

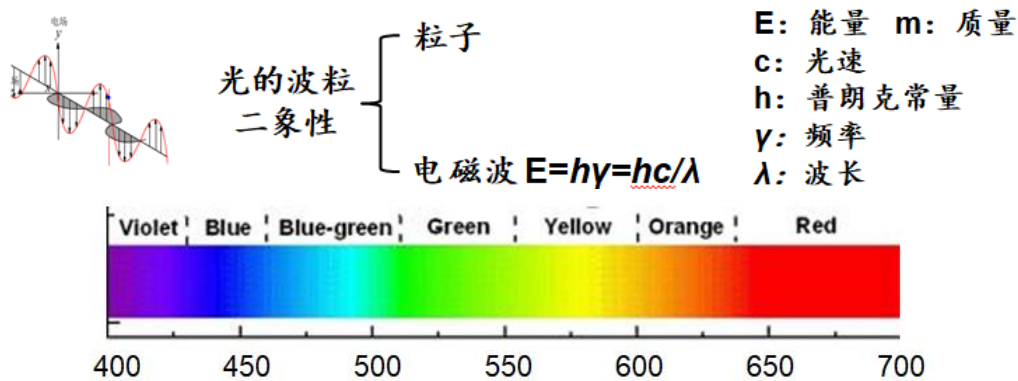


设问：对于浓度未知的两瓶高锰酸钾溶液，如何判定其浓度大小？显色物质是什么？如果将溶液转移到暗室，是否还能看到颜色？从具体问题出发，引导学生思考高锰酸钾显色的原因，通过控制单一变量分析，最终得出结论-高锰酸钾盐显紫红色是因为高锰酸根吸收了自然光。

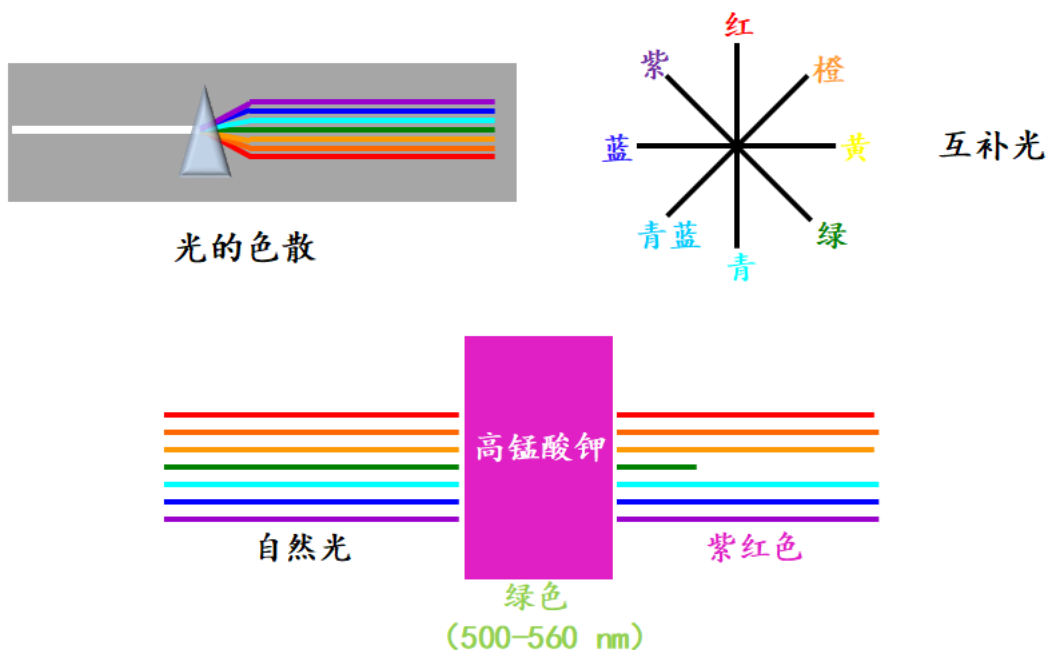


2、展开：(1) 复习光的性质，推断物质显色原因

回顾光的波粒二象性。引出能量与波长之间的关系 $E = hc/\lambda$ 。介绍不同颜色可见光各自对应的波长，引出具有单一波长的单色光，以及由两种或多种单色光组成的复色光，并通过能量公式推断出不同颜色的光具有不同的能量。

