

普通高中教科书

化 学

HUA XUE

实验部分

选择性
必修



学 校 _____

班 级 _____

姓 名 _____

学 号 _____

上海科学技术出版社

普通高中教科书

化 学

实验部分

选择性必修

上海科学技术出版社

主 编：麻生明 陈 寅

副 主 编：唐增富 孙兴文

编写人员：（以姓氏笔画为序）

包慧敏 匡云艳 刘永梅 刘瑞婷 钱林平

魏晓芳

责任编辑：孙 伟 王美淞 胡恺岩 张明睿 魏秋丽

封面设计：诸梦婷

普通高中教科书 化学实验部分 选择性必修

上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会组织编写

出 版 上海世纪出版(集团)有限公司 上海科学技术出版社

(上海市闵行区号景路 159 弄 A 座 9F~10F 邮政编码 201101)

发 行 上海新华书店

印 刷 上海中华印刷有限公司

版 次 2023 年 1 月第 1 版

印 次 2025 年 1 月第 5 次

开 本 890 毫米×1240 毫米 1/16

印 张 5.5

字 数 141 千字

书 号 ISBN 978-7-5478-5999-5/G·1145

定 价 5.60 元

价格依据文号 沪价费〔2017〕15 号

版权所有 · 未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分 · 违者必究

如发现印装质量问题或对内容有意见建议,请与本社联系。电话: 021-64848025

全国物价举报电话: 12315

目 录

选择性必修 1 化学反应原理	1
实验 1 中和反应反应热的测定	1
实验 2 探究影响化学平衡移动的因素(学生必做实验)	7
实验 3 强酸与强碱的中和滴定(学生必做实验)	13
实验 4 盐类水解的应用(学生必做实验)	19
实验 5 制作简单的燃料电池(学生必做实验)	23
实验 6 简单的电镀实验(学生必做实验)	28
选择性必修 2 物质结构与性质	31
实验 7 简单配合物的制备(学生必做实验)	31
实验 8 三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的制备	34
实验 9 热变色材料的制备与性质	38
实验 10 五水硫酸铜的重结晶提纯及晶体结构解析	41
实验 11 几种常见晶体结构模型的搭建	44

选择性必修 3 有机化学基础	49
实验 12 从新鲜橙皮中提取柠檬精油	49
实验 13 乙酸乙酯的制备与性质(学生必做实验)	53
实验 14 糖类的性质(学生必做实验)	59
实验 15 有机化合物中常见官能团的检验(学生必做实验)	67
实验 16 肥皂的制备	71
实验 17 阿司匹林的合成与结构解析	74
实验 18 牛奶中蛋白质的分离和检测	79

选择性必修 1 化学反应原理

实验 1 中和反应反应热的测定



问题和背景

人们生活中所需的能量许多是通过化学反应获得的。例如,维持人体各项生命活动以及体温相对稳定所需的能量是由人体内的化学反应提供的,人们还利用化学反应产生的能量发射火箭。在一定温度下,化学反应过程中吸收或释放的热称为化学反应的热效应,也称反应热。许多化学反应的反应热可以通过实验来测量。测量反应热的仪器称为热量计。人们常用系统的焓变,即 ΔH 表示等压、只做体积功条件下的反应热。

在恒定压强下测量热量的方法为恒压量热法,测得的反应热为恒压反应热(Q_p);在恒定体积下测量热量的方法为恒容量热法,测得的反应热为恒容反应热(Q_v)。恒压量热法(如保温杯量热法)和恒容量热法(如弹式量热法)是两种重要的量热方法。在实际工作中,根据需求选择合适的量热法和热量计。

在本实验中,我们以盐酸与 NaOH 溶液反应为例,测量该反应的恒压反应热,即酸碱中和反应的焓变 ΔH 。

化学反应释放热量可给我们的日常生活带来很多便利,如很多人都用过暖宝宝御寒,也体验过自热食品中发热包的威力,当然我们也要注意反应热给人们带来的安全隐患。请思考下列问题:

- 强酸与强碱在反应过程中所释放的能量形式是什么?
- 测定中和热常选用哪一种量热法?
- 反应产生的热量与量热器吸收的热量相比,有什么不同?
- 你能计算将 100 g 水从 25 °C 加热到 50 °C 时所需吸收的热量吗?
- 用热量计测量反应热时,需要测量哪些数据?
- 市售暖宝宝的主要成分和发热原理是什么?
- CaO 是一种廉价的干燥剂,在包装袋上常印有“不可食用,不可接触水”的警告标示,这意味着什么呢?



探索和研究

【实验目的】

- 了解用简易热量计测量反应热的原理,认识反应热在生产生活中的应用。
- 学习测量反应热的实验方法,并通过对比体会实验手段的进步。
- 学习实验数据的处理方法,定量测量酸碱中和反应的热效应。
- 学习运用控制变量的方法进行定量实验研究。

【实验原理】

用热量计测量中和反应的反应热时,如果忽略热量计各部件对反应热的影响,且热量计隔热效果良好,在测量过程中没有热量损失,那么反应放出的热量在数值上等于反应后溶液吸收的热量 $Q(\text{溶液})$ 。已知溶液的质量 $m(\text{溶液})$ 和溶液的比热容 $c(\text{溶液})$,如果能准确测量反应前后,热量计中溶液温度的变化 Δt ,那么溶液吸收的热量 $Q(\text{溶液}) = c(\text{溶液})m(\text{溶液})\Delta t$ 。

该反应在恒压条件下进行,反应生成 1 mol H₂O 时的反应热为:

$$\Delta H = -\frac{c(\text{溶液})m(\text{溶液})\Delta t}{n(\text{H}_2\text{O})}$$

- 大量实验测得,在 25 ℃ 和 101 kPa 下,强酸的稀溶液和强碱的稀溶液发生中和反应生成 1 mol H₂O 时,放出 57.3 kJ 的热量。写出稀盐酸与 NaOH 溶液反应的离子方程式和热化学方程式。

- 为减少热量的损失,你认为对反应容器应有什么要求?

【实验准备】

仪器: 烧杯(50 mL、150 mL 和 500 mL)、量筒(100 mL)、表面皿(直径 120 mm)、玻璃棒、温度传感器(或温度计)、数据采集器、电脑、磁力搅拌器(或环形玻璃搅拌棒)、碎泡沫塑料、泡沫塑料板(或硬纸板)。

试剂: 0.55 mol · L⁻¹ NaOH 溶液、0.50 mol · L⁻¹ 盐酸、铁粉、活性炭、饱和食盐水、CaO(s)、CaCl₂(s)、市售食品自发热包(30 g)、无纺布袋子、胶水。

【安全事项】

1. 实验中使用的酸、碱溶液具有一定腐蚀性，避免接触皮肤。

2. 食品自发热包放入烧杯后，烧杯的槽口不能对人；食品自发热包在发热时温度较高，不能直接接触皮肤，防止烫伤。

【实验步骤】

实验 1：酸碱中和反应反应热的测量

1. 制作简易热量计。

如图 1.1 所示，在大烧杯(500 mL)底部放入隔热的碎泡沫塑料，再放入装反应液的小烧杯(150 mL)，并使大小烧杯杯口相平。在两烧杯间填满碎泡沫塑料，并在表面涂一层胶水。大烧杯上用泡沫塑料板(或硬纸板)做盖板，在板中间开小孔，插入温度传感器。泡沫塑料作为隔热层可以达到保温、隔热、减少实验过程中热量损失的目的。

也可用市售简易量热杯代替。

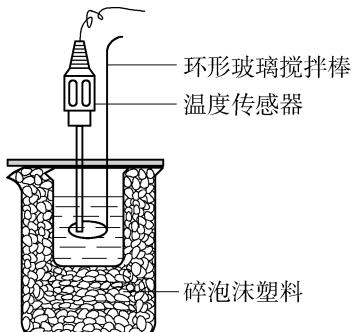


图 1.1 自制简易热量计



图 1.2 测定中和反应反应热的实验装置

2. 用量筒量取 50 mL 0.50 mol·L⁻¹ 盐酸，倒入简易热量计中，用温度传感器(或温度计)测量盐酸的温度，记录数据。

3. 用量筒量取 50 mL 0.55 mol·L⁻¹ NaOH 溶液，倒入 150 mL 烧杯中，用温度传感器(或温度计)测量其温度，取盐酸和 NaOH 溶液温度的平均值为起始温度。

4. 如图 1.2 所示，把磁力搅拌子放入自制热量计或市售简易量热杯中，盖好杯盖，启动应用程序，打开磁力搅拌器，开始记录温度，采集数据。

5. 把温度传感器(或温度计)放入装有盐酸的热量计中，迅速地将 NaOH 溶液全部倒入热量计中，盖好盖板，记录混合液的温度(如使用温度计，可每 10 s 记录一次温度)。待温度平稳后，停止采集。从记录的曲线上读出起始温度和最高温度，并将数据记录在表格中。

6. 重复实验步骤 2~5 数次。

【数据记录与处理】

实验次数	起始温度 $t_1/^\circ\text{C}$			最高温度	温差
	盐酸	NaOH 溶液	平均值	$t_2/^\circ\text{C}$	$\Delta t/^\circ\text{C}$
1					
2					
3					

为计算简便,假设溶液的比热容近似等于水的比热容 [$c(\text{水})=4.18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}$],溶液的密度近似等于 $1.00 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。根据溶液温度变化的平均值,计算该中和反应的反应热及本实验的相对偏差。

实验 2：探究暖宝宝、食品自发热包的发热效果

1. 探究自制暖宝宝部分原料对发热效果的影响

市售暖宝宝是由铁粉、水、活性炭、无机盐、蛭石、吸水树脂等混合而成的。本实验将探究活性炭、食盐水等对铁粉氧化反应热效应的影响。

(1) 称量 4.5 g 铁粉、0.5 g 活性炭放在 50 mL 烧杯中,再滴入 5 滴饱和食盐水,搅拌均匀。可将混合物装在无纺布袋子里,用手揉搓感受温度变化;也可将 50 mL 的烧杯置于隔热的碎泡沫塑料中,用温度传感器测定混合物在不同时间的温度。

(2) 不加活性炭,其他试剂与(1)相同,重复(1)的操作。

(3) 不加饱和食盐水,其他试剂与(1)相同,重复(1)的操作。

实验编号	铁粉/g	活性炭/g	饱和食盐水	记录温度的变化及现象
(1)	4.5	0.5	5滴	
(2)	4.5	0	5滴	
(3)	4.5	0.5	0	

(4) 打开市场上购买的暖宝宝内袋,快速称取 5.0 g 物质,放在有隔热保护的 50 mL 烧杯或市售简易量热杯内,用温度传感器测定混合物在不同时间的温度。

2. 氧化钙与水的放热反应

无水 CaCl_2 和生石灰(CaO)是常见的干燥剂,在 CaO 干燥剂包装袋上印有“不可接触水”的警告标示。通过实验比较两者与水接触时的现象。

(1) 取无水 CaCl_2 和 CaO 各 1 g,分别放入 50 mL 烧杯中,向烧杯中滴加 5 滴水。注意实验过程中不要接触产生的高温物质(包括沸水和水蒸气)。

(2) 再向每只烧杯中添加 30 mL 蒸馏水,用玻璃棒搅拌。可用温度传感器测量实验过程中不同时间的温度。

试剂	实验现象及结论
CaO	
CaCl_2	

(3) 感受食品自发热包与水接触的放热现象。

食品自发热包的主要成分有生石灰、碳酸钠、硅藻土、铁粉、铝粉、焦炭粉、活性炭等,主要起发热作用的是生石灰。取一包约 30 g 的食品自发热包,去除外包装,放在一只 500 mL 的烧杯中,小心注入 100 mL 冷水并迅速用表面皿盖住烧杯,观察现象。



讨论和拓展

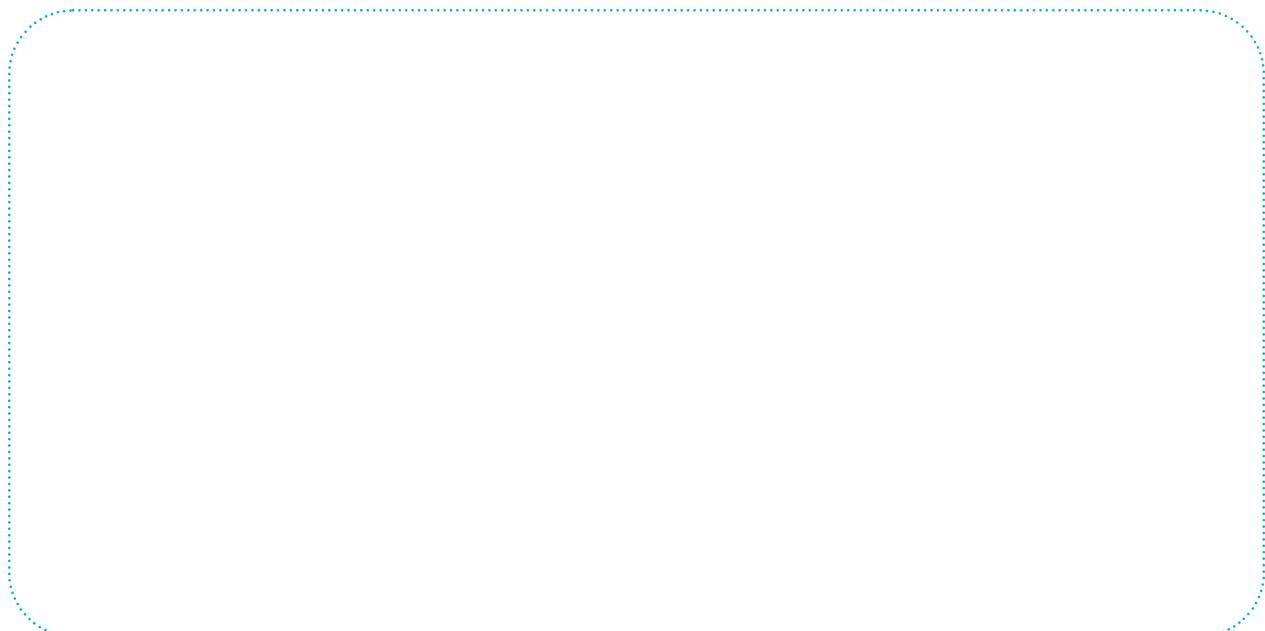
1. 尝试利用日用品设计一个量热装置,并用它测量中和热,看看效果如何。

2. 测量中和反应反应热时,为何酸和碱需要迅速混合? 你认为搅拌过程应快些还是慢些? 说说你的理由。

3. 由实验结果分析产生实验误差的原因。

4. 分析实验过程中导致数据偏差的原因,尝试设计改进方案,并对比实验效果。

5. 尽可能多地收集全班同学测定的实验数据,并将数据分类,再用电子表格将所有数据进行线性拟合,打印拟合后的图像贴在下面的框中。对拟合后的图像进行分析,由此你能得出什么结论?



实验 2

探究影响化学平衡移动的因素 (学生必做实验)



问题和背景

平衡移动原理是中学化学学习中的基础理论,也是化学学习的重点内容之一。“外界条件对化学平衡的影响”作为化学平衡的核心概念之一,具有重要的学科价值。高压氧舱能缓解煤气中毒症状,高压能提高合成氨生产中原料的转化率,指示剂在酸性条件和碱性条件下显示不同颜色等均与化学平衡移动有关。可逆反应最终将达到平衡状态,如何对化学平衡进行调控,对生产、生活都具有实际指导意义。通过实验,探究外界条件的改变如何影响平衡移动是掌握这些内容的重要手段和途径。请思考下列问题:

- 如何判断可逆反应达到平衡状态?何为平衡移动?
- 浓度增大,化学反应速率增大,化学平衡如何移动?
- 温度升高,化学平衡如何移动?
- 改变压强,化学平衡一定会发生移动吗?



探索和研究

【实验目的】

1. 通过实验探究,了解温度、浓度对化学平衡的影响,能依据实验现象推测平衡移动的方向。
2. 进一步学习控制变量的科学方法和对比实验的研究方法。
3. 通过典型问题的探究,进一步深化理解压强、温度、浓度对化学平衡的影响。

【实验原理】

1. 从反应过程中速率变化的角度来看,可逆反应达到平衡的原因是什么?

2. 你认为哪些反应条件的改变会影响化学反应速率,进而破坏化学平衡状态。

3. 现有化学平衡: ① $\text{FeCl}_3 + 3\text{KSCN} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3 + 3\text{KCl}$; ② $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ 。若改变条件使平衡向右移动或向左移动,那么溶液或气体的颜色将怎样变化?

【实验准备】

仪器: 烧杯(400 mL)、试管(15 mL 和 50 mL)、 NO_2 和 N_2O_4 气体的密闭平衡双球玻璃管、胶头滴管、量筒(10 mL)、移液管(1 mL)、试管架、一次性注射器(5 mL 和 20 mL)、塑料输液袋(100 mL)。

试剂: $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ FeCl_3 溶液、 $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ FeCl_3 溶液、 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液、 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KSCN 溶液、 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KSCN 溶液、细铜丝、浓硝酸、蒸馏水、热水、冰块。

【安全事项】

1. KSCN 溶液有毒,避免接触皮肤。
2. 浓硝酸挥发性强、腐蚀性强,并有强刺激性气味,口鼻不可与之靠得过近,取用须小心,避免接触皮肤,不要洒落,在通风橱中进行实验。
3. 使用注射器针头时要小心,避免伤害自己和他人。

【实验步骤】

实验 1: 探究浓度对化学平衡的影响

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取一支 50 mL 试管,加入 3 mL $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ FeCl_3 溶液,再加入 18 mL $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KSCN 溶液振荡均匀		
2	另取 4 支 15 mL 试管,分别编号为①~④。向①号试管中加入约 4 mL 上述混合液	—	—
3	向②号试管中加入约 3 mL 上述混合液,再加入 1 mL $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KSCN 溶液		

(续表)

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
4	向③号试管中加入约 3 mL 上述混合液,再加入 1 mL $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ FeCl_3 溶液		
5	向④号试管中加入约 3 mL 上述混合液,再加入 1 mL $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液		

【实验结论】

实验 2: 探究温度对化学平衡的影响

方案一:

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取两只 400 mL 烧杯,向其中一只注入半杯热水,另一只注入半杯冷水后加入少许冰块	—	—
2	将装有 NO_2 和 N_2O_4 气体的密闭平衡双球玻璃管的一只玻璃球放入热水,另一只放入冰水,如图 2.1 所示。观察对比两只连通的双球中各自气体的颜色		

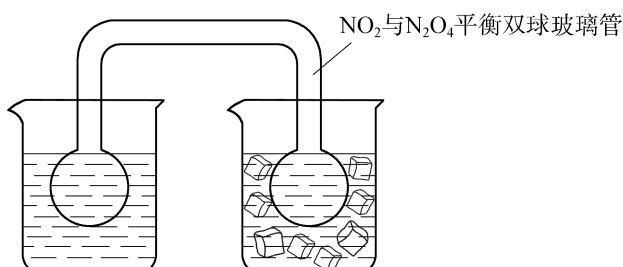


图 2.1 温度对化学平衡的影响

方案二:

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	先将一根细铜丝绕成圈,放入 20 mL 的注射器内,排出内部空气		
2	取规格为 100 mL 的塑料输液袋,排尽袋内空气,然后用 5 mL 的注射器吸取少量浓硝酸,注入该输液袋内		

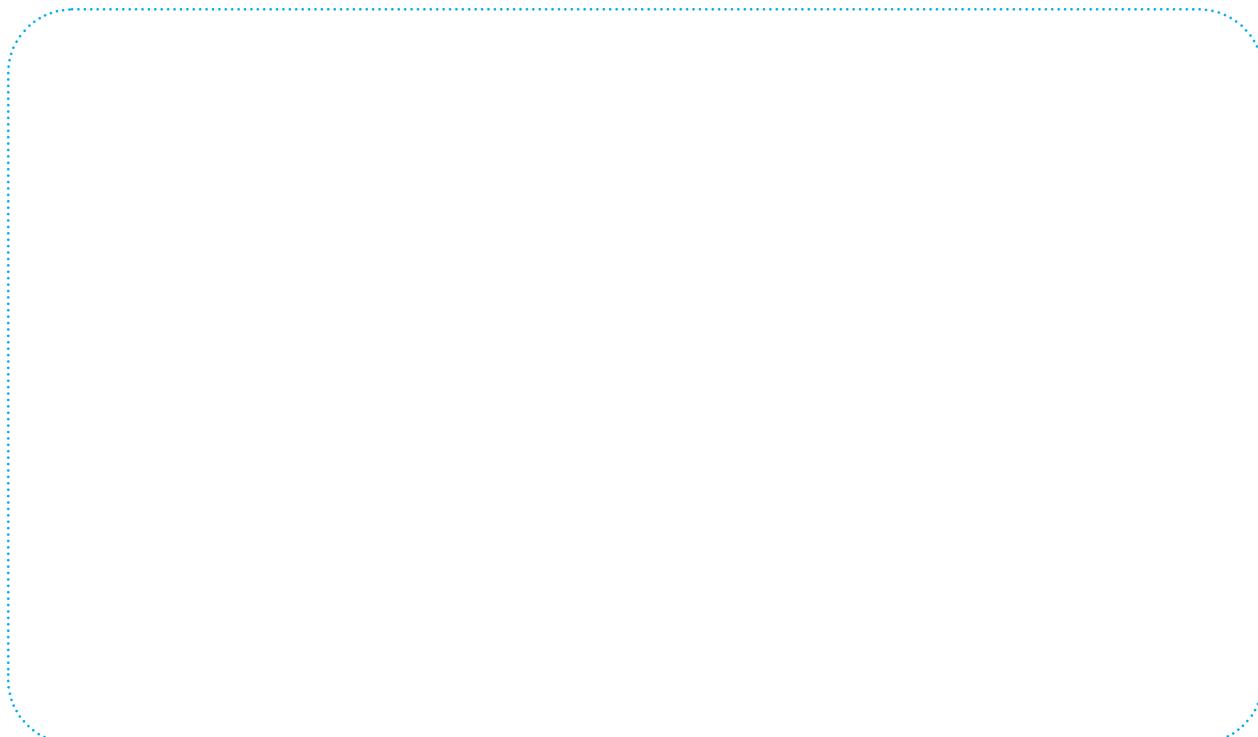
(续表)

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
3	将盛放细铜丝的注射器针头插入装有浓硝酸的输液袋的橡胶塞中,使针头与浓硝酸接触,将注射器芯杆向外拉,吸入浓硝酸。当铜丝接触到浓硝酸,立即发生反应,注射器筒内产生红棕色气体时,轻推注射器芯杆,将产生的气体注入输液袋,待袋内气体体积占容积近一半时拔出注射器,将管内剩余的溶液注入 NaOH 溶液中		
4	将输液袋分别放入热水和冷水中,各静置一会儿,观察袋内气体的颜色		

【实验结论】

实验 3: 探究压强对化学平衡的影响

请利用实验 2 中的器材,设计探究压强对化学平衡移动影响的实验。



【实验结论】

实验 4：黑枸杞浸泡液在不同条件下的颜色变化

取一只 500 mL 左右的水杯,加入约 400 mL 水,向水中加入 10~20 粒黑枸杞。浸泡几分钟后滤掉黑枸杞残渣,观察滤液的颜色。将滤液等分成 6 份,进行以下实验:

1. 向第一份滤液中加入少量白醋,观察溶液的颜色。
2. 向第二份滤液中加入少量食用小苏打,观察溶液的颜色。
3. 向第三份滤液中加入少量肥皂水,观察溶液的颜色。
4. 向第四份滤液中再加入少量水,观察溶液的颜色。
5. 将第五份滤液放在热水浴中加热片刻,观察溶液的颜色。
6. 将第六份滤液放入冰箱冷藏室,待滤液温度与冷藏室温度相近时,观察溶液的颜色。

请设计表格记录你的实验过程及实验现象。

【实验结论】



讨论和拓展

1. 完成“探究浓度对化学平衡的影响”实验后,反应废液该如何处理?

