المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي

KINGDOM OF SAUDI ARABIA
MINISTRY OF EDUCATION

# التبريد الكهروحراري

# (Thermoelectric Refrigeration)

بحث علمي لنيل درجة البكالوريوس في الفيزياء من كلية العلوم

إعداد الطالبة :

سارة عايض مفلح الحارثي

إشراف الأستاذة :

أ. شيخه مسلط السبيعي

# إهـداء

- إلى أمي .
- إلى صديقتيِ النابغتين بالعلم : روفان الغنيم و هاجر سعيد .
- إلى ملهميِ: المهندس الأستاذ : فهد بن نفاع السلماني.
- إلى مشرفتي الأستاذة : شيخة السبيعي.

# الهدف

- **دراسة أداء المبرد الكهروحراري باستخدام تأثير بليتر.**

# الملخص


- يبنى نظام التبريد الكهروحرارى على خاصية المواد الشبه موصلة وهى امتصاص الحرارة خلال الوصلات الباردة وطرد الحرارة خلال الوصلات الساخنة نتيجة اختلاف القوة الدافعة الكهربائية للمواد الشبه موصلة عند الوصلات.

- يعتبر نظام التبريد الكهروحرارى، الذى اقترحه العالم الألمانى (التنكرش) عام ١٩٣٤،أحدث أنظمة التبريد المعروفة.

- يمكن استخدام نظام التبريد الكهروحرارى للحصول على معدلات تبريد صغيرة للثلاجات المنزلية و الثلاجات المتنقلة للرحلات ، فى مجالات الطب لحفظ العيون، الزراعة و استخدامات أخرى تحتاج الى التبريد بمعدلات بسيطة.

- يحد من التوسع فى استخدام التبريد الكهروحرارى، التكلفة الكبيرة،وصعوبة أنتاج أشباه الموصلات، و الحاجة الى تيار كهربائى ثابت لتشغيل نظام التبريد الكهروحرارى.

- يعتمد نظام التبريد الكهروحرارى على خواص المواد الشبه موصلة والتأثيرات الكهروحرارية.

# الفصل الأول

## - المقدمة

## - المـــواد

## ١,١ المقدمة

التطور في تكنولوجيات الطاقة النظيفة وذات الصلة هي الإهتمامات الرئيسية لخلق مستقبل موارد الطاقة المستدامة. هناك أشكال كثيرة من موارد الطاقة النظيفة، إلا أن الكفاءة والصعوبات العملية، والتكلفة تحد من عوامل اعتماد هذه الموارد. أحد الاحتمالات في الموارد المتاحة هي نظم تحويل الطاقة الكهروحرارية. وهذا يتطلب فهما عميقا للجوانب المادية من الآثار الكهروحرارية لتحديد أساسيات معالجة عالية الكفاءة وتطوير مواد جديدة في هذا الصدد. ونتيجة لذلك، فالتحقيق في الآثار الكهروحرارية وتركيبات عملية فيما يتعلق بتطوير مواد جديدة يصبح مطلبا ضروريا.

التطورات الأخيرة في مجال البحث العلمي تؤدي إلى دمج المصادر الحرارية مع المواد النانونية لتوليد عناصر كهروحرارية. ولأن حجم نقل الطاقة يماثل التباعد الذري في المواد، فنقل الطاقة في مثل هذه الأنظمة يولد حالات طاقة غير متوازنة بين موقع الشبكة والإلكترونات. ينتج من هذا فصل حراري للإلكترون والأنظمة الفرعية للشبكة والتواصل الحراري لهذه الانظمة الفرعية في حالة عدم توازن نقل الطاقة من شبه نظام الإلكترون إلى النظام الفرعي. وعلاوة على ذلك، فالإلكترونات تمتص الطاقة من مصادر خارجية في شكل الموجات الحرارية والكهرومغناطيسية لزيادة طاقتها الزائدة في منطقة السطح. هذا الوضع يعزز درجة حرارة الإلكترون ويتسبب في حركة الإلكترون من منطقة درجة الحرارة الأعلى إلى الأقل التي من خلالها يتم إنشاء تيار Seebeck. ومع ذلك، البلازمونات السطحية (بولاريتونات البلازمون السطحية)، والتي هي الموجات الكهرومغناطيسية التي تنتشر موازية على طول واجهة الاسطح المعدنية "العازلة" ؛ تسهم في تعزيز التيار الكهروحراري.

أهمية هذا البحث هو أن الأجهزة الحرارية هي المرشحة المحتملة للأجهزة ذات الكفاءة في إنتاج الطاقة، ويمكن استخدامها في تطبيقات التبريد والتدفئة كما في مجال الالكترونيات. ومع ذلك، يحتوي هذا البحث على ثلاثة فصول رئيسية حيث كان الفصل الأول والثاني نظري أما الفصل الثالث ارتأيت أن يكون تجريبياً (تطبيق عملي).

**فما خصصت الفصل الأول بدراسة عامة عن المواد وتصنيفها و بينما عرضت في الفصل الثاني دراسة التأثيرات الكهروحرارية ، أما الفصل الثالث يتحدث عن التبريد الكهروحراري ومعادلات مطبقة علية والتطبيق العملي .**

## ٢,١ المادة

المادة Matter في الفيزياء الكلاسيكية هي كل ما له كتلة وحجم . وللمادة خصائص مختلفة تشمل الحجم والكتلة والكثافة. وتشكل بذلك ما يعرف بالكون الملموس. لكن يستحيل حالياً تعريف المادة بهذا الشكل لسقوط الفاصل بين المادة والطاقة طبقا لمعادلة آينشتاين الشهيرة $E=mc^2$ .

المادة هي جزء من كوننا. وتبين القياسات الكونية بواقع عام ٢٠١٣ ً أن المادة تُشكل ٢٧% من كتلة الكون، ٤% فقط هي المادة الطبيعية، والتي تنقسم إلى نوعين رئيسيّين: مادة مضيئة وغير مضيئة، وتُشكل الأولى ٠,٤% من كتلة الكون، في حين أن الثانية تُشكل ٣,٦% من الكتلة الكلية. أما الـ٢٣% الأخرى فهي المادة المظلمة ، والـ٧٣% الباقية هي الطاقة المظلمة. أي أن كل ما نراه من نجوم وكواكب ومجرات لا يزيد عن ٤% من الكتلة الكلية للكون ، والباقي لا نراه ، ولكنه موجود وتدل عليه دلائل كونية. حاليا يحاول العلماء ابتكار طرق لقياس المادة المظلمة ، و الطاقة المظلمة ذاتها.

المادة يُمكن أن تكون في حالات مختلفة تحدد هيأتها، وحالات المادة الطبيعية هي بشكل رئيسي أربعة أطوار : الصلبة والسائلة والغازية والبلازما. هذا ينطبق على مواد مثل الماء والحديد والزئبق والرصاص وثاني أكسيد الكربون و الأمونيا وغيرها. في حين أنه توجد بعض الحالات التي أُنتجت مخبرياً ولا توجد في طبيعيا ، مثل الأمصال و المواد المركبة . وإضافة إلى هذه، توجد بعض الحالات الطبيعية ، والتي لا توجد إلا في أماكن خاصة، مثل نوى النجوم النيوترونية، والتي تكون المادة فيها مسحوقة بسبب الكثافة الشديدة للنجم وتشكل حالة جديدة من المادة.

تتكون المادة من جسيمات بالغة الصغر تسمى الجزيئات، وهي عبارة عن تجمعات لجسيمات أصغر هي الذرّات. وتلك بدورها تتكون من جسيمات أصغر ، تسمى هذه الجسيمات بـ "الجسيمات الأولية" ، ومع هذا فليس من المُثبت بعد أنها فعلاً أصغر الأجسام المكوّنة للمادة. تنقسم الجسيمات الأولية إلى ثلاثة أقسام: الكواركات واللبتونات والبوزونات ، وهو تقسيم

بحسب كتلتها فالكواركات واللبتونات صغيرة ، من الكواركات تتكون البروتونات و النيوترونات ومن اللبتونات نجد الإلكترون و البوزيترون ، واما البوزونات فهي جسيمات ثقيلة منها أنواع أثقل من البروتون ١٠٠ مرة ،وأنواع أخرى أثقل من البروتون ما يزيد عن ٢٠٠ مرة ، والبحث لا زال جاريا .

يحاول العلماء انتاج البوزونات الثقيلة طبقا لمعادلة أينشتاين لتكافؤ المادة والطاقة $E=mc^2$ وذلك ببذل طاقة كبيرة ومحاولة تركيزها لإنتاج تلك الجسيمات اصطناعيا . ويستخدمون لذلك معجلات للجسيمات مثل مصادم الهادرونات الكبير LHC ، المبني تحت الأرض على الحدود الفرنسية السويسرية.

## ٣,١ - تصنيف المواد من حيث الموصلية الكهربية :

على الرغم من كون المواد كلها مكونة من ذرات ، والذرات مكونة من إلكترونات ونوى إلا أننا نعلم جميعاً التفاوت الكبير في الخواص الكهربية للمواد وهناك ثلاث مجموعات رئيسيات تنقسم إليهما المواد تبعاً لخواصها الكهربية وهما :

### ٣,١,١ - المواد العازلة :

ففي العوازل ، تكون إلكترونات إي ذرة مربوطة بشدة إلى تلك الذرة وغير حرة على الحركة خلال المادة ، ولهذا ، فحتى لو أن قضيباً مشحوناً اقترب من عازل ما ، فإن إلكترونات ونوى الذرات ذلك العازل لن تكون قادرة على الحركة تحت تأثير التجاذب أو التنافر مع شحنة القضيب ، أي أن إلكترونات المواد العازلة مقيدة بأحكام لان معامل التوصيل الحرارى (k) يكون صغيرا، بينما يكون معامل المقاومة الكهربية كبيرا (∂).

### ٣,٢,١ - المواد الموصلة :

أما الموصلات الكهربية فلها مسلك مختلف تماماً، إذ تحتوي على شحنات حرة الحركة خلال المادة ، والفلزات موصلات مألوفة ، وعلى الرغم من أن كل ذرة في الفلز متعادلة بطبعها ( أي غير مشحونة إلا أن الإلكترونات البعيدة عن النواة معرضة للتحرر بسهولة من الذرة . ثم هي بعد ذلك قادرة على الحركة خلال الفلز حاملة شحناتها السالبة من موقع إلى آخر في عملية الأنتقال . ولهذا فحين يقترب قضيب سالب الشحنة من قطعة فلزية ( دون أن يلمسها ) ، فإن

القضيب يتنافر مع بعض إلكترونيات الحرة داخل الفلز فتندفع إلى أقصى بقعة من الفلز . وبنفس الطريقة يجذب قضيب موجب الشحنة الإلكترونات إلى ادنى بقعة في الفلز من القضيب .

وليست الفلزات هي الموصلات الكهربائية الوحيدة، فكثير من المواد مثل - المحاليل الأيونية - تحتوي على أيونات ( ذرات مشحونة) قادرة على الحركة بحرية نسبية خلال المادة . وكل الموصلات الكهربائية تحتوي على شحنات قادرة على الحركة لمسافات كبيرة عندما تتنافر أو تتجاذب مع أجسام مشحونة قريبة .أي أن المواد الموصلة تحتوى على عدد كبير من الالكترونات الحرة فان معامل التوصيل الحرارى (k) يكون كبيرا جدا، بينما يكون معامل المقاومة الكهربية ($\partial$) صغير جدا.

