

به نام خداوند جان و خرد



دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

هدف آزمایش :

ظرفیت گرمایی ویژه یک مایع مجهول

تهیه و تنظیم گزارش :

امیررضا حکیمی ۴۰۳۱۱۴۰۲

مقدمه :

انتقال گرما یکی از مهم‌ترین مباحث ترمودینامیک است و در بسیاری از سیستم‌های طبیعی و صنعتی رخ می‌دهد. یکی از حالت‌های رایج، سرد شدن یک جسم داغ در محیط سردتر است. مشاهده تجربی نشان می‌دهد که هرچه جسم داغ‌تر باشد، سریع‌تر سرد می‌شود و هرچه دمای آن به دمای محیط نزدیک‌تر شود، سرعت سرد شدن کاهش می‌یابد.

این رفتار با قانون سرد شدن نیوتن به خوبی توصیف می‌شود و بنیان بسیاری از آزمایش‌های اندازه‌گیری خواص گرمایی — مثل ظرفیت گرمایی ویژه — است.

در این آزمایش از همین قانون استفاده می‌کنیم تا ظرفیت گرمایی ویژه یک مایع مجهول (روغن) را نسبت به یک مایع مرجع با ظرفیت گرمایی معلوم (آب) تعیین کنیم.

قانون سرد شدن نیوتن بیان می‌کند:

«سرعت اتلاف گرما از یک جسم، با اختلاف دمای میان جسم و محیط اطراف متناسب است.»

اگر دمای جسم را $T(t)$ و دمای محیط را T_{env} بگیریم، می‌توان نوشت:

$$\frac{dQ}{dt} = hA(T_{env} - T(t))$$

که در آن:

$$\left. \begin{aligned} h &= \text{ضریب انتقال حرارت (وابسته به جنس، شرایط محیط، سطح تماس و ...)} \\ A &= \text{سطح تماس جسم با محیط،} \\ T_{env} - T(t) &= \text{اختلاف دمای محرک فرآیند.} \end{aligned} \right\}$$

از طرف دیگر، طبق تعریف ظرفیت گرمایی ویژه :

$$dQ = mc dT$$

بنابراین:

$$\frac{dQ}{dt} = mc \frac{dT}{dt}$$

با برابر قرار دادن دو رابطه ی بالا داریم :

$$mc \frac{dT}{dt} = hA (T_{env} - T(t))$$

یا به فرم استاندارد:

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_{env})$$

که در آن:

$$k = \frac{hA}{mc}$$

حال معادله دیفرانسیل داده شده در معادله بالا را حل می کنیم :

رابطه ی $\frac{dT}{T - T_{env}} = -k dt$ یک معادله ی دیفرانسیل مرتبه ی اول خطی است.

حال متغیرها را در دو طرف عبارت تنها می کنیم و از طرفین انتگرال می گیریم :

$$\ln|T - T_{env}| = -kt + C$$

سپس دو طرف را به فرم $\exp$ می نویسیم :

$$T - T_{env} = C' e^{-kt}$$

و چون در $t = 0$ ، دما برابر $T(0) = T_0$ است:

$$T_0 - T_{env} = C'$$

در نتیجه معادله ی نهایی سرد شدن به صورت زیر به دست می آید :

$$T(t) = T_{env} + (T_0 - T_{env})e^{-kt}$$

رابطه ی بالا اساس تمام روش های محاسبه ی ظرفیت گرمایی در این آزمایش است.

حال رابطه ی روش زمانی به عنوان روش اول را بدست می آوریم :

برای دو مایع که از یک اختلاف دمای یکسان سرد می شوند:

$$\Delta T = T_0 - T_1$$

با توجه به معادله ی سرد شدن :

$$T(t) - T_{env} = (T_0 - T_{env})e^{-kt}$$

برای مایع اول داریم :

$$(T_1 - T_{env}) = (T_0 - T_{env})e^{-k_1 t_1}$$

و برای مایع دوم داریم :

$$(T_1 - T_{env}) = (T_0 - T_{env})e^{-k_2 t_2}$$

اکنون با حذف عبارات مشترک داریم :

$$e^{-k_1 t_1} = e^{-k_2 t_2}$$

بنابراین:

$$k_1 t_1 = k_2 t_2$$

اکنون با جایگذاری رابطه ی $k = \frac{hA}{mc}$ خواهیم داشت :

$$\left(\frac{hA}{m_1 c_1} \right) t_1 = \left(\frac{hA}{m_2 c_2} \right) t_2$$

با حذف hA در رابطه ی بالا خواهیم داشت :

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{m_1 c_1}{m_2 c_2}$$

در نتیجه:

$$C_2 = C_1 \frac{m t_2}{m t_1}$$

این رابطه در روش زمان برای محاسبه ی ظرفیت گرمایی ویژه ی مایع مجهول استفاده می‌شود.

