الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي

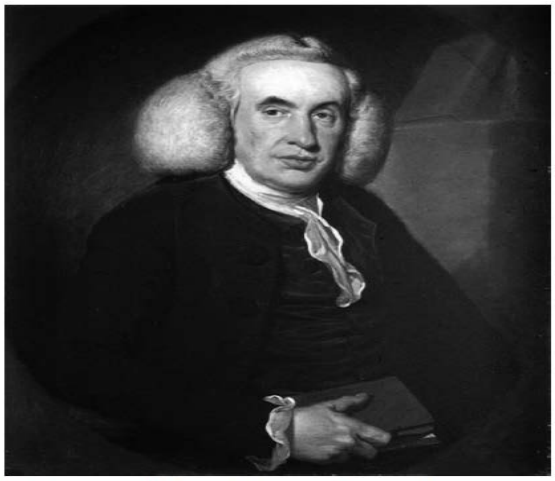
كلية التكنولوجيا
قسم هندسة الطرائق والبتروكيمياء
العام الدراسي: 2022/2021

المقياس: طرائق التبريد*
المستوى الدراسي: سنة ثالثة ليسانس هندسة الطرائق
السداسي الـ 6

الـــدرس الأول

مقدمة تاريخية

كلمة **Cryo**: وهي كلمة يونانية أصلها Kyros وتعني البرد وهي تطلق عموما على درجات الحرارة المتدنية جدا. يستعان بالبرودة في عمليات حفظ الأطعمة ومنع النشاط البكتيري عنها، حيث يجب تخزينها في درجات حرارة أقل أو يساوي -20°C. استخدم الصينيون مكعبات الثلج لهذا الغرض منذ 2000 سنة قبل الميلاد. أما تكنولوجيا التبريد Cryogenic technology فهي نتحدث عنها إلا في درجات الحرارة الأقل من أو يساوي -160°C ، فمثلا: لا يطلق على درجة تجمد الماء (0°C) على أنها كريوجينية إنما عن درجات الحرارة التي يتم بها تسييل الغازات مثل الأكسجين (-183°C)، الآزوت (-196°C)،الهيليوم (-267.9°C) ....الخ.


William Cullen (1710–1790), inventor of the artificial refrigerator.

كان **ويليام كولين** (1710 – 1790) أول شخص أظهر مبدأ التبريد الصناعي، في عام 1748 من خلال السماح لإيثيل الإيثر بالغليان وتحويله إلى فراغ. استخدم مضخة لإنشاء فراغ جزئي فوق وعاء من ثنائي إيثيل إيثر ($C_4H_{10}O$)، والذي يتم غليه بعد ذلك أثناء امتصاص الحرارة من الهواء المحيط. على الرغم من أن تجارب كولين لم تنتج سوى كمية صغيرة من الجليد ولم تؤد على الفور إلى أي تطبيق عملي، إلا أن مفهوم التبريد الناجم عن التوسع السريع للغازات يظل الوسيلة الأساسية للتبريد اليوم. من الإنصاف القول إن كولين وضع الأساس للثلاجة الحديثة.

قدم **أوليفر إيفانز** (1755–1819)، المعروف باسم "جد التبريد"، فكرة "حلقة انضغاط البخار" في بداية القرن التاسع عشر (1805). قام أيضًا بتطوير أول تصميم مفصل ومتماسك نظريًا لثلاجة ضغط البخار، والتي حددت جميع المكونات الرئيسية (على سبيل المثال، الضاغط والمكثف، ملف التبريد، الموسع، المبخر) لدورة التبريد. تستخدم ثلاجة ضغط البخار مادة تبريد متداولة كوسيط (عادة ما يكون بخارًا ساخنًا ومشبعًا). يتم ضغط المبرد أولاً إلى ضغط أعلى (ودرجة حرارة أعلى) ثم يتم تمريره عبر مكثف. يتم بعد ذلك تبريد البخار المضغوط وتكثيفه إلى مرحلة سائلة عن طريق تمرير البخار المضغوط عبر ملف أو أنابيب يتم تبريدها عن طريق تدفق المياه أو الهواء البارد. لإكمال دورة التبريد، يتم توجيه بخار مادة التبريد من المبخر إلى الضاغط.

قام **جون غوري** (1803–1855) بتعديل مفهوم التبريد الأساسي وطور أول ثلاجة مفيدة عمليًا لضغط البخار قادرة على إنتاج الثلج. قدم للحصول على براءة اختراع أمريكية بعنوان "عملية محسنة للإنتاج الصناعي للجليد" في 27 فبراير 1848، والتي تم منحها في 6 مايو 1851 كبراءة الاختراع الأمريكية رقم 8080. تم عرض الثلاجة في الرسوم التوضيحية لبراءة الاختراع مع الثلج جمعت في صندوق خشبي بالقرب من أعلى.

مجالات استخدام هذه التكنولوجيا

تُستخدم تقنيات التبريد في مجموعة واسعة من الصناعات:

- **السيارات**

تُستخدم الغازات السائلة لتبريد الأجزاء بسرعة

- **الإلكترونيك**

الصناعة الثانية التي تلعب فيها هذه التكنولوجيا دورًا مهمًا هي صناعة الإلكترونيات. يتم استخدام الغازات السائلة شديدة البرودة بشكل أساسي أثناء اختبار الأجهزة الإلكترونية. يشيع استخدام النيتروجين السائل لاختبار ما إذا كانت المعدات قادرة على تحمل درجات الحرارة الباردة في الاستخدام اليومي.

