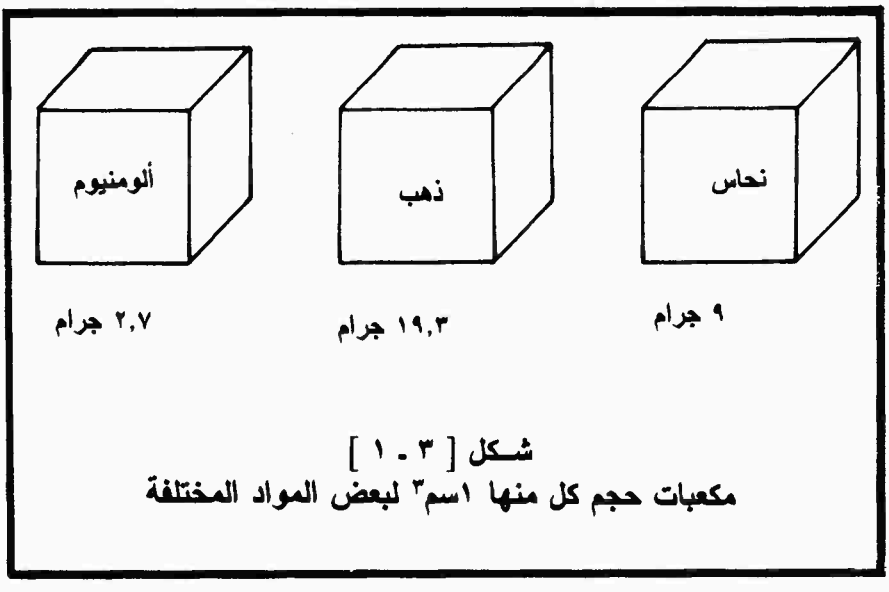
[٣] الباب الثالث

الكثافة Density

[٣ ـ ١] عـــام :

لو أخذنا مجموعة من المكعبات المتساوية الحجم لبعض المواد المختلفة مثل الذهب والنحاس والألومنيوم ، والرصاص والزجاج وخلافة ، وحاولنا رفع كل منها فإنه يمكننا بسهولة ملاحظة أن مكعب الرصاص أثقل بكثير من مكعب الألومنيوم مثلا فى حين أن الألومنيوم أثقل من الخشب .

وبذلك فإن وزن أو كتلة كل مادة من هذه المواد تختلف عن بعضها البعض فى حالة تساوى أحجام كل منها ، أنظر شكل (٣ ــ ١) .



شـكل [٣ ـ ١]
مكعبات حجم كل منها ١سم^{٣} لبعض المواد المختلفة

وتُعرّف الكثافة بأنها كتلة وحدة الحجوم من المادة وعلى هذا فإن مكعب من الرصاص كتلته ١١٥ جم وحجمه يعادل ١٠ سم^{٣} ، تكون كثافته ١١٥ جم/ ١٠ سم^{٣} أو ما يعادل ١١,٥ جم/ سم^{٣} .

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

ووحدات الكثافة هى الكجم/م^{٣} أو الجرام/سم^{٣} .

فمثلاً ، كتلة واحد لتر مياه (١٠٠٠ سم^{٣}) عند ٤°م هى ١٠٠٠ جرام .

وبذلك فإن كثافة الماء = $\frac{١٠٠٠}{١٠٠٠}$ = ١ جم/سم^{٣} أو ١٠٠٠ كجم/متر^{٣}

وعليه فإن كميه من المياه ذات كتله تعادل ١٧٥ جم لها حجم يعادل ١٧٥ سم^{٣} كذلك ، وبالمثل فإن أى كمية من المياه لها كتلة تعادل ١٣٠٠ كجم يكون حجمها = ١,٣ متر^{٣} .

[٣ ـ ٢] قياس الكثافة

إذا أردنا قياس كثافة مادة لها شكل منتظم مثل كرة أو متوازى سطوح أو مكعب أ ، ..... الخ .

فإن هذا يتم بقياس كتلة هذه المادة أولا بميزان دقيق ثم نقيس أبعاد هذا الشكل المنتظم الذى تأخذه المادة ونحسب حجمها بمبادىء الحساب .