### ٣,٣,١ - المواد شبه الموصلة:

لقد تم استخدام المواد شبه الموصلة في صناعة الترانزستور، لما تتميز به هذه المواد من خصائص فريدة عند توصيلها للكهرباء ، فهي تختلف عن المواد الموصلة للكهرباء بإمكانية التحكم في درجة توصيلها من خلال إضافة شوائب من عناصر محددة في بنيتها البلورية. وتتوفر المواد شبه الموصلة على الأرض، إما على شكل عناصر فيزيائية خالصة تقع في العامود الرابع من الجدول الدوري، وهي: عنصري الجرمانيوم Gr والسيليكون Si أو من مواد مركبة ناتجة عن خلط بعض عناصر العمود الثالث كالبورون Br والألمنيوم Al والأنديوم In والقاليوم ، مع عناصر العمود الخامس كالفوسفور والزرنيخ (الأرسنيد) والبزموث منتجة مواد شبه موصلة كفوسفيد الإنديوم وأرسنيد القاليوم وغيرها من المركبات التي قد تتفوق على العناصر شبه الموصلة الخالصة في بعض خصائصها الكهربائية. لقد كان الجرمانيوم Gr هو العنصر المستخدم في صناعة الترانزستورات في بداية عهدها إلا أنها لم تكن تعمل بشكل موثوق إلا عند درجات الحرارة التي تقل عن أربعين درجة مئوية وذلك بسبب حساسية الجرمانيوم Gr العالية للحرارة والتي تعود لتدني قيمة فجوة الطاقة (energy gap) بين نطاقي التكافؤ والتوصيل (conduction & valence bands) فيها والتي يبلغ ٠,٧ إلكترون فولت. وفي عام ١٩٥٤م تمكن المهندسون من استخدام السيليكون في صناعة الترانزستور بعد التغلب على بعض المشاكل التصنيعية. ويتميز السيليكون على الجرمانيوم بكبر قيمة فجوة الطاقة فيه حيث تبلغ ١,١ إلكترون فولت مما يعطيه ثباتا كبيرا في خصائصه الكهربائية يمتد على نطاق واسع من درجات الحرارة. ومن خصائص السيليكون أن مادته

الخام وهي ثاني أكسيد السيليكون (SiO2) متوفرة بكميات كبيرة في الطبيعة خاصة في رمال الصحراء.

إن المواد شبه الموصلة النقية تعتبر مواد عازلة للكهرباء ولكن يمكن تحويلها إلى مواد موصلة من خلال إضافة شوائب من مواد محددة حيث تزيد موصليتها مع زيادة نسبة الشوائب فيها . ويتم التحكم بدرجة توصيل مادة السيليكون النقي أو غيره من المواد شبه الموصلة من خلال إضافة مواد شائبة في بنيتها بما يسمى عملية التطعيم (doping).

## أ- انواع التطعيم:

ويوجد نوعان من التطعيم، فالنوع الأول: المواد السالبة (N- type materials) :

يتم من خلال إضافة مادة شائبة بمقدار ضئيل ومحدد مأخوذة من عناصر العامود الخامس في الجدول الدوري كالفوسفور مثلا ويكون الناتج في هذه الحالة مادة شبه موصلة تمتلك فائض من الإلكترونات الحرة ويطلق على هذا النوع من المواد الشائبة اسم المواد المانحة (donars). ويساوي عدد الإلكترونات الفائضة عدد ذرات المادة الشائبة المضافة ويطلق على هذه المادة شبه الموصلة المطعمة شبه موصل من النوع السالب (N-type) وذلك لأن الإلكترونات ذات الشحنات السالبة هي المسؤولة عن حركة التيار الكهربائي فيها.

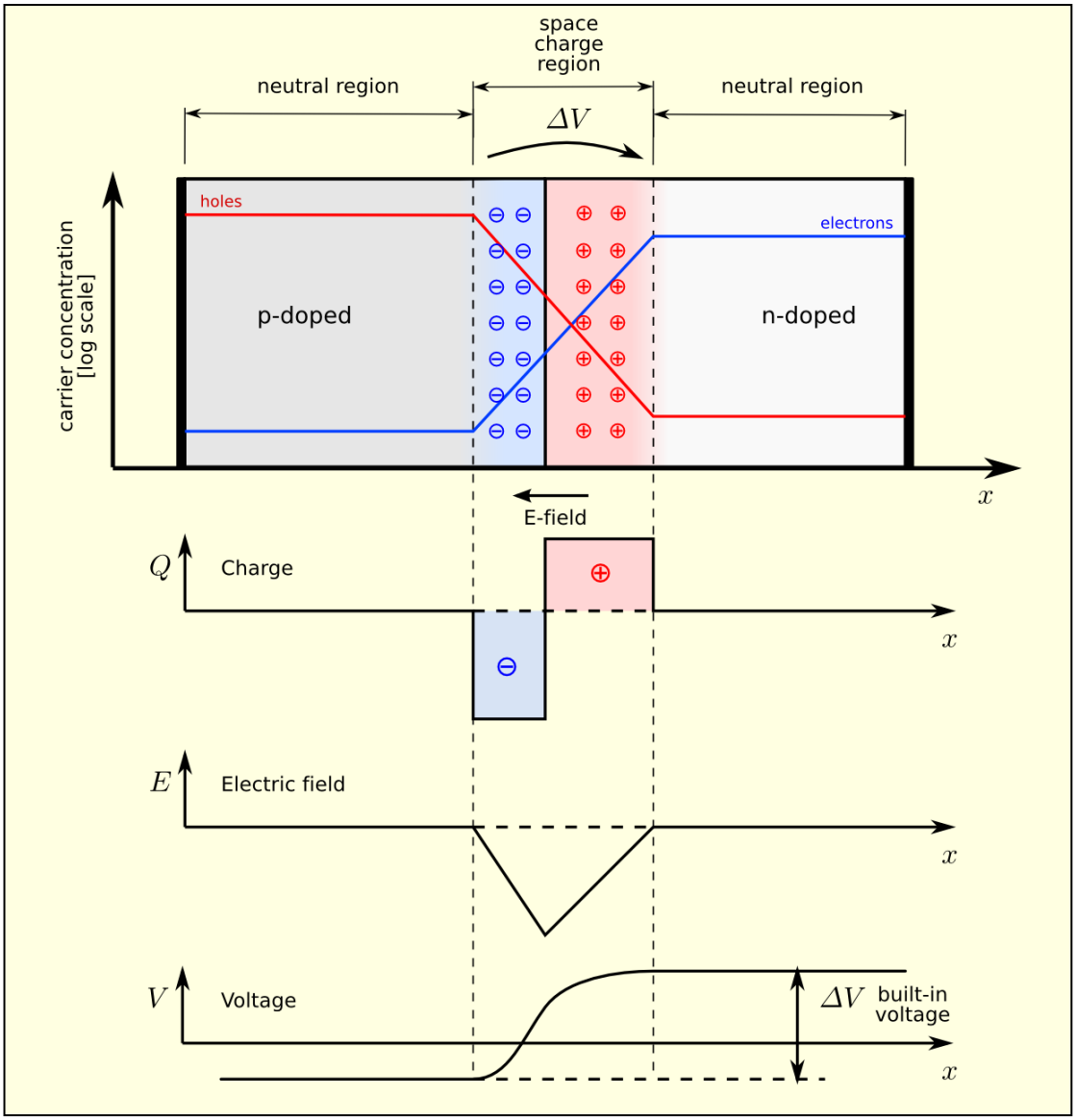
النوع الثاني : مواد موجبة (P- type materials) :

فيتم تصنيعه من خلال إضافة مادة شائبة من عناصر العامود الثالث في الجدول الدوري كالبورون مثلا منتجة بذلك مادة شبه موصلة تفتقر إلى الإلكترونات الحرة في المدار الخارجي لذراتها وقد أطلق العلماء على هذا المكان الخالي من الإلكترون اسم الفجوة (hole) ويطلق على هذا النوع من المواد الشائبة اسم المواد القابلة (acceptors). وعند تسليط جهد كهربائي على هذه المادة المطعمة فإن الفجوات ستتحرك عند انتقال الإلكترونات إليها بعكس اتجاه حركة الإلكترونات ولذا يمكن تخيلها على أنها حاملة لشحنات موجبة ولذلك يطلق على هذه المادة المطعمة شبه موصل من النوع الموجب (P-type).

وعند تطعيم منطقتين متجاورتين على بلورة من مادة شبه موصلة كالسيليكون مثلا بحيث تكون أحدهما من النوع السالب والأخرى من النوع الموجب فإنه يتكون عند الحد الفاصل بينهما منطقة تسمى المنطقة المنضبة (depletion region). وتتكون هذه المنطقة نتيجة لهجرة

الإلكترونات الزائدة الموجودة في المنطقة السالبة إلى المنطقة الموجبة لتملأ الفجوات الموجودة فيها ولكن هذه الهجرة ستقتصر فقط على الإلكترونات الموجودة في المناطق المجاورة للحد الفاصل بين المنطقتين. ويعود السبب في ذلك إلى أن الإلكترونات المهاجرة ستترك خلفها ذرات موجبة الشحنة وعند وصولها إلى المنطقة الموجبة فإنها ستحول ذراتها إلى ذرات سالبة الشحنة وبهذا سيتكون فرق جهد بين طرفي المنطقة المنضبة وإذا ما وصل فرق الجهد هذا إلى قيمة معينة فإن المجال الكهربائي الناتج عنه سيحول دون هجرة مزيد من الإلكترونات.

ويطلق على فرق الجهد هذا أسماء عدة ، منها: جهد الوصلة (junction voltage) أو جهد الحجز (barrier voltage) أو الجهد المبيت (built-in voltage) وتتحدد قيمته وكذلك مقدار عرض المنطقة المنضبة بشكل رئيسي من نوع المادة شبه الموصلة وبشكل ثانوي من تركيز التطعيم في المنطقتين وتبلغ قيمته ٠,٧ فولت تقريبا للسيليكون و ٠,٢٧ فولت للجرمانيوم. إن مبدأ عمل الترانزستورات وكذلك الثنائيات يعتمد على وجود هذه المنطقة المنضبة فعند تسليط فرق جهد من مصدر خارجي على طرفي المنطقتين من النوع الموجب والسالب أو ما يسمى بوصلة موجب-سالب (PN junction) فإنه يمكن التحكم بعرض هذه المنطقة المنضبة وكذلك فرق الجهد المحصل عليها. فعندما يتم وصل الطرف الموجب للمصدر بالمنطقة الموجبة والقطب السالب بالسالبة فإن إتجاه المجال الكهربائي المسلط سيكون بعكس إتجاه المجال الكهربائي المبيت فيعمل على تقليله وعندما تصل قيمة الجهد المسلط قيمة الجهد المبيت فإن المنطقة المنضبة ستختفي تماما وسيمر تيار كهربائي من خلال الوصلة ويسمى هذا النوع من التسليط للجهد بالإنحياز الأمامي (forward bias). أما إذا تم وصل الطرف الموجب للمصدر بالمنطقة السالبة والسالب بالموجبة فإن إتجاه المجال الكهربائي المسلط سيكون بنفس إتجاه المجال الكهربائي المبيت فيعمل على تقويته مما يمنع مرور أي تيار من خلال الوصلة ويسمى هذا النوع من التسليط للجهد بالإنحياز العكسي (backward bias). إن مثل هذه الجهاز الإلكتروني البسيط المكون من وصلة واحدة (single junction) يعمل كثنائي (diode) يسمح بمرور التيار في إتجاه معين ولا يسمح بمروره في الإتجاه المعاكس ولهذه الثنائيات تطبيقات واسعة سنبينها في حينها.