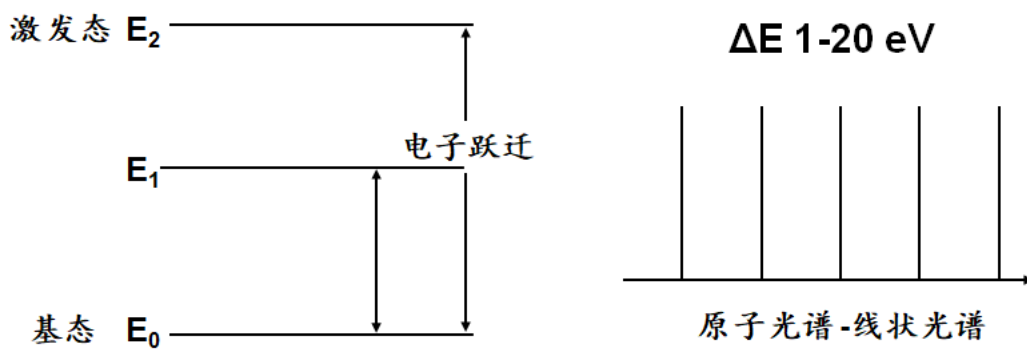


讲述白光的色散实验以及互补光的概念，并引出一对互补光合二为一会形成白光，即白光=单色光+互补光，并推断出紫光=白光-绿光，从而得出结论高锰酸根显紫色是因为其选择性吸收了绿光，以及物质显某色是因为吸收了其互补光。

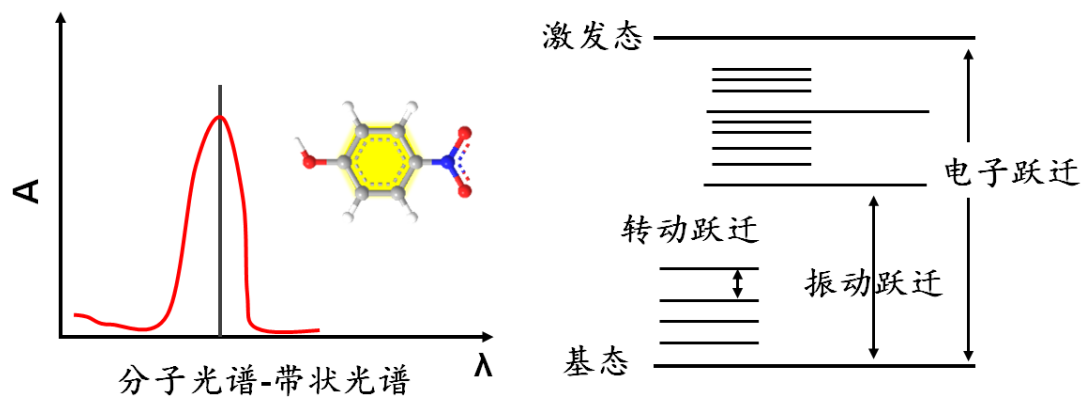


(2) 对比原子吸收光谱与紫外吸收光谱的异同

复习原子吸收光谱的测定依据：不同原子具有不同的原子结构，同时原子的能级是量子化的，当原子核外层电子向高能级跃迁时，其所需吸收的能量也是不连续的，因而表现出不同的线状光谱。设问：在邻二氮菲测 Fe 实验中，为什么邻二氮菲与 Fe 形成复合物的吸收光谱是带状的？



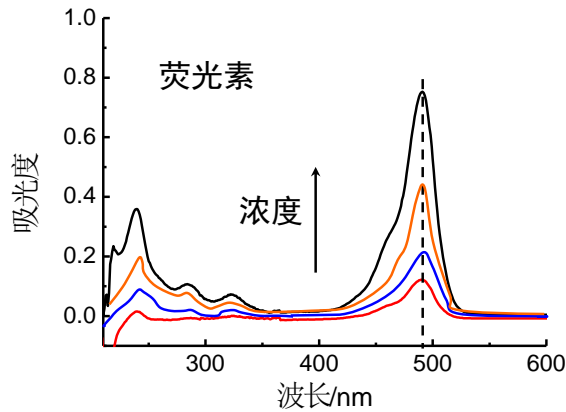
以 4-硝基苯酚为例, 阐述分子除了电子跃迁, 其大量的化学键除了可以转动, 还可以发生面内振动和面外振动。虽然振动和转动所需要的能量低于电子能级跃迁, 且这些能级是不连续的, 但也能参与光的吸收。得出结论: 分子在发生跃迁时的能量为电子能级跃迁, 振动能级跃迁和转动能级跃迁的加和, 因此分子的吸收光谱呈现出带状光谱。



