



# 物理学国家级实验教学示范中心

National Demonstration Center for Experimental Physics Education

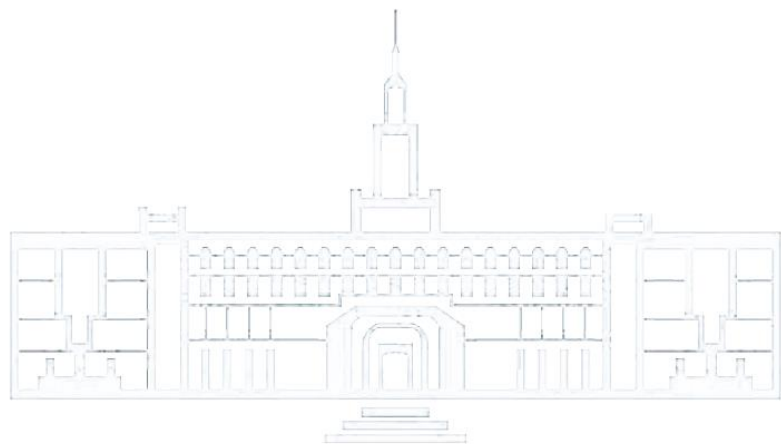


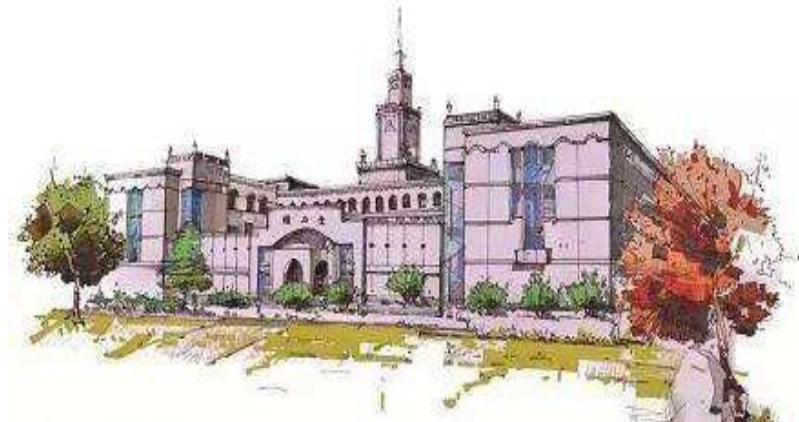
# 冰 的 溶 解 热

主讲：蒋长军

2020. 4. 21

堅守·奮斗





# ◀ 目 录 ▶

01

背景知识

05

实验内容

02

实验目的

06

误差分析

03

实验原理

07

注意事项

04

实验仪器

08

实验问题

堅守 · 奮斗



01

# 背景知识

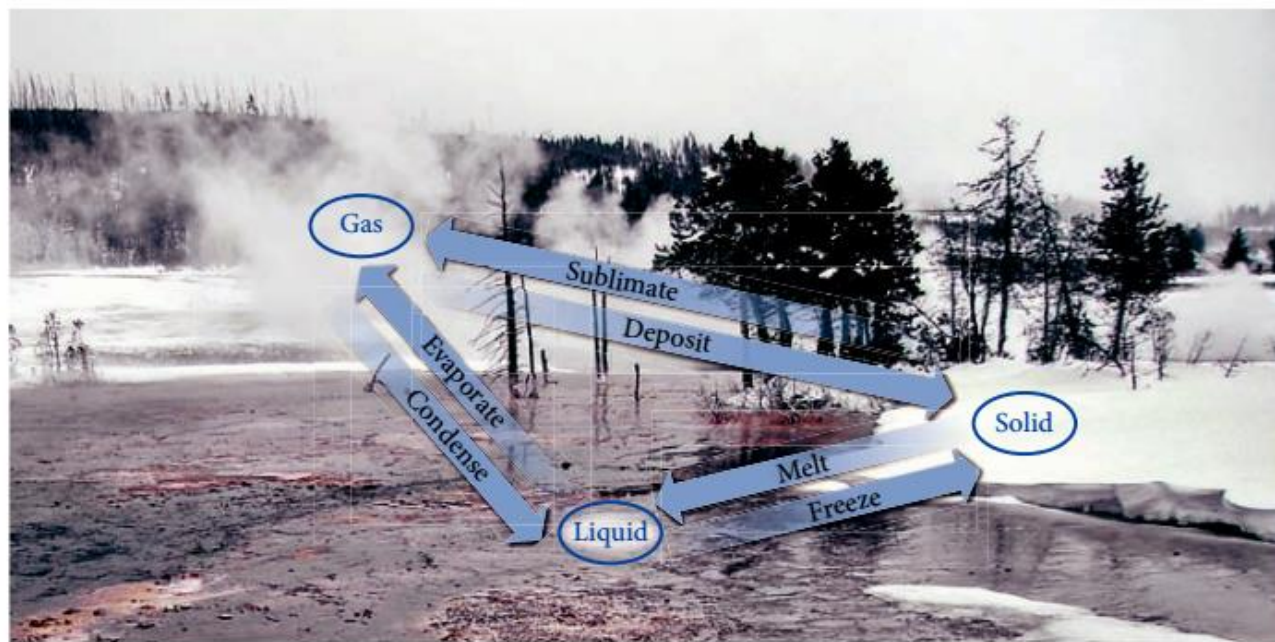




# 相

物质的不同状态，称为相 (phase)。具体而言，相指的是物质系统中**具有相同物理性质的均匀部分**。

物质系统在不同的温度和压强范围内可以分别表现为**气相**、**液相**或**固相** (以水为例)





# 相变

---

**同一个系统的不同相之间的相互转变，称为相变 (phase transition)**

例如：气液相变，金属正常态与超导态的相变，顺磁与铁磁的相变等。