- **الطعام**

في صناعة الأغذية، تُستخدم الغازات السائلة للتبريد والتعبئة الآمنة للمنتجات.

- **الغاز الطبيعي المسال**

صناعة الغاز الطبيعي المسال تنمو بوتيرة سريعة. يتمتع الغاز الطبيعي المسال (LNG) (الغاز الطبيعي المسال) بفوائد بيئية معينة لقطاع النقل البحري والبري، ولهذا السبب، يتزايد استخدامه كوقود. لكي يظل الغاز الطبيعي المسال سائلاً، يجب تخزينه عند −162 درجة مئوية، الأمر الذي يتطلب بنية تحتية متطورة للتبريد.

- **البحرية**

يتم استخدام الغاز الطبيعي المسال وتخزينه في الصناعة البحرية بعدة طرق. تستخدم بعض السفن الغاز كوقود ، بينما تحمله سفن أخرى في صهاريج تخزين كبيرة (مستودعات). توجد أيضًا مرافق تخزين الغاز الطبيعي المسال في مناطق الموانئ: يطلق عليها مصانع الغاز الطبيعي المسال.

- **المجال الطبي**

يحظى النيتروجين السائل بشعبية خاصة في المجال الطبي. يستخدم هذا الغاز السائل لأداء علاجات طبية محددة وللحفاظ على الهياكل البيولوجية المعقدة (هذه الطريقة، تسمى الحفظ بالتبريد، تستخدم للحفاظ على الدم والخلايا والأعضاء والحمض النووي.....).

- **المنتجات صيدلانية**

يلعب النيتروجين السائل أيضًا دورًا حيويًا في صناعة الأدوية. يستخدم هذا الغاز السائل على نطاق واسع لتبريد أوعية التخزين ولتشكيل الأدوية في أشكال حبوب.

- **بحث علمي**

يمكن للغازات المبردة، بالإضافة إلى كونها فائقة البرودة، أن تولد طاقة هائلة. هذا هو السبب في أن هذه الغازات غالبًا ما تكون موضوع دراسات الفيزياء. الهليوم من أبرد وأقوى الغازات السائلة. هذا هو السبب في استخدامه على نطاق واسع لتبريد مسرعات الجسيمات.

- **الفضاء**

جزئيًا بسبب القوة الهائلة التي يمكن أن تولدها الغازات المبردة، يتم استخدامها بانتظام في صناعة الفضاء. على سبيل المثال، تُستخدم تقنيات التبريد لإطلاق الأقمار الصناعية والمركبات؛ الغاز السائل هو الوقود (للمحرك). في الوقت نفسه، غالبًا ما يكون علم التجميد جزءًا من التجارب العلمية في صناعة الفضاء.

- **فصل الهواء**

يتم فصل الهواء في وحدات فصل الهواء؛ باختصار، هذا يعني تنقية الهواء لإنتاج كميات كبيرة من النيتروجين والأكسجين والأرجون وبعض الغازات النبيلة.

الـــدرس الثاني

الفصل الأول: تكنولوجيا الفراغ

أهمية الفراغ في هندسة التبريد

تعريف الفراغ: هو انعدام المادة (الغاز) أو على الأقل نقصانها في حجم مغلق عن كميتها في نفس الحجم المفتوح في الظروف العادية (1 atm). لا يمكن تتبع التغير في كمية المادة في هذه الحالة ولكن يمكن تتبع التغير في الضغط.

من بين استخداماته:

(1) لإزالة مكونات الغلاف الجوي التي يمكن أن تسبب تفاعلًا فيزيائيًا أو كيميائيًا أثناء العملية (على سبيل المثال ، الصهر الفراغي للمعادن التفاعلية مثل التيتانيوم) ؛

(2) الإخلال بحالة التوازن الموجودة في ظروف الغرفة العادية، مثل إزالة الغاز المسدود أو المذاب أو السائل المتطاير من الجزء الأكبر من المادة (على سبيل المثال ، تفريغ الزيوت أو التجفيف بالتجميد) أو امتصاص الغاز من الأسطح (على سبيل المثال ، تنظيف أنابيب الميكروويف والمسرعات الخطية أثناء التصنيع) ؛

تعريف الضغط: هو قوة (وحدتها النيوتن N) مطبقة على مساحة (وحدتها m^2)، حيث أن الجزيئات تطبق قوة على الأسطح المحيطة بها بواسطة وزنها. أي أنه كلما كانت الجزيئات أقل كان الضغط أقل. أي، أن وحدة الضغط بالنظام العالمي (International System) هي: **N/m^2** أو يسمى اختصارا باسكال **Pa**.

الضغط	atm	bar	Psi(lbf/inch^2)	mmHg (Torr)
1Pa (N/m2)	9.87×10^{-6}	1×10^{-5}	1.45×10^{-4}	7.5×10^{-3}

العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة

حسب قانون الغازات المثالية: **$pV = nRT$** ، من أجل الحصول مثلا على ضغط أقل من الضغط الجوي في وعاء مغلق ذي حجم ثابت نحتاج إلى إنقاص كمية المادة (إحداث الفراغ) وكلما قل الضغط قلت درجة الحرارة وحصلنا على البرودة.

