• 自学之友 •

doi: 10.3866/PKU.DXHX202002040

www.dxhx.pku.edu.cn

重金属离子化学性质教学 App 的开发与使用

李婉¹, 陈林², 陈迪², 卞真伟², 朱平平^{1,*}¹ 中国科学技术大学化学实验教学中心, 合肥 230026² 安徽学舟软件科技有限公司, 合肥 230088

摘要: 结合移动互联网技术, 开发了一款针对重金属离子化学性质的教学 app, 以解决元素化学教学中重金属化合物知识点繁杂零散、反应方程式多、讲授枯燥、学生需要死记硬背的问题。该款 app 让学生得以直接观察到重金属离子与碱、常见阴离子之间的反应, 并经过归纳和总结, 建立起化合物、反应现象与化学性质之间的联系, 之后通过随机测试巩固并加深学生对知识的运用。该款 app 容量小, 功能明确, 界面简洁, 操作简单, 既可用于辅助无机化学元素部分的理论课教学, 也可以用作实验教学项目。

关键词: 元素化学; 重金属离子; 化学反应性质; 教学 app

中图分类号: G64; O6-0

Development of Educational App on Chemical Reactivity of Heavy Metal Ions

Wan Li¹, Lin Chen², Di Chen², Zhenwei Bian², Pingping Zhu^{1,*}¹ Chemistry Experiment Teaching Center, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, P. R. China.² Xuezhou Software Technology Company of Anhui, Hefei 230088, P. R. China.

Abstract: Using mobile internet technology, a smartphone application (app) on chemical reactivity of common heavy metal ions was designed and exercised. The app enables students to access a variety of chemical reactions between heavy metal ions and bases as well as anions commonly used in chemistry laboratory, aiming at facilitating students' ability to summarize and memorize the chemical reaction characteristics of these heavy metal ions. A random quiz is then made to enhance the understanding and using of knowledge. The app can be used for either in-class or laboratory teaching.

Key Words: Element chemistry; Heavy metal ion; Chemical reactivity; Educational app

无机化学课程包括化学原理和元素化学两部分内容, 其中元素化学涉及元素周期表各个区的元素及其化合物的化学性质学习, 是化学学科发展的重要基础^[1,2]。与主族元素相比, 副族元素种类更多, 而且由于具有不同的价层 *d*、*f* 轨道, 副族元素化合物的化学性质差异大, 涉及众多化学事实和反应方程式, 知识点繁杂零散, 规律性不强, 学生要靠死记硬背方能记住。

化学学科是现代社会发展的基础, 其中重金属化合物在工业、材料、能源等领域具有举足轻重

收稿: 2020-02-18; 录用: 2020-02-26; 网络发表: 2020-03-18

*通讯作者, Email: zhupp@ustc.edu.cn

基金资助: 2018 中科大虚拟仿真实验建设项目(2018xjyxm36)

的影响, 比如 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ag^{+} 、 Cd^{2+} 、 Hg_2^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 等离子, 在钢铁、电池、轻工业等行业中都发挥有重要作用, 需要从业者熟悉掌握各离子的化学性质。同时由于大部分重金属离子具有毒性或污染性, 不适合面向本科生开设相关的化学实验。如何改进元素化学教学, 尤其是重金属化合物的理论和实验课程教学, 帮助学生掌握扎实的化合物性质知识, 一直是化学教学工作努力的方向^[3,4]。

智能手机的普及以及移动网络的扩展为内容丰富的 app 应用提供了良好的实现平台^[5,6]。如何借助互联网技术的发展, 将学生从繁杂的化合物性质罗列和枯燥的死记硬背中解脱出来? 能否让学生在课堂上即时观察精彩纷呈的化学反应, 从而更好地归纳和总结不同化合物的性质与反应特点? 2015 年中国科学技术大学无机化学实验课程组设计开设了“无机化合物的性质与鉴定”虚拟实验(I)^[7], 帮助学生掌握常见无机酸、碱、盐的化学性质与反应规律。在此基础上, 2018 年我们针对重金属离子开发了“无机化合物的性质与鉴定”虚拟实验(II), 并制作了手机 app, 以辅助重金属离子的理论与实验教学, 本文将详细介绍该 app 的功能与特点。

