



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة القادسية  
كلية التربية  
قسم الفيزياء

# تصميم منظومة تفرغ توهجي

بحث مقدم الى جامعة القادسية – كلية التربية – قسم الفيزياء كجزء من متطلبات نيل شهادة  
البكلوريوس

من قبل  
علي بشير غانم علي صبر سواد عمران عبد الكاظم عكش

باشراف  
د.احمد حميد وناس

٢٠١٨ م  
١٤٣٩ هـ



# الأهداء

الى كل من أضاء بعلمه عقل غيره

أو هدى بالجواب الصحيح حيرة سائله

فأظهر بسماحته تواضع العلماء

وبرحابته سماحة العارفين

إلى والدتي الغالية التي لم تأل جهداً في تربيته

وتوجيهي

أقدم هذا العمل .

إلى سبب وجودي في الحياة .. والدي الحبيب

لك كل التجلي والاحترام

# شكر وتقدير

الحمد لله الذي لا أرجو إلا فضله ، ولا أخشى إلا عدله ، ولا اعتمد إلا قوله ، ولا امسك إلا بحبله ، والصلاة والسلام على نبي الرحمة محمد ( صلى الله عليه واله وسلم ) وعلى اله الطيبين الطاهرين ، أما بعد .

فيشرفني ان اقدم شكري وامتناني إلى الأستاذ الدكتور (احمد حميد وناس) لما أبداه من مساعده وتوجيه و تشجيع مستمر طوال فترة البحث.

وأخيرا أقدم شكري وامتناني إلى كل من مد لنا يد العون والمساعدة والحمد لله رب العالمين.

## المحتويات

الصفحة	الموضوع	
٦	<b>الفصل الاول</b>	
٧		(١-١) مقدمة في تقنيات القياس
٧		(٢-١) تقديم النتائج
٨		(٣-١) الاشكال
١٣	<b>الفصل الثاني</b>	
١٤		(١-٢) مفاهيم اساسية لحسابات الفراغ
١٤		(٢-٢) خواص الانظمة تحت الفراغ
١٥		(٣-٢) قوانين الغازات
١٨		(٤-٢) معدل المسار الحر
١٩		(٥-٢) التصادمات للمكعبات الغازية
٢٠		(٦-٢) حركة جزيئات الغاز
٢٠		(٧-٢) جريان الغاز خلال فتحة ضيقة
٢١		(٨-٢) انماط جريان الغاز تحت ظروف فراغ مختلفة
٢٢		(٩-٢) معدلات جريان الغاز
٢٤		(١٠-٢) المواصلة في نظام الفراغ
٢٥		(١١-٢) عناصر مواصلة مربوطة على التوازي
٢٥		(١٢-٢) حسابات المواصلة
٢٦		(١٣-٢) حسابات زمن تفريغ نظام الفراغ
٢٩	<b>الفصل الثالث</b>	
٣٠		(١-٣) اجهزة قياس الضغط تحت الضغط الجوي
٣٠		(٢-٣) اجهزة قياس الضغط التي تقيس القدرة
٣٢		(٣-٣) اجهزة التوصيلية الحرارية
٣٢		(٤-٣) مضخات الفراغ الميكانيكية
٣٣		(٥-٣) نظرية التشغيل
٣٤		(٦-٣) النسبية الانضغاطية
٤٠	<b>(٧-٣) مضخات الفراغ الميكانيكية ذي الريش الدوارة</b>	
٤١		(٨-٣) مضخات الفراغ الميكانيكية المكبسية الدوارة
٤٢		(٩-٣) موانع مضخة الفراغ الميكانيكية
٤٧		(١٠-٣) المضخات الميكانيكية الجافة
٤٩	<b>(١٠-٣) المضخات الميكانيكية الجافة</b>	
٥٠		
٥١		
٥١		
٥٣		
٥٤		
٥٤		

# الفصل الأول

## (1-1) مقدمة في تقنيات القياس Int. to Measurement Techniques

ليس من المنطقي ان يتم تحضير تجربة ومراقبة بعض الظواهر الفيزيائية او الكيمائية مالم نكون مستعدين لتسجيل ونشر هذه النتائج الواضحة. هذا ماسوف نستعرضه في هذا الجزء.

اولا "وقبل كل شئ يجب ان نفكر خلال التجربة كلها قبل ان نبدي للتأكد من ان التسلسل الذي يجب اتباعه ينتج معلومات مفيدة. دعني اعطي مثالا " هنا لنفرض اني اعلم على مشروع كان الهدف منه استخدام تشخيص خطوط الانبعاث للحديد لتحديد متى تنتهي عملية التبريد فيها. وكان هناك حاوية فراغ زجاجية (من مادة البايروكس) تسمح برؤية مابداخلها واجراء فحوصات طيفية اثناء التجربة. واجريت العديد من التجارب واكتشفت انها تعطي نتائج غير منطقية حتى تعتقد انك قد فعلت شئ خاطئ في هذه التجربة. وبعدها استبدلت مادة الزجاج بمادة اخرى من الياقوت الازرق فوجدت ان النتائج المستحصلة مطابقة جدا "لما توقعت. اذن قبل ان تبتداء باي تجربة يجب ان تعطي تنبئ بما سوف يحصل ويدعوا العلماء هذا الشئ بالنظريات. يمكن ان تجري عملية قياس لسرعة المضخة كدالة للضغط في العديد من تجارب مضخات الفراغ. كيف تتوقع ان تتغير سرعة المضخة مع الضغط؟ هل ان معدل التغير سيكون ثابتا؟" هذه هي نوع الاسئلة التي تحاول ان تطرحها قبل اجراء قياسات التجربة. واحدة من مفاهيم تقنيات جمع المعلومات الجيدة هي اعادة القياسات لمرات كافية لتتحقق من صحة النتائج. الاحصائيات: هو علم التحليل والفهم المؤثر للمعلومات.

مثال: لنفرض انك تجري مجموعة من التجارب لتحديد طول الوقت المطلوب لتفريغ حاوية فراغ من الضغط الجوي الى ضغط 50 mHg. وانك اجريت اربعة دورات وسجلت القيم التالية 124، 136، 128، 144 ثانية بالترتيب

**متوسط القيمة (Average):** هو حاصل جمع الاعداد مقسوما "على عدد القياسات.

$$\text{Average} = (124 + 136 + 128 + 144) / 4 = 522 / 4 = 230.5 = 131$$

اذن يمكن حساب قيمة المدى من التالي :

$$\text{Range} = 144 - 118 = 26 \text{ second}$$

لهذا العدد المحدود من مجموع البيانات نستطيع القول ان الزمن المطلوب للحصول على ضغط يقارب 50 μHg هو متوسط القيمة المحسوبة زائد ناقص نصف المدى (131 ± 13).

## (2-1) تقديم النتائج (Presentation of Data)

ان عملية تقديم النتائج بشكل واضح ضروري جدا. ان العمل المنجز سوف يتم الحكم عليه ليس فقط من خلال مدى صحته ولكن ايضا من خلال اسلوب طرحه وتقديمه. قبل ان تبتداء باجراء مجموعة

من التجارب يجب ان تحضر جدول لادخال المعلومات المستحصلة خلال فترة انجاز التجربة .يجب توفير اعمدة لمتغيرات مثل الزمن، الضغط، درجة الحرارة،... الخ .نجد من التمرين الجيد تسجيل اسمك، التاريخ والوقت الذي انجزت فيه هذه القياسات (انظر الجدول ١,١) .

Data recorded by Tom Jones on 6/21/90 at 6:30PM

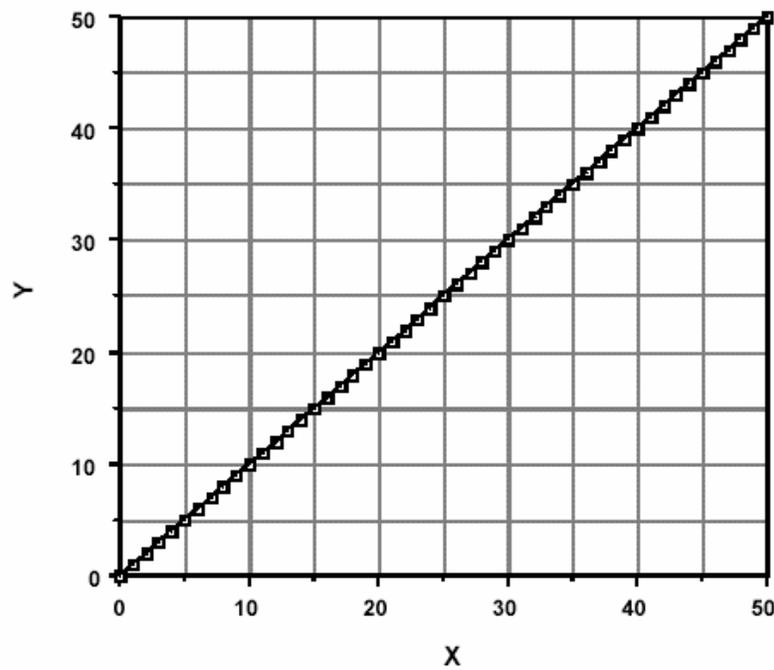
Elapsed time(sec)	Foreline press (mTorr)	Chamber Press (Torr)
0	30	$6.0 \times 10^{-4}$
30	26	$2.0 \times 10^{-4}$
60	22	$8.0 \times 10^{-5}$
90	20	$5.0 \times 10^{-5}$
120	18	$8.0 \times 10^{-6}$

(٣-١) الاشكال ((Graphs)) : ان التمثيل الصوري للبيانات يسمح لاي شخص بسهولة من معاينة العلاقات بين المتغيرات .سيمر عليك في مختبر الفراغ مجموعة من الاشكال والرسومات مثل الزمن ضد الضغط وسرعة المضخة ضد الضغط .نموذجيا "يتم استخدام الاحداثي السيني (X) لرسم المتغير الغير معتمد عليه (الزمن مثلا) بينما الاحداثي الصادي (Y) فيستخدم لرسم المتغير المعتمد عليه (التي قيمته تعتمد على او كدالة للمتغير الغير معتمد عليه).

مثال :لقد انشئنا في الجدول التالي مجموعة من البيانات تحوي اعدادا "صحيحة من ١ الى ٥٠ كمتغير غير معتمد عليه (X) وتم حساب قيم المتغير المعتمد عليه (Y) لعدة دوال بسيطة.

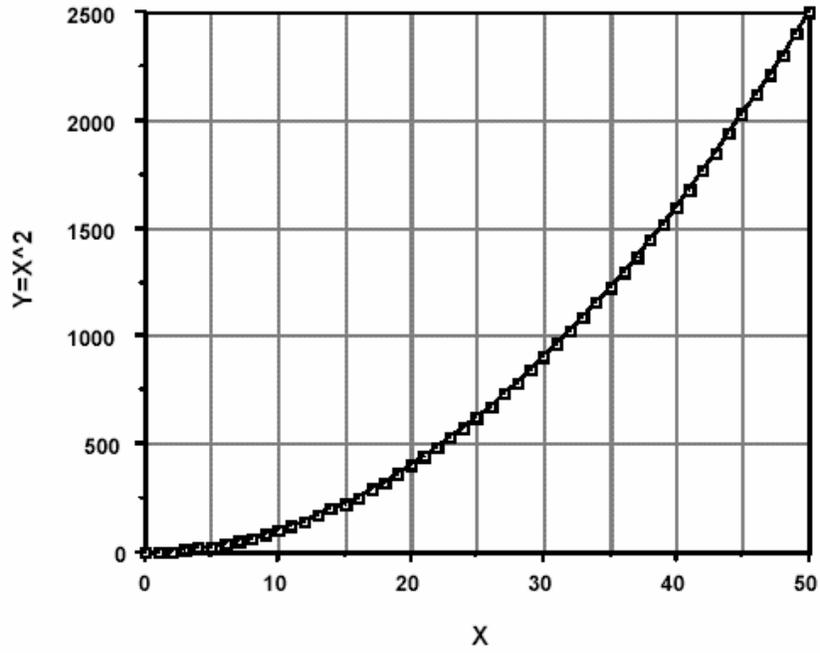
X	Y=X	Y=X <sup>2</sup>	Y=X <sup>3</sup>	Y=X <sup>4</sup>	Y=X <sup>5</sup>
0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1
2	2	4	8	16	32
3	3	9	27	81	243
4	4	16	64	256	1024
5	5	25	125	625	3125
6	6	36	216	1296	7776
7	7	49	343	2401	16807
8	8	64	512	4096	32768
9	9	81	729	6561	59049
10	10	100	1000	10000	100000
11	11	121	1331	14641	161051
12	12	144	1728	20736	248832
13	13	169	2197	28561	371707
14	14	196	2744	38416	537824
15	15	225	3375	50625	759375
16	16	256	4096	65536	1048576
17	17	289	4913	83521	1419857
18	18	324	5832	104976	1889472
19	19	361	6859	130321	2519427
20	20	400	8000	160000	3200000
21	21	441	9261	194481	4084107
22	22	484	10648	234256	5197312
23	23	529	12167	282429	6583007
24	24	576	13824	338304	8294400
25	25	625	15625	398437	10381250
26	26	676	17700	468336	12965376
27	27	729	19683	542727	16069307
28	28	784	21652	625000	19785280
29	29	841	24389	719584	24389007
30	30	900	27000	810000	29925000
31	31	961	29791	906944	36513507
32	32	1024	32768	1013760	44294400
33	33	1089	35937	1131649	53439007
34	34	1156	39304	1262464	64112000
35	35	1225	42875	1406250	76506250