**本质上，相变是系统内部的分子间相互作用与分子热运动相互竞争的结果**  
**若系统的分子间无相互作用，则不会有相变。**





a. 系统从气相转变为液相的过程称为**凝结**，反之称为**汽化**



b. 系统从液相转变为固相的过程称为**凝固或结晶**，反之称为**熔化**。





c. 系统从固相转变为气相的过程称为**升华**，反之称为**凝华**。

**雾凇，俗称树挂，是低温时空气中水汽直接凝华，或过冷雾滴直接冻结在物体上的乳白色冰晶沉积物，是非常难得的自然奇观。**



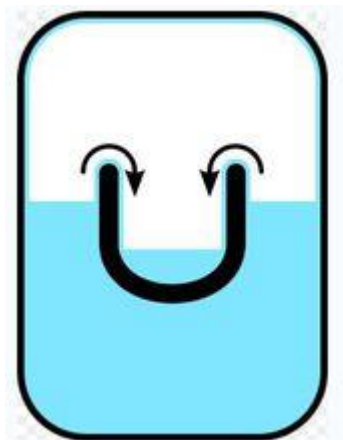
寒气结冰如珠见日光乃消，  
齐鲁谓之雾凇。



※一级相变：伴随有热量（相变潜热  $l$ ）的吸放和体积的变化

如：固、液、气三相相互转变过程

※连续相变：非一级相变，包括二级、三级……等相变



超临界界的特殊流动性

例：铁磁性物质在温度升高时转变为顺磁性物质；液态氮在温度降低（ $4.2\text{ K} \rightarrow 2.17\text{ K}$ ）时由正常氮 I 转变为超流性氮 II（即黏性完全消失）



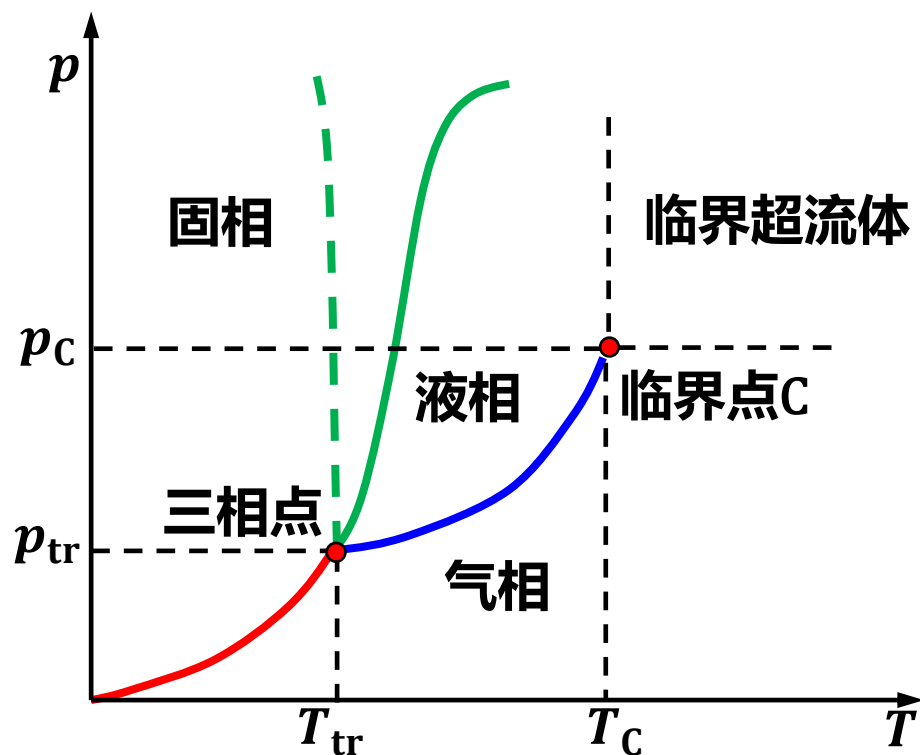
△ 在极低温的条件下，液氮会变成超液氮，并且有着惊人的性质。比如它会从容器中溢出。（图片来源：BBC4）

