

基于光线传感器的手机光度计设计与应用

奚忠华*, 孔璇凤, 余晓冬, 章文伟

化学国家级实验教学示范中心(南京大学), 南京 210023

摘要: 利用智能手机的光线传感器设计了一款简易光度计, 并为其开发了安卓手机应用, 可以在线查看样品信号, 自动计算吸光度值。此款简易光度计采用了液相色谱紫外检测器的流通池作为样品吸收池, 利用光纤传导光信号, 可以大幅降低试剂使用量。进行一次测试只需要使用约200 μL 样品, 有效降低了实验室废液回收量。利用该光度计对铁离子标准溶液进行测定, 在测定浓度范围内, 吸光度与样品浓度具有良好的线性拟合关系, 其中 $R^2 = 0.9991$, 可取代化学实验中的传统分光光度计。利用该光度计进行实验可以强化学生对仪器和实验原理的理解, 有利于培养创新意识。

关键词: 光度计; 光线传感器; 手机; 铁

中图分类号: G64; O6-339

Design and Application of Mobile-Phone Photometer Based on Light Sensor

Xi Zhonghua *, Kong Xuanfeng, Yu Xiaodong, Zhang Wenwei

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Nanjing University), Nanjing 210023, P. R. China.

Abstract: By using the light sensor of smartphone, a simple photometer was designed. Also, an Android APP was developed to show the online signal and calculate the absorbance automatically. This photometer uses a flow cell of HPLC UV-detector as sample absorption cell and an optical fiber to transfer the light signal. The mobile-phone photometer can greatly reduce the amount of reagents used. Only 200 μL sample is needed to run a test, which effectively reduces laboratory waste. There is a good linear relationship with R^2 value 0.9991 while using the photometer to measure the iron ion standard solution, which means it can replace the traditional spectrophotometer in chemical experiments. Students can enhance their understanding of the instrument principles and inspire their creativity by using this DIY photometer.

Key Words: Photometer; Light sensor; Mobile phone; Iron

分光光度法是化学实验中常用的一种检测方法。为了更好地帮助学生理解仪器的原理和结构, 部分高校开始使用 DIY (do it yourself) 仪器的方式进行实验教学^[1-3]。随着智能手机的普及, 利用智能手机传感器搭建各类仪器也有了报道, 其中最常用的就是手机相机^[4-7]和光线传感器^[8,9]。

本文利用 LED 光源、紫外检测器流通池和光纤配合智能手机光线传感器搭建了手机光度计, 其本质是一台单光源、单波长、单光束的光度计。该光度计通过专门开发的手机 APP 来采集数据。在 Fe(II) 离子标准溶液的测试中, 仪器有着良好的线性响应, R^2 为 0.9991。

收稿: 2018-06-22; 录用: 2018-06-27; 网络发表: 2018-07-09

*通讯作者, Email: xizh@nju.edu.cn

基金资助: 江苏省高等教育教改研究课题(2017JSJG089); 南京大学“十三五”实验教学改革研究重点课题(SY201703); 南京大学 2016 年度重点教改课题(201614B2)

1 光度计构造与实验方法

1.1 仪器硬件结构

硬件器材：市售 LED 单色小灯(多色可选，本文选用绿色 LED 灯)，岛津液相色谱紫外检测器流通池，毛细管电泳仪信号传输光纤，智能手机(华为 G7)，1 mL 一次性微量注射器，10 mL 样品管，50 mL 烧杯。

仪器的设计基于朗伯-比尔(Lambert-Beer)定律，其主体结构如图 1(a)所示。10 mL 样品管盖子开孔后固定在流通池左侧，LED 单色小灯作为光源放入样品管固定；光纤用于传导光信号，其两端分别固定在流通池右侧和手机光线传感器上；手机 APP 作为信号采集工具。仪器工作时，样品通过注射器导入检测池，废液从出口流入烧杯收集回收。

1.2 软件设计

光度计 APP 是使用 Android Studio 开发的安卓手机应用，主要功能是利用手机光线传感器实时获取光强数据并进行吸光度计算和显示。其界面如图 1(b)所示，其中上半部分为 SurfaceView 组件，用于实时绘制信号曲线，下半部分使用 ListView 组件显示采集到的数据。

APP 界面中的“在线信号”按钮用于绘制信号曲线，点击按钮开始绘制，而“停止”按钮则用于暂停绘制。实时信号曲线能够直观地显示光强信息，有利于对光度计性能进行实时判断。

设计的光度计与商品化的仪器相比，没有专门的参比样品做对照，因此实验前须使用空白样品进行校准，通过点击“校准”按钮进行空白样品校准。点击“读取”按钮可以读取被测样品的光强，计算吸光度并将数据显示在 ListView 组件中。吸光度的计算通过公式 $A = \lg(I_{in}/I_{out})$ 计算，其中： A 为吸光度； I_{in} 为测试空白样品所得光强度； I_{out} 为测试样品所得光强度。“重置”按钮用于清除测试数据，开始新测试。