1 主体架构及主要开发技术指标

该款 app 由中国科学技术大学无机化学实验课程组设计, 安徽学舟软件科技有限公司制作完成, 主体架构及主要开发指标如表 1 所示。该 app 包括 Android 和 iOS 两个操作系统版本, 其中基于 iOS 的版本可用于 iPhone、iPad 以及 iPod touch。

表 1 app 的主要开发技术指标

功能模块	系统架构	Android 版本	iOS 版本
学习与测试模块	开发语言	Java (JDK 1.7)	OBJECT-C
	开发工具	Android Studio 3.4.2	Xcode11
	系统要求	Android 4.4 及以上系统	iOS 7.0 以上
	设计模式	MVC	MVC
	网络框架	Volley	
	视频播放框架	GSYVideoPlayer	NEPlayer
	Matrix 矩阵框架	Adaptive TableLayout	
	安装包大小	6.38 M	11.8 M
后台管理模块	开发语言	.Net	
	开发工具	Visual Studio 2010	
	采用的数据库	SQL Server 2008 R2	
	带宽要求	4 M 以上	

2 功能模块介绍

2.1 登录

扫描图 1 所示的二维码, 下载 app 并安装。安装包容量如表 1 所示, Android 手机仅为 6.38 M, iOS 为 11.8 M。

安装后进入如图 2 所示的登录页面, 选择级别 II, 对应于重金属离子的学习。学生通过自己的学号登录系统, 也可以使用 test 账号登录。但如果采用 test 账号, 教师无法对该学生的成绩进行管理和分析。

登录后进入系统的主页面, 如图 3 所示。主页面由英语写成, 内容清晰明了, 包括该虚拟实验的教学目的、实验背景、学习模块以及测试模块。

Android操作系统
二维码 iOS操作系统
二维码

图2 登录页面

图3 主页面

图1 基于不同操作系统的
app 二维码

2.2 学习模块

在主页面上点击“Matrix of Known Reagents”，进入学习模块。如图4所示，学习模块页面为一个矩阵，其中竖栏为重金属化合物，含有 Cr^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Ag^+ 、 Cd^{2+} 、 Hg_2^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 等14种常见重金属离子。横栏的化合物有 NH_3 和 NaOH 两种碱，以及含有 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 S^{2-} 、 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 等6种常见阴离子的钠盐。

(a)

(b)

(c)

图4 学习页面

(a) 化合物矩阵; (b) 化学反应视频; (c) 静态溶液图像
电子版为彩图

点击矩阵中的试管图标 ,就能观看学习竖栏的重金属化合物与横栏的化合物之间的化学反应。比如点击图 4(a)中 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 右边的第二个图标,即可观看 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 与 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 溶液之间的反应视频^[8]。如图 4(b)所示,该反应生成大量橙黄色 HgO 沉淀。顺序点击各个试管图标,就能观察到各重金属离子与碱和常见阴离子之间的特征反应,将枯燥的反应方程式生动形象地呈现出来,帮助学生掌握和记忆。如果直接点击横栏和竖栏上的化合物名称,则出现该化合物的溶液图像。如图 4(c)所示,点击 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$,则出现 Ni^{2+} 的特征果绿色溶液。很多重金属离子具有颜色,通过这一步学习可以帮助学生建立溶液颜色与离子之间的逻辑关系。

学生在观看反应视频的同时要记录观察到的现象,并汇总成表格,表头如表 2 所示。通过完成这个表格,学生可以对每个离子的化学反应性质进行横向的总结以及纵向的比较,从而对各离子化学性质的相似点和不同点形成完整的认知。

表 2 反应现象汇总表表头

	NH_3	NaOH	Na_2CO_3	Na_2SO_4	Na_2S	NaCl	NaBr	NaI		Color of solution
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$									$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	
$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$									$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$	
$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$									$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	