أنظمة التفريغ

يتم تحديد مجالات فراغ مختلفة:

نـوع الــفــراغ	مجاله بالـmbar
فراغ عام أوخام Coarse Vacuum	10^3-1
فراغ متقدم Advanced vacuum	1-10^{-3}
فراغ عال High vacuum	10^{-3}- 10^{-7}
فوق الفراغ Ultra vacuum	10^{-7}-10^{-14}

أنظمة الفراغ

مضخة دوارة محكمة الغلق بالزيت

السعات متاحة من 2/1 إلى 1000 قدم مكعب في الدقيقة ، تعمل من الضغط الجوي نزولاً إلى 2×10^{-2} تور للمضخات أحادية المرحلة وأقل من 5×10^{-3} تور للمضخات ذات المرحلتين. تطور المضخات سرعتها الكاملة من الغلاف الجوي إلى حوالي تور واحد ، ثم تنخفض السرعة إلى الصفر عند ضغوطها النهائية. أحد الأجهزة من هذا النوع ، والمفيد في ضخ كل من السوائل والغازات ، هو مضخة ذات شفرتين يكون فيها الجزء المتحرك غريب الأطوار بالنسبة للجزء الثابت ، مما يشكل حجمًا على شكل هلال تجتاحه الشفرات عبر صمام المخرج. نوع آخر ، مضخة مكبس دوارة ، تشبه المضخة أحادية الشفرة ، لكن الشفرة المفردة هي جزء من تركيب الكم حول الدوار. الشفرة مجوفة وتعمل كصمام مدخل ، تغلق المضخة من النظام عندما يكون الدوار في المركز العلوي.الضغوط القصوى التي يمكن تحقيقها محدودة بالتسرب بين جانبي الضغط المرتفع والمنخفض للمضخة (ويرجع ذلك أساسًا إلى

انتقال الغازات والأبخرة المذابة في زيت الختم التي تضيء عند تعرضها لضغط الدخول المنخفض) وتحلل الزيت المكشوف إلى النقاط الساخنة الناتجة عن الاحتكاك.التطبيقات النموذجية لهذه المضخة في تغليف المواد الغذائية ، وأجهزة الطرد المركزي عالية السرعة ، وأجهزة قياس الطيف فوق البنفسجي. كما أنها تستخدم على نطاق واسع كمضخة أمامية أو مضخة تخشين أو كليهما لمعظم المضخات الأخرى الموصوفة.

الداعم الميكانيكي

السعات متاحة من 100 إلى 70000 قدم مكعب في الدقيقة ، وتعمل عادة في نطاق ضغط من 10 إلى 10−3 تور. تم تطوير السرعة القصوى للمضخة في نطاق ضغط من 1 إلى 10−2 تور ، والسرعة عند الطرف الأدنى من نطاق الضغط اعتمادًا على نوع المضخة الأمامية المستخدمة. يستخدم المعزز الميكانيكي النموذجي دفاعتين على شكل ثمانية الشكل ، متزامنة بواسطة تروس خارجية ، تدور في اتجاهين متعاكسين داخل الجزء الثابت. يتم احتجاز الغاز بين الدفاعات وجدار الجزء الثابت ويتم نقله من الفراغ العالي إلى جانب الفراغ الأمامي للمضخة. يجب دعم المعزز الميكانيكي بمضخة أخرى متسلسلة عند العمل في نطاق ضغطه الطبيعي. النوع الأكثر استخدامًا من المضخة الأمامية هو المضخة الدوارة الزيتية محكمة الغلق. عادةً ما يتم استخدام المعزز الميكانيكي لضخ أفران صهر الفراغ ، في محطة تشريب للمعدات الكهربائية ، وفي أنفاق الرياح منخفضة الكثافة.

مضخة انتشار البخار

تستخدم هذه المضخة بشكل أساسي في معدات دراسة الأسطح النظيفة وفي رش الترددات الراديوية. تتوفر سعات تصل إلى 190.000 قدم مكعب في الدقيقة مع نطاق ضغط تشغيل من 10−2 إلى أقل من 10−9 تور عند استخدام حواجز مبردة بالماء وأقل من 10−11 تور عند استخدام حواجز مبردة. تظل سرعة الضخ لمضخة البخار ثابتة من حوالي 10−3 تور إلى أقل بكثير من حدود الضغط القصوى لسائل المضخة – أي مع أفضل السوائل لضغوط أفضل من 10−9 تور. يتم تفريغ مضخة الانتشار مبدئيًا بواسطة مضخة دوارة محكمة الغلق بالزيت إلى ضغط يبلغ حوالي 0.1 تور أو أقل. عندما يتم تسخين سائل المضخة في الغلاية ، فإنه يولد ضغطًا للغلاية يبلغ عددًا قليلاً من التور داخل مجموعة النفاثات. تنبثق تيارات البخار عالية السرعة من التجمع النفاث ، وتصطدم وتتكثف على جدران المضخة المبردة بالماء أو الهواء ، وتعود إلى المرجل. في التشغيل العادي ، يتم حبس جزء من أي غاز يصل إلى منفذ الدخول ، وضغطه ، ونقله إلى المرحلة التالية. تتكرر هذه العملية حتى تتم إزالة الغاز بواسطة المضخة الأمامية الميكانيكية.