شكل (١-١) التوصيل في المواد الشبة موصلة.

- **المواد الشبه موصلة المستخدمة للتبريد الكهروحرارى، هي :**

البزموت (Bi) و التيلوريوم (Te). تحتوى المواد السالبة على كمية اكبر من البزموت بالإضافة الى معدن السيلنيوم (se) لتوفير الإلكترونات الحرة . تحتوى المواد الموجبة على كمية أكبر من التيلوريوم بالإضافة الى معدن الأنتيمون (sb). لتوفير الفتحات.

## ملخص عن المواد الشبة الموصلة في نظام التبريد الكهروحراي :

- تتراوح قيم خواص المواد الشبه موصلة بين قيم خواص المواد العازلة و نظيرتها للمواد الموصلة.
- أى ان معامل التوصيل الحرارى للموصلات أكبر من معامل التوصيل الحرارى لأشباه الموصلات أكبر من معامل التوصيل الحرارى للمواد العازلة.
- معامل المقاومة الكهربية للمواد العازلة أكبر من معامل المقاومة الكهربية لأشباه الموصلات أكبر من معامل المقاومة الكهربية للموصلات.
- يفضل أن تكون خواص المواد الشبه موصلة مماثلة للقوة الدافعة الكهربائية لمادة الجرمانيوم ، و للمقاومة الكهربية للنحاس، و للتوصيل الحرارى لمادة الكبريت.
- يعتمد معامل التوصيل الحرارى (k) والمقاومة الكهربية (∂) للمواد الشبه على درجة الحرارة ويرتبطا بالعلاقة الرياضية:
- $\partial K = (1.4 \times 10^{-8}) T$
- تصنع المواد الشبه موصلة بإضافة مادة الى مادة أخرى، تقع فى صف أعلى أو أسفل بالنسبة للمادة الأولى فى جدول ماندليف للمواد ، تعمل على التحكم فى عدد الإلكترونات الحرة.

**- يعطي الجدول التالي بعض الخواص للمواد الشبة موصلة :**

| عنصر المقارنة | N – type | P – type |
|---|---|---|
| التركيب الكميائى | $Bi_2Te_3$-$Bi_2Se_3$ | $Bi_2Te_3 – Sb_2$ |
| α (v/k). | $-170 \times 10^{-6}$ | $160 \times 10^{-6}$ |
| ∂ ( mc - ohm). | $1 \times 10^{-3}$ | $7 \times 10^{-4}$ |
| $\alpha^2 \partial$ | 29 | 39 |
| K (w / cm .k). | $12 \times 10^{-3}$ | $14 \times 10^{-3}$ |
| Z (k-1) | $2.4 \times 10^{-3}$ | $2.8 \times 10^{-3}$ |

**جدول (١-١)**

## ٤,١ الكهروحرارية :

هو نوع الكهرباء الذي يتم إنتاجة مباشرة من الحرارة ، وهذا يعني انه لم يعد هناك حاجة للأنابيب والتوربينات والضواغط والمولدات لاستخلاص الطاقة الكهربائية.

وتقنية إنتاج الكهرباء هذه تعتمد بالأصل على ما يسمى بتأثير سيبيك ، حيث أنه مبدأ اكتشفه العالم الألماني توماس سيبيك في عشرينات القرن التاسع. الكهرباء الحرارية تنشأ بالأصل من اتصال نوعين مختلفين من المعادن (الموصلات) أو من أشباه الموصلات عند نهايتهما في دائرة كهربائية .

عندما تكون احد نهايات هذا الأتصال في درجة حرارة مختلفة عن درجة حرارة الوصلة الثانية ، ينشأ تيار كهربائي مباشر في الدارة الكهربائية. مقدار التيار الكهربائي الناتج في الدائرة يعتمد بشكل رئيسي على فرق درجات الحرارة بين الوصلتين لذا بإمكاننا القول كلما زدنا درجة الحرارة في طرف وقللناها في الطرف الآخر نحصل على مقدار أعلى للتيار الكهربائي.

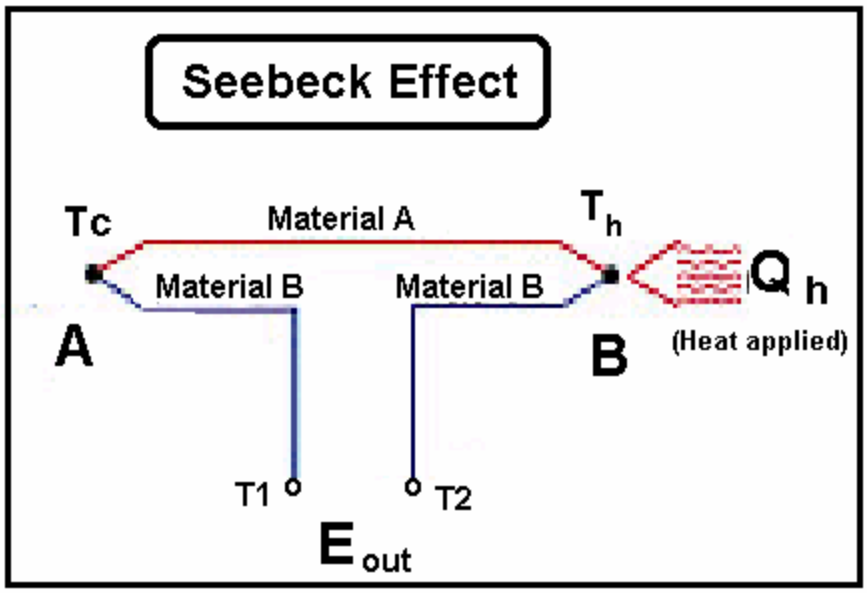
# الفصل الثاني

## ـ التأثيرات الكهروحرارية

## ٢,١ ـ التأثيرات الكهروحرارية

### ٢,١,١ : تاثير سيبك :

- فى عام ١٨٢١ أكتشف سيبك أمكانية توليد قوة دافعة كهربية فى دورة الأزواج الحرارى المتكونة من سلكين من معدنين مختلفين عندما تكون الوصلتان (junctions) عند درجتى حرارة مختلفة. تزداد القوة الدافعة الكهربية ($\alpha$) باستخدام المواد الشبه موصلة. حاليا توجد مولدات كهر وحرارية تعمل على ظاهرة سيبك . تعرف القوة الدافعة الكهربية بمعامل سيبك و معادلته. $\alpha = (d\,v / d\,T).(v/k)$




شكل (٢-١) نموذج لتأثير سيبك.

### ـ الأزدواج الكهروحراري:

تعتمد فكرة المزدوج الحرارى على نظرية فيزيائية تقول:

عند ربط سلكين معدنيين مختلفين معا فى أحد النهايتين وسخنت أو بردت نقطة الربط يظهر فرق جهد عند الطرفين غير المربوطين . كما أن فرق الجهد الناتج يتناسب مع فرق الحرارة بين نقطة الربط الحارة ونقطة الربط الباردة مع ملاحظة أن فرق الجهد الناتج يكون صغير جدا وتكون وحدة قياسة عادةً ملي فولت.

أي أن عند ملامسة الطرفين المربوطين معاً للجسم المراد معرفة حرارته ، تزيد حركة إلكتروناته من سرعتها فى اتجاه الطرفين غير المربوطين مروراً بجهاز القياس

المستخدم ونظراً لاختلاف نوع المعدنيين المستخدمين فأن ينتج عن ذلك اختلاف فى عدد الالكترونات فتزيد فى أحد الاطراف وتقل فى الاخر فينتج تيارين مختلفين ينتج عنهما جهد ويتناسب هذا الجهد تناسباً طرديا مع الحرارة المستخدمة وغالبا ما يكون ملي فولت أما يتم عرضه مباشرة على شاشة أو تحويله إلى آلة أخرى حسب حاجة العمل.

## وهناك عدة أنواع مختلفة من المزدوجات الحرارية تصنع من سبائك مختلفة امثال :

١- سبيكة من الحديد مع سبيكة من النحاس والنيكل ( كونستنتن )

٢- سبيكة من الالمنيوم مع سبيكة من النحاس والنيكل ( كونستنتن )

٣- سبيكة من الالمنيوم والنيكل

حيث أن لكل سبيكة من السبائك التى ذكرت مدى معروفا لقياس درجة الحرارة فنجد أن السبيكة رقم ١ تكون ملائمة لقياس الحرارة لأكثر من ٩٠٠ درجة مئوية ، والسبيكة رقم ٢ تكون ملائمة لقياس الحرارة لأكثر من ١١٥٠ درجة مئوية ، والسبيكة رقم ٣ تكون ملائمة لقياس الحرارة لأكثر من ١٦٠٠ درجة مئوية .

الجدول التالى يوضح المزدوجات الحرارية القياسية وأنواعها والمواد المصنوعة منها ومدى كل منها :

| | TYPE E | TYPE J | TYPE K | TYPE R | TYPE S | TYPE T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nickel-10% Chromium(+) Versus Constantan(-) | Iron(+) Versus Constantan(-) | Nickel-10% Chromium(+) Versus Nickel-5%(-) (Aluminum Silicon) | Platinum-13% Rhodium(+) Versus Platinum(-) | Platinum-10% Rhodium(+) Versus Platinum(-) | Copper(+) Versus Constantan(-) |
| | -100°C to 1000°C ± 0.5°C 9th order | 0°C to 760°C ± 0.1°C 5th order | 0°C to 1370°C ± 0.7°C 8th order | 0°C to 1000°C ± 0.5°C 8th order | 0°C to 1750°C ± 1°C 9th order | -160°C to 400°C ±0.5°C 7th order |
| $a_0$ | 0.104967248 | -0.048868252 | 0.226584602 | 0.263632917 | 0.927763167 | 0.100860910 |
| $a_1$ | 17189.45282 | 19873.14503 | 24152.10900 | 179075.491 | 169526.5150 | 25727.94369 |
| $a_2$ | -282639. 0850 | -218614.5353 | 67233.4248 | -48840341.37 | -31568363.94 | -767345.8295 |
| $a_3$ | 12695339.5 | 11569199.78 | 2210340.682 | 1.90002E + 10 | 8990730663 | 78025595.81 |
| $a_4$ | -448703084.6 | -264917531.4 | -860963914.9 | -4.82704E + 12 | -1.63565E + 12 | -9247486589 |
| $a_5$ | 1.10866E + 10 | 2018441314 | 4.83506E + 10 | 7.62091E + 14 | 1.88027E + 14 | 6.97688E + 11 |
| $a_6$ | -1. 76807E + 11 | | -1. 18452E + 12 | -7.20026E + 16 | -1.37241E + 16 | -2.66192E + 13 |
| $a_7$ | 1.71842E + 12 | | 1.38690E + 13 | 3.71496E + 18 | 6.17501E + 17 | 3.94078E + 14 |
| $a_8$ | -9.19278E + 12 | | -6.33708E + 13 | -8.03104E + 19 | -1.56105E + 19 | |
| $a_9$ | 2.06132E + 13 | | | | 1.69535E + 20 | |

