

文章编号:1005-4642(2022)06-0033-06

多功能胶体演示仪的制作及胶体性质的探究

孙叶武¹, 康 一¹, 周娅铃¹, 刘爱云², 唐明君¹

(1. 四川师范大学 物理与电子工程学院 微纳光学实验室, 四川 成都 610101;

2. 四川省学校国有资产与教育装备中心, 四川 成都 610213)

摘 要:设计了胶体性质实验演示装置,可同时演示胶体的电泳现象、吸附现象和丁达尔效应。采用倒 Y 型三通管进行电泳实验,探究胶体电泳现象的速率,加快演示进度并有效节省物料。将吸附装置放在暗箱中,用荧光粉替代杂质颗粒,探究明矾溶于水后生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体对不同尺寸颗粒杂质的吸附能力,直观展现胶体吸附杂质的全过程。使用旋转表盘演示丁达尔效应,同时定性探究同种波长激光照射不同种类、不同浓度的胶体产生丁达尔效应的强弱。

关键词:胶体;电泳现象;吸附现象;丁达尔效应

中图分类号:O648.12

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.06.006

胶体属于特殊的分散系统,其分散质粒的直径在 $1\sim 100\text{ nm}$ 。胶体的性质主要包括电泳现象、吸附现象、丁达尔效应及布朗运动等。传统的电泳现象实验存在电压高、操作时间长^[1-4],对硬件环境要求高等不足。对于吸附现象,往往以明矾净水为例说明该性质,并没有对吸附性能进行深入探究^[5-6],学生缺乏对胶体吸附性的直观感受。传统的丁达尔效应演示实验常采用胶体和纯净水对照的方法,通过激光笔照射,对比观察有无明亮“通路”出现^[7-9]。这些实验方法过于单一,无法探究丁达尔效应与激光颜色、胶体种类、胶体浓度等之间的关联。对于胶体性质的探究一般都集中在某一现象的研究上^[1,10-12],少见系统的演示设计和性质探究。针对以上问题,通过自主设计并制作多功能的胶体性质实验演示仪,可以对胶体的电泳现象、吸附现象、丁达尔效应等性质进行全面且具备观赏性的演示和探究。

1 实验器材及实验装置设计

1.1 实验器材

1)电泳现象:Y 型三通管(1 个)、铜电极(2 个)、饱和 KCl 缓冲液、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体、光敏电阻

模块(1 个)、激光笔(1 支)。

2)吸附现象:黑亚克力外壳($40\text{ cm}\times 40\text{ cm}\times 30\text{ cm}$ 暗盒 1 个)、100 mL 烧杯(5 个)、500 mL 烧杯(2 个)、由马达带动的搅拌器(5 个)、杜邦线(若干)、Arduino 控制板(1 块)、不同颗粒大小的荧光粉、明矾(500 g)、水泵(5 台)。

3)丁达尔效应:激光笔(红色、绿色、蓝紫色各 4 支)、激光叠层表盘(外径为 10 cm , 1 个)、Arduino 控制板(1 块)、杜邦线(若干)。

1.2 实验装置设计及原理

多功能胶体实验演示仪如图 1 所示。

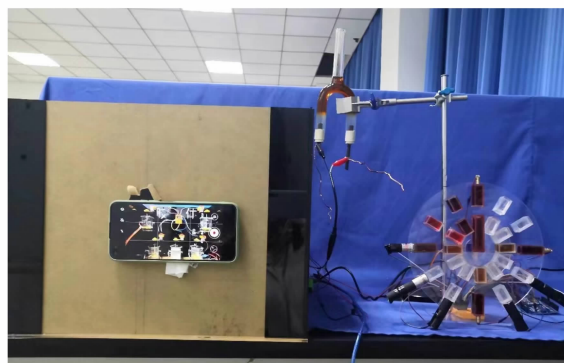


图 1 多功能胶体实验演示仪

收稿日期:2021-08-22;**修改日期:**2022-02-19

基金项目:四川师范大学校级实验技术与管理项目(No. SYJS2017034, No. SYJS2018027)

