**مضخات بخار الزيت الانتشارية(Oil vapor diffusion pumps)**

اكتشف هذا النوع من المضخات 1915 واستخدم في حينها معدن الزئبق كمائع للمضخة. لقد اكتشف في السنوات العشرة التالية، إن بعض الزيوت تملك نقاط غليان عالية وضغوط بخار قليلة وبالتالي فهي موائع مضخات جيدة. ان هذه الزيوت مفيدة كونها تبقى في المضخة لفترة طويلة وتسمح بالوصول الى ضغوط قليلة دون استخدام مصائد باردة. ان المضخات الانتشارية مرت بتغيرات كبيرة في تصميمها خلال الحرب العالمية الثانية وخلال الستينات (لاغراض برنامج الفضاء) لزيادة سرعة التفريغ وزيادة مقدرتها لانتاج ضغوط قليلة بالاضافة الى ان الزيوت قد أعطت الطريق لانتاج موائع مضخات جديدة. تتميز هذه المضخات ببساطتها وادائها العالي وكلفتها الابتدائية الواطئة مما جعلها تبقى مصدر اساسي للفراغ العالي الصناعي. يستخدم هذا النوع من المضخات في مختبرات البحث والتطوير، مستلزمات الطلاء، التصنيع ومحاكات الفضاء. فاذا استخدمت مضخات الفراغ الانتشارية مع الموائع الصحيحة، المصائد والمصدات المناسبة فانها قادرة على انتاج فراغ بحدود .2×10-10Torr

**نظرية التشغيل) :(Theory of operation**

تعتبر المضخات الانتشارية مضخات تدفق او نفث بخارية (vapor jet) تعمل على اساس مبدا انتقال العزم. يحصل هذا عندما تصطدم ، جزيئة بخار ثقيلة بسرعة عالية مع جزيئة غاز وتحركها بالاتجاه المرغوب خلال المضخة. تحوي قاعدة المضخة على مسخن كهربائي يستخدم لتسخين مائع المضخة الى درجة غليانه وبالتالي ينتج البخار. يجب اجراء هذه العملية عند ضغط منخفض. هذا يعني انه قبل تشغيل المضخة الانتشارية، يجب تفريغها مبدئيا(rough pumped) الى ضغط مقبول، أي حوالي 100 mTorr .اذا لم نحقق هذا الشرط "فان المضخة سوف لاتؤدي عملها او ربما تسبب تلفا" لمائع المضخة. حالما تصل درجة الحرارة الى نقطة غليان المائع فان البخار سوف يندفع ثم يخرج البخار عند كل اتجاه نفث نحو الاسفل على شكل ستائر جزيئية .(jet assembly) نحو اعلى الاعمدة المركزية لمجموعة النفث التي تصطدم بجسم المضخة. يكون جسم المضخة مبرد بشكل كبير وبالتالي سوف يعمل على تكثيف المائع على (molecular curtain) سطوحه الداخلية ويرجع المائع الى الوراء نحو الاسفل باتجاه المرجل منطقة التسخين ). يتم تبريد اجسام المضخات نموذجيا" باستخدام الماء (ولكن يستخدم في بعض الاحيان الهواء لاغراض التبريد. حالما تدخل جزيئات الغاز من النظام بشكل عشوائي نحو المضخة (ظروف الجريان الجزيئي) فانها تواجه النفث القادم من الاعلى. بعض جزيئات هذا الغاز تصطدم وترسل الى النفث التالي. وبالتدريج سوف تصل الى منطقة حيث يتم طرحها الى الجو بواسطة المضخة الميكانيكية الساندةالدعم(foreline) .