2. CoCl_2 溶液在不同温度下会呈现不同的颜色,尝试利用 CoCl_2 溶液制作简易的示温器具。

3. 日常生活中,还有哪些现象与化学平衡移动有关? 请举例说明。

实验 3 强酸与强碱的中和滴定(学生必做实验)



问题和背景

中和滴定又称酸碱中和滴定,是利用已知浓度的酸(或碱)溶液,来测定未知碱(或酸)溶液浓度的一种定量方法。中和滴定具有准确度高、仪器简单、操作方便等特点。目前,除中和滴定外,还有络合滴定、氧化还原滴定、沉淀滴定等容量分析方法,它们是分析化学中定量分析的重要组成部分,在科学研究、社会生活,以及工农业生产中都有着广泛的应用。请思考下列问题:

- 如何确定两种反应物恰好完全反应?
- 生活中还有哪些物质的含量可以通过中和滴定测定? 你能设计相应的实验吗?
- 用标准盐酸滴定 NaOH 溶液与用标准 NaOH 溶液滴定盐酸的过程有何不同? 指示剂的选择和滴定终点的颜色判断两者相同吗?



探索和研究

【实验目的】

1. 理解中和滴定的原理,学习用已知浓度的溶液测定未知溶液浓度的方法。
2. 学会中和滴定的操作和滴定终点的判断。
3. 了解指示剂颜色的变化,探究滴定过程中溶液 pH 变化的特点。
4. 学会分析数据,初步掌握滴定误差的分析。

【实验原理】

1. 常温下,向 20.00 mL 0.100 0 mol · L⁻¹ 盐酸中逐滴加入 0.100 0 mol · L⁻¹ NaOH 溶液,写出反应的离子方程式。此过程中溶液的 pH 将如何变化? 当滴入的 NaOH 溶液恰好至 20.00 mL 时,溶液的 pH 为多少?

2. 向 20.00 mL 0.100 0 mol·L⁻¹ 盐酸中逐滴加入 0.100 0 mol·L⁻¹ NaOH 溶液, 溶液的 pH 与滴入 NaOH 溶液体积的实验数据如下表所示。请在图 3.1 中画出溶液 pH 随 NaOH 溶液体积变化的曲线并描述 pH 变化的特点。

V(NaOH)/mL	pH	V(NaOH)/mL	pH
0.00	1.00	20.00	7.00
10.00	1.48	20.02	9.70
18.00	2.28	20.20	10.70
19.80	3.30	22.00	11.68
19.98	4.30	40.00	12.52

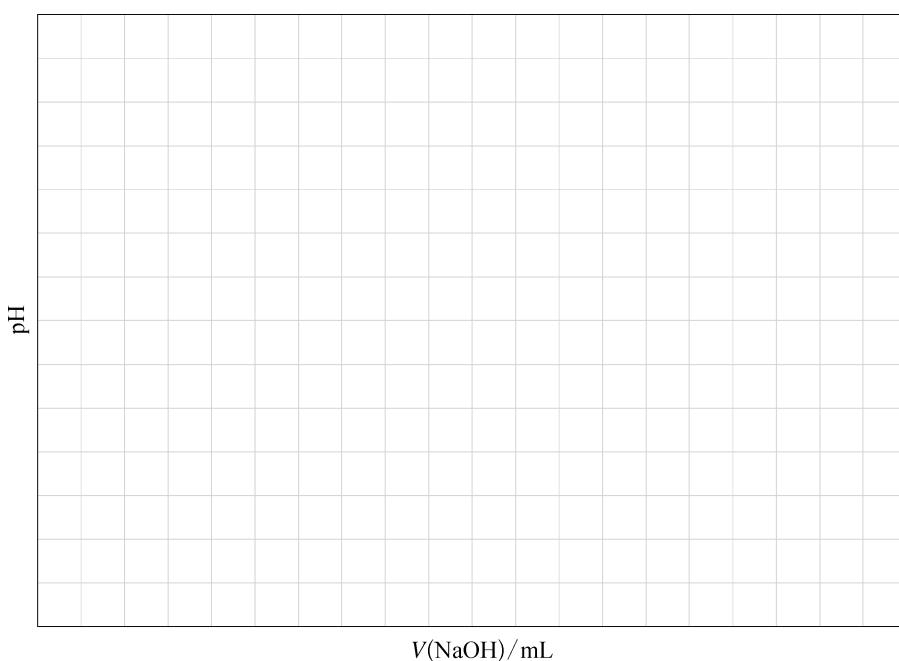


图 3.1 溶液 pH 随 NaOH 溶液体积变化的曲线

当酸碱恰好完全反应时, 溶液的 pH 为 7.00, 这个点即为化学计量点 (stoichiometric point, 用 sp 表示)。若继续滴加 NaOH 溶液, 溶液将变为碱性, 溶液 pH 继续升高。

在化学计量点后, 当 NaOH 溶液过量半滴(约 0.02 mL)时, 溶液 pH 为 9.70; 在化学计量点前, NaOH 溶液少半滴时, 溶液 pH 为 4.30。化学计量点前后半滴, 即化学计量点前后 0.1% 范围内, 溶液 pH 有一个大的变化, 这个 pH 变化范围就称为突跃范围。

3. 在滴定过程中我们需用指示剂指示溶液 pH 的变化, 帮助我们判断滴定终点。若以酚酞作为指示剂, 当酚酞由无色刚好变为浅红色时, 即为滴定终点 (end point, 用 ep 表示)。

在中和滴定实验中, 已知准确浓度的溶液为标准溶液, 如以 0.100 0 mol·L⁻¹ 的 NaOH 溶液为标准溶液; 未知浓度的盐酸为待测溶液。实验中需要先准确量取一定体积的待测溶液,

通过实验测定消耗标准溶液的体积,可以直接计算待测溶液的浓度,它们之间的关系可表示为:

$$c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})$$

4. 判断滴定终点为什么不能用 pH 试纸? 请尝试从误差的角度讨论可能的原因。
-
-

滴定终点通常是通过指示剂的颜色变化来判断。常用的酸碱指示剂有:酚酞、甲基红、甲基橙。不同指示剂有不同的变色范围和颜色(选择性必修 1 教材第 61 页图 3.3)。溶液的 pH 还可以用 pH 计来测量。

【实验准备】

仪器: 滴定管(25 mL)、移液管(20 mL)、高型烧杯(50 mL)、锥形瓶(150 mL)、容量瓶(250 mL)、滴液管、铁架台、蝴蝶夹、洗耳球、pH 传感器、滴数传感器、磁力搅拌器、数据采集器或安装相关软件的电脑。

试剂: NaOH 标准溶液($0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、待测盐酸、待测食醋(白醋)溶液、酚酞试液、蒸馏水。

【实验步骤】

实验 1: 强酸与强碱的中和滴定

方案一: 滴定管滴定

1. 滴定管的准备

滴定管是能准确测量放出液体体积的定量仪器,常用规格为 25 mL 和 50 mL,最小刻度为 0.1 mL,读数可以估读至 0.01 mL。滴定管的活塞有红色、蓝色两种,带有红色活塞的滴定管一般用于盛放酸液,带有蓝色活塞的滴定管用于盛放碱液,使用方法完全相同。

(1) 滴定管清洗干净后,注入少量水检查活塞是否漏液,然后旋转 180°后再检查,确保不漏液。

(2) 将滴定管用蒸馏水洗涤后,再分次用少量 NaOH 标准溶液润洗滴定管 2~3 次,每次润洗液均从下端活塞放出,保证内壁、管尖和活塞周边全部接触到溶液。

(3) 注入 NaOH 标准溶液,打开活塞放出少量液体,赶尽活塞下端管内气泡使其充满液体,再慢慢调节滴定管内液面在“0”刻度处或以下,记录滴定管液面刻度数,并填入下表。

2. 滴定操作

(1) 用洗净并经润洗的移液管准确移取 20.00 mL 待测盐酸于 150 mL 锥形瓶中,滴加 2 滴酚酞试液,振荡,进行后续滴定。

(2) 滴定时,一只手控制滴定管活塞,另一只手用拇指、食指和中指捏住锥形瓶颈部轻轻摇动,如图 3.2 所示。开始时溶液的滴出速度可以稍



图 3.2 滴定操作

快,随着滴定的进行,滴定速度要减慢,最后阶段要逐滴加入,控制最后半滴(使溶液悬而未落,让其沿器壁流入容器,再用少量水冲洗内壁)加入时,恰好使溶液由无色变为浅粉红色。充分摇动锥形瓶,溶液30 s内不褪色,即为滴定终点。记录滴定管液面刻度数,并填入下表。

(3) 重复实验操作两次,记录相关数据并填入下表。

【数据记录与处理】

滴定次数		1	2	3
待测盐酸	V(HCl)/mL			
NaOH 标准溶液	滴定前的刻度/mL			
	滴定后的刻度/mL			
	V(NaOH)/mL			
$c(\text{HCl})/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$				
浓度平均值/ $(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$				
相对平均偏差				

注:相对平均偏差 = $\frac{|c_1 - \bar{c}| + |c_2 - \bar{c}| + |c_3 - \bar{c}|}{3\bar{c}}$ 。

方案二: 数字化实验

1. 按图3.3连接装置,打开应用程序。连接装置时,要确保滴液管滴下的液体能顺利通过滴数传感器的光电门,液体能滴入下端烧杯中。另外,磁力搅拌子不能触碰pH传感器,pH传感器要按要求预先处理。

2. 取50 mL高型烧杯放入一枚磁力搅拌子,用洗净并经润洗的移液管(或滴定管)量取20.00 mL待测溶液,注入高型烧杯。

3. 滴液管用蒸馏水洗后用NaOH标准溶液润洗2~3次,注入NaOH标准溶液。打开滴液管下端旋塞,让液体充满,赶尽液体内部的气泡。

4. 启动磁力搅拌器,调节到合适的转速。

5. 点击应用程序中的采集按钮开始采集数据,慢慢打开滴液管旋塞,向烧杯中逐滴滴加NaOH标准溶液,控制滴液速率为1滴/s左右,边滴边观察并记录实验现象。

6. 当观察到屏幕上溶液的pH明显超过7后,关闭滴液管旋塞,停止采集数据。

7. 用软件统计工具从实验曲线上查找溶液pH等于7时,对应的滴入NaOH标准溶液的体积,记录数据。

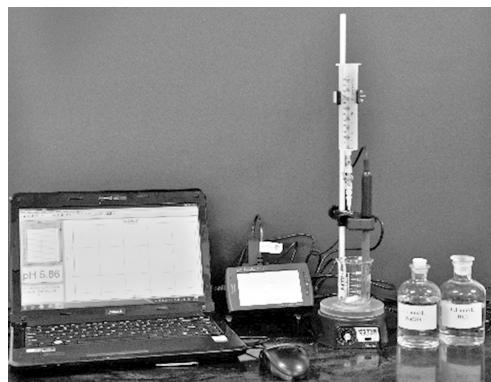


图3.3 中和滴定数字化实验装置

8. 重复上述实验步骤 2 到步骤 7, 将相应数据填入下表。

滴定次数		1	2	3
待测盐酸	V(HCl)/mL			
NaOH 标准溶液	V(NaOH)/mL			
	c(HCl)/(mol·L ⁻¹)			
	浓度平均值/(mol·L ⁻¹)			
	相对平均偏差			

实验 2：食醋总酸度的测定(用实验 1 的方案一或方案二均可)

食醋中的酸性成分主要是醋酸, 此外还含有乳酸等少量其他弱酸。本实验以酚酞为指示剂, 以已知浓度的 NaOH 溶液作为标准溶液, 测定食醋的总酸度。

1. 准确移取试样 10 mL 于 250 mL 容量瓶中, 用新煮沸并冷却至室温的蒸馏水稀释至标线, 摆匀, 配成待测醋酸溶液。

2. 用一支干燥的滴定管量取 20.00 mL(或者干燥的移液管移取 20 mL)待测醋酸溶液, 缓慢放入锥形瓶中, 加入 2 滴酚酞试液, 摆匀。

3. 调节滴定管中 NaOH 溶液的液面至“0”刻度处或以下, 记录滴定管液面刻度数, 并填入下表。

4. 进行中和滴定, 直至最后半滴加入, 恰好使溶液由无色变为浅粉红色。充分摇动锥形瓶, 溶液 30 s 内不褪色, 即为滴定终点。记录滴定管液面刻度数, 并填入下表。

5. 重复实验操作两次, 记录相关数据并填入下表。计算食醋的总酸度 $\rho(\text{CH}_3\text{COOH})$, 单位为 $\text{g} \cdot (100 \text{ mL})^{-1}$ 。

【数据记录与处理】

1. 请完成实验并填写下列表格。

滴定次数		1	2	3
待测醋酸	V(CH ₃ COOH)/mL			
NaOH 标准溶液	滴定前的刻度/mL			
	滴定后的刻度/mL			
	V(NaOH)/mL			

(续表)

$\rho(\text{CH}_3\text{COOH})/[\text{g} \cdot (\text{100 mL})^{-1}]$			
总酸度平均值/ $[\text{g} \cdot (\text{100 mL})^{-1}]$			
相对平均偏差			

2. 查阅食醋瓶上标签给出的醋酸含量, 对比测量结果, 给出判定结论。

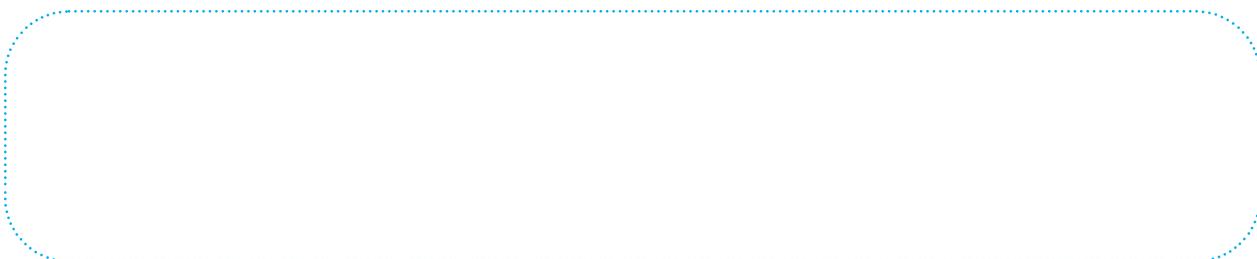
讨论和拓展

1. 测定盐酸和食醋为什么要用酚酞作指示剂? 是否可以用甲基橙或甲基红指示终点?

2. 测定食醋的总酸度, 为什么不能直接取 1 mL 食醋测定, 而要分级稀释再测定, 请说明可能的原因。

3. 对比实验 1 的方案一和方案二, 两者在操作上各有哪些优缺点?

4. 尽可能多地收集全班同学中同一组样品测定的实验数据, 按照实验 1 中的“方法一”或“方法二”将数据分类后用电子表格将所有数据进行线性拟合, 打印拟合后的图像贴在下面的框中。对拟合后的图像进行分析, 由此你能得出什么结论来?



实验 4 盐类水解的应用(学生必做实验)



问题和背景

盐类水解广泛应用于生产和生活中,如在自来水的生产中,一般需要加入明矾或氯化铁等絮凝剂(也称净水剂)对水进行絮凝处理;生活中,毛巾用久了常会泛黄发硬,用少量纯碱或小苏打浸泡片刻可使毛巾恢复柔软。但有时也需要防止盐类水解,如配制氯化铁溶液时,如果不加入适量的酸,则会出现浑浊现象。

硫酸亚铁是一种重要的无机化工原料,在涂料、塑料、造纸、印刷油墨、化纤、橡胶、日化等行业中有着广泛的应用。它在各种行业水处理中的作用是不同的,在用来当絮凝剂使用时主要表现为絮凝快、脱色能力强,还能去除重金属离子、去油、除磷;利用硫酸亚铁和碱的反应,可制备铁黄。请思考下列问题:

- 列举出呈酸性或碱性的盐溶液实例。
- 实验室配制某些盐的溶液时,有时需要加入少量酸或少量碱,这是为什么?
- 如何加速硫酸亚铁的水解?



探索和研究

【实验目的】

1. 加深对盐类水解及其影响因素的认识。
2. 了解盐类水解的应用,体会化学平衡原理在生产生活中的价值。
3. 了解无机制备的一些基本操作。

【实验原理】

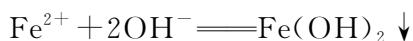
1. Al^{3+} 和 Fe^{3+} 水解可形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体,这两种胶体常被用作净水剂,写出相应反应的离子方程式。 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 或 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体起絮凝作用是利用了胶体的什么性质?