مضخة أيون الرش

السعات متوفرة حتى 14000 قدم مكعب في الدقيقة، مع نطاق ضغط تشغيل من 10−2 تور إلى أقل من 10−11 تور. تم تطوير السرعة الكاملة للمضخة في نطاق الضغط من حوالي 10−6 إلى 10−8 تور، على الرغم من أن الخاصية عند الضغط المنخفض تعتمد على تصميم المضخة. تستفيد هذه المضخة من مبدأ الرش، حيث يتم تبخير مادة الكاثود مثل التيتانيوم – أو رشها بقذف أيونات عالية السرعة. يتم ضخ الغازات النشطة عن طريق التوليف الكيميائي مع التيتانيوم المتطاير والغازات الخاملة عن طريق التأين والدفن في الكاثود والغازات الخفيفة بالانتشار في الكاثود.

تتكون المضخة النموذجية من اثنين من الكاثودات المستطيلة المسطحة مع أنود من الفولاذ المقاوم للصدأ بينهما يتكون من عدد كبير من الصناديق المفتوحة. هذا التجميع ، المركب داخل صندوق ضيق متصل بنظام التفريغ ، محاط بمغناطيس دائم. يتم تشغيل القطب الموجب عند جهد يبلغ حوالي سبعة كيلوفولت (kV) ، في حين أن الكاثودات موجودة في الأرض المحتملة.تتمتع مضخات الرش الأيونية بعمر طويل ويمكن أن توفر فراغًا عاليًا وخاليًا من التلوث العضوي والاهتزاز. يتم استخدامها بشكل أساسي في دراسات الأسطح النظيفة وفي التطبيقات التي يؤدي فيها أي تلوث عضوي إلى نتائج غير مرضية.

مضخة تسامي التيتانيوم

السعات متوفرة حتى عدة آلاف من الأقدام المكعبة في الدقيقة ، وتعمل في نطاق ضغط من 10–3 إلى أقل من 10–11 تور. تم تطوير السرعة الكاملة للمضخة ، التي تضخ فقط الغازات المتفاعلة كيميائيًا ، مسبقًا.ssures أقل من 10–5 torr. في هذا النوع من المضخات ، يتم تسخين التيتانيوم على جدران المضخة إما من المقاومة أو من مصدر تسخين الحزمة الإلكترونية. يتم ضخ الغازات النشطة عن طريق تركيبة كيميائية ، ولكن لا يتم ضخ الغازات الخاملة. نتيجة لذلك ، يجب دائمًا استخدامه جنبًا إلى جنب مع مضخة أيونات الانتشار أو الرش. عند ضغوط أقل من 10–5 تور ، سيتم ترسيب الفيلم بشكل أسرع مما يتم استهلاكه ، مما يسمح بإجراء الترسيب على فترات بدلاً من أساس مستمر. تُستخدم مضخات التسامي عمومًا بالاقتران مع مضخة أيونات الرش في التطبيقات التي تتطلب سرعة عالية والتحرر من التلوث العضوي أمر ضروري ، كما هو الحال في تبخر المواد على سطح نظيف.

مضخة الامتزاز

عادة ، يبلغ حجم هذه المضخات حوالي 1000 جرام من المواد الماصة ، والتي تحتفظ بجزيئات الغاز على سطحها. إنها قادرة على الضخ من الغلاف الجوي إلى 10–2 تور أو يمكن استخدامها في سلسلة حتى 10–5 تور. في معظم الحالات ، تكون المادة الماصة عبارة عن منخل جزيئي – أي مادة تمت معالجتها بحيث تكون مسامية ، مع أحجام مسامية مماثلة لحجم الجزيئات ، على الرغم من إمكانية استخدام الفحم المنشط أيضًا. يتم وضع المادة الماصة داخل حاوية أسطوانية متصلة بنظام التفريغ ويمكن غمرها في النيتروجين السائل للتبريد الفائق للمساعدة في عملية الامتصاص. يتم إطلاق الغاز عندما تعود المادة الماصة إلى درجة حرارة الغرفة. تستخدم هذه المضخة بشكل أساسي في أنظمة التخشين التي تعمل فيها مضخات التسامي الأيونية والتيتانيوم على ضمان التحرر من التلوث العضوي.

Cryopump

يستخدم هذا النوع من المضخات درجات حرارة منخفضة للغاية لتكثيف الغازات وبالتالي إزالتها من النظام. يمكن ضخ سرعات الملايين من الأقدام المكعبة في الدقيقة مع المبرد فوق نطاق الضغط 10–3 تور إلى أقل بكثير من 10–10 تور. يمكن لهذا النوع من المضخات تطوير منحنى السرعة الكاملة على نطاق الضخ بالكامل. تستخدم معظم أجهزة التبريد الهيليوم لتبريد السطح ذي درجة الحرارة المنخفضة ؛ يمكن أن يكون الهيليوم على شكل غاز عند حوالي 15 كلفن أو الهيليوم السائل عند 4.2 كلفن. ضغوط بخار عالية على سطح درجة حرارة منخفضة. وبالتالي ، فإن سعة مضخة الانتشار التكميلية أو مضخة أيونات الرش هي ملحق ضروري لنظام إنتاج الفراغ بالمضخة الباردة. تستخدم معظم هذه المضخات في الارتفاعات العالية أو محاكاة الفضاء.