作者简介:孙叶武(1999—),男,四川冕宁人,四川师范大学物理与电子工程学院 2019 级本科生。E-mail:979439335@qq.com

通讯作者:唐明君(1972—),女,四川南充人,四川师范大学物理与电子工程学院教授,博士,主要研究方向为超硬材料、新型热电材料及超材料的设计、合成与表征。E-mail:tmj20000808@aliyun.com

1.2.1 电泳现象演示装置

传统的胶体电泳现象实验一般在 U 型管中进行. 由于电极位于上方, 在通直流电时, 带电的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体粒子除了受到正、负电性作用外, 还需要克服重力. 因此, 实验时电压高 (110 V)、时间长 (约 20 min), 且实验现象不明显^[1]. 本文使用饱和 KCl 溶液作为缓冲液, 定制“Y”型三通管^[2], 倒立放置 (图 2) 进行电泳实验^[3-4].

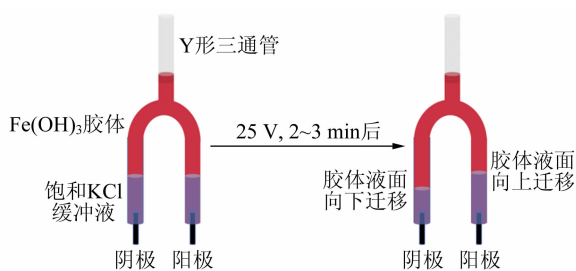
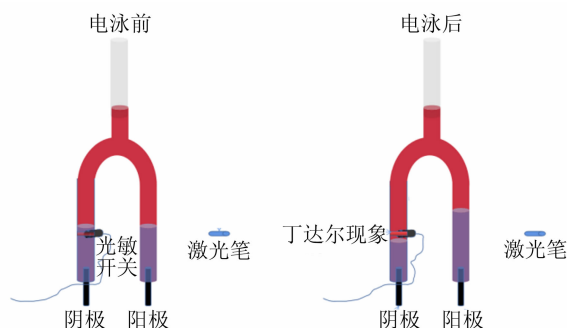


图 2 电泳装置示意图

为触发吸附现象实验自动进行, 在电泳现象发生前, 将 Y 型三通管倒置固定后, 在缓冲液的液面处右侧固定激光笔, 在与激光笔相同高度的 Y 型三通管阴极处安装光敏开关, 如图 3 所示.



(a) 示意图



(b) 实物图

图 3 加装激光笔和光敏开关后的电泳装置

当电泳现象发生后, 由于胶体液面下降, 光敏开关处出现丁达尔效应, 从而触发光敏电阻开关打开. 光敏电阻开关打开控制暗箱外的水泵开关, 水泵开始将荧光液泵入烧杯中. 使用该装置可开展胶体吸附性质的演示实验及性能研究.

1.2.2 吸附现象演示装置

为了演示胶体吸附现象并探究不同粒径大小的颗粒杂质对胶体吸附效果的影响, 使用亚克力板组装活动暗箱, 构造黑暗环境, 在暗箱中放置 5 个容量为 100 mL 的烧杯. 实验前先各取 40 mL $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体分别加入 5 个烧杯中, 暗箱外由于电泳现象的产生, 触发光敏开关打开, 水泵开始运行, 并分别将荧光颗粒直径为 18, 23, 38, 75 μm 的荧光液及纯净水泵入 5 个烧杯中, 同时, 在每个烧杯中还加装了自制的浊度检测器 (图 4). 由于灰度传感器采用光线反射获得溶液的表面信息, 而浊度传感器则通过溶液的透光度来获得液体浊度信息, 二者原理虽然一致, 但是通过透射光来获取信息更方便. 将灰度传感器上的 LED 灯取下, 与传感器感应部分分别加装在烧杯的两侧, 构成自制的浊度测量装置. 暗箱内部图 5 所示.