2. 若直接将氯化铁固体溶于水配制氯化铁溶液，常会出现大量浑浊，可能的原因是什么？想得到澄清透明的氯化铁溶液应该如何配制？

3. 工业上常有“酸除锈、碱去油”之说，碳酸钠常作为洗涤碱用于去除油污。碳酸钠溶液呈碱性的原因是什么？可通过哪些措施增强碳酸钠溶液的碱性？

4. 铁黄(化学式为 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 或 FeOOH)作为一种黄色、耐候性好的无机颜料，在生产和日常生活中具有广泛的应用。

以 FeSO_4 为原料，加入沉淀剂 Na_2CO_3 ，控制体系中 FeSO_4 与 Na_2CO_3 的配比和体系的 pH，再将生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 通入空气氧化，即可制得羟基氧铁(FeOOH)，然后经过过滤、洗涤、加热即可制得铁黄。制备过程中发生反应的离子方程式和化学方程式如下：



其中第一步反应利用了 Na_2CO_3 水解使溶液显碱性的原理。铁黄在 270 ℃下可发生明显颜色变化转变为铁红(Fe_2O_3)。

【实验准备】

仪器：试管(21 mm×150 mm)、烧杯(50 mL 和 500 mL)、量筒(10 mL 和 100 mL)、酒精灯、玻璃棒、蒸发皿、胶头滴管、药匙、试管夹、温控磁力搅拌器、电子天平、滤纸、漏斗、铁架台(附铁圈)或漏斗架、浑浊度传感器、数据采集器、火柴(或电子点火器)、pH 计、抽气泵。

试剂： FeCl_3 固体、无水 Na_2CO_3 固体、浓盐酸、 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液、饱和 Na_2CO_3 溶液、 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ FeSO}_4$ 溶液、 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸、蒸馏水、植物油、自配浑浊水(清水中加入少量泥土后用纱布滤去大颗粒可得)、滤纸。

【安全事项】

1. 浓盐酸和硫酸腐蚀性强，要注意防护。
2. 高温加热时要小心，防止烫伤。

【实验步骤】

实验 1：盐类水解的简单防止与应用

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取两支试管，分别加入 1 g FeCl_3 固体，向其中一支试管中加入 5 mL 蒸馏水；向另一支试管中先加入 2 mL 浓盐酸，振荡，再加入 3 mL 蒸馏水，振荡。对比两支试管中固体溶解情况		
2	取两只 50 mL 烧杯，加入约 25 mL 自配浑浊水；向其中一只烧杯中加入 10 mL $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液，用玻璃棒搅拌均匀，静置 5 min 后分别取两只烧杯中的上层液体，用浑浊度传感器测量其浑浊度并对比		
3	取三支试管分别编号为①、②、③，向三支试管中均滴入三滴植物油，轻轻转动试管让植物油附着在试管壁上。 向试管①中加入 5 mL 蒸馏水，向试管②和试管③中各加入 5 mL 饱和 Na_2CO_3 溶液。 将试管③加热煮沸片刻后，将三支试管中液体倒入废液缸，用少量水冲洗一遍，对比三支试管中油污去除程度		

实验 2：铁黄颜料的制备

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	称取 4 g 无水 Na_2CO_3 置于 500 mL 烧杯中，加入 150 mL 蒸馏水并搅拌使固体溶解		
2	将上述盛有 Na_2CO_3 水溶液的烧杯在水浴中恒温加热，控制水浴温度为 45~50 °C		
3	将 150 mL $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ FeSO_4 溶液缓慢加入上述恒温水浴的烧杯中，边加入边用玻璃棒缓慢搅拌，再用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸调节溶液 pH 至 3~4，反应液中产生灰白色沉淀		
4	启动抽气泵，向烧杯中通空气，观察沉淀逐渐经过灰白色→灰绿色→深绿色→棕黄色的转变		
5	停止反应，过滤、洗涤，将沉淀置于蒸发皿中，加热烘干得到铁黄		



讨论和拓展

1. 洗涤碱多使用 Na_2CO_3 ,一般不用 NaOH ,你认为可能的原因有哪些?

2. 加热氯化镁晶体($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)制无水氯化镁需要在氯化氢的气流中进行,解释其原因。

3. 查阅资料,设计实验以铁红为原料制备铁黄,简述实验原理和过程。

实验 5 制作简单的燃料电池(学生必做实验)



问题和背景

减少对化石能源的依赖、开发新能源是减少碳排放、应对气候变化的有效途径之一。燃料电池作为一种新能源，其开发利用不断发展，燃料电池汽车已在部分地区投入使用。氢燃料电池是燃料电池研究中最热门的领域之一，上海市已经在部分地区建成了氢燃料电池公交车线路，并建成了加氢站。请思考下列问题：

- 你知道燃料电池吗？目前主要有哪些物质可以作为燃料电池的燃料？燃料电池有哪些优点和技术壁垒？
- 为什么氢是最清洁的能源？为了实现氢燃料电池的全面使用，需要解决的问题主要有哪些？



探索和研究

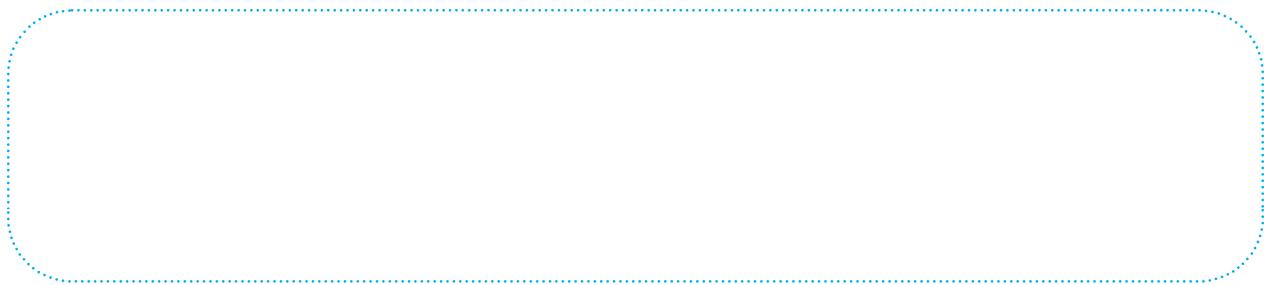
【实验目的】

1. 理解燃料电池的工作原理。
2. 设计和搭建简单的氢燃料电池并能产生电能。
3. 了解质子膜电极的主要优点。
4. 能利用质子膜、储氢容器等组装氢燃料电池。

【实验原理】

1. 你能说明氢燃料电池的原理吗？试书写电极反应式和总反应式。

2. 化学电池一般由几个部分组成，设计由水产生氢气和氧气，再利用氢气与氧气反应产生电能的燃料电池，画出你设计的装置图，并简述其原理。



3. 氢燃料电池中作为还原剂的氢气不必储存在电池内部,可以从外部输入,方便随时更换。请设计一个可更换氢气的电池装置,画出你设计的装置图或拍照粘贴。



【实验准备】

仪器: 启普发生器、支管 U 形管、石墨棒(表面需经活化处理,活化方法:先将石墨棒在酒精喷灯或丁烷灯上灼烧至红热,再迅速放入冷水中冷却,重复 2~3 次)、单孔橡胶塞、铁架台(附铁夹)、发光二极管(1~2 V)、带鳄鱼夹的导线、可调直流电源、开关、质子膜套件、微型电机(3 V)、微型电扇(3 V)、透明硅胶管(内径 3 mm)、注射器(100 mL)或储氢瓶。

试剂: $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸、锌粒。

【安全事项】

1. 硫酸有腐蚀作用,使用时要小心。
2. 储存氢气时要注意安全。

【实验步骤】

实验 1: 制作一个简单的燃料电池

图 5.1 是简单燃料电池的工作原理图。

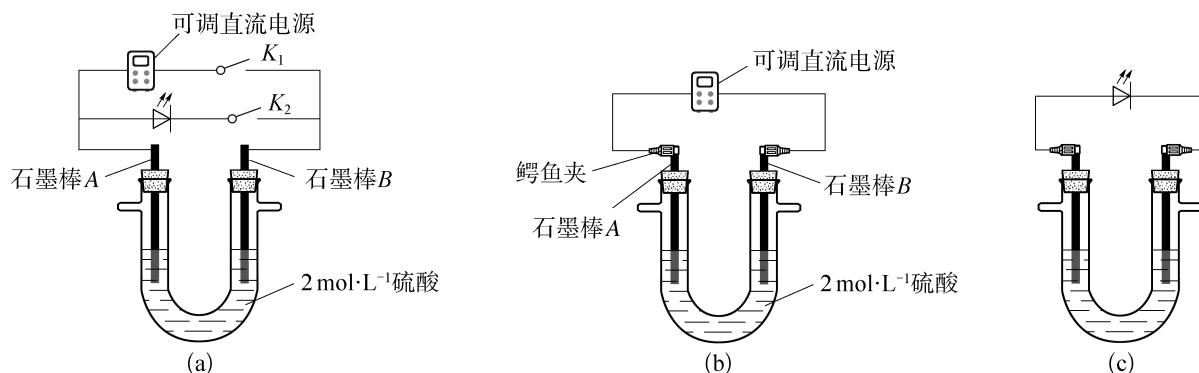


图 5.1 简单燃料电池的工作原理图(省略夹持装置)

序号	实验步骤	实验现象	结论或化学方程式
1	向支管 U 形管中注入 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸，将两个带有石墨棒的单孔橡胶塞塞在支管 U 形管两边，按图 5.1(a)连接电路。石墨棒 A 接电源负极，发光二极管的短脚接石墨棒 A	—	—
2	调节可调直流电源的电压为 24 V，断开开关 K_2 ，闭合开关 K_1 ，接通电源		
3	30 s 后，断开开关 K_1 ，闭合开关 K_2		
4	向支管 U 形管中注入 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸，将两个带有石墨棒的单孔橡胶塞塞在支管 U 形管两边，按图 5.1(b)连接电路，石墨棒 A 接电源负极	—	—
5	打开可调直流电源，调节电压为 24 V，通电		
6	30 s 后，关闭可调直流电源，拆下接在碳棒上的鳄鱼夹，按图 5.1(c)连接发光二极管，观察现象		

实验 2：用质子膜组装一个氢燃料电池

图 5.2 是质子膜氢燃料电池带动小风扇的装置图，图 5.3 是其中用到的质子膜。

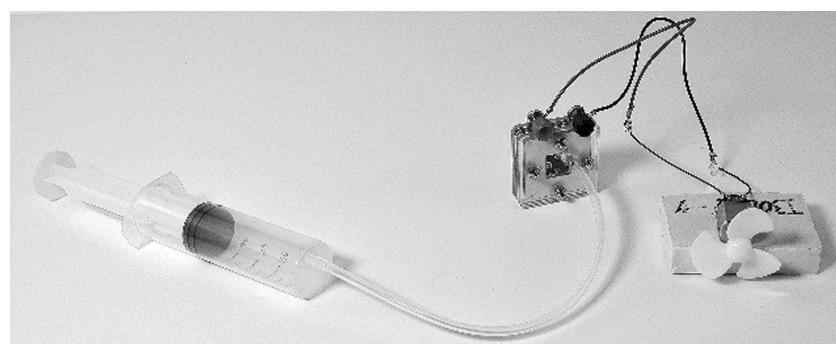


图 5.2 质子膜氢燃料电池带动小电扇

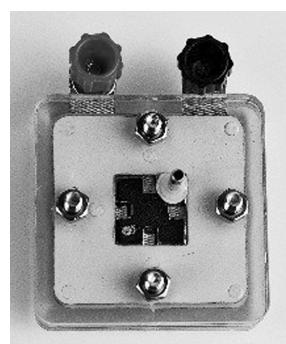


图 5.3 质子膜

序号	实验步骤	实验现象	结论或化学方程式
1	启普发生器里装入金属锌粒和稀硫酸	—	—
2	打开启普发生器旋塞,反应开始进行,排尽装置内空气后用 100 mL 注射器(或储氢瓶)收集产生的氢气		
3	按图 5.2,将注射器用透明硅胶管与质子膜氢气进口连接,将微型电机及微型电扇的两极与质子膜两接线柱用导线连接		
4	轻轻推动注射器推杆,将氢气慢慢推到质子膜表面,观察小电扇的转动		

【实验结论】



讨论和拓展

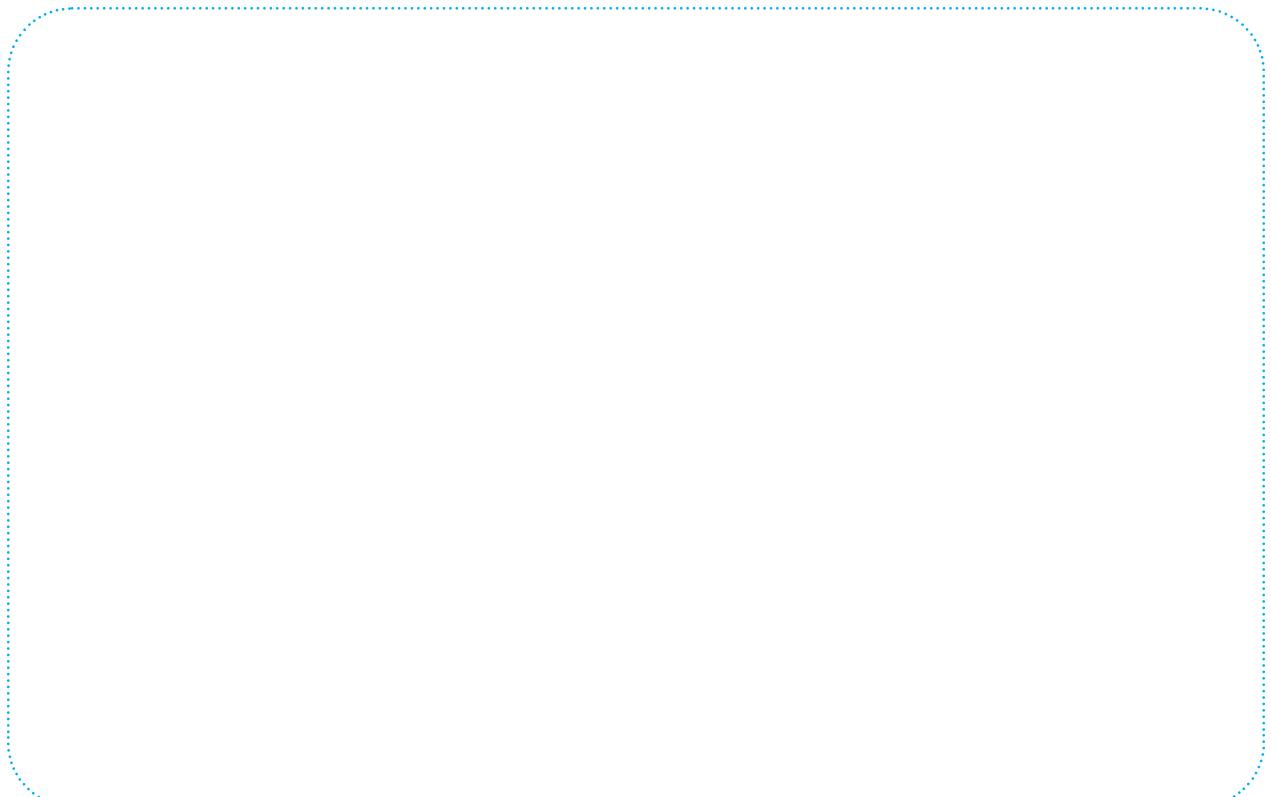
1. 石墨棒活化后表面有什么变化,活化的好处是什么?

2. 用电流计或电压计测量你设计的氢燃料电池的电流或电压,观察电流或电压的变化。

3. 将支管 U 形管中的溶液改为 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸、 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液或 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2SO_4 溶液中的任一种,测量燃料电池的电流或电压,观察电解质溶液(离子导体)对燃料电池工作的影响。

4. 对比用石墨电极与质子膜电极制作的氢燃料电池电流或电压数据的差异。

5. 收集太阳能转化为电能的资料,根据资料寻找合适的材料制作一个利用太阳能发电的装置。用这个装置电解水制备氢气,并用得到的氢气制作氢燃料电池。描述制作过程中用到的材料,对制作的电解装置和氢燃料电池拍照片和视频分享,并将照片贴在下面的方框内。



实验 6 简单的电镀实验(学生必做实验)



问题和背景

通过化学反应可将化学能转化为电能。同样,也可通过化学反应将电能转化为化学能,这个过程称为电解。生活用品中很多是电镀产品。有些水龙头为铜表面镀了一层银白色的金属;有些家用电器的旋钮为镀了金属的塑料。电镀是应用电解原理在某些金属或非金属制品表面镀上其他金属或合金薄层的方法,电镀的主要目的是增强金属的抗腐蚀能力,同时也可以增加表面硬度、使其更加美观等。请思考下列问题:

- 市售铁丝往往会在表面镀上一层锌,这样做的目的是什么?
- 化学镀与电镀有何差别?
- 电镀时,镀层材料须放在阴极还是阳极? 电解质溶液和电极材料应该如何选择?
- 非金属材料不导电,如何实现在其表面镀上一层金属?



探索和研究

【实验目的】

1. 学会组装电解池。
2. 认识电解原理在工业生产中的应用。
3. 了解电镀的原理。
4. 初步探究影响电镀效果的因素。

【实验原理】

1. 将金属锌镀到金属铜的表面,金属锌应经历怎样的变化过程? 请以镀锌为例,画出简单的电路图,指出电极材料和电镀液的成分。

2. 在对铜制钥匙镀锌时,阴极和阳极各发生什么反应?正、负离子发生怎样的迁移运动?反应过程中电解质溶液的浓度维持稳定的原理是什么?

【实验准备】

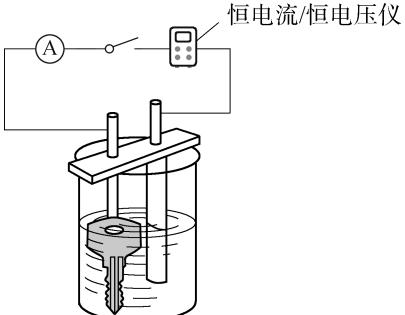
仪器:恒电流/恒电压仪、电镀槽(50 mL)、量筒(50 mL)、镊子、带鳄鱼夹的导线。

试剂:0.3 mol·L⁻¹硫酸锌溶液、锌片、铜制钥匙。

【注意事项】

1. 实验时连接的导线较多,为避免短路,连接或搬动时需要特别注意。
2. 实验中所用的试液有腐蚀性,使用时要注意,避免接触皮肤。

【实验步骤】

序号	实验步骤	实验现象	结论或化学方程式
1	按图6.1连接实验装置。向电镀槽中加入35 mL 0.3 mol·L ⁻¹ 硫酸锌溶液,将锌片和铜钥匙分别与电极接好并固定,再与恒电流/恒电压仪相连  图6.1 电镀装置	—	—
2	调节并将电压恒定在1 V,电镀20 min,观察阴、阳两极变化		
3	调节并将电压恒定在1.5 V,电镀15 min,观察阴、阳两极变化		
4	调节并将电压恒定在2 V,电镀10 min,观察阴、阳两极变化		

【实验结论】



讨论和拓展

- 通过本实验的学习,你认为实现电镀须具备哪些条件?描述电镀时发生的化学反应以及离子迁移运动过程。

- 你的电镀效果与你接触到的电镀产品之间存在怎样的差异?根据实验分析影响电镀效果的因素,尝试选择其中某个因素展开进一步的实验探究。

- 很多生活用品其实都是塑料镀件,就是在塑料表面镀上了一层金属。请查阅资料了解塑料电镀的原理和过程。

- 制作一个塑料电镀的小物件,详细记录你的制作过程,完成实验报告,向同学展示你的作品。

选择性必修2 物质结构与性质

实验7 简单配合物的制备(学生必做实验)



问题和背景

简单化合物之间可以通过进一步相互作用形成更为复杂的化合物。由金属离子或金属原子(主要是过渡金属元素)和一些小分子或离子通过配位键结合而形成的化合物,称为配位化合物,简称配合物。金属离子在形成配离子后,一些性质如颜色、溶解度、氧化性或还原性等与简单化合物有很大差异。利用配合物的生成及性质的改变,不仅可以用来鉴定某些金属离子,还能选择性地掩蔽反应中的某些离子,在化合物制备、提纯和分析等方面都有重要的运用。请思考下列问题:

- 配合物与复盐有何区别?
- 能否通过颜色、溶解度等的变化判断配合物的形成?
- 如何通过实验来证明金属配离子的生成,推测配离子的组成和离解?



探索和研究

【实验目的】

1. 了解配合物的生成、组成和离解。
2. 了解配离子和简单离子的性质差异,进一步加深对配合物的认识。

【实验原理】

1. 请以硫酸四氨合铜(Ⅱ)为例,写出配合物的化学式,指出其内界和外界。

2. 查找 AgCl 、 AgBr 和 AgI 的溶度积常数,正确书写它们的溶解平衡表达式,比较负离子相同浓度时,对应的正离子的浓度差异。

【实验准备】

仪器：试管、胶头滴管。

试剂： $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CuSO_4 溶液、 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH 溶液、 $6\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水、 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ AgNO_3 溶液、 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 溶液。

【安全事项】

滴加氨水时有刺激性气味，实验时需保持通风条件良好。

【实验步骤】

实验 1：铜氨配离子的制备

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取 2 支试管，分别加入 1 mL $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CuSO_4 溶液，然后分别向 2 支试管的溶液中滴加 2 mL $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH 溶液		
2	向其中一支试管中继续滴加 2 mL $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH 溶液，向另一支试管中滴加 2 mL $6\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水		

【实验结论】

实验 2：银氨配离子的制备

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取 1 支试管，加入 1 mL $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ AgNO_3 溶液，然后向溶液中滴加 1 mL $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 溶液		
2	向试管中滴加 2 mL $6\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水		

【实验结论】



讨论和拓展

1. 如何辨别配合物的内界与外界?

2. 相同浓度的硫酸四氨合铜(Ⅱ)溶液与硫酸铜溶液中 Cu^{2+} 和 SO_4^{2-} 的浓度是否相同?
为什么? 如何检验硫酸四氨合铜(Ⅱ)溶液中的 Cu^{2+} ?

实验 8 三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的制备



问题和背景

三草酸合铁(Ⅲ)酸钾,化学式为 $K_3[Fe(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$,是一种翠绿色晶体。三草酸合铁(Ⅲ)酸钾晶体难溶于乙醇,易溶于水,在0℃和100℃的溶解度分别为4.7g·(100g H₂O)⁻¹和117.7g·(100g H₂O)⁻¹。三草酸合铁(Ⅲ)酸钾晶体在110℃下失去三分子结晶水,230℃时发生进一步分解。三草酸合铁(Ⅲ)酸钾具有很好的光敏性、负载催化能力等。

合成三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的工艺路线有多种,例如:可以铁为原料生成硫酸亚铁铵,与草酸钾反应可得草酸亚铁,再经氧化制得;或以硫酸铁与草酸钾为原料直接合成;亦可以三氯化铁与草酸钾直接合成。后两种工艺路线短,在工业上更具可行性。以硫酸亚铁为原料,经沉淀、氧化还原、配位等多步反应制得产品,路线略长;实验过程中,颜色变化丰富。请思考下列问题:

- 用水溶解硫酸亚铁固体粉末时,为何常常加稀硫酸酸化?
- 将Fe²⁺氧化为Fe³⁺时,可选用哪些氧化剂?
- 生成三草酸合铁(Ⅲ)酸钾适宜的pH约为3.5。若溶液pH高于4或低于3时,应如何处理?
- K₃[Fe(C₂O₄)₃]·3H₂O见光会分解成什么产物?应如何保存?