**النسبة الانضغاطية :(Compression Ratio)**

تملك المضخة الانتشارية خصائص تشابه الخصائص للمضخات المكبسية الاخرى في انها تعمل على اعطاء ضغط عادم عالي وضغط داعم 2×10-7Torr فمثلا"، لضغط داخل مقداره .(Inlet pressure) نسبيا" بالمقارنة مع الضغط الداخل (exhaust pressure) ، نجد ان النسبة الانضغاطية تكون بحدود واحد مليون. بالنسبة لحالة الانضغاط في مزيج من الغازات، فان كل

مركب مقداره 2×10-1Torr ربما يفرغ مع تاثيرات مختلفة. من الممكن ان تجد انواع مختلفة من النسب الانضغاطية العظمى ومعدلات جريان مختلفة لغازات تملك اوزان جزيئية مختلفة. فمثلا" النسبة الانضغاطية للهيدروجين تختلف بشكل كبيرعن النسبة الانضغاطية للاركون وذلك ببساطة بسبب ان اوزانها الجزيئية مختلفة. بالاضافة الى ذلك، عندما يملك الغاز المفرغ وزنا" جزيئيا" يختلف عن الهواء فان النسبة الانضغاطية العظمى سوف تنحرف ولكن قيمة ضغط الدعم) (foreline اوضغط التفريغ الحرج (critical discharge pressure ستبقى كما هي :

**ضغط التفريغ الحرج (:(Critical discharge pressure**

يعرف ضغط التفريغ الحرج للمضخة الانتشارية بانه اعظم ضغط مسموح به عند منطقة الدعم خلال تشغيل المضخة الاعتيادي. يتوقف عمل التفرغ المتوقع للمضخة الانتشارية عندما يتعدى ضغط التفريغ الحرج. الذي يحصل هنا هو ان بخار مرحلة التفريغ للمضخة لايملك طاقة كافية وكثافة لتوفير عائق للهواء في منطقة الدعم بالنسبة لاغلب المضخات الانتشارية الحديثة، فان ضغط الدعم الاقصى المسموح به يكون بحدود 0.5 Torr وبالتالي فان هذا الهواء سوف يسري خلال المضخة بالاتجاه الخاطئ حاملا" معه بخار مائع المضخة. لاتعمل المضخات الانتشارية بشكل جيد مالم يكون ضغط الدعم محصور تحت هذه الحدود بواسطة المضخة الداعمة .القاعدة الاساسية في تشغيل المضخة الانتشارية: هي ان لاتزيد قيمة الضغط في المنظومة عن قيمة ضغط التفريغ الحرج .

**الجريان الاسترجاعي :(Backstreaming)**

يمكن تعريف الجريان الاسترجاعي على انه انتقال مائع المضخة خلال ميناء دخول المضخة وباتجاه معاكس الى اتجاه جريان الغاز المطلوب.

لكن يجب عدم تحديد الجريان الاسترجاعي عند المضخة فقط وانما يجب ان تتضمن المصئدة، المصدة وانابيب التصريف plumbing ,ايضا"، بسبب انها جميعا" تؤثر على انتقال ابخرة مائع المضخة من جسم المضخة الى الحاوية. هناك عدد كبير من الظروف التي يمكن ان تسبب الجريان الاسترجاعي. الظروف الاكثر شيوعا" هي، زيادة ضغط التفريغ الحرج في منطقة الدعم، زيادة سعة الجريان النافذ(throughput) الاعظم لفترة زمنية طويلة، والتسلسل الغير صحيح لعملية بداء او انهاء التفريغ. تعتبر دائم ا" عملية الاسترجاع العكسي , النصيحة التي يجب ان تعطى للعاملين مع هذا النوع من المضخات هي ان " لموائع المضخة الى بيئة العمل خلل كبيرا.(catastrophic) يعرفوا معداتهم بشكل جيد وان يتدربوا على تقنيات تشغيل مناسبة. حوالى % 99 من مشاكل الجريان الاسترجاعي المكلف يعود الى الخطا في التشغيل مناسبة يجب تجهيز نظام الفراغ بمنظومات تعشيق (interlock) التي تعمل على منع الصمام بالدوران فوق ضغط محدد.. . ان هذا سوف يساعد على حماية نظامك كلما ترك (غير ممكن الوصول اليه(

**المصدات والمصائد :(Baffles and Traps)**

ان للمصدات غرض واحد محدد هو تقليل الاسترجاع العكسي لمائع المضخة الى حاوية الفراغ. اكثر انواع المصدات تدعى بالمعتمة بصريا" التي تعني ان الشكل الهندسي الداخلي لايسمح للضوء بالمرور خلالها بشكل مباشر. ان هذا يضمن ان الجزيئة تصطدم (optically opaque)