حال روش شیب منحنی را به عنوان روش دوم استخراج می‌کنیم.

بر اساس قانون سرد شدن نیوتن:

$$mc \frac{dT}{dt} = hA(T_{env} - T(t))$$

برای یک دمای مشخص θ در دو مایع مختلف داریم:

$$m_1 c_1 \left(\frac{dT}{dt} \right)_P = hA(T_{env} - \theta)$$

:9

$$m_2 c_2 \left(\frac{dT}{dt} \right)_Q = hA(T_{env} - \theta)$$

از آنجا که سمت راست دو رابطه یکسان است:

$$m_1 c_1 \left(\frac{dT}{dt} \right)_P = m_2 c_2 \left(\frac{dT}{dt} \right)_Q$$

با حل رابطه برای c_2 داریم :

$$c_2 = c_1 \frac{m_1}{m_2} \frac{\left(\frac{dT}{dt} \right)_P}{\left(\frac{dT}{dt} \right)_Q}$$

در این روش ، شیب‌ها از روی نمودار دما-زمان و با رسم خط مماس در نقاط P و Q تعیین می‌شوند.

شرح آزمایش :

در این آزمایش ابتدا حجم مساوی از دو مایع شامل آب و مایع مجهول داخل دو لوله آزمایش ریخته شد. برای اندازه گیری دقیق حجم مایعات از بشر مدرج استفاده می گردد. سپس جرم هر مایع اندازه گیری و ثبت می شود تا در محاسبات مربوط به ظرفیت گرمایی ویژه مورد استفاده قرار گیرد.

پس از آماده سازی نمونه ها، دو لوله آزمایش داخل بشری حاوی آب گرم قرار داده می شوند تا هر دو مایع به تدریج گرم شوند. سطح آب بشر به اندازه ای انتخاب شد که بخش عمده لوله های آزمایش داخل آب قرار گیرد تا انتقال حرارت به خوبی انجام شود. در هنگام قرار دادن دماسنج، دقت می شود که دماسنج با دیواره یا کف لوله تماس نداشته باشد، زیرا این موضوع باعث ایجاد خطا در اندازه گیری دما می شود. همچنین از تماس کف لوله آزمایش با کف بشر جلوگیری می شود تا احتمال شکستن لوله ها کاهش یابد.

پس از گرم شدن مایعات، زمانی که دمای هر دو مایع به یک دمای مشخص برسد، آن دما به عنوان دمای اولیه در نظر گرفته می شود و زمان متناظر با آن برابر $t=0$ فرض می گردد. سپس لوله های آزمایش از داخل آب گرم خارج می کنیم و داخل نگهدارنده قرار می دهیم تا فرآیند سرد شدن آغاز شود.

در ادامه، دمای هر دو مایع در بازه های زمانی منظم اندازه گیری و ثبت می شود. در مراحل ابتدایی آزمایش، اندازه گیری ها در فواصل زمانی کوتاه تر انجام می شود، زیرا کاهش دما در ابتدا سریع تر می باشد. با گذشت زمان و کاهش سرعت سرد شدن، فاصله زمانی ثبت داده ها افزایش می یابد.