我们主要讨论一级相变





# 相图



实验指出，这样的系统在不同温度和压强范围，可以分别处在气相、液相或固相。因此，我们可以用**温度**和**压强**作为直角坐标，根据实验数据画出系统的相图，称为 **$p - T$ 相图**

**水的固液气三相点**温度为273.16 K，  
压强为 611.93 Pa.



02

# 实验目的





# 实验目的 | PURPOSE

## 目的

1

➤ 了解混合量热法的实验原理，即系统热平衡时，低温物体所吸收的热量等于高温物体所放出的热量。

2

➤ 研究掌握热学实验基本仪器的使用方法，如温度计，量热器的规范操作。

3

➤ 学习掌握如何用作图法进行散热修正



03

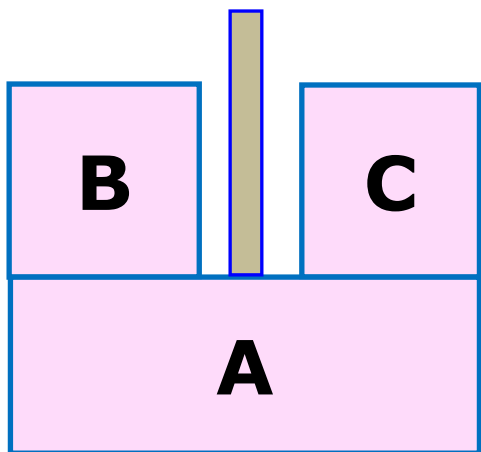
# 实验原理







# 热平衡

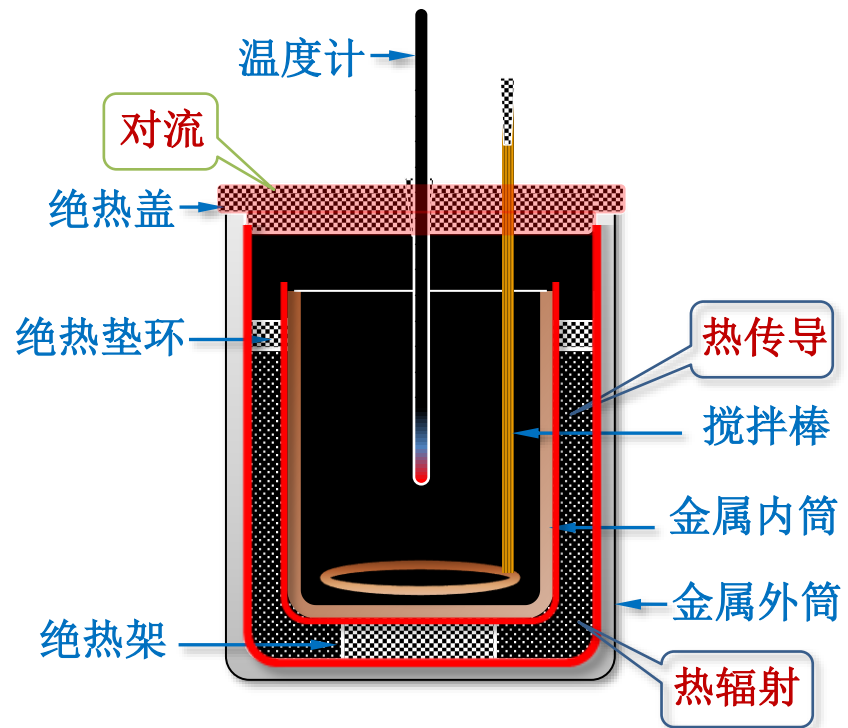


温度不同的两个物体混合之后，热量将由高温物体传递给低温物体。对于一个孤立系统，高温物体放出的热量等于低温物体所吸收的热量，此称为热平衡原理。

本实验就是根据热平衡原理，用混合法来测定冰的溶解热。



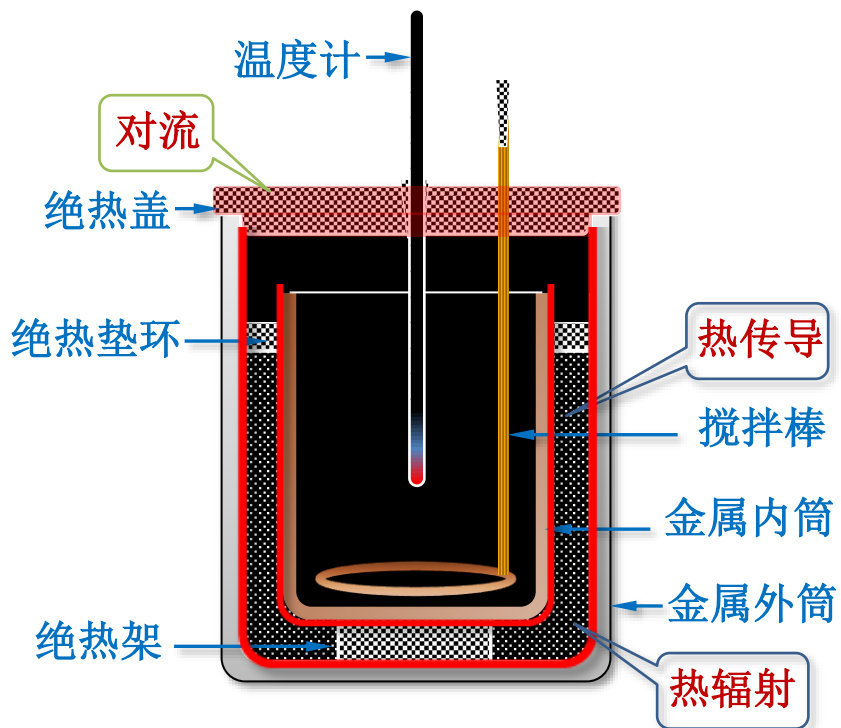
# 1. 混合量热法测定冰的溶解热



(量热筒示意图)

1. 温度计
2. 带绝热柄的搅拌器
3. 绝热盖
4. 绝热架
5. 空气
6. 表面镀亮的金属外筒
7. 表面镀亮的金属内筒

- 量热器的两个相套的铝圆筒之间是不良导体空气。
- 筒壁光亮电镀铝，加有绝热盖。
- 搅拌器也是铝的。



(量热筒示意图)