$Y = X$



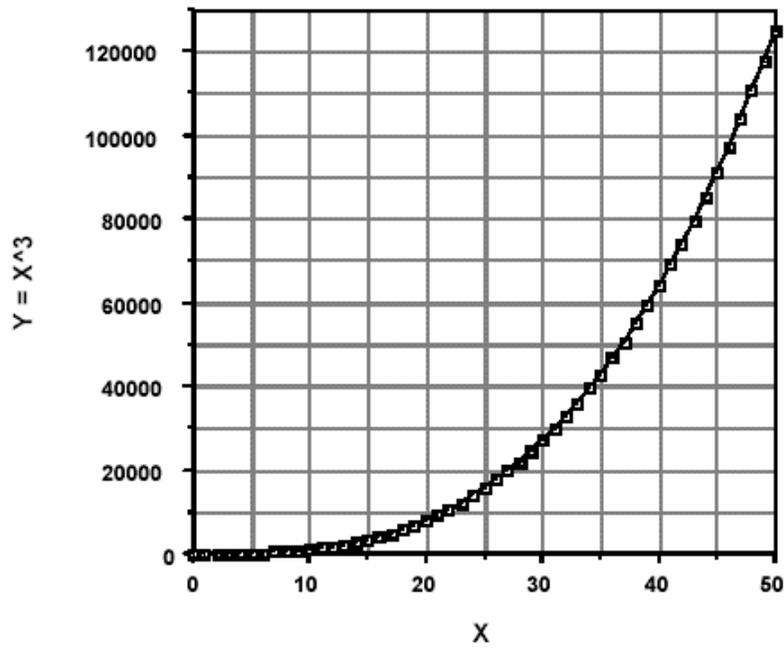
الشكل ١,١ يبين العلاقة  $Y=X$

$$Y = X^2$$

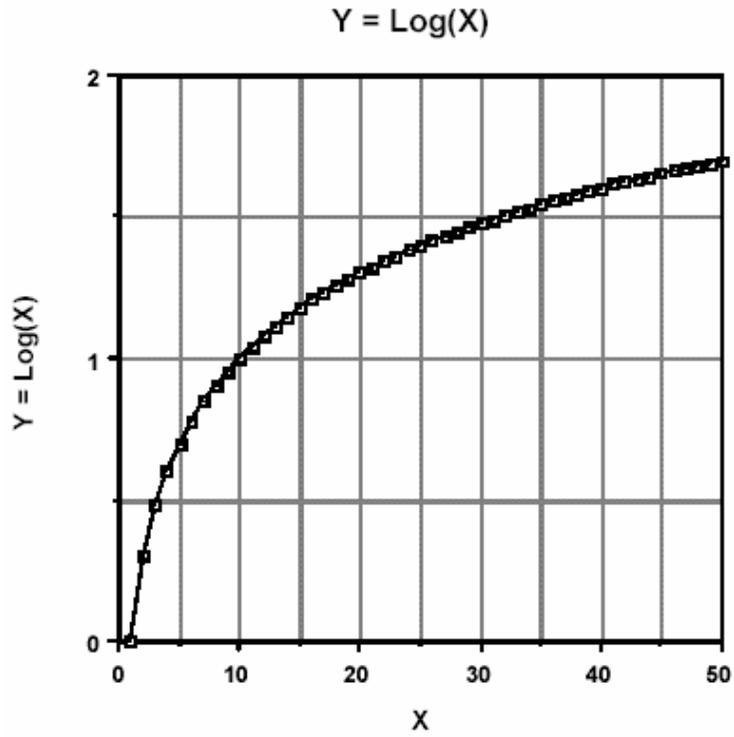


الشكل ١,٢ يبين العلاقة  $Y=X^2$

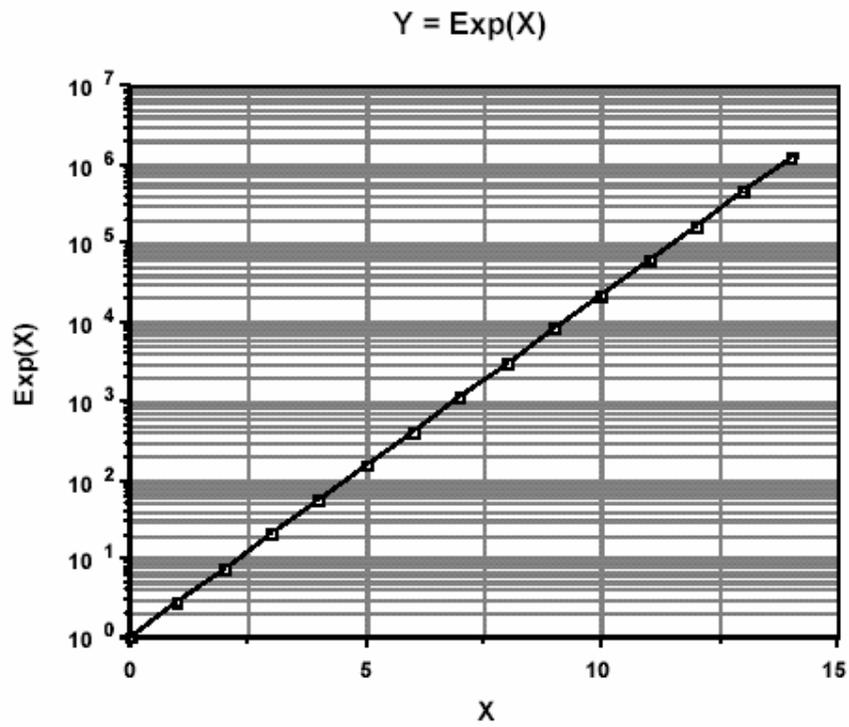
$$Y = X^3$$



الشكل ١,٣ يبين العلاقة  $Y=X^3$



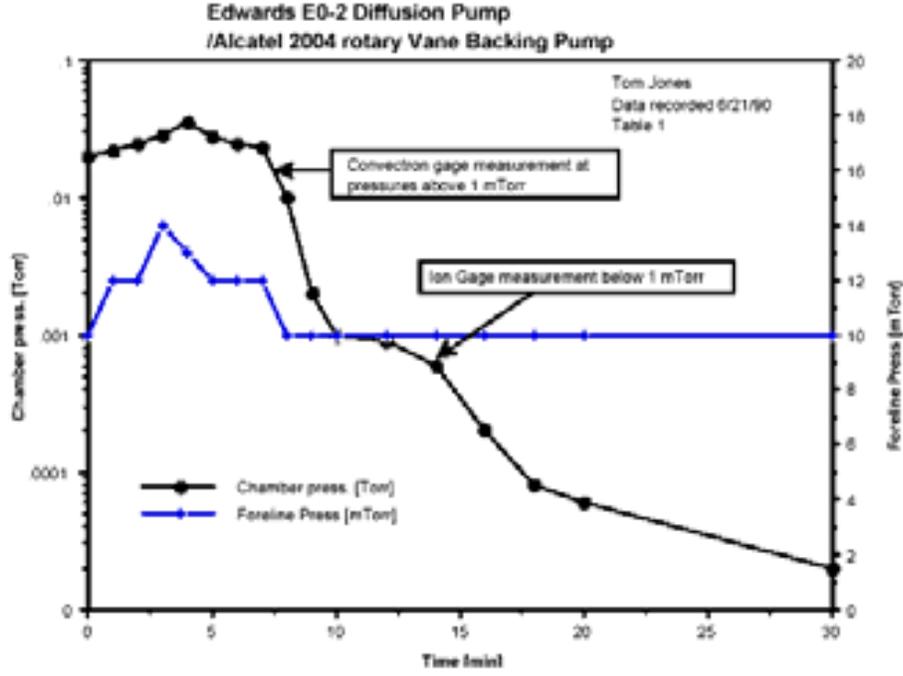
الشكل ٤, ١ يبين العلاقة  $Y = \text{Log}(X)$



الشكل ٥, ١ يبين العلاقة  $Y = \text{Exp}(X)$

وكما بينا لحالة تقديم بيانات الجدول فان عملية الوضوح في تقديم بيانات الاشكال مهم جدا . "يجب ان يحوي كل شكل العناوين والارقام لكل احداثي . كما يجب ان يحوي العنوان على الوحدات المناسبة .

اذا نظرنا الى الشكل ١,٦ الممثل ادناه نجد ان المتغير الغير معتمد عليه (الزمن) قد رسم على الاحداثي السيني ( X ) بينما نجد ان المتغيران المعتمد عليهما (ضغط الحاوية وضغط خط الدعم) رسمت على يسار ويمين الاحداثي الصادي بالترتيب .



الشكل 1.6 مثال يوضح كيفية تقديم الشكل

# الفصل الثاني

## (1-2) مفاهيم اساسية لحسابات الفراغ (Review of basic vacuum calculations)

١- الفراغ (vacuum) : ان الفراغ من الناحية التطبيقية يمكن ان يعرف على انه ظروف الغاز تحت ضغط اقل من الضغط الجوي. الجدول 2.1 يبين تصنيف معدلات الفراغ.

Vacuum Description	Range
Low vacuum	25 to 760 Torr
Medium vacuum	$10^{-3}$ to 25 Torr
High vacuum	$10^{-6}$ to $10^{-3}$ Torr
Very high vacuum	$10^{-9}$ to $10^{-5}$ Torr
Ultrahigh vacuum	$10^{-12}$ to $10^{-9}$ Torr
Extreme Ultrahigh vacuum	below $10^{-12}$ Torr

### جدول ( 2.1 ) يبين معدلات الفراغ.

تعتمد تكنولوجيا الفراغ على خلق بيئة تجرى تحتها العملية المطلوبة (ترسيب الاغشية الرقيقة، لحام الحزمة الالكترونية،.... الخ) هذا يجرى عادة عن طريق ازالة الهواء من نظام الى قيمة مقبولة تحت الضغط الجوي باستخدام بعض انواع اجهزة مضخات الفراغ.

٢- الجو (atmosphere) : غطاء من الغازات يحيط بسطح الارض ويتسع الى الخارج الى مسافة ٢٥ ميل ويشار اليه بالهواء (air) او الجو. هذا الخليط من الغازات يولد ضغط يؤثر بشكل متساوي على جميع الاشياء الموجودة على سطح الارض. هذا الضغط هو حوالي ١٥ باوند لكل انج مربع عند مستوى سطح البحر. الجدول 2.2 يوضح تركيب الهواء

Gas	Partial Pressure [Torr]	Percent [by volume]
nitrogen	593	78.1
oxygen	156	20.9
argon	7.1	0.934
carbon dioxide	0.25	0.033
neon	$1.4 \times 10^{-2}$	0.0018
helium	$4.0 \times 10^{-3}$	0.00053
methane	$1.5 \times 10^{-3}$	0.0002
krypton	$9.6 \times 10^{-4}$	0.00013
hydrogen	$3.8 \times 10^{-4}$	0.00005
nitrous oxide	$3.8 \times 10^{-4}$	0.00005
xenon	$6.6 \times 10^{-4}$	0.0000087

الشكل 2.2 يبين تركيب الهواء الجاف

## (٢-٢) خواص الانظمة تحت الفراغ ((Properties of systems under vacuum)) :

اذا تم ازالة كمية معينة من غاز الجو من حاوية فراغ خالية من النضوح فاننا نستطيع ان نولد بيئة تختلف بشكل كبير من النواحي الميكانيكية،الكيميائية والفيزيائية. فما هي هذه التأثيرات؟ هذا ماسوف نستعرضه هنا.

- ١- **التاثيرات الميكانيكية (Mechanical effects)** : اذا وضعت قنينة بلاستيكية حجمها ٢ لتر مملوئة الى نصفها بسائل في ثلاجة، نلاحظ بعد فترة من التبريد ان جوانب العبوة البلاستيكية تطعجت نحو الداخل. الذي حصل هنا هو انك خلفت ظروف جعلت الضغط الداخلي للعبوة اقل من الضغط الخارجي. لقد كان المهندسين الميكانيكين على دراية بهذا التأثير ولذلك فقد صمموا العبوات لتتحمل ضغط خارجي مقداره  $14.7 \text{lb/in}^2$  (عند مستوى سطح البحر) عند غياب الضغط الداخلي المعوض.
- ٢- **التاثيرات الكيميائية (Chemical effects)** : يسبب ازالة الغازات من الحاوية تقليل عدد ذرات الغاز التي يمكن ان تتداخل مع المواد داخل الحاوية. لهذا السبب فان العديد من المواد المحببة للماء (hygroscopic) أي التي لها القابلية على امتصاص الماء من الجو يتم حفظها في حاوية تحت الفراغ. يمكن ايضا "حفظ المواد التي تتأكسد بسهولة تحت الفراغ او بوجود غازات خاملة مثل النتروجين بعد ازالة الغاز من الحاوية.
- ٣- **التاثيرات الفيزيائية (Physical effects)**: تتاثر العديد من الخواص الفيزيائية للغازات بقوة بضغط الغاز. الامثلة على هذه الخواص التوصيلية الحرارية، التوصيلية الكهربائية، انتشار الصوت، الانتقال البصري والامتصاص البصري. بالاضافة الى ذلك فان تاثير انخفاض الضغط على الخواص الفيزيائية للغازات كما ان تاثير الفراغ موجود على المواد الصلبة والسائلة ايضا. "سوائل مثل الماء يمكن ان تصل الى درجة الغليان في حاوية فراغ مفرغة بدون الحاجة الى استخدام الحرارة. يحصل هذا التأثير حالما يزيد الضغط البخاري للماء على ضغط محيط الفراغ. وبشكل

مشابه فان ذرات المواد الصلبة تحت الفراغ يمكن ان تغادر بشكل تلقائي سطح المادة الصلبة . ان معدل تبخر المادة تحت الفراغ هي دالة للضغط في النظام وللضغط البخاري للمادة .

