

# اثر ترموالکتریک

## ۱ هدف آزمایش

(۱) تعیین نیرو محرکه ترموالکتریک بر حسب دما

(۲) کالبره کردن یک ترموکوپل

## ۲ تئوری آزمایش

هنگامی که دو فلز یا دو نیمرسانای غیرمشابه را به یکدیگر متصل کنند و پیوندگاهها در دماهای متفاوتی نگه داشته شود پنج پدیده به طور همزمان رخ می دهد: اثرزبک (Seebeck Effect)، اثر تامسون (Thomson Effect)، اثر ژول، اثر فوریه و اثر پلتیه (Peltier Effect). این پدیده ها اساس خواص ترموالکتریک می باشند که ما در اینجا دو اثرزبک و پلتیه را اجمالاً معرفی می کنیم:

۱- اثرزبک: اگر پیوندگاههای یک ترموکوپل که شامل دو رسانا (نیمرسانا) A و B است در تماس با منبعهای گرمایی متفاوتی قرار گیرند پیوندگاه گرمتر در دمای  $T$  را پیوندگاه آزمون و پیوندگاه دیگر در دمای  $T_R$  را پیوندگاه مرجع می نامند. وجود یک نیروی محرکه حرارتی  $E_{AB}$  در مدار به اثرزبک مشهور است.

اثرزبک از این امر ناشی می‌شود که چگالی حامل‌های بار از یک رسانا به رسانای دیگر متفاوت است و بستگی به دما نیز دارد. وقتی دو رسانای مختلف طوری به هم متصل شوند که تشکیل دو پیوندگاه دهند و آن دو پیوندگاه در دماهای متفاوت نگهداشته شود، پخش حامل‌های بار در آنها با سرعت‌های متفاوتی انجام می‌گیرد و این امر باعث ایجاد حرکت کلی در حامل‌های بار می‌گردد و وضعیت طوری است که گویی حاملها توسط یک میدان غیرالکترواستاتیکی به حرکت در می‌آیند. انتگرال خطی این میدان روی محیط ترموکوپل برابر با نیروی محرکه زبک می‌باشد. برای یک  $T_R$  مفروض  $E_{AB}$  تابعی از  $T$  است و اگر  $T_R$  عوض شود رابطه بین  $E_{AB}$  و  $T$  به جز اضافه شدن یک مقدار ثابت تغییری نخواهد کرد. بنابراین  $\frac{dE_{AB}}{dT}$  مستقل از  $T_R$  می‌باشد و فقط به ماهیت رساناهای  $A$  و  $B$  بستگی دارد. عبارت  $\frac{dE_{AB}}{dT}$  به توان ترموالکتریکی ترموکوپل معروف است.

۲- اثر پلتیه: ترموکوپلی را در نظر بگیرید که دو پیوندگاه آن در دمای یکسانی قرار گرفته باشد. اگر توسط یک باطری جریانی در ترموکوپل برقرار شود دمای پیوندگاهها به مقداری تغییر می‌کند که همه آن نمی‌تواند ناشی از گرمای ایجاد شده ناشی از عبور جریان الکتریکی باشد. این تغییر دما همان اثر پلتیه است. با منظور کردن گرمای تولید شده ناشی از عبور جریان از پیوندگاه، گرمایی که باید برای بازگرداندن یک پیوندگاه به دمای اولیه‌اش به آن داد و یا از آن گرفت را گرمای پلتیه می‌نامند. اثر پلتیه خواه جریان توسط یک منبع خارجی تامین شود و خواه توسط ترموکوپل ایجاد گردد همواره رخ خواهد داد. بنابراین اثر پلتیه باعث انتقال گرما در یک مدار حامل جریان خواهد بود و می‌تواند اساس ساخت یخچال‌های صرفاً الکتریکی باشد. اندازه‌گیریهای انتقال گرما نشان می‌دهد که آهنگ انتقال گرمای پلتیه با توان اول جریان متناسب است و ضریب تناسب ( $\pi$ ) که ضریب پلتیه نام دارد برابر است با گرمای منتقل شده هنگامی که یک واحد الکتریسیته از پیوندگاه عبور کند. این انتقال گرما برگشت‌پذیر است و ضریب پلتیه به دما و جنس فلزهای پیوندگاه بستگی دارد و مستقل از دمای پیوندگاه دیگر است.

