محاضرات فى

خواص المادة

أولي تربية عام بيولوجي وجيولوجي

المحتويات

م	الموضوع	الصفحة
*	مقدمة.....	٢
[١]	الوحدات والابعاد.....	٥
[٢]	مفهوم المادة وخصائصها.....	١١
[٣]	التوتر السطحى.....	٢٢
[٤]	ميكانيكا الموائع.....	٢٤
[٥]	اللزوجة.....	٣١
[٦]	المرونة.....	٤٢
[٧]	الغازات.....	٥٣
[٨]	الحركة التوافقية البسيطة.....	٦٣

مقدمة

المادة من مصطلحات علم الفيزياء وكذلك علم الكيمياء وتعرف المادة بأنّها كل ما له كتلة ويشكل حجماً في الفراغ يمكن رصده، كان ذلك تعريف المادة الذي كان مقبولاً قبولاًعاماً في الفيزياء الكلاسيكية، وعليه فتكون كل المركبات التي نراها في حياتنا و كل العناصر المفردة هي امثلة على المادة، فالماء مركب وهو مادة ، والذهب عنصر و هو مادة. بقي ذلك التعريف للمادة صامدا لفترة زمنية طويلة حتى إستطاع الإنسان إكتشاف مكونات الذرة وأنها ليست أصغر صيغة من المادة فأكتشفت الإلكترونات و البروتونات والنيوترونات، وإعتبرت أجسام صغيرة من المادة وسميت جسيمات أي أجسام صغيرة، لم يتغير عندها مفهوم المادة بشكل كبير و إن ما نتج هو وجود جسيمات كتلتها وحجمها أقل، وبالتالي أصبح لدينا جسيمات مادية أصغر مما كنا نتوقع.

ولكن تقدم علم الفيزياء وضع تعريف المادة في موضع حرج، فقد نتج مع العلماء وجود مادة تشكل حيز ولها نشاط يمكن رصده ولكنها عديمة الكتلة ، ومن أمثلة ذلك الفوتونات والجلونات ، ومما زاد الامر تعقيدا وضع العالم ألبرت أينشتين لمعادلة يثبت فيها تكافؤ الكتلة والطاقة، وهذا يعني أن الفوتون مثلا عبارة عن مادة حتى لو لم يكن لديه كتلة فهو يشكل حيزا في الفراغ وله طاقة.

مازال العلم الحديث يبحث في المادة ، فاليوم نجد نظريات جديدة تبرز تبين أن كل من البروتونات والنيوترونات ليست جسيمات أولية ، بل إنها تتكون من جسيمات أصغر منها ، سميت تلك الجسيمات المفترضة بالكواركات ، وعلى الرغم من عدم إمكانية البشر حتى يومنا هذا من رصد كوارك واحد مفرد ، إلا أنّ فرضية وجوده حلت معضلات حقيقية كان علماء الذرة يحيرون فيها!

إنّ فهم المادة و تعريفها مقترن بالنظرية التي توصفها، فوفق نظرية أينشتين فلا يوجد فرق جوهري بين المادة و الطاقة ، و حسب معادلات نظريته حول الطاقة فإنه يمكن تحويل المادة إلى طاقة و العكس ، كذلك فوفق نظرية ميكانياً الكم فإنّ المادة على مستوى الجسيمات تسلك سلوكاً غريباً فهي تتصرف كدالّة موجية غير محدّدة المكان!

المادة إما أن تكون في الحالة الصلبة أو الحالة السائلة أو الحالة الغازية وفقا لنوع القوى التي تربط بين جزيئات المادة. فعندما تكون قوى الترابط قوية فان المادة تتواجد في حالتها الصلبة و عندما تكون قوة الترابط متوسطة فان المادة تتواجد في حالتها السائلة وعندما تكون هذه القوة ضعيفة جدا يكون ذلك مميزا للحالة الغازية للمادة.

هذا و توجد حالة رابعة للمادة يطلق عليها حالة البلازما. و تتكون البلازما من خليط من الأيونات السالبة و الموجبة مع الذرات المتعادلة في درجات حرارة عالية جدا. و تعد الشمس و النجوم مثالا لحالة البلازما.

و تعتمد كل حالة من حالات المادة على الضغط و درجة الحرارة. و يمكن أن تتحول المادة من إحدى صورها إلى صورة أخرى تحت تأثير هاذين العاملين. فمثلا لو انخفضت درجة حرارة الماء (حالة سائلة) لتحول إلى جليد (حالة صلبة) و هذا التحول له تأثير كبير على تركيب المادة و بالتالي على خصائصها. حيث أن تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة يكون مصاحبا بزيادة في الحجم و بذلك يحدث ما يسمى بالانزلاق الأرضي و غيرة من المخاطر.

خصائص المادّة :

- **الخصائص الميكانيكيّة:** (معامل يونج، والمرونة، ومقاومة الشدّة، ومقاومة الانضغاط، ومقاومة القصّ، ومقاومة الخضوع، وقابليّة الطرق، والانفعال عند الانهيار، والمتانة، وشدّة تحمّل الصدمة، وقابليّة اللحام، والكثافة، واللزوجة، وسرعة الانفجار، والرجوعيّة).
- **الخصائص الكهربائيّة:** (الناقليّة الكهربائيّة، والسماحيّة، وثابت العازل، وشدّة العزل، والثوابت الكهروضغطيّة).
- **الخصائص الحراريّة:** (الموصل الحراري، ومعامل الانتشار، والانبعاثيّة، ومعامل التمدّد الحراري، والحرارة النوعيّة، وحرارة التبخّر، وحرارة الانصهار، والاشتعال، وضغط البخار، ودرجة الحرارة الحرجة، ونقطة الانصهار، ودرجة حرارة الاشتعال الذاتي).
- **الخصائص المغناطيسيّة:** (المغناطيسيّة المسايرة، والمغناطيسيّة المعاكسة، والمغناطيسيّة الحديديّة، والمغناطيسيّة الحديديّة المضادة). الخصائص الضوئيّة: (انكسار الضوء، وانعكاس الضوء، وسرعة الضوء، والتداخل، وحيود الضوء).
- **الخصائص الصوتيّة:** (انكسار الصوت، وامتصاص الصوت، وانعكاس الصوت، وسرعة الصوت).
- **الخصائص الإشعاعيّة:** (عمر النصف، وأشعّة بيتا، والأشعّة السينيّة، أشعّة جاما، واشعاع شيرينكوف).
- **الخصائص الذريّة.**
- **الخصائص الفيزيائيّة.**
- **الخصائص التصنيعيّة.**
- **الخصائص البيولوجيّة.**
- **الخصائص البيئيّة.**

[1]

الوحدات و الأبعاد

علم الفيزياء هو العلم الذى يبحث فى الخواص الطبيعية للأجسام, والخاصة الطبيعية تتميز بأن لها أبعاد محددة تقاس بوحدات خاصة محددة. ويبحث هذا العلم فى الكشف عن الظواهر الفيزيائية المختلفة ثم الكشف عن القوانين العلمية التى تخضع لها. وعند التعامل مع الظواهر الفيزيائية وقوانينها فأننا نمر بثلاث خطوات:

١. ملاحظة الظاهرة الفيزيائية.
٢. ربطها بمقادير فيزيائية يمكن قياسها.
٣. تفهم العوامل التى تتحكم فيها واستنباط القوانين العلمية لذلك.

ولما كانت الظروف الفيزيائية والقوانين العلمية المتعلقة بها موجودة فى المواد الحية وغير الحية لذا فان علم الفيزياء يتدخل إلى درجة كبيرة مع علوم الأحياء ومع علوم الكيمياء وعلم الفيزياء الحيويه وغيرها حيث أن هذه العلوم أصبحت متكاملة مع بعضها بعد التطور السريع فى أبحاث العلوم الذرية والجزيئية وقبل الخوض فى هذه الخواص ليجب أن نشير إلى وحدات القياس المتبعة وتحديدها حتى يمكننا أن نحكم على خاصية طبيعية كذلك حتى يمكن التوصل إلى معادلة الأبعاد التى هى الأساس عند التعرف على سلامة القوانين المختلفة وصحتها الفيزيائية.

