

## 糖的科学艺术之旅 ——“光的色散与物质的旋光性”科普实验

江宇航, 刘伟杰, 蔡嘉琪, 陈佳阅, 任艳平, 吴平平\*, 杨柳林\*

厦门大学化学化工学院, 化学国家级实验教学示范中心(厦门大学), 福建 厦门 361005

**摘要:** 构建了一个自制的简易糖-光实验平台, 通过对检偏偏振片进行特殊设计, 可以获得剪纸艺术作品以及变色七巧虹板。此外, 将中间的糖溶液改为糖积木, 还可以得到霓色积木。这一方法装置简便、操作简易、原理明了, 充分满足了科普活动对操作安全性、灵活性以及展示趣味性和生动性的要求。在颜色的变幻之中, 让学生亲自动手探究光与旋光性分子相互作用的奥秘, 从而理解物理化学之美。

**关键词:** 糖的光学性质; 旋光色散; 偏振片; 化学科普

**中图分类号:** G64; O6

## A Journey into the Science and Art of Sugar: “Dispersion of Light and Optical Rotation of Matter” Science Popularization Experiment

Yuhang Jiang, Weijie Liu, Jiaqi Cai, Jiayue Chen, Yanping Ren, Pingping Wu\*, Liulin Yang\*

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Xiamen University), College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China.

**Abstract:** We have developed a homemade sugar-based light experimental platform by specially designing an optical analyzer, allowing us to observe paper-cut art and dynamic rainbow boards. Moreover, by substituting the central sugar solution with sugar building blocks, we can create neon-colored building blocks. This apparatus is easy to set up and operate, with a clear and concise principle, meeting the requirements of popular science activities for safety, flexibility, and engaging demonstrations. Through observing the shifting colors, students can personally delve into the mysteries of the interaction between light and optically active molecules, thereby enhancing their appreciation of the beauty of physical chemistry.

**Key Words:** Optical properties of sugar; Optical rotatory dispersion; Polaroids;  
Science popularization of chemistry

### 1 引言

色散现象揭示了光与物质相互作用时的丰富特性。折射色散是我们日常生活中常见的一种现象, 当复色光如白光通过棱镜时, 由于不同波长(颜色)的光在介质中的折射率不同, 从而使光束分离为彩虹般的光谱。而偏振光的色散则是另一种光行为, 主要关注在平面偏振光通过手性或双折射材料时, 偏振光的旋转角度随波长的变化。在旋光色散实验中, 我们可以测量平面偏振光通过特定手性物质后

收稿: 2024-01-19; 录用: 2024-03-23; 网络发表: 2024-08-16

\*通讯作者, Emails: wuhua3@xmu.edu.cn (吴平平); llyang@xmu.edu.cn (杨柳林)

基金资助: 教育部第三批虚拟教研室建设试点“101计划”化学测量学实验课程虚拟教研室; 基础学科拔尖学生培养计划2.0研究课题(20222108); 厦门大学本科思政示范课程“基础化学实验(三)——物理化学部分”

偏振面的旋转角度随入射光波长的变化关系, 来探究分子结构及手性识别等诸多科学问题。

目前, 基于糖类的旋光性进行其含量或浓度的测量, 在高校教学实验中已被广泛运用, 如酸催化蔗糖水解的动力学参数<sup>[1]</sup>、蜂蜜的成分鉴定<sup>[2-7]</sup>等。本文介绍一项如图1所示的家庭厨房情景下的物理化学科普实验, 取材自日常生活中常见的糖浆, 利用光的偏振性和物质旋光性, 使白光经过偏振片及具有旋光性的糖溶液而呈现出各种颜色。正如李白诗句所述“晔若晴天散彩虹”, 我们将该实验应用于波点图案、剪纸作品、变色七巧板、积木等多种艺术创作。通过实验, 学生可以直观感受光的旋光色散现象, 在不同科普方案的动手操作中逐层深入理解物质结构与旋光的关系, 以及影响旋光的各种因素, 在生活中体会科学之趣, 感受科学之美。

