

基础物理实验

液氮比汽化热的测量



物理国家级实验教学示范中心（复旦大学）



欢迎大家修读本课程，请注意以下事项：

1. 课程有班级群，请注意加群，以便跟老师联系；
2. 本课程为必修课，若没通过，没有补考，只有重修；
3. 课程评分由平时成绩和期末成绩组成，请出席每一次实验课并提交报告，如特殊原因无法出席，请务必请假并联系老师申请补做；
4. 实验前认真预习并完成预习报告，没有预习报告，不允许做实验；
5. 诚实守信，不允许篡改、伪造或抄袭别人的数据，不允许带着别人的实验报告来实验室做实验，一经发现，该实验为 0 分。

液氮比汽化热的测量

液化氮气（简称液氮）的沸点约为 -196°C （ 77K ），它是现代实验室中获得低温的最常用的一种制冷剂。本实验测量在 1 个大气压下液氮处于沸点温度时的比汽化热。物质的比汽化热是该物质汽化时所需吸热大小的量度。它是物质的主要热学特性之一。因液氮汽化较快，实验时应采用动态法称衡，并须校正由于与外界热交换引起的误差等。

实验目的

本实验要求测量液氮的比汽化热，了解什么是动态称衡法和间接测量法，掌握电子天平、量热器等基本仪器的使用，并学习安全使用液氮的方法。

实验原理

物质由液态向气态转化的过程称为汽化。在一定压强下（如 1 个大气压）、保持温度不变时，单位质量的液体转化为气体所需吸收的热量，称为该物质的比汽化热 L ，即 $L=Q/m$ 。当然，它也等于单位质量的该气态物质转化为同温度液体时所放出的热量。

比汽化热值与汽化时温度有关，如温度升高，则比汽化热减小。水在 100°C 时的比汽化热为 2290J/kg ，而在 5°C 时为 2430J/kg 。这是因为随着温度升高，液相与汽相之间的差别逐渐减小的缘故。

在盛有一定质量液氮的保温杯瓶塞上开个小孔，则瓶内液氮将由于吸收周围大气中的热量而不断汽化为氮气。可以用天平称出单位时间内汽化的液氮质量。接着，将已知质量、温度为 t_1 的小铜柱经小孔放入液氮中。由于 1 个大气压下液氮的沸点很低（为 77.4K ），因此，铜柱立即向液氮放热，从而使液氮汽化过程大大加快。直至铜柱温度和液氮温度相等时，它们之间的热交换才停止。用天平称出盛有液氮的保温杯及铜柱的总质量 M ，则 M 随时间 t 的变化情况如图 1 所示。图中 ab 段为液氮由于吸收空气中的热量，部分汽化而质量 M 减小的过程； bc 段为液氮除吸收空气中的热量外，还由于铜柱投入液氮而引起剧烈汽化， M 迅速减小的过程； cd 段表示铜柱不再放热，液氮继续吸收空气中热量而 M 继续减小的过程；垂直线 fg 则表示在 bc 段中仅考虑铜柱释放热量而汽化的液氮质量 m_N ，即 $m_N=m_f-m_g$ 。

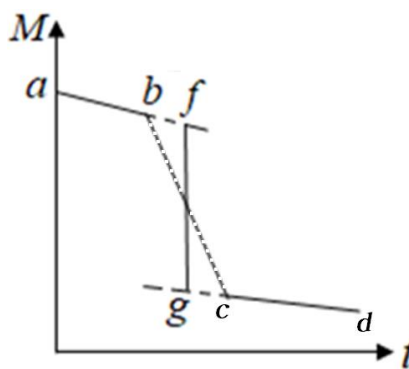


图 1 总质量 M 随时间变化关系

铜柱在上述过程中所释放的热量可用间接测量法来测量。将浸没在液氮中并与液氮同温度的铜柱取出，迅速放入一盛水的量热器中。若水和量热器的初温为

θ_2 ，而铜柱与水混合后，两者温度开始达到相同的值为 θ_3 ，则铜柱从液氮的温度升高到 θ_3 时吸收的热量为

$$Q_1 = (m_w c_w + m_a c_a + m_c c_c + h_t)(\theta_2 - \theta_3) \quad (1)$$

式中 m_w 、 c_w 分别为水的质量与比热容； m_a 、 c_a 分别为量热器的内筒质量与比热容； m_c 、 c_c 分别为搅拌器的质量与比热容； h_t 为温度计浸入水中的那部分的热容量。 θ_3 一般小于铜柱初温 θ_1 ，所以如使铜柱温度再从 θ_3 上升到 θ_1 则尚需吸收热量 Q_2 ：

$$Q_2 = m_{\text{铜}} c_{\text{铜}} (\theta_1 - \theta_3) \quad (2)$$

式中 c_b 为铜的比热容，它的数值随温度而改变，由于温差 $\theta_1 - \theta_3$ 的数值较小， c_b 可近似视为恒值，而 m_b 为铜柱的质量。