实验过程：冰 $M$ （初始温度 $T_1$ 、熔化 $T_0$ ）放入水 $m$ （温度 $T_2$ ）混合，最后 $T_3$ ，内筒及搅拌器的质量 $m_s$  和其热容 $c_s$ ，温度计热容 $\delta_m$ ，冰的比热 $1.8\text{J/gK}$ ，温度计浸没在液体中的体积 $V$ ，溶解热 $L$ ，系统看做孤立系统则：

$$Q_{\text{吸}} = Q_{\text{放}}$$

$$1.80M(T_0 - T_1) + ML + Mc_0(T_3 - T_0) = (mc_0 + m_s c_s + \delta_m)(T_2 - T_3)$$

简化后：

$$L = \frac{1}{M} (mc_0 + m_s c_s + \delta_m) (T_2 - T_3) - c_0(T_3 - T_0)$$



## 2. 实验系统散热的修正

虽然尽量保持系统孤立，仍不可能完全达到绝热的要求，因此，就需要求出系统散失或吸收的热量，从而对结果进行修正。

**牛顿冷却定律：**若系统温度高于环境温度，系统就要散失热量。当温度差相当小时（小于10-15℃），散热速率与温度差成正比，即：

$$\frac{\delta q}{\delta t} = K(T - \theta)$$

牛顿冷却定律 (Newton's law of cooling): 温度高于周围环境的物体向周围媒质传递热量逐渐冷却时所遵循的规律。当物体表面与周围存在温度差时，单位时间从单位面积散失的热量与温度差成正比，比例系数称为热传递系数。牛顿冷却定律是牛顿在1701年用实验确定的，在强制对流时与实际符合较好，在自然对流时只在温度差不太大时才成立。是传热学的基本定律之一，用于计算对流热量的多少。



