

穆宾巴效应的实验探究及分析

黄绍书

(六盘水市第23中学 贵州 六盘水 553001)

(收稿日期:2017-01-13)

摘要:介绍常温下穆宾巴效应的一个探究性实验的方法,并对有关实验数据和实验中观察到的现象进行处理分析,试图找出穆宾巴效应的本质.

关键词:穆宾巴效应 温差理论 温度梯度 图线交叉 陡度 热惯性 吸附作用

1 问题的提出

1969年,坦桑尼亚大学学生艾拉斯托·穆宾巴在用牛奶和水等物质相混合制冰激凌时发现,温度较高的混合液体放入冷冻室后结晶比温度较低的混合液体在相同条件下结晶要快.他随后做了大量关于水的冷却实验,结果都是热水结冰比冷水快,但未能给出合理的解释,这一现象被科学界称为“穆宾巴效应”,至今仍然是一个科学悬案,是一个看似稀松的自然之谜.

目前,对穆宾巴效应的很多解释中,比较普遍的是温差理论,即根据傅里叶定律

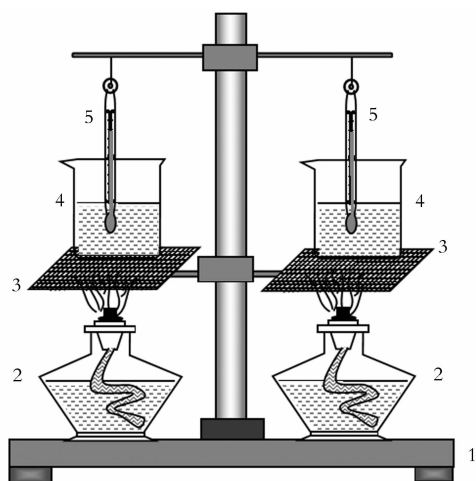
$$dQ = -k \left(\frac{dT}{dz} \right)_{z_0} dS dt$$

可知,在相同的时间 dt 内沿某方向 z 通过截面 dS 传递的热量 dQ 与温度梯度 $\left(\frac{dT}{dz} \right)_{z_0}$ 成正比.然而高温的水从开始冷却到与原来低温的水具有相同温度这一过程中耗费的时间,势必就是比低温的水冷却的总时间多出来的,这与穆宾巴效应的实验现象不相吻合.

2 实验设计与实验分析

2.1 实验方法和实验数据处理

图1是实验装置图,两只完全相同的烧杯中盛有质量和成分也完全相同的水(或可溶性物质的水溶液),用两只燃烧不同的酒精灯分别给两烧杯加热相同的时间后,两杯水(或水溶液)的温度有明显的不同.然后同时将两酒精灯移开让两烧杯在相同的环境中冷却降温,在冷却过程中每隔一定时间(比如2 min)就同时记下两烧杯中水(或水溶液)的温度,直至冷却到环境温度.根据实验数据建立温度(T)与冷却时间(t)的关系图线对两杯水(或水溶液)的降温特性进行比较.



1.铁架台(带支架); 2.酒精灯
3.石棉网; 4.盛水烧杯; 5.温度计

图1 穆宾巴效应探究实验装置图

本实验分别用蒸馏水、净化自来水、食盐水溶液、未净化自来水等在环境温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的室内进行.经大量实验观察发现,蒸馏水和净化自来水的实验结果与食盐水溶液、未净化自来水的实验结果有相似之处,但也存在很大的差别.

表1、表2、表3分别是加少许食盐配制的食盐水溶液、净化自来水和蒸馏水的实验记录数据;图2、图3、图4是分别与之对应的计算机拟合降温图线,其中 T_0 是环境温度, T_1 是低温水(或水溶液)的降温初始温度, T_2 是高温水(或水溶液)的降温初始温度.为了便于叙述,令降温初始温度低的水(或水溶液)的降温图线陡度 $\frac{dT}{dt}$ 为 k_1 ,降温初始温度高的水(或水溶液)的降温图线陡度 $\frac{dT}{dt}$ 为 k_2 .根据大量的实验数据和相应的拟合图线,有这样一些比较明显的现象.