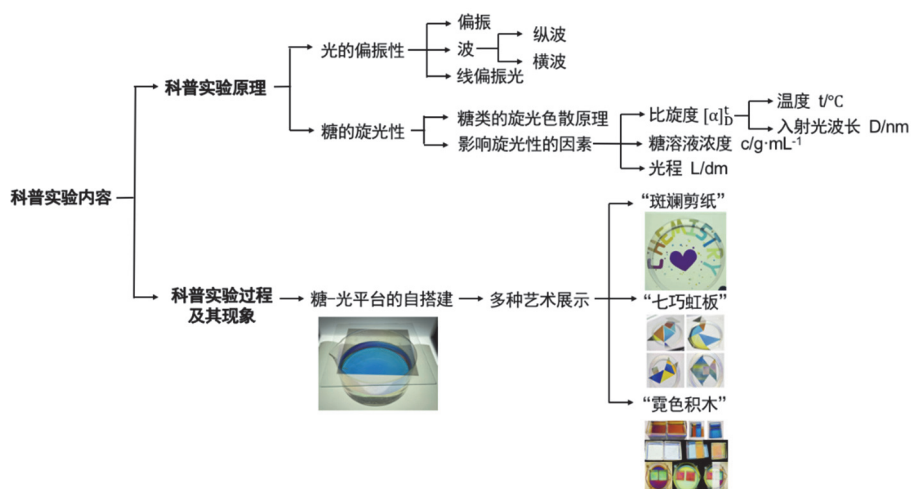


图1 科普实验概要图

## 2 科普实验原理

### 2.1 光的偏振性

在一般光源中包含着各个方向的光矢量, 在所有可能的方向上的振幅都相等, 这样的光叫自然光。偏振光是指光矢量的振动方向不变或具有某种规则变化的光波。偏振光是光矢量不均匀分布造成的。我们把这种振动方向对于传播方向的不对称性叫做偏振。由于光是一种电磁波<sup>[7]</sup>, 电磁波属于横波, 而横波的质点运动方向与波的传播方向垂直(图2), 满足偏振定义, 故光具有偏振性。

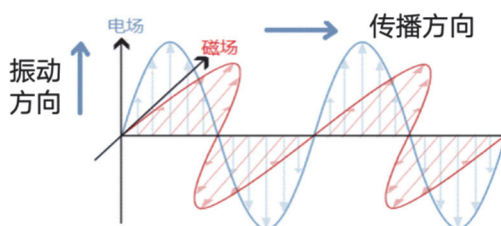


图2 电磁波的振动方向与传播方向示意图

### 2.2 糖的旋光性

人们对于糖的认识往往通过味觉。其实糖类物质还有着多变的光学色彩现象, 这是公众鲜有了解的。当线偏振光(图3)通过一些糖类或代糖时会受到其分子结构具有手性影响, 振动方向将绕光轴旋转, 同时由于不同颜色(频率)光的旋转角度不同, 白光将发生色散, 分离为单色光, 称为糖类的旋光色散现象。本实验选取生活中常见的食品级麦芽糖浆作为材料, 基于麦芽糖的右旋性实现简单可调的色彩控制方法, 展现出一系列不同色彩的科学艺术品。实验原理如图4所示。