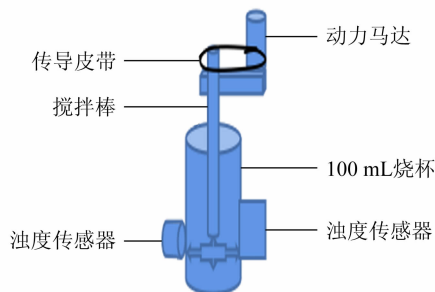


图 4 浊度检测器示意图

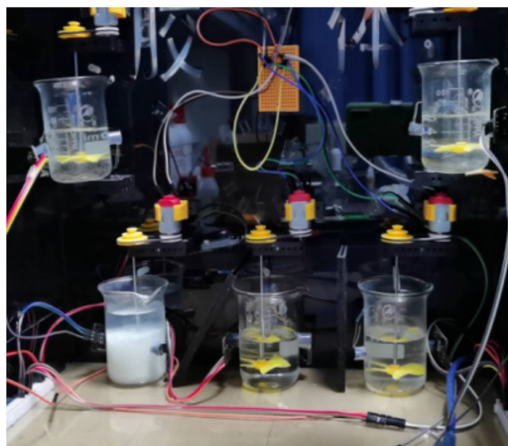


图 5 暗箱内部装置实物图

然后,将5个传感器连接在Arduino开发板上,通过外接电脑实时显示烧杯中溶液的浊度信息。经过数据分析,即可得出明矾对不同颗粒杂质的吸附效果。

1.2.3 丁达尔效应

传统的胶体丁达尔效应演示实验往往局限于单一波长的激光照射单一的胶体,并且只停留在对丁达尔效应表面现象的观察上,没有深入探究丁达尔效应散射光强度与其他变量之间的关系^[10],缺乏不同实验效果的对比分析。由瑞利散射公式可知,不同波长的激光照射在不同种类、浓度、颗粒大小的胶体上,产生的丁达尔效应的光强不同,故探究更多变量对胶体丁达尔效应的影响很有必要。

设计了激光叠层计时表盘,如图6所示,以小矩形容器替代内外表盘上1~12的时间刻度,矩形容器内部密封不同浓度的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、淀粉、牛奶、豆浆、红墨水等胶体。分别将红色、绿色和蓝紫色的激光笔固定在外圆盘外侧。内圆盘由伺服马达提供动力,马达由Arduino控制板控制,以每5 s转动1个刻度的速度匀速旋转。接通电源便可实现不同颜色激光照射在不同胶体上产生丁达尔效应,并对其做定性探究。由于该装置的表盘和电泳实验装置的电源同时打开,因此,该表盘具备记录电泳现象发生的全过程时间的功能。同时,随着圆盘的旋转,可以直观看出丁达尔效应的变化情况。

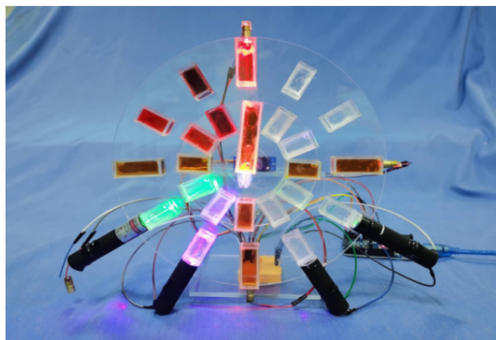


图6 丁达尔效应激光叠层计时表盘实物图

1.3 实验装置的使用方法

将实验器材按照图1安装调试。将配置好的不同颗粒大小的荧光液放在相同光源处吸收光能,吸收时间为0.5 h,取等量配置好的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体,分别加入置于暗箱中的5个烧杯内,随即关

闭暗箱。待荧光液准备完毕后,将水泵导管插入对应装有荧光液和纯净水的烧杯中并且固定。然后,接通激光叠层计时表盘(已装填各类胶体)和电泳装置[已经装填 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体和饱和KCl缓冲液]的电源。当阴极附近的胶体液面下移并出现丁达尔效应时,光敏电阻开关感光打开,水泵开始将荧光液和纯净水泵入暗箱内的烧杯中[装有 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体]。当液体到达烧杯的3/4刻度时关闭光敏开关,同时打开所有搅拌器,搅拌5 s后关闭。最后进行实验探究。当烧杯中的荧光强度不再发生变化时,打开暗箱倒出实验废液,清洗实验装置。

2 实验研究结果

2.1 电泳现象

由于采用较小尺寸的Y型管缩短了两极间距离,提高了电泳速率;通过将Y型管倒立放置,使原来(采用正立U型管)阻碍胶体粒子向上移动的重力转变成促进胶体向下移动的动力。实验结果表明,在电极两端接入25 V直流电源,经2~3 min后,即可观察到阳极管内的胶体液面向上迁移,阴极管内的胶体液面向下迁移。

当两电极通电以后,由于胶体粒子带正电,随着电泳的进行,Y型管中阴极附近的胶体粒子会下移进入缓冲液中,使缓冲液的颜色逐渐变红,产生丁达尔效应,自动触发光敏电阻的开关,进入胶体吸附现象的演示和探究。

2.2 吸附现象

胶体质点因表面积大,具有很大的表面能,需吸附其他物质,才能降低其表面能达到稳态。明矾固体溶于水后会很快发生电离,电离出的 Al^{3+} 会和水发生反应生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体,该胶体具有强吸附性,能吸附水中的杂质颗粒生成沉淀,从而实现净水的功能。为了形象演示胶体吸附现象的具体过程,采用日常生活中常见的明矾净水实验,同时,为了使实验现象明显,用荧光液代替污水,并将所有吸附装置放置在暗箱内。实验前,在暗箱前面安装手机摄像,这样可以利用黑暗环境中的荧光发光效果,清晰地观察到明矾净水的全过程。

实验时将明矾固体溶于500 mL纯净水,配置成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体,再将 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体分别取出40 mL放入5个小烧杯中等待吸附。图7显示

了荧光液被胶体吸附的全过程,从左到右分别表示开始泵入、注入完毕、搅拌液体、停止搅拌、吸附开始、吸附结束。

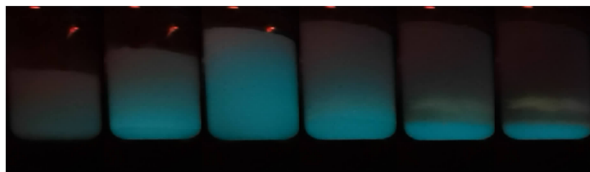
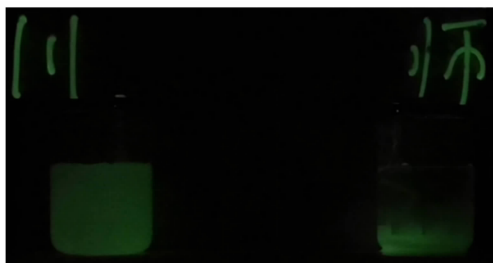
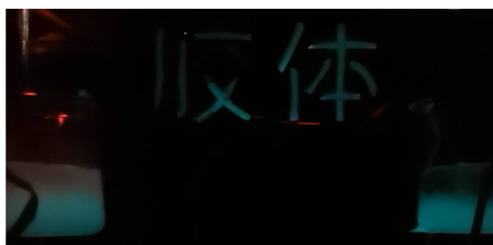


图 7 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体吸附荧光粉的过程

为了增加趣味性,将注入水管设计成不同图案,如图 8 所示,实验过程中显示了“川师”和“胶体”字样。



(a) 川师



(b) 胶体

图 8 泵入荧光液过程中设置的图案

在暗箱的烧杯中,相同时间内通入相同容量的荧光液和纯净水. 利用浊度传感器研究了 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体对不同颗粒大小的杂质(荧光粉)的吸附效果。