(1) 不同物质的降温图线陡度 $\frac{dT}{dt}$ 总是随着降

温时间的延长而减小,且逐渐趋于零,降温初始温度不同的同种物质达到环境温度的时间几乎相等.

(2) 降温初始温度不同的蒸馏水或净化自来水的降温图线无交叉现象.降温过程中,降温图线上所对应的同一时刻或同一温度的降温图线陡度均有 $k_2 > k_1$.

(3) 降温初始温度不同的自来水或水溶液的降温图线有明显的交叉,交叉点对应的温度高于环境温度.降温过程中,降温图线未交叉之前,降温图线上所对应的同一时刻或同一温度,均有 $k_2 > k_1$.当降温图线交叉之后,降温图线陡度逐渐转变为 $k_2 < k_1$.

表1 初始温度不同的自来水加少许食盐降温冷却实验数据
(环境温度:26℃;初始温度:甲 95.5℃,乙 80℃;数据记录时间间隔:2 min)

t/s	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$T_{甲}/^{\circ}C$	95.5	90	84	79	75	71	67.5	64.1	61.9	59.1	57.1	55.1
$T_{乙}/^{\circ}C$	80	77.5	74	70.5	67.5	65	63.5	60.1	58.1	56.5	54.9	54
t/s	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
$T_{甲}/^{\circ}C$	53.4	52	50.1	49	47.8	46.5	45.3	44	43.1	42.1	41.6	41
$T_{乙}/^{\circ}C$	51.6	50	49	48	46.8	45.5	44.5	43.4	42.7	41.9	41.2	40.5
t/s	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
$T_{甲}/^{\circ}C$	40	39	38.5	37.9	37.3	36.6	35.9	35.1	34.8	34.5	34.2	33.9
$T_{乙}/^{\circ}C$	40	39.5	39	38.5	37.8	37	36.5	35.9	35.5	35	34.6	34.1
t/s	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94
$T_{甲}/^{\circ}C$	33.4	32.9	32.5	32	31.8	31.5	31.2	30.9	30.5	30.1	30	29.9
$T_{乙}/^{\circ}C$	33.6	33.1	32.6	32.1	32.1	32	31.6	31.1	31.1	31	30.8	30.5
t/s	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118
$T_{甲}/^{\circ}C$	29.7	29.5	29.3	29	28.8	28.5	28.3	28.1	28.1	28	28	27.9
$T_{乙}/^{\circ}C$	30.3	30	29.8	29.5	29.3	29	29	28.9	28.7	28.5	28.3	28
t/s	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140	142
$T_{甲}/^{\circ}C$	27.7	27.5	27.3	27.1	27.1	27	27	26.9	26.9	26.8	26.7	26.5
$T_{乙}/^{\circ}C$	28	28	28	27.9	27.7	27.5	27.4	27.2	27.2	27.1	27.1	27
t/s	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166
$T_{甲}/^{\circ}C$	26.5	26.4	26.4	26.3	26.1	26	26	26	26	26	26	26
$T_{乙}/^{\circ}C$	26.9	26.8	26.7	26.6	26.5	26.4	26.3	26.2	26.1	26	26	26

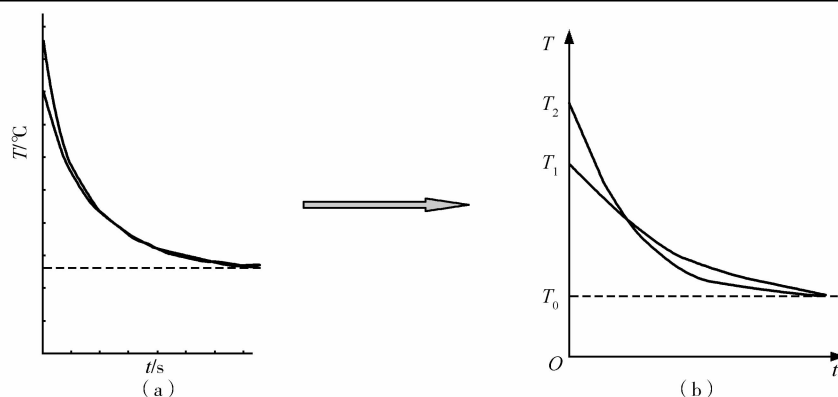


图2 自来水加少许食盐拟合图线

表2 初始温度不同的净化自来水降温冷却实验数据
(环境温度:25℃;初始温度:甲98℃,乙60℃;数据记录时间间隔:2min)