تتحدد أي كمية طبيعية بعاملين اثنين هما العدد والوحدة . أي أنه لا يمكن ذكر أعداد أو أرقام مجردة دون تحديد الوحدة التي تقاس بها تلك الكمية.

الكميات الفيزيائية: هي التي تبني هيكل الفيزياء و بها نكتب المعادلات و القوانين الفيزيائية ، من هذه الكميات : القوة – الزمن – السرعة – الكثافة – درجة الحرارة – الشحنة و غير ذلك.

تصنيف الكميات الفيزيائية:

- الكميات القياسية scalar quantities: يعبر عنها بمقدار فقط, رقم يبين المقدار (درجة الحرارة, الكتلة, الشغل ....), ويمكن إضافة إشارة إلى المقدار كدرجة الحرارة سالبة أو موجبة (د = - ١٥ درجة مئوية).
- الكميات المتجهة vector quantities: أما الكمية المتجهة فيعبر عنها بمقدار واتجاه (الإزاحة, القوة, العزم ....), مقدار المتجه يعبر عنه كما يعبر عن الكمية القياسية ويضاف عليه اتجاه تلك الكمية (الإزاحة = ١٠ م في الاتجاه الموجب للمحور السيني).

و تنقسم الكميات الفيزيائية إلى:

كميات أساسية: هي الكتلة و الطول و الزمن و يرمز لها (T , L , M)على الترتيب.

كميات مشتقه: هي كميات مشتقة من الكميات الأساسية مثل الحجم و السرعة و العجلة و غير ذلك من الكميات.

- **أنظمة القياس:**

النظام الدولي ISU: متر – كيلوجرام – ثانيه (M K S system) و أحياناً يسمى بالنظام الفرنسي المطلق أو سنتيمتر – جرام – ثانيه (C G S system).

النظام البريطاني: قدم – باوند – ثانيه (F B S).

وحدات القياس الأساسية

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
الكتلة (Mass)	كيلوجرام (*Kg*)	باوند
الطول أو المسافة (Length)	متر (*M*)	قدم
الزمن (Time)	ثانية (*S*)	ثانية

وحدات القياس المشتقة

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
المساحه	متر^{2} (m^2)	قدم^{2}
الحجم	متر^{3} (m^3)	قدم^{3}
الكثافة = الكتلة / الحجم	Kg/m^3	باوند / قدم^{3}
قوة	نيوتن (*N*)	ثقل باوند (LB)
الضغط = قوة / مساحة	N/m^3 (باسكال)	ثقل باوند / قدم^{2}

الوحدات المعيارية: هي وحدات القياس المتفق عليها عالمياً والمستخدمة في النظام الدولي للوحدات

فتتحدد أي كمية طبيعية بعاملين اثنين هما العدد والوحدة . أي أنه لا يمكن ذكر أعداد أو أرقام مجردة دون تحديد الوحدة التي تقاس بها تلك الكمية.

☒ **المتر العياري:** (معيار الطول) أول من استخدمه كمعيار للطول الفرنسيون وهو المسافة بين علامتين محفورتين عند نهايتي ساق من سبيكة من البلاتين - الايريديوم محفوظة عند درجة الصفر سليزيوس في الكتب الدولي للموازين والمقاييس بالقرب من باريس .

معلومة أضافية :اتفق العلماء علي استبدال المتر العياري بثابت ذري فهو يساوي ١٦٥٠٧٦٣,٧٣ من الأطوال الموجية للضوء الأحمر - البرتقالي المنبعث في الفراغ من ذرات نظير عنصر الكربتون-٨٦ في أنبوبة تفريغ كهربائي بها غاز الكربتون

☒ **الكيلو جرام العياري:** (معيار الكتلة) يساوي كتلة اسطوانة من سبيكة (البلاتين-الايريديوم) ذات الأبعاد المحددة محفوظة عند صفر سليزيوس في الكتب الدولي للموازين والمقاييس بالقرب من باريس .