铜柱由温度 θ_1 降至液氮温度时释放的热量 Q ，应该等于它从液氮温度回升到 θ_1 时所吸收的热量：

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$\text{即 } Lm_N = (m_w c_w + m_a c_a + m_c c_c + h_t)(\theta_2 - \theta_3) + m_b c_b (\theta_1 - \theta_3)$$

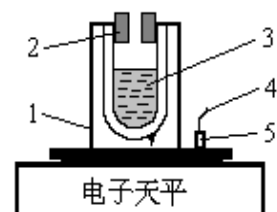
所以，液氮的比汽化热为：

$$L = \frac{1}{m_N} [(m_w c_w + m_a c_a + m_c c_c + h_t)(\theta_2 - \theta_3) + m_b c_b (\theta_1 - \theta_3)] \quad (3)$$

实验中，使用数字温度计测量 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ，数字温度计浸入水中的那部分的热容量 h_t 忽略不计。

实验仪器

实验装置如图 2 所示。实验中用到的器材有：电子天平、保温杯及软木塞、铜柱、量热器、数字温度计、秒表。



1. 保温杯 2. 软木塞 3. 液氮
4. 细棉线 5. 铜柱

图 2 用天平称衡保温杯（含液氮）和铜柱的质量

实验前应回答的问题

1. 什么是比汽化热？
2. 如何测量液氮的比汽化热 L ？建立测量模型，写出 L 的表达式。
3. 如何测量 m_N ，请画出示意图。
4. 可以直接测量铜柱由室温变到液氮温度而释放出的热量吗？如果不可以，实验中是如何用间接测量法来测量的？

实验内容

1. 调节电子天平水平，称重前注意先将天平示数归零。
2. 秤出铜柱、量热器内筒、搅拌棒的质量。用量热器取 1/2 杯到 2/3 杯水，并

称量其质量。

3. 在保温杯中加入液氮（如果保温杯中的液氮灌得太多，在瓶口将产生什么现象？这对实验结果有何影响？）。

警告：液氮危险，注意安全！

使用液氮的注意事项：

- (1) 液氮沸点约为 -196°C ，应避免人体皮肤直接与之接触，以防冻伤。不准戴纱手套操作，因为一旦液氮溅到纱手套上即不易挥发，反而增加危害性。
- (2) 在灌注液氮时，应眯起眼睛，头部切不可紧凑在装液氮的保温瓶前。以防液氮损伤眼睛或脸部。
- (3) 液氮温度很低，不能将普通玻璃水银温度计直接插入液氮中，否则会损坏温度计。
- (4) 铜柱须缓慢地放入待测保温杯内的液氮中，以防止瓶胆受损。

4. 将保温杯放在天平的托盘上，且铜柱也要放到电子天平的托盘上，如图 2 所示。开始记录待测物（液氮+容器+铜柱）的质量 M 随时间变化的情况。注意整个测量过程中，即 $ab \rightarrow bc \rightarrow cd$ 整段时间，应连续记录，千万不能有间断。（为什么？）由于液氮不断汽化，因此只能用动态称衡法来测定，即液氮每减少一定质量（0.2g）记录一次质量 M 及相应的时刻 t 。ab 段和 cd 段各记录 10 组数据。
5. 用数字温度计测量铜柱温度 θ_1 （为何不一到实验室就开始测室温？），然后将铜柱轻轻地放入保温杯中，记下放入的时刻 t_b （不需要记录此时天平的示数，为什么？）。
6. 铜柱投入后立即引起液氮大量汽化，瓶口冒出大量白雾，随时间的推移，白雾越来越少，约一分钟左右，瓶口突然再次冒出大量白雾，随即白雾很快消失，立即记下此时的时刻 t_c 。（为什么会有两次大量冒出白雾的现象，为何第二次白雾消失时铜柱与液氮的温度相同？）
7. 继续测量 M 随时间减少的情况，记录 10 组数据。
8. 用温度计测量水的温度 θ_2 （为何不在称完水的质量后就测量其温度？）。将铜柱从液氮中取出后迅速投入量热器中，并用搅拌器搅拌（不能有水溅出筒外），观察数字温度计的示值，达到热平衡时即记下最低温度 θ_3 。（为什么记下最低温度？）注意：数字温度计探头不要触碰到铜柱、量热器内筒及搅拌棒。
9. 将铜柱重新投入液氮中待其温度降为 77K，用量热器重新取 1/2 杯到 2/3 杯水并称量其质量，重复步骤 8、9 三次，将三次测量所得 Q ($Q = Q_1 + Q_2$) 求平均。
10. 计算液氮的比汽化热 L 。你的测量结果与预期值是否相符？