2.3 测试模块

学生掌握了学习模块涉及的知识点后,点击主页面上的“Start Quiz”即可进入随堂测试模块。如图 5(a)所示,系统将随机抽取一套试题,出现一个未知化合物的矩阵,其中包含有 10 种未知阳离子和 5 种未知阴离子。学生点击未知物名称或矩阵中的反应框,即可观看各种离子的溶液颜色以及相互间的化学反应视频,同时填写完成关于未知化合物的反应现象汇总表。学生根据之前学习形成的化合物和化学性质的认知,分析鉴别出这 15 种未知离子的名称。测试过程仿照传统考试设计,答题页面如图 5(b)所示。学生在答题过程中可以重复回看反应视频,对答案进行修改。答题限制在 2 小时内,超时后系统会自动提交。

图 5 测试页面

(a) 考试题; (b) 答题页面; (c) 评分页面

学生提交答案后, 系统自动评分给出测试结果, 如图 5(c)所示。学生可以根据自己的答题情况重新学习相关化合物知识, 再次测试以提高分数。

2.4 后台管理系统

该 app 配套有后台管理系统, 如图 6 所示, 方便教师对学生的学学习过程及测试成绩进行管理和分析。开课将学生的姓名与学号以班级为单位批量导入系统, 输入对应的老师、助教信息及使用时间, 构成虚拟班级。之后老师可以随时查看本班学生的登陆情况, 分析学生测试分数及答案明细, 了解学生主要的出错点, 从而进行针对性的补充讲解。

序号	Quiz编号	学生	学号	助教	DayOfWeek	提交时间	分数	提交明细
11	3883	申庭嘉	PB19000181	Amir	Sunday	2019-10-24 20:44:27	52	提交明细
12	7366				Sunday	2019-10-24 20:35:24	56	提交明细
13	0776				Sunday	2019-10-24 00:35:10	56	提交明细
14	2145				Sunday	2019-10-23 21:47:32	44	提交明细
15	1613				Sunday	2019-10-23 21:41:11	60	提交明细
16	1157				Sunday	2019-10-23 20:29:36	60	提交明细
17	6684				Sunday	2019-10-23 20:20:46	60	提交明细
18	1952				Sunday	2019-10-23 19:50:46	60	提交明细
19	4057				Sunday	2019-10-22 21:17:10	60	提交明细
20	2540				Sunday	2019-10-22 15:00:05	56	提交明细

图 6 后台管理系统

3 使用流程及特点

该款 app 的使用流程如图 7 所示。

图 7 App 使用流程

该 app 既可用于无机化学理论课教学,也可用作实验教学项目,在教学上具有如下特点:

① 将书面的化学反应立体化。

化学学科的发展是建立在对化学反应现象充分观察基础上的。金属离子,尤其是重金属离子与常见阴离子之间的反应涉及沉淀、酸碱、配位、氧化还原等多种反应类型,涉及的反应现象和化学方程式庞杂、零散,记忆困难。该 app 的推出将抽象的化学反应具体化、形象化,有助于改变枯燥的知识点罗列授课方式,提高学生学习兴趣,加深对重金属离子化学性质的理解和记忆。

以汞的化合物为例, Hg_2^{2+} 和 Hg^{2+} 是涂料、化妆品、食品等轻工业产品必需的检测指标。在本 app 中,学生可以清楚观察到 Hg_2^{2+} 、 Hg^{2+} 发生的化学反应。从反应视频中可以看到 Hg_2^{2+} 和 Hg^{2+} 与 NH_3 、 NaOH 、 Na_2CO_3 的反应均生成黄色的 HgO 沉淀,与 NaS 反应均生成黑色的 HgS 沉淀,与 SO_4^{2-} 、 Br^- 、 I^- 的反应现象也比较类似。但在和 Cl^- 反应时, Hg_2^{2+} 溶液中出现白色浑浊,发生反应如下:

而将 Cl^- 加入到 Hg^{2+} 中,溶液保持清澈,没有反应发生。据此学生可以了解到 Cl^- 能被用来区分 Hg_2^{2+} 和 Hg^{2+} 两种离子。通过该 app 的学习,加深学生对重金属离子化学性质的认识及分析鉴别能力,同时避免了开设重金属离子实验的毒性和污染性问题,实现课堂的绿色化。

② 将反应特征放大化。

在实际的化学反应中,由于溶液的浓度、pH、反应速度等因素的影响,很多化学反应的特征现象不一定能够观察到。而在 app 中化学反应的细节被放大,学生能够反复观察反应历程,充分掌握相关知识点。比如 Hg^{2+} 与 NaOH 的反应,如图 4(b)所示,反应生成黄色的 HgO 沉淀。如果仔细看反应视频,会发现沉淀先是淡黄色,逐渐转为橙黄色。我们知道 HgO 晶体的颜色与其颗粒大小有关,随着沉淀的增多,晶体发生聚集尺寸加大,因此 HgO 逐渐由黄色转向微红色。这种反应细节的放大化方便学生将碎片化的知识点与元素的化学性质结合起来,完善自己的知识体系。

③ 将繁杂零散的知识点整合化。

在本 app 中,各化合物按照所含金属离子在元素周期表中的顺序进行排列,例如将铁系元素的离子 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 排列在一起,学生顺序观察各阳离子与碱、卤素阴离子的反应,填写“反应现象汇总表”。横向汇总形成对该金属离子完整化学性质的认知;而纵向比较则可以找出铁系元素化合物化学性质的规律性以及差异性。经过这一“观察-汇总-比较”的过程,让学生从一个个具体的化学反应,在脑海里逐渐建立起化合物、反应现象与化学性质之间的联系。之后通过随机测试对未知阴阳离子进行分析判断,帮助学生将各知识点融会贯通,灵活运用。

④ 教学功能的简洁明确化。

整个 app 围绕重金属离子的化学性质进行设计,界面简洁,容易上手。学生只需要下载安装一个很小的 app 就能使用全部功能,不需要担心手机的内存、品牌、性能问题。而且该 app 一旦下载下来可以长期使用,除非版本更新,否则不需要做任何维护。操作界面简单明了,没有任何花哨或动画,能很好地配合教学,提高学生学习兴趣,同时不会造成上课分心。

4 应用与展望

该款 app 于 2018 年春季学期上线,应用于中国科学技术大学的本科教学,目前累计使用的本科生数约 600 名,同时得到复旦大学、北京航空航天大学等高校同行的关注和认可。除了本科教学外,该款 app 还用于高中化学教师培训以及全国化学奥林匹克竞赛的多个省队培训,取得良好教学效果。

该款 app 在设计时已预留有足够空间,可以在此框架上拓展更多的无机化合物。今后我们将根据教学需要进一步丰富金属阳离子及阴离子的种类,让学生接触到更多化学反应类型和反应现象,为将来的学习和工作打下坚实基础。

参 考 文 献

- [1] 周公度, 叶宪曾, 吴念祖. 化学元素综论. 北京: 科学出版社, 2012.
- [2] Gillespie, R. J. *J. Chem. Edu.* **1994**, 71 (8), 665.
- [3] 张雯, 高培红, 向丹, 唐玉海. 大学化学, **2018**, 33 (1), 24.
- [4] 谢钢, 杨奇, 陈三平, 高胜利. 大学化学, **2012**, 27 (5), 36.
- [5] Libman, D.; Huang, L. *J. Chem. Edu.* **2013**, 90 (3), 320.
- [6] 马艳子, 马锴果, 高珍, 李维红, 边磊, 赵浩, 黄军, 关玲, 徐烜峰, 贾莉. 大学化学, **2018**, 33 (7), 133.
- [7] 李婉, 黄微, 刘济红, 高明丽, 朱平平. 大学化学, **2017**, 32 (7), 18.
- [8] Moore, J. W. *Chemistry Comes Alive*. Wisconsin Madison: Journal of Chemical Education Software, 2015.