مقياس ماكليود

يستفيد مقياس McLeod من قانون Boyle (يبقى ناتج الضغط والحجم لكمية معينة من الغاز ثابتًا إذا تم الحفاظ على درجة حرارة ثابتة) لتحديد ضغط الغاز في نطاق من 10 إلى 10–6 torr. يؤدي رفع مستوى الزئبق في مقياس McLeod إلى عزل الغاز عن النظام الذي يتصل به المقياس. عندما يرتفع مستوى الزئبق أكثر ، يتم ضغط الغاز. الفرق في مستويات الزئبق بين هذا الحجم المحاصر والنظام الذي يتم إخلاؤه يتوافق بشكل مباشر مع الضغط في التور في الحجم المحاصر. نظرًا لأن المقياس يعتمد فقط على الحجم الأولي المعروف المحاصر ، والحجم المضغوط النهائي ، والضغط في هذا الحجم النهائي – وكلها يمكن قياسه مباشرة – يطلق عليه مقياس مطلق وهو أساسًا معيار لمعايرة المقاييس الأخرى.

مقاييس التوصيل الحراري

هناك نوعان من مقاييس التوصيل الحراري ، وهما Pirani والمزدوج الحراري ، وهما يحددان الضغط بمعدل تبدد الحرارة من الفتيل الساخن. مقياس Pirani هو أساسًا جسر Wheatstone بذراع واحد على شكل خيوط ساخنة موضوعة في نظام التفريغ. تعتمد مقاومة الفتيل على درجة حرارته ، والتي بدورها تعتمد على معدل تبديد الطاقة الحرارية من خلال الغاز المتبقي. يتأثر تبديد الطاقة الحرارية بخصائص الضغط والتوصيل الحراري للغاز المتبقي. يتم تشغيل الجسر من مصدر جهد ثابت ، ويشار إلى التيار غير المتوازن بسبب تغيرات درجة الحرارة مباشرة في التور. في مقياس المزدوجات الحرارية ، يتم توصيل الوصلة الساخنة للمزدوجة الحرارية بخيوط في نظام الفراغ ويتم تشغيلها من مصدر جهد ثابت. وضع التشغيل هو نفسه وضع Pirani فيما عدا أن درجة حرارة الفتيل تشير إلى الضغط. هذه المقاييس متينة وسهلة التشغيل وتغطي نطاقًا من 100 إلى 10–4 تور.

مقياس التأين بالكاثود البارد

يستفيد هذا المقياس من حقيقة أن معدل إنتاج الأيونات بواسطة تيار من الإلكترونات في نظام تفريغ يعتمد على الضغط واحتمال التأين للغاز المتبقي. يُطلق عليه أيضًا مقياس Penning ، وهو يتكون من كاثودين متقابلين مع بعضهما البعض مع أنود متباعد بشكل مركزي بينهما داخل مظروف معدني أو زجاجي. خارج الغلاف ، يوفر المغناطيس الدائم حقلاً مغناطيسيًا لإطالة المسار الذي يقطعه الإلكترون في الانتقال من القطب السالب إلى القطب الموجب ، وبالتالي زيادة كمية التأين التي تحدث داخل المقياس.

الـــدرس الثالث

الفصل الثاني: طرائق فصل وتنقية موائع التبريد

مقدمة:

يتم فصل الهواء لإنتاج الأكسجين والنيتروجين والأرجون وفي حالات خاصة الغازات النادرة الأخرى (الكريبتون والزينون والهيليوم والنيون) عن طريق تقطير الهواء المبرد. تم تصميم محطات فصل الهواء لإنتاج الأكسجين والنيتروجين من خلال عملية ضغط الهواء وتبريده وتسييله وتقطيره. يمكن تصنيع المنتجات في شكل غازي للتزويد في خطوط الأنابيب (خطوط الأنابيب) أو كسائل مبرد للتخزين والتوزيع بالقرب من مواقع الاستخدام بواسطة شاحنات الصهريج. تعد شركة Linde واحدة من أكبر الشركات المصنعة لمصانع فصل الهواء ، وقد قامت ببناء ما يقرب من 2800 محطة فصل الهواء المبردة في أكثر من 80 دولة وتهيمن على السوق العالمية لتصنيع محطات فصل الهواء.

تعريف النظام المثالي Ideal system:

يعرف النظام على أنه عدد من الوحدات المادية المحدود في حيز من الكون.

يعرف المائع المثالي في ميكانيكا الموائع على أنه النظام الذي يمكن دراسة حركته مع إهمال عامل اللزوجة والناقلية الحرارية، بينما في الترموديناميك يتم تعريفه على أنه النظام الذي نهمل فيه قوى التجاذب والتصادم بين الجزيئات.

تعريف الفصل Separation : هي تقنية تهدف إلى تحويل خليط مواد إلى مادتين أو أكثر منفصلة، **تنقية** Purification الشوائب عن مادة معينة في خليط ما، الحصول على **مركز** مادة (Concentration) بإزالة جزء من المذيب عنها،**تجزئة** Fractionation خليط معقد إلى أجزاء متعددة.

تقنيات الفصل

- **الفصل بالنفاذية Permeation**

تستخدم هذه التقنية ما يسمى بالأغشية شبه المنفذة ، والتي تتميز بالسماح بعبور جزيئات معينة مقارنة بجزيئات أخرى (نفاذ انتقائي).