参考资料

- [1] 贾玉润等. 大学物理实验, 复旦大学出版社, 1987。
- [2] 陆申龙. 金浩明. 大学物理, 1984 年第 3 期, 46 - 47。
- [3] 陆申龙. 郭有思. 热学实验, 上海科技出版社, 1986。

数据记录表格

一、测量 $m-t$ 的变化情况：

- 质量 m 每下降0.20g，记录一次时间（ m 是盛有液氮的保温杯及黄铜样品的总质量）
- 整个测量过程中，时间是连续的，不能中断

表1 ab段的 $m\sim t$ 变化关系

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m/g										
秒表读数										

注意：秒表读数可用手机时钟自带的“秒表”功能来测量；应记录原始数据，即 $x'xx''xx$ 。

小铜柱的初温 $\theta_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ °C；

投入铜柱的时刻 $t_b = \underline{\hspace{2cm}}$ ；

二次冒白雾消失（达到热平衡）的时刻 $t_c = \underline{\hspace{2cm}}$

注意：cd 段的第 1 组数据在 t_c 之后间隔约 1 分钟后再测量。

表2 cd段的 $m\sim t$ 变化关系

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m/g										
秒表读数										

二、热量 Q_1 和 Q_2 的测量：

内筒质量 $m_a = \underline{\hspace{2cm}}$ g，小铜柱质量 $m_b = \underline{\hspace{2cm}}$ g，搅拌器质量 $m_c = \underline{\hspace{2cm}}$ g

	内筒+水的质量 m_{a+w} / g	水的质量 m_w / g	初始水温 $\theta_2 / ^\circ C$	水温最低值 $\theta_3 / ^\circ C$	Q_1 / J	Q_2 / J	Q / J
1							
2							
3							

附表：水、黄铜与铝的比热 ($\times\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)

温度 / $^{\circ}\text{C}$	5	10	15	20	25	30
水	4.215	4.205	4.200	4.190	4.185	4.181
黄铜	0.370	0.370	0.371	0.372	0.373	0.373
铝	0.890	0.895	0.899	0.903	0.907	0.907

注意：计算时， C_w 、 C_{Al} 取与水温 θ_2 、 θ_3 的平均值相近的比热值； C_{Cu} 取与水温 θ_1 、 θ_3 的平均值相近的比热值。

excel 数据处理的方法

1. 利用 trend 函数求出 t_b t_c t_e 时刻的质量

Formula bar: `=AVERAGE(B12,E12)`

	A	B	C	D	E	F
1	序号	t/s	M/g	序号	t/s	M/g
2	1	0.00	352.90	11	589.21	343.80
3	2	19.40	352.70	12	657.44	343.60
4	3	40.82	352.50	13	700.29	343.40
5	4	62.12	352.30	14	737.47	343.20
6	5	84.37	352.10	15	772.38	343.00
7	6	107.06	351.90	16	806.45	342.80
8	7	132.21	351.70	17	841.66	342.60
9	8	155.49	351.50	18	873.01	342.40
10	9	178.37	351.30	19	908.21	342.20
11	10	210.00	351.10	20	937.61	342.00
12	tb	485.00	348.66	tc	562.00	344.08
13	te	523.50	348.33	te	523.50	344.29