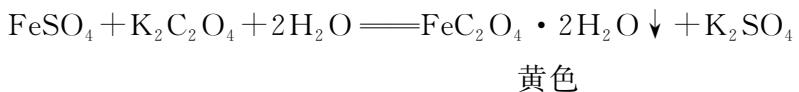
探索和研究

【实验目的】

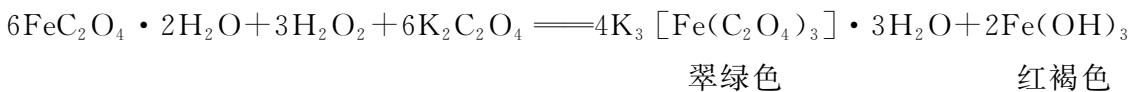
1. 了解利用沉淀、氧化还原、配位等反应制取三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的方法。
2. 初步了解结晶条件对晶体外观的影响,进一步学习无机制备实验的基本操作技能。
3. 了解三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的光化学性质。

【实验原理】

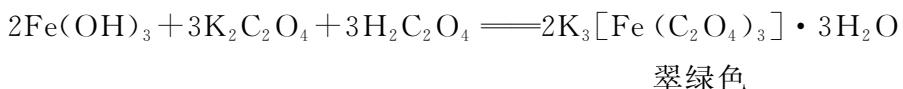
本实验以FeSO₄·7H₂O为原料,先与K₂C₂O₄反应制得FeC₂O₄沉淀:



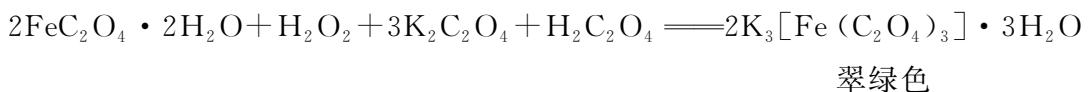
在过量 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 存在下,用 H_2O_2 氧化 FeC_2O_4 :



然后,加入适量 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 和 $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$,控制 pH 为 3.5~4.0,得到三草酸合铁(Ⅲ)酸钾溶液。最后,通过浓缩、冷却或加入乙醇,便可析出三草酸合铁(Ⅲ)酸钾晶体。



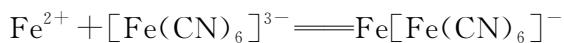
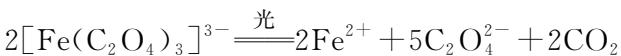
总反应为:



饱和 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液、饱和 $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液的浓度在不同温度下差别较大,见下表。不同温度下加入饱和 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液、饱和 $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液的体积应对照下表来换算。

温度/℃	c (饱和 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液)/(mol·L ⁻¹)	c (饱和 $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液)/(mol·L ⁻¹)
10	0.48	1.7
20	0.75	2.0
30	1.1	2.2
40	1.7	2.4

$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 对光敏感,见光易发生分解反应,可用作化学光量计。光解产生的 Fe^{2+} 遇六氰合铁(Ⅲ)酸钾生成蓝色沉淀,借助此性质实现用蓝晒法冲印照片或图片。



【实验准备】

仪器: 烧杯(50 mL、100 mL 和 250 mL)、胶头滴管、精密 pH 试纸(0.5~5.0)、量筒(10 mL 和 25 mL)、玻璃棒、漏斗、电热板(或电炉)、铁架台(附铁圈)或漏斗架、高压汞灯、透明硬质塑料薄膜、毛刷、滤纸。

试剂: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 固体、3 mol·L⁻¹ 硫酸、饱和 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液、饱和 $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液、5% H_2O_2 溶液、95% 乙醇溶液、0.2 mol·L⁻¹ $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 溶液。

【安全事项】

- 多次加热煮沸或浓缩溶液时,需注意安全! 防止溶液暴沸,全程须佩戴护目镜。

2. 使用硫酸、5% H_2O_2 溶液时要小心操作。
3. 乙醇是易燃液体,操作时要注意远离明火。

【实验步骤】

1. 草酸亚铁的生成

取一只洁净干燥的 100 mL 烧杯。称取 4.00 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 放入烧杯,加入 2 滴 $3\text{ mol} \cdot L^{-1}$ 硫酸进行酸化,再加入 30 mL 水,搅拌溶解。然后,加入 9~10 mL 饱和 $K_2C_2O_4$ 溶液,得到黄色 $FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$ 沉淀。将沉淀置于 70~80 ℃热水浴(可用 250 mL 烧杯做水浴杯)中加热,搅拌 2 min。静置分层,使用倾析法弃去上层清液。再向沉淀中加入约 50 mL 40 ℃左右热水,进行搅拌,静置分层,使用倾析法弃去上层清液。

注意: 倾析法可以从液体中分离出密度较大且不溶的固体。静置分层时,不要将玻璃棒放在溶液中。

2. 草酸亚铁的氧化

向洗涤后的黄色草酸亚铁沉淀中加入 10~12.5 mL 饱和 $K_2C_2O_4$ 溶液,搅拌均匀。用滴管滴加 6~10 mL 5% H_2O_2 溶液,同时充分搅拌,直至溶液中有红褐色氢氧化铁沉淀产生(2~3 min 内)。

3. 三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的生成

用量筒量取约 6 mL 饱和 $H_2C_2O_4$ 溶液,缓缓倒入反应液,持续搅拌,此时溶液由红棕色变为浅棕或棕绿色。将烧杯置于热水浴中,充分搅拌,再继续滴加 1~2 mL 饱和 $H_2C_2O_4$ 溶液,同时测溶液 pH,控制 pH 在 3.5~4.0 的范围内。此时如有沉淀,可滴加适量 5% H_2O_2 溶液。若 pH 偏高,可继续缓缓滴加饱和 $H_2C_2O_4$ 溶液;若 pH 偏小,可适量滴加饱和 $K_2C_2O_4$ 溶液回调,直至反应体系完全变为澄清透明的翠绿色溶液。溶液蒸发浓缩至 15~18 mL,静置、冷却结晶、过滤(有条件的可抽滤)。将产品转移到滤纸或表面皿上,自然晾干或放在烘箱中于 50 ℃下加热 15 min,称量,计算产率。

4. 结晶方式的选择(选做)

- 浓缩至 20~25 mL,加 4~7 mL 95% 乙醇溶液,搅拌均匀,冷却结晶。
- 浓缩至 15~18 mL,自然冷却结晶。
- 不浓缩,直接加 10 mL 95% 乙醇溶液,将一小段棉线悬挂在溶液中,在暗处放置数小时。

5. 三草酸合铁(Ⅲ)酸钾光敏性的应用——蓝晒法冲印照片(选做)

在暗处将 $0.2\text{ mol} \cdot L^{-1}$ 的三草酸合铁(Ⅲ)酸钾溶液(含 $0.1\text{ mol} \cdot L^{-1}$ 硫酸)和 $0.2\text{ mol} \cdot L^{-1}$ 的铁氰化钾溶液按体积比 1:1 混合。用毛刷将混合液均匀地涂在滤纸上,制成黄绿色感光纸。把印有图案的透明胶片或底片,固定在感光纸的正上方,放在高压汞灯下约 10 min。曝光结束,感光纸上会留下蓝黄色的图案,用大量清水漂洗感光纸,将图案上黄色部分冲洗至白色即可。晾干,一张蓝白色的照片或图片就制成了。

【实验结论】

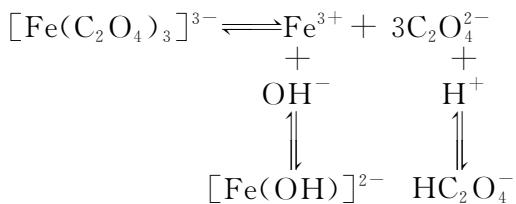
FeSO ₄ · 7H ₂ O 质量/g	饱和 K ₂ C ₂ O ₄ 溶液体积/mL	5%H ₂ O ₂ 溶液 体积/mL	饱和 K ₂ C ₂ O ₄ 溶液体积/mL	产品质量/g	产率(%)	产品外观

注：1. FeSO₄ · 7H₂O 的摩尔质量为 278.0 g · mol⁻¹, K₃[Fe(C₂O₄)₃] · 3H₂O 的摩尔质量为 491.3 g · mol⁻¹。
2. 以 4.00 g FeSO₄ · 7H₂O 为原料，产品三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的理论产量为 7.07 g。



讨论和拓展

- 在三草酸合铁(Ⅲ)酸钾溶液中存在如下化学平衡：



试分析溶液 pH 对上述化学平衡及产品质量的影响。

- 如何提高本实验中三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的产率？能否用蒸干溶液的办法来提高产率？

- 你能否设计实验来验证 K₃[Fe(C₂O₄)₃] · 3H₂O 具有光敏性？

- 用蓝晒法冲印照片，曝光后若不用水冲洗感光纸或冲洗不干净，放置过程中照片会有什么变化？

实验 9 热变色材料的制备与性质



问题和背景

市场上有一种杯子，当杯内倒入热水或温水时，杯外有图案的地方将会根据温度变色，这种杯子称为马克杯或盎司彩杯。为防烫伤幼儿，人们设计了一种感温变色汤匙，当温度过高汤匙就会改变颜色。在饮水杯中倒入热水后，夹层腔中的热敏液体会产生色泽变化并升逸于内杯图形通道中，杯壁就显现出艺术图案，提升了视觉美感。其实，这些变色杯、感温汤匙及杯中图案的呈现均是由于使用了热变色材料。

热变色材料作为一种能对外界环境变化产生响应的新型智能材料，显示出极其广阔的应用前景。简单来说，热变色材料就是在一定温度范围内，其颜色随温度改变而改变的特殊材料，其颜色的改变可以从无色到有色或从有色变到无色，也可以从一种颜色变为另一种颜色。甚至有受热后相继出现两种或两种以上颜色的多变色材料。请思考下列问题：

- 材料发生热变色是化学变化还是物理变化？
- 生活中你都见过哪些热变色材料？它们的变色原理是什么？



探索和研究

【实验目的】

1. 认识更多配合物，了解配合物因结构不同而性质存在差异，形成结构决定性质的学科观念。
2. 进一步学习简单配合物的制备，学习配合物制备中溶解、结晶、过滤、洗涤等操作。
3. 通过无机配合物变色的原理，感受化学材料的广泛应用和魅力。
4. 学习用毛细管法研究热变色材料的变色温度区间。

【实验原理】

热变色材料的热变色性可分为两类：化合物的颜色会随着温度的变化而逐渐改变的，称为连续性热变色；化合物的颜色改变只发生于某一特定温度或在一个很小的温度范围内的，则称为不连续性热变色。在无机固体材料中，不连续性热变色常常涉及固相-固相之间的相转变，而造成变色的原因是中心金属离子周围配体的几何形状、配体个数或配位原子等发生变化。

许多铜离子的配合物具有变色性,如四氯铜二乙基铵 $\{[(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{NH}_2]_2[\text{CuCl}_4]\}$,在室温下为绿色,随着温度升高,会逐渐转变为黄褐色,其热变色的发生是 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ 配离子的几何形状发生改变而造成的。如图 9.1 所示,室温下此配合物结构为四个 Cl^- 在 Cu^{2+} 四周形成平面四边形,有机铵正离子则位于 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ 配离子的外围;当温度升高时,热振动使得 N—H…Cl 的氢键发生改变,导致原来的平面四边形结构转变成扭曲的四面体结构,从而使其颜色改变。

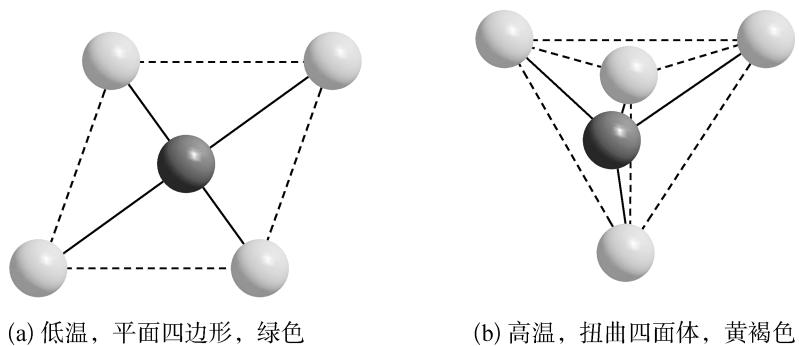


图 9.1 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ 在不同温度时的几何结构

本实验首先合成制备四氯铜二乙基铵,然后研究其热变色性质。

【实验准备】

仪器: 锥形瓶(50 mL)、烧杯(250 mL)、熔点毛细管(1.3~1.4 mm×80 mm,一端封口)、量筒(10 mL)、玻璃棒、丁烷灯(或酒精灯或酒精喷灯)、电子天平(0.1 g)、温控加热器、过滤装置、镊子。

试剂: 无水氯化铜、无水乙醇、二乙基氯化铵 $[(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{NH}_2\text{Cl}]$ (别名: 二乙胺盐酸盐)、异丙醇、冰块。

【安全事项】

1. 本实验所制备的配合物遇水易分解,所用的器皿均应干燥无水。
2. 蒸发浓缩应在通风橱内进行。
3. 产物的热变色性质也可在试管内检验,但需用塞子塞住试管口。
4. 乙醇和异丙醇都是易燃液体,操作时要注意远离明火。

【实验步骤】

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	称取 1.4 g 无水氯化铜,置于 50 mL 锥形瓶中,加入无水乙醇 2 mL,溶解		
2	称取 2.2 g 二乙基氯化铵,置于另一 50 mL 锥形瓶中,加入异丙醇 6 mL,溶解(如不溶解时可略加热)		

(续表)

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
3	将氯化铜-乙醇溶液逐滴滴加至氯化二乙基铵-异丙醇溶液中,同时加热(50 ℃左右)搅拌		
4	待滴加完毕,继续加热。待溶液的体积蒸发浓缩至约4 mL,稍冷后,置于冰水浴中冷却,结晶		
5	用倾析法弃去母液,在沉淀上加入冷的异丙醇(冰水浴中冷却)6 mL,搅拌,过滤,用少量冷异丙醇洗涤,过滤、晾干		
6	将产物装入熔点毛细管中,反复振荡使之紧密填塞,至高度为2~3 mm,封口		
7	将装填产物的熔点毛细管置于水浴中缓慢加热,观察现象,记录其变色的温度范围		
8	再将此熔点毛细管置于冰水浴中,观察其颜色变化是否具有可逆性		

【实验结论】



讨论和拓展

1. 如果冷却结晶阶段,没有晶体析出,可能的原因是什么? 可用什么办法帮助晶体析出?

2. 过滤过程中,为什么要使用冷的溶剂?

3. 你认为热变色材料可以有哪些用途? 能否设计一些应用场景,简单描述你的创意?

实验 10 五水硫酸铜的重结晶提纯及晶体结构解析



问题和背景

化学试剂中常含有各种不同的杂质，在实际使用时往往需要进行纯化，重结晶法是一种常用的提纯物质的方法。

重结晶法利用杂质和被提纯物质溶解度的不同，先将样品溶解在一定的溶剂中，用过滤法除去其中的不溶性杂质。然后，进行蒸发浓缩，将被提纯结晶物析出。请思考下列问题：

- 为使试剂中的杂质可被除去，操作上需要注意什么？
- 如何验证提纯得到的硫酸铜晶体中结晶水含量与理论值是否相符？



探索和研究

【实验目的】

1. 了解化学试剂中的杂质成分及其去除原则。
2. 学会用重结晶法提纯化学物质。
3. 初步了解被提纯物质的结构鉴定及性质特点。

【实验原理】

工业用的硫酸铜含量为 93%~98%，主要杂质为锌、铁、锑、铅等金属的硫酸盐。铅和锑的硫酸盐难溶于水，可以过滤除去。锌和铁的硫酸盐易溶于水，当硫酸铜晶体析出时，它们的溶解量未达到饱和而留在母液中，从而与硫酸铜分离。

【实验准备】

仪器：烧杯、量筒(50 mL)、加热板(或酒精灯)、陶土网、坩埚钳、铁架台、漏斗(管长大于 150 mm)、滤纸、蒸发皿、表面皿、玻璃棒、去离子水瓶。

试剂：硫酸铜(工业用)、蒸馏水或去离子水。

【安全事项】

1. 加热溶解时，小心不要被溶液烫伤。
2. 热过滤过程中，小心取用热的烧杯。
3. 蒸发浓缩时，小心移取和摆放热的蒸发皿。

【实验步骤】

实验 1：五水硫酸铜的重结晶提纯

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取一只 150 mL 烧杯,加入 15 g 粗硫酸铜、35 mL 蒸馏水,用加热板加热或置于陶土网上,小火加热溶解		
2	待溶解完全后,趁热过滤,收集滤液		
3	过滤完毕,将滤液转移到蒸发皿中,在沸水浴上蒸发浓缩,当溶液表面有一薄层晶体膜时,停止加热		
4	将蒸发皿取下,盖上表面皿,冷却至室温		
5	过滤蒸发皿中的物质,并用少量去离子水洗涤滤渣 2~3 次		
6	将产品移至预先称量过的表面皿上,用滤纸吸干,称量,计算回收产率		

实验 2：五水硫酸铜晶体结构解析(选做)

1. 判断制得的晶体是五水硫酸铜晶体的方法

对制得的晶体样品进行 X 射线衍射(XRD)测试,再对测得的图谱进行分析比对,可以确定所制得的晶体样品是否为目标产品。图 10.1 是某位同学实验中重结晶提纯的样品的 XRD 测试图

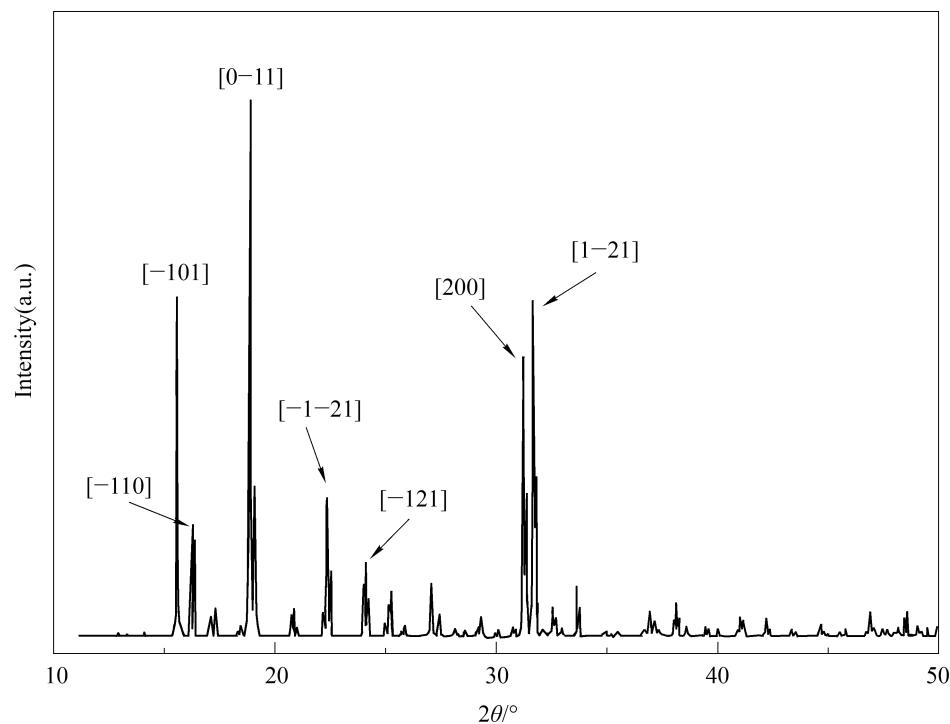


图 10.1 某同学制得样品的 XRD 图谱

谱。其中,横坐标“ 2θ ”表示角度;纵坐标“Intensity(a. u.)”表示“强度(任一单位)”,即指相对强度。

从图 10.1 中可知,在 2θ 为 15.5° 、 16.2° 、 18.8° 、 22.3° 、 24.0° 、 31.2° 和 31.6° 处,有明显的衍射峰。与标准图谱对比可知,这些衍射峰分别归属为五水硫酸铜晶体的 (-101) 、 (-110) 、 $(0-11)$ 、 $(-1-21)$ 、 (-121) 、 (200) 和 $(1-21)$ 晶面的衍射峰。所以可初步判断,该同学经重结晶提纯的样品为五水硫酸铜晶体。

2. 判断制得的晶体中结晶水含量的方法

现代化学常用热重分析仪精确测定所制得的晶体样品中的结晶水含量。图 10.2 是某同学实验中重结晶提纯的样品的热重分析图。(实验条件:称取 5 mg 样品,置于热重分析仪上,在空气气氛下,炉温以 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速度,从 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 升温至 $350\text{ }^\circ\text{C}$ 。)

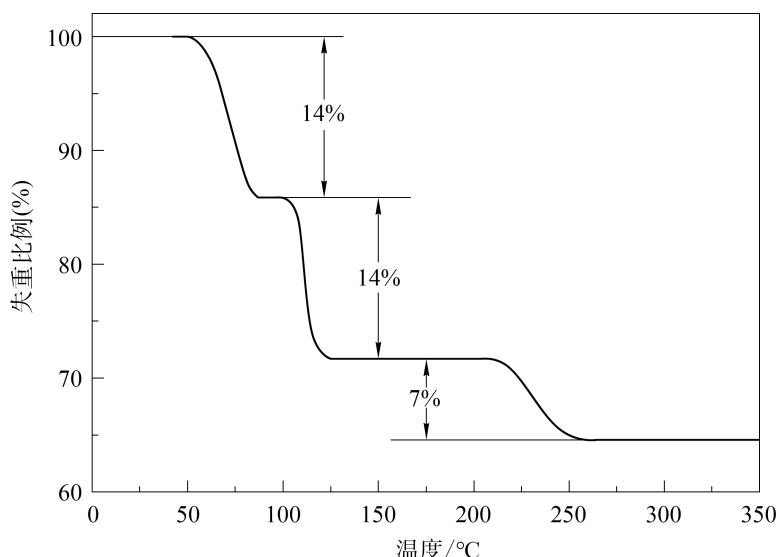


图 10.2 某同学制得样品的热重分析图

对图 10.2 进行分析可知,样品在受热过程中,发生了三次失水过程:从 $42\text{ }^\circ\text{C}$ 升温至 $98.6\text{ }^\circ\text{C}$,样品失重比例达 14%;从 $98.6\text{ }^\circ\text{C}$ 升温至 $135.8\text{ }^\circ\text{C}$,样品失重比例也为 14%;从 $135.8\text{ }^\circ\text{C}$ 升温至 $267.4\text{ }^\circ\text{C}$,样品失重比例为 7%。经计算可推测,重结晶提纯的样品中,含结晶水的物质的量为 5,与理论值相符,该同学经重结晶提纯的样品为五水硫酸铜晶体。

【实验结论】

讨论和拓展

蒸发浓缩时,为什么在沸水浴上进行?

