

به نام خدا

آزمایشگاه فیزیک ۱

آزمایش اندازه گیری گرمای نهان تبخیر

ممسن نجفی و امسان غزلباش و مامد نیلی

گروه : C10

مختصری از تئوری آزمایش:

در این آزمایش می خواهیم ضریب هدایت حرارتی مس را اندازه گیری کنیم.

هدایت حرارت:

اگر دمای طرفین جسمی با هم اختلاف داشته باشد، گرما از قسمتی که دارای دمای بیشتری است به قسمتی که دمای پایین تر می باشد منتقل می شود. اگر ضخامت جسم e باشد و دمای طرفین آن t_1, t_2 ($t_1 > t_2$) باشد، مقدار انرژی گرمایی که در زمان θ از طرف گرم تر به طرف سرد تر منتقل می شود برابر است با:

$$Q = \frac{kS(t_1 - t_2)\theta}{e}, \quad (H = \frac{dQ}{dt} = -kS \frac{dT}{dx})$$

که در آن S سطح مقطع جسم، k ضریب هدایت حرارتی آن است. k در دستگاه cgs بر حسب $\frac{cal}{cm.^\circ C.s}$ سنجیده می شود.

شرح دستگاه:

تمام دستگاه را درون نمد قرار می دهند تا عایق بندی شده و تعادل گرمایی آن نا چیز باشد. دستگاه از یک میله مسی تو پر که قسمت اصلی دستگاه می باشد تشکیل یافته است. یک انتهای میله، لوله باریکی به شکل مارپیچ، پیچیده شده است که با وصل کردن آن به شیر آب، آب سرد در این لوله باریک جریان پیدا می کند. در انتهای دیگر میله مسی، فضایی موجود است که بخار آب حاصل از جوشیدن آب درون ارلن مایر وارد این محفظه شده، پس از تبادل حرارتی با میله مسی از دستگاه خارج می شود. دماسنج های A و B دمای دو نقطه از میله مسی را که به فاصله e از هم قرار دارند نشان می دهند. دماسنج A به طرف گرمتر میله نزدیک تر است.

مختصری از شرح آزمایش:

بیشتر از نصف ارلن مایر را آب ریخته و آنرا روی توری قرار داده شده روی سه پایه می گذاریم و درپوش آنرا محکم می بندیم. مال چراغ را روشن کرده و زیر ارلن مایر قرار می دهیم. شعله را طوری تنظیم می کنیم که گرما به طور یکنواخت به ارلن مایر برسد. کمی صبر می کنیم تا آب به جوش آید و بخار حاصل از دستگاه خارج گردد. در این حال شیر آب را به آرامی باز می کنیم و دقت می کنیم جریان آب به طور یکنواخت و با دبی کم از دستگاه خارج شود. ارلن مایر را یکنواخت گرم می کنیم تا همواره بخار آب از دستگاه خارج شود. مال تقریباً دو دقیقه یک بار دمای دماسنج ها را یادداشت می کنیم و اختلاف دمای دماسنج های A و B و اختلاف دمای دماسنج های C و D را یادداشت می کنیم و این کار را ادامه می دهیم تا این اختلافات ثابت



شود (و نه لزوماً برابر. تا ۱۰ درجه اختلاف کافی است). در چنین حالتی دمای دماسنج‌های A و B و C و D را یادداشت می‌کنیم و بلافاصله بشر را زیر لوله

فروبی آب قرار می‌دهیم و مقدار آبی که در زمان معین θ (اینجا ۱ دقیقه) از آن خارج می‌گردد را جمع‌آوری کرده و وزن می‌کنیم. چون دستگاه را ایزوله فرض نموده ایم، مقدار گرمایی که در زمان θ از نقطه A به نقطه B رسیده است، صرف‌گرم شدن آبی شده که در این مدت از لوله ماریپی عبور کرده و در بشر جمع‌آوری شده است. اگر درجه دماسنج‌های A و B را به ترتیب T_B, T_A قرار دهیم، حرارت هدایت شده توسط لوله مسی از نقطه A به نقطه B برابر است با:

$$Q_1 = kS \frac{(T_A - T_B)\theta}{e}$$

و اگر درجه حرارت دماسنج‌های C و D را به ترتیب با t_D, t_C نشان دهیم، مقدار حرارتی که صرف‌گرم شدن آب جاری شده برابر است با:

$$Q_2 = mc(T_C - T_D)$$

لذا بنا بر تعادل حرارتی: $Q_1 = Q_2$

$$kS \frac{(T_A - T_B)\theta}{e} = mc(T_C - T_D)$$

از طرفی داریم:

$$d = 3.8\text{cm}, e = 10.35\text{cm}, c = 1 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ\text{C}}$$

که در آن d قطر میله مسی، e ضخامت لوله و c گرمای ویژه آب می‌باشد. این آزمایش را با سه دبی مختلف (هر دفعه دبی را زیاد می‌کنیم) انجام می‌دهیم و برای هر دفعه k را محاسبه می‌کنیم.

محاسبه k:

در آزمایش اول داده‌های زیر بدست آمد:

TA(c)	TB(c)	TC(c)	TD(c)	TA-TB	TC-TD
77	58	35	21.5	19	13.5
78.8	54.2	32.1	21	24.6	11.1
78.1	52.2	31.6	21	25.9	10.6
77.6	51.6	30.7	20.6	26	10.1
77.4	51.2	31.1	20.5	26.2	10.6
77.2	50.9	30.3	20.2	26.3	10.1
77	50.8	30.1	20	26.2	10.1
76.8	50.4	30.1	20	26.4	10.1
76.8	50.5	30	19.9	26.3	10.1
76.7	50.4	29.8	19.7	26.3	10.1

و مقدار آب جمع‌آوری شده توسط بشر $m_1 = 159.4\text{gr}$ بدست آمده است.



$$kS \frac{(T_A - T_B)\theta}{e} = mc(T_C - T_D)$$

$$\Rightarrow k = \frac{mc(T_C - T_D)e}{S(T_A - T_B)\theta}, S = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{\pi}{4}(3.8)^2 = 11.3411\text{cm}^2$$

مال k_1 (ضریب بدست آمده برای آزمایش اول) را بدست می آوریم:

$$k_1 = \frac{m_1 c(T_C - T_D)e}{S(T_A - T_B)\theta}, m_1 = 159.4\text{gr}, \theta = 60\text{s}, S = 11.3411\text{cm}^2$$

$$\Rightarrow k_1 = \frac{159.4 \times 1 \times 10.1 \times 10.35}{11.3411 \times 26.3 \times 60} = 0.931082 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$$

در آزمایش دوم داده های زیر بدست آمد:

TA(c)	TB(c)	TC(c)	TD(c)	TA-TB	TC-TD
76	48.4	25.2	18.7	27.6	6.5
75.7	48	25	18.5	27.7	6.5
75.6	47.9	24.9	18.4	27.7	6.5

که k_2 را به همان روش قبل بدست می آوریم و داریم:

$$k_2 = \frac{m_2 c(T_C - T_D)e}{S(T_A - T_B)\theta}, m_2 = 271.3\text{gr}, \theta = 60\text{s}, S = 11.3411\text{cm}^2$$

$$\Rightarrow k_2 = \frac{271.3 \times 1 \times 6.5 \times 10.35}{11.3411 \times 27.7 \times 60} = 0.968316 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$$

در آزمایش سوم داده های زیر بدست آمد:

TA(c)	TB(c)	TC(c)	TD(c)	TA-TB	TC-TD
75.5	47.1	22.1	17.6	28.4	4.5
75.1	46	21.7	17.4	29.1	4.3
74.8	45.5	21.5	17.3	29.3	4.2
74.6	45.3	21.5	17.3	29.3	4.2
74.5	45.2	21.4	17.2	29.3	4.2

که k_3 را بدست می آوریم:

$$k_3 = \frac{m_3 c(T_C - T_D)e}{S(T_A - T_B)\theta}, m_3 = 455.3\text{gr}, \theta = 60\text{s}, S = 11.3411\text{cm}^2$$

$$\Rightarrow k_3 = \frac{455.3 \times 1 \times 4.2 \times 10.35}{11.3411 \times 29.3 \times 60} = 0.992689 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$$

پس در یک جمع بندی داریم:

$$k_1 = 0.931082 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$$

$$k_2 = 0.968316 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$$

$$k_3 = 0.992689 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$$



محاسبه میانگین و خطای میانگین و تصمیم ارقام کمیت ها:

برای بدست آوردن $\bar{k}$ داریم:

$$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} = \frac{0.931082 + 0.968316 + 0.992689}{3} = 0.964029 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$$

مال برای محاسبه خطای میانگین (σ) از واریانس استفاده می کنیم:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2, d_i = k_i - \bar{k}$$

$$\Rightarrow \sigma^2 = \frac{1}{3} (0.001086 + 1.84 \times 10^{-5} + 0.000821)$$

$$\Rightarrow \sigma = 0.025333 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$$

بنا بر این:

$$\bar{k} = 0.96 \pm 0.03 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$$

محاسبه خطای نسبی و مطلق کمیت ها از طریق روش دیفرانسیل لگاریتمی:

می توان k را تابعی از متغیر های $m, T_A, T_B, T_C, T_D, \theta$ در نظر گرفت، بنا براین:

$$k = f(m, T_A, T_B, T_C, T_D, \theta)$$

$$\Rightarrow \log k = \log f(m, T_A, T_B, T_C, T_D, \theta)$$

$$\Rightarrow \frac{dk}{k} = \frac{\frac{\partial k}{\partial m} dm + \frac{\partial k}{\partial T_A} dT_A + \frac{\partial k}{\partial T_B} dT_B + \frac{\partial k}{\partial T_C} dT_C + \frac{\partial k}{\partial T_D} dT_D + \frac{\partial k}{\partial \theta} d\theta}{k}$$

$$\Rightarrow \left| \frac{\Delta k}{k} \right| = \frac{\left| \frac{\partial k}{\partial m} \Delta m \right| + \left| \frac{\partial k}{\partial T_A} \Delta T_A \right| + \left| \frac{\partial k}{\partial T_B} \Delta T_B \right| + \left| \frac{\partial k}{\partial T_C} \Delta T_C \right| + \left| \frac{\partial k}{\partial T_D} \Delta T_D \right| + \left| \frac{\partial k}{\partial \theta} \Delta \theta \right|}{|k|}$$

$$\Rightarrow \left| \frac{\Delta k}{k} \right| = \left| \frac{c.e.(T_C - T_D)}{k.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta m \right| + \left| \frac{-c.e.m.(T_C - T_D)}{k.S.(T_A - T_B)^2.\theta} \Delta T_A \right| + \left| \frac{c.e.m.(T_C - T_D)}{k.S.(T_A - T_B)^2.\theta} \Delta T_B \right| +$$

$$\left| \frac{c.e.m}{k.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta T_C \right| + \left| \frac{-c.e.m}{k.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta T_D \right| + \left| \frac{-c.e.m.(T_C - T_D)}{k.S.(T_A - T_B).\theta^2} \Delta \theta \right|$$

و از طرفی :



$$\Delta m = \frac{0.1}{2} = 0.05 \text{ gr}$$

$$\Delta T_{A,B,CD} = \frac{0.1}{2} = 0.05^\circ \text{C}$$

$$\Delta \theta = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ s}$$

مال فضای k_1, k_2, k_3 را مناسبه می کنیم:

$$\Rightarrow \left| \frac{\Delta k_1}{k_1} \right| = \left| \frac{c.e.(T_C - T_D)}{k_1.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta m \right| + \left| \frac{-c.e.m_1.(T_C - T_D)}{k_1.S.(T_A - T_B)^2.\theta} \Delta T_A \right| + \left| \frac{c.e.m_1.(T_C - T_D)}{k_1.S.(T_A - T_B)^2.\theta} \Delta T_B \right| +$$