- **الفصل والتنقية بالامتزاز Adsorption**

هذه التقنية تستخدم المواد الماصة (الألومينا، هلام السيليكا، المناخل الجزيئية، الكربون المنشط ...

- **الفصل بالتقطير Distillation**

يعتد على درجة غليان كل مكون من مكونات الخليط بحيث يتبخر المكون الأقل درجة حرارة غليان ويتكثف ثم يتم تقطيره وهكذا حتى يتم فصل المكون المرغوب.

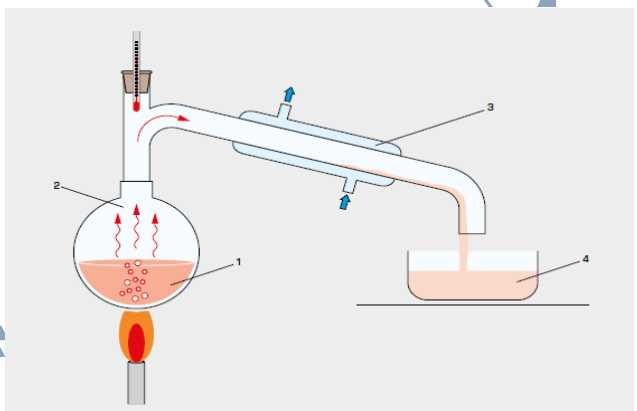
- **الفصل بالتكثيف الجزئي Fractional condensation**

مثلا: يتم تحويل خليط غازي إلى خليط سائل بالتبريد ثم يتم تبخيره في عمود ذي طبقات مختلفة في درجات حرارتها حيث يرجع كل مكون إلى الحالة السائلة في درجة الحرارة المناسبة له.

الـــدرس الرابع

الفصل الثاني: طرائق فصل وتنقية موائع التبريد

التقطير Distillation



التقطير هو عملية وحدوية تسمح بفصل خليط سائل متجانس. نعتمد من أجل الفصل على الإختلاف في الطيارانية لمكونات هذا الخليط ونقصد بالطيارانية قدرة مادة معينة على الانتقال من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.

في الصورة المقابلة مبدأ التقطير حيث :

1- هو الخليط السائل المراد فصله في حالة غليان

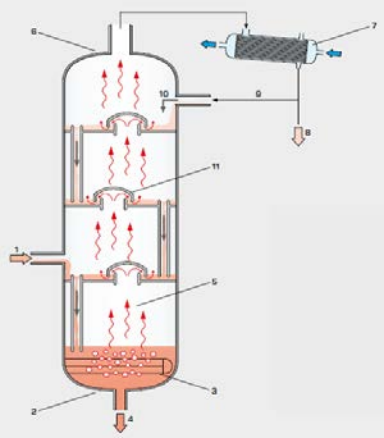
2- بخاره المتصاعد

3- مبرد

4- ناتج التقطير (المُقطَّر) Distillat.

من أجل فصل الخليط السائل ينبغي تغليته حيث يتصاعد بخار المكونات الأعلى طيارانية وهي بدورها التي تمر على التبريد ثم تتحول إلى الحالة السائلة لنحصل على سائلين: ما بقي من السائل الأول والمُقطّر الذي هو عبارة عن خليط المواد الأعلى طيارانية.

التصحيح Rectification

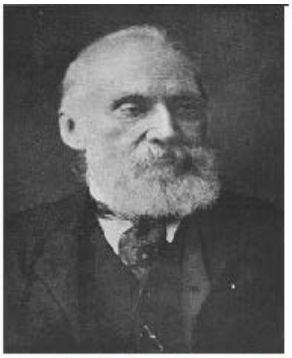


وهي ببساطة عملية تقطير للمُقطّر للحصول على مقطر ثان وثالث و.....الخ أكثر نقاوة، وتتم في عمود تقطير بمبدأ التيار العكسي.

نقوم بتغذية عمود التقطير بالخليط السائل المراد فصله، حيث يغلي وتصعد أبخرة المكونات الأعلى طيارانية إلى الأعلى حيث يقوم جهاز التكثيف بتحويلها إلى الحالة السائلة ثانية لنحصل على المُقطّر الذي يرجع جزء منه ثانية في الإتجاه العكسي للبخار إلى قاعدة العمود حيث تعاد العملية، في الأخير نحصل على مكونات الخليط الأعلى طيارانية بينما يتم إفراغ الأقل طيارانية من أسفل العمود 4.

مكونات عمود التقطير والتصحيح: 1– تغذية العمود 2– أسفل العمود 3– تسخين أسفل العمود 4–ناتج أسفل العمود 5– الطور الغازي المتصاعد نحو الأعلى 6– رأس العمود 7– مكثف 8– ناتج رأس العمود 9– ارتجاع 10– الطور السائل النازل نحو الأسفل 11– صينية العمود (صينية أجراس).

تأثير جول طومسون



وليام طومسون (لورد كلفن)
(26 يونيو 1824 - 17 ديسمبر 1907)

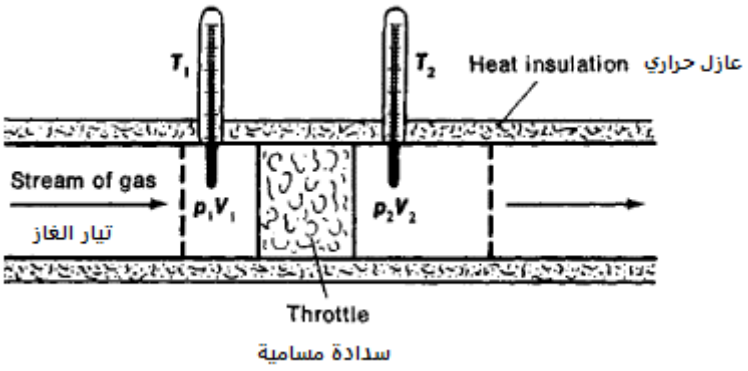
جيمس بريسكوت جول
(24 ديسمبر 1818-11 أكتوبر 1889)

لعدة سنوات ، عمل جيمس بريسكوت جول ووليام طومسون – كلاهما فيزيائيان بريطانيان – في تعاون ، حيث أجروا تجارب تهدف إلى تحليل الديناميكا الحرارية وتطويرها.و في عام 1852 ، حقق الباحثان اكتشافًا ملحوظًا بشكل خاص. لقد وجدوا أن التغير في درجة الحرارة يمكن أن يحدث في الغاز نتيجة لتغير الضغط المفاجئ على الصمام. هذه الظاهرة، المعروفة باسم تأثير جول–طومسون (أو في بعض الأحيان تأثير طومسون–جول) ، أثبتت أهميتها في تقدم أنظمة التبريد وكذلك السوائل ومكيفات الهواء والمضخات الحرارية.

ينص مبدأ جول طومسون على ما يلي:

"When The Highly Compressed Gas is Suddenly Allowed to Expand it Causes Cooling"

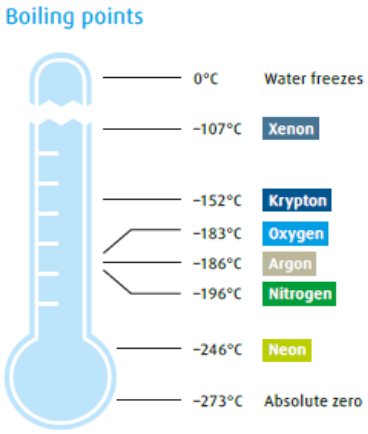
ومعناه: "عندما يُسمح للغاز المضغوط بشدة بالتمدد فجأة ، فإنه يتسبب في التبريد"



التغير في درجة الحرارة التي يتعرض لها الغاز لأنه يمر ببطء عند انخفاض ضغط ثابت عبر عقبة محلية لتدفق الغاز (أنبوب شعري ، أو صمام ، أو سدادة مسامية موضوعة في أنبوب في مسار التدفق). يجب أن يحدث تدفق الغاز عبر الخانق (الخنق) دون تبادل حراري بين الغاز والوسط المحيط (عزل الحرارة).

فـــصـــل الـــهـــواء

شروط فصل الهواء:



لتمكين فصل الهواء إلى مكوناته عن طريق عملية التقطير/ التصحيح (المشار إليها سابقا) يجب أن يتم تسييل جزء كبير من حجم، حيث لا يمكن تحويل الغاز إلى حالة سائلة إلا عند درجة حرارة وظروف ضغط أقل من تلك الموجودة في النقطة الحرجة .

النقطة الحرجة للهواء هي $T_{crit.}$ = −140.7ºC (132.5 K) و $P_{crit.}$ = 37.7 bar. بمعنى آخر، لا يمكن تسييل الهواء إلا في درجات حرارة أقل من 140.7 °C (132.5 كلفن).

الفصل الثالث : الـــدرس الخامس

الفصل الثالث: طرائق إسالة الغازات الدائمة

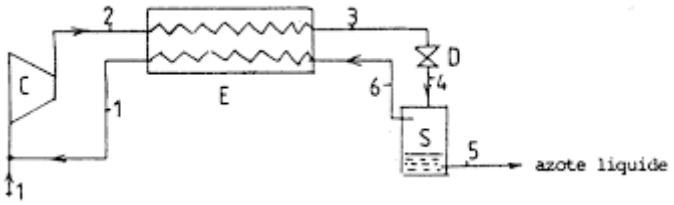
تعريف الغازات الدائمة Permanent gases

الغاز الدائم هو الغاز الذي لا يمكنه أن يتحول إلى الحالة السائلة بمجرد رفع الضغط، بعبارة أخرى، لا يمكنه أن يسيل إلا بتطبيق التبريد وعلميا يقال: هو الغاز الذي درجة حرارته الحرجة أقل من درجة حرارة الغرفة.

