

## درجات الحرارة الواطئة: **Low Temperatures**

يطلق على العلم الذي يهتم بدراسة الخواص الفيزيائية للمواد في درجات الحرارة الواطئة **بعلم الزمهرير**، غالباً ما تطلق تسمية درجات الحرارة الواطئة على الدرجات الحرارية الأقل من مائة درجة كلفينية (أي 100K)، يمكن الحصول على درجات حرارية واطئة باستخدام العديد من الطرق. تستند جميع هذه الطرق على فكرة واحدة وهي يجب سحب جزء أو كل الطاقة الداخلية للمادة المراد خفض درجة حرارتها. ان طريقة التبريد المستخدمة في الثلجات ومكيفات الهواء هي استخدام الضغط في درجة الحرارة الاعتيادية فقط، حيث تكبس غازات مثل الامونيا والفيرون بمكبس، فيؤدي ذلك إلى رفع درجة حرارتها (أي تسخن فوق درجة حرارة المحيط) ثم يتم تبريدها إلى درجة حرارة المحيط، وبما ان هذا الغاز واقع تحت ضغط فيؤدي إلى تحويله إلى سائل. ثم يُسمح لهذا السائل ان يتمدد ويتبخر فتتخفض درجة حرارته مما يؤدي إلى سحب حرارة من المنطقة المحيطة به مؤدياً إلى خفض درجة حرارتها، ومن ثم يعاد الغاز إلى المكبس ثانية لإكمال الدورة. وهنا يقوم الغاز **بنقل الحرارة من الجزء المراد خفض درجة حرارته إلى المحيط الخارجي.**

تعد طريقة تحويل الغاز إلى سائل من الطرق المستخدمة على نطاق واسع في الحصول على درجات الحرارة المنخفضة، وتتشترك هذه الطرق المختلفة بما يأتي:

١. خفض درجة حرارة الغاز المراد تسييله.
٢. زيادة الضغط المسلط عليه.

يجب تبريد الغاز المراد تحويله إلى سائل إلى درجة حرارية أقل من الدرجة الحرارية الحرجة له. وتعرف **الدرجة الحرجة للغاز**: بأنها الدرجة الحرارية التي لا يمكن تسييل الغاز فوقها مهما بلغ الضغط المسلط عليه.

كما ويعرف **الضغط الحرج**: على انه اقل قيمة للضغط اللازم لتسليطة على الغاز المراد تسييله عند درجة حرارته الحرجة.

وكلما انخفضت درجة حرارة الغاز المراد تسييله إلى ما دون درجة حرارته الحرجة سهل تسييله وقلت قيمة الضغط الذي يجب تسليطه لأجل تحويل الغاز إلى سائل.

درجات الحرارة الحرجة والضغط الحرج لعدد من الغازات.

الغاز	درجة الحرارة الحرجة °C	الضغط الحرج (atm)
الأمونيا	132	111.3
الفرينون	111.4	39.6
الأوكسجين	-118	50.1
النتروجين	-146	12.8
الهيدروجين	-240	12.8
الهيليوم	-269	2.26

وباستخدام هذه الطريقة (التبريد وتسلط الضغط) جرى تسهيل غازات الاوكسجين والنتروجين والهيدروجين والهيليوم. يملك غاز الهيليوم أقل درجة تسهيل من بين جميع الغازات. ان درجة حرارة غليان سائل الهيليوم تحت الضغط الجوي الاعتيادي تساوي **4.2K**.

الجدول يبين درجة حرارة غليان بعض سوائل الغازات بالدرجات السيليزية والكلفنية، وكما يبين أيضا درجة حرارة انجماد سوائل الغازات المذكورة. وغالباً ما يستعان بسائل الغاز ذي درجة حرارة الغليان العالية في تبريد الغاز ذي درجة حرارة الغليان الأقل أولاً ثم القيام بعملية تسيله ثانياً، أي يمكن الاستعانة بسائل الأوكسجين ( $-183^{\circ}\text{C}$ ) في تبريد غاز النتروجين إلى درجة حرارة ( $-183^{\circ}\text{C}$ ) قبل القيام بعملية تحويله إلى سائل ( $-196^{\circ}\text{C}$ )، ويستعان كذلك بسائل النتروجين في تبريد غازات الهيدروجين والهيليوم قبل عملية تحويلها إلى سائل الهيدروجين ( $-253^{\circ}\text{C}$ ) وسائل الهيليوم ( $-289^{\circ}\text{C}$ ).

**درجات غليان وانجماد سوائل الغازات.**

سائل الغاز	درجة حرارة غليان السائل °C	درجة حرارة انجماد السائل °C
الهيليوم	-289(4.2K)	
النتروجين	-196(77K)	-210
الهيدروجين	-253(20.4K)	-259
الأوكسجين	-183(90K)	-218

ومن الطرق المستخدمة في الحصول على درجات حرارية اقل من درجة حرارة غليان سوائل الغازات هي:

**1. طريقة جعل سائل الغاز يغلي من دون تزويده بالطاقة الحرارية:** تتم هذه الطريقة وذلك بخفض الضغط المسلط على السائل مما يؤدي إلى خفض درجة غليانه، ويبدأ بالغليان فيعمل على سحب الحرارة من السائل نفسه فتتخفض درجة حرارته. وبذلك نحصل على درجة حرارة اقل من درجة حرارة غليان السائل تحت الضغط الجوي الاعتيادي. ان قيمة درجة الحرارة المنخفضة التي يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة تحددها عدة عوامل منها:

**قيمة الضغط المنخفض:** الذي يمكن الوصول إليه بهذه الطريقة .  
**نوع سائل الغاز:** الذي يتم تبريده بهذه الطريقة.

وإمكانية تحوله من الحالة السائلة إلى الصلبة.

## **2. طريقة الحصول على درجات حرارية من 1K إلى 1mK**

يتم استخدام طريقة تبريد مختلفة تماماً عن الطريقة الأولى، والتي تسمى بالطريقة المغناطيسية في التبريد ومن الجدير بالذكر ان هذه الطريقة تكمل الطريقة الأولى، إذ يتم تبريد سائل الهيليوم من 4.2K إلى 1K عن طريق خفض الضغط المسلط عليه، ومن هنا تبدأ الطريقة الثانية في الحصول على الدرجات الحرارية الأقل من 1K.

ان أكثر الغازات استخداماً في الحصول على درجات الحرارة الواطنة هما غازي النيتروجين (77K) والهيليوم (4.2K)، لان استخدام كل من الهيدروجين والأوكسجين ينطوي على مخاطر إضافية عديدة. ومن أهم مزايا سائل الهيليوم عن بقية سوائل الغازات الأخرى بقاؤه سائلاً تحت ضغط بخاره المشبع حتى لو انخفضت درجة حرارته إلى الصفر المطلق. وان اقل درجة حرارية يمكن الحصول عليها من خلال خفض الضغط المسلط عليه تحددها سرعة سحب الغاز فوق السائل وليس نقطة انجماد سائلة، على خلاف سوائل بقية الغازات.

## المقاومة النوعية (المقاومية) : Resistivity

هي مقاومة موصل من المادة طوله 1متر ومساحة مقطعه 1متر مربع عند درجة حرارة معينة. وحدة المقاومة النوعية (  $\rho$  ) تقاس بـ(Ω.m).  
لنعتبر سلكاً طوله L ومساحة مقطعه العرضي A، وكما ذكرنا فقد أوضحت التجارب بالفعل أن:

$$R = \rho L / A$$

واجب بيئي: اشتق الاوم بالوحدات الاساسية.

توجد علاقة لتغير المقاومية مع درجة الحرارة.

$$\rho_t = \rho_o + \alpha \rho_o (t - t_o)$$

وهناك ايضا علاقة خطية بين المقاومة الكهربائية للمعدن ودرجة الحرارة.

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t)$$

حيث  $\alpha$ : معامل الحراري للمقاومة .

العوامل التي تعتمد عليها مقاومة موصل تتلخص بما ياتي:

- ١ . طول الموصل (طردي).
- ٢ . درجة حرارة الموصل (طردي).
- ٣ . مساحة مقطع الموصل (عكسي).
- ٤ . نوع مادة الموصل.

مثال (١): احسب المقاومة لأسطوانة من الالمنيوم طولها 10 cm ومساحة مقطعها  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  . كرر الحسابات لأسطوانة لها نفس الابعاد ومصنوعة من الزجاج، إذ ان المقاومة النوعية لها هي  $3 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$  والمقاومة النوعية للألمنيوم هي  $2.82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ .

الحل: مقاومة اسطوانة الألمنيوم هي:

$$R = \rho L / A$$

$$= 2.82 \times 10^{-8} \frac{0.1}{2 \times 10^{-4}} = 1.41 \times 10^{-5} \Omega$$

مقاومة اسطوانة الزجاج هي:

$$R = \rho L/A$$

$$= 3.0 \times 10^0 \frac{0.1}{2 \times 10^4} = 1.5 \times 10^3 \Omega$$

نلاحظ ان مقاومة اسطوانة الزجاج اكبر بـ  $10^{18}$  من مقاومة اسطوانة الألمنيوم.

مثال (٢): سلك نحاسي طوله 20m ومساحة مقطعة  $4\text{mm}^2$  أحسب مقاومة هذا السلك في درجة حرارة قدرها  $20^\circ\text{C}$  إذا علمت ان المقاومة النوعية للنحاس في هذه الدرجة تساوي  $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ . كم تصبح مقاومة السلك إذا سخن إلى درجة  $80^\circ\text{C}$ ؟ علما بان معامل المقاومة النوعية الحرارية للنحاس هو  $0.00393^\circ\text{C}^{-1}$ .

$$R = \rho L/A$$

$$R = \frac{(1.72 \times 10^{-8}) \times 20}{4 \times 10^{-6}} = 0.08 \Omega$$

$$\rho_{80} = \rho_{20}(1 + \alpha(t - t_{20}))$$

$$\rho_{80} = 1.72 \times 10^{-8} [1 + 0.00393(80 - 20)]$$

$$= 2.13 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$R = \rho L/A$$

$$R = \frac{(2.13 \times 10^{-8}) \times 20}{4 \times 10^{-6}} = 1.065 \times 10^2 \Omega$$