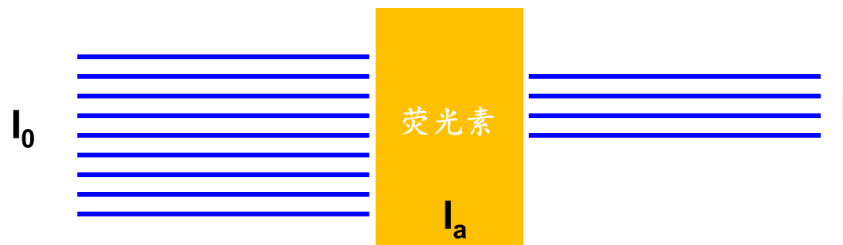
$$\Delta E = E_{\text{激发态}} - E_{\text{基态}} = \Delta E_{\text{电子能级}} + \Delta E_{\text{振动能级}} + \Delta E_{\text{转动能级}}$$

(3) 紫外吸收光谱的定性、定量分析

通过比较不同浓度下荧光素的紫外-可见光吸收光谱, 引导学生总结紫外吸收光谱的特征: 1, 不同浓度的荧光素具有相同的吸收峰位置; 2, 当荧光素浓度不同时, 其吸光度也不同。得出结论: 1, 纯物质的吸收光谱是一定的, 不同物质之间分子结构的差异会使其在不同波长出现特征吸收峰, 因而可以用于定性分析; 2, 物质的浓度与吸光度呈一定的线性关系 (朗伯-比尔定律)。



解释朗伯-比尔定律的定义：当一束平行单色光通过均匀非散射介质时，吸光度与介质厚度成正比，与吸光物质的浓度成正比。以荧光素为例，当一束平行单色光 (I_0) 照射均匀的有色溶液时，光的一部分被吸收 (I_a)，一部分透过溶液 (I_t)，一部分被比色皿的表面反射 (I_r)，则 $I_0 = I_a + I_t + I_r$ 。由于吸光光度法中采用同样质料的比色皿进行测量，反射光的强度基本上相同，其影响可以相互抵消，可将上式可简化为 $I_0 = I_a + I_t$ 。将透过率与朗伯比尔定律相结合，同时根据所测溶液的浓度表达式，可得到以下两种形式的朗伯比尔定律。



$$A = -\lg T = \lg \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad \epsilon \text{ 单位: } \mathbf{L mol^{-1} cm^{-1}}$$

$$A = -\lg T = \lg \frac{I_0}{I} = abc \quad a \text{ 单位: } \mathbf{L g^{-1} cm^{-1}}$$

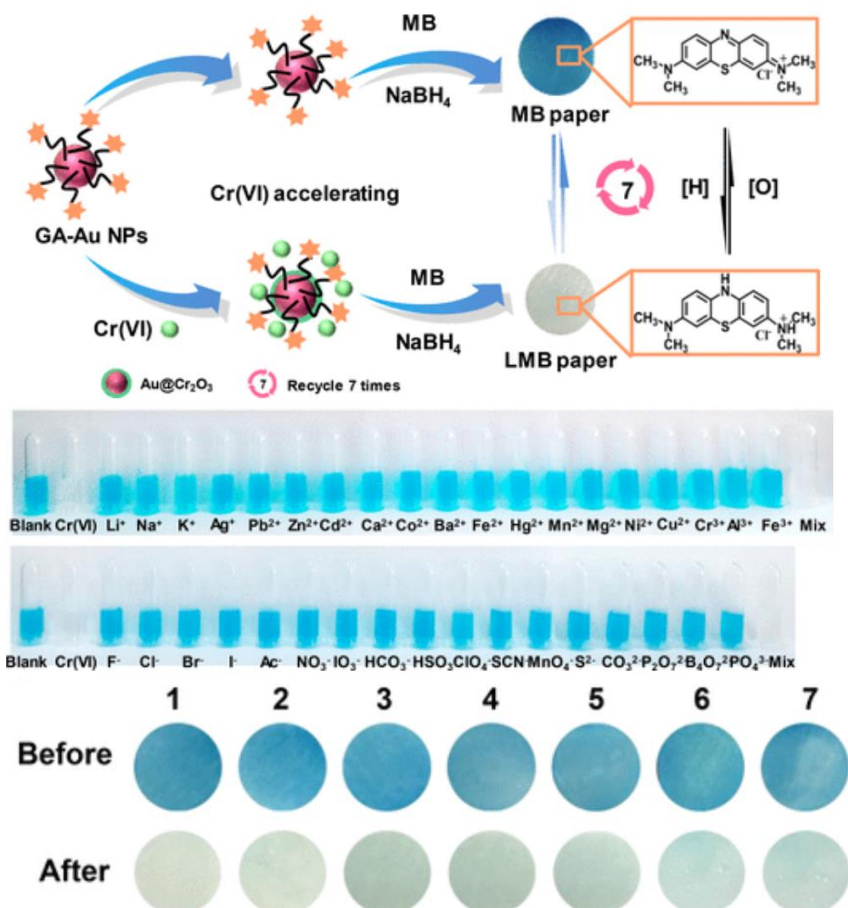
引导学生探讨**物理因素**（单色光不纯、非平行入射光、介质不均匀）和**化学因素**（发生化学反应、浓度过高）对物质吸光光谱的影响。**单色光不纯**：如果入射光波长不是理论最大吸收波长，吸收系数 ϵ 偏小，吸光度低于实际值。**非平行入射光**：光程偏大，吸光度高于实际值。**介质不均匀**：除吸收外，还存在反射、散射，使测得吸光度高于实际值。**化学反应**：吸收光谱取决于剩余反应物和产物