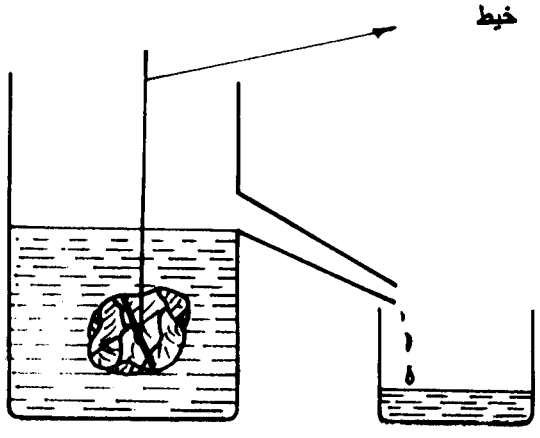
$$\text{ومن ثم فإن : الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

بينما إذا رغبنا فى قياس كثافة مادة ما تأخذ شكلا غير مُنتظم فإنه يجرى الآتى :

(١) نقيس كتلة هذه المادة بميزان دقيق .

(٢) نقيس حجم المادة « الغير منتظم » بغمرها فى مخبار أو كأس مدرج ملىء بالماء ويكون الحجم هو مقدار التغير فى حجم الماء بالمخبار أو الكأس المدرج .

(٣) إذا كان حجم المادة المراد قياس كثافتها ، كبيرا فإنه يمكن قياس حجمها بقياس حجم الماء المزاح (الزائد) كما بالشكل (٣ ــ ٢) .



شـكل [٣ ـ ٢]
قياس حجم مادة ، كبيرا ، بواسطة مخباران مدرجان لتحديد كثافته

[٣ ـ ٣] الكثافة النسبية *Specific gravity—Relative density*

لما كان الماء من أهم السوائل وأكثرها إنتشارا وشيوعا وتوفرا لذلك فإنه يفضل إستخدامه حين تقارن كتلة مادة ما بكتلة مياه لها نفس حجم المادة . ويعرف هذا بالكثافة النسبية . وعلى ماتقدم فإن :

$$\text{الكثافة النسبية} = \frac{\text{كتلة المادة}}{\text{كتلة حجم مساوٍ لها من الماء}}$$

فإذا اعتبرنا كتلة وحدة الحجم لكل من المادة والماء فإن :

$$\text{الكثافة النسبية} = \frac{\text{كثافة المادة}}{\text{كثافة الماء}}$$

ويلاحظ أن الكثافة النسبية ليس لها وحدات فى حين أن الكثافة ذاتها لها وحدات .

فمثلا الكثافة النسبية للذهب = ١٩,٣ حيث أن ١ سم^{٣} من الذهب أثقل بمقدار ١٩,٣ مرة من ١ سم^{٣} من الماء الذى وزنه ١ جم ، وعلى ذلك فكثافة الذهب ١٩,٣ جم/ سم^{٣} .

ويلاحظ أن الكثافة النسبية لمادة ما تساوى عدديا كثافتها ولا ينطبق هذا القول عندما تكون وحدات الكثافة بالكجم/ متر^{٣} لأن كثافة الماء تعادل ١٠٠٠ كجم/ م^{٣} .

[٣ ـ ٤] السـوائل Liquids

إذا كان لدينا كمية من سائل كالماء مثلا فإنه يمكننا أن نصبها فى وعاء ما لتأخذ شكل الوعاء وإذا وضعناها فى وعاء آخر بشكل آخر فإنها تأخذ شكل الوعاء الآخر ، وذلك بعكس المواد الصلبة فهى ذات شكل محدد .

فالسوائل يكون لها حجم محدد ولكن ليس لها شكل أو صورة هندسيه محددة .

ويلاحظ كذلك أنه إذا كان لدينا جسماً وليكن قلما أو إصبع طباشير مثلاً فإنه يمكنه التحرك بسهولة وحرية فى أى سائل وهذا ما لا يحدث فى الأجسام الصلبة .

فإذا ما حاولنا رفع وعاء صغير ملىء بالزيت وكتلة أخرى من معدن ما لها نفس حجم كمية الزيت فإننا سنجد سهولة رفع وعاء الزيت لانخفاض كثافته عن كثافة المعدن .