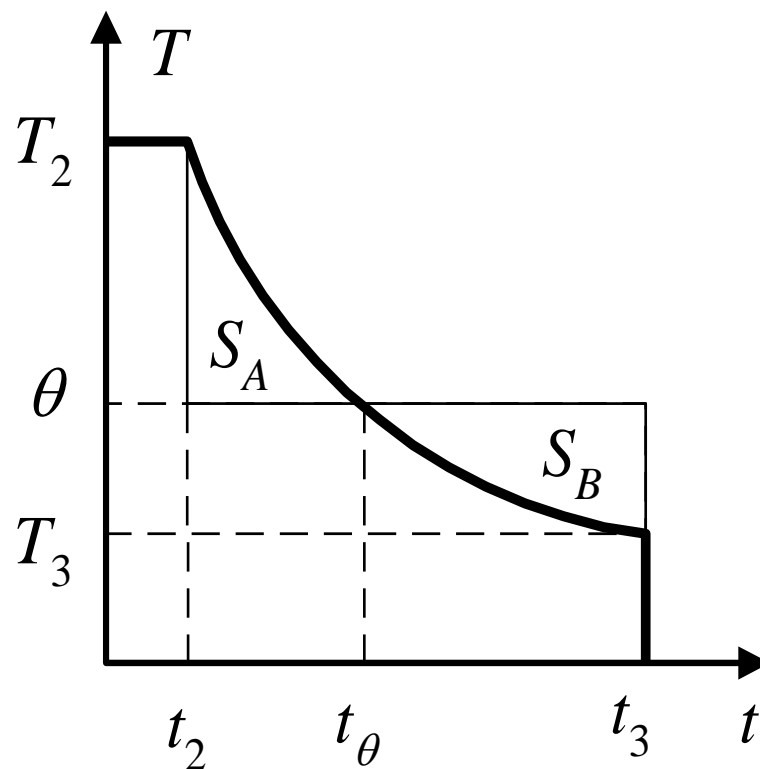


## 2. 实验系统散热的修正

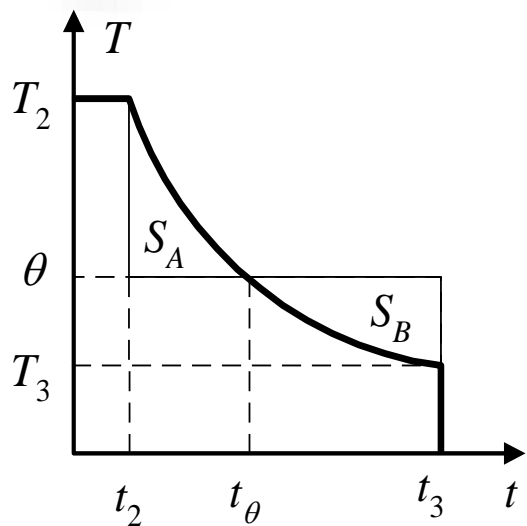
$$\frac{\delta q}{\delta t} = K(T - \theta)$$

→  $\delta q = K(T - \theta)\delta t$

→  $q = \int K(T - \theta)\delta t$



# (1) 利用系统散热与吸热相互抵消的方法



(系统散热修正)