على الاقل مرة واحدة مع السطح بغض النظر عن الاتجاه القادمة منه. تعمل المصدات على عرقلة جريان الغازات المفرغة، ولكن جميع الوحدات المصممة بشكل جيد تحتجز حوالي % 60 من سرعة التفريغ. يتم تثبيت المصدات مباشرة فوق فتحة المضخة وتستخدم عادة بالتوافق مع المصائد. المصدات المبردة بالماء يمكن ان تقلل من معدل اعادة التبخير للمائع المتكثف وبالتالي تقليل كثافة البخار في الفضاء بين المصدة والمصئدة. الشكل 7.1 يوضح شكل تخطيطي للمصدات والمصائد المستخدمة مع منظومة التفريغ الانتشارية.



**الشكل 7.1**

تخدم المصائد الثلجية(refrigerated) والزمهريرية(cryogenic) هدفين اساسين: انها تسلك كحواجز ضد جريان الابخرة المتكثفة من المضخة الى النظام وكذلك تخدم كمضخات زمهريرية (cryopumps)للابخرة المتكثفة بشكل اساسي بخار الماء المنبعثة من النظام.

بالنسبة للمنظومات الغير محمصة النموذجية، يمكن ان يشكل بخار الماء حوالي % 90 من الغاز المتبقي بعد عملية التفريغ الاولية. ان المصائد المبردة تزيد من سرعة التفريغ لابخرة الماء وبالتالي يمكن في العديد من الحالات ان تخفض ضغط الاساس للنظام. هناك نوعين شائعين من مصائد سائل النتروجين، الاول يمكن ان يوضع في أي مكان ضمن حاوية الفراغ. هذا النوع يمكن ان يكون على شكل لوح زمهريري (cryopanel) عبارة عن حاوية كروية (sphere )، او اسطوانية cylindrical) ( او مرتبة بشكل انبوبي(tubular) تعمل عمل اصبع بارد (cold-finger) حيث تقنص الغازات المتكثفة. النوع الاخر هو التصميم المعتم البصري ويوضع بين الحاوية ومدخل المضخة. تضمن هذه المصائد عملية تصادم الغاز مع السطح البارد مرة واحدة على الاقل.

**الموائع :(Fluids)**

يتم في الوقت الحاضر تطوير العديد من موائع المضخات المستخدمة ضمن الثلاثين سنة الماضية. الى حد حوالي 1960 ، كانت اغلب الموائع تملك ضغط بخار 10-8 Torr - 10-7Torr

وبالتالي فان ضغط الاساس للنظام كان بحدود هذا المعدل.

لقد اصبحت خيارات موائع المضخات اكبر بعد ان نشر هيكمان(Hickman) استخدام مادة ايثرات البولي فينايل التي وفرت استقرارية حرارية وكيمياوية غير اعتيادية (Polyphenyl ethers) , كما وجدت ايضا" خواص تشغيلية ممتازة لمائع اخر هو السيليكون نوع (DC705) ذي الضغط البخاري الواطئ ان استخدام أي من هذه الموائع سوف يوفر ضغوط اساس يمكن ان تصل الى ( 10-9- 10-10 Torr). الى وقت قريب، تم تطوير نوع من الموائع تسمى بالزيوت المفلورة(fluorinated oils) تستخدم في المضخات الانتشارية. ان هذه الزيوت تضيف خاصية مفيدة اخرى في التطابق مع الغازات التاكلية المستخدمة في بعض العمليات.

**الضغط الاقصى :(Ultimate pressure)**

يمكن توضيح الضغط الاقصى على انه حمل الغاز(gas load) او حدود نسبة الضغط.(pressure ratio limit) هناك ملاحظتين اساسيتين تخص الضغط الاقصى للمضخة الانتشارية.