(٣-٢) **قوانين الغازات (Gas laws)** : ان الغازات تتكون من ذرات او جزيئات تتحرك بشكل عشوائي ومستقل وتتسع بشكل تلقائي لتملئ الحاوية التي تحويها . ان سلوك هذه الذرات او الجزيئات في حجم الحاوية يمكن ان يوصف عندما يعرف احدنا ثلاثة من الكميات الاربعة التالية:

١- **الضغط (Pressure)** : القدرة المؤثرة على وحدة المساحة للغاز (الوحدات الشائعة هي الجو: atm والتور : Torr)

٢- **الحجم (Volume)** : السعة الداخلية للحاوية (الوحدات المستخدمة هي liter)

٣- **درجة الحرارة (Temperature)** : درجة حرارة الغاز هي دالة لطاقتها الحركية والتي فيها تتذبذب ذرات الغاز بشكل قوي . ان درجة الحرارة يجب ان تحدد بمصطلح درجة الحرارة المطلقة (Absolute temperature) وهي بوحدات (الكلفن: K) .

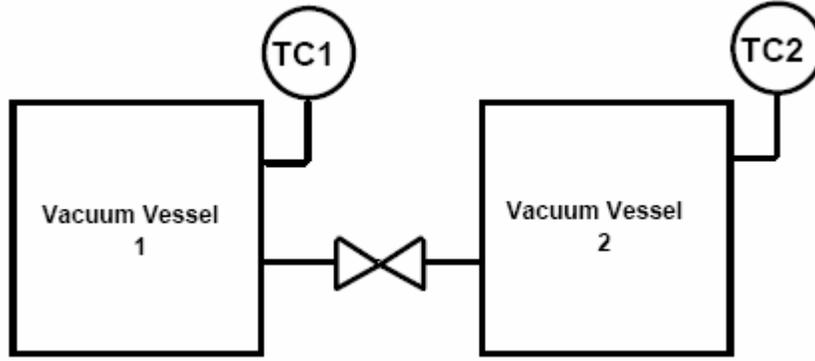
٤- **الكمية (amount)**: عدد ذرات الغاز في حجم (توصف بمصطلح الذرات او المولات) ، اذ ان مول واحد من المادة يحوي  $6.02 \times 10^{23}$  جزيئة .

#### a- قانون بويل (Boyle's law):

**قانون بويل:** تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة فان قانون بويل يعطي العلاقة بين الحجم والضغط لكمية ثابتة من الغاز.

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \dots(2-1)$$

لغرض توضيح قانون بويل نجري التجربة التالية . تصور ان هناك نظام يتكون من حاويتان لاتنضح وكما هو مبين في الشكل 2.1



الشكل 2.1

نفرض ان درجة الحرارة ثابتة في كل مكان في النظام واننا نستطيع قراءة الضغط بشكل دقيق في الحاويتان .نستطيع تطبيق قانون بويل لحساب حجم الحاوية ١ او ٢ .

مثال :اذا كان حجم حاوية ١ هو 120 liter وان ضغط الغاز فيه 760 Torr وانه تم تفريغ حاوية ٢ الى حوالي 10 mTorr . اذا تم فتح الصمام بين الحاويتين والسماح للغاز بالمرور لفترة من الزمن ليصل النظام الى حالة التوازن، نستطيع بعدها قراءة الضغط في كل من TC1 و TC2 ليعطي 500Torr . فما هو حجم الحاوية ٢ ؟

$$P_1=760 \text{ Torr}$$

$$V_1=120 \text{ Liter}$$

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$(760 \text{ Torr}) \times (120 \text{ Liter}) = (500 \text{ Torr}) \times (V_2 + 120 \text{ Liter})$$

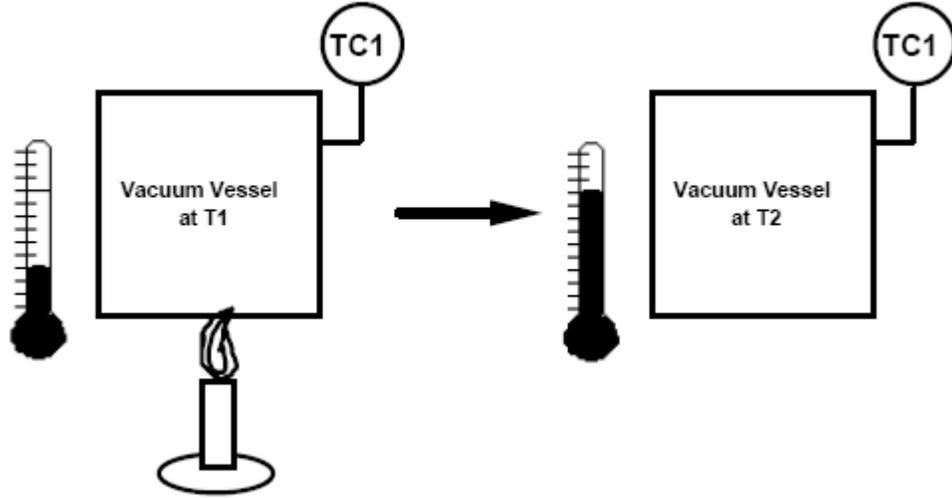
$$V_2 = 62 \text{ Liter}$$

-b قانون جارلس (Charle's law):

قانون جارلس : تحت ظروف ثبوت الحجم وثبوت كمية الغاز فان قانون جارلس يصف العلاقة بين درجة الحرارة وضغط الغاز.

$$\frac{P_2}{T_3} \dots\dots (2-2) \frac{P_1}{T_1}$$

إذا تم رفع درجة الحرارة في حاوية مغلقة غير قابلة للنضوح تحوي غاز بضغط اولي  $P_1$  فان الضغط سيرتفع الى  $P_2$  حسب قانون جارلس



-c قانون الغاز المثالي (The ideal gas law) :

قانون الغاز المثالي: يعطي هذا القانون العلاقة بين الضغط، الحجم، كمية الغاز ودرجة حرارة الغاز للغازات المثالية.

لحسن الحظ فان اغلب الغازات تسلك سلوك مثالي تحت ظروف الفراغ .

$$PV=nRT \dots (2-3)$$

حيث ان:

$P$  = الضغط (atm)

$V$  = الحجم (liter)

$n$  = عدد مولات الغاز (mole)

$R$  = ثابت قانون الغاز المثالي = 0.08206 liter atm/K mole

$T$  = درجة الحرارة المطلقة بوحدات الكلفن (K)

انظر الجدول 2.3 حيث يوضح الرموز والوحدات والكميات المستخدمة في تكنولوجيا الفراغ.

Quantity	Symbol	Unit
length	L	cm, m
area	A	cm <sup>2</sup> , m <sup>2</sup>
volume	V	cm <sup>3</sup> , m <sup>3</sup>
diameter	d	cm, m
mass	m	g
time	t	sec, minute, hour
amount of substance	n	mole
thermodynamic temperature	T	k
speed of particles in flow	c	cm/s, m/s
dynamic viscosity	$\eta$	kg/m-s
thermal conductivity	$\lambda$	W/m-k
pressure (gas)	P	Torr, mTorr
molar heat capacity (const press)	C <sub>p</sub>	J/k-n
molar heat capacity (const volume)	C <sub>v</sub>	J/k-n
Reynolds number	RE	
Knudsen number	Kn	
Avogadro constant	N <sub>A</sub>	6.02 x 10 <sup>23</sup> particles
Gas Law constant	R	0.059 L-atm/k-n
velocity	v	cm/s, m/s
mass flow rate	q <sub>m</sub>	g/s, kg/s
impingement rate	Z <sub>A</sub>	cm <sup>-2</sup> -s <sup>-1</sup>
volume impingement rate	Z <sub>V</sub>	cm <sup>-3</sup> -s <sup>-1</sup>

الجدول 2.3 يبين الرموز، الوحدات والكميات المستخدمة في تكنولوجيا الفراغ.

#### (٤-٢) معدل المسار الحر (Mean free path):

معدل المسار الحر: المسافة التي يقطعها الغاز هي دالة للضغط الكلي والقطر لجزيئة الغاز (المسافة التي تقطعها الجزيئة قبل ان تصطدم بجزيئة اخرى).

$$L[\text{cm}] = \frac{1}{\sqrt{2}PNd^2} \dots (2-4)$$

حيث ان :

$L$  = معدل المسار الحر (cm).

$N$  = كثافة العدد للدقائق (cm<sup>-3</sup>).

$d$  = قطر الجزيئة (cm).

$P$  = الضغط (Torr).

لاغلب انظمة الفراغ النظيفة يتم افتراض وجود الهواء (النتروجين) وعند ذلك وعند درجة حرارة الغرفة يمكن افتراض القانون التالي لغاز النتروجين لمعدل المسار الحر.

$$L = \frac{5.0 \times 10^{-3}}{P} \dots(2-5)$$

حيث ان:

$L =$  معدل المسار الحر (cm) .

$P =$  الضغط (Torr) .

## (٥-٢) التصادمات للمركبات الغازية (Collisions of gaseous species):

ان جزيئات الغاز تنتقل باتجاهات خطوط مستقيمة بين التصادمات وتتجه نحو ضرب السطوح الداخلية المعرضة من الحاوية . ان الضغوط التي يتم قياسها باستخدام اجهزة قياس مختلفة ناتجة من عملية حساب تجمع الضربات او التصادمات لجزيئات الغاز على السطوح الداخلية لحاوية الفراغ.

ان معدل تصادم (impact) او ارتطام جزيئات الغاز (impingement rate) لكل ثانية لكل وحدة مساحة بالسنتيمتر هي دالة لسرعة الجزيئات وكثافة الغاز .

$$I = \frac{Nv}{4} \left[ \frac{1}{cm^2 - sec} \right] \dots(2-6)$$

حيث ان :

$N =$  الكثافة الجزيئية ( $cm^{-3}$ )

$v =$  السرعة الجزيئية (cm/sec)

$I =$  معدل الارتطام ( $cm^{-2} sec^{-1}$ )

القيم التي يتم قياسها بسهولة عادة "في المختبر هي الضغط ودرجة الحرارة لذلك يمكن استخدام نفس المعادلات اعلاه بدلالة مصطلح هذه الوحدات:

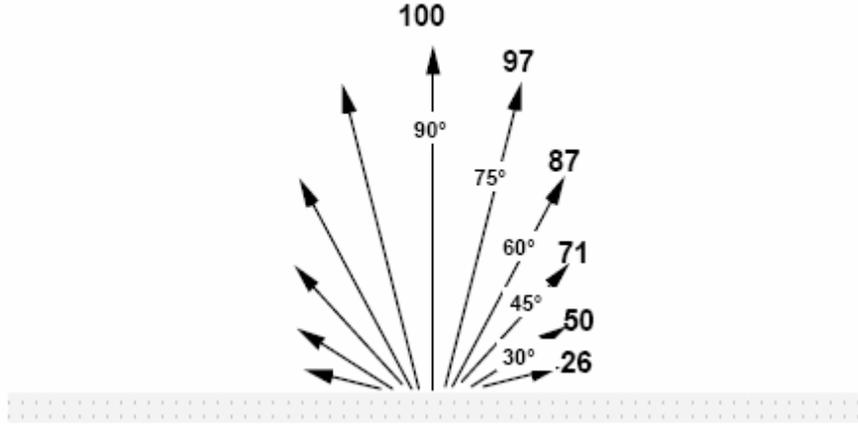
$$I = 3.5 \times 10^{22} \frac{P}{\sqrt{W_n T}} \left[ \frac{1}{cm^2 - sec} \right] \dots(2-7)$$

حركة جزيئات الغاز (Motion of gas molecules):

(٦-٢)

- **حركة جزيئات الغاز :** عندما يحصل تصادم بين جزيئات الغاز والسطح الداخلي المعرض للحاوية فان الجزيئات تنتشتت (diffusely) ، ولكن ليس هناك علاقة بين الزاوية القادمة والزاوية المغادرة بعد عملية التصادم.