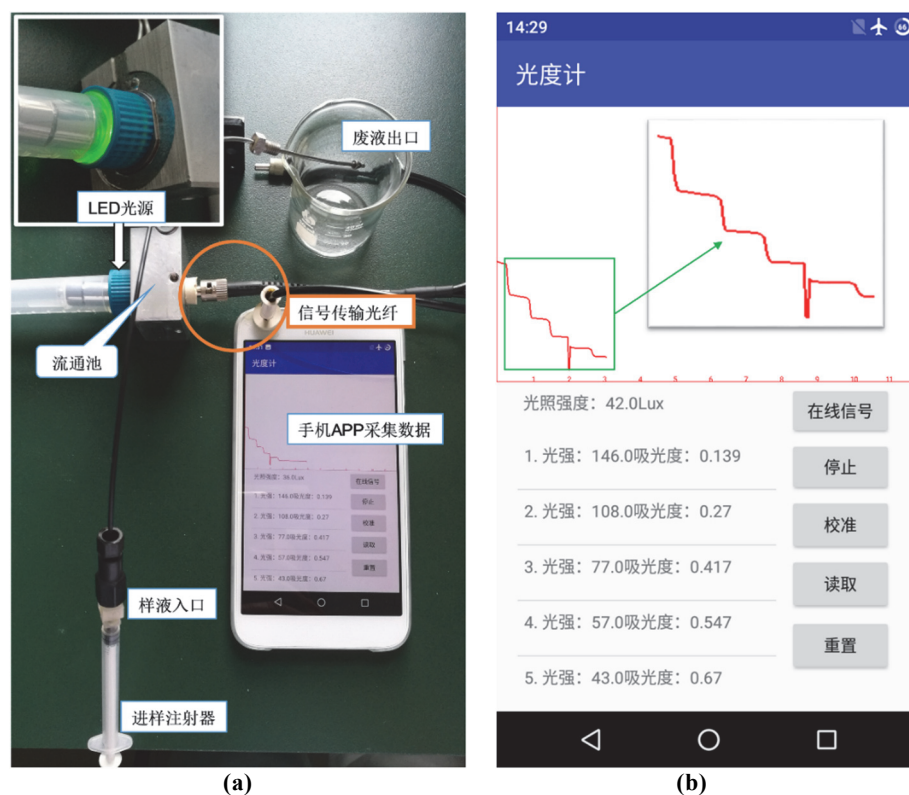


图 1 手机光度计结构图(a)和光度计 APP 运行界面(b)

1.3 实验验证

光化学还原-分光光度法测量水中总铁含量是一个经典的仪器分析实验^[10]。本文以此实验来验证自制的光度计的检测效果。

1.3.1 原理

通过光照可以代替还原剂将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} , Fe^{2+} 在溶液中与 1,10-二氮菲生成稳定的红色配合物, 其最大吸收波长约 510 nm, 因此可以采用分光光度法测定其吸光度。由于 510 nm 波长处光为绿色光, 故自制光度计光源选用 LED 绿光单色灯。在反应体系中加入适量的柠檬酸三钠溶液可以促进光化学还原的进行。

1.3.2 仪器与试剂

仪器: 自制手机光度计, 光照箱, 1000 μL 移液器, 2 mL 样品管, 10 mL 样品管。

试剂: 100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ Fe^{3+} 标准溶液(十二水合硫酸铁铵配制), 0.15% 1,10-二氮菲, 5% 柠檬酸三钠, 1 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钠, 以上溶液配制均使用超纯水, 所用试剂皆为分析纯。

1.3.3 实验

用移液器分别移取 120 μL Fe^{3+} 标准溶液、400 μL 0.15% 1,10-二氮菲溶液、600 μL 5% 柠檬酸三钠溶液、1000 μL 1 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钠、7880 μL 超纯水于 10 mL 样品管中, 混合均匀后, 放入光照箱中光照 15 min, 取出冷却。分别移取 200、400、600、800 和 1000 μL 冷却后反应液至 2 mL 样品管, 不足 1000 μL 的样品用超纯水定容至 1000 μL , 得到不同浓度的标准溶液。

打开绿色 LED 小灯, 装入样品管并固定至光度计。LED 小灯在打开初期光强会快速衰减, 通过光度计 APP, 观察光强信号变化, 等待光强衰减至稳定期后用注射器注入纯水。信号稳定后, 点击“校准”按钮进行校准, 然后用注射器按照浓度从低到高的原则依次吸取 200 μL 标准样品注入到吸收池, 记录吸光度。

2 结果与讨论

2.1 标准曲线

以标准溶液吸光度为纵坐标, 二价铁浓度为横坐标作图, 得到标准曲线, 如图 2 所示。在测试的浓度范围内, 吸光度与二价铁离子浓度有着良好的线性关系, 表明自制的手机光度计满足朗伯-比尔定律, 可以用来进行定量分析实验。