的吸收光谱，波长和吸光度均可能发生变化。**浓度过高**：溶液中粒子之间的相互作用影响吸光质点的分布，使吸收系数发生变化，从而偏离线性关系。

(4) 紫外吸收光谱与实际样品分析

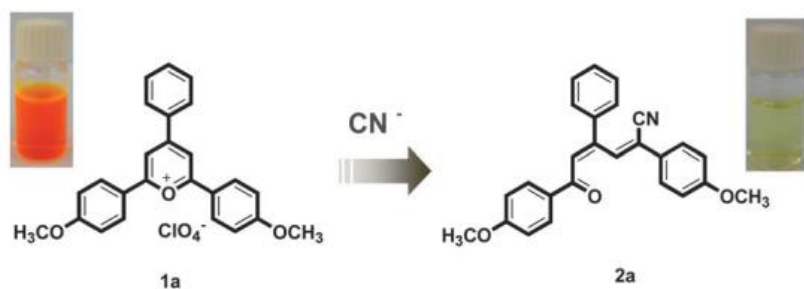
从复杂样品中污染物的检测出发，协助学生了解紫外吸收光谱在环境分析中的应用，并加深对紫外吸收光谱法的理解。

案例 1 利用金纳米粒子表面没食子酸对 Cr(VI) 的还原作用，以及形成复合物与金纳米粒子自身催化活性的差异，通过比较其对甲基蓝的催化还原作用，实现溶液相中 Cr(VI) 的比色检测¹。将检测体系固定于试纸条，并与智能手机相结合，能够快速实现 Cr(VI) 的智能分析以及数据共享。



案例 2 化合物 1a 可以与 CN⁻ 选择性反应形成化合物 2a²。由于化合物 1a 与 2a 具有不同的化学结构，因而呈现出不同的紫外吸收光谱，通过测定化合物 2a

的吸收光谱，能够实现 CN⁻ 这一剧毒物质的选择性检测。



3、小结

物质显色的原因, 分子吸收光谱呈带状的原因, 朗伯比尔定律及其影响因素, 紫外吸收光谱的应用,

4、拓展

“邻二氮菲测 Fe²⁺” 实验中主要利用了邻二氮菲-Fe²⁺配合物的外层电子在跃迁到高能级时对光的选择性吸收, 如何改进实验方案, 以实现未知样品中 Fe²⁺/Fe³⁺的形态分析?

【教学反思】

紫外吸收光谱是一种成本低廉且应用广泛的仪器分析方法。学生们虽已完成分光光度法相关的实验, 但对于其检测机理以及定性定量依据仍不甚明确。本次课程从具体的环境污染出发, 以问题为导向, 激发学生兴趣。分析过程通过控制单一变量, 由浅入深, 逐步引导了解物质的显色原理, 加深对新修知识理解程度。通过回顾前修原子吸收光谱知识, 比对原子与分子的化学结构和能级结构, 清晰阐明原子吸收光谱呈线状、分子光谱呈带状的结构基础。从常见化合物的浓度-光谱关系出发, 逐步揭示紫外吸收光谱的定性定量原理, 并以朗伯比尔定律的限定条件、溶液组成等为基础, 探明实验条件对紫外吸收光谱的影响。将紫外吸收光谱的前沿研究成果引进课堂, 让学生感受紫外吸收光谱的魅力, 并激发对分析

化学的科研热情。结合已修实验，举一反三，运用简单的科学知识解决复杂的环境分析问题。

参考文献

[1] Zhuang YT, Chen S, Jiang R, Yu YL, Wang JH. Ultrasensitive colorimetric chromium chemosensor based on dye color switching under the Cr (VI)-stimulated Au NPs catalytic activity, *Analytical Chemistry*, 2019, 91, 5346-5353.

[2] Mouradzadegun A, Abadast F. An improved organic/inorganic solid receptor for colorimetric cyanide-chemosensing in water: towards new mechanism aspects, simplistic use and portability, *Chemical Communications*, 2014, 50, 15983-15986.