جدول (٢-١)

| النوع | المواد | المدى الطبيعي |
|---|---|---|
| TYPE J | حديد + كونستنتن | -١٩٠ إلى ٧٦٠ |
| TYPE T | نحاس + كونستنت | -٢٠٠ إلى ٣٧١ |
| TYPE K | كروميد + المنيوم | -١٩٠ إلى ١٢٦٠ |
| TYPE E | كروميد + كونستنت | -١٠٠ إلى ١٢٦٠ |
| TYPE S | بلاتين + ١٠% راديوم | – بلاتين ٠ إلى ١٤٨٠ |
| TYPE R | بلاتين +١٣% راديوم | – بلاتين ٠ إلى ١٤٨٢ |

جدول (٢-٢) ، إيضاحي لجدول (٢-١)

للتغيرات الصغيرة فى درجة الحرارة يكون جهد سيبك يتناسب خطيا مع درجة الحرارة:

$$\Delta e_{AB} = \alpha \Delta T$$

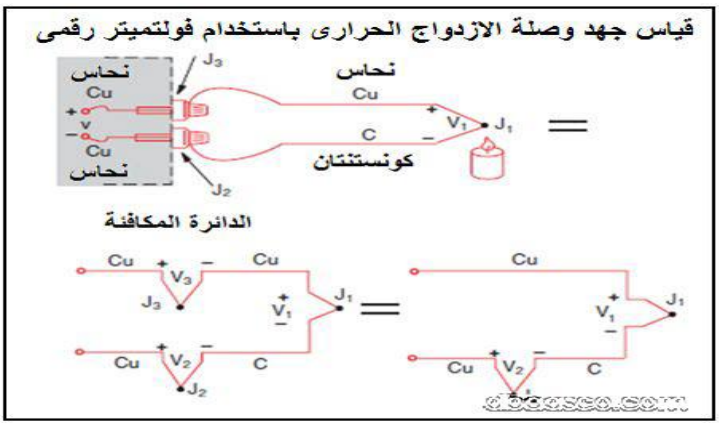
حيث $\alpha$ تسمى معامل سيبك وهى ثابت التناسب.

**قياس جهد الازدواج الحرارى:**

يمكننا قياس جهد سيبك مباشرة لأننا نوصل أولا فولتميتر وأطراف الفولتميتر نفسها تشكل دائرة ازدواج حرارى جديد.

**نوصل فولتميتر بين طرفى ازدواج حرارى من النوع T ( نحاس- كونستنتان )**

**ونلاحظ جهد الخرج :**




شكل (٢-٢) ، قياس جهد وصلة الأزدواج الحراري باستخدام فولتميتر رقمي

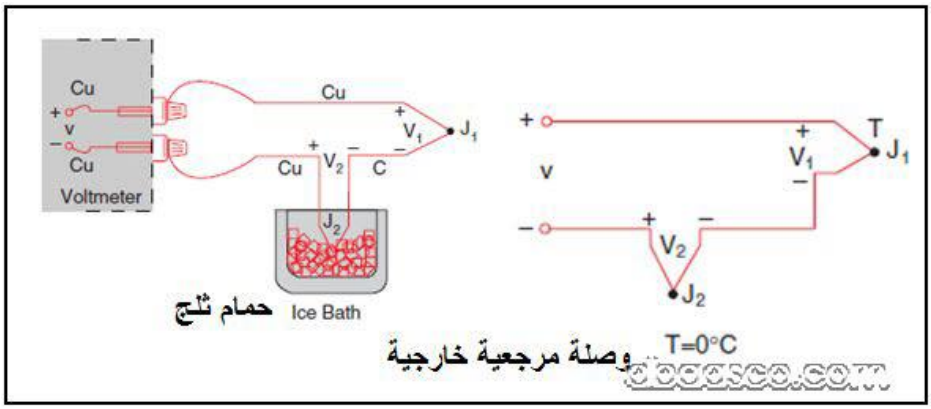
نود ان يقرأ الفولتميتر فقط V1 ولكن عند توصيل الفولتميتر فى محاولة قياس خرج الوصلة J1 نتج وصلتين لازدواجات حرارية زيادة J2 و J3 .

لأن الوصلة J3 (نحاس- نحاس) فلا تولد جهد حرارى (V3 = 0) ولكن الوصلة J2 ( نحاس – كونستنتان ) سوف تضيف جهد حرارى (V2) معاكس للجهد V1 .

وتكون نتيجة قراءة الفولتميتر V تتناسب مع الفرق بين درجة حرارة الوصلة J1 والوصلة J2 . وهذا يعنى أننا لن نستطيع ايجاد درجة حرارة الوصلة J1 ما لم نجد أولا درجة حرارة الوصلة J2 .

احدى طرق تعيين درجة حرارة الوصلة J2 هى وضعها فى حمام ثلجى لإجبار درجة حرارتها ان تكون صفر مئوية C°٠ وأعتبار الوصلة J2 كوصلة مرجعية .

وحيث أن طرفى الفولتميتر من النحاس فإنها فى هذه الحالة لا تنتج جهد حرارى وتكون قراءة الفولتميتر V تتناسب مع فرق درجة الحرارة بين الوصلة J1 والوصلة J2 .




شكل (٢-٣)

## ـ قراءة الفولتميتر كما فى الشكل(١-٤) :

$$V = (V1 - V2) = \alpha(TJ\ 1 - TJ2)$$

إذا كان TJ1 بالدرجة المئوية يكون

$$TJ1\ (°C) + 273 = tJ1$$

عندئذ تصبح V :

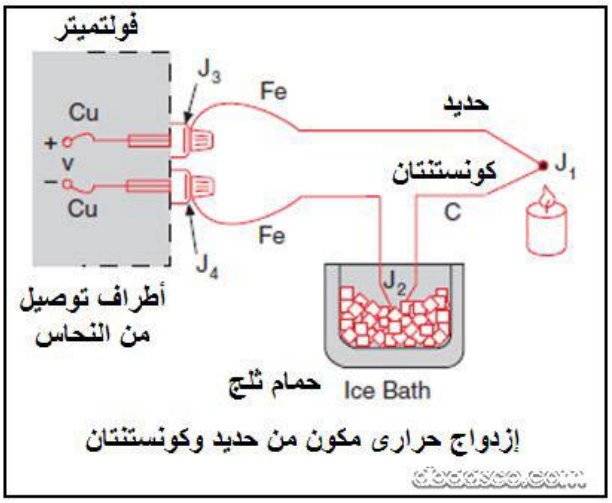
$$V = V1 - V2 = \alpha\ [(TJ1 + 273) - (TJ2 + 273)]$$

$$\alpha\ (TJ1 - TJ2) = \alpha\ (TJ1 - 0\ )$$

$$V = \alpha TJ1$$

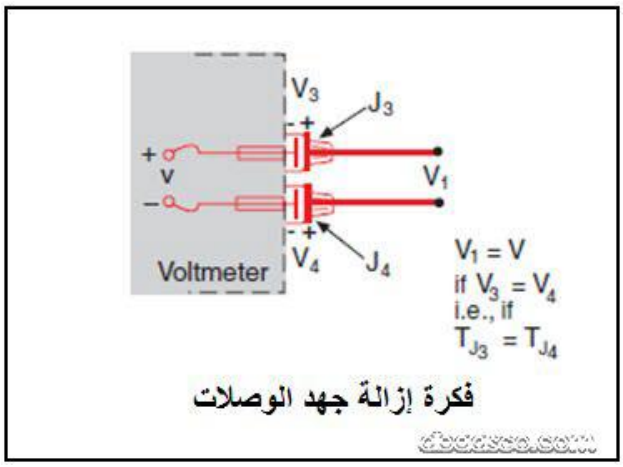
الازدواج الحرارى المكون من النحاس والكونستنتان مثال لحالة خاصة ووحيدة لأن سلك النحاس من نفس مادة أطراف الفولتميتر .

**- ازدواج حرارى مكون من حديد و كونستنتان iron-constantan (وهو يسمى النوع J) بدلا من النحاس والكونستنتان كما فى الشكل(١-٤) .**




**شكل (٢-٤) ، ازدواج حراري مكون من حديد وكونستنتان.**

استخدام سلك الحديد أدى الى زيادة وصلات المواد الغير متماثلة بالدائرة حيث اصبحت أطراف الفولتميتر وصلات ازدواجات حرارية من النحاس والحديد Cu – Fe .

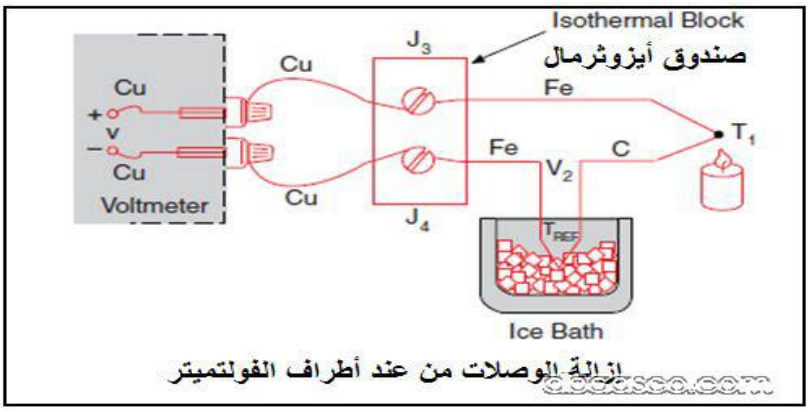



**شكل (٢-٥).**

إذا لم يكن كلا من طرفى التوصيل عند نفس درجة الحرارة سوف ينتج خطأ .

ولزيادة الدقة فى القياس يجب الحفاظ على أطراف الفولتميتر (القياس) بحيث تصبح الوصلات (نحاس – حديد ) عند نفس درجة الحرارة بوضعهما فى مكان واحد أى عند

نفس درجة الحرارة وتعرف بإسم block isothermal أى صندوق ايزوثرمال (نفس درجة الحرارة).