实验 11 几种常见晶体结构模型的搭建



问题和背景

根据晶体中微粒的种类和微粒间相互作用的不同,晶体常被分为四大类:金属正离子和自由电子通过金属键的相互作用,形成金属晶体;正、负离子通过离子键的相互作用,形成离子晶体;分子能通过分子间作用力,形成分子晶体;有些非金属元素原子通过共价键的相互作用,形成共价晶体。认识晶体结构有助于理解物质的结构,体会结构对物质性质的影响,但这部分内容较为抽象难懂,对空间想象力的要求较高。模型不仅是一种重要的科学的研究方法,也是一种重要的学习工具,它比较形象、直观,有助于我们理解抽象的科学概念,并进一步掌握理论和解释现象。请思考以下问题:

- 在 NaCl 晶体模型中,如果代表 Na^+ 和 Cl^- 的圆球有大小之分,那么, Na^+ 选用较大的球还是较小的球?
- 在 NaCl 晶体和 CsCl 晶体的晶胞中,每个 Na^+ 与 6 个 Cl^- 相接触,而每个 Cs^+ 与 8 个 Cl^- 接触,造成这种差异的原因是什么?
- 金刚石和石墨都是由碳原子构成的,为什么它们的一些物理性质差异很大?



探索和研究

【实验目的】

1. 掌握几种常见晶体的结构,并能够搭建出它们的模型。
2. 理解各类晶体晶胞中微粒之间的位置关系和个数配比。
3. 比较四类晶体中微粒间相互作用的不同,认识由此形成的晶体结构及性质的差异。

【实验原理】

1. 列举晶体类型及其代表物质,从构成微粒、微粒间相互作用、几何构型等方面以列表的方式进行比较。

2. 解释在离子晶体中正、负离子结合时为什么会出现不同类型,如 NaCl 型、CsCl 型等。

离子键没有方向性和饱和性,离子在晶体中也趋向于采取尽可能紧密的堆积方式,只是离子周围接触的是带异性电荷的离子。为使正、负离子尽可能接触,离子晶体的堆积方式与正、负离子的半径比有一定关系,从而形成不同类型的离子晶体,如 NaCl 型、CsCl 型等。

共价晶体中,原子与原子间通过共价键形成一个可以看作由“无限”数目的原子构成的“巨型分子”,共价键有方向性,晶体中原子的空间排列主要取决于共价键的空间指向,没有球密堆积的特征。

共价分子在降温集聚时可通过分子间作用力聚集形成分子晶体。分子晶体中,共价分子整齐排列在晶体中,而分子之间则通过较弱的范德华力或氢键聚集在一起。对于球形或近球形的分子,通常采用密堆积的方式组成分子晶体。直线形的共价分子有取向,堆积为晶体时,不能采用球密堆积的方式。

【实验准备】

器材: 孔数及孔的角度不同、大小不同、颜色不同(记为 A 色和 B 色)的圆球若干,长棍、短棍若干。

【实验步骤】

实验 1: 用球棍搭建氯化钠晶体的结构模型

NaCl 晶体的晶胞如图 11.1 所示。在三维空间里,Cl⁻ 和 Na⁺ 呈交替间隔排列,每个 Cl⁻ 与 6 个 Na⁺ 相接触,每个 Na⁺ 也与 6 个 Cl⁻ 相接触。8 个 Cl⁻ 位于顶角,6 个 Cl⁻ 位于面心,共需要 14 个 Cl⁻ 球;12 个 Na⁺ 位于棱心,1 个 Na⁺ 位于体心,共需要 13 个 Na⁺ 球。

选用 6 孔圆球,且 6 个孔互成 90°,赤道平面上均匀分布 4 个孔,轴向上两个孔;14 个 Cl⁻ 球(A 色),13 个 Na⁺ 球(B 色),短棍 54 根。

根据图 11.1,NaCl 晶体晶胞分为上、中、下三层。上层和下层结构完全一样,类似于田字格,Cl⁻ 球分布在其四个顶点和中心位置,另外四个节点被 Na⁺ 球占据,按照这种方式用短棍通过赤道平面上的孔将 Cl⁻ 球和 Na⁺ 球连接起来,得到晶胞的上层和下层。中层则正好相反,Na⁺ 球分布在田字格的四个顶点和中心位置,Cl⁻ 球分布在四个节点上。将安装好的上、中、下三层通过轴向上的孔上下连接,就得到了 NaCl 的晶胞。

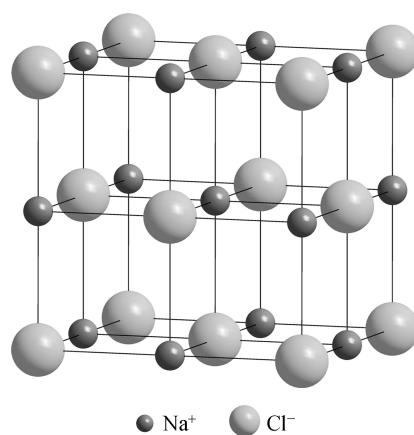


图 11.1 NaCl 晶体的晶胞

实验 2：用球棍搭建氯化铯晶体的结构模型

CsCl 晶体的晶胞如图 11.2 所示。8 个 Cl^- 堆成一个互不接触的立方体, Cs^+ 嵌在这个立方体的中央, 即 Cl^- 位于立方体的 8 个顶角上, Cs^+ 则位于体心。 Cl^- 除了与另外 3 个 Cl^- 互相垂直连接以外, 还与体心 Cs^+ 连接, Cs^+ 与 8 个 Cl^- 连接。因此, Cl^- 球上需有 4 个孔, 其中 3 个互成 90° , 另一个孔与这 3 个孔互成 45° 。 Cs^+ 球上需有 8 个孔; 选用 8 个 Cl^- 球(A 色)及 12 根等长的长棍; 1 个 Cs^+ 球(B 色)及 8 根等长的短棍。

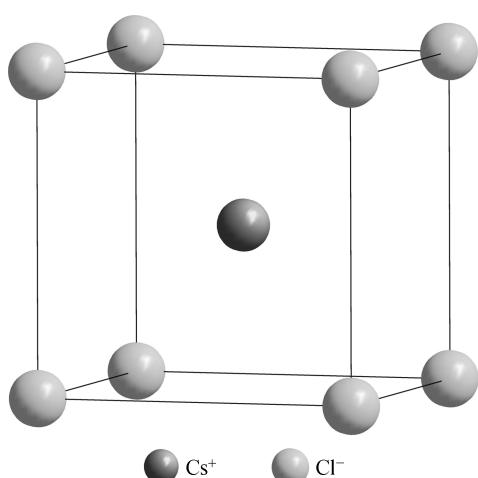
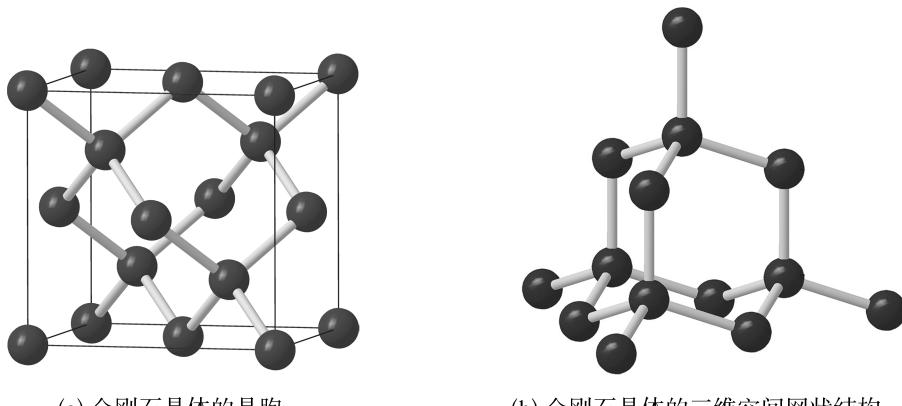


图 11.2 CsCl 晶体的晶胞

依照图 11.2, 用长棍通过互成 90° 的孔连接 8 个 Cl^- 球, 组成一个立方体。然后, 将短棍插入 Cs^+ 球的 8 个孔, 再将短棍连接到 Cl^- 球上与其他孔成 45° 的孔上, 形成了 CsCl 的晶胞。

实验 3：用球棍搭建金刚石晶体的结构模型

金刚石晶体中, 每一个碳原子通过四面体指向的 4 个 sp^3 杂化轨道与邻近 4 个碳原子形成共价键, 无数个碳原子这样互相连接构织成一个三维空间网状结构。图 11.3(a)为金刚石晶体的晶胞示意图, 8 个碳原子位于顶角, 6 个碳原子位于面心, 4 个碳原子则位于体心。因此, 选用含 4 个孔互成 109.5° 的球。由于孔角度及棍长的限制, 位于晶胞立方体顶角上没有与其他碳原子相连的 4 个碳原子不需要搭建, 只需要搭建出如图 11.3(b)所示的晶体三维空间网状结构即可。



(a) 金刚石晶体的晶胞

(b) 金刚石晶体的三维空间网状结构

图 11.3 金刚石晶体的结构

取 1 个碳原子球, 插入 4 根短棍, 这 4 根短棍上各连接一个碳原子球, 由此, 5 个碳原子组成一个四面体结构; 将四面体结构放置于桌面上, 与桌面接触的三个球各有一个孔垂直朝下, 将这三个孔上插上短棍, 并各连接一个球, 三根短棍呈平行状; 将这 3 个球剩余的 9 个孔都插上短棍, 调整角度, 由 6 根短棍围成一个六边形, 其中三个顶点已被碳原子球占据, 另外 3 个顶点由短棍两两相交而成, 此处各插入一个球, 从而组成了一个含 6 球 6 棍的椅式结

构；剩余的 3 根短棍插上球后，就形成了一个金刚石的三维空间网状结构。

实验 4：用球棍搭建石墨晶体的结构模型

石墨是一种混合型单质晶体，在其晶体中，每个碳原子以三个价电子与相邻的三个碳原子，形成三个互成 120° 的共价单键，这些共价单键在同一个平面上构成了一个无限巨大的平面网状结构。每个碳原子的第四个电子则在垂直于平面的方向上形成了一个离域的大 π 键。石墨晶体由这些巨大的碳原子层平行叠加而成。图 11.4 是石墨晶体中三层碳原子的重叠结构以及从这种结构中取出的一个晶胞示意图。在晶胞中，1 个碳原子在体内，2 个碳原子在面上，8 个碳原子在顶角上，还有 4 个碳原子在垂直于底面的棱上。

选用的碳原子球需孔数 5 个，赤道平面上的 3 个孔互成 120° ，轴向上的两个孔和其他孔互成 90° ，共需要 30 个这样的 C 原子球。

利用短棍通过赤道平面上的孔连接成两个六元环的并环，组成石墨晶体中的一层，同样方法，再组成 2 个同样的并环。层与层之间连接时，第 1 层和第 3 层完全重合，第 2 层错位，使用较长的棍通过轴向上的孔将三层连接起来（可参考图 11.4 晶胞中黑线的连接方式），就得到了石墨晶体三层碳原子的重叠结构。

实验 5：搭建干冰晶体结构模型

图 11.5 为干冰晶体的晶胞示意图，共有 14 个二氧化碳分子，其中 8 个二氧化碳分子位于立方体顶角，6 个二氧化碳分子位于面心。考虑到球上孔角度的限制，只需搭建出以二氧化碳分子中碳原子为质点的晶胞。

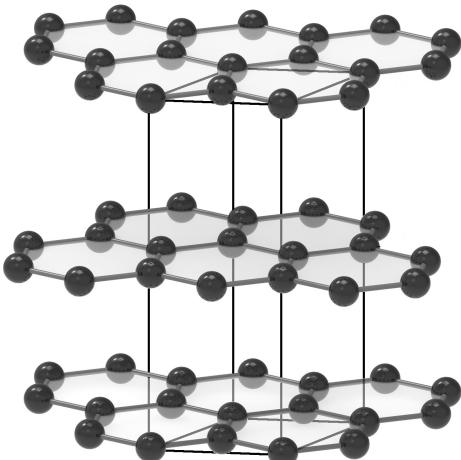


图 11.4 石墨晶体的结构及晶胞

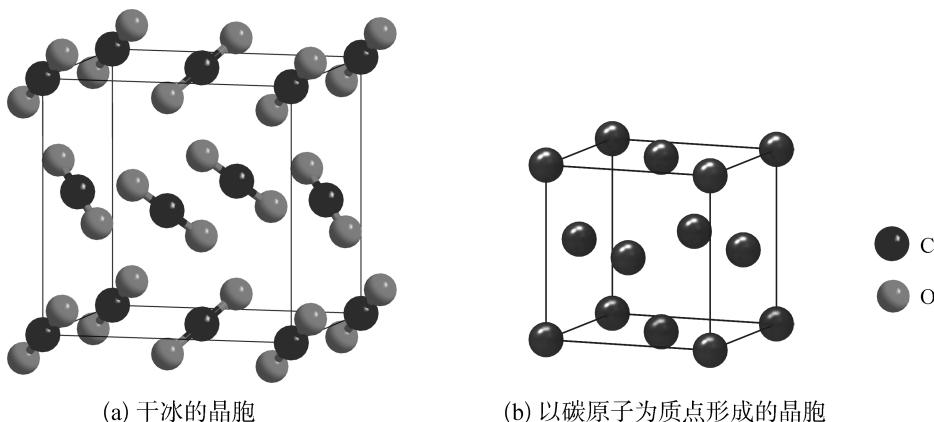


图 11.5 干冰的晶体结构

因此，需要的球如下：4 孔圆球（4 个孔在赤道平面上互成 90° ）6 个；6 孔圆球（3 个孔互成 90° ，另外 3 个分别与前 3 个孔两两互成 45° ）8 个。

用12根长棍和8个6孔圆球先搭出一个立方体，这8个球位于立方体的顶点上；再用短棍将6孔圆球中与两条棱呈 45° 的孔和4孔圆球连接，组成一个8个球位于顶点、6个球位于面上的立方体。需注意的是，二氧化碳分子是直线形分子，有空间取向。



讨论和拓展

- 借助晶体结构模型，填写下表。

晶体基本类型	晶体中的微粒	微粒间作用力	熔点和沸点	硬度	延展性	导电性
金属晶体			—			
离子晶体						
共价晶体						
分子晶体						

- 在外力作用下，金属镁容易变形，而氟化镁则容易破碎，试解释原因。

选择性必修3 有机化学基础

实验 12 从新鲜橙皮中提取柠檬精油



问题和背景

在人类社会发展的历史长河中发现和创造的新物质,到目前已超过1亿种,其中有许多是从自然界提取的。那么,人类从自然界中提取物质的主要来源都有哪些?

人类在认识世界的过程中,不断地从自然界中提取物质,青蒿素就是屠呦呦研究团队从植物黄花蒿中分离得到的。在化学研究领域,这样的例子还有很多,如科学家从红豆杉树皮中提取的紫杉醇成为著名的抗癌药物,从喜树的种子或根皮中分离得到的喜树碱具有优良的抗恶性肿瘤和抗白血病的作用。

除了作为药物外,很多天然产物还被用作燃料、香料等。天然精油作为天然产物的一类,在商业上被称为芳香油,在医药上被称为挥发油(essential oil)。由于植物性天然精油的主要成分都是具有挥发性和芳香气味的油状物,它们是植物芳香的精华,因此也把植物性天然香料统称为精油。例如,人们从新鲜橙子、柠檬和柚子等水果皮中提取的柠檬精油香气清新,具有提神醒脑的作用。化学家经过分析发现,柠檬精油的主要成分是一种被称为柠檬烯的物质,该物质又称为苎烯,是无色油状液体,有类似柠檬的香味,是一个环状化合物,结构式如图12.1所示。请思考下列问题:

- 从芳香植物的花、叶、枝、根、茎、皮、果实或树脂中提取出具有香气的油状物质可能需要经历哪些过程?
- 科学家会通过什么手段来确定被提取出的物质的结构和含量呢?