**注意：**冰刚投入时，水温高，冰熔解快，则系统温度降低快。随着冰融化，冰块变小，水温降低，冰熔解变慢，系统温度降低变慢。

根据牛顿冷却定律修正散热。温度从 $T_2$ 到 $T_3$ ，系统与环境交换的热量：

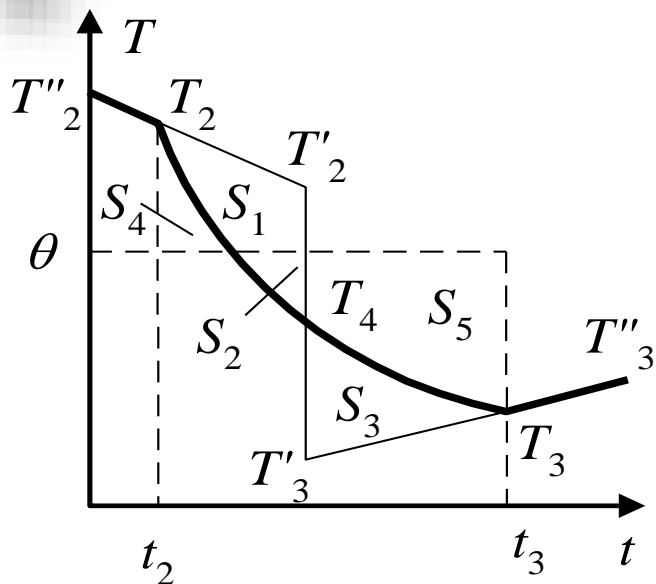
$$q = \int_{t_2}^{t_3} K(T - \theta) dt = K \int_{t_2}^{t_\theta} (T - \theta) dt + K \int_{t_\theta}^{t_3} (T - \theta) dt$$

若 $S_A = S_B$ ，则系统对外界的吸热和散热就可以相互抵消。

这种修正方法，要求水的初温大于环境温度 ( $T_2 > \theta_{\text{环}}$ )，末温比环境温度低 ( $T_3 < \theta_{\text{环}}$ )，而且对初温、末温与环境温度相差的幅度要求比较严格，在实验中很难保证。



## (2) 假设冰熔化无限短-近似绝热过程来修正



(系统散热修正)

修正温度曲线把热交换与冰熔化分割开来。由于冰熔化变为无限短，故没有热量交换。则：

实际温度变化是 $T''_2 T_2 T_4 T_3 T''_3$ ，系统共吸收热量相当于面积 $S=S_2+S_5-S_4$ 。

修正温度曲线是 $T''_2 T_2 T'_2 T'_3 T_3 T''_3$ ，系统吸收热量相当于面积 $S' = S_3+S_5-S_1-S_4$ 。

因为作图时已保证 $S_1+S_2 = S_3$ ，所以有 $S' = S$ 。

因此，修正温度曲线与实际温度曲线等价。

$$L = \frac{1}{M} (mc_0 + m_s c_s + \delta_m) (T'_2 - T'_3) - c_0 (T'_3 - T_0)$$

- 把对热量的修正转换为对水初 / 末温的修正，对水初 / 末温没有限制，但最好满足 $T_2 > \theta_{\text{环}}$ ， $T_3 < \theta_{\text{环}}$ 。



04

# 实验仪器







# 实验仪器 | APPARATUS



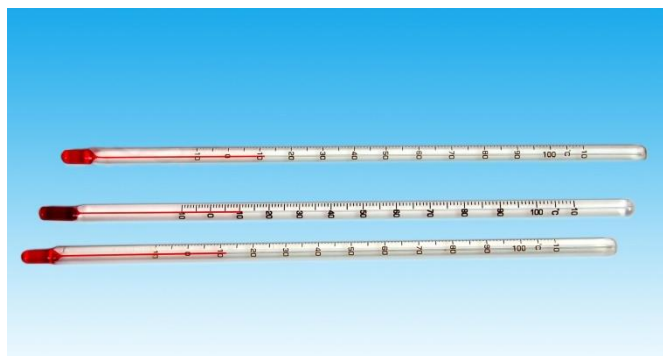
电子天平



冰块



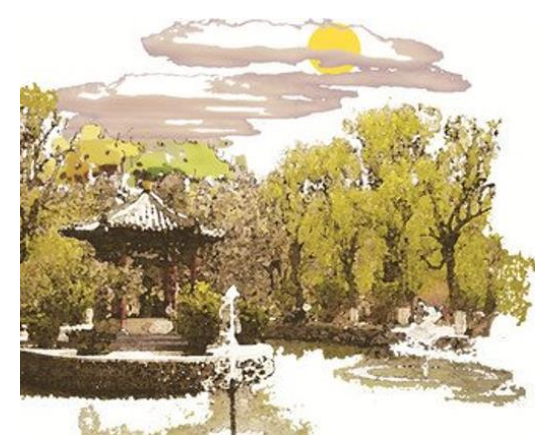
量热器



温度计



烧杯



蘭州大學  
蘭大

05

# 实验内容





## 实验内容 | EXPERIMENTS

---

1. 称量水，冰块质量和测量温度。
2. 记录投冰前水温随时间的变化曲线。  
开始时每隔20秒测一个系统温度，测5个点，获得散热常数。
3. 投入冰块测量水温随时间的变化曲线。  
每隔5秒测量系统温度，测到温度开始上升。
4. 温度开始上升后测量散热常数  
每隔20秒测量一个温度点，测5个。
5. 注意事项：
  - 水初温大于环境温度约 $10-15^{\circ}\text{C}$ ，末温小于环境温度。
  - 曲线连续，时间不可间断。记好投冰的时间。
  - 实验中要轻轻搅拌。