لقد تم دراسة زاوية المغادرة من السطح المستوي ووجد انها تتبع التوزيع الجيب تامي (cosine) وكما هو واضح في الشكل ٢,٤ .



**الشكل ٢,٤** يوضح المقارنة المترجمة لزاوية المغادرة لجزيئات الغاز الساقطة على سطح ناعم . فمثلا ٥٠% من الدقائق تغادر بزاوية ٣٠° او اقل .

### (٧-٢) جريان الغاز خلال فتحة ضيقة (Flow of gas through an orifice)

تصور ان هناك نضوح حر من نظام فراغ يتكون من حاويتين متصلتين بصمام، احدي الحاويتين تحوي غاز النروجين عند ضغط  $5 \times 10^{-5}$  Torr ، وحاوية ثانية عند ضغط واطئ جدا

(  $5 \times 10^{-5}$  Torr ) وكانت الحاويتان تحت درجة حرارة الغرفة .فاذا تم فتح الصمام فجأة فماذا سيحصل خلال زمن توزيع الضغط؟ الذي يحصل ان الجزيئات التي ترتطم بشكل عشوائي والناجمة من فتحة الصمام بين الحاويتين تغادر الحاوية ذات الضغط العالي وتتحرك باتجاه الحاوية ذات الضغط الواطئ . او يمكن القول ان الجزيئات في الحاوية ذات الضغط العالي التي لا ترتطم عند فتح الصمام بين الحاويتين لاتستطيع مغادرة الحاوية التي تحويها.

ماذا يتم الافتراض هنا؟ ان معدل الجريان لجزيئات الغاز المغادرة للحاوية هي دالة لمعدل التصادم للجزيئات لكل وحدة مساحة سطحية.

اذن فان عدد جزيئات الغاز المغادرة تحسب من:

$$I = \frac{Nv}{4} \left[ \frac{1}{cm^2 \cdot sec} \right] \dots(2-8)$$

يمكن حساب حجم الغاز المغادر بواسطة قسمة عدد جزيئات الغاز المغادر على عدد الجزيئات لوحدة الحجم ( $N$ ) ان معدل الجريان الحجمي للغاز خلال فتحة لايعتمد على ضغط الغاز ولكن يعتمد على سرعة الغاز ( $v$ ) والتي هي دالة لدرجة الحرارة والوزن الجزيئي للحالة التي فيها معدل المسار الحر لجزيئات الغاز اكبر من قطر الفتحة الموجودة على جدران الحاوية، يمكن حساب معدل الجريان الحجمي ( $S$ ) من:

$$S = \frac{v}{4} \dots(2-9)$$

$$S = 3.6 \times 10^3 \sqrt{T \cdot W_m}$$

حيث ان :

$S$  = معدل الجريان الحجمي (liter\sec)

$T$  = درجة الحرارة المطلقة (K)

$W_m$  = الوزن الجزيئي (gm\mol)

(٨-٢) **انماط جريان الغاز تحت ظروف فراغ مختلفة (Modes of gas flow under various vacuum conditions)**

هناك ثلاث انماط لجريان الغاز يتم الاهتمام بها في موضوعنا هنا وهي:

١- الجريان الدوامي او المضطرب (turbulent or viscous).

٢- الجريان الانتقالي (laminar or Transition).

٣- الجريان الجزيئي (molecular).

تخلق انظمة الجريان عندما يتم حث الهواء على المرور خلال انبوب اسطواني كدالة لقطر الانبوب ومعدل الضغط.

$$D\bar{P} \geq 0.18$$

Criteria for *Viscous* Flow Regime

$$D\bar{P} \leq 0.004$$

Criteria for *Molecular* Flow Regime

$$0.004 \leq D\bar{P} \leq 0.18$$

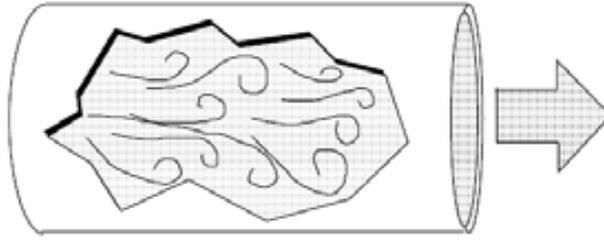
Criteria for *Transition* Flow Regime

حيث ان:

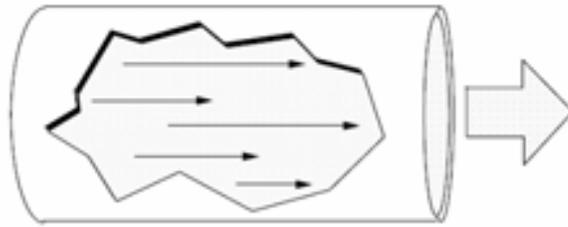
D = القطر الداخلي (inches)

$\bar{P}$  = متوسط قيمة الضغط (Torr)

عند بداية تشغيل المضخة والبدء بالتفريغ يكون نوع جريان الغاز مضطرب ويتميز بدوامات (eddies) وتيارات تشابه الثوران السريع (raging rapid).



الشكل ٢,٥ الجريان المضطرب لجزيئات الغاز خلال مرحلة التفريغ.



الشكل 2.6 جزيئات الغاز في ظروف الجريان الانتقالي. معدل الجريان الحر مساويا "الى قطر الانبوب.



الشكل 2.7 جزيئات الغاز في ظروف الجريان الجزيئي. معدل المسار الحر اكبر من 1.5 مرة من قطر الانبوب.

معدلات جريان الغاز (Gas flow rates): (٩-٢)

١- الجريان الحجمي (Volumetric Flow): معدل الجريان (S)

هو كمية حجم الغاز المار من نقطة لوحدة الزمن. مثال الوحدات هي  $\text{ft}^3/\text{min}$  او  $\text{liter}/\text{sec}$  يمكن وصف معدل الجريان الحجمي على انه سرعة المضخة للنظام عند نقطة معينة في طريق التوصيل.

٢- الجريان الكمي (Quantitative flow): معدل الجريان الكمي

(Q) هي كمية الغاز المار خلال نقطة معينة لوحدة الزمن. مثال الوحدات هي  $\text{Torr liter}/\text{sec}$ .

يمكن الاشارة الى معدل الجريان الكتلي ايضا بمفهوم الجريان النافذ (throughput) وهو ثابت في كل مكان في نظام الفراغ مالم يكون هناك نضوح في الغاز او يتم قنصه وتكثيفه خلال المسار .

$$Q=SP \dots(2-11)$$

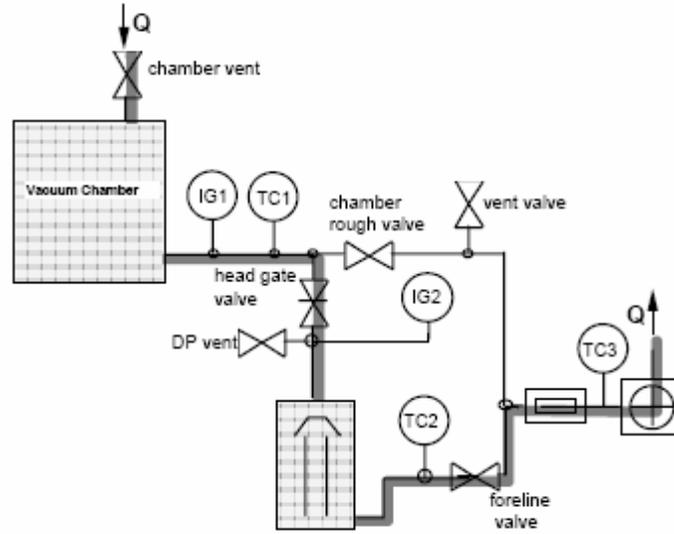
حيث ان :

$$Q = \text{معدل الجريان الكمي (Torr liter}\backslash\text{sec)}$$

$$S = \text{معدل الجريان الحجمي (liter}\backslash\text{sec)}$$

$$P = \text{الضغط (Torr)}$$

الشكل 2.8 يوضح جريان الغاز خلال منظومة فراغ بدء "من الدخول لحاوية الفراغ (vacuum vessel) وحتى الخروج عند عادم مضخة التفريغ الاولية (roughing pump). نجد عند كل موقع في دائرة الفراغ ان قيمة معدل الجريان الكمي هي نفسها .



الشكل 2.8

(١٠-٢) الموصلية في نظام الفراغ (Conductance in a vacuum system)

ان مرور الغازات خلال عنصر التوصيل (انبوب، حاوية، فتحات تنفيس) في نظام فراغ سوف يجابه بمقاومة لحركته. عند ضغوط عالية، هذه المقارمة تكون دالة لفرق الضغط والشكل الهندسي لعنصر التوصيل.

$$Z = \frac{P_1 - P_2}{Q} \quad \dots(2-12)$$

حيث ان:

المقاومة = Z (sec\liter)

P = الضغط (Torr)

Q = معدل الجريان (Torr liter\sec)

اما الموصلية هنا فهو مقلوب المقاومة وبالتالي :

$$C = \frac{1}{Z} = \frac{Q}{P_1 - P_2} \quad \dots(2-13)$$

حيث ان :

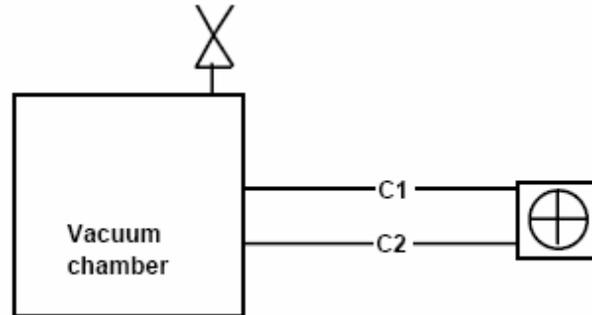
C = الموصلة (liter\sec)

حتى في حالة وجود نظام فراغ بسيط فانه يحوي على عدة عناصر موصلة على التوالي والبعض موجود على التوازي. دعنا نفحص كيف يتم حساب تأثير وجود عدة عناصر في هذا النظام.

(١١-٢) عناصر موصلة مربوطة على التوازي

(Conductance elements connected in parallel)

يبين الشكل 2.10 منظومة فراغ فيها عناصر توصيل مربوطة على التوازي.



الشكل 3.10

يتم حساب الموصلة لهذا النوع باستخدام العلاقة التالية:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots = \sum C_i \dots(2-14)$$

حيث ان:

$C_T$  = المواسلة الكلية للعناصر  $C_1, C_2, \dots$  الخ ، التي تكون مربوطة على التوازي .

(٢-١٢) حسابات المواسلة (Calculations of conductance):

- الجريان الجزيئي (Molecular flow):

قيمة معدل المسار الحر هنا اكبر بكثير من قطر عنصر التوصيل

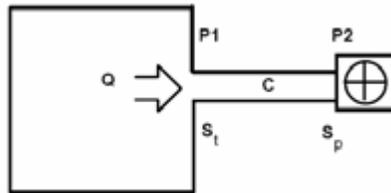
العلاقة بين قيمة الجريان النافذ ( $Q_m$ ) والمواسلة ( $C_m$ ) تعطى من :

$$Q = \frac{80 D^3}{L} (P_1 - P_2) \dots(2-15)$$

$$C_m = \frac{Q_m}{(P_1 - P_2)} \dots(2-16)$$

$$C_m = \frac{80 D^3}{L} \dots(2-17)$$

لنحاول الان استخدام هذه العلاقة لحساب سرعة الضخ في نظام فراغ بسيط (الشكل ٢,١١) :



الشكل 2.11

عند أي موقع في دائرة الفراغ فان معدل الجريان الحجمي او سرعة التفريغ يمكن حسابه اذا عرفنا قيمة الضغط عند تلك النقطة، الضغط عند المضخة والمواسلة للمسار المربوط لهاتين النقطتين . عند جهة الحاوية من النظام نجد ان  $P_1 = Q|S_1$  ، وبشكل مشابه عند جهة المضخة نجد

ان  $P_2=Q \setminus S_p$  . سوف نعمل على استخدام العلاقة بين معدل الجريان الكتلي (Q) انخفاض الضغط ( $P_1-P_2$ ) والمواصلة (C) .

$$Q=(P_1-P_2)C \dots(2-18)$$

نعوض قيمة  $Q \setminus S_t$  في  $P_1$  وقيمة  $Q \setminus S_p$  في  $P_2$  لنحصل على :

$$Q = \dots(2-19)$$

يتم قسمت كلا جانبي المعادلة بقيمة  $Q \setminus C$  للحصول على :

$$\dots(2-20) \frac{1}{C} = \frac{1}{S_t} - \frac{1}{S_p}$$

### (١٣-٢) حسابات زمن تفريغ نظام الفراغ:

قبل شراء مكونات الفراغ او بناء منظومة فراغ مكلفة يتم اجراء حسابات عادة "الاعطاء معلومات كافية تحدد فيها الزمن المطلوب لتفريغ نظام الفراغ الى ضغط معين . يتم تقسيم هذه الحسابات الى خمسة مراحل او اكثر وفي كل مرحلة يتم حساب المواصلة للانبوب بين الحاوية والمضخة.