t/s	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$T_{甲}/^{\circ}C$	98	93	87	82.5	77	73	69	66	63.5	61	59	57
$T_{乙}/^{\circ}C$	60	59	57	55.5	54	52.5	51	49.5	48.5	47	46	45
t/s	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
$T_{甲}/^{\circ}C$	55	53	51.5	50	49	47.5	46.5	45	44	43	42	41.5
$T_{乙}/^{\circ}C$	44	43	42	41	40.5	40	39	38	37.5	37	36.5	36
t/s	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
$T_{甲}/^{\circ}C$	41	40	39	38.5	38	37	36.5	36	35.5	34.5	34	33.5
$T_{乙}/^{\circ}C$	35.5	35	34.5	34	33.5	33	32.9	32.5	32	31.8	31.5	31.3
t/s	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94
$T_{甲}/^{\circ}C$	33	32.5	32	31.5	31	30.8	30.5	30.3	30	29.8	29.5	29.3
$T_{乙}/^{\circ}C$	31	30.6	30.1	30	29.9	29.5	29.1	29	28.9	28.7	28.4	28.2
t/s	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118
$T_{甲}/^{\circ}C$	29	28.8	28.5	28.3	28.1	28	27.9	27.7	27.5	27.3	27.1	27.1
$T_{乙}/^{\circ}C$	28	28	27.9	27.7	27.5	27.3	27.1	27	26.9	26.8	26.7	26.7
t/s	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140	142
$T_{甲}/^{\circ}C$	27	26.8	26.6	26.6	26.5	26.3	26.1	26.1	26.1	26	26	25.9
$T_{乙}/^{\circ}C$	26.6	26.4	26.1	26	26	26	26	26	25.9	25.9	25.8	25.7
t/s	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166
$T_{甲}/^{\circ}C$	26.4	26.8	26.2	25.5	25.5	25.5	25.3	25.1	25.1	25	25	25
$T_{乙}/^{\circ}C$	25.5	25.2	24.9	25.2	25.4	25.3	25.1	25.1	25	25	25	25

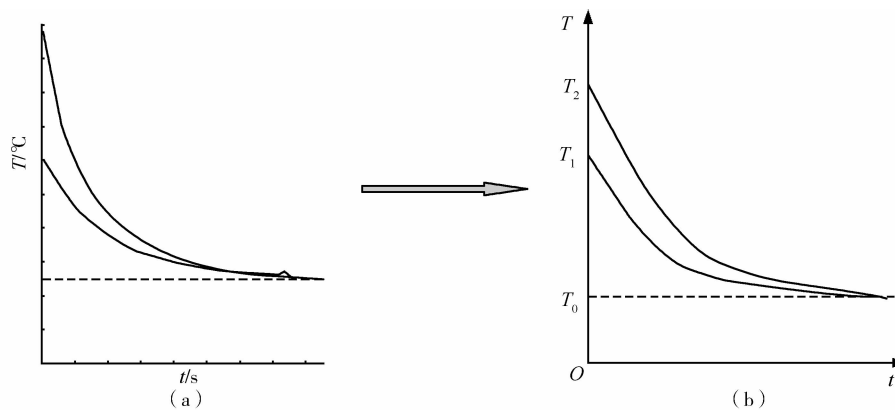


图3 净化自来水拟合图线

表3 初始温度不同的蒸馏水降温冷却实验数据
(环境温度:21℃;初始温度:甲94℃,乙72℃;数据记录时间间隔:2 min)