$$\left| \frac{c.e.m_1}{k_1.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta T_C \right| + \left| \frac{-c.e.m_1}{k_1.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta T_D \right| + \left| \frac{-c.e.m_1.(T_C - T_D)}{k_1.S.(T_A - T_B).\theta^2} \Delta \theta \right|$$

$$\Rightarrow \left| \frac{\Delta k_1}{k_1} \right| = |0.00627352 \times 0.05| + |-0.0380228 \times 0.05| + |0.0380228 \times 0.05| +$$

$$|0.0990099 \times 0.05| + |-0.0990099 \times 0.05| + |-0.0166667 \times 0.5|$$

$$\Rightarrow \left| \frac{\Delta k_1}{k_1} \right| = 0.0223503$$

$$\Rightarrow \Delta k_1 = 0.0223503 \times 0.931082 = 0.02081 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^\circ \text{C.s}}$$

بنابر این:

$$k_1 = 0.93 \pm 0.02 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^\circ \text{C.s}}$$

و برای k_2 داریم:

$$\Rightarrow \left| \frac{\Delta k_2}{k_2} \right| = \left| \frac{c.e.(T_C - T_D)}{k_2.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta m \right| + \left| \frac{-c.e.m_2.(T_C - T_D)}{k_2.S.(T_A - T_B)^2.\theta} \Delta T_A \right| + \left| \frac{c.e.m_2.(T_C - T_D)}{k_2.S.(T_A - T_B)^2.\theta} \Delta T_B \right| +$$

$$\left| \frac{c.e.m_2}{k_2.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta T_C \right| + \left| \frac{-c.e.m_2}{k_2.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta T_D \right| + \left| \frac{-c.e.m_2.(T_C - T_D)}{k_2.S.(T_A - T_B).\theta^2} \Delta \theta \right|$$

$$\Rightarrow \left| \frac{\Delta k_2}{k_2} \right| = |0.00368596 \times 0.05| + |-0.0361011 \times 0.05| + |0.0361011 \times 0.05| +$$

$$|0.153846 \times 0.05| + |-0.153846 \times 0.05| + |-0.0166667 \times 0.5|$$

$$\Rightarrow \left| \frac{\Delta k_2}{k_2} \right| = 0.0275124$$

$$\Rightarrow \Delta k_2 = 0.0275124 \times 0.968316 = 0.0266407 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^\circ \text{C.s}}$$

بنا بر این:

$$k_2 = 0.97 \pm 0.03 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$$

و برای k_3 داریم:

$$\begin{aligned} \Rightarrow \left| \frac{\Delta k_3}{k_3} \right| &= \left| \frac{c.e.(T_C - T_D)}{k_3.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta m \right| + \left| \frac{-c.e.m_3.(T_C - T_D)}{k_3.S.(T_A - T_B)^2.\theta} \Delta T_A \right| + \left| \frac{c.e.m_3.(T_C - T_D)}{k_3.S.(T_A - T_B)^2.\theta} \Delta T_B \right| + \\ &\left| \frac{c.e.m_3}{k_3.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta T_C \right| + \left| \frac{-c.e.m_3}{k_3.S.(T_A - T_B).\theta} \Delta T_D \right| + \left| \frac{-c.e.m_3.(T_C - T_D)}{k_3.S.(T_A - T_B).\theta^2} \Delta \theta \right| \\ \Rightarrow \left| \frac{\Delta k_3}{k_3} \right| &= |0.00225164 \times 0.05| + |-0.0349888 \times 0.05| + |0.0349888 \times 0.05| + \\ &|0.244088 \times 0.05| + |-0.244088 \times 0.05| + |-0.0170862 \times 0.5| \\ \Rightarrow \left| \frac{\Delta k_3}{k_3} \right| &= 0.0365634 \\ \Rightarrow \Delta k_3 &= 0.0365634 \times 0.992689 = 0.0362961 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}} \end{aligned}$$

بنابر این:

$$k_3 = 0.99 \pm 0.04 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$$