تجرى حسابات سرعة المضخة المجهزة للحاوية واخيرا "يتم برمجة الزمن اللازم للتفريغ من حدود الضغط العليا للمرحلة الى حدود الضغط الدنيا للمرحلة . يتم اجراء الحسابات على قطع منفصلة لانه كل من المواصلة (في منطقة الاضطراب) وسرع التفريغ تتغير مع نقصان الضغط . الاشكال التالية (٢، ١٢ ، ٢، ١٣) سوف توضح السلوك العام لمواصلة الانبوب وسرعة مضخة الفراغ كدالة للضغط.

$$t = \frac{V}{S_t} \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \dots(2-21)$$

حيث ان :

$t$  = زمن التفريغ من ضغط  $P_1$  الى  $P_2$  بوحدات (sec) .

$V$  = حجم الحاوية بوحدات (liter)

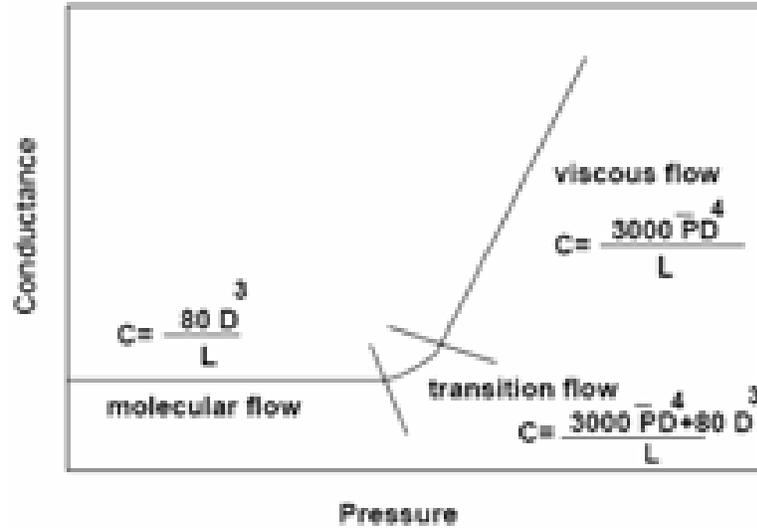
$S_t$  = سرعة المضخة المجهزة بوحدات (liter.sec) .

اما مراحل الضغط المذكورة اعلاه فهي:

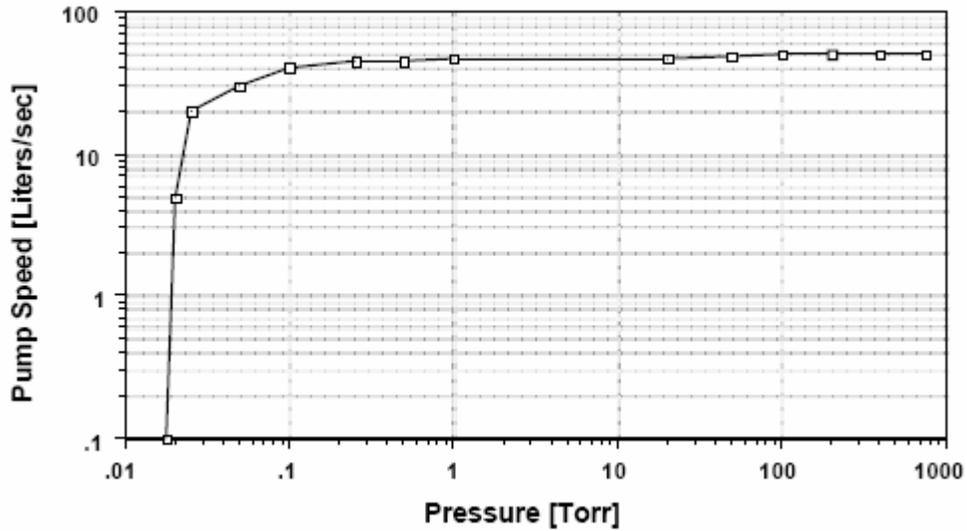
**مرحلة الضغط ١ (Pressure Interval 1):** الزمن المطلوب للتفريغ من 760Torr الى 100Torr

- (١) احسب المواصلة للانبوب بين المضخة والحاوية
- (٢) استخدم منحى كفاءة المضخة لتحديد سرعة التفريغ الحجمي للمضخة للمرحلة المحددة
- (٣) احسب سرعة المضخة المجهزة
- (٤) احسب الزمن اللازم للتفريغ من  $P_1$  الى  $P_2$
- مرحلة الضغط ٢ (Pressure Interval 2):** الزمن المطلوب للتفريغ من 100Torr الى 10Torr .
- مرحلة الضغط ٣ (Pressure Interval 3):** الزمن المطلوب للتفريغ من 10Torr الى 1Torr .
- مرحلة الضغط ٤ (Pressure Interval 4):** الزمن المطلوب للتفريغ من 1Torr الى 0.1Torr .
- مرحلة الضغط ٥ (Pressure Interval 5):** الزمن المطلوب للتفريغ من 0.1Torr الى 0.01Torr
- ملاحظة: تجرى نفس الحسابات من ١ الى ٤ على باقي المراحل.

الشكل التالي يبين العلاقة بين المواصلة والضغط للهواء الجاف المفرغ خلال انبوب يملك مساحة سطحية دائرية



الشكل 2.12 يوضح سرعة التفريغ ضد الضغط لمضخة تفريغ ميكانيكية زيتية محكمة  
 الشكل التالي يبين العلاقة بين سرعة التفريغ والضغط لمضخة تفريغ ميكانيكية زيتية محكمة



الشكل 2.13 يوضح سرعة التفريغ ضد الضغط لمضخة تفريغ ميكانيكية زيتية محكمة.

# الفصل الثالث

## (1-4) أجهزة قياس الضغط الكلي تحت الضغط الجوي (Subatmospheric Total

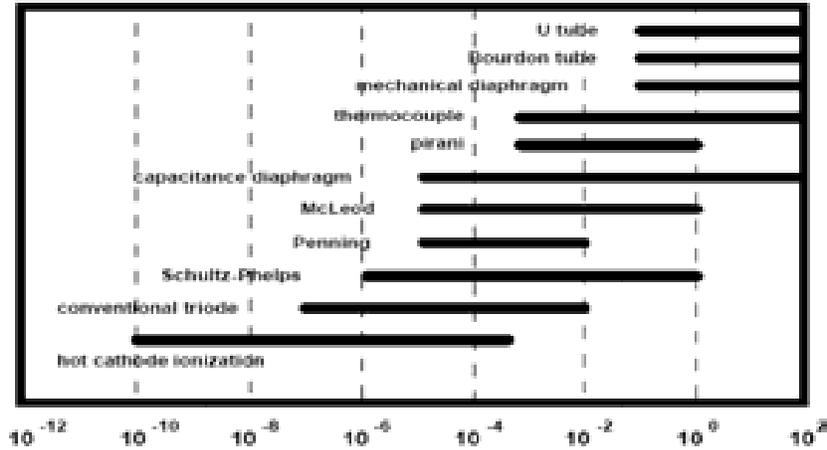
### Pressure Gauges)

ان اجهزة قياس الضغط التي سيتم شرحها في هذا الفصل تستخدم لمراقبة البيئة في حاوية الفراغ وذلك لفهم العمليات التي تجرى تحت ظروف ضغط واطئ وامكانية اعادتها وبشكل مشابه لاي مجال في تكنولوجيا الفراغ، فان موضوع اجهزة قياس الضغط يمكن ان يصنف بعدة طرق وكما يلي:

- ١- اجهزة قياس تعتمد على معدل الضغط الذي تعمل عليه.
  - ٢- اجهزة قياس تعتمد على المبداء الفيزياوي خلف هذه العمليات.
  - ٣- اجهزة قياس تعتمد على الحجم.
  - ٤- اجهزة قياس تعتمد على الكلفة.
  - ٥- اجهزة قياس تعتمد على التعقيد.
- سيتم هنا استخدام الاساس الفيزياوي للتشغيل (physical basis of operation). يمكن تصنيف اجهزة قياس الفراغ الى اربعة انواع:
- ١- اجهزة تقيس تاثير القوة الفيزياوية على السطح.
  - ٢- اجهزة تقيس انتقال العزم بواسطة جزيئات الغاز.
  - ٣- اجهزة تقيس انتقال الحرارة.
  - ٤- اجهزة تقيس كثافة الغاز بعملية تايين جزيئات الغاز.
- تجد ادناه مثالا " على كل نوع من الانواع الاربعة:

<b>Force Measuring Gauges:</b> U-Tube manometer McLeod gauge Bourdon tube gauges Capacitance manometers	<b>Momentum Transfer Gauges:</b> Spinning rotor gauge
<b>Thermal Conductivity Gauges:</b> Thermocouple gauge Pirani gauge	<b>Gas Ionization Gauges:</b> Hot cathode ion gauge Cold cathode ion gauge

يجري كل يوم تنفيذ تجارب وعمليات في حاويات فراغ تملك ضغوط كلية بمعدل 760 Torr الى  $10^{-13}$  Torr . ان هذا المعدل من الضغط يمتد لحوالي ١٦ فارزة عشرية !لايتوفر جهاز ضغط واحد يستطيع قياس الضغط بدقة على طول هذا المعدل الضخم . هذه الاجهزة التي هي حساسة كفاية لتكون دقيقة عند كثافات غاز قليلة جدا "سوف تعاني مشاكل او ربما تتلف اذا شغلت عن ضغوط فوق  $10^{-3}$  Torr . بالنسبة لكل جهاز قياس فراغ مغطى في هذا الفصل، سوف نعمل جاهدين في شرح التطبيق المناسب للجهاز وسوف نعطي ملاحظات مفيدة حول مطابقة المواد، التحمل الميكانيكي وقابلية الجهاز للتاثيرات الخارجية . الشكل 4.1 يوضح معدلات ضغط التشغيل لاجهزة القياس التجارية المعروفة.



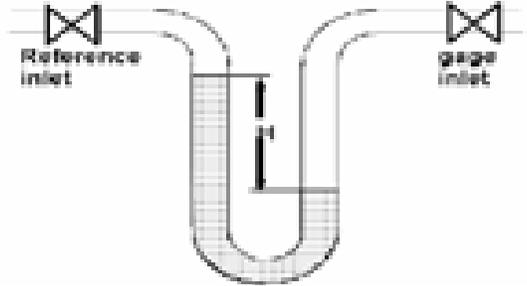
الشكل ٤,١

#### (٢-٤) اجهزة قياس الضغط التي تقيس القوة (Force Measurement Pressure Gauges):

##### a- المانوميتر الزئبقي (U-tube Manometer):

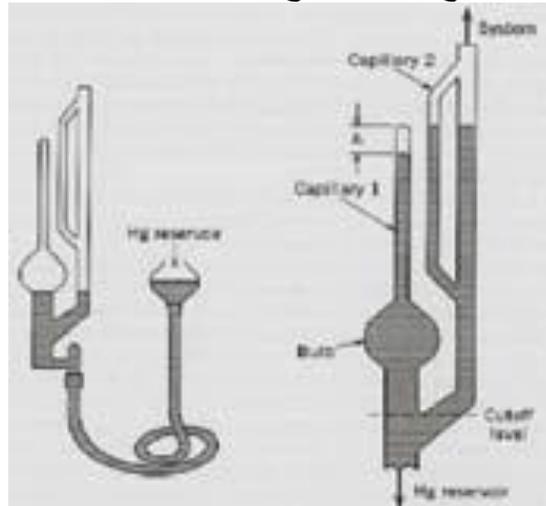
تاريخياً، يعتبر جهاز قياس مستوى السائل اول ماستخدم كوسيلة لمراقبة تغيرات الضغط. استخدم سائل الماء بدايتاً، ولكن بسبب كثافته القليلة التي تتطلب ان يكون طول الانبوب حوالي 30 feet ليتمكن من قياس الضغط الجوي، تم استبدال الماء بمادة الزئبق حيث ان كثافته العالية ( ١٣,٦ مرة اكبر كثافة "من الماء ) تسمح بتصنيع اجهزة قياس اصغر بكثير. ان المبادئ الاساسية لتشغيل اجهزة قياس مستوى السائل البسيطة هي كما يلي:

- ١- يتم تحضير انبوب زجاجي على شكل حرف U طوله متر وموضوع بشكل عمودي .
  - ٢- يملئ الانبوب الى منتصفه بسائل الزئبق.
  - ٣- يستخدم صمامان في نهايتي الانبوب ( صمام المصدر (Reference) وصمام الدخول (Inlet) ) .
  - ٤- يفتح الصمام من جهة المصدر للانبوب الى مضخة فراغ عالي.
  - ٥- ضغط الهواء فوق الزئبق من جهة صمام المصدر ينخفض الى حوالي  $10^{-5}$  Torr او اقل ومن ثم يغلق صمام المصدر .
  - ٦- عند هذه النقطة، يمكن ربط جهة صمام الدخول للانبوب بمنظومة الفراغ.
  - ٧- اذا كان النظام بدايتاً " عند الضغط الجوي، فان فرق ارتفاع العمود للزئبق (H) ، بين ذراعي القياس والمصدر للانبوب سيكون حوالي 760 nm
  - ٨- اذا تم تفريغ نظام الفراغ الموصل بصمام الدخول لجهاز القياس، فان الفرق في الارتفاع بين الذراعين للانبوب سينخفض.
- الشكل 4.2 يوضح الرسم التخطيطي لجهاز المانوميتر الزئبقي .