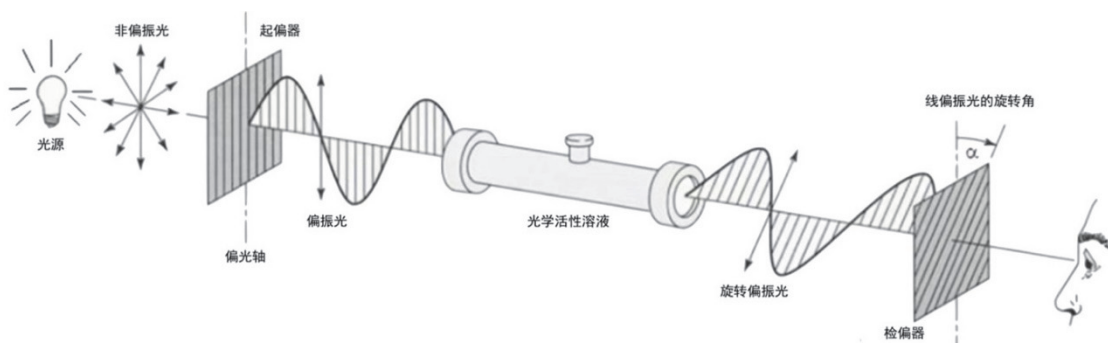
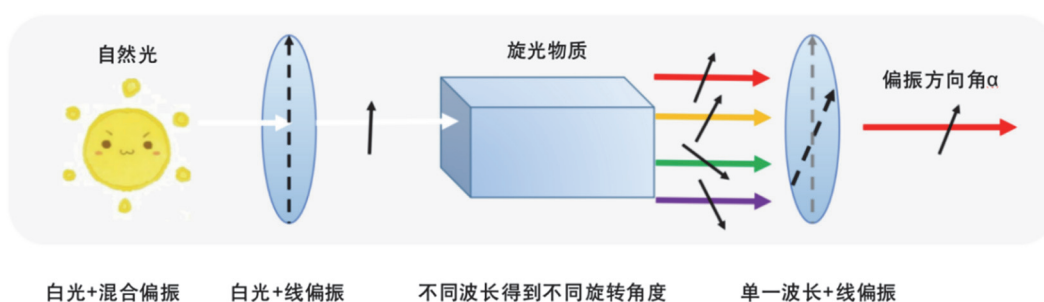
图3 旋光仪的工作原理<sup>[8]</sup>

图4 糖类旋光色散实验装置及原理示意图

手性分子具有非对称结构，即它们不能与其镜像重合，这种不对称性导致其在空间中产生了一个独特的偶极矩分布。当平面光通过手性物质时，分子中的电子云受到激发发生跃迁，并产生了相应的电偶极矩和磁偶极矩变化。由于手性分子的立体构型，这些偶极矩并不均匀分布，它们与偏振光的电场方向存在相对角度，从而对偏振光施加了一个旋转力矩，旋转的方向则取决于手性分子的具体类型（左旋或右旋），旋转角度则与手性物质的浓度、光的波长以及分子的手性强度等因素相关。

一定温度下具有手性的物质对特定波长光的旋转能力称为比旋度 $[\alpha]_D^t$ 。旋光度与比旋度的相关公式见式(1)：

$$\alpha = [\alpha]_D^t c L \quad (1)$$

其中， $\alpha$ 为旋光度， $c$ 为糖溶液的浓度( $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )， $L$ 为光程(dm)， $t$ 为温度( $^{\circ}\text{C}$ )， $D$ 为入射光波长。由式(1)可知，可以通过改变糖溶液浓度和光程长度来改变旋光度，以达到绚丽的色彩变化效果。

### 3 科普实验所用试剂与器材

表1所示为实验仪器与材料。

表1 实验仪器与材料

仪器或材料名称	型号或规格	生产厂家	仪器或材料名称	型号或规格	生产厂家
葡萄糖	食品级	重庆和平制药	柔性偏振片(膜)	0.17 mm	江苏佳腾影视
D-果糖	食品级	山东西王	电子秤	ZY0206	上海展艺
D-半乳糖	食品级	浙江一诺生物	磁力搅拌器	RCT basic	德国IKA
蔗糖	分析纯	上海国药集团	白光灯箱	38 cm无影底灯	上海Deep数码
麦芽糖浆	80%	湖北千凤香	皮带打孔器	DL1919A	江苏得力文具