ويشذ عن هذا « إنخفاض كثافة السوائل عموما مقارنة بالمواد الصلبة » الزئبق فهو بالرغم من وجودة فى الحالة السائلة ، إلا أن كثافته أعلى بكثير من كثير

من المعادن بما فيها الصلب والنحاس ، حيث تبلغ كثافته ١٣,٦ جم/ سم^{٣} أو ١٣٦٠٠ كجم/ م^{٣} .

فى حين أن بعض السوائل مثل الزيوت مثلا لها كثافة تقل عن ١ جم/ سم^{٣} [أخف من الماء ولذلك تطفو الزيوت على سطح الماء]

فمثلا كثافة زيت الترابنتين turpentine oil = ٠,٨٧ جم/ سم^{٣}

، كثافة الكحول = ٠,٧٩ جم/ سم^{٣}

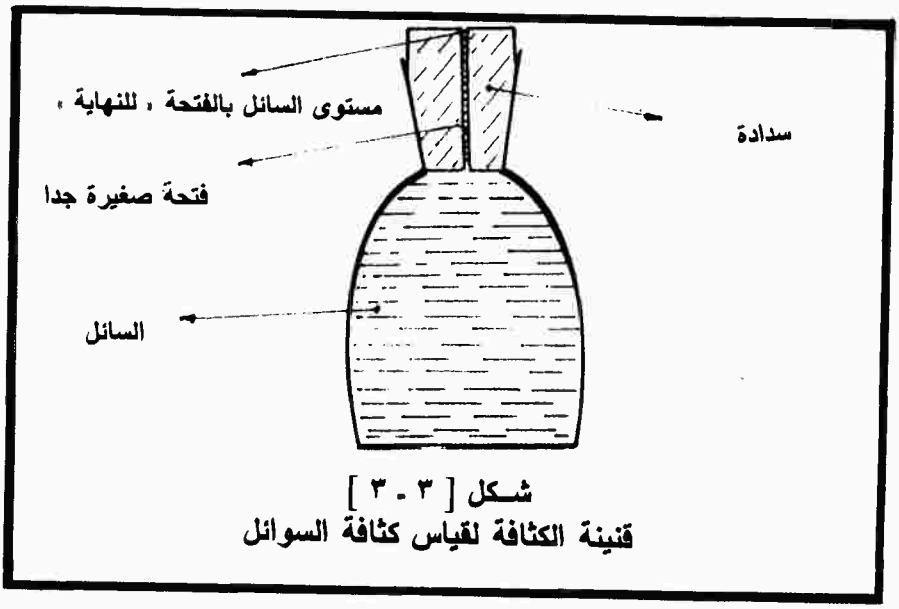
، كثافة البارافين = ٠,٧٩ جم/ سم^{٣}

وجميع هذه القيم عند درجة حرارة الغرفة (٢٥° م) فإذا ما قمنا بتسخين السائل فإن كتلته لن تتغير ، فى حين أن حجمة يزداد .

ولما كانت الكثافة = $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$ فإن الكثافة ستقل بارتفاع درجة الحرارة

[٣ ـ ٥] قياس الكثافة بواسطة قنينة الكثافة *density bottle*

صُممت هذه القنينة لقياس كثافة السوائل وهى عبارة عن قنينة تُسّد بسدادة محكمة بها ثقب صغير نافذ ، أنظر الرسم شكل (٣ ــ ٣) .



شـكل [٣ ـ ٣]
قنينة الكثافة لقياس كثافة السوائل

حيث تُملأ القنينة تماما بالسائل المراد قياس كثافته ثم تُسد بالسدادة المحكمة ، حيث يخرج السائل الزائد من خلال الفتحة الصغيرة الموجودة بالسدادة ، ثم نجفف آثار السائل الزائد بقطعة قماش .

وبذلك نضمن أن القنينة مليئة تماما بالسائل حتى حجمها المقرر .

تجربة :

(١) نُحضر قنينة كثافة جافة ونظيفة ؛ ثم نوزنها بالسدادة وليكن وزنها (ك١) .

(٢) إملأ القنينة بالماء تماما ثم نجفف الماء الزائد ثم نعيد وزنها وليكن وزنها (ك٢) .

(٣) أفرغ القنينة من الماء وجففها تماما من الداخل ثم نملأها بالسائل المراد قياس كثافته وليكن الكحول ونعيد الوزن وليكن (ك٣) .

كتلة الكحول = ك٣ − ك١

كتلة الماء = ك٢ − ك١

ولما كانت كتلة الماء الذى يملأ القنينة بالجرام تساوى عدديا حجم الماء بالسنتيمتر المكعب ، حيث أن ١ جم من الماء له حجم يعادل ١ سم٣ .

$$\therefore \text{كثافة السائل « الكحول »} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} = \frac{ك_٣ - ك_١}{ك_٢ - ك_١}$$

فإذا فرضنا أن كتلة الماء الذى يملأ القنينة = ١٠٠ جم فإن هذا يعنى أن حجم القنينة = ١٠٠ سم٣ .

فإذا ما كانت كتلة السائل (الكحول) الذى يملأ القنينه هى ٧٩ جم مثلا .

فتكون كثافة السائل (الكحول = $\frac{٧٩}{١٠٠}$ ٠,٧٩ جرام/سم٣ .

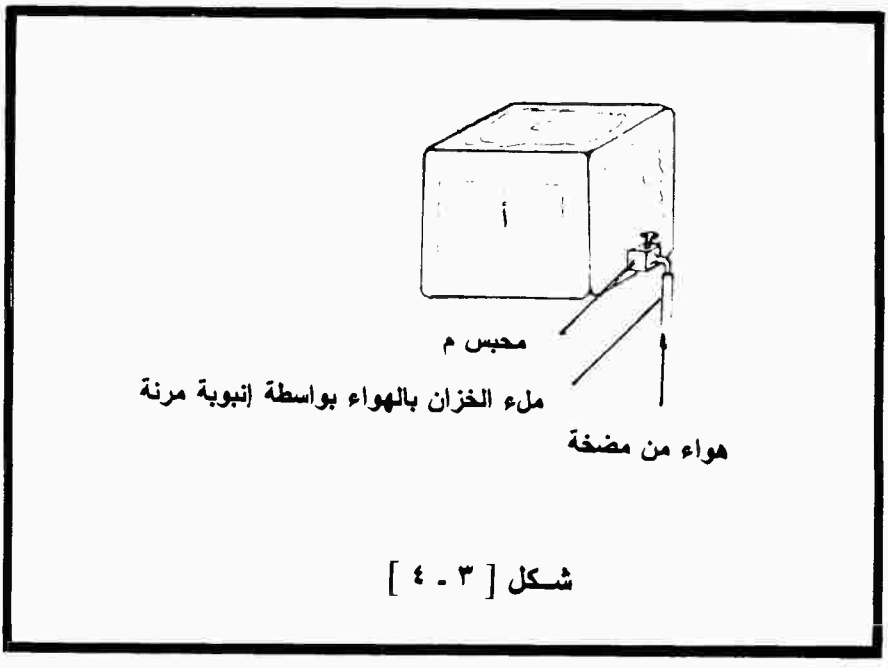
[٣ ـ ٦] كثافة الهواء *Air density*

لما كانت الغازات أخف كثيرا من السوائل والمواد الصلبة التى لها نفس الحجم فإنه من المنطقى أن تكون كثافتها أقل بكثير من كثافة السوائل والمواد الصلبة .

والهواء هو أكثر الغازات شيوعا وإنتشاراً ، ويمكننا قياس كثافة الهواء وذلك (بضخ أو دفع) كمية منه إلى داخل وعاء مناسب كما يتضح من التجربة التالية :

تجربة :

نحضر وعاءً من البلاستيك (أ) حجمه ٥٠ لتر (مثلا) مزود بمحبس (م) ومملوء بهواء وتحت تأثير الضغط الجوى ، ويتم ترك هذا المحبس مفتوحا لضمان وجود الهواء بداخل الخزان تحت تأثير الضغط الجوى ، أنظر شكل (٣ ــ ٤) ، ويتم وزن هذا الخزان بالمحبس ولتكن الكتلة ك١ .

