الباب الثالث

قياس درجة الحرارة

ومما يمكن القول إن درجة الحرارة هى أكثر المتغيرات التى يتم قياسها والتحكم فيها فى الصناعة ، وتوجد صناعات كثيرة تحتل فيها قياسات درجة الحرارة بمكانة حساسة . ففى صناعة الصلب على سبيل المثال فإن درجة الحرارة التى يسخن إليها الصلب السائل فى فرن المجمرة المكشوفة (طريقة سيمنز مارتن) تؤثر على المنتج النهائى من عدة وجوه ، فالأوكسجين وهو أحد المركبات المؤثرة فى الصلب تزداد قابليته للذوبان فى المعدن بشدة مع ارتفاع درجة الحرارة ، وأيضاً فإن معدل التفاعلات الكيميائية فى الصلب السائل ذاته وفيما بين الصلب السائل والخبث تزداد زيادة مطردة مع ازدياد درجة الحرارة . كما أن فصل المكونات الضئيلة عند التجميد والبناء البلورى للصلب الجامد وطبيعة سطح العينة تتأثر بدرجة حرارة السائل فى الفرن .

وبصفة عامة تزيد سرعة معظم التفاعلات الكيميائية بازدياد درجة الحرارة . وينطبق ذلك بصفة خاصة على التفاعلات العضوية حيث يزداد معدل هذه التفاعلات بحوالى ثلاثة أمثال عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار ١٠°م فقط . وأيضاً فإن العمليات الحيوية لا تتم إلا فى نطاق ضيق من درجات الحرارة يقع حول ٤٠ درجة مئوية .

١/٣ أسس قياس درجة الحرارة :

تقاس درجة الحرارة باستغلال أحد التأثيرات التى يحدثها تغير درجة الحرارة فى المواد وهى :

(١) تغير أبعاد المادة ، التمدد أو الانكماش

(٢) تغير الحالة الفيزيائية للمواد كانصهار المواد الصلبة أو تجمد السوائل . وتغير ضغط الغازات والسوائل

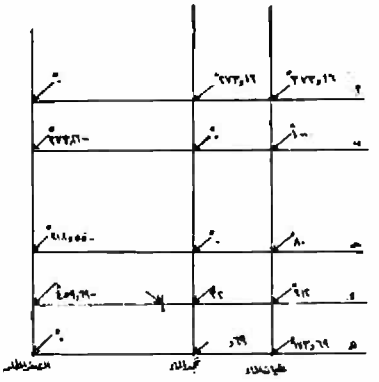
(٣) تغير الجهد أو المقاومة فى الدوائر الكهربائية

(٤) تغير ألوان بعض المواد كالطلاءات نتيجة لتغير الحالة الكيميائية لها

(٥) تغير فى القدرة الإشعاعية

٢/٣ مقاييس درجة الحرارة :

يوجد عدد من مقاييس درجة الحرارة ، غير أن أكثرها شيوعاً المقياس المئوى أو مقياس «سلسيوس» الذى تم الحصول عليه باعتبار نقطة الغليان للماء ١٠٠ ، ونقطة تجمد الماء صفراً ، والمسافة بينهما مقسمة إلى مائة قسم كل منها يساوى درجة مئوية واحدة . وقد تم تحديد نقطة الصفر المطلق (وهى درجة الحرارة التى لا يكون للغاز الكامل عندها أى ضغط على الوعاء المحتوى له) فوجد أنها تساوى - ٢٧٣.١٦°م ولذلك فقد استعمل مقياس مطلق ، صفره يساوى - ٢٧٣.١٦°م . ودرجته تساوى



شكل رقم (٥)

(خمسة مقاييس لدرجات الحرارة) .

(ا) كلفن (ك)

(ب) سلسيوس أو مئوى (°م) .

(جـ) روميز (°ر) .

(د) فهرنهيت (°ف) .

(هـ) رانكن (°ر)

أم . ونقطة الثلج تناظر ٢٧٣,١٦°م على هذا المقياس ونقطة (البخار) تناظر ٣٧٣.١٦°م . ويطلق على هذا المقياس اسم مقياس كلفن نسبة إلى العلامة اللورد كلفن .

ويوضح الشكل رقم (٥) خمسة مقاييس لدرجة الحرارة هى المقياس المئوى ، المقياس الفهرنهيتى ، ومقياس كلفن ، ومقياس روميز ، ومقياس رانكن وقيمة ثلاث نقط على كل منه .

٣ ٣ أجهزة قياس درجة الحرارة :

توجد أجهزة كثيرة لقياس درجة الحرارة ، ويمكن تصنيف هذه الأجهزة تبعاً لطبيعة التغير الذى يحدث فى الجسم المختبر نتيجة لتغير درجة حرارته ، إلى التالى :

٣ ٣ ١ ترمومترات التمدد وتشمل مقاييس درجة الحرارة بدلالة تمدد جسم صلب (ترمومترات ثنائية المعدن ، الثرموستات) أو تمدد سائل (ترمومترات سائل فى زجاج ، ترمومترات سائل فى معدن) أو تمدد غاز (ترمومترات الغاز) .

٣ ٣ ٢ ترمومترات تغير الحالة (ترمومترات ضغط البخار) .

٣ ٣ ٣ الطرق الكهربائية لقياس درجة الحرارة (ترمومتر المقاومة الكهربائية ، الترمستور ، المزدوجات الحرارية) .

٣ ٣ ٤ ترمومترات الإشعاع الكامل والبيرومترات البصرية .

٣ ٤ ترمومترات التمدد :

٣ ٤ ١ تمدد الأجسام الصلبة :

٣ ٤ ١ ١ الترمومترات ثنائية المعدن :

تستخدم الترمومترات ثنائية المعدن بكثرة فى قياس درجات الحرارة فى كثير من التطبيقات الصناعية . وأساس عمل هذه الترمومترات أن المعادن تتمدد وتنكمش بتغير درجة الحرارة وأن معامل تمددها ليس واحداً . وإنه يختلف من معدن لآخر . وهذا

الاختلاف تتم الإفادة منه فى الحصول على انحرافات تتناسب مع تغير درجة الحرارة ، وذلك عن طريق لحام شريحتين من معدنين مختلفين ، مثل الأنفار والنحاس الأصفر ، بحيث يكونان كابولاً على شكل حلزون أو لولب وعندما تتغير درجة الحرارة فإنهما ينحنيان تجاه المعدن ذى التمدد الأقل ، ويتناسب هذا الانحناء عكسياً مع سمك المعدن ، وصردياً مع كل من ثابت الانحناء (الذى يعتمد على نوعى المعدنين المستخدمين) ، والتغير فى درجة الحرارة ومربع طول الشريحتين .

ويفضل استخدام مادة الأنفار فى صنع الشريحة ذات معامل التمدد الحرارى الصغير ، وذلك لأن الأنفار مادة مستقرة فى مدى واسع من درجات الحرارة .

وتستعمل سبائك الحديد النيكل المضاف إليها قليل من الكروم أو المنجنيز ، لصنع شريحة ذات معامل تمدد حرارى كبير . وتزود بعض الترمومترات ثنائية المعدن بسيقان ذات أطوال مختلفة تناسب أعماق الغمر المختلفة ويكون قرصها المدرج ذا قطر يتراوح بين ١٢،٥ سم من نوع ثابت أو قابل للضغط . ومدى هذه الترمومترات من ١٢٠ إلى ٥٤٠م ويوصى باستخدام هذه الترمومترات لقياس درجات حرارة تقل عن ٤٣٠م إذا كانت تعرض لفترة طويلة ، ويمكن تغيير مدى القياس باستعمال مواد مختلفة أو بتغيير طول العنصر الحساس ، ويكون العنصر الحساس قصيراً إذا أريد الحصول على مدى واسع من درجات الحرارة . وتتحدد حساسية الترمومتر بالخصائص الفزيائية للحلزون وأبعاده ، أما دقته فهى تعتمد على التصميم ، وظروف الوسط الذى تتم فيه القياسات ، والغمر المناسب للساق ودقة المعايرة للترمومتر بالإضافة إلى استقرار العنصر الحساس وكفاءة مستخدم الترمومتر .

ويتوقف زمن استجابة الترمومترات ثنائية المعدن على ظروف الاستخدام . فهو يكون فى حدود ثلاث ثوان بالنسبة للترمومترات عالية الجودة الموضوعة فى حمام جيد التقليب ويمكن للصانع التحكم فى استجابة الترمومتر بتغيير حجم العنصر الحساس ، وباختيار مادة ناقلة للحرارة مناسبة للاستعمال بين العنصر الحساس وغلاف الترمومتر .

ملاحظات حول استخدام الترمومتر ثنائى المعدن :

١ يراعى غمر ساق الترمومتر بحيث يصل العنصر الحساس له إلى الوسط الذى تقاس درجة حرارته ، ويجب تقليل انتقال الحرارة إلى الجزء غير المغمور من الساق بقدر الإمكان حتى لا يؤدى ذلك إلى خطأ فى قراءات الترمومتر ، ويتوقف عمق الغمر المناسب على كل من مادة الساق ، وطول العنصر الحساس ، ودرجة حرارة وظروف الوسط المحيط وبعض الترمومترات من هذا النوع مصممة لتناسب الاستخدام فى ظروف الاهتزاز والصدمات ، فمنها ، على سبيل المثال ، ما يصلح للعمل تحت اهتزازات تزيد على ١٠٠ هرتز (أى تهتز بتردد يزيد على ١٠٠ دورة فى الثانية الواحدة) وعجلة تصل إلى ٩٨ م/ث^{٢} (عشرة أمثال عجلة جاذبية الأرض) ولكن غالبية الأنواع الأخرى من الترمومترات ثنائية المعدن تتأثر بالصدمات والاهتزازات الشديدة التى قد تشوه العنصر الحساس مؤدية بذلك إلى خطأ فيما تعطيه من قراءات . وفى بعض الحالات قد لا يتأثر الاستقرار الحرارى للعنصر ، ذلك إذا لم يكن التشوه الناتج قد أدى إلى حدوث احتكاك فى أجزائه .

٢ – يراعى دائماً قبل استعمال الترمومتر اختيار المكان الذى تولج فيه بصيلة الترمومتر بحيث يتعرض الترمومتر إلى أقل حد ممكن من الصدمات والاهتزازات .

٣ - إذا لم يتحرك مؤشر الترمومتر بحرية ولوحظ أنه يقفز من نقطة إلى أخرى عندما تتغير درجة الحرارة يوقف استعماله ولا يعول على قراءاته .

٤ يجب دائماً الطرق بخفة على الترمومتر قبل أخذ قراءته .

٥ - يراعى إدخال التصحيحات المناسبة على القراءات المأخوذة ويتم ذلك باستعمال قيم التصحيحات من منحنى المعايرة الخاص به . ولا تطبق تصحيحات نقطة التجمد والنقط الأخرى المفردة على جميع النقط الأخرى على تدريجه .

مزايا وعيوب الترمومتر ثنائى المعدن :

يتميز الترمومتر ثنائى المعدن بأنه خفيف الوزن ، وقليل التكاليف ، وسهل القراءة والضبط . ولا يحتاج عنصره الحساس إلى سوائل أوغازات ، ووصلاته قصيرة ، ولا يحتاج إلا إلى قليل من أعمال الصيانة . ويعيب هذا الترمومتر أنه يتلف بالصدمات والاهتزاز تلفاً مستمراً لا يستطيع مستخدمه كشفه بسهولة ، وأيضاً فإن قراءته تصير صعبة فى حالة اهتزاز مؤشره بشدة .

٣ / ٤ / ١ / ٢ الثرموستات :

الثرموستات عبارة عن وسيلة للتحكم فى درجة الحرارة وهو يعمل طبقاً لنفس مبدأ عمل الترمومترات ثنائية المعدن . ويتكون الجزء الحساس لدرجة الحرارة فى الثرموستات من قضيب من الأنفار ، داخل أنبوبة من النحاس الأصفر والطرف السفلى لقضيب الأنفار ملحوم جيداً بأنبوبة النحاس ، وعندما ترتفع درجة حرارة القضيب والأنبوبة فإن الأنبوبة النحاسية تتمدد أكثر من قضيب الأنفار (معامل التمدد للنحاس يساوى ١٩ × ١٠$^{-٦}$ وللأنفار ١,٥ × ١٠$^{-٦}$) ، فيتغير وضع الطرف الحر للقضيب بالنسبة لطرف الأنبوبة ، ويستعمل هذا التغير فى الوضع النسبى للطرفين المشارإليهما ، لتشغيل مفتاح حساس ذى فرجة صغيرة . ويعتمد التغير فى درجة الحرارة اللازم لتغيير وضع المفتاح من حالة الوصل إلى الفصل على طول الساق المكونة من القضيب والأنبوبة ، وكلما زاد هذا الطول كان التغير فى درجة الحرارة المطلوب صغيرا . ويمكن ضبط جزء المفتاح المرتبط بقضيب الأنفار بواسطة زر صغير بحيث تقطع الكهرباء الداخلة للمسخن عندما تبلغ درجة حرارة الثرموستات قيمة معينة محددة سلفاً .

وعندما يكون التيار اللازم لتشغيل مسخن كهربائى أكبر من ٢٠ أمبيراً عند جهد متردد قيمته ٢٥٠ فولتا فإن مفتاح الثرموستات يستعمل عادة لتشغيل مرحل يقوم بالتالى بتشغيل المسخن ، ويمكن بهذه الطريقة التحكم فى أحمال تسخين كبيرة دون إتلاف ملامسات مفتاح الثرموستات .

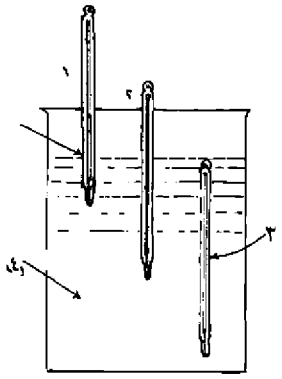
٣ ٤ ٢ تمدد السوائل :

٣ ٤ ٢ ١ الترمومترات الزجاجية :

يتكون الترمومتر الزجاجي من بصيلة زجاجية ذات جدار رقيق ، متصل بساق على هيئة أنبوبة شعرية مغلقة عند طرفها الآخر ، وتملأ البصيلة وجزء من الساق بسائل ، ويملأ باقي الساق ببخار السائل ذاته أو بمزيج من بخار السائل وغاز خامل . ويوجد على الساق أوحوله تدريج من درجات الحرارة ، ويعطى طرف عمود السائل عند قراءته على هذا التدريج قيمة درجة حرارة البصيلة . وتغطى هذه الترمومترات مدى درجات الحرارة ما بين ١١٠°م ، ١٢٠٠°م .

وتنقسم الترمومترات الزجاجية إلى ثلاثة أقسام هى :

(١) ترمومترات الغمر الجزئى (شكل رقم ٦) وهى الترمومترات المصممة بحيث تعطى درجات الحرارة الصحيحة عندما تعرض بصيلاتها وجزء محدد من عمود السائل بها لدرجة الحرارة المطلوب قياسها ، وفى الوقت ذاته يكون الجزء الباقى من عمود السائل والغاز الموجود فوقه معرضين لدرجة حرارة مساوية لدرجة الحرارة المقيسة أومختلفة عنها .