برای بررسی دقیق‌تر آثار ترموالکتریک باید جریانهای جفت‌شده گرمایی و الکتریکی همزمان در یک رسانا مورد بررسی قرار گیرد. اگر دو سریک رسانا تحت اختلاف پتانسیل  $\Delta E$  و اختلاف دمای

$\Delta T$  قرار گیرد، روابط زیر برای جریانهای گرمایی  $I_Q$  و الکتریکی  $I$  برقرار است

$$\frac{I_Q}{T} = L_{11} \frac{\Delta T}{T} + L_{12} \frac{\Delta E}{T} \quad (1)$$

$$I = L_{21} \frac{\Delta T}{T} + L_{22} \frac{\Delta E}{T} \quad (2)$$

که ضرایب  $L_{11}$  و  $L_{22}$  بر حسب رسانایی گرمایی و رسانایی الکتریکی بیان می شود و ضرایب  $L_{12}$  و  $L_{21}$  ضرایب جفت شدگی دو جریان هستند و اثبات شده است که  $L_{12} = L_{21}$  (رابطه دوجانبه انزاگر).

چنانچه در روابط (۱) و (۲)،  $\Delta T$  برابر صفر باشد خواهیم داشت

$$\left( \frac{I_Q}{T I} \right)_{\Delta T=0} = \frac{L_{12}}{L_{22}} \quad (3)$$

و همچنین در غیاب جریان الکتریکی از رابطه (۲) داریم

$$- \left( \frac{\Delta E}{\Delta T} \right)_{I=0} = \frac{L_{21}}{L_{22}} \quad (4)$$

حال می توان ضریب زبک را برای ماده مشخص  $A$  به صورت زیر تعریف کرد

$$\epsilon_A = \left( \frac{I_Q}{T I} \right)_{\Delta T=0} = - \left( \frac{dE}{dT} \right)_{I=0} \quad (5)$$

بنابراین اگر روی یک ترموکوپل که از دو رسانای  $A$  و  $B$  تشکیل شده انتگرال خطی بگیریم نیروی محرکه ترموکوپل برابر خواهد بود با

$$\epsilon_{AB} = \int_{T_R}^T (\epsilon_A - \epsilon_B) dT \quad (6)$$

برای جریان گرمایی در یک پیوندگاه که از دو رسانای  $A$  و  $B$  تشکیل شده خواهیم داشت

$$I_Q' = I^{\vee} R_j + (I_{QA})_{\Delta T=0} - (I_{QB})_{\Delta T=0} \quad (7)$$

که  $R_j$  مقاومت پیوندگاه می باشد و  $I_{QA}$  و  $I_{QB}$  جریانهای گرمایی در دورسانای  $A$  و  $B$  است. بنابراین طبق تعریف گرمای پلتیه عبارت خواهد بود از

$$\pi_{AB}I = I'_Q - I^{\vee}R_j = (I_{QA})_{\Delta T=0} - (I_{QB})_{\Delta T=0} \quad (8)$$