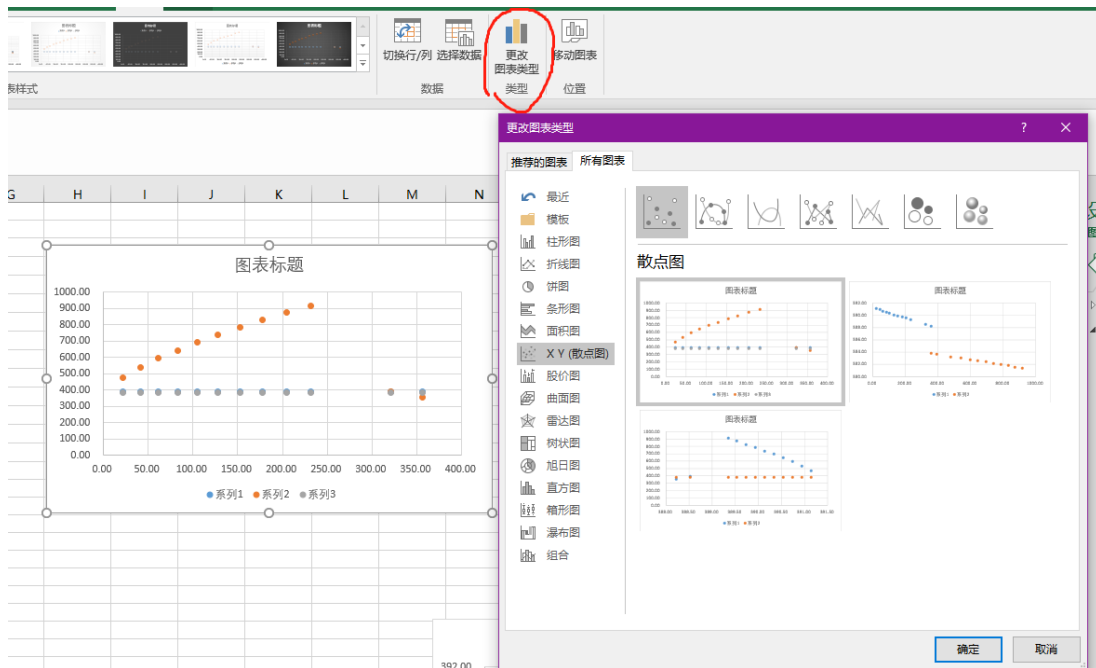
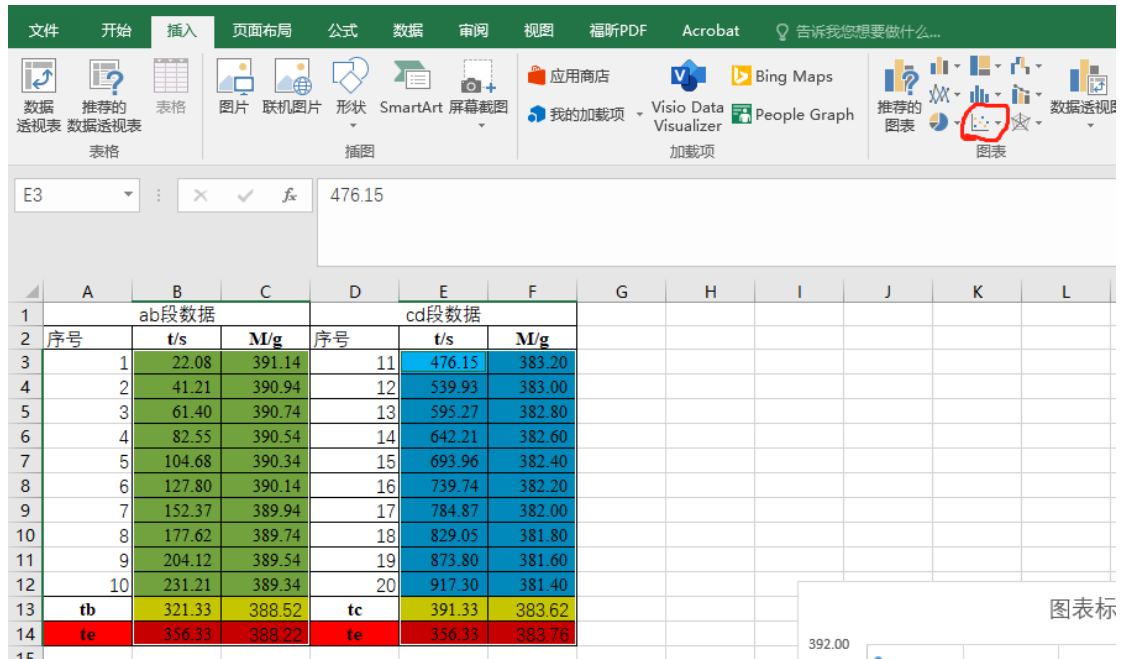
Formula bar: `=TREND(C3:C12,B3:B12,B13)`