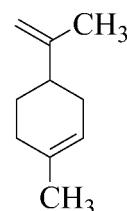


图 12.1 柠檬烯
(苎烯)



探索和研究

【实验目的】

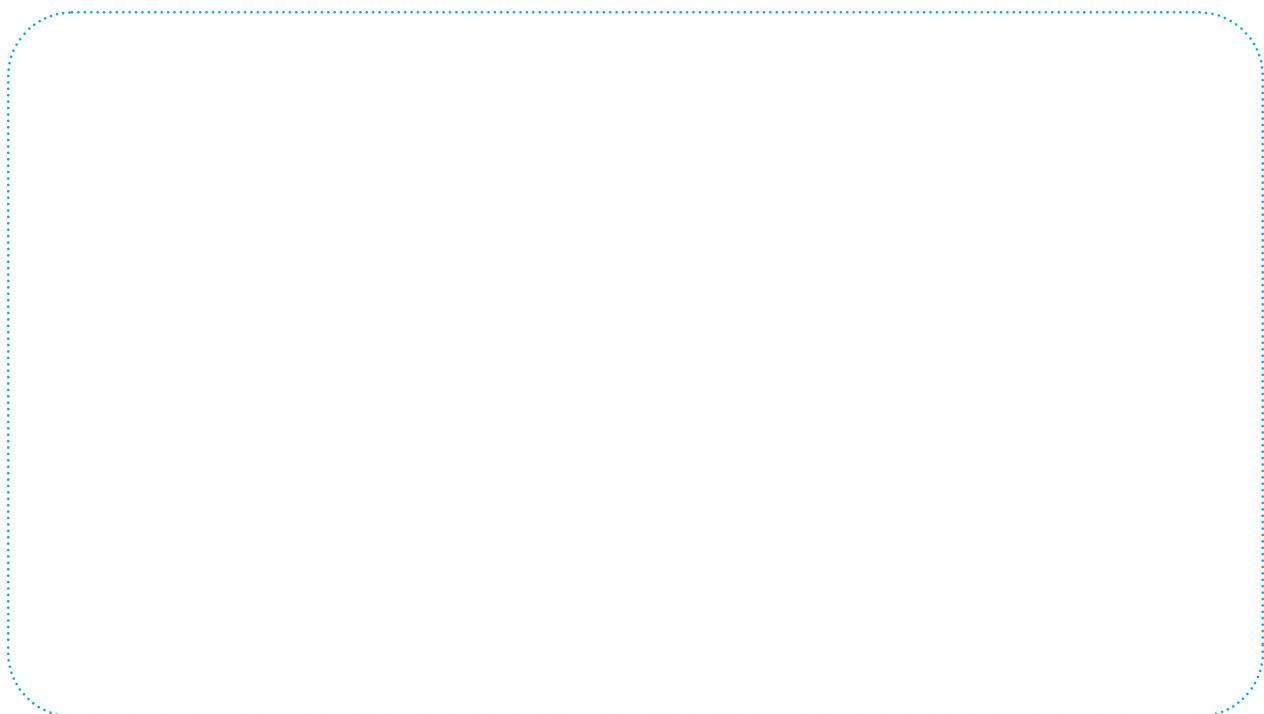
1. 学习如何从天然产物提取有机化合物。

2. 学习回流、蒸馏、萃取等分离方法和操作。
3. 了解用现代仪器手段确定物质结构及其含量的一般方法。

【实验原理】

新鲜橙皮中含有多种物质,其中有固体物质也有液体物质。液体物质中除含有精油类成分外,还有其他物质。

根据柠檬精油的特征,请你设计从橙皮中提取柠檬精油的实验方案。在下面的方框中简述步骤或涉及的操作。



一般植物的花、叶、枝、根、茎、皮、果实或树脂等都含多种成分复杂的物质,从中提取出具有香气的油状物质,一般需要采用浸提、压榨、蒸馏、吸附等方法。其中浸提过程是指利用不同溶剂将相应成分溶解的过程,精油的提取则需要利用有机溶剂来溶解。

【实验准备】

仪器: 烧瓶(150 mL 和 250 mL)、分液漏斗(150 mL)、具塞锥形瓶(50 mL)、短颈漏斗、烧杯(100 mL)、蒸馏头、温度计套管、温度计(0~100 °C)、直形冷凝管、球形冷凝管、尾接管、电加热套、橡胶管、脱脂棉、橡胶圈、沸石。

试剂: 新鲜橙皮、纯净水、石油醚(沸点范围: 30~60 °C)、无水硫酸钠。

【安全事项】

1. 使用电加热套时,小心烫伤,插头等部位应保持干燥。
2. 要在常温下加入沸石,过热溶剂中不要补加沸石,否则容易导致暴沸。
3. 请在通风橱中进行低沸点石油醚蒸馏,实验环境中禁止出现明火,禁止使用酒精灯加热。

【实验步骤】

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	固—液萃取：将2~3个新鲜的橙皮小心剪成碎片后，放入250 mL的烧瓶中，加入100 mL水和两粒沸石，加热回流30 min后，改成蒸馏装置，蒸馏出50~60 mL液体后，即可停止。装置如图12.2所示 		
2	液—液萃取：将馏出液倒入分液漏斗中，用石油醚萃取3次，每次10 mL。合并3次的萃取液于50 mL具塞锥形瓶中		
3	干燥：向萃取液加入无水硫酸钠干燥		
4	蒸馏：干燥后的溶液滤入150 mL烧瓶中，蒸馏除去石油醚，观察瓶中留下的液体		

【实验结论】



讨论和拓展

1. 实验中为什么要使用新鲜的橙皮？

2. 除了本实验提到的一些天然产物的例子外,再补充几例人类从自然界分离得到的天然产物,并猜测分离它们的主要方法。

3. 根据你已有的化学知识,推测柠檬烯具有什么化学性质。

4. 如果需要大量柠檬烯,仅从天然物质中提取可能不能满足人们的需要,你会怎么办呢?谈谈你对天然物质和人工合成物质的认识。

实验 13 乙酸乙酯的制备与性质(学生必做实验)



问题和背景

酯是在实际生产和生活中有重要用途的羧酸衍生物,结构简式可表示为 RCOOR' ,是生物体细胞中的基本成分,也是生物储存能量的物质,在自然界中广泛存在。低级酯一般是无色、易挥发的液体,具有令人愉悦的芬芳气息,是许多花草、水果香味的主要来源。在乳制品发酵、酿酒和烹饪过程中生成的各种酯类物质也是影响其风味和品质的关键因素。油脂是高级脂肪酸的甘油酯,它不仅是食物,也是重要的工业原料。

羧酸(RCOOH)和醇($\text{R}'\text{OH}$)混合在一起,不发生化学反应,但有催化剂(例如浓硫酸)存在时,羧酸和醇会发生反应生成酯(RCOOR')和水,这是制备酯的常用方法,称为酯化反应,酯化反应是可逆反应。

在酸催化剂存在下,水与酯(RCOOR')反应生成羧酸(RCOOH)和醇($\text{R}'\text{OH}$),此过程是酯化反应的逆反应。在碱性水溶液中,酯水解生成羧酸盐和醇。将油脂用氢氧化钠水溶液水解,可以得到高级脂肪酸的钠盐和甘油,高级脂肪酸钠盐可以做肥皂,因此油脂的水解也称皂化反应。药物学家利用酯可以水解的性质开发了酯类前药,将含有羧基或羟基的药物制成酯类前药,前药进入体内后,水解释放出有效成分而发挥其药理作用。

乙酸乙酯为无色、易挥发的液体,有香味,常作为香料用于食品添加剂,是一种重要的有机化工原料和工业溶剂。冰醋酸与无水乙醇在浓硫酸的催化作用下可以生成乙酸乙酯和水。有水存在时,乙酸乙酯会发生水解,水解程度随溶液的酸碱性不同而不同。请思考下列问题:

- 用冰醋酸与无水乙醇反应制备乙酸乙酯时,可以采取哪些措施来提高乙酸乙酯的产率?
- 厨房油污的主要成分是什么?为什么可以用热的纯碱溶液洗涤厨房灶具上的油污?



探索和研究

【实验目的】

- 理解酯化反应的原理,学习制备乙酸乙酯的方法。
- 了解浓硫酸在酯化反应中的作用。
- 探究酯的水解程度与溶液酸碱性的关系。
- 感悟化学平衡移动对控制乙酸乙酯制备条件的意义。

【实验原理】

1. 冰醋酸在一定条件下可以与无水乙醇发生酯化反应生成乙酸乙酯和水。请写出该反应的化学方程式。

2. 常温下,酯化反应进行得很慢且可逆。为了提高反应速率和乙酸乙酯的产率,可采取哪些措施?

3. 乙酸乙酯易溶于有机溶剂,微溶于水,难溶于浓的盐溶液,密度比水小。下表是冰醋酸、无水乙醇和乙酸乙酯的一些物理性质。乙酸乙酯的沸点较低,可以采取什么办法使乙酸乙酯从反应体系中分离?

试剂名称	相对分子质量 (g·mol ⁻¹)	沸点 ℃	密度 (g·cm ⁻³)	溶解性
冰醋酸	60.05	117.9	1.05	易溶于水
无水乙醇	46.07	78.3	0.79	易溶于水
乙酸乙酯	88.12	77.5	0.90	8.3 g·(100 g 水) ⁻¹ (20 ℃), 难溶于浓的盐溶液

4. 酯在酸性和碱性条件下都可以水解,请分别写出乙酸乙酯在酸性条件下和碱性条件下发生水解反应的化学方程式。

【实验准备】

仪器：试管(24 mm×200 mm)、刻度试管(20 mL)、烧杯(50 mL、250 mL)、胶头滴管、pH计、量筒(10 mL、25 mL)、铁架台(带铁夹)、控温电加热器、玻璃导管和长导管、单孔橡皮塞、试管架。

试剂：冰醋酸、无水乙醇、浓硫酸、饱和碳酸钠溶液、4 mol·L⁻¹ NaOH溶液、2 mol·L⁻¹稀硫酸、酚酞试液、石蕊试液、沸石(或碎瓷片)。

【安全事项】

- 浓硫酸和NaOH溶液都具有腐蚀性，使用时要小心。
- 浓硫酸与醇或酸混合时放热，操作时须缓慢，边加边摇匀，必要时须用水浴冷却。
- 不能直接向反应后的废液中加水，要先冷却至室温后再将其倒入废液回收缸中。
- 冰醋酸具有腐蚀性，有强烈的刺激性气味，应在通风良好处进行实验。
- 乙醇和乙酸乙酯都是易燃液体，操作时要注意远离明火。

【实验步骤】

实验1：乙酸乙酯的制备

1. 方案甲

(1) 在试管中加入3 mL无水乙醇，将试管放在冰水浴中，然后一边振荡试管，一边慢慢滴加2 mL浓硫酸，再加入2 mL冰醋酸，混合均匀。稍冷后加几粒沸石(或碎瓷片)，塞上带导管的橡胶塞。

(2) 把试管放入盛有热水的烧杯中，用铁夹将其固定在铁架台上。

(3) 在刻度试管中加入3~4 mL含有酚酞的饱和Na₂CO₃溶液。

(4) 按图13.1所示连接装置，将导管右侧的一端伸入刻度试管液面上方2~3 cm处。

(5) 用控温电加热器小心均匀加热(控制水浴温度约95℃)，反应产生的蒸气经导管(在空气冷凝下)通到饱和Na₂CO₃溶液液面上，计时10 min，观察实验现象。

(6) 反应停止后，用手煽动刻度试管口，闻收集产物的气味，观察并记录上层油状液体的体积。

(7) 轻轻振荡刻度试管，使油水两相混合，然后静置分层，闻产物的气味，再观察并记录上层油状液体的体积。

为了探究浓硫酸在反应中的作用，可进行下列方案乙、方案丙的操作。

2. 方案乙

仅将方案甲的步骤(1)中浓硫酸的量改为0，其他步骤不变，重复上面的操作。

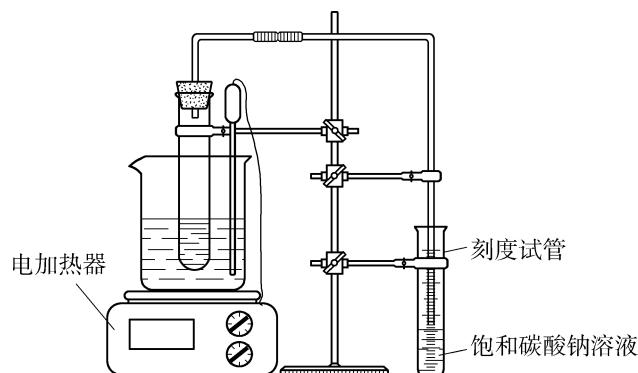


图13.1 制备乙酸乙酯的实验装置

3. 方案丙

仅将方案甲的步骤(1)中浓硫酸的量改为 0.5 mL, 其他步骤不变, 重复上面的操作。

4. 方案丁

为了探究浓硫酸与无水乙醇的体积比对实验效果的影响, 将方案甲的步骤(1)中无水乙醇的量改为 4 mL, 其他步骤不变, 重复上面的操作。

将实验情况记录在下表中。

方案	浓硫酸体积 mL	无水乙醇体积 mL	实验现象	收集的上层油状液体的体积 mL	
				振荡前	振荡后
甲	2	3			
乙	0	3			
丙	0.5	3			
丁	2	4			

测量完上层油状液体的体积后, 可以用胶头滴管吸出上层油状液体, 并将其挤到滤纸或棉球上, 感受产品的气味。

将以上各方案的实验现象进行对比, 可以得出怎样的结论?

【实验结论】

实验 2: 探究乙酸乙酯在不同酸碱条件下的水解反应

(1) 取 3 支刻度试管, 分别加入蒸馏水、 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的稀硫酸和 $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液各 4 mL, 再依次向上述刻度试管中各滴加 5 滴石蕊试液(或红墨水), 然后, 再向 3 支刻度试管中各加入 3 mL 乙酸乙酯, 振荡, 静置。

(2) 在室温下, 每间隔 1 min, 记录各刻度试管中乙酸乙酯层的体积, 持续约 10 min, 把数据填入下表。

(3) 重复步骤(1)的操作, 将 3 支刻度试管同时放在 $65\sim70^\circ\text{C}$ 热水浴中重复步骤(2)的操作。

时间/min	酯层体积/mL					
	蒸馏水		$2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 稀硫酸		$4\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH 溶液	
	室温	热水浴	室温	热水浴	室温	热水浴
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

比较乙酸乙酯在不同酸碱环境下水解后体积的变化,你能得到什么结论?

【实验结论】



讨论和拓展

1. 解释将硫酸加入乙醇的操作须在冰水浴中进行的原因。在乙酸乙酯制备实验中,浓硫酸的作用是什么? 碳酸钠饱和溶液的作用是什么? 设计实验验证此作用。

2. 比较不同小组刻度试管中酯层的厚度,并从操作和装置等角度分析造成差异的原因。

3. 在乙酸乙酯的水解实验中,为什么要采用水浴加热?

4. 乙酸乙酯在酸性条件下和碱性条件下水解程度相同吗? 为什么?

5. 研究乙酸乙酯在酸碱性不同的条件下的水解程度,除了本实验所用的观察酯层的体积或厚度的变化以外,若使用数字化实验仪器(传感器),你还能提出哪些方案?

实验 14 糖类的性质(学生必做实验)



问题和背景

糖类是人体所需的基础物质之一,是生物体维持生命活动所需能量的主要来源。糖类物质也是细胞和生命体的重要组成成分,如植物细胞壁的主要成分纤维素。在某些食品加工中,也会通过添加糖类物质来增加食物功效。

蔗糖是日常生活中使用最广的糖类物质之一,是最重要的二糖。蔗糖及多糖,会水解成为单糖,单糖中的葡萄糖再通过氧化释放能量。

“酒酿圆子”是一种传统小吃,制作“酒酿圆子”前需要先制作酒酿。请思考下列问题:

- 你能列举出一些属于糖类的物质吗?
- 餐前和餐后人体血糖会有什么变化? 原因是什么?
- 你知道酒酿是用什么原料制作的吗?
- 制作酒酿的过程中涉及哪些化学变化,其中涉及的有机化合物有哪些?



探索和研究

【实验目的】

1. 知道葡萄糖的结构特征,了解葡萄糖的特征反应。
2. 了解用葡萄糖试纸快速检测葡萄糖的方法。
3. 知道糖类物质的转化,了解糖的水解。
4. 体验我国传统酿造工艺,经历控制有机反应的实验过程。

【实验原理】

1. 糖类一般是多羟基醛或多羟基酮,以及水解能得到多羟基醛或多羟基酮的物质。葡萄糖是最基本的糖,属于多羟基醛,其结构简式是 $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{CHO}$ 。请指出该结构中存在哪些官能团?

2. 淀粉、纤维素也是糖类物质,在酸性条件下会发生水解最终生成葡萄糖,请设计实验证明淀粉能发生水解反应。

3. 我们的祖先很早就会使用含淀粉的粮食发酵来酿酒。淀粉属于多糖,水解可以得到葡萄糖。你能描述淀粉酿酒的流程吗?在酿酒过程中需要控制什么条件?

葡萄糖结构中含醛基,可以被氧化,葡萄糖试纸上含有氧化性的物质和显色物的混合成分,通过其与葡萄糖发生氧化反应后显示的颜色可以快速检测葡萄糖含量。

糯米富含淀粉,可水解得到葡萄糖,葡萄糖在催化剂(多为酒曲酶)的作用下可生成乙醇,这就是酒酿的制作原理。



4. 俗话说“酒越陈越香”,你能解释其中的道理吗?能书写相关的化学方程式吗?想要做到“酒越陈越香”,你认为在保存时应该注意什么?

【实验准备】

实验 1: 糖类的性质

仪器: 试管(18 mm×150 mm)、表面皿(直径 60 mm)、烧杯(100 mL)、酒精灯、玻璃棒、胶头滴管、封闭式电炉、试管夹、葡萄糖试纸对照色板。

试剂: 0.1%葡萄糖溶液、0.5%葡萄糖溶液、1%葡萄糖溶液、2%葡萄糖溶液、10%葡萄糖溶液、未知浓度的葡萄糖溶液(建议浓度在 0.5%~1%之间)、10%蔗糖溶液、淀粉溶液、10%(或 3 mol·L⁻¹)NaOH 溶液、0.1 mol·L⁻¹ NaOH 溶液、3 mol·L⁻¹(或 20%)硫酸、16 mol·L⁻¹(或 90%)硫酸、2% CuSO₄ 溶液、2% AgNO₃ 溶液、2% 氨水、葡萄糖检测试纸(尿糖试纸)、蒸馏水、待测饮料、脱脂棉、火柴(或点火器)等。

实验 2: 制作酒酿

仪器: 玻璃食品盒(500 mL 以上)(其他玻璃器皿或陶瓷器皿亦可)、蒸饭锅、淘米沥水篮、恒温箱(个人做可以用食品发酵机、其他恒温环境亦可)、保鲜膜、食品级乳胶手套、标准口蒸馏装置(250 mL 整套)、250 mL 电加热套、pH 计、酒精度测试仪(或乙醇传感器)、温度计。

试剂：糯米、饮用水、酒曲等。

【安全事项】

- 封闭式电炉等使用时小心烫伤。
- 20%硫酸、90%硫酸、10% NaOH 溶液腐蚀性较强，应避免接触皮肤。
- 使用恒温设备需要注意电、热等方面的安全。
- 配制银氨溶液时，滴入的氨水不宜过多，并注意通风。

【实验步骤】

实验 1：糖类的性质

1. 葡萄糖的还原性

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取一支试管，加入 2 mL 10% NaOH 溶液，滴加 5~8 滴 2% CuSO ₄ 溶液		
2	向试管的混合液中加入 2 mL 10% 葡萄糖溶液，加热至沸腾，观察		
3	另取一支试管，加入 2 mL 2% AgNO ₃ 溶液，然后一边振荡一边滴加 2% 氨水溶液直到形成的沉淀刚好完全溶解，得到银氨溶液		
4	向上述银氨溶液中加入 1 mL 10% 葡萄糖溶液，将试管平稳地放在 60 °C 左右水浴中加热，观察现象		

2. 用葡萄糖试纸检验葡萄糖

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取一个洁净干燥的表面皿，间隔一定距离放一张葡萄糖试纸在表面皿上，共 4 张。分别向试纸的显色部位滴一滴浓度依次为 0.1%、0.5%、1% 和 2% 的葡萄糖溶液，2 s 后轻轻抖掉多余液体，在 30~60 s 内将试纸与对照色板比色		
2	在表面皿上再放一张葡萄糖试纸，向试纸的显色部位滴一滴未知浓度的葡萄糖溶液，2 s 后轻轻抖掉多余液体，在 30~60 s 内将试纸与对照色板比色，估出大致浓度		

3. 蔗糖的水解

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取2支试管,各加入2mL10%NaOH溶液,再分别滴加5~8滴2%CuSO ₄ 溶液,得新制氢氧化铜		
2	向其中一支试管中加入2mL10%蔗糖溶液,加热至沸腾,观察		
3	另取一支试管,加入1mL10%蔗糖溶液,滴入5~6滴3mol·L ⁻¹ (或20%)硫酸,加热煮沸,再滴加10%NaOH溶液调节溶液至弱碱性,将试管中溶液加入另一支盛放新制氢氧化铜的试管中,加热至沸腾,观察现象		

4. 淀粉与脱脂棉的水解

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取2支试管,各加入2mL10%NaOH溶液,再分别滴加5~8滴2%CuSO ₄ 溶液,得新制氢氧化铜		
2	另取一支试管,向其中加入1mL淀粉溶液,滴入5~6滴3mol·L ⁻¹ (或20%)硫酸,水浴加热几分钟后冷却,再滴加10%NaOH溶液调节溶液至弱碱性,将上述一支试管中的新制氢氧化铜加入此试管中,加热煮沸,观察现象		
3	另取一支试管,加入一小团脱脂棉,滴入几滴16mol·L ⁻¹ (或90%)硫酸,用玻璃棒小心搅成糊状,小火加热,再滴加10%NaOH溶液调节溶液至弱碱性,将另一支试管中的新制氢氧化铜加入试管中,加热煮沸,观察现象		

5. 待测饮料中葡萄糖的检测

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	取一支试管,加入约 5 mL 待测饮料		
2	向上述试管中加入 5~6 滴 $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (或 20%) 硫酸使溶液呈现明显酸性		
3	水浴加热 5~10 min, 冷却后用浓度为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液调节溶液至弱碱性		
4	在表面皿上放一张葡萄糖试纸,分别向试纸的显色部位滴一滴上述溶液,2 s 后轻轻抖掉多余液体,在 30~60 s 内将试纸与对照色板比色,读出大致浓度		

【实验结论】

实验 2：制作酒酿

1. 酒酿制作

在我国部分地区酒酿也被称为米酒,具体制作步骤如下。

(1) 称取 2 kg 左右糯米,用清水浸泡 5~24 h(冬季建议浸泡 24 h,春、秋季浸泡 12 h,夏季浸泡 5~8 h,水量以水面高出糯米 2 cm 左右为宜),洗净后用淘米沥水篮沥干水分。

(2) 用带蒸屉的蒸饭锅将糯米蒸熟,冷却至 35 ℃左右。

(3) 按 500 g 糯米配 2 g 酒曲的比例,将酒曲均匀地撒入米饭中,加入适量冷开水拌匀,冷开水用量以能够将糯米揉成团,不见明显水残留为宜。若想要液态酒量多些,可适当多加水。

(4) 将搅拌均匀的米饭装入玻璃食品盒(建议同时做两盒),并轻轻压实。在米饭中间戳一个直径 2 cm 左右的小坑用以观察发酵效果。

(5) 将玻璃食品盒用保鲜膜密封,放入食品发酵机(或恒温箱),设定温度为 30 ℃(或其他温度在 30 ℃左右的恒温环境中),让其发酵 36 h 左右。

2. 酒精度和 pH 的测量

每隔 24 h 观察发酵情况、颜色、香味等,并取少量酒酿中的液体,分别用酒精度测量仪(或乙醇传感器)和 pH 计(或 pH 传感器)测量酒精度数和 pH。连续观察和测量 10~15 天,将观察到的现象和测得的数据记录在下表中,并在图 14.1 中作出酒精度及 pH 随天数变化图。

