المقتطف

مجلة علمية صناعية زراعية

الجزء الخامس من المجلد الحادي والثمانين

١ ديسمبر سنة ١٩٣٢ — ٣ شعبان سنة ١٣٥١

الاضداد في الطبيعة

العقل الانساني مولع بالمفاضلة . فيتجشم الناس مشاق الاسفار ليروا اعلى الجبال او اكبر المباني أو اروع مشاهد الغروب او اقدم الآثار أو للاجتماع باعظم المعاصرين . لا يذكر كل قارئ شعوره لما قيل لهُ في صغره بانه سوف يرى اضخم الفيلة أو اصغر الاقزام أو اقوى المصارعين . ثم اذا قرأنا الصحف اعجبنا اشدَّ الاعجاب بما تروبه عن اسطع المنائر التي تبلغ قوة ضوئها ملايين من الشموع واصغر المصابيح الكهربائية حتى ليستطيع الجرَّاح ادخالها من ثقب دقيق الى جمجمة الرأس في اثناء عملية جراحية واطول الجسور وادق الاسلاك واضخم البلونات واسرع السفن وما الى ذلك . ان الاشياء العادية لا تسترعي انتباهنا ولكنها اذ شذَّت عن المستوى العادي نبهت فينا عناية خاصة بها

والطبيعة اغدقت على الانسان هباتها متباينة الصفات والخواص ، فمهَّد العلم للانسان سبيل تعديل هذه الخواص وجعلها ملائمة لاغراضهِ . فاذا كان صانع الساعات يطلب زنبلكاً شديد المرونة همَّهُ ان يعرف ما هي العناصر او المركَّبات التي يستطيع ان يستخدمها لصنع هذا الزنبلك وكيف يعالجها لتتصف بالصفات المطلوبة . كذلك المهندس الذي يطلب كرات دقيقة لمحاور العجلات ، والطبيب الذي يبحث عن علاج لمريض . كلهم يطلب افضل ما يمكن لتأدية غرضهِ . واذن فرغبتنا النظرية في المفاضلة بين الاشياء تذكيها مطالب الحضارة . والبحث في الاضداد — في اصغر الاشياء واكبرها ، أثقلها وأخفها ، اغلاها وارخصها ، اكثرها قابلية للمدّ والانطراق ،

اعلى درجات الحرارة وادناها ، ليس الغرض منهُ اكتفاء العقل الفطري فقط بل هو من اشتى ما يعنى به الباحثون وتفسح لهُ المجلات العلمية صفحاتها[1]

ما اثقل المواد

لابدَّ من التدقيق في الاجابة عن هذا السؤال لان المواد الثقيلة في الطبيعة كثيرة والفروق بينها دقيقة . ولا ريب في ان اثقل المواد يجب ان يكون من الجوامد ، لان الجوامد تحتوي عادة على المادة في اكثف حالاتها . فثمة صخور ومعادن كثيرة مشهورة بثقلها ولكن يندر بينها ما يزيد وزن بوصة مكعبة منهُ سبعة اضعاف عن وزن بوصة مكعبة من الماء[2] ولكن الفلزات (metals) التي يزيد وزنها النوعي عن ١٠ كثيرة ولا تقل عن ١٧ فلزاً . وقد جرت العامة على قولها « اثقل من الرصاص » اذا شاءت ان تصف جسماً ما بالثقل العظيم لان العامة جربت ثقل الرصاص النوعي في كثير من معاملاتها اليومية . ولكن الرصاص يبعد عن ان يكون اثقل الفلزات . فالذهب والزئبق والبلاتين والثنتالوم والثاليوم والثوريوم والتنغستن والاورانيوم تفوقهُ جميعاً في وزنها النوعي . وفي اختيار اثقل هذه الفلزات يجب ان نعنى عناية خاصة بتحضير النماذج المستعملة اساساً للمقابلة . فالذهب اذا نقي في فرن كان وزنهُ النوعي ١٨٫٨٨ ولكنهُ اذا مُدَّ بعد احمائهِ بالنار وسقيهِ بالماء اصبح ١٩٫٣٦ . كذلك الذهب الزهر وزنهُ النوعي ١٩٫٣ ولكنهُ اذا كان مطرَّقاً اصبح ١٩٫٣٣ . واذن فالمقابلة يجب ان تتم بين نماذج حضّرت بطريقة واحدة . واثقل الفلزات التي يتناولها الناس عادة هو عنصر البلاتين ويتباين وزنهُ النوعي من ٢٠٫٩ الى ٢١٫٧ ويشبههُ في ذلك الاسميوم والاريديوم وهما من الفلزات غير المشهورة . وكلاهما اثقل من البلاتين قليلاً . فوزن الاسميوم النوعي يتباين من ٢١٫٣ الى ٢٤ فاذا كان في اكثف ما يكون عليهِ كان اثقل المواد على سطح الارض