ان حدود نسبة الضغط تكون عادة مرتبطة مع الغازات الخفيفة,الهيدروجين ، الهليوم والزينون . لايتوقف الفعل التفريغي لنفثات البخار عند أي ضغط، مهما كان قليلا". الضغط الاقصى للمضخة يعتمد على نسبة التفريغ ضد الجزيئات المنتشرة للخلف، وكذلك" نسبة حمل الغاز الى سرعة التفريغ . بالاضافة الى ان المضخة نفسها يمكن ان تشارك في حمل الغاز اما من خلال الجريان الاسترجاعي لبخار مائع المضخة و ازالة الغاز (outgassing) او اجزاء التكسير (cracked fractions) من اجزائها. عمليا"

اذن، فان الضغط الاقصى للمضخة هو مجموعة مركبة من العناصر. ان المحدد الاول للضغط الاقصى هو عادة" يعود الى ضغط بخار مائع المضخة بالرغم من ان هذه الحدود ربما لايمكن مشاهدتها عند ضغط اقل من .10-9Torr

**طريقة التشغيل :(Operation procedure)**

ان عملية تشغيل منظومات الفراغ العالية التي تستخدم المضخات الانتشارية تتطلب انتباه خاص للعديد من النقاط، نذكر منها التالي:

**- 1النظافة العامة** :**(General Cleanliness)**

وهي مهمة جدا" وخاصة في المنظومات الصغيرة. تذكر اذا انحصرت قطرة من الزيت في

أي مكان في منظومة الفراغ فربما يتطلب اياما" او اسابيعا" لتبخيرها من هذا النظام.

**- 2الرطوبة ودرجة الحرارة:(Humidity and Temperature)**  يمكن ان تكون مهمة من وجهة نظر وجود بخار الماء المستمر في الجو. عندما يتم فتح نظام الفراغ الى الجو فان زمن التفريغ سيكون اطول اذا كان الهواء رطبا".

**-3 زمن التعرض:(Time exposure)**

وهو ايضا" مؤثرا"؟ فاذا امكن، يجب اجراء عملية ملئ الحاوية مع غاز النتروجين او الاركون(backfilling) لزمن تعرض قصير، فان هذا يساعد في تقليل كمية بخار الماء الممتز في نظام الفراغ.

**-4 تشغيل مرتب للصمامات:(Valve sequencing operations)**

من المهم جدا" تطوير تقنية جيدة في تشغيل مرتب للصمامات، خاصة" في المنظومات التي تعمل بصمامات يديوية. من المفيد ان يكون هناك خريطة او رسم تخطيطي للمنظومة على لوحة السيطرة تبين مواقع الصمامات وعمل كل واحدة منها. ان خطا تشغيليا" واحدا" يمكن ان يؤدي الى عملية صيانة مكلفة للنظام. لقد استخدم بشكل واسع صمامات اوتماتيكية للسيطرة المتسلسلة ولعدة سنوات وقد بنيت مع منظومات تعشيق داخلية لمنع حوادث فتح الصمامات(interlocked) عن طريق الخطأ.

**٥- زمن التفريغ الداعم :(Roughing pumping time)**

خلال عملية تفريغ الحاوية يتم طرح السؤال حول الزمن الصحيح لغرضالتحويل من المضخة الداعمة(rough pump) الى المضخة الانتشارية. بكلمات اخرى، متى يمكن ان يفتح صمام الفراغ العالي؟ ليس هناك جوابا" عاما" لهذا السؤال لانه كل نظام يختلف مع اختلاف احمال الغاز واختلاف الحجوم. عمليا" ان الانتقال من المضخة الداعمة الى المضخة الانتشارية يتم عند ضغط بين 50-150 mTorrتحت هذه المنطقة من الضغط، فان المضخة الميكانيكية تفقد بسرعة تاثيرها التفريغي وان امكانية حصول عملية استرجاع عكسية تزداد. بالرغم من ثبوت قيمة الجريان النافذ للمضخة الانتشارية تقريبا" عندما يكون الضغوط الداخلة عند معدل 1-100 mTorr) ) ولكن الدفعة الاولية من الهواء نحو المضخة عند فتح صمام الفراغ العالي سوف يتغلب على حمل المضخة الانتشارية بشكل مؤقت.