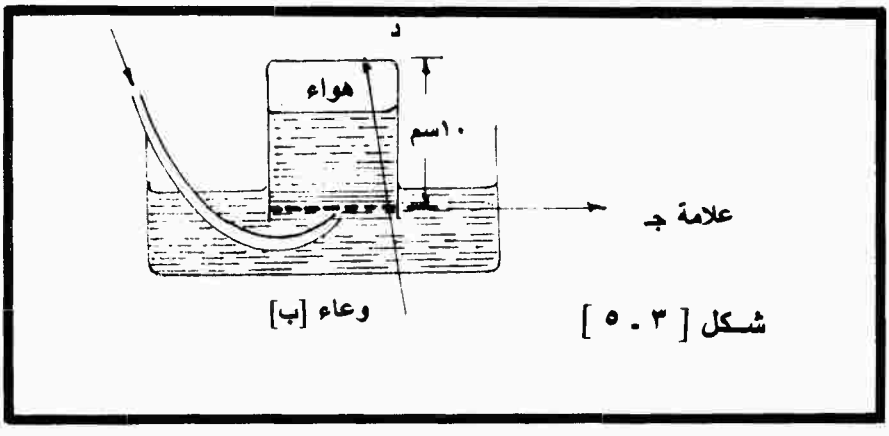


شـكل [٣ ـ ٤]

ثم نبدأ فى ضخ الهواء بالخزان بواسطة منفاخ دراجة يعمل باليد ، مع صمام ذو إتجاه واحد فى إنبوبة النفخ ، وذلك حتى تُصبح عملية ضغط الهواء بالخزان صعبة « زيادة ضغط الخزان » ، ثم نغلق المحبس « م » . ونعيد وزن الخزان بالمحبس فى هذه الحالة (ك٢) ولتكن زيادة الوزن بما يعادل (٧) جم وهى تعادل وزن الهواء المضغوط بداخل الخزان ، فإذا لم تكن الزيادة (٧) جم فيمكن أن نضخ كمية هواء إضافية .

٧ جم = ك٢ − ك١

وباستخدام الأنبوبه المرنة المتصلة بالمحبس « م » ، يتم إخراج الهواء من الخزان حيث يتم جمعه أو تخزينه فوق سطح الماء كما هو موضح بالشكل (٣ ــ ٥) .



شـكل [٣ ـ ٥]

ويكون الوعاء الذى يتم جمع الهواء به (ب) ، ذو أبعاد من الداخل بحيث أن مساحة مقطعه = ١٠٠ سم٢ ويكون منكسا لأسفل بحيث تكون نهايته المفتوحة تحت مستوى سطح الماء كما هو موضح بالشكل (٣ ــ ٥) ؛ ويتم وضع علامة (جـ) بحيث تكون على بعد = ١٠ سم من نهايته العلوية المغلقة (د) .

بحيث يكون الحجم بما يعادل ١٠٠٠ سم٣ (١٠٠ × ١٠) أو ١ لتر .

وعندما يكون الوعاء (ب) ، بحيث أن مستوى الماء يكون واحدا فى كل من داخل وخارج الوعاء ومنطبقا مع العلامة (جـ) فإن هذا يعنى وجود لتر واحد من الهواء تحت الضغط الجوى بداخل الوعاء (فوق سطح الماء) .

والآن ، نقوم باغلاق المحبس (م) فى الخزان الكبير (أ) ويعاد ملء الوعاء (ب) بالماء وتكرر العملية .

ويتم حساب كمية الهواء الكلية وهى عبارة عن عدة لترات وجزء من اللتر ، ويبقى بعد ذلك جزء من الهواء بالخزان (أ) ثم يعاد وزن الخزان (أ) وليكن الوزن الجديد ك٣ (أقل من ك٢) .

وتكون القيمة ك٢ – ك٣ = وزن الهواء المجموع والذى حجمه = عدة لترات وكسر من اللتر .

$$\therefore \text{ كثافة الهواء} = \frac{ك_٢ - ك_٣}{\text{الحجم}} \text{ جرام/لتر}$$

وبالحساب سيتضح لنا أن كثافة الهواء عند الظروف القياسيه من الضغط ودرجة الحرارة أى عند ضغط يعادل ٧٦٠ مم زئبق ودرجة حرارة صفر فإن الكثافة = ١,٣ جرام/ لتر

أ، ١,٣ كجم/ م٣ أ، ٠,٠٠١٣ جم/ سم٣ .

[٣ ـ ٧] كثافة الغازات *Density of Gases*

يتوقف كل من حجم وكثافة الغاز ، وبدرجة كبيرة جدا على كل من التغير فى درجة الحرارة والضغط المعرض له الغاز .

وفيما يلى بيان بكثافة بعض الغازات عند الظروف القياسية من الضغط (٧٦٠ مم زئبق) ودرجة الحرارة (صفر مئوية) .

الهيليوم	٠,٠٠٠١٨ جم/ سم٣ أ، ٠,١٨ كجم/ م٣
النيتروجين	٠,٠٠١٢٥ جم/ سم٣ أ، ١,٢٥ كجم/ م٣
الهيدروجين	٠,٠٠٠٠٩ جم/ سم٣ أ، ٠,٠٩ كجم/ م٣ .

وقد أدت عمليات القياس الدقيقة لكثافة الهواء إلى إكتشاف بعض الغازات النادرة فى الهواء الجوى .

مثل الأرجون argonالذى يستخدم فى ملء المصابيح الكهربية وكذلك كل من غازى النيون والهيليوم .

وفيما يلي جدول بكثافة بعض المواد :

المادة	الكثافة رطل/قدم^3	الكثافة جرام/سم^3	الكثافة كجم/م^3
ماء البحر	٦٤	١,٠٣	١٠٣٠
الزئبق	٨٥٠	١٣,٦	١٣٦٠٠
التراب (الأرض)	–	٥,٥	٥٥٠٠
الهواء	٠,٠٨	٠,٠٠١٣	١,٣
الهيدروجين	٠,٠٠٥٥	٠,٠٠٠٠٩	٠,٠٩
الماء	٦٢,٤	١	١٠٠٠
البترول	٤٤	٠,٧٠(٠,٤–٠,٨)	٧٠٠
الخشب	٣٠	٠,٥٠	٥٠٠
الثلج	٥٧	٠,٩٢	٩٢٠
الذهب	١٢٠٠	١٩,٣	١٩٣٠٠
الفضة	–	١٠,٥	١٠٥٠٠
الرصاص	٧٠٠	١١,٣	١١٣٠٠
الحديد	٤٩٠	٧,٩	٧٩٠٠
الألومنيوم	١٧٠	٢,٧	٢٧٠٠

جدول [٣ ـ ١]

مثال :

أوجد كتلة قطعة من الثلج على هيئة متوازى مستطيلات أبعاده ١ متر × $\frac{1}{2}$ ١ متر × ٣ متر ؟

الحـل :

حجم متوازى المستطيلات = ١ × $\frac{1}{2}$ ١ × ٣ = ٤,٥ م^3 .

ولما كانت كثافة الثلج هى ٩٢٠ كجم/ م٣ طبقا للجدول (٣ ــ ١)

∴ كتلة الثلج = ٩٢٠ × ٤,٥ = ٤١٤٠ كجم

[٣ ـ ٨] تدريبات :

(١) لو عرض عليك أحد الأشخاص ، أن يعطيك قدم مكعب من الذهب على شرط أن تحمله بنفسك إلى منزلك ، فهل يمكنك عمل هذا وكم يزن هذا القدم المكعب من الذهب ؟

(٢) كيف يمكنك أن تبرهن بأن الهواء الموجود فى غرفة أبعادها ٧ م × ٥ م × ٣ م أثقل من وزنك أنت شخصيا ؟

(٣) إسطوانة مصمته من المعدن قطرها ٢سم وطولها ١٠سم ، يبلغ وزنها ٢٥٠ جراماً ، فكم تبلغ كثافة هذا المعدن ؟

(٤) أيهما أثقل ١٣ قدم مكعب من الماء أم قدم مكعب واحد من الزئبق ؟

(٥) كم يلغ حجم بالون تم ملئه بما يعادل ١٠٠ كجم من الهيدروجين عند الضغط الجوى ودرجة الصفر المئوى ؟

(٦) أيهما أثقل : ١٠ براميل من البترول أم ٧ براميل من الماء العذب ؟

(٧) أيهما أثقل : م٣ من الثلج أم م٣ من الماء وما مقدار الفرق ؟