糯米发酵情况记录表

天数	颜色	气味	出液量/mL	酒精度(%)	pH
第 1 天					
第 2 天					
第 3 天					
第 4 天					
第 5 天					
第 6 天					
第 7 天					
第 8 天					
第 9 天					
第 10 天					
第 11 天					
第 12 天					
第 13 天					
第 14 天					
第 15 天					

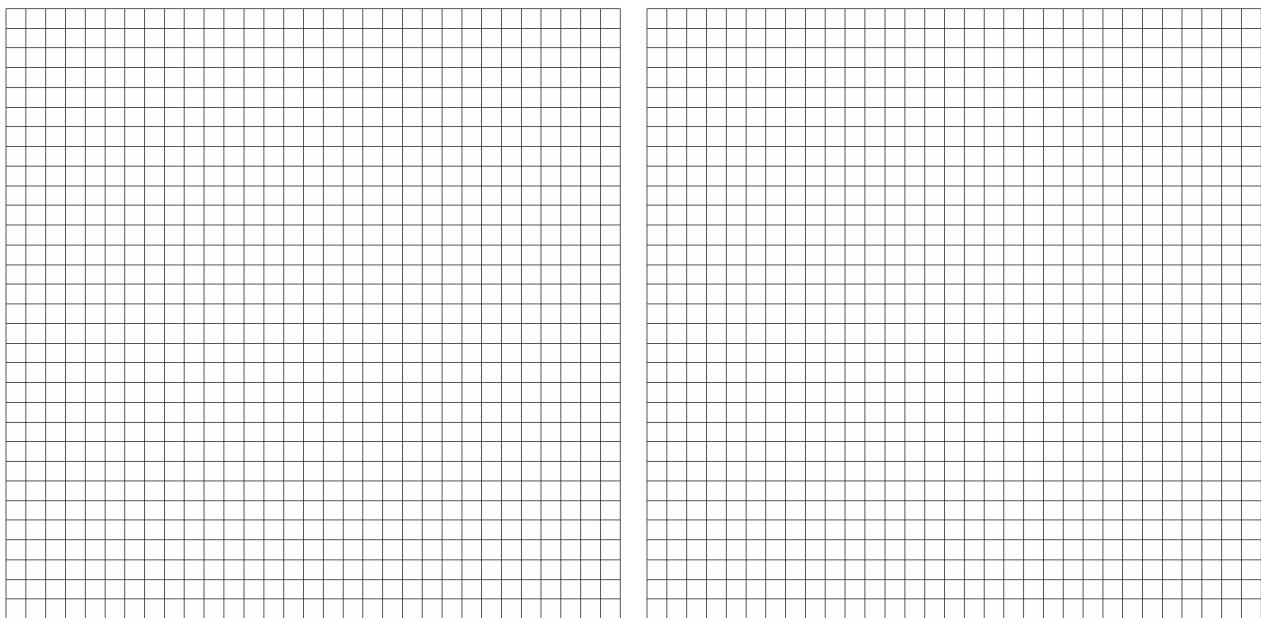


图 14.1 酒精度及 pH 随天数变化图

3. 米酒的蒸馏

将另一盒酒酿打开,先测量酒精度,再用蒸馏装置,用电加热套控制加热温度进行蒸馏。当有液体被蒸出后开始收集,并控制收集不同温度范围的馏分。再分别对不同馏分进行酒精度和 pH 的测量。

【实验结论】



讨论和拓展

1. 用葡萄糖试纸检测是利用葡萄糖的还原性,若实验中试纸未显色,能否说明饮料不含糖? 简要说明原因。

2. 医疗急救时一般紧急注射葡萄糖溶液而不注射蔗糖溶液,长时间咀嚼大米时口中能感受到甜味,分别解释其中的道理。

3. 简述制作酒酿过程中控制温度的意义。

4. 分析你获得的酒精度与 pH 随天数的变化图,你能从图中获得哪些信息,并利用你从中获得的信息解释酒为什么一般需要窖藏一段时间。

5. 收集其他同学的制作情况,分享制作酒酿成功的经验,分析影响发酵的因素,尝试研究提高乙醇含量的方案。

6. 酱油和醋多是经过发酵酿制的,收集资料,尝试一下酿醋,看能否获得成功。

实验 15

有机化合物中常见官能团的检验 (学生必做实验)



问题和背景

当我们遇到一种未知有机化合物,如何获取其准确的组成成分及结构信息?在科学分析仪器高速发展的时代,首先我们可以借助各种色谱技术(如气相色谱、液相色谱等)分析“未知物”是纯物质还是混合物。如果是混合物,再通过一定的分离提纯技术得到纯物质,接下来通过有机波谱(如红外光谱、核磁共振波谱、质谱等)测试分析,结合多种谱图提供的信息,最终完成未知物的定性、定量分析和结构测定。请思考下列问题:

- 在没有昂贵的仪器设备条件下如何完成未知有机化合物的鉴别?
- 指出乙醇、乙酸、乙酸乙酯、苯酚、溴乙烷、乙醛这几种化合物的官能团。
- 若不借助仪器分析,如何实现以上这几种化合物的官能团定性分析?



探索和研究

【实验目的】

1. 学习有机化合物几种常见官能团的检验。
2. 了解有机化合物几种常见官能团的定性分析试剂及反应原理。
3. 加深对有机结构中官能团的认识。

【实验原理】

1. 列举常见的有机官能团,写出官能团的结构简式。

2. 作为官能团检验的反应应该具有什么特点?

有机化合物可以按照官能团进行分类,官能团是决定一类化合物特性的原子或原子团。借助简单的化学试剂,通过能在短时间内完成并且特征现象明显的有机反应来进行常见官能团的定性分析,实现有机化合物的鉴别。下表是几种常见官能团的检验试剂及现象。

化学试剂	官能团					
	碳-卤键	碳碳双键	醇羟基	酚羟基	醛基	羧基
硝酸银溶液	沉淀	—	—	—	—	—
溴水	—	褪色	—	白色沉淀	褪色	—
新制氢氧化铜	—	—	—	—	砖红色沉淀	蓝色溶液
新制银氨溶液	—	—	—	—	银镜	—
氯化铁溶液	—	—	—	蓝紫色	—	—
金属钠	—	—	气体	气体	—	气体
碳酸氢钠溶液	—	—	—	—	—	气体

注:“—”表示不反应或反应没有明显现象。

带有多个官能团的有机化合物或者多组分复杂未知物,由于不同官能团之间相互影响,导致同一官能团在不同化合物中的反应性能不完全相同,此外,待测物质里组分复杂也会使定性实验出现大量干扰因素,难以通过简单化学反应进行官能团的鉴别,必须运用较复杂的实验操作或结合仪器分析技术才能实现准确的鉴定。

【实验准备】

仪器:试管(18 mm×200 mm)、试管夹、试管架、胶头滴管、酒精灯。

试剂:无水乙醇、冰醋酸、苯酚、乙醛、乙酸乙酯、环己烯、1-溴丁烷、金属钠、氢氧化钠、碳酸氢钠、硝酸、蒸馏水、0.5%高锰酸钾的酸性溶液、溴水、1%三氯化铁溶液、2%硝酸银溶液、2%硫酸铜溶液、2%氨水。

【安全事项】

- 大部分有机试剂易燃,取用时要远离明火或火花。
- 金属钠的使用要注意防潮与避免长期暴露在空气中。
- 要求新配制的试剂需严格按照相应的试剂配制方法进行操作。
- 在进行需要加热的化学反应时,要注意控制加热速度,防止液体突然暴沸或飞溅。

【实验步骤】

取少量无水乙醇、冰醋酸、苯酚溶液、乙醛溶液、乙酸乙酯、环己烯、1-溴丁烷中任一种作为未知待测液体,加入不同试管中,用胶头滴管分别吸取下列化学试剂,滴加入试管中,仔细观察实验现象,并及时记录,综合判断,得出结论。

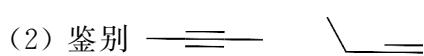
化学试剂	待测液体					
	无水乙醇	冰醋酸	苯酚溶液	乙醛溶液	乙酸乙酯	环己烯
2%硝酸银的乙醇溶液						
溴水						
新制氢氧化铜						
新制银氨溶液						
1%氯化铁溶液						
金属钠						
饱和碳酸氢钠溶液						
20%氢氧化钠溶液						

【实验结论】

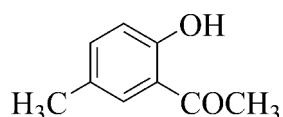


讨论和拓展

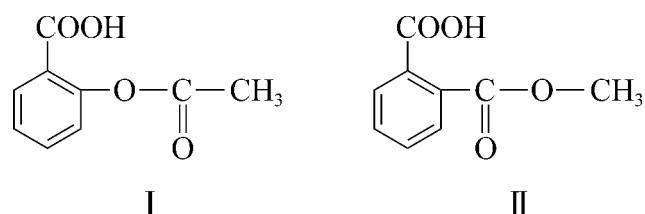
1. 查阅资料, 分别给出下列两组有机化合物的化学鉴别方法。



2. 下面有机化合物分子结构中有哪些官能团? 用什么方法可以检验这些官能团?



3. 阿司匹林是一种用途很广的合成药物,其分子式是 $C_9H_8O_4$ 。请设计实验检验它是下列结构中的哪一种。



4. 现代化学常用仪器分析有机化合物的官能团等来确定有机化合物的结构。某分子式为 $C_4H_{10}O$ 的有机化合物的红外光谱和核磁共振氢谱如图 15.1 和图 15.2 所示,试写出它的结构简式,并说明你的分析依据。

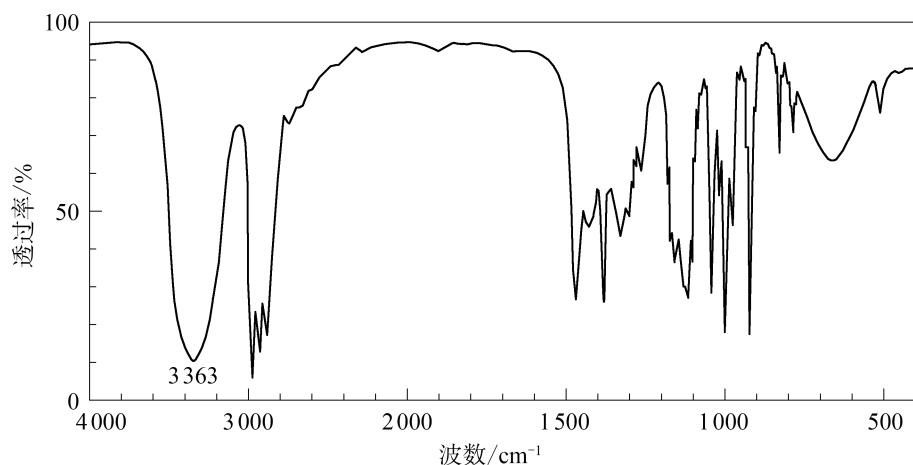


图 15.1

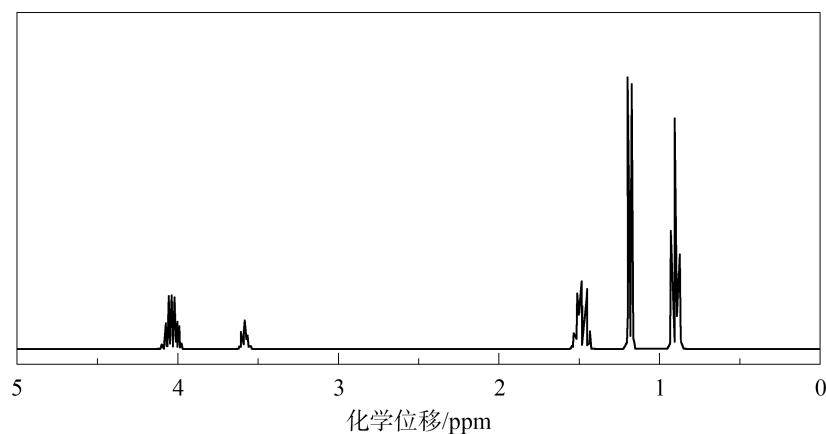


图 15.2

实验 16 肥皂的制备



问题和背景

肥皂包括洗衣皂、香皂、手工皂、皂片、液体皂等。目前传统肥皂正衍生出丰富多彩的产品,如药皂、祛臭皂、清新皂、润肤皂、营养皂、美容皂、减肥皂、驱蚊皂等。随着生活水平的提高和绿色消费潮流的影响,消费者更倾向于选择对人体和环境双重安全、纯天然、多功能的产品。请思考下列问题:

- 皂化反应为何需在碱性条件下进行?
- 皂化反应可得到高级脂肪酸盐和甘油,这两种产物在日用化工领域有哪些应用?

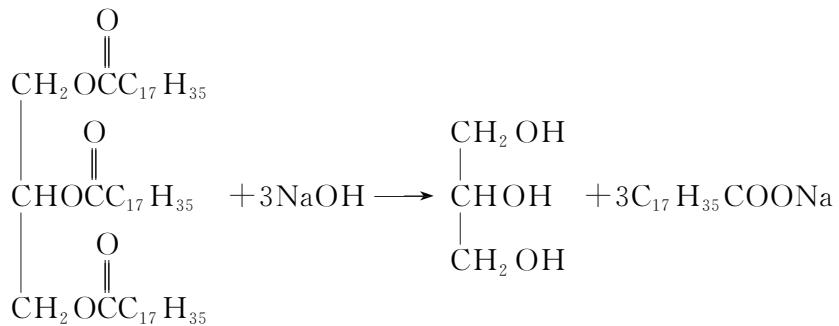


探索和研究

【实验目的】

1. 进一步认识酯的水解反应及其应用。
2. 了解皂化反应原理及肥皂制备方法,并动手制备肥皂。
3. 了解盐析的原理。
4. 感受化学与生活的密切联系。

【实验原理】



【实验准备】

仪器: 烧杯、量筒(25 mL)、加热套(或酒精灯和石棉网)、试管夹、铁架台、漏斗、纱布、表面皿、玻璃棒、去离子水瓶、铁架台(附铁圈)或漏斗架、滤纸、自备不同形状小器皿。

试剂: 猪油、95%乙醇、40%氢氧化钠溶液、饱和食盐水。

【安全事项】

1. 加热溶解及蒸发浓缩时,谨慎操作,以免烫伤。
2. 热过滤过程中,谨慎取用烧杯,以免烫伤。
3. 氢氧化钠溶液腐蚀性强,应避免接触皮肤。

【实验步骤】

序号	实验操作	实验现象	结论或化学方程式
1	称取3g猪油加入烧杯中,依次加入15mL乙醇(95%)和15mL氢氧化钠(40%)溶液。置于80℃水浴中加热,不断搅拌,反应体系均匀后,再继续边搅拌边加热15min		
2	反应结束后,边搅拌边趁热将反应液倒入盛有50mL饱和食盐水的烧杯中,静置		
3	待反应液冷却后,倒入漏斗中过滤(有条件可用抽滤)。用冷水洗涤沉淀两次并抽干		
4	滤饼取出,放入自备的不同形状的小器皿中压制成型,自然晾干,称量质量并计算产率		

【实验结论】



讨论和拓展

1. 猪油可以用其他油脂替代吗?

2. 反应体系中加入乙醇的目的是什么?

3. 分析实验时过滤速率不快的原因,尝试设计一些方案加快过滤速率。

4. 利用餐饮废油制作透明皂。

制备透明肥皂的原料是精炼的、色泽浅的油脂,如牛油、椰子油、棕榈油、蓖麻油等,成本较高。研究表明,以餐饮废油为原料制备肥皂,不仅降低了肥皂的原料成本,而且使餐饮废油得到了综合利用,解决了餐饮废油环境污染和安全卫生问题。因此设计以餐饮废油为原料制备透明肥皂,既有趣味性,又有实际意义。

餐饮废油的成分复杂、颜色深暗、状态黏稠,若直接用于透明皂制备,效果会大受影响。使用前,需要进行脱水、脱色、除杂。处理方法如下:

(1) 脱水: 将餐饮废油加热至 105 ℃,直至没有气泡冒出,趁热过滤,除去悬浮固体杂质。

(2) 脱色: 分别称取 3 份上述过滤后的餐饮废油 30 g 置于 250 mL 的烧杯中,水浴加热,分别用 3.5% 双氧水、5% 的活性白土和两者的混合物对废油脱色。

透明皂的制备: 取 8.4 g 经过处理的餐饮废油、2 g 椰子油、20 mL 芦荟提取液和 8 mL 95% 乙醇置于 250 mL 烧杯中,80 ℃ 水浴加热,取 20 mL 40% 氢氧化钠溶液分 3 次加入废油中,边加边搅拌。具体操作是: 在反应开始前,先加入 5 mL, 搅拌约 1 h, 直至反应液呈乳化状态,再加入 10 mL, 反应 2 h, 最后加入剩余的 5 mL, 不断搅拌。

另取一只 50 mL 的烧杯,称取 4 g 甘油,量取 10 mL 蒸馏水,搅拌均匀,加热至 80 ℃,反应液呈透明状。将甘油溶液缓慢倒入前面的皂化液,搅匀,降温至 40 ℃,调节 pH 为 8~9。用冷水冷却,使反应液迅速凝固并入模成型,便得到了半透明光滑的透明皂。

实验 17 阿司匹林的合成与结构解析



问题和背景

阿司匹林(Aspirin)，化学名称为 2 -乙酰氧基苯甲酸，也称乙酰水杨酸，是一种具有解热、镇痛和抗风湿等多种疗效的药物。

合成阿司匹林的原料水杨酸是人们在 19 世纪 50 年代从柳树皮中提取出来的。后来，人们发现水杨酸钠具有缓解风湿关节炎患者发热与疼痛的作用，将它应用到临床，但其对肠胃的刺激比较大。直到 19 世纪末科学家成功用水杨酸合成乙酰水杨酸，具有更强的解热、镇痛疗效，副作用也更小，至此，阿司匹林成为第一个人工合成的药物。

阿司匹林合成工艺简单、价格低廉，并且对多种疾病具有显著疗效，至今仍然在临幊上被广泛使用，与青霉素、安定并称医药史上三大经典用药。请思考下列问题：

- 合成有机化合物的一般思路是什么？一般要经过哪些过程？
- 水杨酸是具有酚羟基和羧基的双官能团化合物，可以通过什么方法进行快速检验？
- 用水杨酸合成阿司匹林，有哪些试剂可以用来提供乙酰基？
- 合成的阿司匹林粗品可以通过什么途径进行提纯？



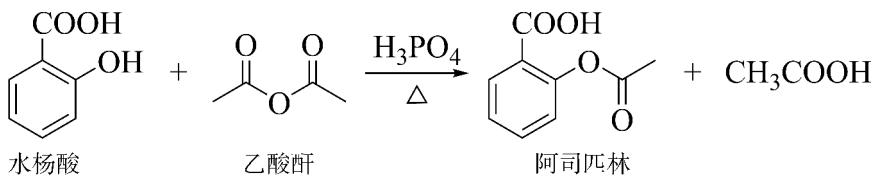
探索和研究

【实验目的】

1. 了解有机合成的一般过程。
2. 学习有机合成的实验技能。
3. 学习有机化合物的分离与提纯操作。
4. 了解有机化合物结构的鉴定方法。

【实验原理】

在浓磷酸催化作用下，水杨酸与乙酸酐加热反应，生成阿司匹林，反应的化学方程式如下。



【实验准备】

仪器：圆底烧瓶或茄形瓶(50 mL)、回流冷凝管、自动控温磁力搅拌器、磁力搅拌子、干燥管、胶头滴管、量筒(10 mL 和 50 mL)、烧杯(100 mL)、漏斗、滤纸、电子天平、铁架台(附铁圈)或漏斗架、玻璃棒、表面皿、试管。

试剂：水杨酸、乙酸酐、浓磷酸、无水氯化钙、95%乙醇、18%盐酸、10%碳酸氢钠溶液、3%氯化铁溶液。

【安全事项】

1. 乙酸酐与浓磷酸具有腐蚀性,取用时应避免接触皮肤。
2. 乙酸酐容易吸潮分解,要在通风处取用并注意防潮。
3. 实验中使用加热装置时,要做好防护避免烫伤。

【实验步骤】

1. 合成过程

如图 17.1 所示,在自动控温磁力搅拌器上放置水浴锅。称取 2.8 g 水杨酸,置于一个 50 mL 干燥且洁净的圆底烧瓶或茄形瓶中,将烧瓶固定在水浴锅中,再往瓶内加入 8.0 mL 乙酸酐和 10 滴浓磷酸,放入磁力搅拌子,烧瓶上安装回流冷凝管并用铁夹固定,再接上一根装有无水氯化钙的干燥管(图 17.2)。室温下,搅拌至烧瓶内固体溶解,再放入 85~90 °C 的水浴中搅拌 10 min。最后将反应液冷却至室温,取下干燥管,边搅拌边慢慢从冷凝管口加入 13 mL 水。用冰水浴冷却反应液至析出晶体(如果未析出,可以用玻璃棒摩擦瓶壁,促进晶体的析出),过滤,再用 25 mL 冰水分多次洗涤晶体并过滤晾干。