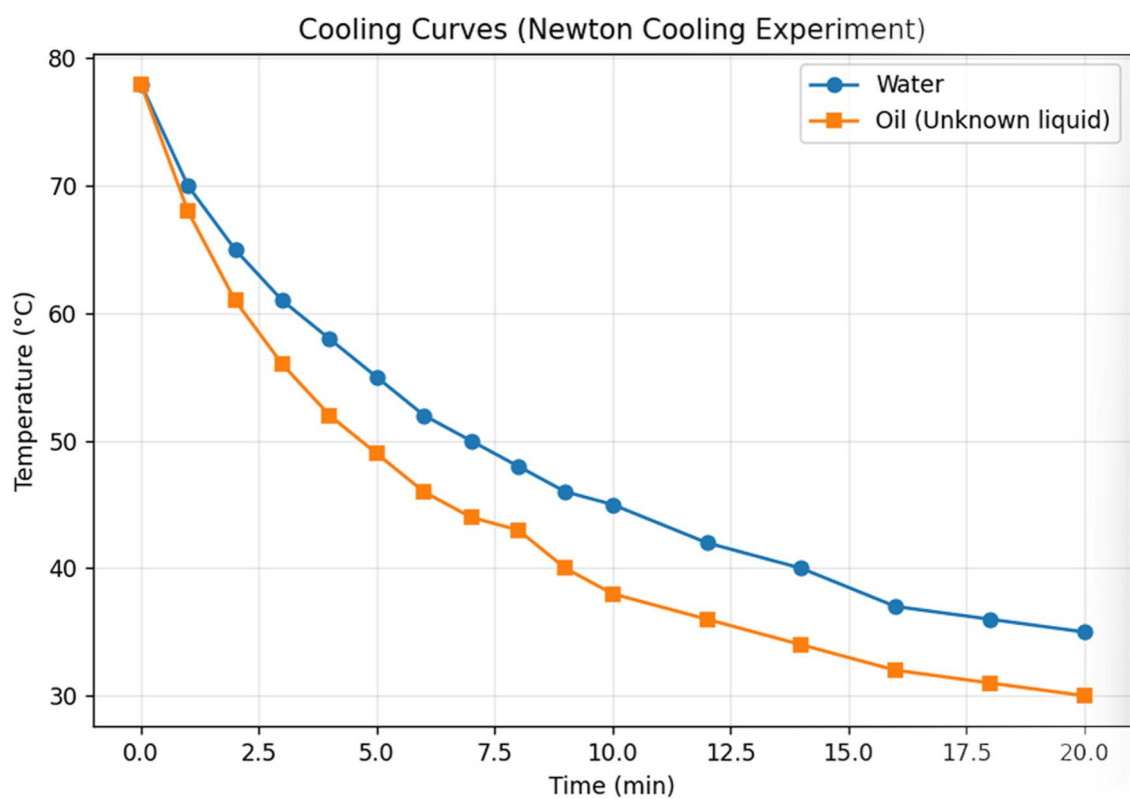
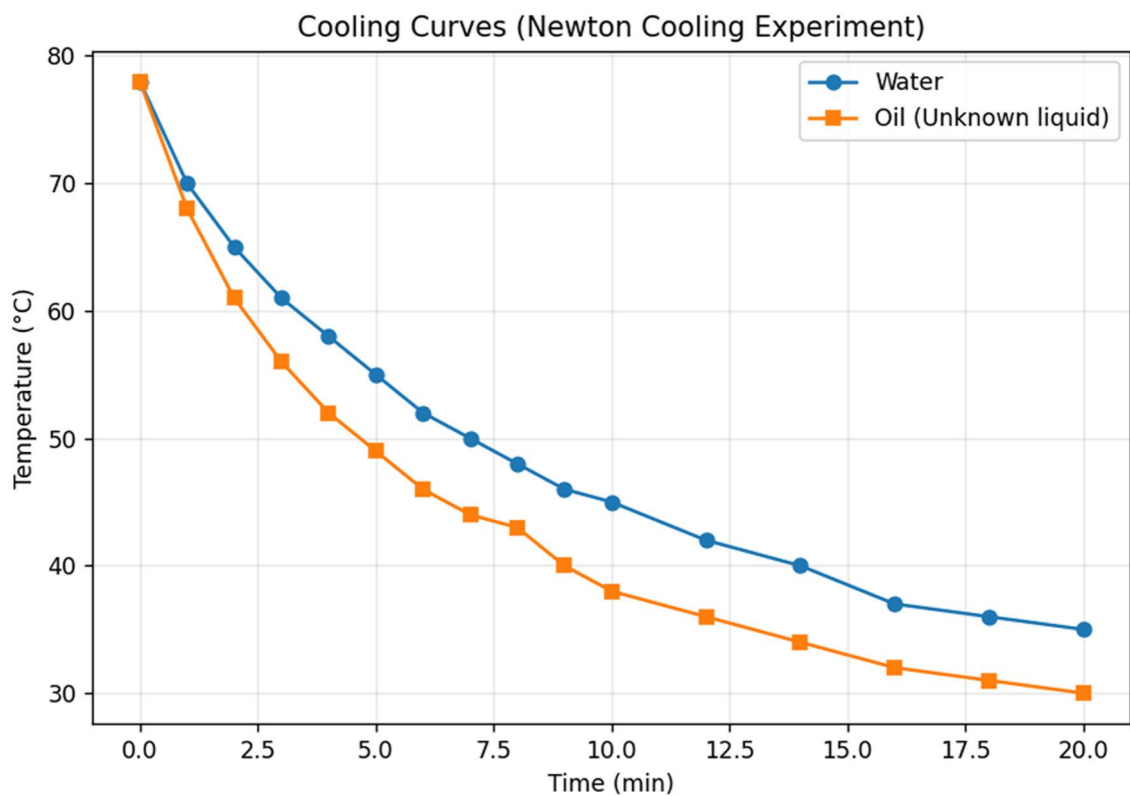
پس از ثبت کامل داده ها، نمودار تغییرات دما بر حسب زمان برای هر دو مایع با استفاده از نرم افزار Excel رسم می شود. سپس با استفاده از روابط نظری و تحلیل نمودارها، ظرفیت گرمایی ویژه مایع مجهول به دو روش مختلف محاسبه می گردد.

داده های ظرفیت گرمایی ویژه مایعات با استفاده از قانون سرمایش نیوتون

$t \text{ (min)}$	$\theta_{\text{water}} (^{\circ}\text{C})$	$\theta_{\text{oil}} (^{\circ}\text{C})$
0	78	78
1	70	68
2	65	61
3	61	56
4	58	52
5	55	49
6	52	46
7	50	44
8	48	43
9	46	40
10	45	38
12	42	36
14	40	34
16	37	32
18	36	31
20	35	30

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\text{water}} = 14.2 \text{ g} \\ m_{\text{oil}} = 13.5 \text{ g} \end{array} \right.$$

با استفاده از دیتاهای جدول صفحه ی قبل ، نمودار خواسته شده را رسم می کنیم .



داده های ظرفیت گرمایی ویژه مایعات با استفاده از قانون سرمایش نیوتون

	ظرفیت گرمایی ویژه مایعات (C) در آزمایشگاه	ظرفیت گرمایی ویژه مایعات (C)	خطای مطلق	در صد خطای نسبی
روشی اول	2940 (J/Kg.K)	2000 (J/Kg.K)	940 (J/Kg.K)	45 %
روشی دوم	2200 (J/Kg.K)	2000 (J/Kg.K)	200 (J/Kg.K)	10 %

چه عواملی باعث افزایش پارامتر K می شود ؟

در قانون سرد شدن نیوتن ضریب k (ثابت سرد شدن) در ساده ترین مدل این طور تعریف می شود:

$$k = \frac{hA}{mc}$$

عواملی که k را بزرگ تر می کنند :

۱ - افزایش ضریب جابجایی حرارتی (h)

جریان هوا بیشتر (مثلاً باد، پنکه، قرار دادن کنار پنجره باز)
هم زدن مایع یا تلاطم داخل ظرف
رسانا بودن دیواره ی ظرف (فلزی نازک به جای شیشه ضخیم)
اختلاف دمای زیاد بین مایع و محیط (معمولاً باعث تقویت جابجایی می شود)

۲- افزایش سطح تماس (A)

استفاده از ظرف پهن و کم عمق به جای ظرف باریک و عمیق
افزایش سطح آزاد مایع (مثلاً برداشتن در ظرف)
افزایش سطح خارجی ظرف که در تماس با هواست (پره دار بودن، زبر بودن سطح و ...)

۳- کاهش جرم مایع (m)

کم کردن مقدار مایع داخل ظرف
استفاده از ظرف کوچک‌تر با حجم کم مایع

۴- کاهش گرمای ویژه مایع (C)

مایعی با ظرفیت گرمایی کمتر (مثلاً روغن نسبت به آب) با همان جرم، سریع‌تر سرد می‌شود،

تقریب‌های استفاده شده برای رسیدن به فرمول اول عبارت است از:

- ۱- یکسان گرفتن دمای (T) برای آب و روغن یعنی می‌گوییم این دو رابطه را در لحظه‌ای مقایسه می‌کنیم که هر دو مایع به یک دمای مشخص (T) رسیده باشند.
- ۲- یکسان فرض کردن (A), (h) برای آب و روغن چون ظرف، شکل، ابعاد و شرایط محیط برای هر دو آزمایش یکسان، فرض می‌شود: