[٧] الباب السابع :

قانون بويل للغازات ، المضخات

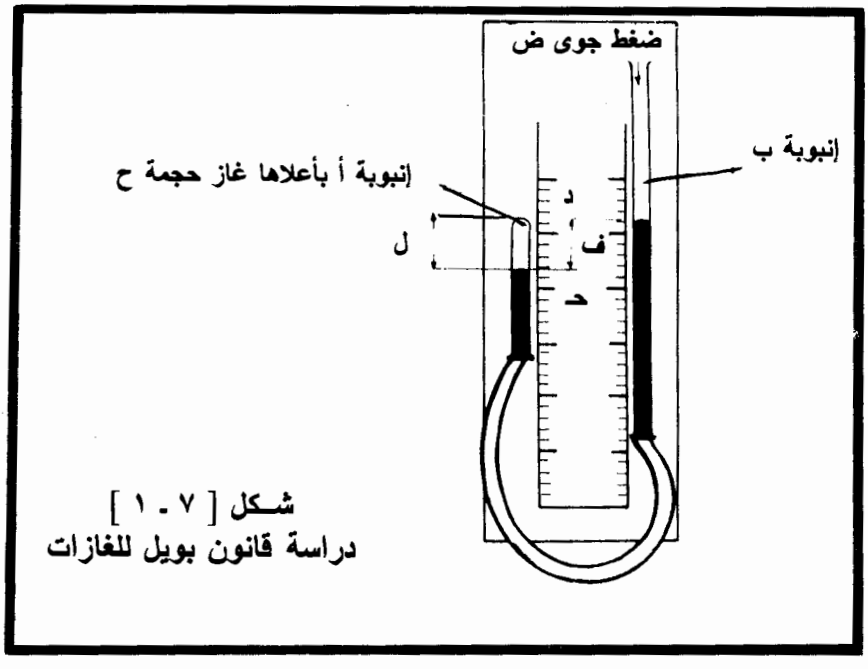
Boyle's Law , Pumps

[٧ ـ ١] عـــام :

قام العالم روبرت بويل Robert Boyle فى حوالى عام ١٦٦٠ بإجراء بعض التجارب ومنها توصل إلى أن حجم الغاز يتناسب مع ضغطة عند ثبوت درجة الحرارة ،

فإذا قمنا بإقلال حجم غاز ما عند نفس درجة الحرارة فإن هذا يعنى زيادة ضغطة .

ويوضح شكل (٧ ـ ١) جهاز معملى بسيط يعمل بالهواء « كغاز » .



شـكل [٧ ـ ١]
دراسة قانون بويل للغازات

وهو يتكون من أنبوبة زجاجية منتظمة المقطع بها غاز « جاف » ، متصلة بخزان زئبق بواسطة أنبوبة .

ويتم إجراء التجربة كما يلى :

[٧ ـ ٢] تجـــربـة :

لاحظ طول عمود الهواء « ل » فى الأنبوبة (أ) على المقياس المدرج بجانبها وهو أحد مكونات الجهاز .

وتعتبر « ل » مقياس لحجم الهواء « ح » وذلك لأن الأنبوبة (أ) لها مساحة مقطع منتظمة .

ثم **لاحظ** الإختلاف فى مستوى الزئبق فى الأنبوبتين (ف) فيما بين المستويين (جـ ، د) .

ثم سجل مقدار الضغط الجوى (ض) باستخدام بارومتر فورتين Fortin barometer أو بأى جهاز آخر لقياس الضغط الجوى .

وبذلك فإن مقدار ضغط الغاز (الهواء) فى الأنبوبة (أ) وليكن ض$_{١}$

ض$_{١}$ = (ض + ف) مم زئبق .

ثم نقوم برفع الضغط المعرض له الهواء فى الأنبوبة (أ) وذلك برفع الأنبوبة الثانية ذات النهاية المفتوحة لأعلى .

ثم لاحظ الفرق فى مستوى الزئبق فى الأنبوبتين (ف$_{١}$) والقراءة الجديدة لارتفاع عمود الهواء (ل$_{١}$) والتى تعتبر كمقياس لحجم الغاز (ح$_{١}$) .

كرر التجربة لتسجيل عدة قراءات لكل من الضغط والحجم وذلك بأخذ ثلاث قراءات مثلاً ، عندما تكون (د) فوق (جـ) .

[أى أن الضغط يكون أكبر من الضغط الجوى]

وبأخذ ثلاث قراءات أخرى عندما تكون (د) أسفل (جـ) .

[أى أن الضغط يكون أقل من الضغط الجوى] .

القياسات :

الضغط الجوى = ... مم زئبق ، انظر جدول (٧ – ١) .

الضغط مم زئبق	ل مم (تتناسب مع ح)	$\frac{1}{ل}$ (تتناسب مع $\frac{1}{ح}$)
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

جدول [٧ – ١]

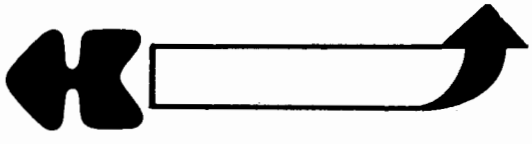
(أ) ثم قمْ برسم المنحنى البيانى للعلاقة بين الضغط (ض) ، الحجم (ح) .

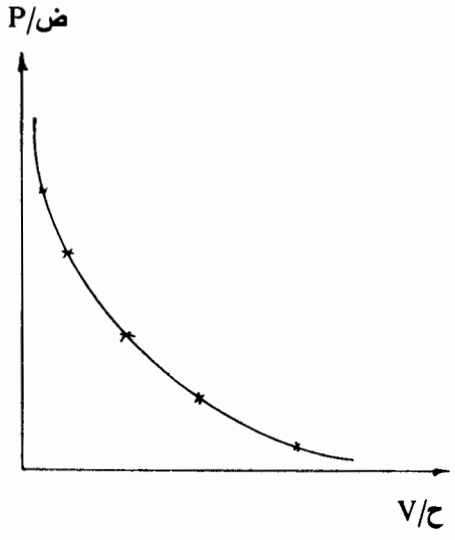
(ب) أوجد قيمة $\frac{1}{ح}$ (مقلوب ح) ثم سجل القراءات فى الجدول المبين (٧ – ١) ثم ارسم العلاقة فيما بين (ض) ، ($\frac{1}{ح}$) .

النتائج :

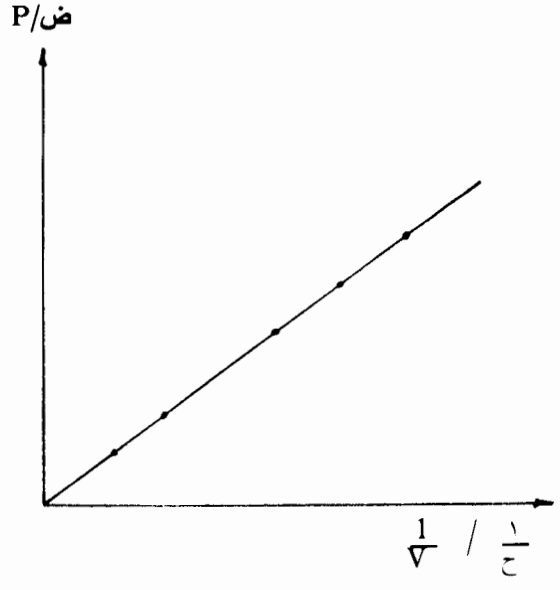
(أ) العلاقة فيما بين ض ، ح عبارة عن منحنى يقترب عند نهايتيه من محورى كل من الضغط والحجم .

(ب) العلاقة بين ض ، $\frac{1}{ح}$ عبارة من خط مستقيم يمر بنقطة الأصل انظر الرسم شكلى (٧ — ٢) ، (٧ – ٣) .





شـكل [٧ ـ ٢]
العلاقة بين ضغط الغاز وحجمة



شـكل [٧ ـ ٣]
العلاقة بين ضغط الغاز ومقلوب الحجم

الاستنتـــاج :

من شكل (٧ ـ ٣) ، نجد أن الضغط ض يتناسب مع $\frac{1}{ح}$ أى أن الضغط يتناسب عكسياً مع الحجم بمعنى أن زيادة الضغط تؤدى إلى نقص الحجم وزيادة الحجم تعنى نقص الضغط (عند ثبوت درجة الحرارة) .

وهذا يعنى بصورة أخرى أن حاصل ضرب ض × ح = مقدار ثابت .

وينص قانون بويل على الآتى :

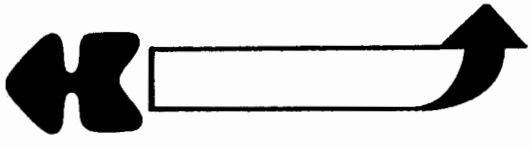
إذا كان لدينا كتلة ما من غاز عند درجة حرارة ثابتة . وكان حجمها = ح وضغطها = ض

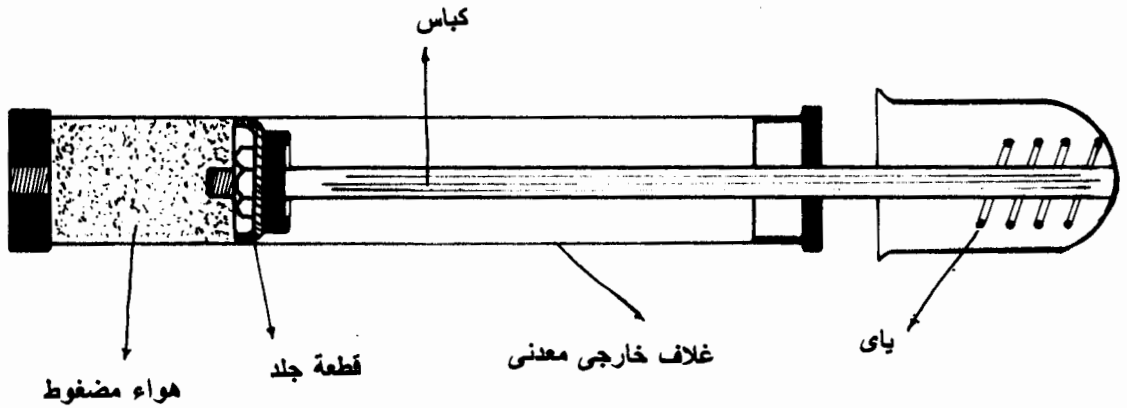
فإن حاصل ضرب ض × ح = مقدار ثابت .

[٧ ـ ٣] المضخـــات Pumps :

يتم عمل المضخات الهوائية بحيث تقوم بضخ الهواء أو ضغطة فى حيز معين أو لكى تقوم بإخراج الهواء (خلخلة) من حيز معين .

ويُعتبر منفاخ إطارات الدراجة مثال بسيط لمضخة ضغط هواء وهى عبارة عن برميل معدنى بداخله كباس صغير يُركب على نهايته قطعة من الجلد كرأس متحرك منزلق للكباس ، انظر الرسم شكل (٧ ـ ٤) .





شـكل [٧ ـ ٤]
مضخة يدوية بسيطة لإطار الدراجة

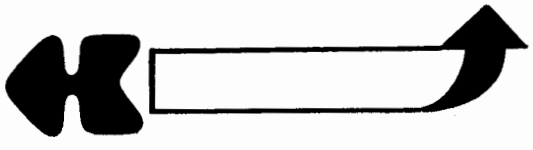
ويتم توصيل المنفاخ بإطار الدراجة الذى يحتوى على صمام مطاطى .

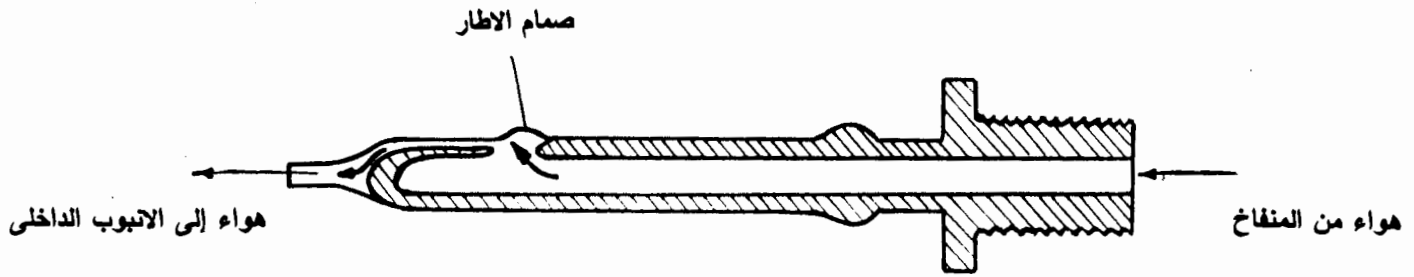
فعند سحب يد المنفاخ للخارج فإن ضغط الهواء أمام المكبس ينخفض ويقل عن الضغط الجوى [بسبب زيادة الحجم يقل الضغط] .

ثم ينساب الهواء الجوى من الخارج عبر قطعة الجلد على رأس الكباس ، إلى الحيز الموجود أمام الكباس وفى نفس الوقت فإن صمام العجلة يبقى مغلقاً .

وعند دفع المكبس للأمام فإن الهواء أمام المكبس ينضغط ويعمل على دفع قطعة الجلد بإحكام على جوانب الأسطوانة التى يتحرك فيها البرميل مما يمنع دخول هواء من الخارج .

ويتغلب ضغط الهواء بالمنفاخ على قوة صمام الإطار حيث يفتحه انظر الرسم شكل (٧ ـ ٥) ، وهو يوضح صمام الإطار للدراجة .





شـكل [٧ ـ ٥]
صمام إطار الدراجة

وبهذه الطريقة فإن هنالك مع كل حركة لمكبس المضخة ، هواء جديد يدخل للإطار مما يزيد الضغط بداخله للحد الملائم للسير بها بصورة صحيحة .

ومن شكل (٧ ـ ٥) يتضح كيف أن الصمام يسمح بدخول الهواء ولا يسمح بخروجه فكلما دخل هواء أكثر للإطار ، يزداد ضغطه وتُصبح عملية دفع هواء جديد أكثر صعوبة ولا يفتح هذا الصمام إلا إذا كان ضغط الهواء أمام مكبس المضخة أكبر من ضغطة داخل الإطار .

[٧ ـ ٤] أمثلة على قانون بويل للغازات :

[١] فسر لماذا يزداد حجم فقاعة هوائية عند ارتفاعها من قاع بركة أو بحيرة ؟

وإذا فرضنا أن حجمها عند سطح الماء فى البحيرة ضعف حجمها عند القاع فاحسب عمق هذه البحيرة (اعتبر ثبات درجة حرارة مياه البحيرة) واعتبر أن الضغط عند مستوى سطح البحيرة = ٥١٠ نيوتن/متر^{٢} وأن كثافة الماء = ١٠٠٠ كجم/م^{٣} .

الحـــل : عند قاع البحيرة يكون الضغط عبارة عن الضغط الجوى مضافاً إليه الضغط الناشىء من وزن عمود الماء الذى هو عبارة عن عمق البحيرة .

فى حين أن الضغط عند سطح البحيرة عبارة عن الضغط الجوى فقط وبذلك فهو يقل عن الضغط بأسفل البحيرة .

وبذلك فإنه كلما ارتفعت الفقاعة كلما قل الضغط الواقع عليها ومن قانون بويل للغازات فإنه كلما قل الضغط زاد الحجم .

وحيث أن حجم الفقاعة فى القاع يبلغ نصف حجمها عند السطح ، فإنه وطبقاً لقانون بويل للغازات فإن الضغط عند قاع البحيرة يعادل ضعف الضغط عند السطح (١ جوى) .

∴ الضغط عند قاع البحيرة والناشىء من ارتفاع مقداره ف = ١ ضغط جوى .

∴ ف × ث × جـ = ١٠ × ٥ نيوتن/م٢ .

وباعتبار أن جـ = ١٠ م/ث٢ ، ث = ١٠٠٠ كجم/م٣ .

∴ ف × ١٠٠٠ × ١٠ = ١٠ × ٥ .

∴ ف = ١٠ متر وهو عمق البحيرة .

[٢] اسطوانة حجمها ٥٠ لتراً تحتوى على غاز الأوكسجين تحت ضغط ١٥ جوى فإذا فتحنا منظم هذه الأنبوبة فإننا نحصل على حوالى ٧٥ لتر أوكسجين تحت الضغط الجوى فإذا كانت درجة حرارة الغاز ثابتة فاحسب :

(أ) حجم الأوكسجين الذى خرج من الأنبوبة تحت ضغط ١٥ جوى .

(ب) ضغط الغاز المتبقى فى الأسطوانة .

الحـــل :

(أ) من قانون بويل فإن الضغط × الحجم = مقدار ثابت .

∴ ٧٥ لتر عند ١ جوى لها حجم قدره ح عند ١٥ جوى .

∴ ١٥ × ح = ٧٥ × ١

$$\therefore \text{ح} = \frac{٧٥}{١٥} = ٥ \text{ لتر}$$

(ب) حجم الغاز الذى خرج من الأسطوانة = ٥٠ ـ ٥ = « ٤٥ » لتراً عند ضغط ١٥ جوى .

وحيث أن الكمية المتبقية تملأ حيزاً قدره = ٥٠ لتراً .

لذلك يقل الضغط ويصبح مقداره ، من قانون بويل :

ض × ٥٠ = ١٥ × ٤٥

$$\therefore \text{ض} = \frac{١٥ \times ٤٥}{٥٠} = ١٣,٥ \text{ جوى}$$

خلاصـــة :

ينص قانون بويل للغازات على أنه لكتلة ثابتة من الغاز وعند درجة حرارة ثابتة فإن حجمها يتناسب عكسياً مع ضغطها أو حجمها × ضغطها = مقدار ثابت .

[٧ ـ ٥] تدريبات متنوعة Exercises :

[اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية = ١٠ متر/ث^{٢} = ١٠ نيوتن/كجم]

[١] (أ) صندوق على شكل متوازى مستطيلات يزن ١٠٠ نيوتن ، يستقر على أحد أوجهه ، الذى مساحته ٤ م^{٢} ، احسب الضغط الناشىء من الصندوق على المستوى الذى يستقر عليه .

(ب) إذا وضعنا وزناً قدره [و] على قمة هذا الصندوق ، فازداد الضغط إلى ٤٠ نيوتن/م^{٢} فاحسب الوزن [و] .

(ج) اسطوانة تحتوى على غاز الأوكسجين الذى حجمه ح عن ضغط ٣ كجم/سم^{٢} ، فإذا كان هذا الغاز حجمه = ٣٠ لتر عند ضغط جوى واحد عند ثبوت درجة الحرارة فما مقدار ح .

(د) احسب مقدار الضغط بالنيوتن/متر^{٢} عند قاع بحيرة عمقها ١٠ متر والناشيء من وزن عمود الماء فوقها ـــ اعتبر كثافة الماء ١٠٠٠ كجم/م^{٣} .

[الأجوبة :

(أ) = ٢٥ نيوتن/م^{٢} ، (ب) = ٣٠ نيوتن .

(ج) = ١٠ لتر ، (د) = ١٠٠ ٠٠٠ نيوتن/م^{٢}] .

[٢] احسب مقدار الإنخفاض فى ارتفاع عمود الزئبق فى بارومتر ، إذا صعدنا بهذا البارومتر لارتفاع مقداره ١ كيلومتر .

[اعتبر كثافة الزئبق = ١٣٠٠٠ كجم/م^{٣} وكثافة الهواء = ١,٣ كجم/م^{٣}]

[الإجابة ١٠ سم]

[٣] مجسم صلب على شكل متوازى مستطيلات أبعاده ٤ × ١٠ × ٢٠ سم وكثافة مادته ٨٠٠٠ كجم/م^{٣} ، فإذا استقر على

سطح مستوى أفقى فاحسب أقل وأكبر ضغط يمكن أن ينشأ من وضع هنا الجسم على المستوى بالنيوتن/م^{2} .

[الإجابة ٣٢٠٠ نيوتن/م^{2} ، ١٦٠٠٠ نيوتن/م^{2}] .

[٤] (أ) ما هى الموانع التى تحول دون استخدام الماء فى البارومتر .

(ب) إذا كانت قراءة بارومتر زئبقى عند سفح جبل = ٧٥,٥٨سم زئبق فى حين أنها تبلغ ٦٦,٣٧ سم زئبق عند قمة الجبل .

فاحسب إرتفاع الجبل ، اعتبر أن

كثافة الزئبق = ١٣٦٠٠ كجم/م^{3} ، متوسط كثافة الهواء = ١,٢٥ كجم/م^{3}] .

[الإجابة : ١٠٠٠ متر] .

[٥] فى المكبس الهيدروليكى ، احسب الضغط المنقول إذا أثرنا بقوة مقدارها = ١٠ ٠٠٠ نيوتن على مكبس قطره ١ متر مع إهمال قيمة الفقد فى الاحتكاك .

[الإجابة : ١٢٧٤٠ نيوتن/م^{2}]

[٦] أنبوبة رأسية منتظمة المقطع ، طولها ٤٠ سم ، عُزلت من نهايتها العلوية ووضعت فى حوض به زئبق إلى أن أصبح طول عمود الهواء المحبوس ٣٥ سم ، فأوجد عمق الجزء المغمور من الأنبوبة إذا كان الضغط الجوى = ٧٧ سم زئبق .

[الإجابة : ١٦ سم]

[٧] إذا كان لدينا ١ سم^{3} من الهواء تحت الضغط الجوى الذى يبلغ ٧٦ سم زئبق تم إدخاله فى بارومتر بسيط ، فانخفض مستوى الزئبق فى الأنبوبة بمقدار ١٢ سم فاحسب :

(أ) الضغط الناشيء من الهواء فى الأنبوبة .

(ب) حجم الفراغ فوق الزئبق المشغول بالهواء .

[الإجابة : ١٢ سم زئبق، ٦,٣ سم^{٣}]

[٨] أنبوبة منتظمة المقطع طولها ٩٦ سم ، عُزلت من إحدى نهايتيها ووضعت من جهة ناحيتها المفتوحة فى زئبق إلى أن أصبح طول عمود الهواء المحبوس = ٨٤ سم .

فأوجد مقدار طول الجزء المغمور من الأنبوبة فى الزئبق علماً بأن الضغط الجوى وقت إجراء التجربة = ٧٧ سم زئبق .

[الجواب : ٢٣ سم]

[٩] فى مجموعة مكبس هيدروليكى كان قطر الكباس الصغير = ٥ سم فى حين أن قطر المكبس الكبير = ٣٠ سم ، فاحسب .

(أ) الدفع على المكبس الكبير والناشيء من التأثير على الكباس الصغير بقوة قدرها ٢٥٠ نيوتن .

(ب) المسافة التى يتحركها المكبس الكبير ، إذا تحرك المكبس الصغير ٦٠ سم .

[الإجابة (أ) = ٩٠٠٠ نيوتن ، (ب) = $١\frac{٢}{٣}$ سم]

[١٠] بارومتر زئبقى أنبوبته منتظمة المقطع وطولها ٨٥٠ مم فوق مستوى سطح الزئبق فى الخزان ، فإذا كانت قراءة البارومتر = ٧٥٠ مم زئبق عندما كان الضغط الجوى = ٧٦٠ مم زئبق .

فكم يبلغ مقدار الضغط الجوى إذا أصبحت قراءته = ٧٣٠ مم زئبق .

[٧٣٨ مم زئبق]