t/s	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	94	89	84	78.5	74.5	71	67.5	64	62	59	57
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	72	71	68.5	65.5	63	61	58.5	56	54.5	52.5	51
t/s	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	55	53	51	49	48	46.5	45	44	43	42	41
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	49	48	46.5	45	44	43	42	41	40	39	38
t/s	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	40	39	38	37	35.5	36	35	34.5	34	33.1	32.9
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	37	36.5	36	35	34.5	34	33.5	33	32.5	31.9	31.1
t/s	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	32.1	31.5	31	30.5	30.1	29.9	29.5	29	28.9	28.1	28
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	31	30.5	30	29.6	29.1	29	28.5	28.1	28	27.6	27.5
t/s	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	27.5	27.5	27	26.9	26.5	26.1	26	25.9	25.5	25.1	25
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	27	27	26.6	26.1	26	26	25.9	25.6	25.1	25	24.9
t/s	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	25	24.9	24.5	24.4	24.1	24.1	24.1	24	23.8	23.6	23.5
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	24.5	24.5	24.4	24.1	24	23.9	24	23.6	23.6	23.4	23.4
t/s	132	134	136	138	140	142	144	146	148	150	152
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	23.4	23.2	23	23	23	22.8	22.5	22.5	22.5	22.3	22.1
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	23	23	23	23	22.9	22.7	22.5	22.5	22.5	22.3	22.1
t/s	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	22.1	22	22	22	22	21.9	21.8	21.6	21.6	21.5	21.5
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	22.1	22	22	22	22	21.9	21.8	21.6	21.6	21.5	21.5
t/s	176	178	180	182	184	186	188	190	192	194	196
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	21.4	21.3	21.1	21.1	21.1	21.1	21	21	21	21	21
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	21.4	21.3	21.1	21.1	21.1	21.1	21	21	21	21	21
t/s	198	200	202								
$T_{甲}/^{\circ}\text{C}$	21	21	21								
$T_{乙}/^{\circ}\text{C}$	21	21	21								

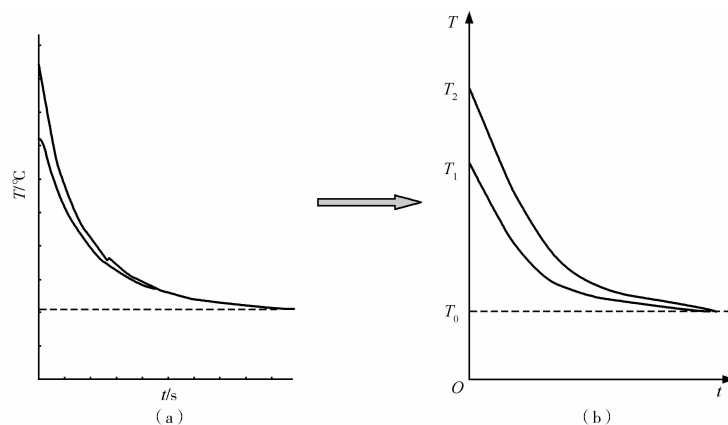


图4 蒸馏水拟合图线

2.2 实验现象分析

首先,引入热惯性的概念.

根据分子动理论的观点,温度是物质分子无规则运动剧烈程度的反映.温度不仅决定了物质分子的平均动能,同时在一定的条件下也决定了物质分子间的平均距离.在温度恒定的系统中,物质分子的运动可认为就是杂乱无章的无规则运动.而在温度变化的系统中,物质分子同时参与杂乱无章的无规则运动和沿分子间平均距离变化的定向运动,分子沿分子间平均距离变化的定向运动仍然表现出与宏观物体运动相似的惯性性质,这里称之为热惯性.我们认为,物质分子无规则运动的平均速率和沿分子间平均距离变化的定向运动的平均速率(简称分子定向速率)都随温度的升高而增大.初始温度不同的同种实验物质,在降温冷却过程中,同一温度对应的分子定向速率不相同,初始温度高的实验物质对应的分子定向速率较大.

其次,说明一下微粒吸附作用的问题.