الشكل 4.2

-b **جهاز ماكلويد (McLeod Gauge):** يمكن توسيع معدل الضغط التي تقراء بها اجهزة قياس مستوى السائل اذا تم عزل نموذج من الغاز المراد قياس ضغطه في نظام الفراغ عن طريق كبسه بطريقة مسيطر عليها لتضخيم القوة المؤثرة على وحدة المساحة وبالتالي جعل عملية قياس الضغط سهلة ودقيقة. تتم عملية القياس بجهاز ماكلويد باستخدام خزان زئبق متحرك mercury (reservoir) ، فقاعة معروفة الحجم (bulb) ، ومجموعة من الانابيب الشعرية (capillary tubes) وانبوب يسمح بالتوصيل مع حاوية الفراغ. انظر الشكل 4.3 .



الشكل 4.3 يوضح الرسم التخطيطي لمنظومة ماكلويد.

ان انزال خزان الزئبق سوف يسمح للغز بحركة للغاز من حاوية الفراغ لتملئ الفقاعة ذات الحجم المعروف الموضوعه بشكل مباشر تحت الانبوب الشعري المغلق. يتم بعدها عزل هذا النموذج من الغاز عن حاوية الفراغ بواسطة رفع خزان الزئبق عن المستوى المقطوع. في نفس الوقت، يتم كبس الغاز المحجوز الى الانابيب الشعرية المختومة. يمكن ان نبين انه لثابت معايرة (calibration constant:  $k$ ) نجد :

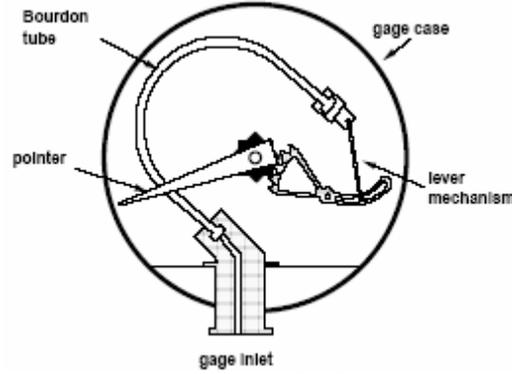
$$P = kh^2 \dots (4-1)$$

لقد كان انجاز جهاز ماكلويد في وقتها تطور تقني كبير حيث يغطي 4 فوارز عشرية لمعدل الضغط مع دقة عالية جدا .

-c **جهاز انبوب بوردون (Bourdon tube gauge):**

يتكون جهاز قياس الضغط من نوع انبوب بوردون من حاوية مفرغة محكمة مع صفيحة زجاجية امامية تسمح برؤية المؤشر المتحرك (indicator dial) وقراءات الضغط (pressure scale). ان الانبوب المعدني المنحني يكون بتشوة مرن وان التواء نهايته يتناسب مع فرق الضغط خلال جدرانه .

هذا الالتواء ينتقل بشكل ميكانيكي الى دوران المؤشر بواسطة ميكانيكية مسننات وتروس (rack and pinion) . انظر الشكل 4.4 ادناه .

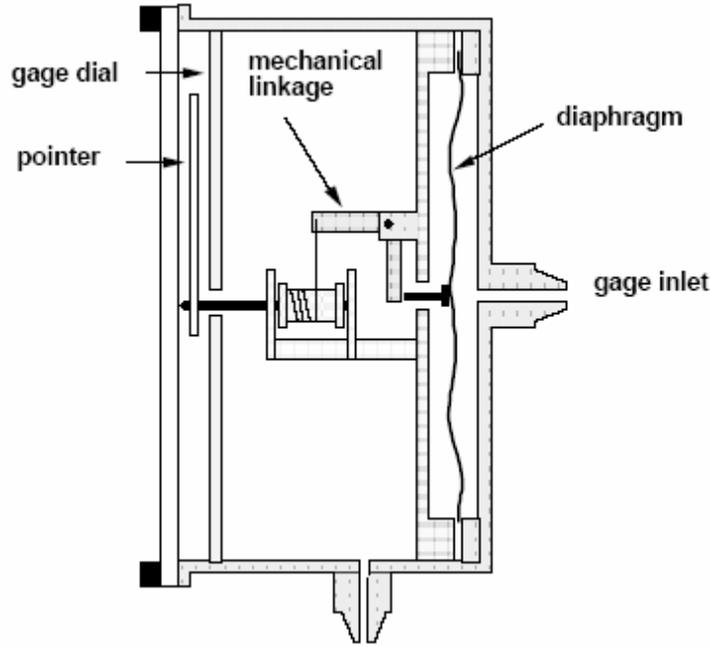


الشكل 4.4

هناك بعض الاختلافات في التصميم الاساسية، فالبعض يملك حاويات مفرغة وانابيب مصدر (reference tubes) التي تحمي الميكانيكية داخل الحاوية من بيئة نظام الفراغ. الاجهزه الصغيرة، الغير مكلفة (قطر الوجه ٢) يمكن ان تقراء بشكل دقيق معدل ضغط من 1 atm الى 100Torr. الاجهزة الكبيرة، الاكثر حساسية (قطر وجه ٩-٨) يمكن ان تقراء ضغط نزولا الى حدود 10Torr. هذا النوع من الاجهزة بسيط، غير مكلف، ويتحمل الصدمات (rugged) نسبيا. يمكن ايجاد هذا النوع من اجهزة القياس منظومات الفراغ العالي (High) كوسيلة لتحديد ظروف الضغط الاجمالي (gross pressure) في منظومة الفراغ.

#### d- جهاز الغشاء الميكانيكي (Mechanical diaphragm gauge):

يستفيد جهاز قياس ضغط الغشاء المدار ميكانيكيا من استخدام غشاء معدني رقيق، ينحرف نسبتا الى وجود فرق ضغط خلاله. يتم تضخيم هذا الانحراف بواسطة مجموعة من العتلات والبكرات (levers and pulleys) ويحول الى حركة دورانية للمؤشر امام وجه تاشير معير. بما ان جهة الجهاز للغشاء معرض الى بيئة منظومة الفراغ، فيجب اخذ الحذر للسيطرة على تعرض الجهاز للزيوت، الماء او الغازات الفعالة. الشكل 4.5 يوضح نموذجا "تخطيطيا لهذا النوع من الجهاز.



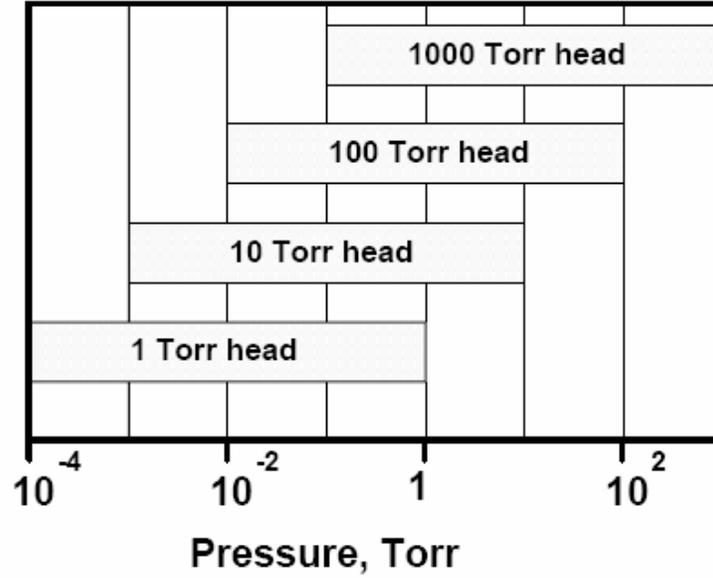
الشكل 4.5

#### e- جهاز غشاء المتسعة (Capacitance diaphragm gauges):

هذا النوع الذي يسمى احيانا "مانوميتر المتسعة هو نوع اخر من اجهزة قياس الضغط الذي يعتمد على الضغط التفاضلي على طول الغشاء المرن كوسيلة لقياس الضغط. العنصر المتغير في هذا النوع من الاجهزة هو الغشاء المرن في مجهد ذي ثلاث اطراف توصيل بالنسبة لفولتية داخلية، يتم قياس التغير في المتسعة كدالة لانحراف الغشاء وتترجم الى وحدات ضغط. مع غياب ميكانيكيات تأثير معاكس وقوى مضادة يعني دقة عالية، يمكن الاعتماد عليها بالمقارنة مع جهاز الغشاء الميكانيكي .

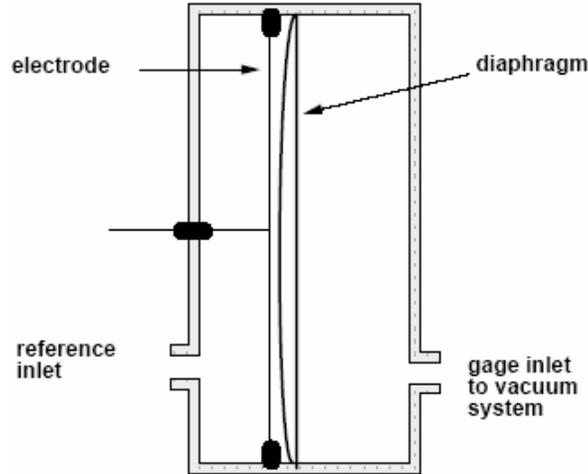
تتوفر انواع عديدة من رؤوس (heads) مانوميتر المتسعة وبسلسلة من الحساسيات (انظر الشكل 4.6) نذكر منها:

- ١- الموديل الاقل حساسية والذي يكون اكثر تحملا "للصدمات.
- ٢- بعض اكثر الوحدات حساسية التي تستطيع قياس ضغوط اقل من  $10^{-5}$  Torr



الشكل 4.6 معدلات الضغط لرؤوس مانوميتر المتسعة.

هذه الاجهزة تقيس ضغط بمبدأ اظهار الحركة التراكمية للجزيئات وبالتالي فهي لست حساسة لنوع الغاز. الشكل 4.7 يوضح الرسم التخطيطي لهذا النوع من الاجهزة .



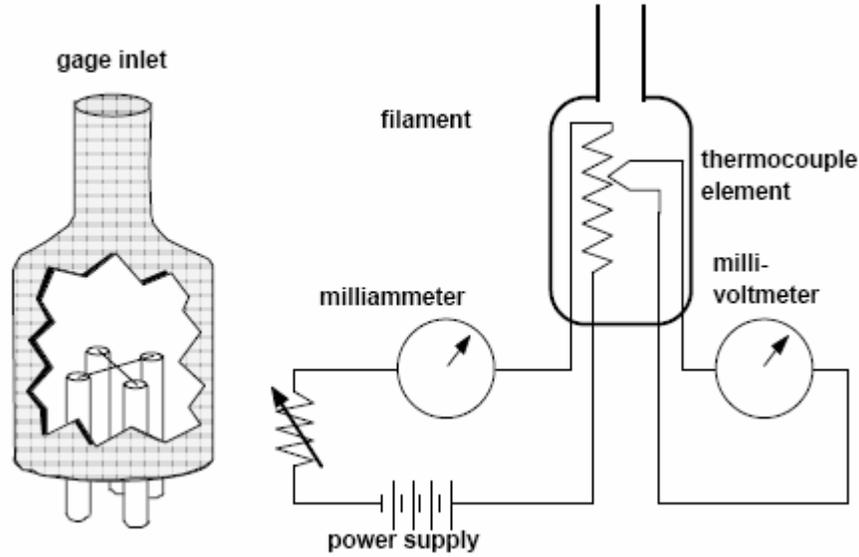
الشكل 4.7

يستطيع مانوميتر المتسعة ان يقيس ضغط بشكل دقيق ضمن معدل ضغط حسب تصميم متحسس الضغط او الراس. بما ان حجم الغشاء صغير جدا في رؤوس مانوميتر المتسعة الحساس، فيمكن لقراءة الضغط ان تتأثر بتغير درجة الحرارة في البيئة المحيطة براس الجهاز. لغرض تفادي هذه المشكلة يجب عدم وضع راس المانوميتر بالقرب من جهاز قياس ضغط ايوني من نوع الكاثود الحار او مصنعة باردة لسائل النتروجين. ولتقليل تاثيرات درجات الحرارة المختلفة على قراءة الجهاز، قامت بعض شركات التصنيع بتوفير مصادر تسخين في الجهاز التي تخدم في الحفاظ على درجة حرارة تشغيل ثابتة.