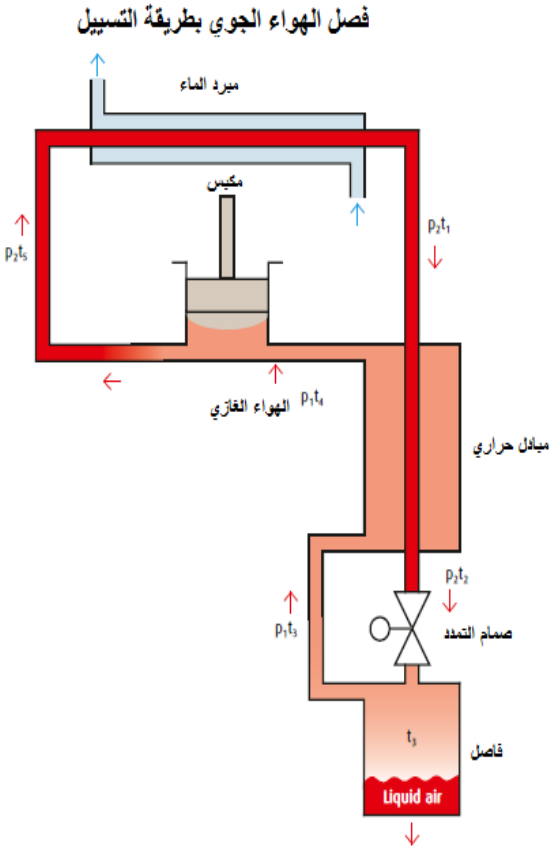
دورة التسييل Liquefaction cycle

طريقة تسييل ليند–هامبسون Linde-Hampson

قام ويليام هامبسون وكارل فون ليندي بتقديم براءات اختراع للدورة بشكل مستقل في عام 1895: هامبسون في 23 مايو 1895 وليند في 5 يونيو 1895.



شرح مراحل التسييل:



1- تم ضغط الهواء من 20 بار (P_1) إلى 60 بار (P_2) بواسطة مكبس وترتفع درجة حرارته (T_5) تبعا لذلك.

2- يمر الهواء المضغوط عبر المبرد المائي لينتقل من الحرارة المرتفعة (T_5) إلى حرارة الغرفة (T_1).

3- يتم تمرير الهواء من المبرد المائي (T_1) عبر المبادل الحراري ليُزاد تبريده بواسطة تقنية التبادل الحراري المتعاكس(T_2).

4- نفتح صمام التمدد (صمام جول طومسون) ليتم خفض الضغط إلى (P_1) وتنخفض معه الحرارة إلى أن تبلغ حرارة التسييل (T_3).

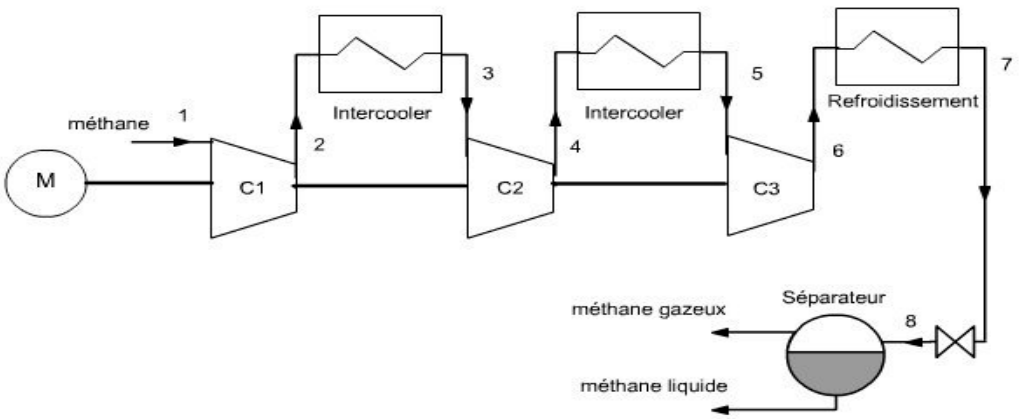
5- المحتوى الغاز للهواء يصعد مجددا عبر المبادل الحراري ليبلغ عند المكبس درجة الحرارة (T_4).

المردود الساعي لهذه التجربة هو تقريبا 3 لترات من الهواء السائل. هذه التجربة اعتمدت على أعمال جول – طومسون الذين اكتشفا أن الهواء المضغوط الذي يتمدد عبر صمام يبرد بمقدار تقريبا 0.25°C/1 bar -.

هناك طريقة أخرى للتسييل تسمى طريقة Siemens ، وهي كانت قبل طريقة ليند – هامبسون ولكن تختلف عنها أنها تقوم بتبريد المائع تبريدا خارجيا ولا تستخدم صمام جول طومسون.

طريقة تسييل ليند–هامبسون ثنائية الإنضغاط Linde-Hampson

إذا كان الهدف من المكبس الأول هو إحداث ضغط في الهواء وإكسابه طاقة حركية تمكنه من المرور عبر القناة بسرعة فإن عملية الحصول على درجة حرارة جد منخفضة بعد المرور على صمام جول طومسون (المناسبة لإسالة بعض المكونات الغازية) يحتاج إلى إحداث عملية انضغاط أعلى باستخدام مكبس ثان أو ثالث أو .... كما في حالة الميثان مثلا:



طريقة كلود – هايلان Claud – Hylan

هي عبارة عن تطوير لطريقة ليند سابقة الذكر، حيث ينقسم الغاز المضغوط إلى قسمين : الأول يتجه نحو صمام جول طومسون والثاني نحو مكبس عكسي (ممدد) يعمل على تخفيض ضغط الغاز وحرارته ثم يتجه بدوره إلى صمام جول طومسون حيث يتم تبريده أكثر من القسم الأول فيزداد الغاز برودة مما يسمح بالحصول على غاز مسال أكثر نقاوة.