## 4 科普实验过程及其现象

### 4.1 糖-光平台的自搭建

为了展现更好的光影效果，我们设计并搭建了简易糖-光平台。搭建方法如下：使用白光灯箱(或手机LED光源)作为底层，向上依次放置起偏偏振片、装有糖溶液的玻璃缸、透明玻璃板和检偏偏振片，逐层搭建简易旋光色散展示装置(图5)，简称糖-光平台。白光经过起偏偏振片起偏，产生偏振光，经过玻璃缸中的糖溶液发生旋光变化，最后在检偏偏振片展现出偏振光色彩，呈现在玻璃板构成的色彩观察平面上。

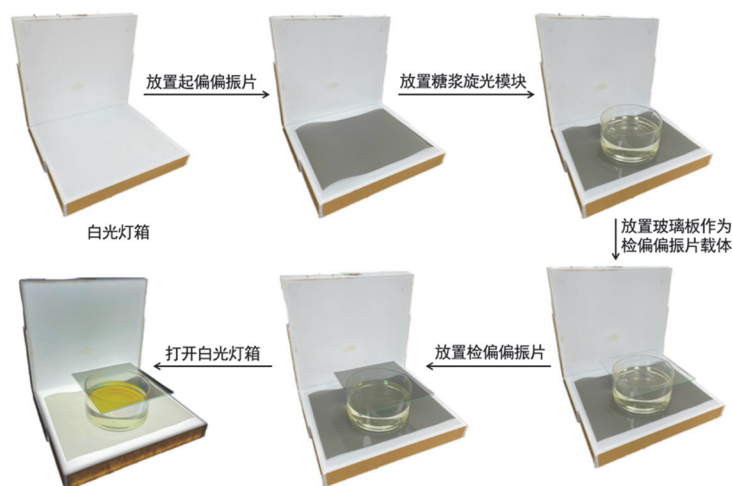


图5 糖-光平台实验装置搭建流程

### 4.2 探究最佳实验条件

由原理部分分析可知，旋光度与物质比旋度、温度、浓度、光程有关，本实验将温度保持在室温，运用对比实验、控制变量，探究最佳实验条件，即可观察到偏振光颜色种类最多、展示效果最好的条件。以下将分别探索糖的最佳种类、浓度和光程。

#### 4.2.1 探究糖的最佳种类

选取生活中常见的几种糖，用于探究不同种类的糖对偏振光颜色种类的影响(图6)。通过对比可知，在其他条件相同时，麦芽糖浆显示出的色散效果最好。

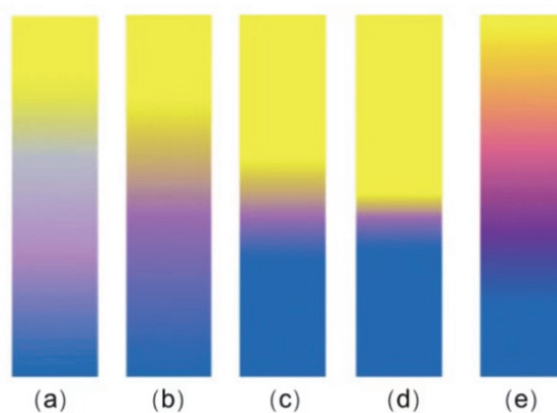


图6 不同种类的糖对应可观察颜色

(a) 葡萄糖; (b) 果糖; (c) 半乳糖; (d) 蔗糖; (e) 20%麦芽糖浆

### 4.2.2 探究糖的最佳浓度

由上述实验可知麦芽糖浆色散效果最好，分别配制不同浓度的麦芽糖浆，并记录其偏振光可观察到的颜色(图7)。

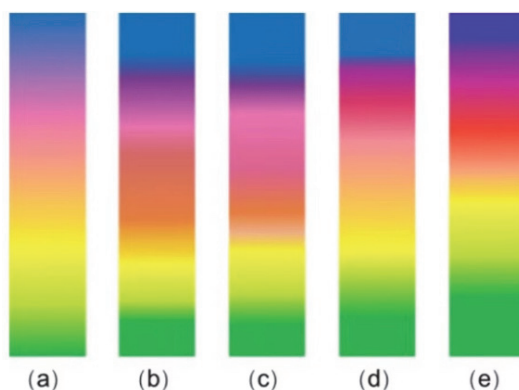


图7 不同浓度的麦芽糖浆对应可观察颜色

(a) 20%麦芽糖浆; (b) 40%麦芽糖浆; (c) 60%麦芽糖浆;  
(d) 80%麦芽糖浆; (e) 100%麦芽糖浆

综上，可达到成像清晰、最佳色散效果的条件为：室温条件下光程 5.0 cm，麦芽糖浓度80%的麦芽糖浆。食品级麦芽糖浆比旋光度 $[\alpha]_D^{20} = +138^\circ$ 。

### 4.3 多维艺术展示

在探究的最佳实验条件下，将所设计平台通过不同形式应用于特色趣味的艺术展示。如“斑斓剪纸”“七巧虹板”和“霓色积木”等艺术形式，将糖光变化与传统剪纸、七巧板和积木有机结合。充分发挥糖与色彩的科普潜力，激发大众热情兴趣，直观地了解旋光度公式的各个参数影响。

#### (1) “斑斓剪纸”。

剪纸艺术：以化学“CHEMISTRY”为例(可根据操作者喜好设计多种造型)，将剪纸艺术与偏振色彩结合，将偏振片裁剪出“CHEMISTRY”造型，将剪好的偏振片作为检偏偏振片置于糖-光平台上，通过旋转偏振片，可呈现出不同于传统剪纸作品的斑斓色彩(图8)。



图8 斑斓剪纸之“Chemistry”

#### (2) “七巧虹板”。

七巧板是一种中国传统民间手工艺术形式。鼓励学生自己动手，用七巧板制作出形状各异的图案，感受中国古代劳动人民的智慧，有助于提高学生的创造力和动手能力。

将偏振片剪成七巧板的形状，放置于糖-光平台上观察，通过旋转偏振片能得到色彩变幻的图画(图9)。通过发挥想象力，拼成各样的图案，提高学生动手能力，同时引导学生思考产生不同颜色的原因。

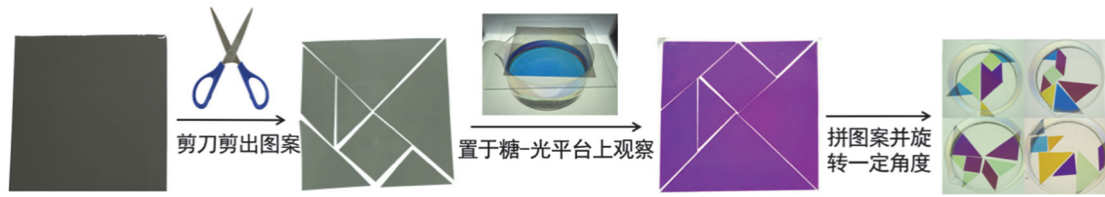


图9 七巧虹板

### (3) “霓色积木”。

进行糖类旋光度的测试时往往使用固定光程的比色皿进行，使得调节方式有限。为了更直观展现出光程 $L$ 的影响，设计糖积木小实验：使用多个玻璃池盛装相同高度(光程)的糖浆，在相同偏振角度得到相同颜色，而叠放后呈现不同的颜色(图10A, 10B)，将糖积木与前文色散装置糖-光平台叠放观察(图10C)。本实验直观展现出光程 $L$ 对旋光度的影响。

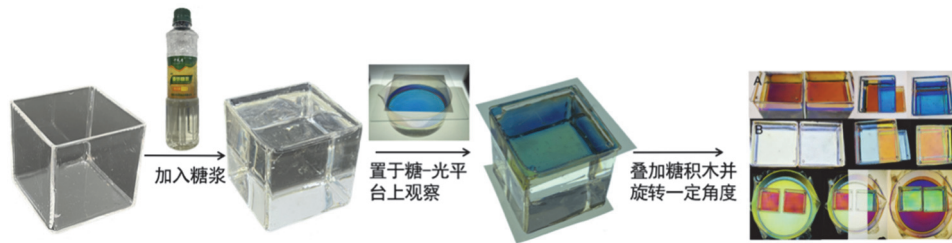


图10 不同光程的旋光效果展示

(A, B) 糖积木叠加; (C) 糖积木与糖-光平台叠加

## 5 科普对象与互动方案

### 5.1 安全事项提醒

科普活动需要使用打孔器、剪刀、偏振片，提醒学生安全使用较尖锐物品，并注意偏振片边缘可能划伤皮肤。

### 5.2 科普对象

本实验主要针对的人群为具备一定光学、物理化学科学常识的中小學生，也可向对物理化学有较多了解的大学生进行深入介绍。科普地点为中小学科学课堂、创新趣味实验室等。

### 5.3 科普实践

我们在社区、小学课堂、科技馆面向学生与大众进行了多次科普展示，现场照片见图11。



图11 科普展示现场

在进行科普活动时，我们采取了分层次的方法，针对不同人群进行科普。对于小学生，我们通过演示对比实验，让他们感受糖的性质的美妙及光的多彩。中学生则了解光学现象和偏振原理，深入理解光的行为。而大学生则可以通过直观地感受来了解物质结构与旋光性之间的关系。为了提高科普对象对项目的兴趣，我们还利用了各种光影色彩相关的艺术形式。这种形式能够吸引他们的注意力并激发他们对科学的兴趣。经过多次的科普实践活动发现，我们的科普项目有助于促进不同人群对基本化学知识的理解。同时，我们还帮助他们认识到了光的偏振性和糖的旋光性。科普方案经过实际应用，证明了其切实可行且高效，具有较强的推广性。

## 6 结语

本项目基于糖类的旋光色散现象，设计了以“糖的科学和艺术之旅”为主题的科普活动，通过搭建简易糖-光平台，设计从一维到多维的多种艺术展示形式，向不同人群科普光的偏振性和糖的旋光性。实验使用生活中常见、绿色安全的调味品——麦芽糖浆，结合多种中华传统艺术形式，呈现出绚烂夺目的光学现象，将原本枯燥刻板的实验数据转化为生动形象的艺术作品。尤其针对具有一定科学常识的中小學生，帮助其感受到物质结构的奇妙、光的色散及其背后的原理。在体验糖的千姿百态与光色变幻的同时，让学生和大众畅游科学与艺术的奥妙乐园，了解旋光现象，在动手操作中激发其学习化学的兴趣和热情。

## 参 考 文 献

- [1] 韩国彬, 夏文生, 陈良坦, 李海燕, 袁汝明. 物理化学实验. 厦门: 厦门大学出版社, 2019.
- [2] 吴彦蕾. 现代食品, **2020**, No. 4, 156.
- [3] 张子豪, 杨虹, 陈丹. 电子技术应用, **2018**, 44 (2), 55.
- [4] Thomson, P. I. T. *J. Chem. Educ.* **2018**, 95 (5), 837.
- [5] Kvittingen, L.; Sjursnes, B. J. *J. Chem. Educ.* **2020**, 97 (8), 2196.
- [6] 刘麒麟, 吴仪, 罗毅, 刘媛, 吴凯群. 大学化学, **2023**, 38 (4), 88.
- [7] Feynman, R. P. *The Feynman's Lectures on Physics I*; Shanghai Scientific & Technical Publishers: Shanghai, China, 2005; pp. 313–314.
- [8] Eliel, E. L.; Wilen, S. H.; Doyle, M. P. *Basic Organic Stereochemistry*; Wiley-Interscience: New York, USA, 2001.