### (٣-٤) أجهزة التوصيلة الحرارية (Thermal conductivity gauges):

#### ١- جهاز المزدوج الحراري (Thermocouple gauge):

يعتبر هذا النوع احد اكثر اجهزة قياس الضغط الاساسية المستخدمة لقياس التغير في التوصيلية الحرارية للغاز للاستدلاء على الضغط. يتم تجهيز تيار كهربائي ثابت الى شعيرة (filament) داخل الجهاز حيث هناك مزدوج حراري ملحوم بلحام النقطة. حالما يتم تقليل الضغط بعملية التفريغ، فان القليل من جزيئات الغاز سوف ترتطم مع الشعيرة المسخنة لوحدة الزمن، والشعيرة بالتالي ستعمل عند درجات حرارة عالية. يتم معاينة درجة حرارة الشعيرة باستخدام المزدوج الحراري، وتحول الى وحدات الضغط في قارئ الجهاز. بما ان بعض الجزيئات افضل بمسالة الحصول على الطاقة الحرارية بالمقارنة مع البعض الاخر، فان هذه الاجهزة تكون حساسة لنوع الغاز. الشكل 4.8 يوضح مقطع عرضي للجهاز وكذلك رسم تخطيطي لدائرة السيطرة



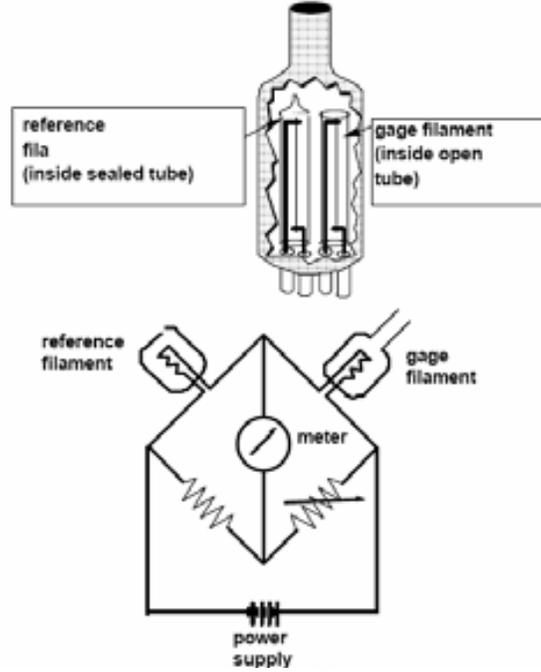
الشكل 4.8

تستخدم اجهزة المزدوج الحراري بشكل واسع في صناعة الفراغ وذلك بسبب كلفتها الواطئة، سهولة نصبها، سهولة استخدامها، تحملها للصدمات وحجمها الصغير. التطبيقات المعروفة لهذا النوع من اجهزة الفراغ تتضمن قياس ضغط خطوط الدعم (foreline) لمضخات الفراغ العالية. اهم المساوئ لهذه الاجهزة هي الاستجابة البطيئة الملازمة الى تغير الضغط. المعدل التشغيلي لاغلب انواع اجهزة المزدوج الحراري يقع بين 1 atm و  $10^{-3}$  Torr. تتميز هذه الانواع بتحملها للصدمات وكونها يمكن الاعتماد عليها ولكن نوعية قياس الضغط تتاثر بشدة (تنحط) اذا تواجد أي سائل غريب، مثل زيت المضخة في داخل جسم الجهاز حيث يمكن ان تحصل لهذه المواد عملية تكسير (pyrolyzed) على الشعيرة الحارة. يتم عادة تثبيت الاجهزة بشكل عمودي مع مدخل الجهاز ولهذا السبب فهي موجه نحو الاسفل.

#### ٢- جهاز بيراني (Pirani Gauge):

يتم في هذا النوع احتواء شعيرة المصدر (compensator) في حاوية زجاجية محكمة مفرغة الى ضغط اقل من 1 Torr. ويتم في حاوية زجاجية مشابهة مفتوحة عند نهاية الدخول للجهاز احتواء شعيرة الجهاز (gauge filament). حالما تتعرض كثافة الغاز الى تغيرات شعيرة الجهاز، تتعرض شعيرة الجهاز المسخنة باستخدام جريان تيار كهربائي ثابت، الى تغير في مقاومتها الكهربائية وتقاس تلك باستخدام دائرة

قنطرة واطسون ويتم عرض وحدات الضغط على قارئ خارجي. وكما مع الاجهزة القياس الاخرى التي تقيس التوصيلية الحرارية للغازات، فان جهاز بيراني لايقراء التغيرات في الضغط بشكل تلقائي. اذ يتطلب بعض الوقت للشعيرات المسخنة لتستجيب الى التغيرات في محيطها. الشكل 4.9 يوضح الرسم التخطيطي لجهاز بيراني (الاعلى) ودائرة السيطرة (الاسفل)



الشكل 4.9

## (Mechanical Vacuum Pumps)الميكانيكية الفراغ (١-٥) مضخات

سيتم في هذا الفصل استعراض المبادئ الأساسية لتشغيل العديد من مضخات الفراغ الميكانيكية الشائعة الاستعمال، وتوفير معلومات عن ادائها وتطبيقاتها النموذجية، وشرح تقنيات الصيانة الوقائية المناسبة لها. لقد تم استخدام مضخات إزاحة الغاز الموجبة

(Positive gas displacement pumps) لنوع واحد أو أكثر منذ عام ١٦٤٠. تستخدم تقريبا " أغلب انواع مضخات الفراغ القديمة سائل الزئبق مع انابيب زجاجية وحاويات لتوليد الفراغ . المضخات الميكانيكية الحديثة يمكن ان توصف بالقوة العاملة لتكنولوجيا الفراغ؛ وتتميز بكونها بسيطة التصميم، تتطلب صيانة قليلة، غير مكلفة نسبيا "ويمكن ان تعمل لفترات طويلة بدون ان تعطل. ان العديد من مضخات الفراغ التي مرت علينا تشتغل بشكل مستمر لخمس عشرة سنة مع احتمال تبديل الزيت لمرات محدودة. !ان معدل سرعة التفريغ للمضخات التجارية المتوفرة تعمل من حوالي 0.5liter\sec الى اكثر من 300liter\sec.

يمكن تصنيف مضخات الفراغ الميكانيكية الى نوعين اساسيين :

- (١) المضخات الترددية (reciprocating pumps).
  - (٢) المضخات الدوارة (rotary pumps).
- يمكن ايضا "تصنيف المضخات الميكانيكية حسب الخواص التالية:
- (١) عدد المراحل (المضخات ذات المرحلة الواحدة أو المركبة).
  - (٢) مضخات الإزاحة الموجبة الترددية
  - (٣) الوسيلة التي يتم فيها ادارة ماكنة المضخة (ادارة مباشرة أو باستخدام حزام ناقل)
- اما ادناه فتجد نبذة عن المضخات الميكانيكية الحديثة واهمها مضخات الإزاحة الموجبة الميكانيكية .

### ١) مضخات الإزاحة الموجبة الترددية:

نذكر منها:

- ١- مضخة الغشاء (diaphragm)
  - ٢- المضخة المكبسية (piston).
  - (٢) مضخات الإزاحة الموجبة الدوارة.
- نذكر منها الأنواع التالية:
- ١- المضخة الحلقية السائلة (liquid ring).
  - ٢- مضخة الريش المنزلقة (sliding vane).
  - ٣- المضخة المتعددة الريش (multi vane)
  - ٤- المضخة المكبسية الدوارة (rotary piston)
  - ٥- مضخة الغطس الدوارة (rotary plunger).
  - ٦- مضخة التدوير أو روتس (root)
- اما في هذا الكتاب فسوف نهتم بنوعين من المضخات الميكانيكية الزيتية المختومة (oil sealed):
- ١- مضخة الريش المنزلقة الدوارة (sliding vane rotary pump).
  - ٢- المضخة المكبسية الدوارة (rotary piston pump).

### (٢-٥) نظرية التشغيل (theory of operation):

تعمل مضخات الفراغ الميكانيكية بمبدأ ازالة الغاز الموجبة، أي خلال عملية تشغيل المضخة بشكل دوري تخلق زيادة ونقصان في الحجم لازالة الغازات من النظام، وطردهم الى الجو. في اغلب التصاميم، يتحرك الجزء الدوار (rator) المدار بالمطور داخل الجزء الثابت (stator) الاسطواني ذي القطر الكبير.

(٣-٥) النسبة الانضغاطية (Compression Raio): نسبة ضغط الغاز المطروح (exhaust pressure) (الضغط الجوي) ، الى ضغط الاساس (base pressure) (اقل ضغط يمكن الحصول عليه من مدخل مضخة التفريغ) .

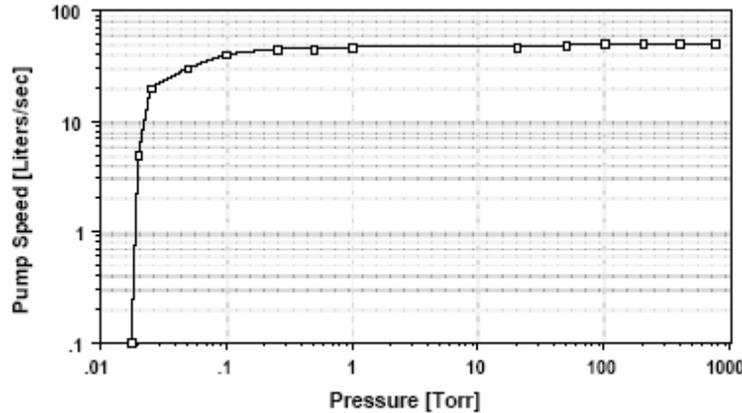
مثال :

اذا استخدمت مضخة ميكانيكية واعطت ضغط اساس قيمته 15mTorr ، فان النسبة الانضغاطية لها:

$$\frac{760 \text{ Torr}}{0.015 \text{ Torr}} = 51,000$$

هناك طريقة شائعة لتقديم هذه المعلومة هو القول ان المضخة تملك نسبة انضغاطية مقداره ٥١,٠٠٠:١ .

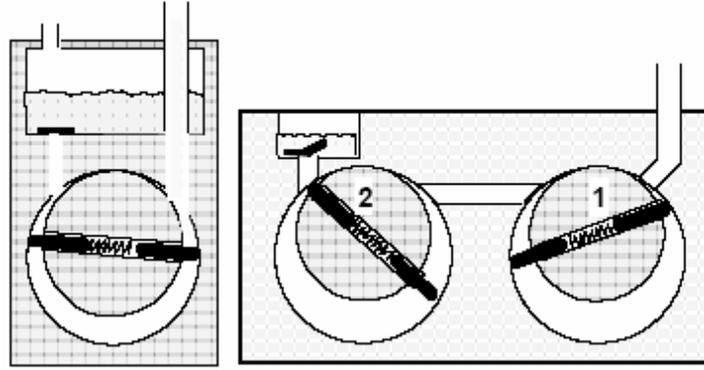
عند ضغوط اكبر من 1Torr ، تملك المضخات الميكانيكية الدوارة سرعة تفريغ ثابتة. كما ان سرعة التفريغ تنخفض بشكل سريع تحت هذا الضغط وتصل الى قيمة صفر عند الضغط الاساس للمضخة . يزود اغلب مصنعي مضخات الفراغ الميكانيكية مع كتلوكات المنتج الخاصة بهم منحيات سرعة المضخة (pump speed curve) والخاصة باداء المضخة وكما هو موضح في الشكل ادناه.



### (٤-٥) مضخات الفراغ الميكانيكية ذي الريش الدوارة (rotary Van Mechanical VP):

تحتوي مضخات الريش الدوارة، نموذجياً، على جزء دوار مدار بمطور (اما بحزام ناقل (belt) او مدارة بشكل مباشر (direct)) ، وتملك واحدة الى ثلاث ريش منزلقة (sliding vanes) تحافظ على تماس مباشر مع الجدار الداخلي للجزء الاسطواني الثابت. تصنع الريش من المعدن بالنسبة لمضخات الزيت المختومة ومن الكربون للمضخات الجافة. هناك قوة دفع نحو المركز تؤثر على الريش في الجزء الدوار

لغرض دفعها نحو السطح الداخلي المحكم للجزء الثابت . يتم تجهيز بعض المضخات الميكانيكية بنوابض لتعزيز هذا الفعل . يمكن تقسيم مضخات الريش الدوارة الى تصميم المرحلة الواحدة (single stage) او المرحلتين (double stage). تتميز مضخات المرحلة الواحدة ببساطتها، وتملك جزء دوار وجزء ثابت واحد وكما انها اقل كلفة . ان ضغط الاساس المتوقع من مضخة ميكانيكية ذي المرحلة الواحدة جيدة هو حوالي 20mTorr . بالنسبة الى تصميم المرحلتين، ميناء العادم للمرحلة الاولى يتصل مع ميناء الدخول للمرحلة الثانية والذي يطرحه الى الضغط الجوي . مضخات المرحلتين يمكن ان تصل الى ضغط اساس الى 1-2mTorr ولكنها اكثر كلفة من مضخات المرحلة الواحدة . الشكل 5.1 يوضح رسم تخطيطي مبسط لمضخة ريش دوارة زيتية محكمة ذي المرحلة الواحدة (الايسر ) وذي المرحلتين (الايمن) .

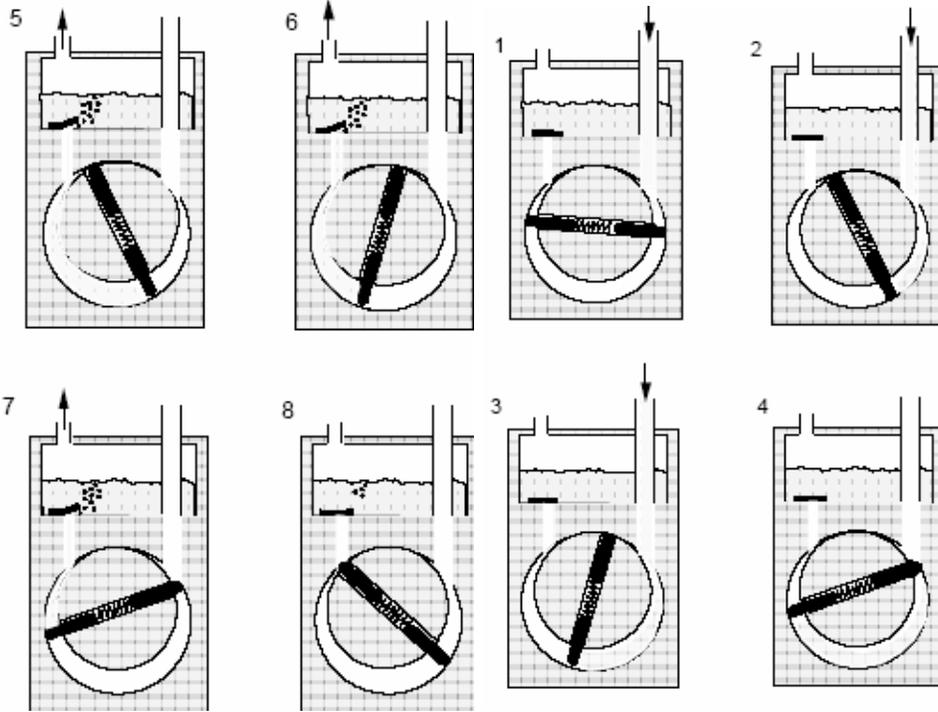


الشكل 5.1

بالنسبة للتصميم المركب، فان جهة الفراغ العالي للمضخة (المرحلة المعلمة ١) تعمل عند ضغط اقل بسبب عدم التعرض الى ضغوط جزئية عالية من الاوكسجين في هذه المرحلة . يجب ملاحظة ان عملية تجهيز القليل من الزيت او عدم وجوده في المرحلة الاولى في المضخة المركبة لغرض الوصول الى ضغوط اقل يمكن، عمليا"، ان يؤدي الى صعوبات كبيرة في التشغيل الصحيح للمضخة المركبة . يخدم وجود الزيت في المضخة الزيتية المحكمة في ثلاث نتائج مهمة:

- (١) يوفر احكام للفراغ عند عادم المضخة.
- (٢) يعمل كزيت تشحيم.
- (٣) يوفر مصدر تبريد للمضخة.

الشكل 5.2 يبين مجموعة من المخططات توضح التسلسل في دورة المضخة المنفردة لمضخة الريش الدوارة . لاحظ كيف تعمل الريش الدوارة مع الجزء الثابت لخلق زيادة ونقصان في الحجم في كل دفعة (stroke) . لاحظ ايضا "كيف يتم فتح وغلق صمام التفريغ (discharge vlave) في كل دورة.

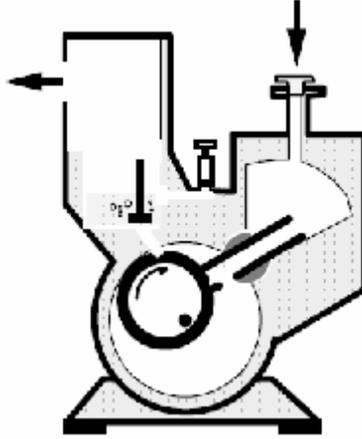


الشكل 5.2

تشغل مضخات الريش الدوارة المدارة بحزام ناقل نموذجيا " عند حوالي 6—400 RPM ، بينما الموديلات المدارة مباشرة "فانها تدور بسرعة 1500-1725RPM . ان اغلب مشاكل مضخات الريش الدوارة يمكن ان تعود الى صيانة الزيت الفقيرة . يمكن القول ان حوالي ٩٥% من جميع مشاكل المضخات الميكانيكية يمكن ان تحل بعملية تنفيس (flushing) المضخة وتبديل الزيت . بسبب وجود السماحية القريبة بين الريش الدوارة والجزء الثابت، فان مواد الدقائق الصلبة الداخلة الى المضخة يمكن ان تسبب تخديش السطوح المحكمة للفراغ مسببتا "هبوطا" في اداء المضخة . لهذا السبب ، يجب اخذ الحذر لتقليل دخول مثل هذه الدقائق . تقوم العديد من الشركات بانتاج مناخل صغيرة ومرشحات توضع على مدخل المضخة لتحقيق هذا الهدف .

#### (٥-٥) مضخات الفراغ الميكانيكية المكبسية الدوارة (Rotary piston mech. vacuum pumps)

المضخات الميكانيكية المكبسية (او الغاطسة الدوارة) المبينة في الشكل 5.3 تعمل بمبدأ الازاحة الموجبة للغاز . عند كل دورة، يعمل المكبس بحركة لامتركزية (eccentric) دوارة مع الصمام الانزلاقي (sliding valve) بسحب الغاز الى الجزء الثابت، ضغطه وطرده الغاز الى الجو . وكما في مضخات الريش الدوارة، فان مضخات نوع المكبسية الدوارة يمكن ان توجد بمرحلة واحدة او مركبة . سرعة الدوران لهذا النوع من المضخات يكون نموذجيا "بحدود 600-800 RPM . سماحية الابعاد بين الجزء الثابت والمكبس لهذا التصميم يكون بحدود ٠,٠٠٣-٠,٠٠٤ . بسبب هذا فان المضخات المكبسية تكون اكثر تحملا "لوجود دقائق ملوثة فيها . يستخدم زيت ذي لزوجة عالية في هذا النوع من المضخات بسبب السماحية العالية في الابعاد . وعادة "مايتم تبريد المضخات المكبسية الدوارة الضخمة بالماء لزيادة عمرها وتحسين ادائها .



الشكل 5.3

### (٦-٥) موانع مضخة الفراغ الميكانيكية (Mechanical vacuum pump fluids):

ان مائع المضخة المناسب يكون باهمية اختيار المضخة المناسبة. في تكنولوجيا الفراغ اليوم، العديد من العمليات غير متطابقة مع زيت

المضخة الهايدروكاربوني النموذجي. فمثلا "؟ اذا كنت تجري عملية يستخدم فيها كمية كبيرة من الاوكسجين فان زيت مضخة صناعي قليل الفعالية مع الاوكسجين يكون هو الاختيار المناسب. اذا اخترت في هذا المثال زيت هايدروكاربوني، فان احتمالية توليد مزيج متفجر مع الاوكسجين وبخار زيت المضخة الحار وارد جدا. "بشكل مشابه، اذا تضمنت العملية المجرات استخدام غازات فعالة يجب هنا التفكير بجديّة حول الفعالية الكيماوية لغازات العملية المفرغة التي سوف تتعرض الى بخار زيت المضخة الميكانيكية. يمكن اختيار موانع المضخة الفلوروكاربونية لبعض التطبيقات وذلك بسبب فعليتها الكيماوية القليلة. عند بعض الظروف المحددة، ربما ترغب بتشغيل المضخة الميكانيكية مع مائع بلزوجة عالية. لهذا الغرض، ربما يتطلب زيادة السماحية بين الاجزاء المتحركة. يجب وضع علامات على المضخات المحورة لخدمة خاصة لغرض اعلام الاشخاص الذين سيعملون عليها مستقبلا "حول التحوير والتطبيق الجديد لها. كلمة اخيرة حول موانع المضخات الميكانيكية وهو يجب بحث الخواص التشخيصية للماء بشكل دقيق قبل استخدامه. ان العديد من انواع الموانع التجارية المتوفرة حاليا "لاتعمل بشكل جيد اذا تم مزجها مع بعضها البعض.

### (٧-٥) مضخات الفراغ الميكانيكية الجافة (Dry Mechanical Vacuum Pumps):

تم في السنوات الاخيرة الاهتمام بدراسة موانع المضخات الميكانيكية (من وجهة نظر الامان وتلوث انضمة الفراغ). استجاب مصنعي مضخات الفراغ بتطوير وتسويق مضخات دعم ميكانيكية خالية من الزيوت. تملك هذه المضخات لبعض التطبيقات خصائص مرغوبة ولكن هناك بعض العوارض يجب الانتباه اليها. ان مميزات المضخات الجافة (عادة لتصميم الريش لدوارة) انها تمنع امكانية استرجاع (backstreaming) زيت المضخة الى حاوية الفراغ. بالاضافة الى ذلك يمكن استخدام المضخات الجافة لتفريغ وبامان كميات كبيرة من الاوكسجين بدون الخوف من الانفجار. كما ان المضخات الجافة مناسبة لتفريغ ابخرة فعالة معينة غازات. اما مساوئ مضخات الفراغ الميكانيكية الجافة فتتضمن كلفتها الاولية العالية (تبلغ حوالي ٥ مرات اكثر من المضخات الزيتية المختومة ولنفس السعة)، الضوضائية العالية، وضغط الاساس اعلى (ultimate pressure).

## المقدمة

في هذا الفصل سنقوم بحساب فولتية الانهيار وايجاد مخطط باشن لمنظومة بلازما عملية والتي تتكون من حجرة التفريغ الزجاجية ذات طرف مفتوح واحد والطرف الاخر تم غلقه باستخدام قاعدة من مادة التفلون الابيض المقاوم للحرارة .

### ٢-١ منظومة التفريغ

تتكون منظومة التفريغ من الاجزاء التالية :

٢-١-١-١ حجرة التفريغ : وهي عبارة عن حجرة زجاجية ذات قطر ١٠ سم وارتفاع ١٥ سم وبسمك ٦ ملم مفتوحة من طرف واحد والطرف الاخر مغلق حيث تم تقب الزجاجاة لغرض تركيب القطب الكهربائي .وكما في الشكل التالي



الشكل (١١) يمثل حجرة الفراغ

: و هي مصنوعة من مادة التفلون الحراري وتم اضافة FLANGE ٢-١-٢ الشفة صمام عدد اثنان لغرض دخول الغاز المدروس وهو في حالتنا غاز ثاني اوكسيد

الكاربون وتفريغ الحجرة من الغازات الأخرى ، كما تم وضع القطب الكهربائي الثاني في الوسط وكما في الشكل التالي .



الشكل (١٢) تمثل الشفة

٣-١-٢ مقياس ضغط الفراغ  
لمقدار الضغط داخل الحجرة

: وهو مقياس  
ويوحدة التور



الشكل (١٣) يمثل مقياس الضغط الواطيء

٤-١-٢ مجهاز القدرة : جهاز القدرة مصنع محليا ويعطي فولتية تصل الى ٣٠٠٠ فولت وبتيار ٢٠٠ ملي امبير ويتم التحكم به بواسطة مجزء جهد فاريك .وكما في الشكل



الشكل (١٤) يمثل جهاز الفولتية العالية

٥-١-٢ قنينة الغاز : تحتوي قنينة الغاز على غاز النايتروجين مربوط معها مقياس الجريان للتحكم بمقدار الضغط الغاز الداخل.



الشكل (١٥) يمثل قنينة الغاز

٦-١-٢ مضخة الفراغ : وهي من نوع الدوار ذو المرحلتين صناعة امريكية



الشكل (١٦) يمثل مضخة الفراغ

# المصادر

## المصادر

- 1- Francis F. Chen and Jane P. Chang, " principles of plasma processing ", Los Angeles, Part A1, 2002.
- 2- Martin A. Uman, " Introduction to plasma physics ", by McGraw-Hill, Inc., New York, San Francisco, Toronto, London, Chap. 1, 1964.
- 3- Krall, Nicholas A., Trivelpiece, and Alvin W., " Principles of plasma physics ", San Francisco Press, Inc., Chap. 1, 1986.
- 4- John Howard, " Introduction to plasma physics ", Plasma research laboratory, Research school of physical sciences and engineering, Australian national university, Chap. 1, 2002.
- 5- A. Dinklage, T. Klinger, G. Marx, L. Schweikhard, " Plasma physics confinement transport and collective effects ", Lect. Notes in phys. 670, Springer, Berlin Heideelberg, Chap. 1, 2005.
- 6- Paul M. Bellan, " Fundamentals of plasma physics ", Scientific Workplace V5, Chap. 1, 2004.
- 7- L. Tonks and I. Langmuir, Physical Review, 33, 195, 1929.
- 8- Lord Rayleigh, Phil. Mag., 11, 117, 1906.

- 9- Weston M. Stacey, " Fusion plasma physics ", Wiley-VCH, Verlag Gmbh and Co. Kгаа, Weinheim, Chap. 1, 2005.**
- 10- Richard Fitzpatrick, " Introduction to plasma physics ", The institute for fusion studies, The University of Texas at Austin, Chap. 1, 1998.**
- 11- Friedrich Paschen, Wied. Ann., 37,69, 1889**
- 12- F.Llewellyn-Jonec, "Ionization and Breakdown in gases" by Fletcher and son LTD, Norwich,(1956).**