## 实验内容 | EXPERIMENTS

---

### 6. 数据处理：

- 用假设冰熔化无限短的修正方法，作图求出初、末温度的修正值，并算出冰的熔解热。
- 计算系统的散热常数。





06

# 误差分析





## 误差分析 | ERRORS

---

- 1、热量补偿问题。实际实验系统和外界环境间仍存在一些热量的交换。所以，我们使水的初温 $t_0$ 高于室温，当投入适量的冰块熔解后，则系统从外界吸收热量。
- 2、 $t_0$ 的测量必须是在量热器内筒放入外筒后进行，再立即小心地放入冰块。
- 3、冰块外部需用吸水纸抹干，防止增大 $M$



07

# 注意事项





## 注意事项 | PRECAUTIONS

### □ 实验报告处理数据一定要用坐标纸或电脑画图



1. 水的质量，初始温度，冰块质量
2. 实验过程一定要均匀搅拌
3. 读温度计一定要快、准。
4. 温度下降比较快可以多读几个点，注意不要停表。
5. 取完冰块后一定再接水冷冻上，后面同学做实验用。



08

# 实验问题





## 实验问题 | QUESTIONS

???

1、实验时为什么不先直接称出冰块的质量？

???

???

2、在取冰、投冰及记录系统的温度-时间历程时应注意些什么？投冰的时刻如何求出？

???

???

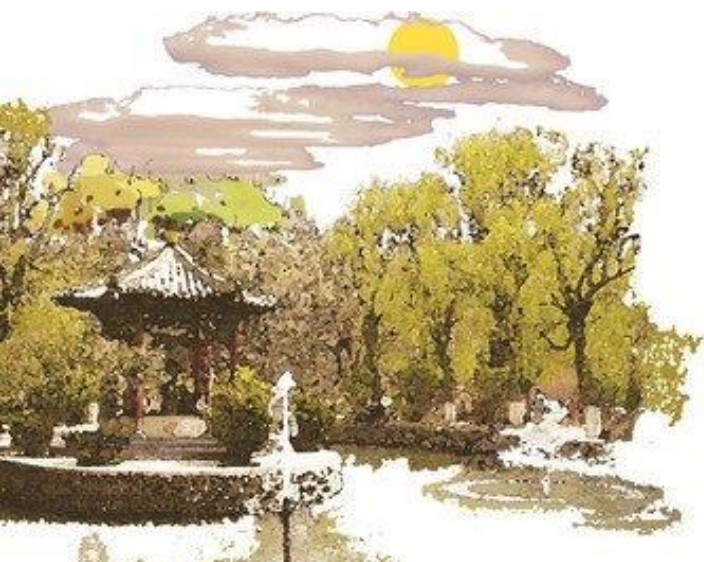
3、已知系统为质量 $m$ 、初温为 $T_0$ 的水，从温度为 $q$ 的环境吸热，经 $t$ 后温度升至 $T_f$ ，如何由此算得系统的散热常数 $K$ ？

4、为什么把最低温度当作冰熔解完时系统的温度？为什么不能打开盖子看冰是否熔解完？





本次课程结束，祝同学们  
学业有成！



蘭州大學  
蘭州大學  
蘭州大學



## 参考资料 | EXPERIMENTAL PRINCIPLES

---

1. 基础物理实验, 李 健等, 兰州大学出版社, 2012年.
2. 基础物理实验, 沈元华等, 高等教育出版社, 2003年.
3. 基础物理实验, 吕斯骅等, 北京大学出版社, 2002年.
4. 大学物理实验, 浦天舒等, 清华大学出版社, 2011年.
5. 热 学, 李 椿等, 高等教育出版社, 2012年.
6. 热 学, 赵凯华等, 高等教育出版社, 2004年.
7. 物理学, 刘克哲等, 高等教育出版社, 2012年.