الشكل رقم (٦)

(١) ترمومتر غمر جزئى
(٢) ترمومتر غمر كلى
(٣) ترمومتر تام الغمر
(٤) سائل

(٢) ترمومترات الغمر الكلى (شكل رقم ٦) وهى ترمومترات تعطى درجة الحرارة الصحيحة عندما تكون بصيلة الترمومتر وعمود السائل به معرضين جميعاً لدرجة الحرارة المطلوب قياسها .

(٣) ترمومترات تامة الغمر : هى ترمومترات تعطى درجة الحرارة الصحيحة عند تعريضها بجميع أجزائها لدرجة الحرارة المطلوب قياسها (شكل ٦) .

أساس عمل الترمومترات الزجاجية :

تعتمد الترمومترات الزجاجية فى عملها على خاصية تمدد الأجسام بالحرارة وانكماشها بالبرودة ، ونظراً لأن معامل تمدد السوائل أكبر من تمدد البصيلة ، فإن أية زيادة فى درجة حرارة بصيلة الترمومتر تؤدى إلى دفع بعض السائل من البصيلة إلى الأنبوبة الشعرية فيحدث تغير ملحوظ فى وضع طرف عمود السائل بها . وتشكل ساق الترمومتر عادة بحيث تعمل كعدسة مكبرة بعرض عمود السائل .

أنواع الترمومترات الزجاجية :

يمكن تصنيف الترمومترات الزجاجية إلى أربعة أصناف رئيسية كالتالى :

(١) الترمومترات المعملية :

هى ترمومترات يكون التدريج محفوراً على سيقانها مباشرة ، وتوضح خطوط التدريج وعلاماته بواسطة مادة ملونة تلتصق بالسطح المحفور .

(٢) الترمومترات الصناعية :

وهى ترمومترات تستخدم فى الأغراض الصناعية المختلفة . وفى هذا النوع من الترمومترات تكون البصيلة وجزء من الساق داخل أنبوبة معدنية ، ويكون التدريج

محفوراً أومنقوشاً على لوحة معدنية مثبتة داخل غلاف معدنى من فتحة من الزجاج ليمكن رؤية التدريج وقراءته من خلالها . والترمومترات الصناعية تختلف من حيث الطول ونوع الغلاف ، وبعضها تكون فيه البصيلة ليست على امتداد الأنبوبة الشعرية ولكنها تكون معها زاوية مقدارها ٩٠° أو ١٨٠° ، أو أية قيمة أخرى ، بحيث تناسب التطبيقات الصناعية المختلفة .

(٣) الترمومترات ذات الأنبوبة والتدريج :

بعض الترمومترات تكون ذات تدريج منقوش على قطعة من الورق العادى أو المقوى أو الزجاج الذى يربط بطريقة مناسبة إلى الساق ويكون هذا التدريج داخل غلاف زجاجى لصيانته . وأفضل ترمومترات هذا النوع هى التى لاتكون بصيلاتها داخل غلاف .

ويوجد نوع خاص من هذه الترمومترات يعرف باسم ترمومتر بكمان الفرق ، وهو يصنع عادة بمدى قصير ٥ م° مثلاً ويكون تدريجه مقسماً إلى ٠,٠١ م° . ويمكن تغيير مداه طبقاً لرغبة مستخدمه بواسطة تغيير كمية الزئبق فى البصيلة . ويوجد ترمومتر بكمان خزان علوى يحتوى على الزئبق الزائد . ويستعمل ترمومتر بكمان كثيراً فى القياسات الحرارية وخاصة فى طريقة الكبسولة للوقود . وبالإضافة إلى ترمومتر بكمان توجد أشكال مختلفة من الترمومترات ذات الأنبوبة والتدريج ، فمنها مثلاً ترمومترات يكون فيها التدريج مطبوعاً على خلفية من الخشب أو المعدن أوالبلاستيك تثبت فيها الأنبوبة ويستعمل هذا النوع لقياس درجات حرارة الهواء فى داخل المبانى أوفى الخلاء .

(٤) الترمومترات المسجلة :

شملت جميع الأنواع الثلاثة السابقة ترمومترات تتطلب قيام شخص بقراءتها عند تعريضها لدرجة الحرارة المقيسة ولكن توجد ترمومترات تستعمل فى قياس درجات

حرارة الوسط (المطلوب قياس درجة حرارته) فى الحالات التى لا يمكن رصد قراءاتها وهى معرضة لدرجة الحرارة المقيسة . ولكن يتم قراءتها بعد إخراجها من هذا الوسط . وتعرف هذه الترمومترات باسم الترمومترات المسجلة .

وبعض هذه الترمومترات يعطى درجة الحرارة القصوى التى تعرضت لها ، ويتكون السائل فيها من سبيكة زئبق ثاليوم والحيز الذى يقع أعلاها مفرغ ، ويوجد أعلى بصيلتها اختناق يسمح للسائل بالمرور إلى الساق ، والارتفاع فيه تبعاً لدرجات الحرارة التى تعرض لها البصيلة ، ولكن هذا الاختناق يمنع السائل من العودة إلى البصيلة ، إلا إذا تم هزه بشدة . وتشمل الترمومترات المسجلة ترمومترات تسجل أدنى درجة حرارة تعرض لها وهى تكون فى العادة مملوءة بالكحول وتستخدم وهى موضوعة أفقياً ويحتوى الترمومتر مؤشراً مغموراً فى السائل ويحمل هذا المؤشر باتجاه البصيلة بالقوى السطحية فى نهاية عمود السائل عندما تهبط درجة الحرارة ، ولكنه يظل فى مكانه عندما ترتفع درجة الحرارة ، ولإعادة استخدام الترمومتر يعاد المؤشر إلى وضعه بإمالة البصيلة قليلاً إلى أعلى . وأخيراً فإنه يوجد قسم من الترمومترات المسجلة يجمع بين النوعين المسجلين السابقين فيعطى أقصى وأدنى درجة ويعرف باسم ترمومتر «سكس» وهو على شكل حرف u وله مؤشران أحدهما لأقصى درجة حرارة والآخر لأدنى درجة حرارة .

مواد صنع الترمومترات الزجاجية :

الزجاج : تختار المواد التى تصنع منها الترمومترات بحيث تعطى أفضل خصائص فى الأداء ، ويراعى أن تكون مادة البصيلة متوافقة مع مادة الساق بحيث يمكن وصلها معاً بوصلة قوية ، ويجب ألا تطرى مادتاهما ، ولا تكون زائدة الهشاشية فى مدى درجات الحرارة الخاص بالترمومتر . ويجب أن يكون تكوين البصيلة بصفة خاصة بحيث تصل إلى الاستقرار البعدى بالمعالجة الحرارية أما المادة التى يصنع منها ساق الترمومتر فيجب أن تكون طيعة قابلة للسحب حتى يمكن تحويلها إلى أنبوبة شعرية مع المحافظة على

انتظام مقطعها بدرجة كبيرة .

ويتوقف مدى الترمومتر الزجاجى على نوع الزجاج والسائل . ويوضح الجدول رقم (١) الحد الأعلى الآمن لعدد من أنواع الزجاج المستخدمة فى صناعة الترمومترات .

السوائل : يجب أن تكون السوائل عالية النقاوة لضمان ثبات تمددها . وفى الحالة المثالية لا يبلل السائل جدران الأنبوبة ويتصف الزئبق وسبائكه مع الثاليوم بهذه الصفة .

الجدول رقم (١)

الحد الأعلى للدرجات الحرارة لأنواع الزجاج المستخدم فى الترمومترات

المـــادة	الحـد الأعلى لدرجة الحرارة	
	عند التعرض المستمر درجة مئوية	عند التعرض المتقطع درجة مئوية
زجاج كورننج ٧٥٦٠	٣٧٠	٤٣٠
زجاج كمبل	٣٦٠	٤٢٠
يينا ١٦ ٣	٣٦٥	٤٢٥
كورننج بوروسيليكات ٨٨٠٠	٤٠٠	٤٦٠
يينو بوروسيليكات ٢٩٥٤	٤٢٠	٤٨٠
كورننج ١٧٢٠	٥٤٠	٦٠٠
يينا سوبر ماكس ٢٩٥٥	٥٣٥	٥٩٥

وإذا استخدم سائل عضوى فيجب اختيار السائل بحيث يبلل الحدران بانتظام وبأقل قدر ممكن من إمساك الأغشية عندما تنزل درجة الحرارة ، ويجب أن تكون السوائل مستقرة كيميائيًا بحيث يسهل تلوينها بالصبغات الخفيفة الثابتة . ويوضح الجدول رقم (٢) مدى درجات حرارة التشغيل للسوائل شائعة الاستخدام :

الجدول رقم (٢)

مدى درجات حرارة التشغيل للسوائل شائعة الاستخدام

المـــــادة	المدى (°م)
زئبق	– ٣٩ إلى ٦٢٠
زئبق / ثاليوم	– ٤٨ إلى ١٢١
سوائل عضوية	– ٢٠٠ إلى ٢٣٢

الغازات :

عند استعمال غاز فوق السائل فإنه يجب أن يكون خاملا بالنسبة لهذا السائل فلا يتفاعل معه . والنيتروجين وثانى أكسيد الكربون غازان شائعاً لاستخدام لهذا الغرض . وعادة يستعمل الهيدروجين مع سبائك الزئبق الثاليوم . ويعتبر الهواء غازاً خاملاً بدرجة كافية بالنسبة للسوائل العضوية ويجب أن يكون ضغط الغاز عالياً بحيث يكفى لتقليل تبخر السائل إلى أدنى قدر ممكن عند أية درجة حرارة واقعة فى مدى استعمال الترمومتر .

المعادن :

تستخدم معادن مختلفة فى صنع البصيلات وأكثر المعادن شيوعاً فى الاستخدام

الصلب والصلب الذى لا يصدأ والنحاس . كما يستخدم النحاس والألومنيوم فى صنع الغلاف . وتحتوى بصيلة الترمومتر عادة على وسط ناقل للحرارة مثل الزئبق . وتراب (مسحوق) النحاس والجرافيت والفضة . ويتوقف اختيار أى منها على مدى قياس الترمومتر ونوع مادة البصيلة .

خصائص الترمومترات :

تعتمد حساسية الترمومترات الزجاجية على مساحة مقطع الأنبوبة الشعرية وعلى النسبة بين هذه المساحة وحجم البصيلة . أما ضباطة القياسات المأخوذة بواسطة الترمومترات السائلية فإنها تعتمد على تصميمها ، والظروف التى تجرى فيها هذه القياسات بالإضافة إلى العناية المبذولة فى أخذ القراءات . وتعتمد دقة القياسات أيضاً على نفس العوامل التى تؤثر فى الضباطة بالإضافة إلى دقة معايرة الترمومتر . وتكون دقة معايرة الترمومتر بالنسبة للأنواع جيدة التصميم . دالة لكل من المدى وأصغر قسم بالتدريج .

الاعتبارات الأساسية عند استعمال الترمومترات الزجاجية السائلية :

يراعى أخذ ما يلى فى الاعتبار عند استعمال ترمومترات زجاجية سائلية لقياس درجة حرارة وسط ما :

(ا) أن يكون المكان الذى توضع فيه بصيلة الترمومتر بحيث تكون درجة الحرارة فيه ممثلة للمعلومات المطلوبة . وأن يوضع الترمومتر بالكيفية التى تضمن أنه (أى الترمومتر) سوف يأخذ درجة حرارة الوسط . ويتم الانتظار فترة كافية لضمان وصول الترمومتر إلى درجة حرارة الوسط المقيس .

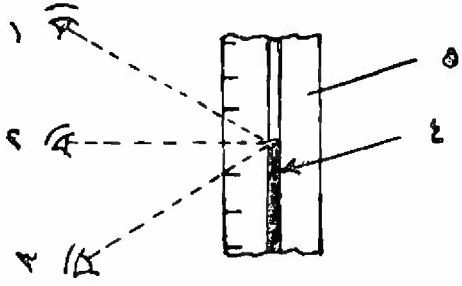
(ب) يختار الترمومتر المناسب فى ضوء ما يلى :

- المدى وأقل قسم بالتدرج .

- نوع الغمر (كلى أو جزئى أو تام)
- الحساسية . وزمن استجابة الترمومتر لأى تغير فى درجة الحرارة .
- شكل الترمومتر المطلوب .
- إذا لزم استعمال حيب فيجب أن تكون نادته وشكله ومقاسه مناسبة .
- يجب أن يكون للترمومتر القدرة على إعطاء النتائج بالدقة المطلوبة وليس أفضل منها كثيراً . ولذلك يجب معايرته من وقت لآخر .

(ج) يركب الترمومتر بطريقة مناسبة وتؤخذ القراءات بعناية شديدة مع تجنب ما يلى :

- وجود مصادر الحرارة أو البرودة بالقرب من الترمومتر لدرجة أنها تؤثر على بياناته .
- الوقوع فى خطأ اختلاف موضع الرصد . ويوضح الشكل رقم (٧) تأثير أخذ قراءة الترمومتر من موضع خاطئ . . فعندما يرصد الترمومتر من الوضع (١) بالشكل رقم



الشكل رقم (٧)

أخطاء اختلاف الموضع

(١) وضع خاطئ يعطى قراءة عالية

(٢) وضع صحيح

(٣) وضع خاطئ يعطى قراءة منخفضة

(٤) رئق

(٥) أسوة شعرية

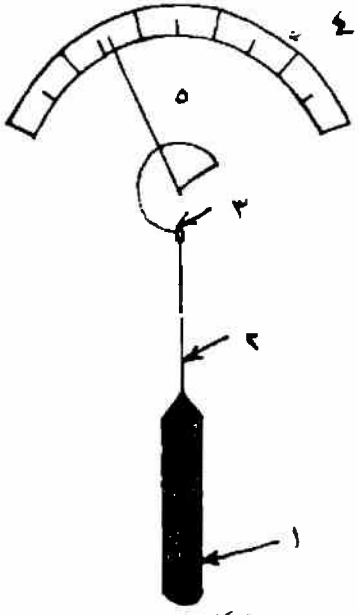
(٧) تكون القراءة عالية ، وعند الرصد من الوضع (٢) تكون . . القراءة صحيحة ، أما من الوضع (٣) فإن القراءة تكون منخفضة .

* الإضاءة غير المناسبة .

٢/٢/٤/٣ الترمومترات المعدنية :

(١) ترمومترات الصلب (زئبق فى صلب)

تعمل ترمومترات الصلب على نفس المبدأ الذى تعمل على أساسه الترمومترات



الشكل رقم (٨)

ترمومتر زئبق فى صلب .

(١) بصيلة صلب مملوءة بالزئبق .

(٢) أنبوبة شعرية مملوءة بالزئبق .

(٣) أنبوبة «بوردون» مملوءة بالزئبق .

(٤) تدريج .

(٥) مؤشر .

الزجاجية ، غير أن البصيلة فى ترمومترات الصلب تكون من الصلب وتكون الأنبوبة الشعرية من الصلب الذى لا يصدأ (شكل رقم ٨) ويستعمل الزئبق كمادة ترمومترية ، وبطبيعة الحال فإنه لا يمكن رؤية الزئبق بالأنبوبة الشعرية ، لذلك توصل الأنبوبة الشعرية بأنبوبة بوردون لقياس التغير فى الحجم ، وتملأ البصيلة والأنبوبة الشعرية وأنبوبة بوردون جميعاً بالزئبق ، ويكون ذلك فى العادة عند ضغط عال ، ويمكن بالتصميم المناسب أن نكون الأنبوبة الشعرية ذات طول كبير بحيث يكون مين الترمومتر ، المشغل بواسطة أنبوبة بوردون ، واقعاً على بعد مناسب من البصيلة . وفى هذه الحالة يوصف هذا الترمومتر بأنه « ترمومتر للقراءة عن بعد » .

وعندما ترتفع درجة الحرارة يتمدد الزئبق الموجود فى البصيلة أكثر من تمدد البصيلة ذاتها فيدفع الزئبق خلال الأنبوبة الشعرية إلى داخل أنبوبة بوردون ، ومع استمرار الزيادة فى درجة الحرارة فإن كميات أخرى من الزئبق تدفع إلى أنبوبة بوردون فيقل انحناؤها ، وبما أن أحد طرفى أنبوبة بوردون مثبت فإن الطرف الآخر هو الذى يتحرك وتنقل حركته إلى مؤشر أو ذراع مركب فى نهايته ريشة . وبما أن القوة المتاحة تكون كبيرة ، فإن أنبوبة بوردون يمكن صناعتها من مادة متينة بحيث تعطى تحكماً جيداً فى المؤشر ، وقراءات يعول عليها .

وتوجد من هذا النوع من الترمومترات أشكال مختلفة إذ أن أنبوبة بوردون قد تكون كما بالشكل رقم (٨) أو بأشكال مختلفة أخرى . فهى قد تكون مثلا على هيئة أنبوبة مفلطحة تقريباً وملفوفة على هيئة ملفين يتكون كل منهما من عدة لفات ، والملفان مرتبان بحيث يقع أحدهما خلف الآخر وبحيث يكون الطرف الحر لها فى المركز وتكون اللفة الأخيرة مشتركة بينهما . وأحد طرفى الأنبوبة المتصلة (الطرف الداخلى للملف الخلفى) مثبت ، ويتصل بالأنبوبة الشعرية ، والطرف الآخر (الطرف الداخلى للملف الأمامى) مغلق ويتصل بالمؤشر عن طريق ملف آخر صغير ثنائى المعدن يشكل استمراراً لأنبوبة بوردون . وهذا الملف ثنائى المعدن يعوض التغييرات الناتجة بسبب تغير درجة الحرارة فى كل من خصائص المرونة لأنبوبة بوردون وفى حجم الزئبق .

وبالإضافة إلى تنوع أشكال أنابيب بوردون فإن البصيلات أيضاً ذات أشكال متنوعة تناسب التطبيقات الصناعية المختلفة . وقد تكون البصيلة عبارة عن أنبوبة طويلة نسبيًا وذات مقطع صغير وعلى شكل u أو ملفوفة على شكل حلزون . وقد وجد بالتجربة أن الشكل الحلزونى مناسب ومفيد جدًّا لقياس درجة حرارة الغاز ، ذلك أن مساحة سطحها كبيرة ، وبالتالى تكون أكثر استجابة عن الأشكال الأخرى ذات المساحة السطحية الأقل .

وقد تكون البصيلة أسطوانية الشكل وذات جدار متين . ويعتمد مقاس هذه الأسطوانة على عدة عوامل منها نوع المادة الترمومترية ومدى القياس المطلوب ، غير أنه فى جميع الأحوال تتم المحافظة على أن تكون نسبة مساحة السطح إلى حجم البصيلة عند أكثر قيمة لها . حتى تقلل التخلف الزمنى فى استجابة الترمومتر .

وقد تقتضى بعض التطبيقات الصناعية أن توضع بصيلة الترمومتر داخل جيب واق كما يحدث فى حالة قياس درجة حرارة سائل ضغطه أكبر من الضغط الجوى ، مما يخشى معه أن تتعرض البصيلة لهذا الضغط . لذلك يستخدم جيب واق يتيح أيضاً إمكانية تغيير البصيلة دون حاجة لإقفال المنظمة الصناعية التى يتم قياس درجة حرارة السائل بها . وتختار مادة الجيب الواقى بحيث تناسب ظروف الاستخدام ، فمثلاً عندما توجد ظروف مسببة للصدأ ، فإنه يتم اختيار مادة الجيب بحيث تقاوم الصدأ ، وقد يتم بالإضافة إلى ذلك تغطية الجيب بطبقة (من الخارج) لتعطيه حماية أكبر ضد التآكل والصدأ . ويغطى الجيب بغلاف من الرصاص عندما يوجد حمض كبريتيك . أما فى الحالات الأخرى فيمكن تغطية الجيب بالزجاج .

ويترتب على استعمال جيب وقاية أن تقل استجابة الترمومتر لأى تغيير فى درجة الحرارة ، ويمكن تقليل تأثير الجيب ، فى خفض الاستجابة ، إلى الحد الأدنى بتقليل الخلوص بين البصيلة والجيب إلى أدنى حد ممكن مع ملء هذا الحيز بالزيت أو بالزئبق أو ببودرة أحد المعادن أو الكربون . ولا يستخدم الزئبق إلا فى الحالة التى يكون فيها الجيب

والبصيلة من الصلب أو سبيكة لا يحدث إلغام لها بالزئبق ، ويجب مراعاة أن الزيت عند استخدامه لمدد طويلة يتبخر أو يتكسر إلى شمع .

وتوجد طريقة فعالة لزيادة معدل الانتقال الحرارى بين الجيب والبصيلة وهى استخدام كم ألومنيوم (جلبة) مموج يتم إدخاله فيما بين البصيلة والجيب بالإضافة إلى إدخال بصيلة داخل الجيب بدرجة كافية لخفض الأخطاء التى قد تنتج عن الحرارة الموصلة من الجيب إلى الخارج ، وما يتبع ذلك من خفض درجة الحرارة عند البصيلة . وبلسبب نفسه يجب أن يكون الجيب مغموراً غمراً جيداً فى المائع الذى تقاس درجة حرارته .

ويجب مراعاة أنه كلما زاد طول الأنبوبة الشعرية كان تأثير درجة حرارة الوسط المحيط أكبر ، وبالتالى يزداد الخطأ فى قراءات الترمومتر ، لهذا يلزم تعويض التأثيرات التى تنشأ فى الأنبوبة الشعرية نتيجة تغييرات درجة الحرارة المحيطة . ويمكن إجراء هذا التعويض بعدة طرق ، إحداها باستخدام أنبوبة شعرية كبيرة المقطع نسبيًا بداخلها سلك من الأنفار أو أية سبيكة ذات معامل تمدد منخفض بحيث يمكن إهماله على أن يتم وضع السلك بحيث يملأ خمسة أسداس حجم الأنبوبة الشعرية ، وفى هذه الحالة تكون الزيادة فى حجم الزئبق بالأنبوبة الشعرية الذى يملأ سدسها مساوياً بالضبط لزيادة الحجم فى الأنبوبة ذاتها ، أى يعوضه تماماً .

وتوجد ترمومترات من هذا النوع تملأ بالزايلين أو الأكسلين أو الكحول أو الأثير أو مواد عضوية أخرى ، وذلك لأنها تكون أصلح من الزئبق لقياس درجات الحرارة المنخفضة . فالترمومترات من هذا النوع التى تحتوى الزئبق تكون صالحة لقياس درجات الحرارة فى المدى من – ٣٩ إلى ٦٥٠°م بينما الترمومتر المملوء بالكحول مثلاً يصلح لقياس درجات الحرارة فى المدى من- ٤٦ إلى ١٥٠°م .

٣/٤/٣ تمدد الغازات :

١/٣/٤/٣ ترمومترات الغاز :

تعمل ترمومترات الغاز على أساس أنه إذا وضعت كمية من غاز خامل فى بصيلة وأنبوبة شعرية وأنبوبة بوردون وظل حجمها ثابتاً ، وكان معظم الغاز فى البصيلة . فإن بيان الضغط فى أنبوبة «بوردون» يمكن اتخاذه مقياساً لدرجة الحرارة ، نظراً لأنه عند ثبات حجم الغاز فإن الزيادة فى الضغط تتناسب مع الزيادة فى درجة الحرارة المسببة له .

ويستخدم الترمومتر الغازى لقياس درجات الحرارة فى الأعمال التى تتطلب دقة عالية فى المختبرات . وكذلك استجابة سريعة بشرط استخدام طريقة مناسبة لتعويض تأثير درجة الحرارة الوسط على الأنبوبة الشعرية .

٥/٣ ترمومترات تغير الحالة :

١/٥/٣ ترمومترات ضغط البخار :

تعمل ترمومترات ضغط البخار على أساس ضغط البخار (ض) للمادة النقية القابلة للتطاير يرتبط بدرجة الحرارة المطلقة د بالعلاقة التالية :

$$\text{لوض} = أ - \frac{ب}{د}$$

حيث أ ، ب ثابتان .

وتستخدم ترمومترات ضغط البخار على نطاق واسع لأنها رخيصة الثمن عن ترمومترات زئبق فى صلب فضلاً عن أنها لا تتأثر بدرجات الحرارة المحيطة ، ولا تحتاج لبصيلة كبيرة مثل الأنواع الأخرى ، ويمكن استعمال مادة ترمومترية لهذه الترمومترات من بين عدد كبير من المواد منها الماء (للمدى من ١٢٠ – ٢٢٠°م) وكلوريد المثيل (للمدى من صفر إلى ٥٠°م) والكحول الإثيلى (للمدى من ٣٠ – ١٨٠°) إلخ .

٢/٥/٣ المخروطات البيرومترية :

تتغير حالة المواد فى ظروف محددة من النقاء والضغط عند درجات حرارة ثابتة . وقد استفيد من هذه الحقيقة فى الحصول على درجات حرارة ثابتة وأيضاً لبناء مقياس لدرجة الحرارة . فمثلاً نقط الانصهار للمعادن توفر طريقة لتحديد القوة الدافعة الكهربائية لمزدوجة حرارية عند نقاط ثابتة على المقياس الدولى العملى لدرجات الحرارة . وأيضاً فإن نقط انصهار مواد معدنية معينة تستخدم على نطاق واسع فى صناعة الخزف والحراريات لتعيين درجة حرارة الأفران . وقد صنعت أهرامات من مخلوطات سيليكات معدنية مثل الصلصال الصينى (سليكات ألومنيوم) ، والتلك (سيليكات مغنسيوم) والفلسبار (سيليكات ألومنيوم صوديومى) ، الكوارتز (سيليكا) . . . إلخ وغيرها من المواد المعدنية مثل كربونات الكالسيوم .

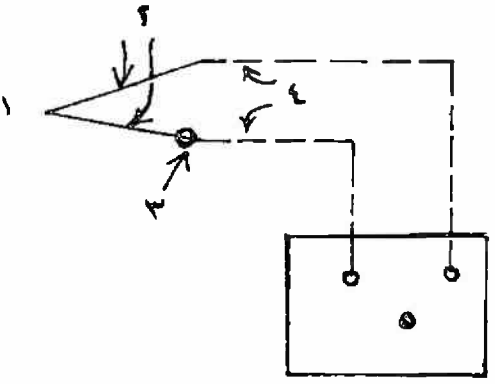
وتعرف هذه المخروطات بمخروطات «سيجير» . ويمكن عن طريق تغيير تركيب هذه المواد تغطية مدى درجات الحرارة بين ٦٠٠ ، ٢٠٠٠م على خطوات مناسبة . وتوضع مجموعة من المخروطات فى الفرن ، وكلما وصلت درجة الحرارة إلى درجة انصهار إحداها فإنها تنصهر . وعندما يظهر لنا أن أحدها بدأ الانحناء ، دون الانصهار ، فإن ذلك يكون دليلاً على أن درجة حرارة الفرن تساوى درجة إنصهار هذا المخروط . ويمكن التأكد من ذلك بملاحظة المخروط الذى يليه فى درجة الانصهار مباشرة الذى سنجد أنه لم ينصهر ويجب التنبه إلى أن المخروطات ليست وسائل لقياس درجة الحرارة ، ولكنها مؤشرات للتأثيرات التراكمية للمعالجة الحرارية للمواد الخزفية المتشابهة أثناء حرقها :

وبالإضافة إلى المخروطات ، فإنه توجد أيضاً مخلوطات معدنية على هيئة طباشير وطلاءات وأقراص ، تنصهر عند درجات حرارة محددة . ويستدل على درجات حرارة بين ٤٥ ، ١٣٧٠م باستعمال مجموعة من أحد الأشكال السابقة . وعند ما تتساوى درجة حرارة الجسم مع درجة انصهار قطعة طباشير أو قرص مثلا فإنه يلاحظ حدوث ترطيب لها ثم انصهارها .

٦/٣ الطرق الكهربائية لقياس درجة الحرارة :

١/٦/٣ ترمومترات المزدوجات الحرارية :

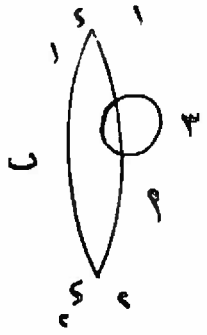
ترمومتر المزدوجة الحرارية عبارة عن نظام لقياس درجه الحرارة يتكون من عنصر حساس لدرجة الحرارة يعطى قوة دافعة كهربائية (ق . د . ك) يسمى المزدوجة الحرارية ، ووسيلة تحس القوة الدافعة الكهربائية الناتجة من المزدوجة وتشمل تدريجاً لتحويل هذه القوة الدافعة الكهربائية إلى ما يناظرها من درجات الحرارة ، وموصلات كهربائية للوصل بين الاثنين (شكل رقم٩) .



الشكل رقم (٩)

(١) الوصلة الساخنة (وصلة القياس)
(٢) أسلاك الإرتواج .
(٣) الوصلة المرجعية .
(٤) أسلاك تطويل .
(٥) جهاز قياس الجهد (القوة الدافعة الكهربائية) .

وتتكون المزدوجة الحرارية من زوج من الموصلات الكهربائية (العناصر الحرارية) معزولين عن بعضهما فيما عدا عند الوصلتين التى تتكون كل منهما بوصل طرف أحد العناصر الحرارية بطرف العنصر الثانى وإحدى الوصلتين تسمى وصلة القياس أو الوصلة الساخنة وهى التى تعرض لدرجة الحرارة المطلوب قياسها ، أما الثانية فتسمى الوصلة المرجعية أو الوصلة الباردة وهى التى تعرض لدرجة حرارة معلومة مثل الصفر المئوى وإذا كان لدينا مزدوجة حرارية ، ووضعت وصلة القياس فى درجة الحرارة د ووضعت الوصلة المرجعية فى وسط درجة حرارته د كما هو موضح بالشكل (١٠) وكانت د تختلف عن د ، فإنه سوف تتولد قوة دافعة كهربائية فى الدائرة يمكن كشفها وقياسها بواسطة ملى فلطمتر مثلاً ، وتتوقف هذه القوة الكهربائية على الفرق د – د ، نوع مادتى الوصلتين .



الشكل رقم (١٠)

دائرة بسيطة لازدواج حرارى .(١) وصلة مرجعية عند درجة حرارة د١ .
(٢) وصلة القياس عند درجة حرارة د٢
(٣) جهاز قياس القوة الدافعة الكهربائية .
أ ، ب سلكا المزدوجة .

وعلى هذا فإنه بقياس القوة الدافعة الكهربائية يمكن قياس الفرق د١ د فإذا كانت د٢ معلومة لدينا ، لأمكن معرفة د١ .

ونظراً لأن القوة الدافعة الكهربائية التى تنتج فى معظم قياسات درجة الحرارة تكون حوالى ١٠ إلى ٥٠ ملى فولت ، لذا فإنه يلزم دائما استخدام أجهزة قياس حساسة مناسبة لتحويل هذه الجهود المنخفضة إلى ما يكافئها من درجات الحرارة . ويمكن قياس القوة الدافعة الكهربائية باستخدام ملى فولتمتر ذى ممانعة عالية ، وخلية قياسية أو مصدر جهد منخفض مستقر جداً .

وقد استخدمت لقياس القوة الدافعة الكهربائية حديثاً مقاييس جهد (بوتنشيمترات) حديثة تتوازن تلقائياً بواسطة مصادر قدرة منتظمة بصمام زينر الثنائى ومقاومات تعويض من النيكل أو النحاس الحساس لدرجة الحرارة بدقة عالية ، مما جعل بالإمكان قياس درجة الحرارة بدقة دون حاجة إلى حمام ثلج أو للموازنة اليدوية لدائرة القنطرة .

١/١/٦/٣ أنواع المزدوجات الحرارية :

يوجد نوعان من المزدوجات أولها المزدوجات المصنوعة من المواد النفيسة وثانيهما المزدوجات المصنوعة من المواد غير النفيسة . ويستخدم النوع الأول فى كثير من الصناعات وأكثرها شيوعاً مزدوجة بلاتين - بلاتين/روديوم الذى يستعمل فى التحكم فى الأفران فى صناعات الصلب وأشباه الموصلات وغيرها . ويمكن استخدام مزدوجات النوع الأول لقياس درجات الحرارة حتى ١٥٠٠م بصفة مستمرة وحتى ١٦٥٠م بصفة متقطعة ، ويوضح الجدول رقم (٣) المزدوجات الحرارية الشائعة الاستخدام فى الصناعة والمدى الموصى به لاستخدامها .

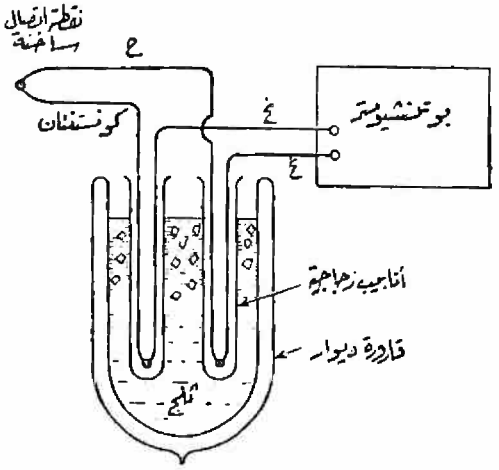
الجدول رقم (٣)
أنواع المزدوجات الشائعة فى القياسات الصناعية ومداها

المزدوجة الحرارية		المدى (°م)
العنصر الموجب	العنصر السالب	
كرومل	كونستنتان	— ١٥٠ إلى ٨٧٠
حديد	كونستنتان	— ١٥٠ إلى ٧٦٠
كروميل	الومنيل	— ١٥٠ إلى ١٢٦٠
بلاتين ١٠ ٪ روديوم	بلاتين	صفر إلى ١٥٠٠
بلاتين ١٣ ٪ روديوم	بلاتين	صفر إلى ١٥٠٠
نحاس	كونستنتان	— ١٥٠ إلى ٣٤٠

وفى الأعمال التى تتطلب دقة كبيرة جرت الخبرة على جعل نقطة الاتصال الباردة عند درجة حرارة الثلج ويكون التوصيل كما فى شكل (١١) الذين يبين توصيلات مزدوج حرارى من معدنى الحديد والكنستنتان .

وفى مزدوجات النحاس والكونستنتان يلزم وضع نقطة واحدة فقط فى الثلج ثم توصل السيخان النحاسية للمزدوجات الحرارية بواسطة مفتاح أحادى القطب . مصنوع من النحاس . وخالى من القوة الدافعة الكهربائية .

ويوضح الشكل رقم (١١) وصلة ملحومة ، ولعمل مثل هذه الوصلة فإن السلكين يعريان ثم ينظمان بقطعة من قماش السنفرة الدقيقة (قماش تنعيم) ، ثم يفتلان (يجدلان)



شكل رقم (١١)

ويغمسان فى محلول تيتراكلوريد الكربون ثم يلحم السلكان معاً باستخدام اللهب إذا كانت مادة اللحام هى الفضة أو مكواه كهربائية إذا كانت مادة اللحام سبيكة رصاص - قصدير . ويراعى أن استخدام اللهب فى لحام أسلاك من البلاتين أو من سبائكه أو من الألوميل قد ينتج عنه عدم التجانس والهشاشية فى الأسلاك ، لذ يفضل بالنسبة لهذه المواد استخدام طريقة الصهر الكهربائى لتكوين الوصلات المطلوبة .

٣/٦/١/٢ أسلاك التوصيل وأسلاك التمديد :

عند استخدام المزدوجة الحرارية فى دائرة قياس فإنه يتم استخدام زوجين من الموصلات الكهربائية لتوصيلها بأداة أو جهاز القياس المستخدم لقياس القوة الدافعة الكهربائية . وفى العادة يكون السلكان من النحاس عندما تكون الوصلة لمرجعية للمزدوجة فى وسط درجة حرارته هى الصفر المئوى .

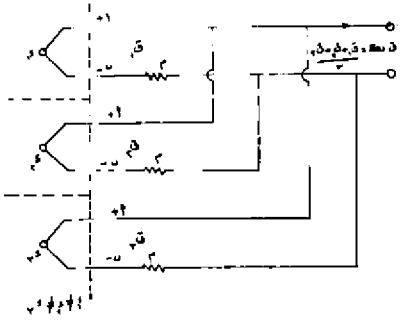
وعندما يكون جهاز القياس المستخدم مع المزدوجة الحرارية ليس مجاوراً لها أو قريباً

منها ، فإنه يكون من الضرورى توصيل الوصلة الباردة (المرجعية) للمزدوجة بواسطة سلك تمديد (تطويل) مع الجهاز . وهذا السلك يجب أن يكون ذا خصائص مشابهة لخصائص الأسلاك المكونة المزدوجة ، وإلا فإن استعمال أسلاك تمديد مختلفة الخصائص سيكون بمثابة إدخال مزدوجات إضافية جديدة فى دائرة المزدوجة المستخدمة فى القياس . وفى العادة تكون أسلاك التمديد من نفس أسلاك المزدوجة إذا كانت المواد من غير المعادن النفيسة ، أما إذا كانت المواد المصنوع منها المزدوجة من المعادن النفيسة فإنه لا يمكن استخدام نفس المواد فى أسلاك التمديد نظراً لأن ذلك يكلف كثيراً ، ولهذا تستخدم أسلاك من معادن ذات خصائص كهربائية حرارية مشابهة لمواد المزدوجة . وبصفة عامة فإن أسلاك التطويل (التمديد) تكون غليظة القطر نسبيًّا (لتكون مقاومتها صغيرة) غير أن ذلك يجعلها غير ملائمة للربط بأطراف التوصيل مباشرة ، وإنما يتم توصيلها بصندوق وصلات . وإذا تم التحكم حراريًّا فى درجة هذا الصندوق فإنه يمكن التوصيل من صندوق الوصلات إلى أجهزة القياس بواسطة أسلاك من النحاس لأننا بذلك نكون قد أدخلنا وصلة باردة (مرجعية) ذات درجة حرارة ثابتة .

٣/١/٦/٣ استخدامات المزدوجات :

لا يقتصر استخدام المزدوجات لقياس درجة الحرارة فى نقطة واحدة من الوسط فقط ، ولكن يمكن توصيلها على التوازى لقياس درجة الحرارة المتوسطة فى منطقة من الوسط (الشكل رقم ١٢)ويتم التوصيل على التوازى لمجموعة من المزدوجات بتوصيل العناصر الموجبة لها إلى سلك توصيل واحدوكذلك توصيل العناصر السالبة إلى سلك توصيل آخر أيضا . ولتقليل المقاومات غير المتشابهة وأسلاك التوصيل الخاصة بها إلى نقطة الاتصال المتوازى فى جهاز القياس فإنه تستخدم مقاومة م على التوالى مع كل مزدوجة حرارية .وهذه المقاومة تمنع تدفق التيار فيما بين المزدوجات ، وبذلك تمنع حدوث خطأ فى القياس ويتم اختيار هذه المقاومة بحيث تكون قيمتها كبيرة بالنسبة إلى

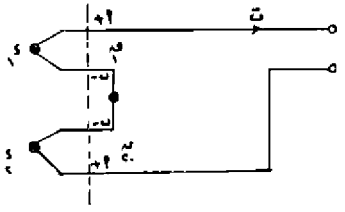
المقاومة الإجمالية للدائرة وإلى التغييرات التى تحدث فى مقاومات المزدوجات الحرارية ، نتيجة تغيير درجة الحرارة ، وتكون هذه المقاومة فى العادة ٥٠٠ ٢٠٠٠ أوم .



شكل رقم (١٢)

تستخدم الإزدواجات على التوازى لقياس درجات الحرارة المتوسطة

ويمكن استخدام المزدوجات أيضاً لقياس فروق درجات الحرارة بتوصيلها على التوالى مع عكس الأقطاب (الشكل رقم ١٣) ، ويراعى فى حالتى استخدام دوائر المزدوجات على التوالى أو التوازى أن تكون هذه المزدوجات ذات خصائص خطية .



الشكل رقم (١٣)

استخدام مزدوجتين لقياس فروق درجات الحرارة د ١ د ٢ بعكس الأقطاب .

جيوب واقية تسمح بإخراج المزدوجة دون غلق أو تعطيل العملية الصناعية .

ويمكن الإستدلال من الجدول رقم ٣ على مدى درجات الحرارة ، لكل مزدوجة حرارية ، والذى تكون فيه العلاقة خطية بين القوة الدافعة الكهربائية ودرجة الحرارة . أى يمكن تمثيلها بخط مستقيم .

٣/٦/١/٤ وقاية المزدوجة الحرارية من الضوضاء :

فى السابق كانت القوة الدافعة الكهربائية التى تنتجها المزدوجات تقاس بواسطة ملى فولطمترات . ومقاييس جهد ذات معاوقة منخفضة. ولذلك لم تكن قراءتها تتأثر تأثيراً كبيراً بالضوضاء . أما الآن وبعد أن أصبحت أجهزة القياس أكثر تعقيداً وحساسية فإن الدوائر الكهربائية المستخدمة ذات معاوقة عالية . وبصفة عامة فإنه كلما كان مستوى الجهد منخفضاً والمعاوقة عالية فى دائرة القياس زادت درجة تأثرها بجميع أنواع الضوضاء سواء كانت استاتيكية أو مغناطيسية .

وتنتج الضوضاء الاستاتيكية عن المجال الكهربائى المشع من مصدر جهد مقرون سعويًا مع دائرة المزدوجة الحرارية . وأكثر الطرق فاعلية للتخلص من هذا النوع من الضوضاء هو وضع دائرة المزدوجة داخل حجاب يغطيها بأكملها . ويعزل سلكا التوصيل الخاصان بالمزدوجة من التأثيرات الخارجية ، ويقوم هذا الحجاب المتصل بالأرض باعتراض التداخلات الاستاتيكية وإرسالها إلى الأرض . ويراعى هنا أن الحجاب لن تكون له أية فائدة إذا لم يوصل بالأرض .

أما الضوضاء المغناطيسية فتنتج من التيارات الكهربائية المتدفقة عبر الموصلات والمعدات الكهربائية كالمحركات والمولدات ، وذلك لأن التيار الكهربائى المتدفق يشع مجالا مغناطيسيًا حوله . وعندما يمر المجال المغناطيسى فى الحيز الواقع فيما بين الموصلات بدائرة المزدوجة الحرارية ، فإنه ينشئ تياراً فى تلك الدائرة . وهذا يؤدى إلى وجود ضوضاء تتراكب فوق الإشارة بدائرة المزدوجة الحرارية ، وهذا يؤدى بالتالى إلى حدوث خطأ فى نتيجة القياس . ويمكن تقليل تأثير الضوضاء المغناطيسية باستخدام أسلاك توصيل مجدولة لأنها تؤدى إلى إلغاء هذه الضوضاء فى الأجزاء المجاورة لها . وهذه الطريقة لا تكلف شيئاً .

٣/٦/١/٥ خصائص المزدوجات الحرارية :

يعتمد الحد الأقصى لدرجات الحرارة بالنسبة للمزدوجات على مقاسات الأسلاك المكونة منها ، وعلى نوع الوسط المحيط بها أثناء استعمالها من حيث كون الوسط يقيها من الصدأ والتلوث أو غير ذلك . ويوضح الجدول رقم (٤) الحدود القصوى الموصى بها لدرجات الحرارة للمزدوجات المستخدمة فى القياس فى ظروف محيطة تقيها من التآكل والتلوث والحد الأقصى لمقاسات أسلاكها .

الجدول رقم (٤)

الحدود القصوى الموصى بها لدرجات الحرارة التى تستخدم فيها المزدوجات الموضوعة فى أجواء تقيها من التآكل والتلوث ، الحد الأقصى لمقاس أسلاك هذه المزدوجات

نوع المزدوجة الحرارية	الحد الأقصى لمقاسات الأسلاك (بالمليمتر)			
	٣,٢٥ م°	١,٦٣ م°	٠,٨١ م°	٠,٣٣ م°
نحاس كونستنتان	-	٣٧١	٢٦٠	٢٠٤
حديد كونستنتان	٧٦٠	٥٩٣	٤٨٢	٣٧١
كروميل - كونستنتان	٨٧١	٦٤٩	٥٣٨	٤٢٧
كروميل - ألوميل ١٠٪	١٢٦٠	١٠٩٣	٩٨٢	٨٧١
بلاتين (١٣٪ روديوم) بلاتين			-	١٤٨٢
بلاتين (٣٠٪ روديوم)				
بلاتين (٦٪ روديوم)				١٧٠٥

كما يوضح الجدول رقم (٥) حدود الخطأ للمزدوجات ، وأسلاك التمديد بالنسبة لمقاسات الأسلاك القياسية :

الجدول رقم (٥)

نوع المزدوجة	المدى °م	حدود الخطأ °م	نوع سلك التمديد	المدى °م	حدود الخطأ °م
نحاس - كونستنتان	- ١٨٤ إلى - ٥٩	-	نحاس - كونستنتان	- ١٦٩ إلى + ٩٣	± ٠,٨
	- ١٠١ إلى - ٥٩				
	- ٥٩ إلى + ٩٣	± ٠,٨ م			
	+ ٩٣ إلى + ٣٧١	± ٣/٤			
حديد كونستنتان	٠ إلى ٢٧٧	± ٢,٢ م	حديد كونستنتان	٠ إلى ٢٠٤	± ٢,٢
	٢٧٧ إلى ٧٦٠	± ٣/٤			
كروميل - كونستنتان	٠ إلى ٣١٦	± ١,٧ م	كروميل كونستنتان	٠ إلى ٢٠٤	± ١,٧
	٣١٦ إلى ٧٦٠	± ١/٢			
كروميل - ألوميل	٠ إلى ٢٧٧	± ٢,٢ م	كروميل ألوميل	٠ إلى ٢٠٤	± ٢,٢
	٢٧٧ إلى ١٢٦٠	± ٣/٤			
بلاتين - بلاتين (١٣ ٪	٠ إلى ٥٣٨	± ١,٤ م			
أو ١٠ ٪ روديوم)	٥٣٨ إلى ١٤٨٢	± ١/٤			
بلاتين - بلاتين (٣٠ ٪	٨٧١ إلى ١٧٠٥	± ١/٢			
روديوم أو ٦ ٪ روديوم)					

وتعتمد ضباطة القياسات التى يمكن الحصول عليها بواسطة المزدوجات بصفة رئيسية على مدى درجة الحرارة وعلى الأسلوب الفنى المتبع . ويتوقف زمن استجابة المزدوجة الحرارية للتغير فى درجة الحرارة على كتلة الوصلة الحساسة لدرجة الحرارة ، وشكلها الهندسى ، وطريقة أو طرق انتقال الحرارة بين الوصلة والوسط المحيط بها . وتزداد سرعة الاستجابة بازدياد النسبة بين مساحة سطح الوصلة إلى كتلتها وذلك عند ثبات ظروف انتقال الحرارة ، وعندما يوضع الازدواج داخل جيب أو غطاء واق فإن استجابته تعتمد على تأثير انتقال الحرارة من الوسط إلى الجيب أو الغلاف ثم من الجيب إلى الوصلة .

وتتغير حساسية المزدوجة الحرارية إلى حد ما بتغير درجة الحرارة ، ويعبر عن الحساسية بمعدل تغير القوة الدافعة الكهربائية بالنسبة للتغير فى درجة الحرارة ، ويوضح الجدول رقم (٦) متوسط الحساسية ، مقدرة بالميكروفولت لكل درجة مئوية ، لبعض المزدوجات شائعة الاستعمال :

الجدول رقم (٦)

متوسط الحساسية لبعض المزدوجات

المزدوجة الحرارية	متوسط الحساسية (ميكروفولت لكل درجة للمدى الموضح قرين كل منها
نحاس – كونستنتان	٥٠,٤ (٠م – ٣٤٣°م)
حديد – كونستنتان	٥٧,٦ (٠م – ٧٦٠°م)
كروميل – الوميل	٤١,٤ (٠م – ١٢٠٠°م)
بلاتين ١٠ روديوم – بلاتين	١١٣ (٥٤٠°م – ٢٤٥٠°م)
كروميل – كونستنتان	٧٥,٦ (٠ – ٧٦٠°م)

٦/١/٦/٣ معايرة المزدوجات :

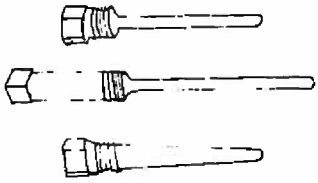
يمكن معايرة المزدوجة الحرارية بوضعها مع مزدوجة قياسية فى منطقة ذات درجة حرارة منتظمة ومقارنة قراء تيهما . ولضمان تعرضها لدرجة حرارة واحدة ، فيمكن وضعهما فى ثقوب متقاربة فى كتلة من معدن نقى . ويمكن أيضاً غمر المزدوجة فى مقدار كاف من مادة قياسية ، بينما تبرد هذه المادة مروراً بنقطة تجمدها . . إذ أنه عندما تتحول مادة من حالة السيولة إلى حالة الصلابة فإن الحرارة الكامنة تتحرر وتحافظ على درجة حرارة المادة عند قيمة ثابتة لفترة من الوقت على الرغم من أن المادة تعطى حرارة إلى الوسط المحيط بها . ويراعى أن تكون المزدوجة مغمورة بدرجة كافية فى المادة وأنها بعيدة بدرجة كافية عن جدار الوعاء الحوى للمادة . ومن أمثلة المواد المستخدمة لهذا الغرض الذهب ونقطة تجمده ١٠٦٤,٤٣°م ، الفضة ونقطة تجمدها ٩٦١,٩٣°م ، الخارصين ونقطة تجمده ٤١٩,٥٨°م . . . إلخ . وهذه المواد هى بعض المواد القياسية التى تستخدم نقاط تجمدها فى تعريف المقياس الدولى العملى لدرجة الحرارة (مقياس ١٩٦٨) . وتوجد طريقة أخرى تناسب معايرة مزدوجات المواد الثمينة عند نقطة الذهب (١٠٦٤°م) ونقطة البلاديوم (١٥٥٤°م) ونقطة البلاتين (١٧٧٢°م) بأن يوضع سلكا المزدوجة الحرارية ، وتفصلهما مسافة ٥ مم ، فى مركز فرن روديوم بلاتين أنبوبى الشكل – يوصل الطرفان الحران للسلكين ببعضهما عن طريق سلك قصير من الذهب أو البلاديوم أو البلاتين النقى (إلا فى الحالات التى يكون البلاتين أحد عنصرى الازدواج) ويكون هذا السلك مجدولاً أو مصهوراً مع طرفى سلكى المزدوجة الحرارية . وتوضع الوصلة الباردة للمزدوجة فى ثلج مجروش ، داخل قارورة مفرغة ، ثم ترفع درجة حرارة الوصلة الساخنة إلى ما دون درجة انصهار النقطة المطلوب تعيينها بعشرين درجة مئوية ، ثم ترفع بمعدل ٠,٥ – ١°م كل دقيقة . وفى العادة ترتفع القوة الدافعة الكهربائية باستمرار إلى قيمة قصوى ثم تنخفض قليلاً جدًّا إلى قيمة ثابتة حتى ينصهر السلك فتنقطع الدائرة .

٧/١/٩/٣ ملاحظات خاصة بتركيب المزدوجات واستخدامها :

- تختار أسلاك التمديد المناسبة لنوع المزدوجة المستعملة . ويوصى بوضع الازدواج - كلما أمكن داخل أنبوبة (حجاب) موصلة توصيلاً مناسباً بالأرض لمنع التداخلات الاستاتيكية الناتجة عن خطوط القوى الكهربائية المجاورة .

يراعى عدم وضع وصلة القياس (الوصلة الساخنة) للمزدوجة الحرارية فى مسار اللهب أو تيارات الغازات الأكثر سخونة عن الوسط الذى تقاس درجة حرارته .

- فى كثير من التطبيقات الصناعية يكون من الضرورى وضع الازدواج فى جيب واق (الشكل رقم ١٤) .



شكل رقم (١٤)
جيوب واقية تسمح بخروج المزدوج دون عنت وتعطيل العملية الصناعية

حتى يمكن إخراج المزدوجة لاستبدالها إذا استدعى الأمر دون حاجة لإيقاف أو غلق العملية الصناعية التى تقاس فيها درجة الحرارة ، ولذلك فإنه فى الحالات التى يلزم أن تكون الاستجابة سريعة (أى زمن استجابة قصير) فإنه يجب استخدام المزدوجة الحرارية عارية أو مغلفة بغلاف رقيق .

عند قياس درجة حرارة سائل أو غاز فإنه يجب تجنب وضع وصلة القياس فى المناطق الساكنة غير الممثلة لدرجة الحرارة وتبذل عناية كافية لوضع وصلة القياس للمزدوجة داخل منطقة دوامية أو مضطربة بالوسط الساخن وذلك لتقليل تأخر النقل الحرارى ولتحسين درجة التحكم فى العملية الصناعية إذا كانت المزدوجة مستخدمة فى التحكم .

- عندما تتغير درجة الحرارة من نقطة لأخرى فى الوسط الذى تقاس

درجة حرارته ، كما فى حالة أفران المجمرة المستمرة ، فإنه يلزم إجراء مسح مبدئى لمعرفة توزيع درجات الحرارة فى الفرن باستعمال مزدوجة قابلة للتحريك (نقالى) ، ثم يتم اختيار أفضل نقطة توضع فيها المزدوجة المستخدمة فى التحكم أو الضبط .

• عند استعمال أنبوبة واقية حول وصلة القياس وجزء من أسلاك التوصيل الخاصة للمزدوجة فيجب غمرها بالقدر المناسب فى داخل الوسط الذى تقاس درجة حرارته بحيث تمنع القراءات الخاطئة بسبب انتقال الحرارة على طول الأنبوبة ، وكذلك على طول الموصلات ، والقاعدة العامة فى هذا الصدد أن يكون عمق الغمر فى السائل أكبر ما يمكن على ألا يقل بحال من الأحوال عن عشرة أمثال القطر الخارجى لأنبوبة الوقاية ، ومع ذلك فإنه يمكن باستخدام تصميمات مناسبة لتجميعات المزدوجة - الحرارية أن يكون الغمر أقل مما هو محدد بالقاعدة العامة السابقة .

• عندما تكون درجة الحرارة المطلوب قياسها أكبر من درجة الحرارة المناسبة لأنبوبة الوقاية فإنه يراعى وضع المزدوجة الحرارية رأسيًا بقدر ما تسمح به الظروف حتى يمنع ارتخاء الأنبوبة الواقية .

يمكن زيادة المقاومة الميكانيكية لوصلة القياس بجدل (لى) السلكين الخاصين بها عدداً من اللفات ، قريباً من نقطة الاتصال بينهما ، ولكن يجب فك هذه اللفات فى الحالة التى يوجد فيها تدرج لدرجة الحرارة عند وصلة القياس .

٨/١/٦/٣ مزايا المزدوجة الحرارية وعيوبها :

يمكن سرد المزايا الرئيسية للمزدوجة الحرارية فيما يلى :

١ - سهولة التصميم والتشغيل .

٢ - صغر الحجم والمرونة إذ يمكن تركيبها فى أى حيز حتى لو كان الوصول إليه صعباً نسبيًا .

٣ - تكاليفها قليلة إذ أن العناصر الأولية التى تصنع منها رخيصة الثمن .

٤ - يمكن استبدال أى من وحدات مجموعة القياس منفردة بأخرى من ذات نوعها .

٥ - صلاحيتها للاستخدام فى مدى كبير من درجات الحرارة وبدقة عالية .

وللمزدوجة الحرارية أيضاً عيوبها التى تتمثل فى الآتى :

* الإشارة الخارجية منها تكون صغيرة نسبيًّا مما يقتضى وجود أجهزة قياس حساسة . وأنه من الضرورى معرفة درجة حرارة الوصلة المرجعية أو التعويض عنها ، كما أن دقة قراءتها عرضة للتغير إذا استخدمت لفترة طويلة ، وبصفة خاصة عند الحد الأعلى لدرجة الحرارة الخاص بها .

٢/٦/٣ ترمومترات المقاومة الكهربائية :

استخدمت ترمومترات المقاومة لقياس درجة الحرارة منذ زمن طويل . وأفضل استخداماتها يتمثل ، بصفة رئيسية ، فى مجال القياسات التى تتطلب دقة عالية ولكنها فى الوقت ذاته تقع فى مدى ضيق من درجات الحرارة ، ويتكون ترمومتر المقاومة من عنصر حساس لدرجة الحرارة (مقاوم) وجهاز لقياس المقاومة والموصلات الكهربائية التى تصل بينهما .

وتعتمد ترمومترات المقاومة فى عملها على أن المقاومة الكهربائية للعنصر الحساس ، الذى يكون غالباً على شكل سلك معدنى ، تتغير بتغير درجة الحرارة ، وعلى هذا يمكن قياس درجة الحرارة بقياس مقاومة عنصر حساس معاير معرض لدرجة الحرارة المطلوب قياسها . وتعاير مقاومة الترمومتر عند درجات حرارة معلومة ومستقرة مثل نقاط التجمد والغليان لمواد معينة . ويطلق على مقدار التغير فى المقاومة المناظر لتغيير فى درجة الحرارة مقداره ١° م «معامل درجة الحرارة للمقاومة» . وهذا المعامل يكون ثابت القيمة للمعادن النقية فى مدى معين من درجات الحرارة ، فمثلاً قيمته بالنسبة لمقاوم من البلاتين النقى فى المدى ما بين صفر ، مائة درجة مئوية هو ٠,٠٠٣٩٢

أوم/أوم/ (م) . وتكون قيمة هذا المعامل موجبة دائماً بالنسبة للمواد جيدة التوصيل للكهرباء (أى الموصلات) وسالبة بالنسبة للمواد من أشباه الموصلات وتشمل المواد شائعة الاستخدام فى صناعة العناصر الحساسة لترمومترات المقاومة المعدنية البلاتين ، النيكل ، النحاس ، وسبائك النيكل مع النحاس ، التنجستن ، ولكن أكثرها استخداماً البلاتين وذلك لأنه يمكن تمثيل العلاقة بين مقاومة العنصر الحساس البلاتينى ودرجة الحرارة بعلاقة خطية وذلك بالنسبة لمدى كبير من درجات الحرارة ، ويلى البلاتين فى الاستخدام النيكل لأن معامل درجة الحرارة للمقاومة المصنوعة منه يكون كبيراً نسبيًّا على الرغم من أن العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة ليست خطية .

٣/٦/٢/١ أنواع ترمومترات المقاومة :

تصنف ترمومترات المقاومة طبقاً لنوع المادة المستخدمة فى صنع المادة الحساسة وطبقاً لنوع الاستخدام إلى ما يلى :

(أ) ترمومتر المقاومة البلاتينى :

اختير البلاتين للاستخدام فى صناعة الترمومترات ذات الدقة العالية نظراً لما يتميز به (أى البلاتين) من مزايا ، فالعلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة علاقة بسيطة وتنطبق فى مدى كبير من درجات الحرارة ، كما أن مقاومته النوعية عالية نسبيًّا ومعامل الحرارة للمقاومة النوعية مرض فضلاً عن أنه يقاوم التآكل ومستقر جدًّا من الناحية الفزيائية ويمكن التخلص من الإجهادات به عن طريق تسخينه فى الهواء إلى درجة حرارة عالية . والعيب الوحيد للبلاتين هو أنه قد يتلوث إذا وضع فى جو مختزل وتعرض لأبخرة معدنية ، ويوجد من ترمومتر المقاومة البلاتينى نوعان أحدهما بالغ الضباطة ويستخدم فى تعريف المقياس الدولى العملى لدرجات الحرارة فى المدى ما بين - ١٨٢,٩٦°م (نقطة غليان الأوكسجين) ، ٦٣٠,٧٤°م (نقطة انصهار الأنتيمون) أما النوع الثانى من

ترمومترات المقاومة البلاتينى فهو الذى يستخدم فى القياسات بالصناعة ويسمى تبعاً لذلك «ترمومتر المقاومة البلاتينى الصناعى» .

ويصنع ترمومتر المقاومة البلاتينى بالغ الضباطة من بلاتين نقى جدًّا على شكل سلك يلف لفًّا لولبيًّا على قطعتى ميكا متعامدتين على بعضهما البعض ، وبهما حزوز توضع بها السلك البلاتينى . وبعد ذلك يُعالج السلك حراريًّا وتضبط مقاومته بحيث تكون ٢٥,٥ + ٠,١ أوم عند الصفر المئوى . ثم يلحم بكل طرف من طرفى سلك ملف البلاتين سلكا توصيل من الذهب ، ويوضع ملف البلاتين بأسلاك التوصيل داخل أنبوبة من زجاج البيركس قطرها الخارجى ٧ مم ، وتعزل أسلاك التوصيل عن بعضها بواسطة أنابيب زجاجية تفصل بينها حلقات من الميكا وتفرغ أنبوبة البيركس إلى أن يصل ضغط الهواء الجاف فيها إلى حوالى $\frac{1}{2}$ الضغط الجوى ، ثم تغلق بإحكام ، وبذلك يكون لدينا ترمومتر بالغ الضباطة صالح للاستخدام فى المدى من - ١٩٠ إلى ٥٠٠°م .

ويوجد نوعان من ترمومتر المقاومة البلاتينى بالغ الضباطة وهما يستخدمان فى القياسات الحرارية ، والنوع الأول منهما يكون جزءاً من المسعر الحرارى وفى هذا النوع يوضع ملف ترمومتر المقاومة فى أنبوبة بلاتين يتم تفريغها ثم ملؤها بالهليوم وتغلق بإحكام ، وفائدة الهليوم أنه يزيد سرعة استجابة الترمومتر للتغيرات فى درجة الحرارة وذلك نظراً لأنه ذو موصلية أكبر من موصلية الهواء ، ويناسب هذا الترمومتر القياسات فيما بين - ٢٦٩ وبين + ٢٥٠°م أما النوع الثانى من ترمومترات المقاومة البلاتين المستخدمة فى القياسات الحرارية فيكون فيه السلك البلاتينى ملفوفاً على قطعة ميكا ذات حزوز يمر بها السلك ويغلف برقائق من الميكا ثم يوضع هذا الملف داخل أنبوبة معدنية رقيقة الجدار ويغلق ثم يفلطح الجزء من الأنبوبة الواقع أعلى الملف لكى يزيد سرعة استجابته للتغير فى درجات الحرارة . ويصنع ترمومتر المقاومة البلاتينى المستخدم فى الأغراض الصناعية من بلاتين ذى خصائص مشابهة للبلاتين المستخدم فى ترمومترات

المقاومة البلاتينية بالغة الضباطة إلا أنها تكون أقل منها ويسمح هذا الترمومتر باستخدام تيارات كهربائية كبيرة نسبيًّا أثناء القياس ويناسب الاستخدام عند درجات حرارة تصل إلى ٨٠٠°م ولا يصدأ العنصر الحساس (البلاتين) إلا أنه تجب وقايته من التلوث . وأكثر مسببات تلوث البلاتين شيوعاً هو ملامسته للسيليكا أو المواد الحرارية الحاملة للسيليكا مع وجود جو مختزل ، وذلك أن السيليكا تتحول إلى السيليكون الذى يكون سبيكة مع البلاتين مما يجعله هشًّا . ويمكن استخدام ترمومتر المقاومة البلاتينى لدرجات حرارة منخفضة تصل إلى ٢٠ كلفن (أى ٢٥٣°م) .

(ب) ترمومتر المقاومة النيكل :

يستخدم ترمومتر المقاومة النيكل فى القياسات الصناعية ويتميز برخص ثمنه ويصلح للاستخدام فى المدى ما بين ٧٥ إلى + ١٥٠°م وهو أقل إستقراراً عن البلاتين . ويعتمد حد الخطأ فى قراءاته على دائرة القياس المستخدمة ومدى القياس ، وحد الخطأ يساوى ± ٠,٣°م فى حالة استخدام القنطرة المتوازية فى قياس المقاومة .

(جـ) ترمومتر المقاومة النحاسى :

يعتبر النحاس مادة ممتازة للاستخدام فى ترمومتر المقاومة إذ أن معامل درجة الحرارة للمقاومة فيه أكبر قليلاً من معامل البلاتين كما يمكن الحصول عليه نقيًّا ويمكن تمثيل العلاقة بين مقاومة النحاس ودرجة الحرارة بالمعادلة التالية :

م د = م ٠ (١ + أ د) .

وبفضل هذه العلاقة يمكن قياس الفرق فى درجة الحرارة بدقة تصل إلى ± ٠,٠٥°م بواسطة استعمال ترمومترى مقاومة نحاسين ، ومعوض لتعويض مقاومتيهما ، إلا أنه يعيب ترمومتر المقاومة النحاس ميل النحاس للتأكسد فى درجات الحرارة العالية وصغر مقاومته النوعية ، بالمقارنة مع البلاتين أو النيكل ، ويكون حجمه كبيراً إلا إذا

استخدم سلك رفيع من النحاس . وهذا يؤدى من ناحيه أخرى إلى بطء فى استجابته للتغير فى درجة الحرارة . وفى العادة تكون مقاومة ترمومتر المقاومة النحاس هى ١٠ أوم عند ٢٥° م . وتتميز هذه الترمومترات باستقرار جيد فى معايرتها ، وعلى ذلك فإنها تحتفظ بدقتها زمناً طويلاً بشرط عدم تعدى درجة الحرارة القصوى التى يوصى بها صانع الترمومتر .

(د) ترمومتر المقاومة غير المعدنى (الثرمستور) :

يصنع الثرمستور من أكاسيد معدنية أو من خليط منها ، ويستعمل لهذا الغرض أكاسيد الكوبالت والنحاس والحديد والمغنسيوم والمنجنيز والنيكل واليورانيوم والزنك والتيتانيوم والقصدير . وطريقة تصنيع الثرمستور سهلة إذ يؤخذ أحد مساحيق الأكاسيد المعدنية أو مخلوط منها ثم يضغط بحيث يعطى الشكل المطلوب ثم تسخن إلى درجة حرارة تكفى لإعادة تبلورها . ويتم عمل نهايات التوصيل الملامسة للثرمستور بأن يدخل فيها سلكا توصيل قبل حرقها أو بالطلاء الكهربائى . وفى العادة يكون الثرمستور المستخدم فى القياسات على شكل خرزة قطرها ٠,٢٥ – ٠,٥ مم . مغطاة بطبقة رقيقة من الزجاج لتقليل تغيير مكوناتها فى درجات الحرارة العالية . أما الثرمستور المستخدم فى أعمال التحكم فيكون على هيئة قرص يتراوح قطره من ٥ إلى ٢٥ مم أو قضيب يتراوح قطره ما بين ٠,٧٥–٦ مم وبطول يصل إلى ٥٠ مم . ويمكن تمثيل العلاقة بين مقاومة الثرمستور ودرجة الحرارة المطلقة بالمعادلة التالية :

$$م = أهـ^{ب/د}$$

حيث م هى المقاومة ، ا ، ب ثابتان تقريبا فى مدى صغير من درجات الحرارة ، د هى درجة الحرارة المطلقة ويتميز الثرمستور بأن معامل درجة الحرارة له كبير . لهذا يمكن قياس فروق فى درجات الحرارة تصل إلى ٠,٠٠١°م ولكن يجب الأخذ فى الاعتبار أن دقة الثرمستور قد تتغير بمرور الوقت .

٣/٦/٢/٢ خصائص ترمومترات المقاومة :

المدى : من -- ٢٦٩ إلى ٦٣٠°م بالنسبة لترمومترات المقاومة البلاتين القياسية

من صفى إلى ١٠٦٤°م بالنسبة لترمومترات المقاومة البلاتين القياسية

من – ١٨٢ إلى صفر°م

من – ١٩٥ إلى ١٢١°م بالنسبة لترمومترات المقاومة النحاسية

من – ٤٠ إلى ١٢١°م بالنسبة لترمومترات المقاومة النيكل

الضباطة : توفر ترمومترات المقاومة أكبر ضباطة فى مداها المفيد . فدرجات الحرارة المقيسة بواسطة ترمومتر المقاومة البلاتين البالغ الضباطة تكون قابلة للاستعادة إلى + ٠,٠٠١° م . وبالنسبة لترمومتر المقاومة البلاتين الصناعى فإنه يستعيد قراءاته فى حدود ± ٠,١٥°م .

أما ترمومترات المقاومة المصنوعة من المعادن غير النفيسة فإنها تستعيد درجات الحرارة إلى ± ٠,٠٥°م .

الدقة : ± ٠,٠١°م بالنسبة لترمومتر المقاومة البلاتينى بالغ الضباطة .

الاستجابة : زمن استجابة ترمومتر المقاومة البلاتينى الصناعى هو ١٥ ثانية . وزمن استجابة ترمومتر المقاومة النحاس أو النيكل هو ٤٠ ثانية . وإذا استخدم لأى من هذه الترمومترات جيب واق فإن زمن الاستجابة يزيد على ضعف الزمن الخاص به بدون جيب .

٣/٦/٢/٣ معايرة ترمومترات المقاومة المستخدمة فى الصناعة :

تتم معايرة ترمومترات المقاومة المستخدمة فى الصناعة بطريقة المقارنة مع ترمومتر مقاومة قياسى .

٣/٧ ترمومترات الإشعاع :

يتكون ترمومتر الإشعاع من نظام بصرى يستخدم فى اعتراض وتركيز جزء معين من

الطاقة المشعة من الجسم المطلوب قياس درجة حرارته وعنصر لقياس درجة الحرارة .

٣ / ٧ / ١ أساس تشغيل بيرومترات الإشعاع :

توجد ظاهرة معروفة هى أن كل جسم يشع إشعاعاً عند درجات الحرارة لعالية ، وشدة هذا الإشعاع ترتبط بعلاقة محددة مع درجة حرارة الجسم لذلك فإنه يمكن عن طريق قياس شدة هذا الإشعاع ، تعيين درجة حرارة الجسم . وقد يشمل هذا القياس جميع أطوال الموجات للإشعاع الصادر من الجسم أو منطقة (أو مناطق) محددة من هذا الطيف . وبصفة عامة فإن شدة الإشعاع لا تعتمد على درجة حرارة الجسم فقط بل إنها تعتمد على نوع مادة المصدر المشع . فمثلا الكربون المتوهج يبدو متألقاً للعين حوالى ثلاثة أمثال تألق البلاتين المتوهج عندما يكون الاثنان فى درجة حرارة واحدة ويعبر عن ذلك بالقول أن قدرة الانبعاث فى الكربون هى ثلاثة أمثال قدرة الانبعاث فى البلاتين عندما يكونان فى درجة حرارة واحدة . وتسمى المادة ذات أعلى قدرة انبعاث ، الجسم الأسود المشع ، ويشار إليها بالجسم الأسود ، وهذا الجسم الأسود تكون انبعاثيته مساوية للواحد الصحيح . ويمقتضى هذا التعريف تكون قدرة انبعاث أية ماده حقيقية أقل من الواحد الصحيح ، ويعرف الجسم الأسود أيضاً بأنه جسم يمتص جميع الإشعاعات الساقطة عليه عند جميع درجات الحرارة دون أن ينتقل أو يعكس أى قدر من هذه الطاقة الشعاعية أياً كان طول الموجة أو اتجاه سقوط الإشعاع أو الاستقطاب . وهذا الجسم يبدو لنا أسود مطلق السواد عندما يكون بارداً لأنه يمتص كل الضوء الساقط عليه ، وتعرف قدرة إمتصاص سطح الجسم الأسود بأنها جزء من الإشعاع الذى يمتصه الجسم الأسود ، وهى لذلك تساوى الواحد الصحيح . ويمكن تحقيق الجسم الأسود عملياً بتسخين محتوى أجوف ، ثم ملاحظة الإشعاع من فتحة أو ثقب فى جداره . وتعتمد شدة الإشعاع المبعث من هذه الفتحة على درجة الحرارة وحدها وليس على نوع المادة الموجودة داخل هذا المحتوى .

قانون «استفان بولتزمان» :

يعبر عن القدرة الكلية أو الدفق الإشعاعى لجميع الموجات (ق) المشعة من وحدة المساحة من جسم أسود تام بالعلاقة التالية :

$$ق = س\ د^{٤}$$

حيث س ثابت «استفان بولتزمان» ، د درجة الحرارة بالكلفن (= درجة الحرارة المئوية + ٢٧٣,١) .

وقد أمكن قياس درجة حرارة مصدر مشع بقياس شدة إشعاعه وتطبيق قانون «استفان بولتزمان» . .

وإذا كان لدينا جسم درجة حرارته $د_{١}$ معد بحيث يستقبل إشعاعاً صادراً من مصدر درجة حرارته $د_{٢}$ فإن الجسم يتلقى طاقة حرارية بمعدل س $د_{٢}^{٤}$ ويصدر فى نفس الوقت حرارة بمعدل س $د_{١}^{٤}$ ، وإذا كان $د_{٢}$ أكبر كثيراً عن $د_{١}$ فإن الجسم يكسب حرارة بمعدل س ($د_{٢}^{٤} - د_{١}^{٤}$) ويمكن إهمال $د_{١}^{٤}$ لأنها تكون أصغر كثيراً عن $د_{٢}^{٤}$ ويكون معدل الحرارة المكتسبة مساوياً س $د_{٢}^{٤}$ أى أن هذا المعدل يتناسب مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة للمصدر المشع . وقد بنيت معظم ترمومترات الإشعاع الكامل على قانون «استفان بولتزمان» .

قوانين «فين» :

يعتمد تشغيل البيرومترات البصرية على ظاهرة أن الجسم يصدر إشعاعاً عند جميع الموجات وأن شدة الإشعاع وتوزيعه الطيفى ترتبط بعلاقة محددة مع درجة حرارة الجسم ذاته ، إذن يمكن تعيين درجة حرارة الجسم عن طريق قياس إشعاعيته ، وفى حالة البيرومترات البصرية فإنه يتم قياس الإشعاعية فى الجزء المرئى من الطيف ويكون ذلك عند طول موجة مقداره ٠,٦٥ ميكرومتر وتسمى العلاقة بين الإشعاعية ودرجة الحرارة بقانون «فين» .

وإذا سخن جسم ما فإنه يبدو أن لونه يتغير ، ويرجع ذلك إلى أن الطاقة الكلية وتوزيع الطاقة المشعة فيما بين أطوال الموجات المختلفة يتغير بارتفاع درجة الحرارة ، وعندما تكون درجة حرارة الجسم ٥٠٠° م فإن الجسم يكون أحمر اللون بوضوح وبارتفاع درجة الحرارة إلى ٧٠٠° م فإن اللون الأحمر الواضح يتحول إلى أحمر باهت ، وعند ٩٠٠° م يصبح أحمر مثل لون الكريز ويتحول إلى البرتقالى عند ١١٠٠° م ويصير أبيض اللون عند درجات حرارة أعلى من ١٤٠٠° م وذلك لأن الجسم يشع حينئذ جميع ألوان الطيف المرئى .

وقد وجد أن طول موجة الإشعاع ذى أقصى شدة يقصر كلما ارتفعت درجة الحرارة ويعبر عن ذلك بما يعرف باسم قانون «فين» للإزاحة .

ل ق د = ثابت = ٢٨٩٨ ميكرومتر كلفن .

حيث ل ق هو طول الموجة المناظر لشدة الإشعاع القصوى ، د درجة الحرارة بالكلفن . ويعبر عن القيمة الحقيقية الإشعاعية الطيفية عند طول الموجة ل ق بما يعرف بقانون فين الثانى

ا ل ق = ثابت × د^٥

حيث ال ق هى القيمة القصوى للإشعاعية الطيفية عند طول أية موجة أى قيمة الاشعاعية عند ل ق ، د هى درجة الحرارة بالكلفن . ويجب ملاحظة أن الإشعاعية القصوى عند طول موجة معينة هى التى تتناسب مع د^٥ أما الإشعاعية الكلية لجميع أطوال الموجات فهى تتناسب مع د^٤ حيث إنها تعطى بقانون «استفان بولتزمان» .

وقد استنبط «فين» أن التركيز الطيفى للإشعاعية أى الإشعاع المنبعث من وحدة الزاوية الفراغية لكل وحدة مساحة من فرجة صغيرة من محتوى ذى درجة حرارة منتظمة . وفى اتجاه عمودى على هذه المساحة فى مدى أطوال الموجات ما بين ل ، ل + δ ل

يعطى بالعلاقة التالية :

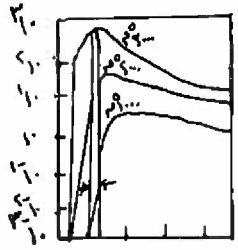
$$\text{ا ل} = \frac{\text{ث}_1 \, \text{ل}^{-5}}{\text{هـ}^{\frac{\text{ث}_2}{\text{ل د}}} - 1}$$

حيث ث ، ث٢ ثابتان . وهذه المعادلة مناسبة أكثر من المعادلة السابقة وتنطبق بانحراف يقل عن ١٪ عما ينتج عن تطبيق قانون «بلانك» للإشعاع المستخدم فى تعريف المقياس الدولى العملى لدرجة الحرارة (١٩٦٨) على أن تكون قيمة ل د=٣×١٠^٣ متر كلفن .

وقد استنبط «بلانك» فى عام ١٩٠٠ من أسس نظرية ميكانيكا الكم قانون التوزيع الطيفى للطاقة المشعة من جسم أسود مشع بدلالة درجة حرارة د ، مع اعتبار معامل انكسار الوسط المحيط مساوياً للواحد الصحيح :

$$\text{أ ل} = \frac{\text{ث ل}^{-5}}{\text{هـ}^{\frac{\text{ث}_2}{\text{ل د}}} - 1}$$

حيث أ ل توزيع إشعاعية لجسم أسود عند طول موجة ل ، ث١ - ثابت فى قانون بالنك ، ث٢ ١٤٣٨٨ ٠,٠ متر كلفن ، وباقى الرموز هى نفسها كالسابق . ويوضح الشكل رقم (١٥) توزيع «بلانك» للإشعاع ووظيفة الترمومتر البصرى هو تعيين أ ل فى قانون بلانك .



شكل رقم (١٥)
دالة بلانك لتوزيع الإشعاع

٣ / ٧ / ٢ أسس قياس درجات حرارة الأجسام الساخنة :

يمكن قياس درجة حرارة الجسم الساخن بإحدى الطرق الثلاث التالية :

أولا : تقاس الإشعاعية الكلية بواسطة ترمومتر الإشعاع الكلى الذى يسمى أيضاً بيرومتر الإشعاع الكامل وهذا البيرومتر يتلقى أقصى مقدار من الطاقة المشعة عند جميع أطوال الموجات ، وبصفة عامة يكون العنصر الحساس (الكاشف) قادراً على قياس الإشعاع فى مدى واسع من أطوال الموجات ، ولكن أطوال الموجات الفعلية المستقبلة تحددها المواد المستخدمة فى النظام البصرى وتكون الطاقة المستقبلة ممثلة بالمساحة الواقعة تحت المنحنى المعطى فى شكل رقم (١٥) وهى تعطى بقانون « استفان بولتزمان » ، ومن ثم يمكن حساب درجة حرارة المصدر

ثانيا : يمكن قياس الإشعاعية الطيفية لجسم ساخن عند طول موجة معطاة بواسطة البيرومتر البصرى وهذا البيرومتر البصرى يتلقى الإشعاع عند طول موجة واحدة مقداره ٠,٦٥ ميكرومتر (شعاع أحمر اللون) وفى العادة يستجيب الترمومتر - لحزمة مقدار إتساعها ٠,٠١ ميكرومتر عند ٠,٦٥ ميكرومتر ويمكن الاستعانة بالمنحنيات الموضحة فى الشكل (١٥) معرفة تغير الطاقة عند هذه الموجة مع درجة حرارة المصدر ، وبالتالى تعرف درجة حرارة المصدر .

ثالثا : يمكن قياس إشعاعية جسم ساخن فى حزمة من أطوال الموجة بواسطة عنصر مستقبل مثل خلية كهروضوئية ، وتعتمد الحزمة على نوع العنصر المستقبل الحساس المستخدم ، ويعاير هذا النوع من البيرومترات بتوجيهها بحيث يتم رصد فتيلة مصباح مصنوعة من شريط من التنجستن معلومة درجة حرارتها بدلالة التيار الكهربائى المار بها .

مما سبق يتضح أنه يمكن تصنيف بيرومترات الإشعاع إلى ثلاثة أنواع رئيسية هى :

بيرومترات الإشعاع الكلى

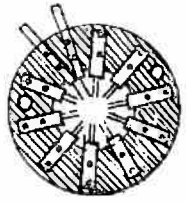
البيرومترات البصرية

البيرومترات الكهروضوئية .

٣ / ٧ / ٣ بيرومترات الإشعاع الكلى :

يعمل هذا النوع من البيرومترات بتركيز الإشعاع الصادر من الجسم المطلوب قياس درجة حرارته على عنصر حرارى ، ويكون هذا العنصر مزدوجة حرارية أو ثرموبيل (مجموعة من المزدوجات موصلة على التوالى) أو عنصر مقاومة عبارة عن شريحة رقيقة من البلاتين عادة . وبذلك يمكن قياس درجة الحرارة المطلوبة كما سبق أن أوضحنا .

وفى قطاع الصناعة يكثر استعمال بيرومترات الإشعاع ذات الثرموبيل نظراً لما تتميز به من استقرار لخصائصه الحرارية الكهربائية لأن الوصلات الساخنة يندر أن تصل إلى درجة حرارة أعلى من عدة مئات من الدرجات المئوية . ولا تتعرض المزدوجات للأجواء الملوثة للأفران . وبالإضافة إلى استقرار خصائص الثرموبيل فهى أيضا ذات استجابة مماثلة لطاقة الإشعاع الداخل بغض النظر عن طول الموجة فى المدى ٠,٣ ٢٠ ميكرومتر إلا أنه يعيب الثرموبيل بطء سرعة استجابتها نسبياً وهى التى تعتمد على كتلة عناصر المزدوجات وعلى معدل انتقال الحرارة من الوصلات الساخنة إلى الباردة . ويوضح الشكل رقم (١٦) ثرموبيلا نموذجياً مستخدماً فى التطبيقات الصناعية بكثرة



شكل رقم (١٦)
ثرموبيل بيرومتر الإشعاع

وهو يستجيب لـ ٩٨ ٪ لأى تغير متدرج فى الإشعاع الداخل فى خلال ثانيتين فقط ، ويمكن الحصول على أنواع خاصة من الثرموبيلات يقل زمن الاستجابة فيها إلى نصف ثانية فقط بدلا من ثانيتين ، غير أن ما تنتجه من قوة دافعة كهربائية يكون منخفضاً .

ومن المرغوب فيه ألا تعتمد بيانات بيرومتر الإشعاع بالنسبة لمدى كبير نسبيًا من درجات الحرارة ، على المسافة بين المصدر الذى تقاس درجة حرارته وبين البيرومتر ،

وبالإضافة إلى ذلك ألا تعتمد ، فى حدود معقولة ، على حجم المصدر وذلك فى حدود معقولة . وقد أمكن تحقيق هاتين الخاصتين باستعمال مرآة واحدة أو اثنتين أو باستعمال عدسة ، وبالإضافة إلى ذلك فإن المرآة والعدسة تركزان الإشعاع على العنصر الحساس مما يؤدى إلى زيادة حساسية الجهاز ، وقد تكون المرآة أو العدسة مثبتة أو قابلة للتحريك . ويتطلب البيرومتر أن يكون حجم الجسم الساخن (مصدر الإشعاع) كافياً بحيث تغطى صورته العنصر الحساس . ويختلف حجم هذا الجسم تبعاً للمسافة بينه وبين البيرومتر ويحدد هذا الحجم فى جداول يعدها صانع البيرومتر ، فمثلا يتطلب أن يكون الجسم الساخن ذا قطر حوالى ٦٣ مم عند قياس درجة حرارته بواسطة بيرومتر على مسافة ١,٢ م منه . وعندما توضع عدسة فيما بين المصدر والمستقبل فى بيرومتر فإن العدسة تحد عرض حزمة الإشعاع المستقبلة وبصفة عامة فإنها تسمح بانتقال موجات الضوء القصيرة وتمتص نطاق الأشعة دون الحمراء ، وهذا يؤدى إلى خفض كمية الطاقة المستقبلة وبالتالى يقلل حساسية البيرومتر غير أن هذا لا يؤدى إلى خطأ خطير عند قياس درجات الحرارة العالية ، ولكنه يصير مشكلة صعبة عند درجات الحرارة المنخفضة ، وذلك لسببين اثنين ، فالجسم يشع عند ١٠٠° م أقل من ٠,٠١ مما يشعه عند ١٠٠٠° م ، والإشعاع عند ١٠٠٠° م يكون بصفة رئيسية ذا موجات طويلة تمتص بزجاج العدسة ، وكنتيجة لذلك فإن الإشعاع المار عند ١٠٠° م يكاد يبلغ ٠,٠٠٠٥ من الإشعاع الذى يمر من الزجاج عند ١٠٠٠° م ، وهذا يقتضى عدم استعمال عدسات من الزجاج والبحث عن مواد بديلة ، ومن بين المواد التى يمكن استعمالها لدرجات الحرارة المنخفضة البيركس وفلوريد الكالسيوم ، والسيليكا . كما يمكن استخدام الكوارتز لقياسات المدى المتوسط من درجات الحرارة . وبذلك فإن ترمومترات أو بيرومترات الإشعاع الكلى لا تكون مناسبة لتغطية مدى قياس المزدوجات الحرارية فقط ، وإنما يمكن استخدامها لقياس درجات حرارة أعلى مما يمكن للمزدوجات قياسها ، ومع ذلك فإن بيرومتر الإشعاع الكلى لم يتقرر استعماله لاستعادة أى جزء على المقياس الدولى العملى لدرجات

الحرارة ونظراً لأن العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية الناتجة ودرجة حرارة الجسم المرصود تعتمد على تصميم البيرومتر ومواد صنعه وفى نفس الوقت لا يمكن التعبير عنها بمعادلة عامة كما هو الحال بالنسبة لترمومتر المقاومة والمزدوجة والبيرومتر البصرى ، فإنه لا يمكن إدراج بيرومتر الإشعاع ضمن أئمة قياس درجات الحرارة ، بل إنه يصنف فقط على أنه جهاز قياس صناعى مناسب لقياس درجات الحرارة حتى ٤١٥٠°م .

إستعمال وتركيب بيرومتر الإشعاع : عند استعمال بيرومتر الإشعاع لقياس درجة الحرارة فإنه يجب اتخاذ كافة الاحتياطات الضرورية لتقليل مصادر الأخطاء وبعض هذه المصادر يمكن التحكم فيها ، أما البعض الآخر فيمكن تقليلها إلى أقل حد ممكن بالأخذ فى الاعتبار تفاصيل التركيب والاستعمال ، وعلى سبيل المثال فإن الأخطاء الناتجة عن تغير فى القدرة الابتعاثية للجسم المرصود سوف تظل موجودة عندما يكون الجسم غير أسود ولكن إذا تم الرصد لدرجة حرارة الجسم من خلال أنبوبة مغلقة من طرفها الآخر ، ومن فجوة عميقة فى جسم ساخن فإنه يمكن إهمال الإبتعاثية . وهناك أيضا خطأ يعزى إلى وجود ثانى أكسيد الكربون أو بخار الماء ، أو أية غازات غير مرئية ذات حزم امتصاص للأشعة دون الحمراء وهذا الخطأ يمكن إهماله حيث إن الغاز أو البخار غير مرئى للعين ولكن الدخان على العكس من ذلك لا يمكن إهماله حيث إنه مرئى إلا أن الخطأ الناتج عنه لا يكون خطيراً .

وثمة مصدر آخر للخطأ هو ما يحدث أحياناً من امتلاء الأنابيب المغلقة من أحد طرفيها ، بغاز أو دخان ، لذا فإنه يكون من الضرورى فى مثل هذه الحالة طرد الغازات الماصة للإشعاع ، بصورة مستمرة ، بواسطة تيار هادئ من الهواء . وأيضاً فإنه إذا كان لدينا فرن به غازات ساخنة ذات درجة حرارة أعلى من درجة حرارة سطح جسم بهذا الفرن والمطلوب رصد درجة حرارته . فإن الغازات سوف تصدر إشعاعاً يدخل بيرومتر الإشعاع مع الإشعاع الصادر من الجسم ، ويؤدى ذلك إلى الحصول على قراءة عالية لدرجة الحرارة ، ولتجنب هذا الخطأ تستخدم أنبوبة مفتوحة الطرف تمد عبر جدار

الفرن بحيث يقترب أحد طرفيها من سطح الجسم الساخن ، ويمرر بها تيار هادئ من الهواء أو من غاز خامل غير ماص . وفى بعض التطبيقات ، يكون المطلوب قياس درجة حرارة جسم موضوع فى فرن محكم الغلق للمحافظة على جو من الهيدروجين أو أى غاز آخر بداخله ، لذلك تستخدم نوافذ حتى يمكن رصد الجسم بواسطة بيرومتر الإشعاع ، وهذه النوافذ تؤدى إلى حدوث أخطاء كبيرة سواء كانت مصنوعة من زجاج أو من كوارتز وهذه الأخطاء لا يمكن تجنبها ولكن يلزم تعيينها عمليًّا وإجراء التصحيح المناسب للقراءات . وهناك خطأ آخر يشبه خطأ النافذة ، وهو ينتج عن وجود تراب أو مواد غريبة على النوافذ أو العدسات أو المرايا بالبيرومتر . وهذا الخطأ يمكن التخلص منه عن طريق التنظيف الدورى للأجزاء المذكورة .

وقد يؤدى امتصاص الإشعاع فى الجو البارد ، الواقع بين الفرن والبيرومتر ، إلى أخطاء فى قراءات درجة الحرارة ولكى يضمن أن هذا المصدر لا ينتج خطأ يزيد على ١ ٪ من درجة الحرارة المقيسة حتى فى الأيام الرطبة والحارة فيجب ألا تزيد المسافة بين عدسة البيرومتر والفرن على ١,٥ م إذا كانت العدسة من الزجاج ، ١ م إذا كانت العدسة سيليكا ، ٠,٦٠ م إذا كانت العدسة من الفلوريت .

معايرة بيرومتر الإشعاع :

يمكن معايرة بيرومتر الإشعاع بالنظر إلى محتوى جسم أسود معلوم ورصد درجة حرارته من خلال فتحة خاصة . وقد صنع اتحاد بريطانى لأبحاث الحديد والصلب نوعاً خاصًّا من الأفران صالحاً لهذا الغرض . ويتكون هذا الفرن من كرة نصف قطرها ١٥ سم من مادة عاكسة ناشرة ، ويستخدم لهذا الغرض الصلب الذى لا يصدأ وسبيكة نيكل كروم (٨٠ - ٢٠) لدرجات الحرارة حتى ١٣٠٠°م ويستخدم مسحوق الجرافيت لدرجات الحرارة حتى ٣٠٠٠°م بشرط وجود جو من الأرجون بالفرن لمنع تأكسد الجرافيت . والقلب الكروى للفرن ملفوف عليه بانتظام بعنصر تسخين كهربائى

مناسب . وتكون الفتحة التى ينظر من خلالها بواسطة البيرومتر بقطر حوالى ٦٥مم لدرجات الحرارة حتى ١١٥٠°م ، وبالنسبة لدرجات الحرارة الأعلى يكون القطر حوالى ٤٥ مم . ويوضع بالفرن عادة مزدوجتان حراريتان إحداهما عند مؤخرة الفرن والثانية فوق فتحة الرؤية مباشرة وهما تستخدمان للدلالة على ما إذا كانت درجة الحرارة منتظمة بالفرن أم غير ذلك . وتتم معايرة البيرومتر بالمقارنة المباشرة مع المزدوجة أو مع بيرومتر قياسى آخر .

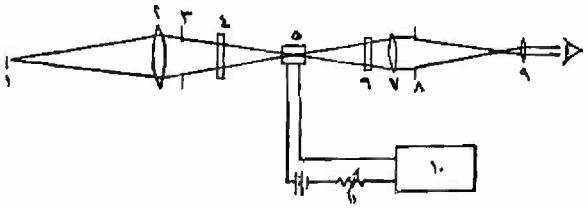
٣ / ٧ / ٤ البيرومترات البصرية :

يمكن تصنيف البيرومترات البصرية إلى قسمين . يطلق على القسم الأول البيرومترات البصرية اليدوية والقسم الثانى البيرومترات البصرية التلقائية . ويعمل القسم الأول منها فى نطاق الطيف المرئى وتستخدم العين ككشاف للمقارنة بين المصدر المقيس ومصدر قياس معلوم . أما القسم الثانى فهو يشبه القسم الأول فى مبدأ عمله غير أن كشف الإشعاع يتم بكشاف كهروضوئى .

(أ) البيرومترات البصرية اليدوية :

وتشمل البيرومتر البصرى ذا الفتيلة المختفية ، والبيرومتر ذا مصباح مقارنة بإشعاع ثابت . ويوضح الشكل رقم (١٧) الأجزاء الرئيسية للبيرومتر ذى الفتيلة المختفية وعند توجيهه نحو هدف (مصدر) لرصد درجة حرارته فإن عدسة الشيئية تعطى صورة حقيقية له فى مستوى فتيلة مصباح قياسية ويحتوى البيرومتر على عدسة ميكروسكوبية ، وأخرى عينية ، تقومان بتكبير صورة المصدر والفتيلة بالنسبة للراصد . ويستخدم المرشح الأحمر الواقع بين العدسة العينية والمصباح للحصول على ضوء وحيد اللون تقريباً للراصد . وعند القيام بالرصد يضبط تيار فتيلة المصباح بواسطة المقاومة المتغيرة إلى أن تصير استضاءة صورة الجزء المرجعى من الفتيلة مساوية

لاستضاءة صورة الهدف وتختفى تفاصيل الجزء المرجعى من الفتيلة فيما يحيط بها من مجال عندما يكون المصباح مضبوطاً بطريقة مناسبة . ويقاس تيار المصباح بواسطة ملى أميتر مدرج بدلالة درجات الحرارة أو بطريقة مقياس الجهد الذى يكون مدرجاً أيضاً بدلالة درجات الحرارة . ويمكن توسيع مدى قياس البيرومتر باستخدام

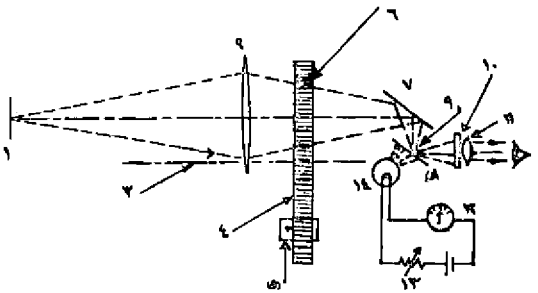


الشكل رقم (١٧)

الأجزاء الرئيسية للبيرومتر البصرى

(١) الهدف الذى تقاس درجة حرارته .
(٢) عدسته الشيئية .
(٣) فتحة الشيئية .
(٤) مرشح امتصاص (يستخدم لدرجات الحرارة العالية .
(٥) مصباح البيرومتر .
(٦) مرشح أحمر .
(٧) عدسة الشيئية للميكروسكوب .
(٨) مصد فتحة الميكروسكوب .
(٩) عينية الميكروسكوب .
(١٠) جهاز قياس التيار .
(١١) ريوستات .

مرشحات امتصاص زجاجية توضع بين الهدف والمصباح ، وذلك دون حاجة إلى فتيلة أخرى خاصة لدرجات الحرارة العالية . ويوجد بالفعل بيرومترات بصرية من هذا النوع تغطى درجات الحرارة فى المدى ٧٦٠ - ١٠٠٠°م ، إلا أن معظم التطبيقات العملية تكون أدنى من ٢٥٠٠°م . ويطلق أيضاً على البيرومترات ذات الفتيلة المختفية « البيرومترات ذات مصباح مقارنة متغير ، وذلك لتمييزها عن النوع الثانى من البيرومترات البصرية اليدوية ونقصد البيرومترات البصرية ذات مصباح مقارنة بإشعاع ثابت . ويوضح الشكل رقم (١٨) الأجزاء الرئيسية له ، وفى هذا



الشكل رقم (١٨)

بيرومتر دو مصباح مقارنة بإشعاع ثابت .

(١) هدف .

(٢) عدسة الشيئية .

(٣) محور دوران الشقين الضوئى .

(٤) تدريج معاير .

(٥) مؤشر ثابت لبيان درجة الحرارة على التدريج .

(٦) شقين ضوئى .

(٧) مرآة م .

(٨) مرآة (٢م) .

النوع تشتعل فتيلة المصباح عند استضاءة ثابتة يتم الحصول عليها بضبط التيار المار فى المصباح على قيمة قياسية بواسطة ريوستات وملى أميتر . ويضاهى إشعاع الهدف بإشعاع فتيلة المصباح عن طريق منشور استقطاب وغشاء إيريس أو وسيلة امتصاص مثل سفين زجاجى دائرى يوضع بين الهدف والمصباح ، وهذا السفين يخفض نصوع الضوء المشع من الهدف بحيث يضاهى نصوع بقعة على شاشة زجاجية مسنفرة (مضاءة بواسطة المصباح) فى مجال رؤية العينية . ويضبط تيار المصباح على القيمة المحددة الخاصة بها ويركز الجهاز على الهدف ويدار السفين إلى أن تختفى صورة البقعة فى صورة الهدف . وتقرأ درجة الحرارة مباشرة على تدريج مرتبط بالسفين ويحصر المرشح الأحمر فى العينية أطوال الموجات المستخدمة فى حزمة ضيقة . ومدى قياس

هذا النوع من البيرومتر هو ٧٦٠ - ٢٨٧٠°م . وتعتمد ضباطة القراءات المأخوذة بالبيرومترات البصرية اليدوية إلى حد كبير على خبرة ومهارة الراصد فمثلاً يستطيع الراصد العادى كشف عدم المضاهاة فى النصوع المكافئ لـ ٠,١ ٪ أو ٠,٢ ٪ من درجة الحرارة ١٠٩٥°م وما فوقها تبعاً لظروف الرؤية . أما بالنسبة لدرجات الحرارة الأقل من ٨٧٠°م فإن ضباطة القراءات تقل بدرجة مطردة بسبب تناقص الإشعاع ، ونقص قدرة العين على التمييز ، فى حين تتناقص الحساسية بسبب تفلطح منحنى التيار الكهربائى ودرجة حرارة المصباح . أما دقة هذه البيرومترات فإنها تعتمد على النظام الضوئى لها وعلى ظروف القياس . فالبيرومترات ذات مدى قياس من ٨٠٠ - ١٢٥٠°م تكون ذات دقة أفضل من ± ٥°م . والبيرومترات ذات مدى قياس ١١٠٠ - ١٩٠٠°م تكون ذات دقة أفضل من ± ١٠°م ، وللحصول على دقة عالية يجب أن تكون جميع أجزاء البيرومتر عالية الجودة ومصفوفة ومجمعة بطريقة صحيحة ومناسبة ويجب أن تكون العدسات والمواد المنفذة للضوء خالية من العيوب التى تؤدى إلى تشوه أشعة الضوء أو تفرقها ، ويجب أن تعطى فتيلة التنجستن بالمصباح عند تسخينها نصوعاً منتظماً فى الجزء الواقع فى مجال الرؤية والمستخدم كمرجع للاستضاءة .

(ب) البيرومترات البصرية التلقائية :

تعتمد البيرومترات التلقائية فى عملها على أساس مشابه لأساس تشغيل البيرومتر البصرى اليدوى غير أن المقارنة تتم بواسطة كشاف - كهرو - ضوئى بدلاً من العين ، كما أن ضبط تيار المصباح يتم ألكترونيًّا بنظام توازن صفرى بدلاً من اليد ، ويمكن للكشاف الكهروضوئى كشف إشعاعات ذات ترددات تقع خارج الطيف المرئى وداخله ويمكن عن طريق مرشحات ضوئية تضييق اتساع قراءاته حتى يقع فى مدى الكشاف عند حزمة إشعاع مناسبة . وثمة فارق آخر بين البيرومتر التلقائى

واليدوى أن مصباح البيرومتر التلقائى لا يركب فى مستوى صورة الهدف وبذلك فإنه يوجد قطاران ضوئيان منفصلان أحدهما خاص بإشعاع المصباح والآخر بالهدف ، وبالتالى فإن استضاءة فتيلة المصباح لا تكون بالضرورة مساوية لاستضاءة الهدف بالرغم من أن فيض الإشعاع الواصل إلى الكشاف من كل منهما يكون واحداً .

معايرة البيرومترات البصرية :

أفضل طريقة لمعايرة البيرومتر البصرى هى توجيهه نحو مصباح ذى فتيلة من التنجستن أو مصباح الجسم الأسود المعلومة درجة حرارته بدلالة تيار المصباح . وتتم المقارنة بين درجات الحرارة للبيرومتر المختبر وما يناظرها من درجات حرارة المصباح .

مزايا وعيوب البيرومترات – تتميز البيرومترات بما يلى :

(١) طول العمر حيث لا يتعرض أى جزء من البيرومتر لتأثير درجات الحرارة العالية .

(٢) يبين درجة حرارة الجسم المختبر دون أن يؤثر عليها – كما فى حالة الترمومترات الأخرى التى تمتص بصيلاتها أو أجزاؤها الحساسة جزءاً من حرارة الجسم – وعليه فإنه يمكن استخدامه لقياس درجة حرارة الأسلاك الرفيعة وما شابهها .

(٣) يتم القياس بها بسرعة كبيرة ولا تحتاج للتلامس المباشر مع الجسم المختبر وبذلك أيضاً يمكن قياس درجات حرارة الأجسام المتحركة .

(٤) يمكن الحصول بواسطة البيرومترات البصرية التلقائية على تسجيل لدرجات حرارة الجسم المشع أو التحكم فى درجات الحرارة .

ومن جهة أخرى فإن للبيرومترات أيضاً عيوبها التالية :

(١) التكاليف عالية .

(٢) انخفاض الدقة بالنسبة لبيرومترات الإشعاع الكلى .

(٣) العامل البشرى مصدر هام للخطأ بالنسبة للبيرومتر البصرى اليدوى .

(٤) تنشأ أخطاء فى حالة استعمال البيرومترات البصرية نتيجة وجود نوافذ أو دخان أو غازات متوهجة واقعة ما بين الراصد والجسم المختبر ومثل هذه الأخطاء تكون صعبة التصحيح .

٨ / ٣ المبينات اللونية :

يستدل على درجة الحرارة من ألوان أسطح التكوينات الأكسيدية التى تتكون أثناء المعالجة الحرارية للصلب . وقد أمكن إنتاج نوع خاص من السبائك لاستخدامه كمبين أو دليل لدرجة الحرارة بواسطة لونها الذى يتغير بطريقة واضحة فى المدى من ٥٠٠ إلى ٨٨٠°م .

تسجيل توزيع درجات حرارة الأجسام :

يمكن تسجيل توزيع درجات الحرارة للأجسام حتى ٤٥٥°م بواسطة التصوير بالأشعة دون - الحمراء - وفى الصور الناتجة تكون المساحات الأكثر استضاءة هى المساحات ذات درجة الحرارة الأعلى وتقل الاستضاءة كلما قلت درجة الحرارة .