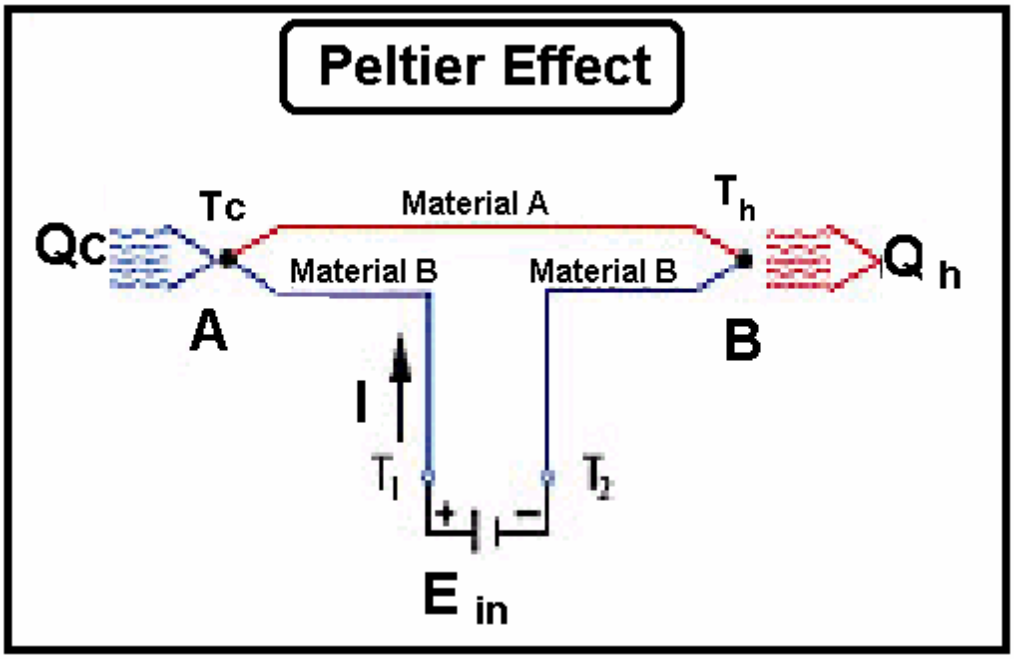

**شكل (٢-٦).**

صندوق الايزوثرمال يكون عازل كهربائيا ولكنه موصل جيد لدرجة الحرارة ليحافظ على الوصلات J3 و J4 عند نفس درجة الحرارة .

درجة حرارة الصندوق المطلقة غير مهمة لأن الوصلتان ( نحاس و حديد) يعملان عكس بعضهما .

## ٢,١,٢ - تأثير بليتر:

ظاهرة اكتشفها عام ١٨٣٤م العالم بليتر ، إذ لاحظ أنه عند إمرار تيار كهربائي مستمر في وُصْلة سلكين معدنيين مختلفين تنخفض درجة حرارة الوصلة أو ترتفع تبعاً لجهة التيار فيها. فإذا مر تيار كهربائي مستمر في دائرة كهربائية مكوَّنة من وصلتين لسلكين مختلفين فإن إحدى الوصلتين تبرد والأخرى تسخن. فأثر بلتيه هو إذن ظاهرة معكسياً كأثر طومسون بخلاف أثر جول الحراري غير العكوس.




شكل (٢-٧) ، تأثير بليتر

وقد استُعملت في دراسة أثر بلتير أزواج مختلفة من المعادن (حديد - نحاس) و(بزموت - نحاس)، ودلت التجارب على أن قوةً محركة كهربائية تتولد عن الوصلة وجهتها من البزموت إلى النحاس وسُميت هذه القوة « قوة بلتير» .

- تعرف الحرارة الممتصة والحرارة المطرودة بحرارة بيلتيه وتعين بالمعادلة:

$$Q_n = \beta .i$$

- i شدة التيار الثابت.
- $\beta$ معامل بيلتيه و معادلته: $\beta = ( \alpha_p - \alpha_n ).T$
- T درجة الحرارة المطلقة للوصلة الساخنة أو الباردة.

**- ولمعامل بلتير تأثير هام على التبريد بالحرارة الحرارية علي النحو التالي:**

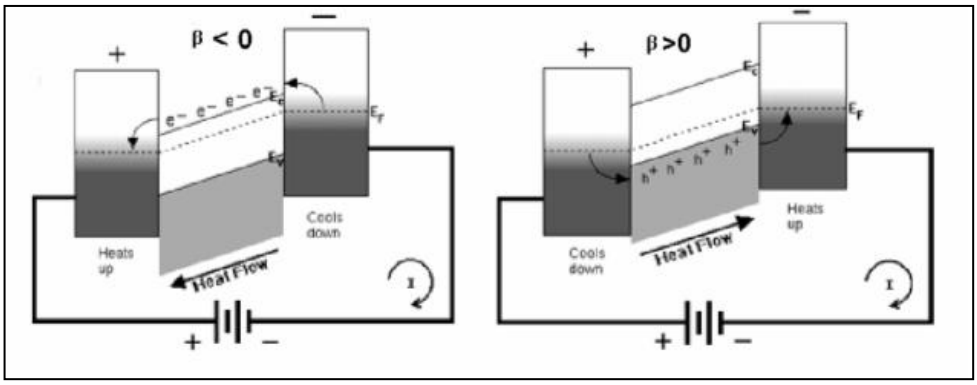
**١- $\beta < 0$، معامل البلتيير السالب:**

- تكون طاقة الكترونات عالية تتحرك من اليمين إلى اليسار.
- التيار الحراري وتيار كهربائي يسيران في اتجاهات متعاكسه.

**٢- $\beta > 0$، معامل البليتير الموجب:**

- تكون طاقة الفجوات عالية و تتحرك من اليسار إلى اليمين.

- التيار الحراري و التيار الكهربائي تسير في نفس الاتجاة.




**شكل (٢-٨) تاثير معامل بليتير علي عمليه التبريد.**

يعرّف معامل بلتيه ب β - بأنه كمية الطاقة الحرارية المتولدة أو الممتصة في وصلة المادتين من جراء مرور شحنة كهربائية في الوصلة مقدارها كولون واحد.

ونظراً لصغر كمية الحرارة التي تصاحب أثر بلتيه وللتعقيدات الناجمة عن وجود أثر جول الحراري وأثر طمسون، فإن من الصعب قياس معامل بلتيه قياساً دقيقاً، لذلك يُحسب هذا المعامل عادة من علاقات كلفن وقد دلت التجارب على أن معامل بلتيه مستقل عن شدة التيار وعن شكل الأسلاك الناقلة، ولا يتوقف إلا على طبيعة المادتين وعلى درجة حرارة الوصلة.

وقد استُفيد من أثر بليتير في التبريد الكهرحراري الذي طُبِّق منذ عام ١٩٦٠ باستعمال أنصاف النواقل semiconductors التي اكتشف فيها هذا الأثر، وبخاصة في المادة بزموت - تيلوريد bismuth -telluride التي تتميز بناقلية حراية ضعيفة مقارنة بالمعادن، وبقيمة معامل بلتيه الكبيرة التي تبلغ ١٢٠ ملّي فولت، في حين أنها ٣ ملي فولت من أجل الوصلة « حديد - نحاس» ، و ٢١ ملي فولت من أجل الوصلة « بزموت - نحاس» . ويتألف جهاز التبريد من صفيحة معدنية متصلة بسلسلة متناوبة من وصلتين من بزموت - تيلوريد، إحداهما من النوع السالب والأخرى من النوع الموجب بحيث تُمتص الحرارة عند الجانب الذي يراد تبريده بينما تنتشر الحرارة في الجانب الآخر. ويمكن قلب الجهاز إلى أداة تدفئة بعكس جهة التيار. وعلى الرغم من أن البرّاد الذي يعمل بأثر بلتيه لا يضاهي البراد العادي تجارياً إلا أنه يفضّل استخدامه في أحوال

خاصة مثل الرحلات الفضائية لصغر حجمه وخفة وزنه واعتماده على حركة الحرارة والكهرباء بدلاً من المحركات في البرادات الشائعة الاستعمال.

## ٢,١,٣ ـ تأثير طومسون :

عندما يمر تيار كهربائي في ناقل درجة حرارته ثابتة فإنه تتولد فيه حرارة تتناسب مع مربع شدة التيار، أي أنها لاتتوقف على جهة التيار، وتعرف هذه الظاهرة بأثر (مفعول) جول Joule effect وهي ظاهرة لا عكسية. في عام ١٨٥٤ حاول وليم طومسون (لورد كلفن) تفسير الاختلاف بين نتائج قياس هذه الحرارة تجريبياً وما تعطيه الدراسة الترموديناميةالنظرية،فافترض للتوفيق بينها وجود حرارة إضافية تتولد تولداً عكيساً حين يكون هناك تدرَّج في درجة حرارة الناقل دْ، وسميت هذه الحرارة «حرارة طومسون» ، أي أن الناقل ينقلب من ناشرٍ للحرارة إلى ماص لها عندما تتغير جهة التيار أو جهة تدرَّج الحرارة (ولكن ليس إذا تم عكسها معاً في آن واحد). إن تدرُّج درجة الحرارة في الناقل المعدني الواحد ينجم عنه فرق كمون potential difference بين طرفيْ هذا الناقل يُعزى إلى تولد قوة محركة كهربائية منشؤها هذا التدرج. ولكن هذه القوى المحركة الكهربائية ذات قيم ضئيلة فهي +٢,٢ مكروفولت /دْ في النحاس و(-٨,٤) مكروفولت/دْ في الحديد (المكرو = ١٠-٦) وهي لا تولد تياراً كهربائياً في دائرة مؤلفة من ناقل واحد، ولكن إذا كان هناك تدرج حراري في هذا الناقل ومر فيه تيار مستمر فإنه يضاف إلى حرارة جول حرارة عكسياً ناشئة عن أثر طومسون، وهي ذات قيمة ضئيلة جداً ويصعب قياسها.

- تعرف الحرارة الممتصة أو المطرودة بحرارة طومسون وهى عبارة عن الشغل المبذول ضد فرق الجهد الأنتشارى بطول القضيب.
- معادلة طومسون هى: $Q_t = \int t\, i\, d\, T$
- حيث t معامل طومسون ومعادلته:
- $t = (t_p - t_N)\ ,\ (w/k.amp)$
- العلاقة بين قوة الدفع الكهربية (α)، معامل طومسون (t) ومعامل بيلتيه (π) هى:
- $d/dt(\ \pi_{p,N}\ ) + (t_N - t_p) = (\alpha_p - \alpha_N)$

- حيث (N) يرمز للمادة السالبة و (P) للمادة الموجبة.

## ٢,٢ : تعتمد التأثيرات الكهروحرارية على الخواص الآتية:

- قوة الدفع الكهربية (α) ووحداتها (v/k): و هي المجموع الكلى للشغل المبذول لنقل كمية من الكهرباء مقدرة بالكولوم داخل المصدر من القطب السالب إلى القطب الموجب وخارجه من الموجب إلى السالب في دائرة مغلقة. ويرمز للقوة الدافعة الكهربائية بالرمز (emf) .

تقوم القوة الدافعة الكهربائية بتأمين الشغل اللازم لتحريك الإلكترونات بين طرفي الدائرة الكهربية.وبالرغم من دلالة الاسم فهي مقياس للجهد وليس للقوة

- المقاومة الكهربية (∂) : وهي إعاقة المادة لمرور التيار الكهربائي (الإلكترونات) خلالها. وتحدث الإعاقة في المادة سواء أكانت من الموصلات (كالفلزات) أو غير الموصلات ولكن بدرجات مختلفة. يلزم للألكترونات التغلب على هذه المقاومة للوصول إلى تعادل في الشحنة . وحدة المقاومة هي الأوم.

- معامل التوصيل الحرارى (k) و وحداته (w / cm .k).

## ٢,٣ مميزات المبردات الكهروحرارية:

١- لايوجد بها اجزاء ميكانيكية متحركة وبالتالي ليس لها اصوات بالمرة .

٢- لاتحتاج الي مواسير لمرور مركب التبريد بداخلها لهذا يكون تركيبها بسيط وحجمها صغير .

٣- يمكن تغيير سعة التبريد الممكن الحصول عليها منها بتغير عدد وحدات المزدوجات المستعملة .

٤- يمكن الحصول علي عملية التبريد أو التسخين بها بتغير اتجاه مرور التيار فقط وبذلك لاتحتاج الي مسخنات خاصة لاذابة الثلج .

٥- السلامة البيئية من حيث خلوها من الغازات .

٦- الأعتمادية العالية من حيث العمر بحيث بأمكانها العمل لـ٢٠٠٠٠٠ ساعة .

**و عيوبها:-**

١- ثمن المواد الكهروحرارية مرتفع .

٢- المزدوجات الكهروحرارية ليس لها احتمال ميكانيكية .

تستخدم في الليزر الحديثة ، والبصريات ، والنظم الكترونيه الراديويه لا يمكن بناؤها دون التبريد الكهروحراري و الانظمة المتحكم بها.

## ٢,٤ ـ التطبيقات الاساسية للمبردات الكهروحرارية :

١. الالكترونيات اللا سلكيه - مبردات مصغره للأدوات الكترونيه.

٢. الطب ، الأدوات الطبية والمعدات.

٣. المعدات العلمية والمختبرية.

٤. السلع الاستهلاكية ، الثلاجات المحمولة ومبردات المياة.

٥. أنظمه تكييف كهروحرارية للهواء ، أجهزه لتثبيت درجه حرارة الوحدات الكترونيه ، الخ.

**جهاز الرنين المغناطيسي (الطب).**

مجهر ، (المعدات العلمية والمختبرية).

بردات الماء (السلع الاستهلاكية).

شكل (٢-٩) ، صور إيضاحية على التطبيقات

# الفصل الثالث

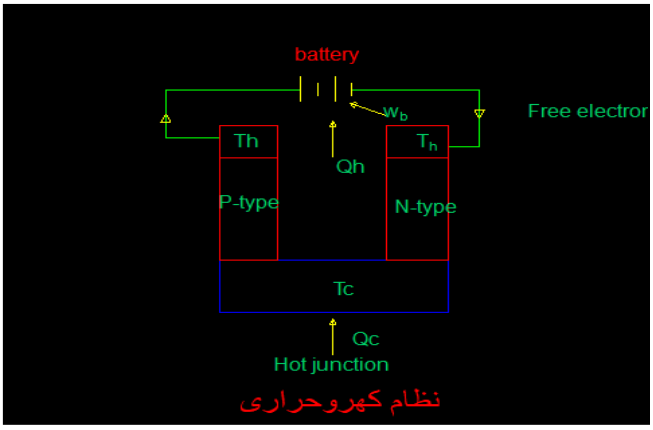
## ـ معادلات التبريد

## ـ التطبيق العملي

# الفصل الثالث

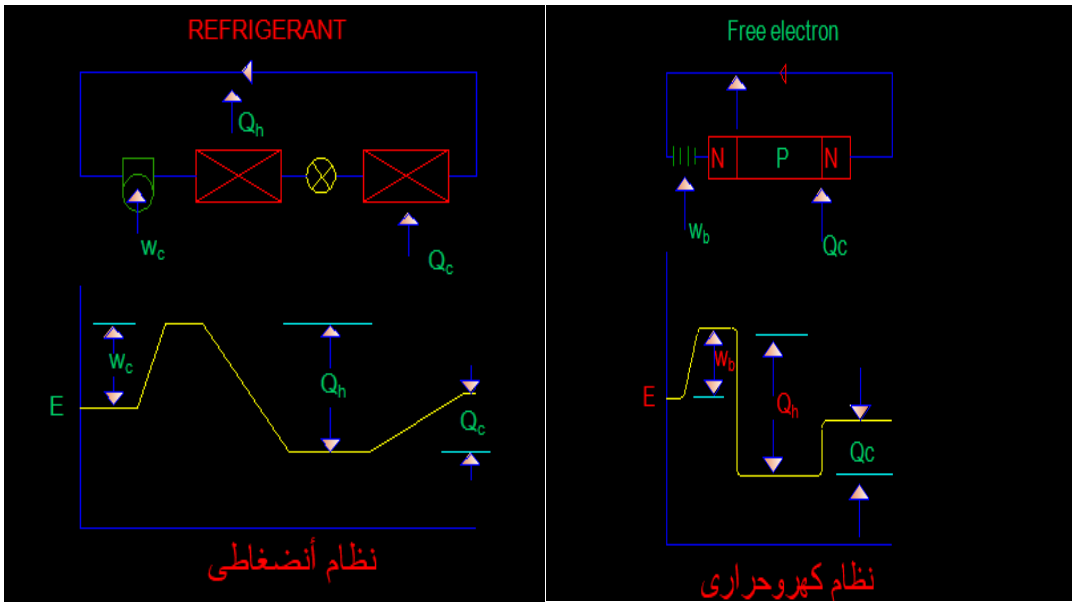
التبريد الانضغاطى الذى يتم عن طريق ضاغط ويستخدم فيه غاز الفريون ، والتبريد الكهروحراري بسيط التركيب يحتوي على أشباه الموصلات .

## ١,٣ : التناظر بين نظامي الأنضغاطي والكهروحراري:




شكل (٣-١) النظام الكهروحراري.

بوضح الشكل (٣-١) مكونات نظام التبريد الكهروحرارى . يتكون نظام التبريد الكهروحرارى من عنصر سالب (N – element), عنصر موجب (p – element)، يتصلا خلال وصلة باردة (cold junction) عند درجة حرارة ($t_c$) ، ووصلة ساخنة (hot junction) عند درجة حرارة ساخنة ($t_h$) وبطارية (battery).




شكل (٣-٢) مستويات الطاقة .

- يعطى شكل (٣-٢) بيان مستويات الطاقة لنظام التبريد الأنضغاطى ونظام التبريد الكهروحرارى.

- فى نظام التبريد الكهروحرارى تتحرك الإلكترونات الحرة فى دائرة مغلقة من المادة السالبة (N) الى المادة الموجبة (P) خلال البطارية. يحدث تغير فى الطاقة ، ينتج عنه امتصاص حرارة حلال الوصلة الباردة وطرد حرارة خلال الوصلة الساخنة. ما للإلكترونات الحرة يناظره ما يحدث لوسيط التبريد (R-12) الذى يمتص الحرارة خلال المبخر المناظر للوصلة الباردة و يطرد الحرارة خلال المكثف المناظر للوصلة الساخنة.

- يوضح الجدول التالي عناصر التناظر لنظام التبريد الأنضغاطى ونظام التبريد الكهروحراري:

| عنصر المقارنة | النظام الكهروحراري | النظام الأنضغاطي |
|---|---|---|
| **التركيب** | بسيط التركيب فهو يعتبر مجرد دائرة كهربية أحد مكوناتها أشباه موصلات | معقد التركيب فهو مكون من عدد كبير من المكونات (ضاغط ،مكثف ،وسيلة تمدد،مبخر،فلتر،مجفف، الخزان ،...إلخ . |
| **الأجزاء المتحركة :** | لا توجد به أجزاء متحركة على الإطلاق . | توجد به أجزاء متحركة . |
| **الوسيط الحامل للحرارة :** | الالكترونات السارية فى الدائرة الكهربية. | مركب التبريد . |
| **الوزن لحجم معين :** | خفيف الوزن ويمكن حماه بسهولة غالباً . | ثقيل الوزن . |
| **الطاقة التبريدية :** | منخفضة (كسر طن تبريد) | تتدرج إلى قيم كبيرة أحياناً حسب التصميم . |
| **مجالات الاستخدام :** | خاصة ومحددة . | واسعة من الاستخدام المنزلي إلى الاستخدام التجاري . |

| | | |
|---|---|---|
| **الضوضاء :** | لا يصدر أي ضوضاء . | قد تكون الضوضاء الصادرة منه عالية . |
| **مصدر الطاقة اللازمة :** | فولت 220 الكهرباء المنزلية مع موفق لإنتاج تيار فولت 12 مستمر. | الكهرباء العادية أو الغاز أو الطاقة الشمسية . |
| **الأعطال والصيانة:** | قليل الأعطال. | الأعطال الكثيرة محتملة وقطع الغيار معقدة وغالية الثمن . |
| **معامل الأداء :** | منخفض. | يمكن جعله مرتفعاً بتحسين التصميم . |

**جدول (٣-١)**

- يلاحظ، لنفس المدى لدرجتى الحرارة ($T_C$) للمبخر والوصلة الباردة، و($T_h$) للمكثف والوصلة الساخنة، أن قيمة معامل الأداء (C.O.P) لنظام التبريد الكهروحرارى صغيرة جدا بالنسبة لنظيرتها لنظام التبريد الأنضغاطى وتعادل حوالى ١٠% فقط. تكلفة أنتاج وحدة التبريد الكهروحرارى مرتفعة فأنها تساوى عشرة أمثال تكلفة وحدة التبريد الأنضغاطى لنفس سعة التبريد ومدى درجات الحرارة. للأسباب السابقة نظام التبريد الكهروحرارى غير واسع الانتشار مثل نظام التبريد الأنضغاطى.

## ٣,٢ معادلات الطاقة للنظام الكهروحراري:

خواص المواد الشبه موصلة (k, α،$\partial$)عبارة عن دوال من درجة الحرارة ، و حيث ان مدى درجات الحرارة لاستخدامات التبريد صغير فأنه يمكن اعتبار الخواص ذات قيم ثابتة خلال المدى الفعال لدرجة الحرارة.

لتحليل أنظمة التبريد الكهروحرارية ، يجب معرفة معادلات الطاقة للعناصر الستة التالية:

### ٣,٢,١ - حرارة بيلتر (peltier heat):

حرارة بيلتر عبارة عن الحرارة المنتقلة خلال الوصلة نتيجة اختلاف القوى الدافعة الكهربية و درجة حرارة الوصلة.

- للوصلة الباردة، $Q_{n.c} = \alpha_{p,N}\ i\ T_c$

- للوصلة الساخنة. $Q_{п.h} = \alpha_{p,N}\, i\, T_h$

حيث $\alpha_{p,N}$ عبارة عن فرق القوى الدافعة الكهربية للوصلة و معادلتها:

$$\alpha_{p,N} = ( \alpha_p - \alpha_n ).$$

### ٣,٢,٢ - حرارة طومسون (thomson heat):

حرارة طومسون عبارة عن الحرارة الناشئة عن سريان التيار الكهربى الثابت(i) خلال العنصر(element)، نهايته عند درجتى حرارة مختلفة للوصلة.

$$Q_t = t_{p.N}\, i\, ( T_h - T_c )$$

حيث $t_{P,N}$ عبارة عن فرق معامل طومسون ومعادلته:

$$t_{p,N} = (t_p - t_N)$$

### ٣,٢,٣ - القدرة اللازمة (power required):

القدرة اللازمة للبطارية عبارة عن القدرة اللازمة للتغلب على مقاومة المادة السالبة (N) ، المادة الموجبة (P) ، الوصلات والأسلاك ومعادلتها:

- $W = \alpha_{p,N}\, i\, (T_h - T_c)$

### ٣,٢,٤ - حرارة التوصيل (conduction heat):

- حرارة التوصيل عبارة عن الحرارة المنتقلة من الوصلة الساخنة الى الوصلة الباردة نتيجة فرق درجات الحرارة خلال العناصر الموجبة والسالبة ومعادلتها:

$$Q_k = K_{p,N} ( T_h - T_c )$$

- حيث $K_{p,N}$ عبارة عن موصلية الازدواج الحرارى ومعادلتها:

$$K_{P,N} = (K_P + K_N) = A/L\ (K_P + K_N)$$

- حيث A مساحة مقطع العنصر، L ارتفاع العنصر. عادة ارتفاع العنصر السالب يساوى ارتفاع العنصر الموجب وكذلك مساحة المقطع الدائرى او المستطيل للعنصر.

### ٣,٢,٥ - حرارة جول (joule heat):

حرارة جول عبارة عن الحرارة الناشئة عن مرور التيار الكهربى خلال العنصر الحرارى ومعادلتها: $Q_j = i^2 R$

حيث R مقاومة العنصر ومعادلتها، $R = \partial (L/A)$

معادلة حرارة جول للازدواج الحرارى هى:

$$Q_j = R_{p,N} i^2$$

حيث $R_{p,N} = R_p + R_N$

### ٣,٢,٦ - حرارة مقاومة التلامس(heat of contact resistance) :

حرارة مقاومة التلامس عبارة عن الحرارة الناشئة عن مرور التيار الكهربى خلال الواح النحاس التى تربط العناصر السالبة (N) بالعناصر الموجبة (P) و مادة لحام الواح النحاس بالعناصر P,N .

معادلة حرارة مقاومة التلامس للوصلة هى: $Q_{c.R} = i^2 R_{c.R}$

$$R_{c.R} = R_s + R_{c.p}$$

حيث Rs مقاومة لحام الوصلة، Rc.p مقاومة لوح النحاس

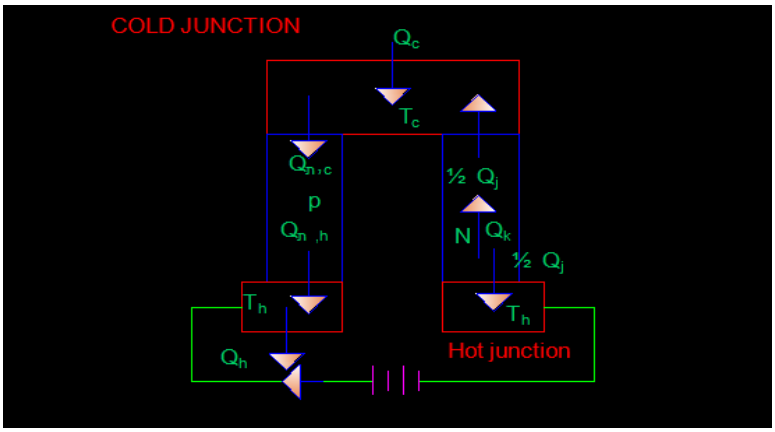
يمكن وضع معادلة حرارة مقاومة التلامس على الصورة التالية:

$$Q_{c.R} = F\, i^2 R_{p.N}$$

حيث F عبارة عن معامل مقاومة التلامس ومعادلته:

$$F = (R_s + R_{c.p}) / R_{p.N}$$

## ٣,٣ حسابات النظام الكهروحراري النظرى:




شكل (٣-٣) ازدواج حراري.

فى التحليل الرياضى التالى سوف نهمل كل من حرارة طومسون و حرارة مقاومة التلامس ، كما اهملنا من قبل تأثير درجة الحرارة على الخواص ($\partial$ ،$\alpha$ ،k) .

معادلة الاتزان الحرارى للوصلة الباردة الموضحة فى شكل ٥-١٠ على فرض ان نصف حرارة جول تصل الى الوصلة الباردة هى: $Q_c = Q_{\pi\cdot c} - ½ Q_j - Q_k$

- حيث $Q_c$ عبارة عن حمل التبريد للازدواج الحرارى الواحد.

بالتعويض بقيم $Q_{\pi.c}$ و $Q_j$ و$Q_k$ .

- $Q_c = \alpha_{p.N}\, i\, T_c - ½\, i2\, R_{p.N} - k_{p,N}(T_h - T_c)$ (1)

معادلة الاتزان الحرارى للوصلة الساخنة ، الموضحة فى شكل ٥-١٠ ، على فرض ان نصف حرارة جول تذهب الى الوصلة الساخنة هى: $Q_h = Q_{\pi,h} + 1/2 Q_j - Q_k$

- حيث $Q_h$ عبارة عن الحرارة المطرودة للازدواج الحرارى الواحد.

بالتعويض بقيم $Q_k$ و$Q_j$ $Q_{\pi.h}$

- $Q_h = \alpha_{p.N} i T_h + 1/2 i^2 R_{p.N} - K_{p.N}(Th - Tc)$ (2)

### معادلة الشغل اللازم للبطارية هى

- $W = Q_h - Q_c$
- $= \alpha_{p.N} i(T_h - T_c) + i^2 R_{p.N}$ (3)

معادلة معامل الاداء لنظام التبريد الكهروحرارى هى:

- $C.O.P=(Qc/w)$

## ٣,٤ حالة خاصة (special case):

لو اهملنا تأثير كل من حرارة جول (QJ) و حرارة التوصيل (Qk) و أخذنا فى الاعتبار تأثير بيلتيه فقط ، تبسط المعادلات (١و٢و٣) للصور التالية:

- $Q_c= \alpha_{p.N} i T_c$
- $Q_h= \alpha_{p.N} i T_h$
- $W= \alpha_{p.N} i (T_h- T_c)$

و تصبح معادلة معامل اللأداء لنظام التبريد الكهروحرارى.

- $C.O.P=(Q_c/w)=(T_c/T_h-T_c)$

أى نفس هيئة معامل الأداء لدورة كارنوت المعكوسة و التى تعمل بين نفس درجتى الحرارة $(T_h,T_c)$.

التطبيق العملي :

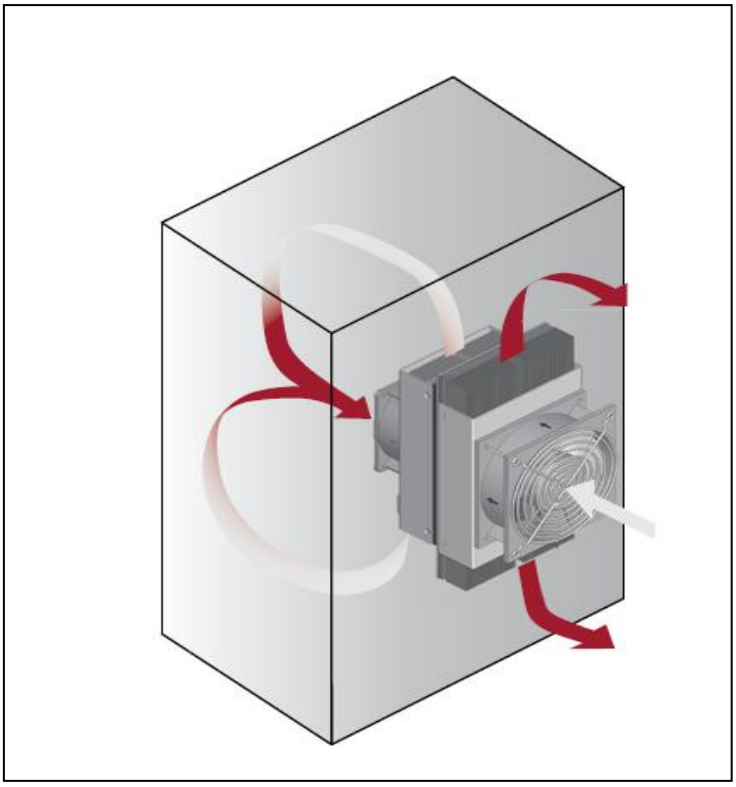
## ٣,٥ الثلاجة الكهروحرارية

**٣,٥,١ – التركيب:.**

تعد الثلاجة الكهروحرارية بحق ثلاجة عصر الفضاء و تعتمد في عملها علي علم المواد النصف موصلة ( انصاف الموصلات ) "SEMICONDUCTORS " ويستفاد في هذا النوع من الثلاجات بتأثير نظرية العالم " بلتير "حيث يعمل تيار كهربائي مستمر(D . C) في جزء اتصال بين وحدتين حراريتين مختلفتين إما علي امتصاص الحرارة أو إشعاعها و ذلك حسب إتجاه مرور التيار فإذا كان مرور التيار يكون باردا (و يعمل على امتصاص الحرارة) و جزء الاتصال يكون ساخنا و يشع الحرارة.

تستعمل مواد أنصاف الموصلات في صناعة الوحدات الحرارية المستعملة في هذا النوع من الثلاجات ويوجد نوعان من هذه المواد يعرفان بالنوع السالب (N– TYPE ) والنوع الموجب (P–TYPE ) وتستعمل مادة البزموث تللوريد في الوقت الحاضر كمادة نصف موصلة في صناعة الوحدات الحرارية والنوع السالب منها يشتمل علي كمية أزيد قليلا من التليريوم لاحداث اليكترونات مرة أو حاملات شحنة سالبة والنوع الموجب يصنع من مادة بزموث تللوريد و تشتمل علي كمية أزيد قليلا من البزموث لأعطاء حاملات شحنة موجبة أما جزء الاتصال فيصنع من الالومنيوم المغطى بطبقة من النيكل .

وتتركب المجموعة الكهروحرارية من عدد من مزدوجات الوحدات الحرارية المختلفة توصل كهربائيا بعضها مع بعض بالتوالي فنجد جميع اجزاء الاتصال الباردة في احد الاوجة وجميع اجزاء الاتصال الساخن في الوجة الاخر .



**شكل (٣-٤) ، نموذج توضيحي للثلاجة الكهروحرارية.**

### ٣,٥,٢ – الدائرة الكهربائية للثلاجة الكهروحرارية .

الدائرة الكهربائية الخاصة بالثلاجة الكهروحرارية حيث يقوم الثرموستات المركب بها والذي يتأثر بدرجة حرارة كابينة الثلاجة بالمحافظة علي درجة الحرارة داخل هذه الكابينة عند ( ٢–٥ ) درجة مئوية ويمكن تنظيم سعة تبريد هذا النوع من الثلاجات عند مستويين عال ومنخفض بواسطة مجموعة أزرار نظرا لأنه عند إبطال الثلاجة تنتقل الحرارة بسرعة خلال الوحدات الحرارية المركبة داخل كابينة الثلاجة من ناحية سطحها الساخن الي ناحية سطحها البارد ويزداد استهلاك التيار لهذا استخدمت عملية تنظيم سعة تبريدها علي مستويين وذلك لعمل موازنة في سعة التبريد والحد من التسريب الحرارى بقدر الأمكان والأقلال من عدد المرات التى يبطل عمل التبريد وكذلك تخفيض استهلاك التيار .

**الدائرة الكهربية لثلاجة كهروحرارية وهى تتكون من الأجزاء الآتية:-**

١. محول كهربي (Transformer) يعمل على مصدر تيار متناوب (١٢٠فولت أو ٢٢٠فولت) وينتج منه تيار ٢٠ فولت متناوب.

٢. مقوم تيار (Rectifier) يحول التيار المتناوب الخارج من المحول (١٢٠ فولت متناوب) إلى تيار مستمر (١٢٠ فولت مستمر).

٣. نموذج كهروحراري (Thermoelectric Module) يمر فيه التيار المستمر عبر ملف خانق (Choke Coil) بحيث تكون الوصلة الداخلية باردة والوصلة الخارجية ساخنة.

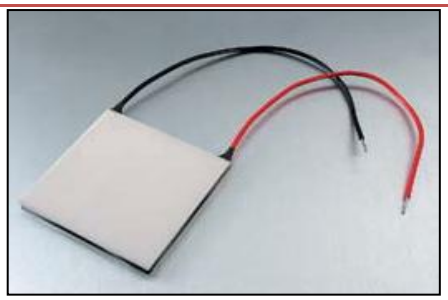
٤. ثرموستات (Thermostat) يضبط درجة الحرارة داخل حيز الثلاجة ويتصل بدخول المحول.

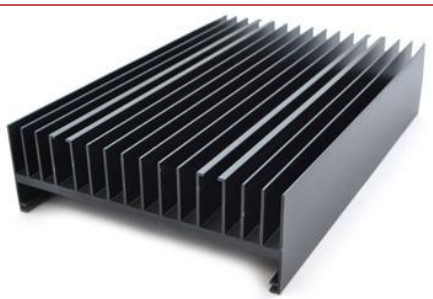
### ٣,٥,٣ – نظرية العمل:

يمر التيار الكهربي من المنبع ( ٢٢٠فولت) ثم إلى المحول فينخفض جهده إلى (٢٠ فولت) ثم

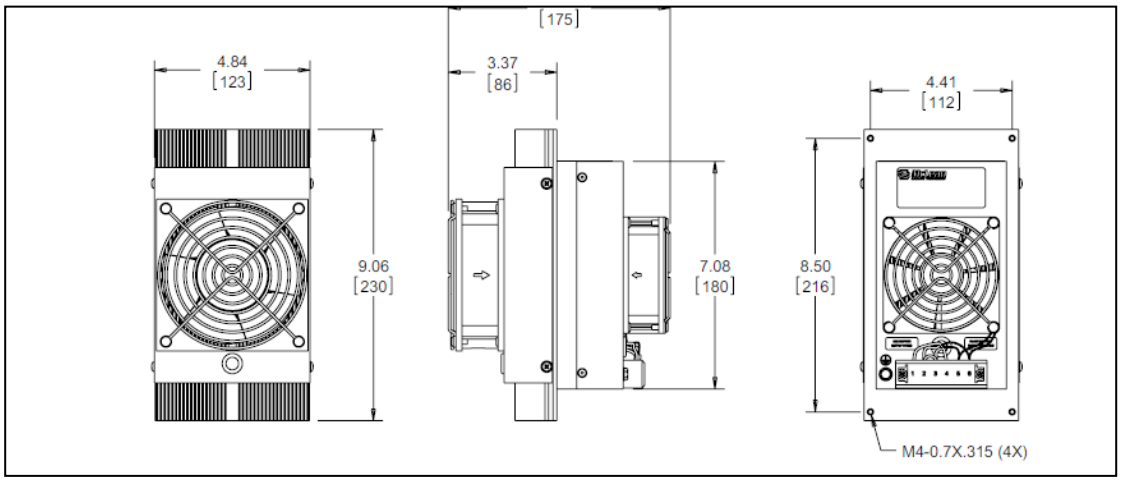
يمرر التيار إلى مجموعة من الموحدات " قنطرة الموحدات "وذلك لتحويلة من تيار متغير إلى تيار مستمر ثم يمرر إلى الموديول P–N وبالتالي تبرد الوصلة الداخلية وتسخن الوصلة الخارجية ويتم التحكم فى درجة الحرارة عن طريق الثرموستات الذى يفصل جهد المنبع عند وصول درجة حرارة الحيز المبرد إلى الدرجة المطلوبة .

## *صور للمكونات

| | |
|---|---|
|  | لوح بليتر |
| | محول كهربي |
| | ثرموستر |

| | |
|---|---|
| مشتت حراري |  |
| مروحة بلاستيكية | |
| أسلاك توصيل | |

جدول (٣-٢)




شكل (٣-٥) الهيكل التفصلي للبراد.

### ٣,٥,٤ - خواص واستخدامات الثلاجة الكهروحراري:

بالرغم من أن معامل الأداء للثلاجة الكهروحرارية منخفض نسبياً (بالمقارنة مع منظومات التبريد التقليدية) إلا أن استخدامها يتزايد نظراً لطواعيتها للتشغيل ، إذ يمكنها أن تعمل بتيار مستمر ١٢٠ فولت مباشرة أو بالتيار المتناوب المنزلي العادي باستخدام موفق(Adaptor) من التيار المتناوب إلى التيار المستمر . ولهذا السبب ولسهولة نقلها فهي مرغوبة في الرحلات القصيرة والمعسكرات.

ونلاحظ أن هذا النوع من الثلاجات يتميز بالهدوء التام وأن كانت كفاءة تبريدها(أو تسخينها) متواضعة ، غير أن خفة وزنها * وطاقتها التبريدية المحدودة التى تكفى للاستخدامات الخاصة سالفة الذكر، يجعل تتفوق على الأنواع الأخرى من الثلاجات المكافئة لها في الطاقة التبريدية والحجم . وبالتالي فقد جذبت هذه الثلاجة الباحثين لتطويرها ورفع معامل آدائها.

ومن جهة أخرى فإن منظومة التبريد (أو التسخين) الكهروحرارية تسمح بالاستخدام في منظومات تكييف الهواء (الصيفي أو الشتوي) لحيز محدود بإضافة مروحة لتحريك الهواء على السطح البارد ( أو الساخن ) للمنظومة ويمكن لهذه المروحة أن تستخدم نفس مصدر الطاقة الكهربية للثلاجة . وفي هذه الحالة قد لا نحصل على الراحة التامة التى يمكن الحصول عليها في نظم التكييف التقليدية ، إلا أن بساطة المنظومة والوفر في الطاقة المصاحب لها يجعل هذا الاستخدام مفضلاً في الحالات التى يكفى فيها الحصول على قدر من الراحة.

## التوصيات

**ومن خلال الدراسة التي قمت بها والتي تخص موضوع "التبريد الكهروحراري" ، فإن لدي بعض المقترحات بشأن هذا البحث وهي :**

**١. ترجمة الأطروحات المتعلقة بالعلوم الفيزيائية ، وخصيصاً مجال التبريد وذلك بسبب شح المراجع العربية في كتابة البحث.**

**٢. بأمكاننا تصنيع منتجات متعددة وسهلة الأستخدام بإستخدام تقنيات التبريد الكهروحراري كمثلاً (مبردات تلقائية للسوائل ) ، وقواعد تسخن الأكواب .**

**٣. التطبيق العملي كالتصنيع والابتكار ضروري تجاه الدراسات الميكانيكة والإلكترونيات في المراحل الجامعية .**

# الخاتمة

وفي نهاية البحثِ ، احمد الله أن قد أعانني علي هذا المجهود الذي قد تم بذله في هذا البحث، والجدير بالذكر أنني قد حرصت من جانبي كباحثة ان أتيقن من كافة خطوات البحث من أجل أن أصل إلي تلك النتائج التي بين أيديكم الآن ، ولا أؤكد أنها نتائج نهائية بل إنه من المعروف أن كل يوم يحمل في ما بين طياته الجديد والحديث، ولعلي أثق في ما سيكمل من بعدي أنه قادر علي أن يكمل المسيرة العلمية فالبحث العلمي من أهم سماته انه تراكمي .

هذا وأسال الله أن أكون قد وفقت في ما قد قدمت حيث حاولتُ جاهِداً أن أصل بموضوع التبريد الكهروحراري إلي درجات علمية متقدمة وشاملة بحيث تخدم البشرية جميعها .

أنتهى . ٧ شعبان ١٤٣٩ هـ

# المراجع

## المراجع الأجنبية:


[1] Th.J.Seebeck"Magnetische Polarisation der Metalle und Erze Durch Temperatur- Differenz"1822-23 in Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenshaften Nr. 70 (1895). Seebeck Biography 1. Seebeck Biography 2.

[2] G. Magnus, Poggendorf's Annalen der Physik 83 p469 (1851)

[3] E. Becquerel, Ann. de chim. et phys. (4) 8. (1866)

[4] W. Haken, Annalen der Physik 832 p291-336 (1910)

[5] W. Thomson "On the Dynamical Theory of Heat. Trans." R. Soc. Edinburgh: Earth Sci. 3,
91–98 (1851). Thomson Biography.

[6] E. Altenkirch, Physikalische Zeitschrift 10, 560–580 (1909); Physikalische Zeitschrift 12, 920 (1911)

[7] A. Eucken and G. Kuhn Z. Phys. Chem. 134 p193 (1928)

[8] R. R. Heikes and R. W. Ur, "Thermoelectricity: Science and Engineering" Interscience Publishers, (1961); I. B. Cadoff and E. Miller "Thermoelectric Materials and Devices" Materials Technology Series. Reinhold Publishing Cooperation (1960); P. H. Egli "Thermoelectricity" John Wiley & Sons (1960)

[9] M.V. Vedernikov and E.K. Iordanishvili "A.F. Ioffe and origin of modern semiconductor thermoelectric energy conversion" 17th Int. Conf. on Thermoelectrics vol 1, pp 37–42 (1998); A.F. Ioffe "Semiconductor Thermoelements and Thermoelectric Cooling"

[10] H.J. Goldsmid and R.W. Douglas "The use of semiconductors in thermoelectric refrigeration" British J. Appl. Phys. 5, 386 (1954)

[11] Glen Slack in CRC Handbook of Thermoelectrics (ed. Rowe, M.) p407–440 (1995).

[12] M.S. Dresselhaus, et al. "New directions for low-dimensional thermoelectric materials" Adv. Mater. 19, 1043–1053 (2007); M. G. Kanatzidis "Nanostructured thermoelectrics: the new paradigm?" Chem. Mater. 22, 648–659 (2010)

[13] G.J. Snyder and E. Toberer "Complex Thermoelectric Materials" Nature Materials 7, 105-114 (2008)

[14] L. Bell "Cooling, Heating, Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems" Science Vol. 321. pp. 1457 (2008)


## المراجع العربية:


واصف ، رأفت كامل ،أساسيات الميكانيكا و خواص المادة والحرارة ، دار المعارف : الطبعة الخامسة

١٩٨١ م). )

الموسوعة العربية:

https://www.arab-ency.com/ar/%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%AD%D9%88%D8%AB/%D8%A3%D8%AB%D8%B1-%D8%A8%D9%84%D8%AA%D9%8A%D9%87-%D9%88%D8%A3%D8%AB%D8%B1-%D8%B7%D9%85%D8%B3%D9%88%D9%86