图 17.1 自动控温磁力搅拌器

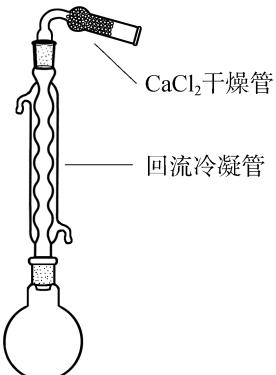


图 17.2 防潮加热反应装置

将晶体转移至 100 mL 烧杯中,边搅拌边加入 20 mL 10% 碳酸氢钠溶液,当不再有气泡产生时,过滤,除去少量不溶的高聚物。

将滤液转移至 100 mL 烧杯中,边搅拌边慢慢加入 10 mL 18% 盐酸,此时析出大量白色

晶体。将烧杯置于冰水浴中冷却，使晶体析出完全。过滤（有条件可抽滤），用少量冰水洗涤晶体，滤干水分。将粗产品转移到表面皿上，干燥后称量，计算产率。

2. 重结晶提纯过程

将阿司匹林粗品放入 50 mL 茄形瓶中，加入 2 mL 50% 乙醇，放入磁力搅拌子，装上回流冷凝管，水浴加热并搅拌。若不溶，每次从冷凝管口补加 2 mL 50% 乙醇，直至固体全部溶解。溶液自然冷却至室温，再冰水浴冷却至晶体析出，过滤（有条件可抽滤），用少量冰的 50% 乙醇洗涤晶体并滤干。最后将纯品转移到表面皿上，干燥后称量，计算回收率。

3. 产物分析

在 3 支试管中分别放入 20 mg 水杨酸、阿司匹林粗品和阿司匹林纯品，再各加入 2 mL 95% 乙醇，振荡试管使晶体溶解。然后在每支试管中滴入 5 滴 3% 氯化铁溶液，观察实验现象并解释其原因。

4. 产物结构鉴定（有条件可选做）

分别取 5 mg 水杨酸和阿司匹林纯品进行红外光谱和¹H 核磁共振波谱的测试，结合谱图（图 17.3、图 17.4、图 17.5、图 17.6），对产物的分子结构进行解析。

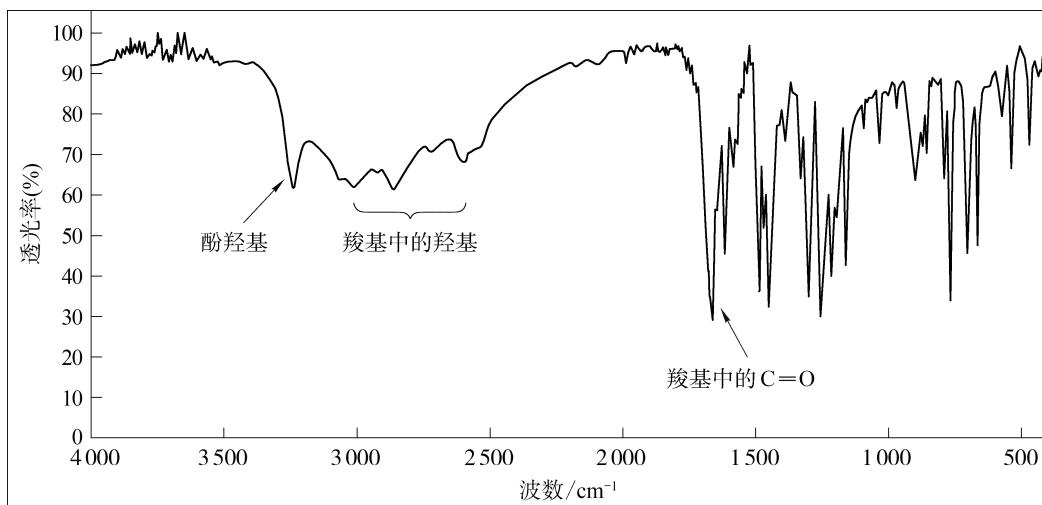


图 17.3 水杨酸的红外光谱图

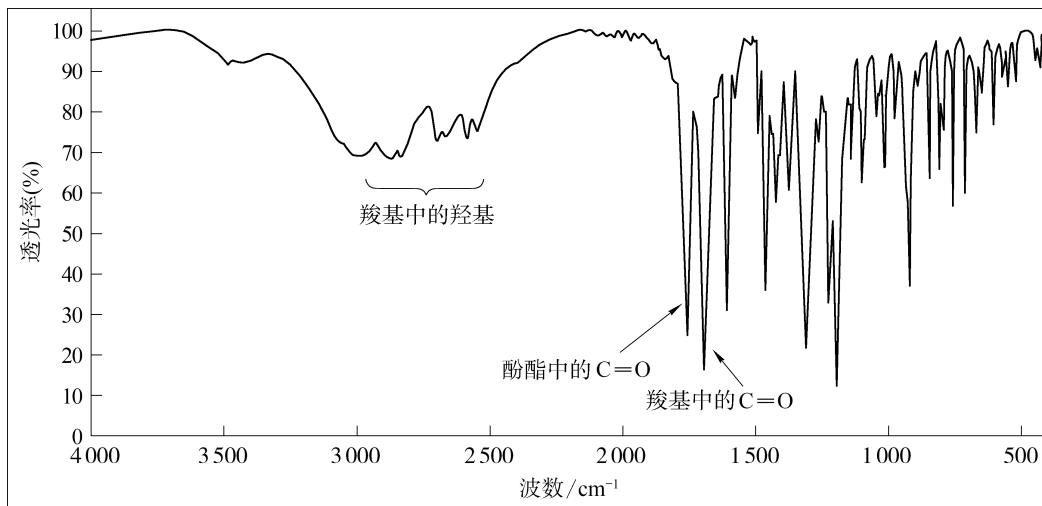


图 17.4 阿司匹林的红外光谱图

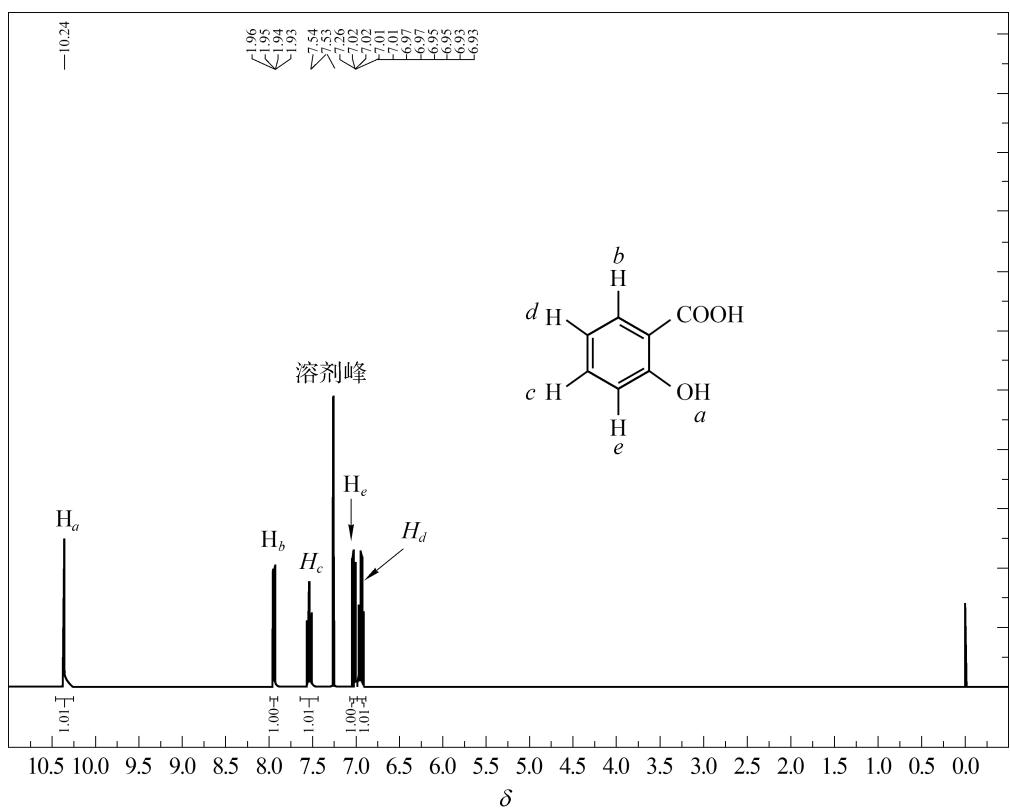


图 17.5 水杨酸的核磁共振氢谱图

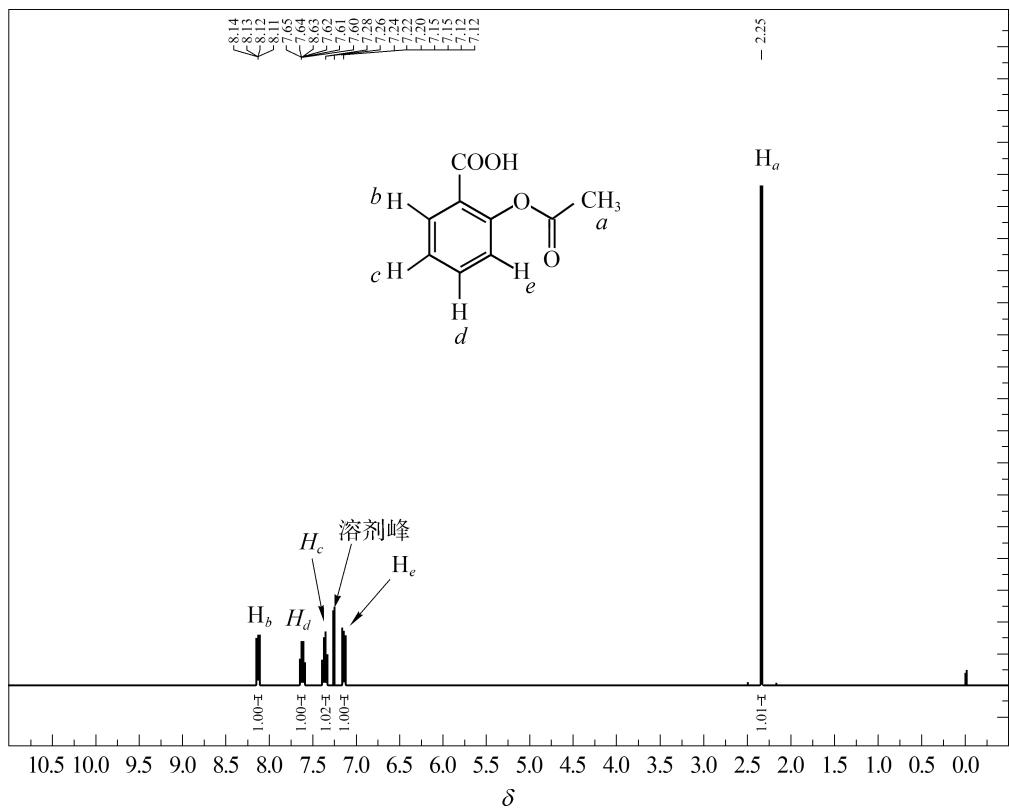


图 17.6 阿司匹林的核磁共振氢谱图



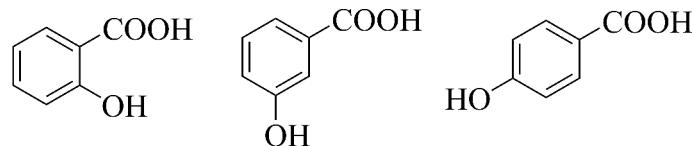
讨论和拓展

1. 在合成阿司匹林时出现的高聚物是什么？请写出反应的化学方程式。

2. 在合成阿司匹林过程中，粗品依次用 10% 碳酸氢钠溶液和 18% 盐酸处理的目的是什么？请写出反应的化学方程式。

3. 查阅资料，解释水杨酸和阿司匹林的核磁共振氢谱图（图 17.5、图 17.6）中，为何没有出现羧基氢（—COOH）的化学位移值？

4. 查阅资料，判断下列三个同分异构体能否通过红外光谱进行鉴别？



实验 18 牛奶中蛋白质的分离和检测



问题和背景

牛奶是一种乳状液，主要由水、脂肪、蛋白质、乳糖和盐组成。牛奶中的蛋白质主要包括酪蛋白和乳清蛋白，总含量约为 $3.5 \text{ g} \cdot (100 \text{ mL})^{-1}$ ，其中酪蛋白占牛奶中蛋白质的 80%。牛奶中的酪蛋白包括四种不同类型，分别是 $\alpha - \text{s1}$ 酪蛋白、 $\alpha - \text{s2}$ 酪蛋白、 $\beta - \text{酪蛋白}$ 和 $\kappa - \text{酪蛋白}$ ，它们主要以钙盐形式存在，具有相对热稳定性。牛奶中还含有 4%~6% 的乳糖，乳糖是由半乳糖和葡萄糖组成的二糖，是婴幼儿从乳品中摄入能量的主要来源。请思考下列问题：

- 牛奶中含有哪些营养成分？
- 了解人体对蛋白质和乳糖消化利用的过程，了解部分人群乳糖不耐受的原因。
- 思考如何从牛奶中将酪蛋白分离出来，如何对蛋白质进行鉴别和定量测定。



探索和研究

【实验目的】

1. 了解从牛奶中分离酪蛋白和乳糖的原理和方法。
2. 掌握蛋白质的基本结构以及蛋白质的颜色反应。
3. 了解电泳法分离蛋白质的原理和操作。

【实验原理】

蛋白质是氨基酸通过肽键连接而成的大分子化合物，肽键的结构如图 18.1 所示。氨基酸和蛋白质是两性物质，蛋白质分子所带的电荷随着溶液 pH 的不同会发生变化。当溶液的 pH 为 4.8 时，酪蛋白的净电荷为零，呈电中性，如图 18.2 所示。

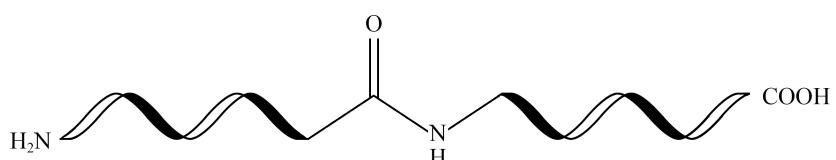


图 18.1 肽键的结构

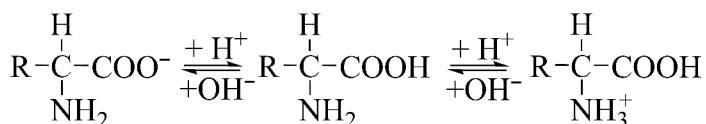


图 18.2 氨基酸的两性

在酪蛋白呈电中性时,溶解度最小,会以沉淀的形式从牛奶中析出,可通过离心的方法将其从牛奶中分离出来。根据酪蛋白不溶于乙醇和乙醚的特性,常用乙醇和乙醚洗涤分离出的酪蛋白以除去糖和脂质,从而将其纯化。

电泳法是分离生物大分子的常用方法,通过薄膜电泳可以进一步分离酪蛋白。根据蛋白质的性质及特定的颜色反应来鉴定蛋白质,如双缩脲反应、茚三酮反应、蛋白黄色反应以及考马斯亮蓝的染色反应。再利用蛋白质显色后的光吸收,结合紫外-可见分光光度法可以测定牛奶中蛋白质的含量。

【实验准备】

仪器: 量筒(100 mL)、烧杯(150 mL)、恒温水浴锅、试管、尼龙布、滤纸、电泳槽、醋酸纤维薄膜、点样毛细管。

试剂: 脱脂牛奶、稀醋酸(冰醋酸和水体积比1:1混合)、pH试纸[广泛pH试纸和精密pH试纸(0.5~5.0)]、95%乙醇、乙醚、乙醇-乙醚混合液(两者体积比1:1混合)、碱性生理盐水(含0.4 mol·L⁻¹氢氧化钠溶液)、5%氢氧化钠溶液、1%硫酸铜溶液、浓硝酸、茚三酮试剂(1 g 茚三酮溶解于35 mL热水中,加水至50 mL)、巴比妥缓冲液(2.2 g 巴比妥钠加水溶解并稀释至200 mL,用1 mol·L⁻¹盐酸调节pH至8.6,过滤即得)、考马斯亮蓝染色液(0.5 g 考马斯亮蓝 R250 溶于1 L 乙酸、甲醇和蒸馏水体积比1:5:5混合的溶液)、漂洗液(乙醇、乙酸和蒸馏水体积比1:1:18混合的溶液)。

【安全事项】

- 浓硝酸和冰醋酸等腐蚀性强,避免接触皮肤。
- 乙醚挥发性强且易燃,避免明火,在通风处使用并进行实验。

【实验步骤】

1. 牛奶中酪蛋白的分离

取50 mL脱脂牛奶置于150 mL烧杯内,在恒温水浴中加热至40 °C,边搅拌边慢慢加入稀醋酸,此时有白色沉淀析出。继续滴加稀醋酸(约2 mL)至pH为4.8。放置冷却至澄清,用尼龙布过滤得到初步分离的酪蛋白。

将酪蛋白粗产物转移至另一烧杯内,加入20 mL 95%乙醇,搅匀后用尼龙布过滤,再用乙醇-乙醚混合液洗涤沉淀2次,每次约10 mL,最后用5 mL乙醚洗涤1次以去除脂肪,用尼龙布上挤压后转移到表面皿上晾干。称重并计算牛奶中酪蛋白的含量。

2. 蛋白质的颜色反应

称取0.5 g 上一步得到的酪蛋白,溶解于5 mL 碱性生理盐水中,得到酪蛋白溶液,分别

用于以下蛋白质的颜色反应和醋酸纤维薄膜电泳分离蛋白质的实验。

(1) 双缩脲反应：在试管中加入 5 滴酪蛋白溶液和 5 滴 5% 氢氧化钠溶液，摇匀后加入 2 滴 1% 硫酸铜溶液。振荡试管，观察溶液是否呈紫红色。

(2) 蛋白黄色反应：在试管中加入 10 滴酪蛋白溶液及 3 滴浓硝酸，水浴中加热，生成黄色硝基化合物。冷却后再加入 15 滴 5% 氢氧化钠溶液，观察溶液是否呈橘黄色。

(3) 苛三酮反应：在试管中加入 10 滴酪蛋白溶液，然后加入 4 滴苛三酮试剂，加热至沸腾，观察溶液中是否有蓝紫色物质。

3. 醋酸纤维薄膜电泳分离蛋白质

(1) 润湿薄膜：将醋酸纤维薄膜浸于巴比妥缓冲液中，待完全浸透后，取出薄膜放于滤纸上，轻轻吸去多余的缓冲液。

(2) 点样：在醋酸纤维薄膜无光泽的一面，距离一端约 1.5 cm 处，用毛细管吸取酪蛋白溶液点样，样点直径不超过 2 mm。

(3) 电泳：将醋酸纤维薄膜搭在电泳槽的两极，将点样一端放在负极，电泳液为巴比妥缓冲液。调节电压为 120 V，电流为 $0.4 \sim 0.6 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，电泳时间 40~60 min。

(4) 染色：电泳结束后，取出薄膜浸入考马斯亮蓝染色液。5 min 后取出，浸入漂洗液中进行漂洗，约 10 min 后可见酪蛋白条带。

【实验结论】

(1) 从 50 mL 牛奶中分离得到酪蛋白的干重为 _____。

(2) 根据蛋白质颜色反应完成下表。

反应名称	反应试剂	呈现颜色
双缩脲反应		
蛋白黄色反应		
苛三酮反应		

(3) 电泳分离后经过考马斯亮蓝染色液染色，看到 _____ 条蛋白质条带，根据资料推测依次为 _____。

【注意事项】

加入的醋酸不可过量，若过量会促使牛奶中的乳糖水解为半乳糖和葡萄糖。



讨论和拓展

1. 为什么溶液中的蛋白质在某个 pH 时的溶解度最小？在大于和小于该 pH 时，蛋白质分别带怎样的电荷？

2. 可采用分光光度法测定食物中蛋白质的含量。查阅资料并参考必修课程中的项目学习活动，尝试用分光光度法定量测定牛奶中蛋白质的含量。详细描述你的实验过程，并完成一份实验报告。

3. 准确测定蛋白质含量的定量分析方法是借助酸碱滴定的凯式定氮法，查阅资料了解凯式定氮法进行定量分析的原理。

说　　明

本书根据教育部颁布的《普通高中化学课程标准(2017年版 2020年修订)》和高中化学教科书编写,经上海市中小学教材审查委员会审查准予使用。

编写过程中,上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会专家工作委员会、上海市教育委员会教学研究室、上海市课程方案教育教学研究基地、上海市心理教育教学研究基地、上海市基础教育教材建设研究基地、上海市化学教育教学研究基地(上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地)及基地所在单位复旦大学给予了大力支持。在此表示感谢!

欢迎广大师生来电来函指出书中的差错和不足,提出宝贵意见。出版社电话:021-64848025。

声明 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条有关规定,我们已尽量寻找著作权人支付报酬。著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

经上海市中小学教材审查委员会审查
准予使用 准用号 II-GB-2022031



绿色印刷产品

ISBN 978-7-5478-5999-5



9 787547 859995 >

定价：5.60元