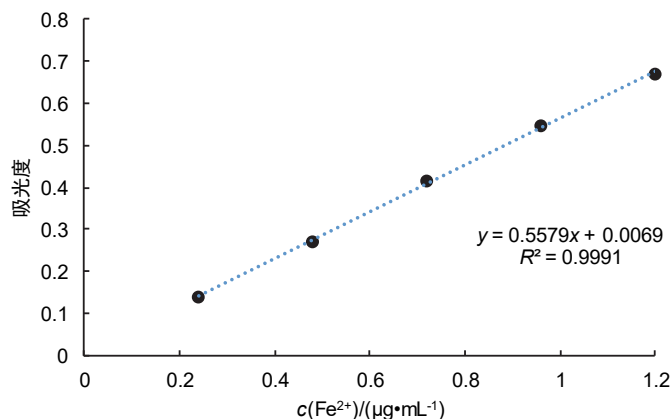


图 2 铁离子光化学还原反应液手机光度计检测标准曲线图

2.2 试剂用量

由于采用的流通池内部体积小(加上连接管道总共约 50 μL), 故每个样品测量消耗试剂量仅为

200 μL , 文中配制的 1 mL 标准溶液可以满足 5 次测试, 相比教材中 50 mL 的试剂配制量, 大大降低了产生的实验废液量。由于光纤能够将透射光有效传输到手机光线传感器, 使得试剂用量的减少没有影响到信号的响应。特别需要指出的是, 在进样过程中应尽量避免气泡进入体系, 否则会出现如图 1(b)中所示的信号波动, 严重时可能干扰实验结果。

2.3 测试时间

从图 1(b)中可以看出, 5 个标准样品的测试所需时间仅为 3 min。传统实验中使用比色皿装样, 每次更换样品需要荡洗比色皿, 在这么短时间内很难完成样品测试。测试中所用 LED 光源存在明显的能量衰减, 即使到了稳定阶段也存在小幅度能量下降。根据能量降低程度, 由吸光度公式可以计算出 3 min 时间内能量衰减对于测试结果的影响程度在 1%–2%左右, 在可接受的范围内。要获得更精确的数据, 有两种方法可供参考: 1) 测量光强随时间的衰减数据, 以此对原始数据进行校准; 2) 对每一个浓度的样品进行单独校准, 但这增加空白样的测量次数, 使得测量时间延长。

2.4 光度计特点

手机光度计没有采用光栅分光, 因此在光源选择上只能采用单色 LED 灯或者低功率激光。本文设计的手机光度计是一个单光源、单光路的系统, 与商品化仪器相比, 在测量精度上会存在一定不足。由于光信号采用了光纤传导, 可以很大程度上减少外界杂散光对系统的影响, 故本光度计不需要放置在黑盒子中测量, 体积小巧便携, 有一定的实用性。

2.5 教学实验可行性分析

综上所述, 手机光度计的测量结果、测试时间等能够满足教学实验需要。与传统实验相比, 增加了本科实验很少使用的移液器配制微量标准溶液的内容, 可以让学生掌握科研和工作中常用的移液器的基本操作。与商品化仪器直接开机使用相比, 学生自己动手搭建光度计可以让他们更好地掌握仪器的基本原理和结构, 加深对实验的理解。使用手机光度计进行实验还可以大大降低废液量, 使得实验更加环保, 符合目前实验教学的改革方向。除可替代传统教学实验外, 手机光度计还具有很好的开放性, 针对硬件和软件可进行不同的功能提升和扩展, 亦适合作为开放实验课题。

3 结语

基于光线传感器的手机光度计, 其性能可以满足教学的基本要求。仪器使用的流通池和光纤有价格便宜的国产替代品, 配合智能手机可以用极低的成本搭建一个满足教学实验需求的光度计, 以此光度计进行实验还能有效降低实验室废液产生量, 使得实验更加绿色环保。采用 DIY 实验仪器这种方式进行实验教学可以改变以往分光光度法实验给人枯燥无味的感觉, 提升学生对于实验的参与感, 有利于创新意识的培养。

参 考 文 献

- [1] Albert, D. R.; Todt, M. A.; Davis, H. F. *J. Chem. Educ.* **2012**, 89 (11), 1432.
- [2] Asheim, J.; Kvittingen, E. V.; Kvittingen, L.; Verley, R. *J. Chem. Educ.* **2014**, 91 (7), 1037.
- [3] Diawati, C.; Liliyasi, Setiabudi, A.; Buchari. *J. Chem. Educ.* **2018**, 95 (3), 468.
- [4] Grasse, E. K.; Torcasio, M. H.; Smith, A. W. *J. Chem. Educ.* **2016**, 93 (1), 146.
- [5] Kuntzleman, T. S.; Jacobson, E. C. *J. Chem. Educ.* **2016**, 93 (7), 1249.
- [6] Dangkulwanich, M.; Kongnithigarn, K.; Aurnoppakhun, N. *J. Chem. Educ.* **2018**, 95 (1), 141.
- [7] 王军, 王振亚, 陈宝华, 吴泉英, 朱爱敏. 实验室研究与探索, **2018**, 37 (2), 87.
- [8] 刘琳琳, 马青, 杨天林. 实验技术与管理, **2016**, 33 (12), 60.
- [9] Hosker, B. S. *J. Chem. Educ.* **2018**, 95 (1), 178.
- [10] 张剑荣, 余晓冬, 屠一锋, 方惠群. 仪器分析实验. 北京: 科学出版社, 2009: 67–70.