و از طرفی مطابق تعریف  $\epsilon$  از رابطه (۵) خواهیم داشت

$$I_{QA} = IT\epsilon_A, \quad I_{QB} = IT\epsilon_B \quad (9)$$

و لذا ضریب پلتیه برای یک پیوندگاه برابر است با

$$\pi_{AB} = T(\epsilon_A - \epsilon_B) \quad (10)$$

### ۳ روش آزمایش

الف) تعیین نیروی محرکه ترموالکتریک بر حسب دما

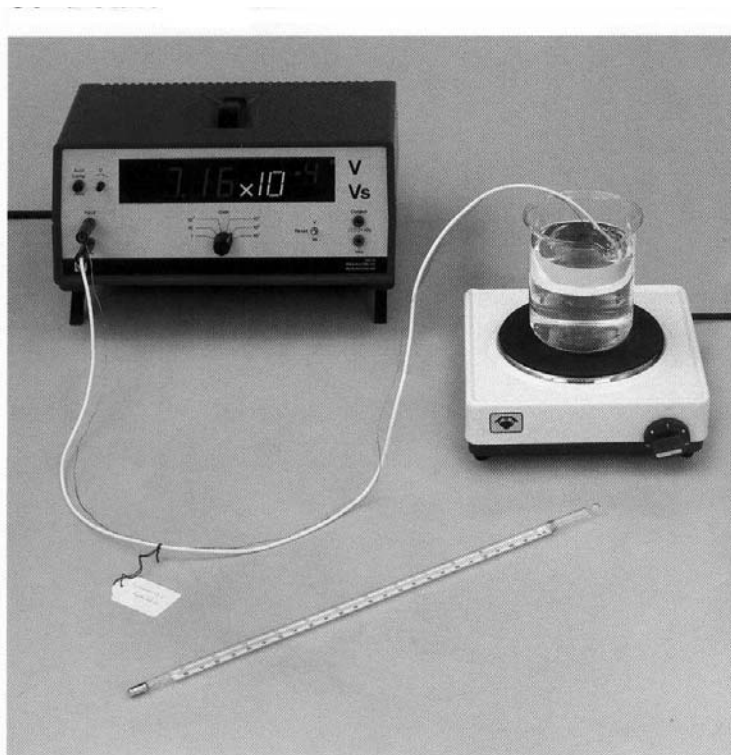
۱- ترموکوپل Cu-Constantan را مطابق شکل (۱) به یک میکروولتметр وصل کنید.

۲- بشر را پراز آب صفر درجه کرده و روی گرمکن الکتریکی قرار دهید و پیوندگاه را داخل آن قرار دهید.

۳- توسط دماسنج جیوه ای و میکروولتметр به ترتیب دمای آب و لتاژ را ثبت کنید و سپس گرمکن الکتریکی را روشن کنید.

۴- به ازای هر ۵ درجه افزایش دمای آب و لتاژ میکروولتметр را بخوانید و ستون دوم جدول (۱) را تکمیل کنید (هنگام خواندن دمای آب مطمئن شوید که دمای آب یکنواخت است برای این کار به طور مرتب با دماسنج آب را هم بزنید).

۵- آزمایش فوق را برای ترموکوپلهای Nichrome-Constantan و Sien-Constantan انجام دهید و بقیه ستونهای جدول (۱) را تکمیل کنید.

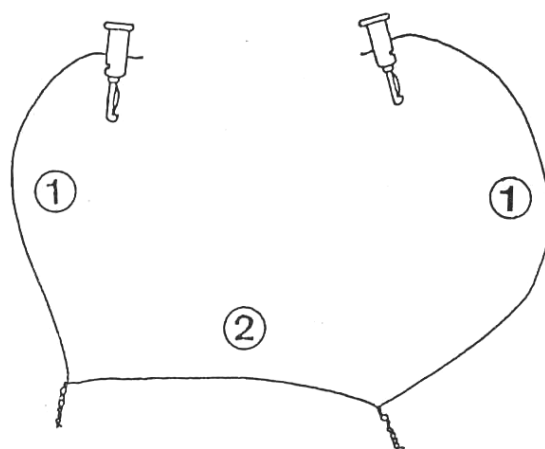


شکل (۱)

- ۶- نمودارهای ولتاژ بر حسب دما را بر روی یک صفحه رسم کنید.
- ۷- با توجه به خطی بودن نمودار، شیب خط را به روش کوچکترین مربعات بدست آورید. مقدار بدست آمده نشان دهنده چه کمیتی است؟
- ۸- نمودار ضریب پلتیه نسبت به دما را برای پیوندگاه داخل آب برای ترموکوپل‌های فوق رسم کنید.  
(ب) کالیبره کردن یک ترموکوپل
- ۱- با استفاده از سیم‌های کنستانتان و نیکرم یک ترموکوپل مانند شکل (۲) بسازید.
- ۲- مطابق شکل (۳) ترموکوپل را به میکروولت‌متر وصل کنید و پیوندگاه‌ها را به ترتیب در آب صفر درجه و آب معمولی تحت حرارت قرار دهید.
- ۳- میکروولت‌متر را توسط کلید auto comp صفر کنید و دمای آب را بخوانید.