浊度随时间变化如图 9 所示,横轴表示从通入荧光液开始的时间(由激光叠层计时表盘记录数据),纵轴表示烧杯中溶液的浊度(由浊度检测器记录数据)。

由图 9 和表 1 可知,当荧光粉颗粒的粒径为 $18\ \mu\text{m}$ 和 $23\ \mu\text{m}$ 时,溶液的浊度达到最大值用时约 $70\ \text{s}$ (最大浊度值分别为 $504\ \text{mg/L}$ 和 $497\ \text{mg/L}$). 随着吸附的进行,当时间到达 $170\ \text{s}$ 和 $155\ \text{s}$ 时,浊度最小,分别为 $250\ \text{mg/L}$ 和 $200\ \text{mg/L}$,即净水过程分别用时 $100\ \text{s}$ 和 $85\ \text{s}$. 当颗粒粒径增大为 $38\ \mu\text{m}$ 和 $75\ \mu\text{m}$ 时,在较短时间($45\ \text{s}$ 和 $50\ \text{s}$)达到浊度最大值(最大浊度值分别为 $474\ \text{mg/L}$ 和 $501\ \text{mg/L}$),通过 $110\ \text{s}$ 吸附后,净水过程完成,浊度达到最小值($170\ \text{mg/L}$). 实验结果表明:随着荧光颗粒(杂质)尺寸的增大($38\ \mu\text{m}$ 和 $75\ \mu\text{m}$), $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体完成吸附的时间相同,且溶液的浊度均达到最小值($170\ \text{mg/L}$),接近纯净水的浊度值($165\ \text{mg/L}$). 由此可知, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体的吸附效应随荧光颗粒尺寸的增大存在饱和现象. 因此,该装置可以直观观察到胶体吸附杂质的过程,并定量分析胶体吸附效应与杂质颗粒粒径大小的关系。

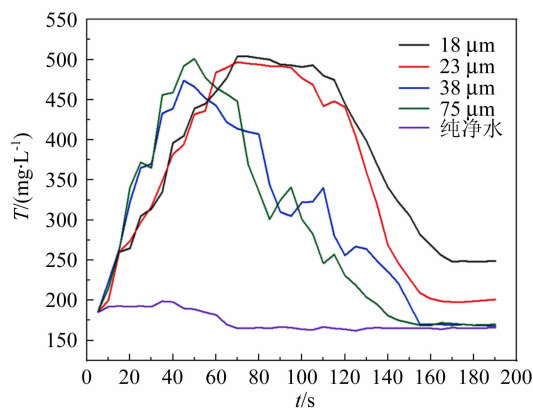


图 9 不同粒径大小的荧光液和纯净水的浊度随时间变化

表 1 明矾净水过程中,杂质直径 D 与吸附过程对比表

液体种类	$D/\mu\text{m}$	t/s		$T/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	
		泵入到浊度最大	吸附过程	最大值	吸附完成后
荧光液	18	70	100	504	250
	23	70	85	497	200
	38	45	110	474	170
	75	50	110	501	170
纯净水	—	—	—	—	165

2.3 丁达尔效应

光在传播过程中照射到微粒时,如果微粒粒径小于入射光的波长,则会发生光的散射,这时可观察到光波环绕微粒而向其四周发射的散射光,因此丁达尔效应属于光的散射现象。当光束透过微粒直径为 $1\sim 100\text{ nm}$ 的胶体时,从垂直于入射光方向观察,可以看到胶体中出现 1 条光亮的“通路”。这条“通路”的形成是由于溶胶粒子一般不超过 100 nm ,小于可见光波长($400\sim 700\text{ nm}$),从而当可见光透过溶胶时产生丁达尔效应。而对于溶液,由于分子或离子粒径更小,且散射光的强度会随散射粒子体积的减小而明显减弱,从而不会产生丁达尔效应。因此,在日常生活中,可以利用丁达尔效应来区分胶体和溶液。

此外,散射光的强度还随分散体系中粒子浓度和颗粒大小等因素的改变而改变。在丁达尔效

应中,通过胶体的散射光强度可以用瑞利散射公式表示为

$$I = \frac{9\pi^2 V^2 C}{2\lambda^4 R^2} \left(\frac{n^2 - n_0^2}{n^2 + 2n_0^2} \right) (1 + \cos^2 \theta) I_0,$$

其中, I_0 为入射光强度, θ 为观察方向与入射光方向的夹角, I 为 θ 方向上、散射距离为 R 处的散射光强度, n 和 n_0 分别为分散相粒子和分散介质的折射率, C 为粒子数密度, V 为每个分散相粒子的体积, λ 为入射光波长。

为了定性探究散射光强度与胶体的种类和浓度之间的关系,分别用红色、绿色和蓝紫色激光笔照射不同浓度的胶体,观察其丁达尔效应,同时由马达带动圆盘转动计时。如图 10 所示,不同种类、不同浓度的胶体经波长不同的激光笔(依次为红色、绿色、蓝紫色)照射,发生不同现象的丁达尔效应。

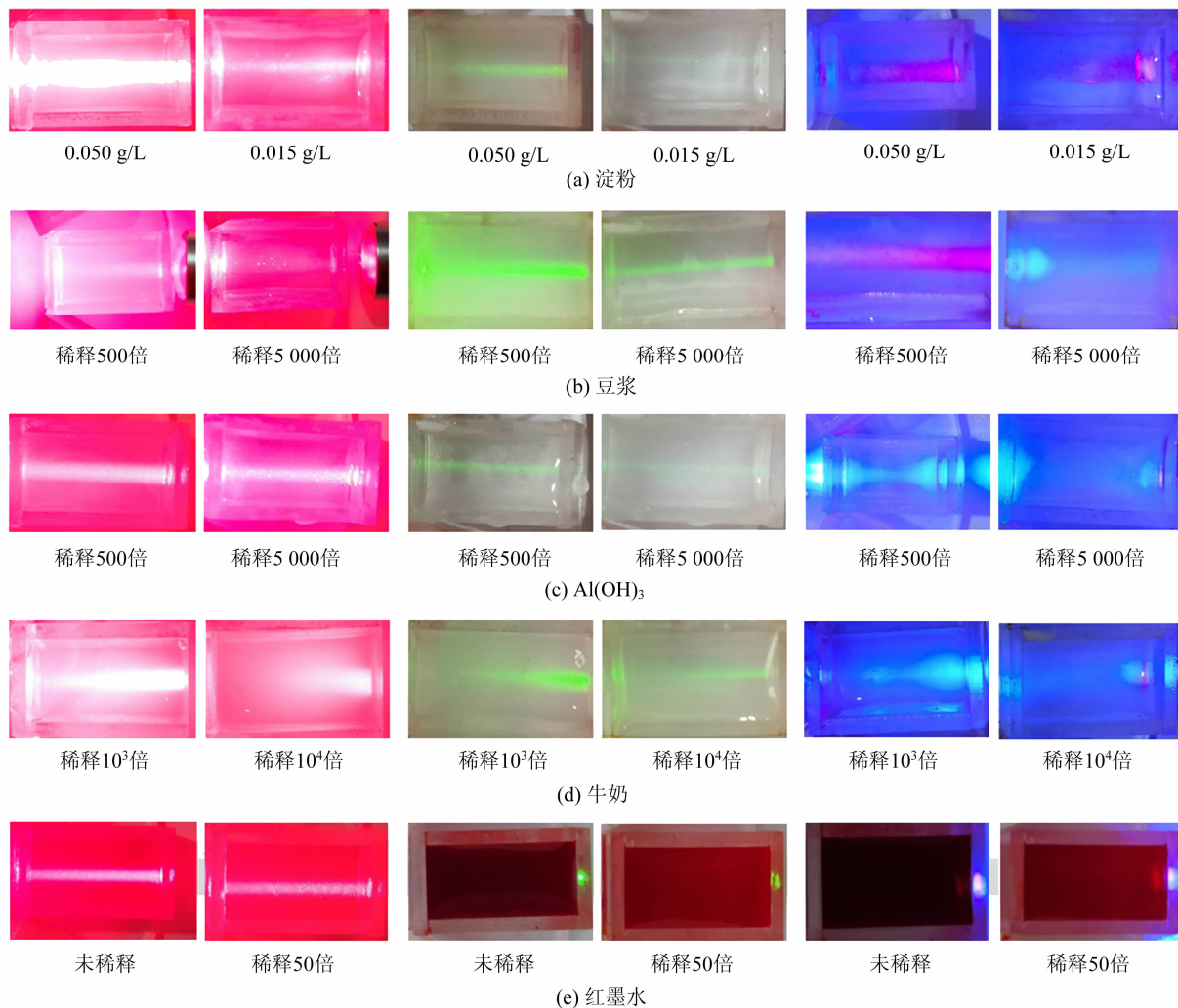


图 10 不同种类、不同浓度的胶体在不同波长激光的照射下产生的丁达尔效应

可以看出,同一胶体情况下,同一波长的激光入射,胶体浓度越大,丁达尔效应光通路越亮,即散射光强度越大.该结论可以从瑞利散射公式得到解释,对于同一波长的入射光,当入射光强度、观察方向与入射光方向的夹角、分散介质的折射率、分散相粒子的体积相同时,浓度越大,其折射率和数密度越大,因此,其散射光的强度越大.

3 结束语

多功能胶体实验演示装置将胶体的电泳现象、吸附现象和丁达尔效应进行了交叉融合,此装置有效改进了传统胶体性质演示实验装置的演示现象单一、演示时间长等不足.在电泳现象演示实验中,创新设计了光敏电阻开关,能自动触发、启动吸附现象演示实验的开启.同时,优化了实验条件(设备更加小型化、驱动电压更低、电泳现象的产生时间更短).

参考文献:

- [1] 肖文敏. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体电泳实验的改进研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2012, 28(14): 3-5.

- [2] 韩锡光,李秋艳. 大学物理化学实验“胶体电泳”的改进研究[J]. 大学教育, 2017(11): 84-86.
 [3] 阮秀琴,尹家卉. 氢氧化铁胶体制备与性质实验的改进[J]. 化学教育, 2015, 36(10): 29-31.
 [4] 罗家康. 胶体电泳最佳实验条件探究[J]. 课程教育研究, 2015(7): 225.
 [5] 严宣申. 关于明矾净水[J]. 化学教育, 2003(5): 42.
 [6] 蒋贤斌. 明矾净水实验的探究[J]. 中学教学参考, 2009(32): 129.
 [7] 张绪军. 利用自制“光路探究演示器”优化丁达尔实验[J]. 实验教学与仪器, 2018, 35(5): 57-58.
 [8] 刘文. 一组家庭胶体实验[J]. 化学教与学, 2019(4): 93-94.
 [9] 张瑶,邹光素,钟雪莲,等. 丁达尔效应及胶体教学的新探究[J]. 广东化工, 2019, 46(12): 203-204.
 [10] 梁卉. 城市地表径流胶体与重金属协同污染及下渗迁移行为研究[D]. 北京:北京建筑大学, 2020.
 [11] 熊辉,梅付名,王宏伟,等. 胶体性质实验的综合设计与实践[J]. 实验科学与技术, 2015, 13(1): 21-24.
 [12] 谭文生. 妙用三通管改进化学实验[J]. 实验教学与仪器, 2011, 28(9): 27-28.

Fabrication of the multi-functional colloid demonstrator and colloid properties

SUN Ye-wu¹, KANG Yi¹, ZHOU Ya-ling¹, LIU Ai-yun², TANG Ming-jun¹

(1. Laboratory of Micro-Nano Optics, School of Physics and Electronic Engineering, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China; 2. Center of School State-owned Assets and Educational Equipments, Education Department of Sichuan Province, Chengdu 610213, China)

Abstract: The multi-functional colloid demonstrator was designed, which could demonstrate electrophoresis, adsorbability and Tyndall effect simultaneously. The electrophoretic rate of colloid was investigated by using an inverted Y-shaped tube. The adsorption device was placed in a dark box, where the impurity particles were replaced by the phosphor, the adsorption capacity of $\text{Al}(\text{OH})_3$ colloid for different-size granular impurities was explored. And the whole process of colloid adsorption could be visualized. A rotating dial plate was used to demonstrate the Tyndall effect, and the intensity of the Tyndall effect produced by the same wavelength laser according to different kinds and different concentrations of colloid was investigated qualitatively.

Key words: colloid; electrophoresis; adsorbability; Tyndall effect

[责任编辑:任德香]