ما اخف المواد

لقد بحثنا عن اثقل المواد بين المعادن والفلزات فيجب ان نبحث عن اخفها بين الغازات لانها تحتوي على المادة في الطف اشكالها . تقول العامة « اخف من الريشة » ولكن خفة الريشة اذا قيست بخفة بعض الغازات كانت كبعض المعادن ازاء الماء . ولا يخفى ان الريشة اثقل من الهواء ، ومهما يضرب بها المثل في الشعر العربي بعدم الاستقرار ، فلا بدَّ ان تهبط الى الارض .

---

(١) هذه المقالة مبنية على بحث مسهب في المجلة العلمية الاميركية (٢) تعرف هذه الصفة بالثقل النوعي او الوزن النوعي . وهو النسبة بين وزن جسم من حجم معين ووزن جسم من الماء من الحجم عينه . فاذا قيل هذه المادة يبلغ ثقلها النوعي ١٠ عنى ان مقداراً منها يزن عشرة اضعاف مقدار يعادله من الماء

ولكن بعض الغازات اخف من الهواء فاذا اطلقت فيه ارتفعت بدلاً من ان تهبط الى سطح الارض . وقد جرى العلماء لدى الكلام في الغازات على المقابلة بين مقدارٍ من الغاز ومقدارٍ مثله من الهواء . وكل غاز اخف من الهواء تكون كثافتهُ اقل من ١ لان هذا الرقم هو الممثل لكثافة الهواء . فالاسيتلين والامونيا واكسيد الكربون الاول والنيون والنتروجين والهليوم اخف من الهواء . اما الثلاثة الاولى فمركبات . واما الثلاثة الاخيرة فعناصر . وتبلغ كثافة عنصر الهليوم ١٣٨ ر٠ فهي اقل من سبع كثافة الهواء . ومع ان الهليوم خفيف جداً لا يمكننا بحال من الاحوال ان نحسبهُ اخف المواد على سطح الارض . ذلك اننا اذا اخذنا لتراً من الايدروجين ووزناهُ واخذنا لتراً من الهليوم ووزناهُ وجدنا ان وزن الايدروجين نحو نصف وزن الهليوم . فيصح ان نحسب الايدروجين اخف المواد التي تناولها . ولكن لا يصح ان نقول انهُ اخف المواد على سطح الارض لان المشتغلين بالاشعة المولدة للكهارب في فراغ الانابيب العلمية يتناولون تيارات من الكهارب . وهذه التيارات لابد ان تكون اخف من الايدروجين لان كل الكترون ليس الا جزءا من ذرة الايدروجين

وقد سبق ما عرف عن اخف العناصر تطبيقاً عملياً في شؤون الملاحة الجوية . فملأ البلونات — مثل البلون غراف تسبلين — بالايدروجين تارة وبالهليوم اخرى . وقوة الايدروجين على رفع الاجسام عن سطح الارض غريبة . فالانسان لا يستطيع ان يرفع نفسهُ اكثر من ست اقدام ونصف قدم في الهواء . وهو الرقم القياسي في القفز العالي . ومع ذلك لا بد لهُ من قوة عضلية ومرانة وخفة لبلوغهِ . والذين بلغوهُ قلائل . اما الايدروجين فيرفع جسماً ثقيلاً عن الارض . فاذا ملأت بلوناً ما وزنهُ رطل من الايدروجين رفع ثقلاً وزنه ١٤ رطلاً . ولكنهُ شديد الالتهاب . لذلك يمنع التدخين في البلون غراف تسبلن في اثناء الطيران وعلى مقربة منه في حظيرتهِ . ومردُّ طائفة كبيرة من الكوارث التي أصابت البلونات الى شدة التهاب الايدروجين . اما الهليوم فتقل رطلاً من الايدروجين ولكنه لا يلتهب . وقد كانت اكبر مصادره — حتى عهد قريب — في الولايات المتحدة الاميركية فاستعملتهُ حكومتها في ملء بلوناتها الحربية ومنعت اصدارهُ من بلادها

ما اقسى المواد

لا بد من تعريف « القساوة » ثم البحث عن اسلوب لقياسها ، قبل البحث عن المواد المتصفة بها . فاذا قال احد المهندسين ان هذا الفلز أو ذاك قاسٍ فقد يفسَّر قولهُ بمعانٍ كثيرة . فاذا قال ان كرات العجلات في هذه الماكنة مصنوعة من فلزٍ صلب على انها

وهي مزيتة لا تتآكل بسرعة في اثناء دوران العجلة وفرك السطوح المعدنية الملامسة لها. واذا اشار الى الصلب الذي تصنع منهُ الخطوط الحديدية بانهُ صلب قاسٍ قصد انهُ لا يتآكل بسرعة من سير العجلات عليهِ من دون تزييته . واذا تكلم عن قساوة الفلزات في آلة معدة لتحطيم الحجارة عنى مقاومتها « للبرش » في اثناء هذا العمل . فاذا وصف بالقساوة فلزاً معداً للقطع عنى بذلك مقدار ما يلقاهُ الصانع من الصعوبة في قطعهِ . وكل واحدة من هذه الصفات تختلف عن الاخرى وكلها تعرف باسم عام هو القساوة (Hardness)

فاختيار وسيلة لقياس قساوة المواد للموازنة بينها يكاد يكون متعذراً . ولكن المهندسين جروا على تعريف القساوة بمقدار ما تحدثهُ آلة مقساة تقسية خاصة في مادة ما اذا ضغطت عليها ضغطاً معيناً . وطريقة « برينل » تستعمل كرة من الصلب قطرها عشرة ملليمترات . فترضع تحتها المادة التي يراد قياس قساوتها وتضغط هذه الكرة عليها ضغطاً معيناً ثم ينظر في ما احدثتهُ الكرة في المادة من اثر . وقد يستعمل بدل الكرة مخروط صغير من الصلب او مطرقة ذات وزن معين تهبط من علو معين ثم يقاس مقدار ارتدادها . وغير ذلك . وهذه الوسائل كلها تمكن الباحثين من الموازنة بين قساوة المواد المختلفة بالمعنى الخاص بها دون غيره . لانهُ قد تكون مادة قاسية جداً ولكنها قابلة للانكسار فاذا ضغط عليها المخروط الفولاذي او سقطت عليها المطرقة تشعثت او تحطمت

اما المعدِّن فتهمُّهُ الموازنة بين قساوة المعادن (Minerals) ولذلك يستعمل سكيناً او مبرداً مصنوعاً من مادة قاسية فيخدش المعادن بقوة معينة ثم يقيس الخدش وبذلك يوازن بين قساوة المواد المختلفة

واقسى المعادن في الطبيعة هي الماس فالياقوت الازرق فالياقوت الاصفر فالكوراندم

***

ولكن ثمة امكان صنع مواد اقسى من الماس . فدرجات الحرارة العالية التي يمكن بلوغها في الاتانين الكهربائية مهدت السبيل لصنع مواد قاسية جداً وهي مركبة في الغالب من عناصر الكربون والسليكون والبوروق وبعض الفلزات واشهر هذه المواد « الكربورندم » و« كاربيد السليكون ويصنع باحماء مزيج من الكربون والسليكون في أتون كهربائي على درجة عالية من الحرارة . وقساوتهُ تكاد تساوي قساوة الماس . ويستعمل في الصناعة لصقل الادوات المعدنية والفلزية القاسية . وقد صنعت مركبات السليكون والكربون والبوروق من عناصر الالومنيوم والكلسيوم والقناديوم والتيتانيوم والزركونيوم والموليبديوم والتنغستن والتنتالوم والكروميوم جاءت شديدة القساوة . وثمة مركب « كربيد البورون » فقد قيل انهُ يصلح لصقل الماس . والمرجح ان صنع مادة اقسى من الماس لم يتحقق بعد

والماس مشهورٌ على انهُ من الحجارة الكريمة . ولكن نصف ما يستخرج منهُ من المناجم يستعمل في الصناعة في صقل الاجزاء الفلزية في الآلات الدقيقة كالساعات والمقاييس العلمية . ثم ان غبار الماس يستعمل في قطع الحجارة الكريمة وصقلها . واشهر البلدان التي يستخرج الماس منها بلاد جنوب افريقية اذ يستخرج من مناجمها ٩٥ في المائة من الماس المستخرج في العالم . اما اكبر حجارة الماس التي وجدت فهو ماسة كولينان وكان وزنها لما وجدت ٣١٠٦ قراريط وماسة كوهي نور ووزنها الآن بعد صقلها مائة قيراط

ما اكثر المواد قبولاً للمد

مدَّ الحبل ومدَّ به مطلهُ . والمدُّ في علم المعادن قابلية الفلز لان يُمدَّ او يسحب سلكاً طويلاً . ويكاد يلازم هذه الصفة قابلية الفلز للانطراق رقوقاً

وهاتان الصفتان تمتاز بهما الفلزات . وفي تعيين ايها اشد قبولاً للمدّ والانطراق يجب ان نراعي صفاة الفلز من الشوائب وطريقة تحضيره . فوجود شوائب في الفلز يجعله اشد قبولاً للتكسُّر . ولنا في عنصر التنغستن ابلغ مثل على ذلك ، وهو الفلزُّ الذي تصنع منهُ اسلاك المصابيح الكهربائية . فلما حاول الباحثون صنع اسلاك المصابيح منهُ وجدوهُ يتكسر بين ايديهم فلا يستطيعون مدّهُ اسلاكاً . ولكن لما حضّر تحضيراً صفاهُ من الشوائب ، وعولج بالنار معالجة خاصة ، اصبح يسهل مدّهُ اسلاكاً دقيقة كما ترى في المصابيح

لذلك يعتقد العلماء ان الفلزات التي تحسب قاسية متكسرة تصبح مرنة قابلة للمدّ والطرق اذا صفّيت من شوائبها وحضّرت التحضير الموافق لها

وقد يحدثُ احياناً ان وجود بعض الشوائب يجعل الفلز اشدَّ مرونة منهُ اذ خلا منها . فالحديد المطرَّق مثلٌ يضرب بين الفلزات في الطراوة والقساوة والمرونة وقابلية المدّ . وذلك لانهُ يحتوي على مقدار معين من الكربون والفصفور مع ان هذه الشوائب في الحديد تجعله قاسياً وقابلاً للتكسر بوجهٍ عام

ومن المجمع عليهِ الآن ان الذهب فالفضة فالنحاس اكثر الفلزات قبولاً للمدّ والطرق ويليها القصدير والبلاتين والرصاص والزنك الحامي

فالذهب ينزل من هذه القائمة في الرأس ، لانهُ مدّت منهُ اسلاك دقيقة لا ترى الاَّ بالمجهر . ويقال ان غراماً من الذهب مدّ سلكاً طولهُ ٣٠٠٠ متر . فاذا صحَّ ذلك فاوقية الذهب تمدُّ سلكاً طولهُ خمسون ميلاً . وقد طرق الذهب اوراقاً رقيقة حتى ان ١٥٠٠ ورقة منهُ لا تزيد كثافتها على كثافة صفحة من المقتطف ، فاذا جمعنا منها ٣٠٠٠٠٠ ورقة لم يزد علوها عن بوصة

واحدة . واذا اخذنا اوقية من الذهب وطرقناها كما تقدم بلغت مساحتها ١٨٩ ميلاً مربعاً اما الورق الذهبي المستعمل في التجارة في صناعة التجليد والتذهيب فيحتوي على ٣ في المائة من النحاس و٣ في المائة من الفضة. والغرض من اضافة هذين العنصرين تحسين اللون وتقوية الورق حتى يستطاع تناولهُ في الاعمال من دون تفتيته

اما عنصر التنغستن فيباري الذهب في ذلك ولكنهُ لا يساويهِ . فقد حضّر حديثاً خالياً من كل شائبة وعولج بالنار فامكن مدّهُ سلكاً قطرهُ خمسة اجزاء من الف جزء من المليمتر او $\frac{1}{20}$ من شعرة الانسان ونحن قليلاً من ادق اسلاك الذهب. وقد تسفر موالاة البحث في التنغستن عن امكان مدّه اسلاكاً ادق من اسلاك الذهب

ما اعلى درجات الحرارة

ونقصد هنا اعلى درجات الحرارة التي بلغها الانسان بوسائلهِ الصناعية . والطريقة العادية التي يجري عليها الانسان لتوليد درجات الحرارة العالية هي اشعال وقيدٍ جامد مثل الفحم او « الكوك » (وهو الفحم الحجري الذي طار غازهُ منهُ) في الهواء . واستعمال هذه الطريقة تمكننا من توليد حرارة تبلغ نحو ٧٠٠ درجة بميزان سنتغراد (مئوية) وهي كافية لصهر القصدير والرصاص والزنك . وقد تولّد حرارة تبلغ ١٢٠٠ درجة مئوية اذا استعمل تيار جاف وهي كافية لصهر النيكل والحديد. فاذا اردنا ان نولد حرارة اعلى مما تقدم سحق الوقيد ثم ادخل الى الاتون في تيار من الهواء فيتكوّن من دقائق الوقيد وجزيئات الهواء مزيج يولّد لدى احتراقهِ حرارة درجتها ١٦٠٠ مئوية وهذا الاتون يستعمل في صنع الاسمنت . فاذا شئنا المزيد ابدلنا الهواء في مزيج الوقيد والهواء بغاز الاكسجين فنجتنب فعل نتروجين الهواء الذي لا يشتعل وتبلغ الحرارة نحو ٢٠٠٠ درجة مئوية . فاذا استعمل غاز مشتعل مع الاكسجين كالايدروجين مثلاً تولدت حرارة هي اعلى حرارة نستطيع توليدها من وقيد مشتعل. وتبلغ ٢٨٠٠ درجة مئوية . وقد استنبطت حديثاً وسيلة لتجزئ غاز الايدروجين واستعماله مجزءاً في توليد الحرارة فولدت حرارة بلغت ٣٨٠٠ درجة. وهذه الحرارة كافية لصهر أو تبخير كل مادة ارضية معروفة الا الكربون والمادة الصناعية الجديدة وهي كربيد التنتالوم

وقد شاع حديثاً استعمال الاتون الكهربائي. ومبدؤهُ تحويل الطاقة الكهربائية الى حرارة بامرار تيارها في مادة مقاومة له . فاذا لفّ سلك حول قضيب فلزي وأُمرَّ تيار كهربائيٌّ في السلك تولدت حرارة تبقى آخذةً في الارتفاع حتى تبلغ درجة يلين عندها الفلز . فاذا استعملت اخلاط النيكل والكروم أمكن الحصول على حرارة تبلغ درجة ١٠٠٠ بميزان سنتغراد . واذا

استعمل سلك مصنوع من عنصر المولبدينوم او التنغستن بلغت ١٦٠٠°. وثمة نوع آخر من الاتاتين الكهربائية مبني على استعمال مبدإ النور القوسي فيمر التيار الكهربائي في انبوب يحتوي على حبيبات من الكربون وهي شديدة المقاومة لمرور التيار فترتفع الحرارة حتى لقد تبلغ درجة ٣٥٠٠ الى ٣٦٠٠ درجة مئوية وفي هذه الاتاتين تصنع مادة الكربورندم التي ذكرناها في المواد القاسية. ولكن يؤخذ على هذه الطريقة عجزنا عن السيطرة عليها وتباين درجات الحرارة في احوال متماثلة. وهناك انواع اخرى من الاتاتين الكهربائية نضرب عنها صفحاً

وقد حاول بعض العلماء من عهد قريب ان يجمعوا حرارة الشمس في نقطة معينة باستعمال عدسات ومرايا مختلفة وقد بلغت اعلى درجات الحرارة التي بلغوها بهذه الطريقة ٣٠٠٠ درجة مئوية. وقد يسفر البحث في هذه الناحية في بضع السنوات المقبلة عن بلوغ درجات من الحرارة اعلى جداً مما بلغناه حتى الآن

اما قياس الحرارة في درجاتها العالية فمسألة ذات شأن. فنحن قد اعتدنا استعمال الميزان الزئبقي (ميزان الحرارة الذي يستعمله الاطباء في قياس حرارة المرضى او ما هو مبني على مثاله) لما ثبت لنا من صحة الاعتماد عليه. ولكن اذا بلغت الحرارة ٥٠٠ درجة مئوية وجب البحث عن مقياس آخر. وقد عمد الطبيعيون الى الغازات فانهم يعلمون انها تتمدد تمدداً معيناً محدوداً بارتفاع حرارتها فبنوا على هذا المبدأ مقاييس غازية لقياس درجات الحرارة. وقد تملأ الانابيب المستعملة لهذا الغرض بالايدروجين او الهليوم او النتروجين او الارجون ثم يعين ارتفاع الحرارة بمقدار زيادة ضغط الغاز اي بمقدار تمدده. والظاهر انها بسيطة التركيب دقيقة القياس وسهلة التناول

وقد صنعت مقاييس كهربائية ولكنها معقدة التركيب ويحتاج العامل الى براعة خاصة لكي يحسن استعمالها. ومع ذلك فهذه الطرق كلها لا تصلح لقياس اعلى درجات الحرارة. لانه اذا زادت درجة الحرارة عن ١٧٧٤ درجة مئوية — وهي درجة انصهار البلاتين — اصبحت كل هذه المقاييس المبنية من مواد اقل صلابة من البلاتين، لا تصلح لانها تلين وقد تنصهر قبل بلوغ هذه الدرجة

لذلك بنوا مقاييس تعرف « بالمقاييس الضوئية » ولا نستطيع ان نتبسط في وصفها هنا انما المبدأ الذي تقوم عليه هو انه كلما ارتفعت الحرارة تغير لون الاشعة المنبعثة منها، أي تغير طول امواجها. فاذا تبيّنا اللون او قسنا طول الاشعة استطعنا تقدير درجة الحرارة التي انبعثت منها هذه الاشعة. على ان اعلى درجات الحرارة التي بلغها الانسان باستعمال اصناف الوقيد المختلفة وبناء الاتاتين الكهربائية، ليست شيئاً يذكر ازاء حرارة الشمس اذ يقدر علماء الفلك الطبيعي (Astrophysics) حرارتها بـ ٤٠٠٠٠٠٠٠ درجة مئوية !

ما ادنى درجات البرد

ان توليد درجات البرد الشديد يقوم على ازالة حرارة الاجسام بوسائل مختلفة . واشهر هذه الوسائل هي المستعملة في صنع (الجلاته او الدندرمة) اذ يؤخذ المزيج الذي يراد تجميده ويوضع في وعاء من الالومنيوم مثلاً يحيط به وعاء خشبي آخر اكبر منهُ وبين جداري الوعائين يوضع مزيج من الجمد (الجليد) والملح . والجمد في ذوبانه يمتص كثيراً من الحرارة . ولما كان المعدن اكثر ايصالاً للحرارة من الخشب ، فالجليد يمتص من المزيج في الوعاء المعدني اكثر مما يمتصهُ من الهواء خارج الوعاء الخشبي . ويمكن الهبوط بالحرارة ، بهذه الطريقة ، الى ٢٠ او ٢٥ درجة مئوية تحت الصفر . فاذا استعمل ثاني اكسيد الكربون الثاني المتجمد بدلاً من جمد الماء بلغت البرودة ٥٠ تحت الصفر ، واذا صبَّ سائل طيار على جمد اكسيد الكربون الثاني هبطت الحرارة الى ٧٧ تحت الصفر

ثم هناك طريقة اخرى لتوليد برد اقوى من البرد المولَّد بالطريقة المذكورة سابقاً. ذلك ان بعض الغازات يؤخذ ويضغط ضغطاً شديداً ، ثم يبرَّد الغاز المضغوط باحدى الطرق المذكورة آنفاً ، ثم يرفع الضغط فجأة ، فتتمدَّد الغازات وفي تمددها تمتص حرارة . فاذا احيطت الانابيب التي يتمدد الغاز فيها فجأة بسائل ما امتصَّ الغاز الحرارة من السائل فتهبط حرارة السائل هبوطاً عظيماً وهي الطريقة المستعملة لصنع الثلج الصناعي — وهو في الواقع ليس ثلجاً وانما هو جمد او جليد

فاذا رتبت الانابيب التي يضغط فيها الغاز بشكل دوائر متمركزة ، وفتح اولاً صمَّام دقيق ليخرج منهُ مقدار ضئيل من الغاز لكي يتمدَّد ، ثم قفل الصمام ، تمدَّد ذلك الغاز وفي اثناء تمدده يمتص الحرارة من باقي الغاز الذي لم يتمدد . ثم يفتح الصمام ثانية ويخرج مقدار آخر فيتمدد ويمتص الحرارة في اثناء تمدده من الغاز الباقي ، وهكذا رويداً رويداً الى ان يبقى مقدار قليل من الغاز وقد هبطت حرارته حتى اصبح سائلاً . وهكذا تسيل الغازات. وتختلف الغازات تسيل على درجات مختلفة من البرودة . فالاكسجين السائل اذا بلغت حرارته ٥ر١٨٢ تحت الصفر تحول غازاً والنتروجين السائل اذا بلغت حرارته ٨ر١٩٥ تحت الصفر تحوَّل غازاً والايدروجين السائل اذا بلغ ٧ر٢٥٢ تحت الصفر تحول غازاً — وهو ما يعرف بدرجة الغليان لسائل الغاز . فاذا غلت هذه السوائل تحت ضغط عظيم زاد بردها وقد تتحول الى جوامد . فدرجة غليان الهليوم السائل ٩ر٢٦٨ تحت الصفر ودرجة ذوبان الهليوم الجامد ٢ر٢٧٢ تحت الصفر . وهي ادنى درجات البرد التي بلغ اليها العلماء