دما	ولتاز ترموكوپل Si-en-Cn	ولتاز ترموكوپل Nichrome-Cn	ولتاز ترموكوپل Cu-Cn
۰			
۵			
۱۰			
۱۵			
۲۰			
۲۵			
۳۰			
۳۵			
۴۰			
۴۵			
۵۰			
۵۵			
۶۰			
۶۵			
۷۰			
۷۵			
۸۰			
۸۵			
۹۰			
۹۵			

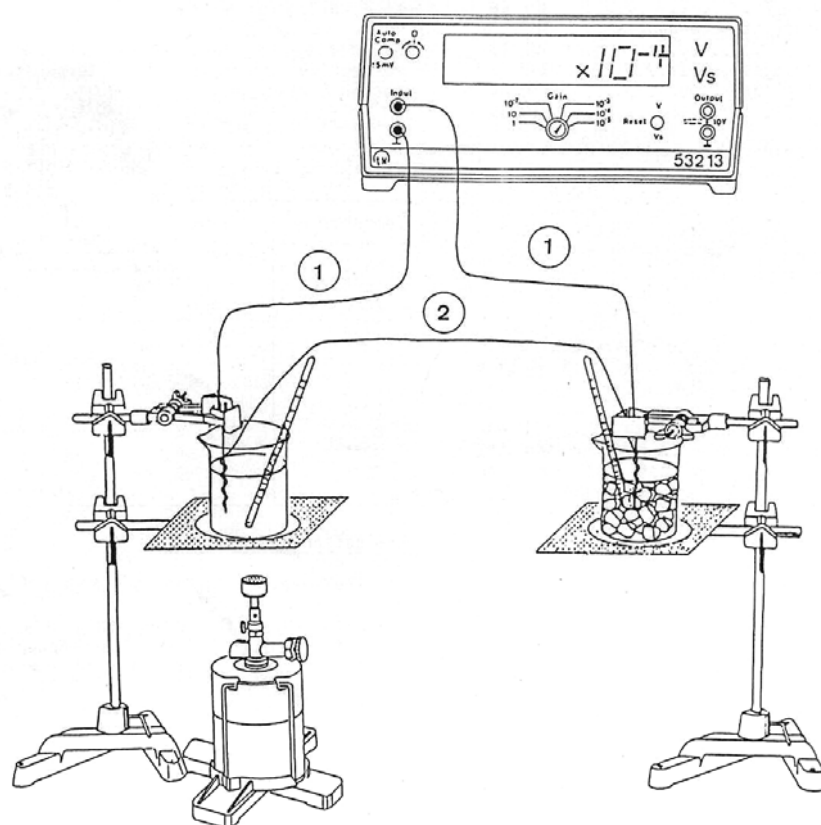
جدول ۱:



شکل (۲)

۴- شعله گاز را روشن کنید و به ازاء هر ۵ درجه افزایش دمای آب ولتاژ میکروولتметр را بخوانید و جدول (۲) را تکمیل کنید. (در هنگام آزمایش به طور مرتب آب هر دو بشر را هم بزنید تا دمای آنها یکنواخت باقی بماند).

چگونه می‌توان با استفاده از داده‌های جدول (۲) و ترموکوپلی که در اختیار دارید دمای یک نقطه را اندازه بگیرید؟ چه محدودیتهایی برای این دماسنج ترموالکتریک وجود دارد؟



شکل (۳)



ولتاژ ترموکوپل	دما
	۰
	۵
	۱۰
	۱۵
	۲۰
	۲۵
	۳۰
	۳۵
	۴۰
	۴۵
	۵۰
	۵۵
	۶۰
	۶۵
	۷۰
	۷۵
	۸۰
	۸۵
	۹۰
	۹۵

جدول ۲: