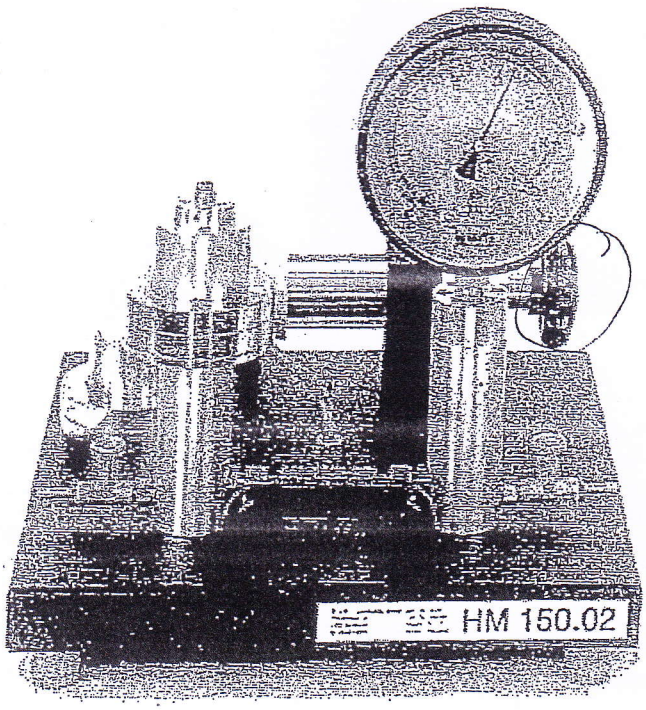
تجربة رقم
(1)

مقياس بوردون
Bourdon Gauge



تجربة رقم (1)

مقياس بوردون
Bourdon Gauge

✓ تعاريف أولية

الضغط:

يُعرّف الضغط عند أي نقطة هو القوة المؤثرة على وحدة المساحة لسطح ما. ويُعبّر عنه رياضياً بالمعادلة:

$$P = F/A$$

حيث أن: P = الضغط ، F = القوة العمودية المؤثرة ، A = المساحة

الضغط الجوي:

هو وزن عمود الهواء المؤثر على وحدة المساحة ويمتد رأسياً من سطح الأرض إلى نهاية الغلاف الجوي. أو هو وزن عمود من الهواء مساحة مقطعه وحدة المساحة مضروباً في ارتفاع يعادل سمك الغلاف الجوي.

وحدات قياس الضغط:

حسب تعريف الضغط فإن وحدة قياسه = وحدة قياس القوة/ وحدة قياس المساحة = (N/m^2)

هناك عدة وحدات لقياس الضغط منها :

$Pa = N/m^2$

$Bar = 101325\ Pa \cong 100\ kN/m^2$

إن القيمة القياسية (المعيارية) للضغط الجوي عند مستوى سطح البحر هي:

$$1\ atm = 1\ bar = 29.92\ inches\ or\ 76\ cm\ of\ mercury$$
$$= 10.34\ m\ of\ water$$
$$= 101325\ pascals\ (Pa)$$

بصفة عامة فإن الضغط الجوي يتناقص مع الارتفاع، كما أن الضغط الجوي يتغير على سطح الأرض من مكان إلى آخر. يبلغ وزن متر مربع من عمود الهواء عند سطح البحر وارتفاعه سُمك الغلاف الجوي (10) طن تقريباً.

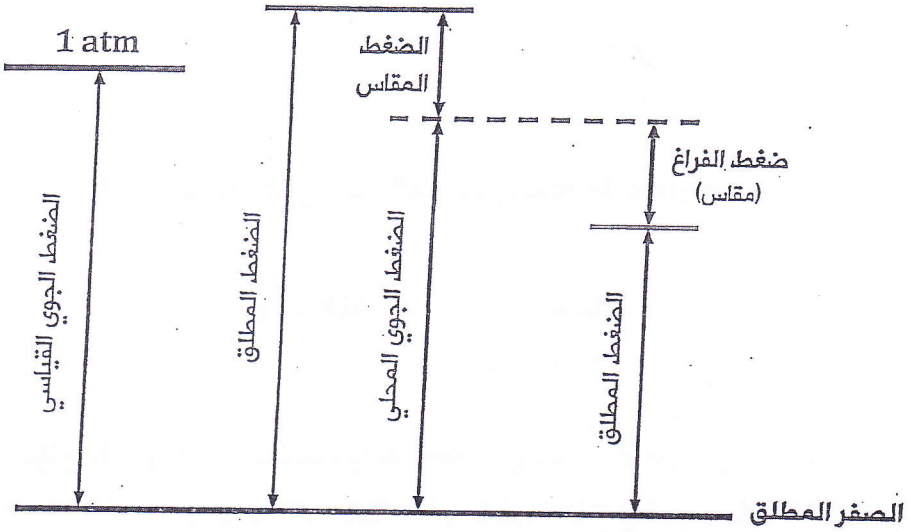
الضغط المطلق وضغط المقياس:

يسمى الضغط عند موقع معطى بالضغط المطلق (Absolute Pressure) ويقاس نسبة إلى ضغط التفريغ المطلق (Absolute Vacuum) حيث عندها يكون الضغط المطلق مساوياً للصفر. معظم أجهزة قياس الضغط تقيس فرق الضغط، حيث أنها تعتبر نقطة الصفر هي الضغط الجوي، ولذلك فهي تقيس الفرق بين الضغط المطلق والضغط الجوي المحلي، وهذا الفرق يدعى ضغط المقياس.

يسمى الضغط الأقل من الضغط الجوي ضغط التفريغ ويقاس بأجهزة قياس التفريغ، والتي تقيس الفرق بين الضغط الجوي والضغط المطلق. وعليه فإن:

$$P_{abs} = P_{gauge} + P_{atm}$$

حيث أن: P_{abs} = الضغط المطلق ، P_{gauge} = ضغط المقياس ، P_{atm} = الضغط الجوي الموقعي



توجد عدة أنواع من مقاييس الضغط، بعضها يُستخدم لقياس الضغط الجوي، والآخر يقيس ضغط الموائع نسبة إلى الضغط الجوي الموقعي ويُسمى ضغط المقياس (Pressure gauge).

أحد تلك الأجهزة المستخدمة لقياس ضغط الموائع هو مقياس بوردون الذي ابتكره العالم الفرنسي بوردون Eugéne Bourdon عام 1847 وعُرف باسمه. يُعد مقياس بوردون من المقاييس المستخدمة على نطاق واسع في الأغراض العملية والتطبيقات الهندسية، وسيتم تناول هذا المقياس في هذه التجربة.

✓ مقياس بوردون Bourdon Gauge

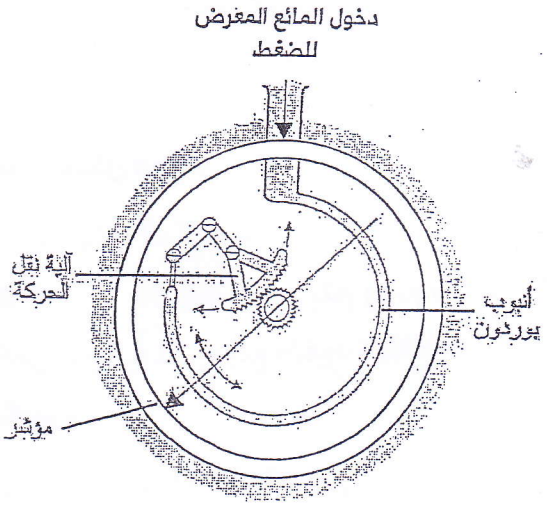
هو مقياس ميكانيكي يستخدم لقياس ضغط الغازات المحصورة في حيز معين أو السوائل المارة خلال الأنابيب، حيث يقيس الفرق بين الضغط المطلق والضغط الجوي:

$$P_{gauge} = P_{abs} - P_{atm}$$

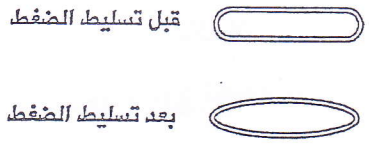
مقياس بوردون [شكل رقم 1] عبارة عن أنبوب معدني (نحاسي) مرن رقيق الجدران مجوف ذي مقطع مسطح (Flat tube cross section)، محنى بشكل دائري (قوس بزاوية 270° تقريباً). مثبت من إحدى نهايتيه، أما النهاية الثانية فتكون مغلقة وطليقة ومرتبطة مع مجموعة من الأذرع والتروس لتكبير الحركة وتحويلها إلى مؤشر يتحرك بصورة دائرية أمام قرص مدرّج.

تعتمد فكرة المقياس على دخول المائع نتيجة تسليط ضغط عليه إلى الأنبوب المرن. مسبباً تحول مقطعه إلى شكل شبه دائري [شكل رقم 2] كون محصلة القوى العمودية ستكون أكبر من محصلة القوى الأفقية،

ونتيجة لذلك يتغير انحناء الأنبوب مسبباً حركة نهايته الطليقة بعيداً إلى الخارج مما يزيد من نصف قطر انحنائه، وإذا انخفض الضغط صغر نصف قطر انحناء الأنبوب. ونتيجة لذلك تنتقل الحركة إلى المؤشر الذي سيتحرك على القرص المدرج دالاً على مقدار الضغط المسلط على المائع. ويُدرّج المقياس ويُعاير بحيث يُقرأ عليه الضغط بالوحدات المرغوبة. يُشار إلى أنه بالاختيار المناسب لسمك جدار أنبوب بوردون يمكن الحصول على مقاييس للضغوط العالية جداً والمتوسطة والمنخفضة.

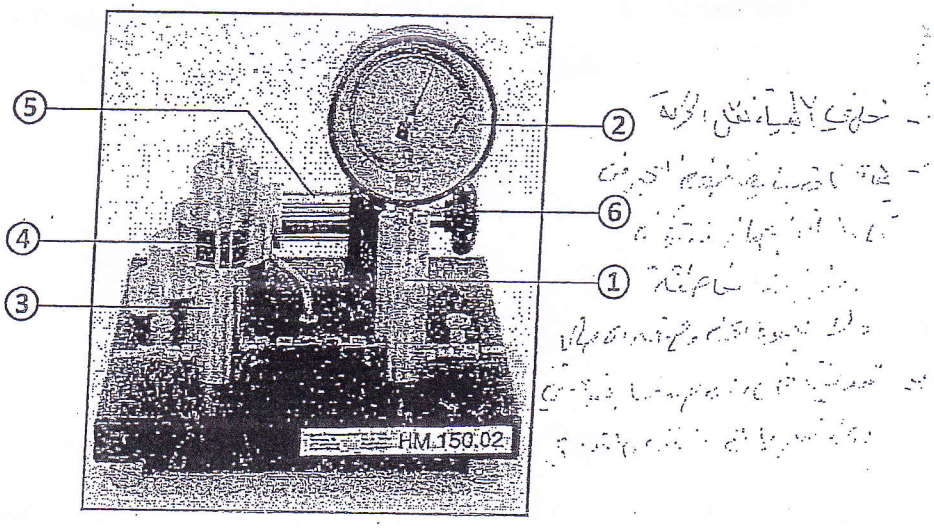


شكل (1) أنبوب بوردون



شكل (2) تغير شكل مقطع أنبوب بوردون نتيجة الضغط

يتكون الجهاز المستخدم في هذه التجربة [شكل رقم 3] من اسطوانة دائرية المقطع [1] مثبت في أعلاها مقياس بوردون [2]، تتصل عبر أنبوب باسطوانة مجاورة [3] يتحرك بداخلها مكبس بشكل شاقولي، يحوي المكبس في أعلاه على كفة لوضع الأوزان [4]. يرتبط الأنبوب الواصل بين الاسطوانتين باسطوانة أخرى موضوعة بشكل أفقي تدعى اسطوانة التعويض [5] (Compensation Cylinder) يتحرك بداخلها مكبس بواسطة مسنّن يدوّر يدوياً [6].



شكل (3) جهاز مقياس بوردون

✓ معايرة مقياس بوردون

نتيجة لكثرة استخدام المقياس تتعرض بعض أجزاءه للتلف، لذلك تتم معايرته بين الفترة والأخرى للتأكد من دقة قياسه، ومن ثم إيجاد الخطأ في المقياس وتصحيح قراءته. ويُعزى حصول الخطأ في المقياس إلى أحد الأسباب الآتية:

1. تآكل أو كسر أحد أسنان التروس أو حدوث خلل في آلية نقل الحركة.
2. ضعف مرونة معدن الأنبوب نتيجة الاستخدام مع الزمن، أو تعريضه لضغط أعلى من قابلية المقياس.
3. تحرك القرص المدرّج عن موضعه نتيجة صدمة أو سقوط.

✓ طريقة القياس والمعايرة

1. يُوضع الجهاز بصورة أفقية مستوية لضمان وضع الاسطوانة بشكل عمودي.
2. يتم ملأ المنظومة بالمائع (الزيت مثلاً) من خلال فتحة اسطوانة المكبس، بعد تدوير مكبس اسطوانة التعويض إلى الخارج تماماً، ولضمان عدم وجود فقاعات الهواء داخل المنظومة يتم وضع مكبس الأوزان بمفرده ويُعاد تدوير مكبس اسطوانة التعويض إلى الداخل تدريجياً حتى يرفع ضغط المائع مكبس الأوزان إلى الخارج، ويصل مستوى المائع إلى حافة اسطوانة المكبس.
3. يتم التأكد من موضع المؤشر عند نقطة الصفر (Zero Point) على القرص المدرج.
4. يُوضع المكبس (الذي يمثل أحد الأوزان) داخل الاسطوانة ويتم تدويره لضمان عدم التصاقه بجدار الاسطوانة الداخلي نتيجة الاحتكاك السكوني (Static Friction)، ثم تُسجل قراءة المقياس.
5. عند إضافة الثقل الأول بعد المكبس سيهبط المكبس تماماً داخل الاسطوانة، عندها نقوم بضغط المائع بواسطة مكبس اسطوانة التعويض بشكل يدوي حتى يرتفع مكبس الأوزان ويصبح حراً بتأثير ضغط المائع، ويتوقف تأثير تدوير مكبس اسطوانة التعويض تماماً، عندها يتم أخذ القراءة الثانية وهكذا بالنسبة لبقية الأوزان، مع تأكيد تدوير مكبس الأوزان تجنباً للاحتكاك قبل كل قراءة للمقياس.
6. تُرفع الأوزان تدريجياً وتُسجل قراءة المقياس بعد رفع كل وزن إلى أن تُرفع جميعها، مع التأكيد على تحريك المكبس دائرياً. والتأكيد على كون مستوى النظر أفقياً عند أخذ القراءة.

✓ الحسابات

1. حساب الضغط الحقيقي (P) [Actual Pressure]

يتم حساب الضغط الحقيقي المسلط من خلال المعادلة:

$$P = F/A$$

حيث أن:

P = الضغط الحقيقي (kN/m^2)

A = مساحة مقطع المكبس $(m^2) = \pi\, d^2/4$

d = قطر المكبس (m) = ~~0.012~~ 0.021 ~~0.012~~ 0.012

F = القوة الكلية المسلطة (kN) ، وتُحسب من المعادلة:

$$F = m.g$$

حيث: m = الكتلة الكلية (kg) ، g = التعجيل الأرضي = $(9.81\ m/s^2)$

مُرفق مع جهاز التجربة الحالي ستة (6) كتل بضمنها المكبس يبلغ مجموعها (2.89 kg) وحسب الجدول الآتي:

No. of mass	1	2	3	4	5	6
Mass (kg)	0.385	0.193	0.578	0.578	0.578	0.578
∑ Mass (kg)	0.385	0.578	1.156	1.734	2.312	2.890

2. حساب الخطأ في المقياس (E) [Error %]

يُحسب الخطأ في قراءة المقياس (E) من المعادلة:

$$E = P - P_g$$

حيث:

P = الضغط الحقيقي المحسوب نظرياً (kN/m^2)

P_g = الضغط من قراءة المقياس (kN/m^2)

أما النسبة المئوية للخطأ فيمكن حسابها كالآتي:

$$E\,(\%) = \frac{P - P_g}{P} \times 100$$

ملاحظة: يُحسب الخطأ في المقياس في حالتي إضافة ورفع الأوزان.

✓ القراءات والنتائج

يتم إدراج القراءات حسب الجدول أدناه:

جدول القراءات

Test No.	1	2	3	4	5	6	رقم القراءة
∑ Mass (kg)	0.385	0.578	1.156	1.734	2.312	2.890	مجموع الكتلة المسلطة (kg)
Increasing P_g (bar)							قراءة المقياس عند زيادة الضغط (bar)
Decreasing P_g (bar)							قراءة المقياس عند تقليل الضغط (bar)

أما النتائج فيتم إدراجها حسب الجدول الآتي:

جدول النتائج

رقم القراءة	الكتلة الكلية المسلطة m (kg)	الضغط الحقيقي P (kN/m^2)	حالة زيادة الضغط		حالة تقليل الضغط	
			قراءة المقياس P_g (kN/m^2)	الخطأ $E\%$	قراءة المقياس P_g (kN/m^2)	الخطأ $E\%$
1						
2						

✓ المخططات والمناقشة

- **المخططات**

- يُرسم منحني التصحيح (أو مخطط التشخيص لمقياس بوردون) المتمثل بالعلاقة بين الضغط الحقيقي (P) وقراءة المقياس (P_g)، لكلا حالتي إضافة ورفع الأوزان.
- تُرسم العلاقة بين الضغط الحقيقي (P) مع الخطأ في المقياس لكلا الحالتين.

1. بيّن نوع العلاقة لمخطط التشخيص، وهل يمر المخطط بنقطة الأصل ؟ وما الغرض منه ؟
2. ما هو تأثير وجود فقاعات هوائية داخل السائل (الزيت) على قراءة المقياس ؟
3. ما هو تأثير عدم تدوير المكبس على قراءة المقياس عند تسليط ضغط معين ؟
4. في حالة استعمال سائل آخر بدلاً من الزيت، هل سنحصل على نفس القراءات عند تسليط نفس الضغط ؟
5. هل بالإمكان استخدام مقياس بوردون لقياس ضغط الغازات في حالة الجريان ؟ ولماذا ؟
6. في حالة استخدام مقياس بوردون في مكانين الأول مرتفع جداً والآخر منخفض جداً عن مستوى سطح البحر، هل ستتغير قراءة المقياس ؟ ولماذ ؟
7. هل تزداد أو تقلّ نسبة الخطأ في المقياس عند زيادة الضغط ؟ ولماذا ؟
8. لو كان المقياس المراد معايرته يقيس الضغط إلى ($3500\ kN/m^2$) ولدينا نفس الأثقال، كم سيكون قطر اسطوانة المعايرة (أو قطر المكبس) ؟