	A	B	C	D	E	F	G
1	ab段数据			cd段数据			
2	序号	t/s	M/g	序号	t/s	M/g	
3	1	22.08	391.14	11	476.15	383.20	
4	2	41.21	390.94	12	539.93	383.00	
5	3	61.40	390.74	13	595.27	382.80	
6	4	82.55	390.54	14	642.21	382.60	
7	5	104.68	390.34	15	693.96	382.40	
8	6	127.80	390.14	16	739.74	382.20	
9	7	152.37	389.94	17	784.87	382.00	
10	8	177.62	389.74	18	829.05	381.80	
11	9	204.12	389.54	19	873.80	381.60	
12	10	231.21	389.34	20	917.30	381.40	
13	tb	321.33	388.52	tc	391.33	383.62	
14	te	356.33	388.22	te	356.33	383.76	

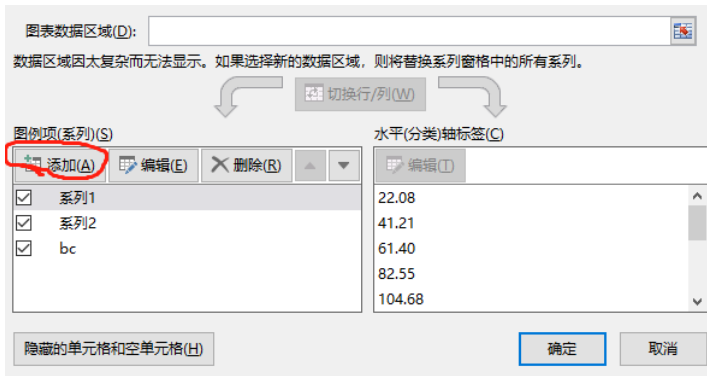
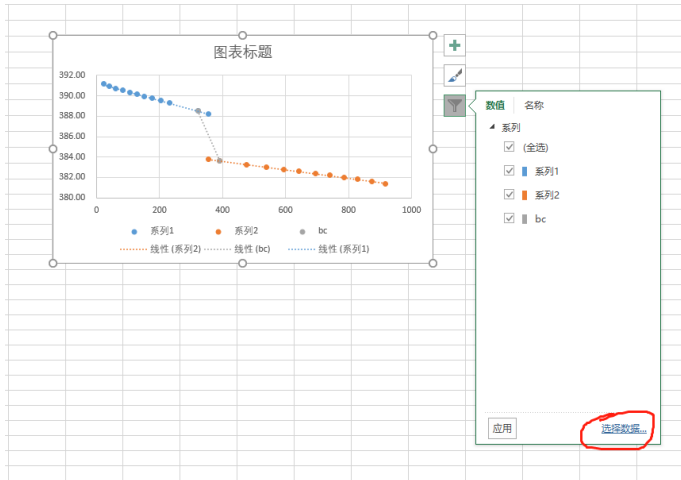
Formula bar: `=TREND(C3:C12,B3:B12,B14)`

	A	B	C	D	E	F	G
1	ab段数据			cd段数据			
2	序号	t/s	M/g	序号	t/s	M/g	
3	1	22.08	391.14	11	476.15	383.20	
4	2	41.21	390.94	12	539.93	383.00	
5	3	61.40	390.74	13	595.27	382.80	
6	4	82.55	390.54	14	642.21	382.60	
7	5	104.68	390.34	15	693.96	382.40	
8	6	127.80	390.14	16	739.74	382.20	
9	7	152.37	389.94	17	784.87	382.00	
10	8	177.62	389.74	18	829.05	381.80	
11	9	204.12	389.54	19	873.80	381.60	
12	10	231.21	389.34	20	917.30	381.40	
13	tb	321.33	388.52	tc	391.33	383.62	
14	te	356.33	388.22	te	356.33	383.76	

2. 选中数据，插入散点图



3. 选中图表，添加新的数据系列，更改系列名称。



4. 添加图表元素，更改图的名称，横纵坐标物理量单位，添加坐标值。