这里说的微粒,是指直径在 $1\text{ nm} \sim 100\text{ nm}$ 之间的胶体颗粒或在这一空间尺度内的其他颗粒.科学实践已经证明,任何物质的微粒之间都有吸附作用,且胶体颗粒的吸附作用更为明显.

现根据温差理论,结合热惯性观点和微粒吸附作用,对上述实验现象及传统穆宾巴效应进行分析.

(1) 不同物质的降温图线陡度 $\frac{dT}{dt}$ 总是随着降温时间的延长而减小,且逐步趋于零的现象符合温差理论.同时,根据热惯性的观点,很容易解释降温

初始温度不同的同种物质达到环境温度的时间几乎相等.

(2) 降温初始温度不同的蒸馏水或净化自来水在降温过程中,由于热惯性作用,故而有降温初始温度高的降温图线陡度较大,即降温图线上所对应的同一时刻或同一温度的降温图线陡度均有 $k_2 > k_1$.

(3) 对降温初始温度不同的溶液或未净化自来水,由于微粒吸附作用,加剧了热惯性效应.因而,降温冷却过程中,降温图线就容易出现交叉现象,这就是常温下的穆宾巴效应.根据热惯性的观点,必然会有降温图线交叉之前降温图线陡度为 $k_2 > k_1$,当降温图线交叉之后,降温图线陡度逐渐转变为 $k_2 < k_1$.

(4) 传统穆宾巴效应,实验物质是牛奶等大分子胶体物质与水的混合物.因此,由于热惯性和微粒吸附作用,就产生了热水结冰比冷水快的现象.

3 结论与问题

穆宾巴效应主要是热惯性与微粒吸附作用的共同结果.目前的实验表明,穆宾巴效应的发生与实验水的纯净度有关.

根据热惯性的观点,在环境温度足够低的条件下,任何物质都可能发生穆宾巴效应,即上述降温图线出现交叉的现象.然而,这些问题有待于进一步的精细实验与探究.

参考文献

- 李椿,章立源,钱尚武.热学.北京:高等教育出版社,1978.118

Experiment Research and Analysis on the MubinBa Effect

Huang Shaoshu

(No. 23 Middle school of Liupanshui, Liupanshui, Guizhou 553001)

Abstract: This paper introduces the method of a research experiment of the effect of Mu bin at room temperature, and analyzes the phenomena observed in the experiment data and experiment, and tries to find out the nature of the effect of mu.

Key words: MubinBa effect; temperature difference theory; temperature gradien; Line-crossing; gradient; thermal inertia; adsorption

(上接第 15 页)

$$k \frac{L}{4} \sqrt{4R^2 - L^2}$$

电动势的方向与所选微元方向相同,即 a 指向 b 。

3 结束语

本文通过一道导体棒感生电动势的计算问题,分析了感生电动势的计算方法,并通过 3 种方法解决了问题.在选取合理闭合回路计算的方法中,通过

假设回路、扇形面积等简化了计算,几种方法都可加深学生对感生电场及感生电动势计算的理解和掌握。

参 考 文 献

- 1 陶宗明. 大学物理. 上海:上海交通大学出版社,2000. 329 ~ 332
- 2 张三慧. 大学基础物理学下. 北京:清华大学出版社, 2010. 147 ~ 150
- 3 赵凯华. 电磁学. 北京:高等教育出版社,2011. 333 ~ 340

Analysis on the Question of Calculating Induced Electromotive Force

Shi Bo Zhang Hui Zhang Lianqing Shan Huihui

(Teaching&research department of physics, Army Officer Academy, Hefei, Anhui 230031)

Yang Zhendong

(Teaching&research department of physics, Tongling University, Tongling, Anhu 244061)

Han Jiajia Ma Xiaomin

(Teaching&research department of physics, Army Officer Academy, Hefei, Anhui 230031)

Abstract: The non-electrostatic field source of induced electromotive force is induced electric field. The calculation of induced electric field and induced electromotive force of non-closed loop are problems that difficult to understand. A problem about induced electromotive force was analyzed through three methods, which deepened the understanding and mastering of the calculation of the induced electric field and induced electromotive force.

Key words: induced electric field; induced electromotive force