☒ **الثانية : (معيار الزمن):** تم تحديدها في العصور القديمة فقد كان الليل والنهار واليوم الوسيلة للحصول علي مقياس ثابت وسهل لوحدة الزمن

اليوم = ٢٤ × ٦٠ × ٦٠ = ٨٦٤٠٠ ثانية

الثانية : تساوي $\frac{1}{86400}$ من اليوم الشمسي المتوسط .

معلومة أضافية :اتفق العلماء علي استبدال الثانية بثابت ذري وهي الثانية بساعة السيزيوم الذرية وهيالفترة الزمنية اللازمة لينبعث من ذرة السيزيوم ١٣٣ عدد من الموجات يساوي 9192631700 موجة .

أهمية استخدام الساعات الذرية:-

١- تتميز بالدقة المتناهية

٢ – دراسة عدد كبير من المسائل الهامة مثل:

- تحديد مدة دوران الأرض حول نفسها (تحديد زمن اليوم)
- مراجعات لتحسين الملاحة الأرضية والجوية
- تدقيق رحلات سفن الفضاء لاكتشاف الكون

أبعاد الكميات الفيزيائية

من التقسيم السابق يتضح أن أى كمية مركبة يستدل عليها بمعرفة الكميات الثلاث الأساسية ولذا فأن أبعاد أى كمية طبيعية تعرف بدلالة العلاقة التي تربطها بالكميات الأساسية وسنرمز للطول بالرمز L والزمن بالرمزT والكتلة . M

ولمعرفة اعتماد بعد أى كمية طبيعية A على الأبعاد الأساسية T , L , M وكذلك على وحدات قياسها فانه يستعان بما يسمى " بمعادلة الأبعاد " التى تكتب عادة باستخدام أقواس مربعة على الصورة :

$$[A] = [L]^{\alpha} [M]^{\beta} [T]^{\delta}$$

وفيها تكون الأسات α , β , δ كسور او اعداد صحيحة موجبة أوسالبة.

حساب أبعاد بعض الكميات الفيزيائية

الكمية الفيزيائية	بُعد الكمية الفيزيائية
الكثافة (ρ) = الكتلة / الحجم	$[\rho] = \frac{M}{L^3} = ML^{-3}$
السرعة الخطية (v) = المسافة / الزمن	$[v] = \frac{L}{T} = LT^{-1}$
السرعة الزاوية (ω) = السرعة الخطية / نصف قطر الدوران	$[\omega] = \frac{LT^{-1}}{L} = T^{-1}$
العجلة (a) = السرعة الخطية / الزمن	$[a] = \frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2}$
القوة (F) = الكتلة x العجلة	$[F] = M \times LT^{-2} = MLT^{-2}$
الشغل (W) = القوة x المسافة	$[W] = MLT^{-2} \times L = ML^2T^{-2}$
القدرة (P) = الشغل / الزمن	$[P] = \frac{ML^2T^{-2}}{T} = ML^2T^{-3}$

نظرية الأبعاد وتطبيقاتها:

تحتم نظرية الأبعاد على أن يكون طرفا المعادلات الرياضية متجانسين من حيث الأبعاد. لذلك نجد أن من فوائد الأبعاد ما يلي:

١. التحقق من صحة القوانين الفيزيائية.

٢. اشتقاق وحدات الثوابت التي تعتمد عليها العلاقات الرياضية المختلفة.

٣. التحويل من وحدات النظام الدولي (النظام الفرنسي) إلى النظام البريطاني (النظام الإنجليزي).

اختبار صحة القوانين (تحقيق تجانس الأبعاد للمعادلة)

بحيث يكون طرفي المعادلة لهم نفس الأبعاد

لاحظ أن : وجود نفس معادلة الأبعاد علي طرفي المعادلة لا يضمن صحتها , ولكن اختلافها علي طرفي المعادلة يؤكد خطأها .

مثال : اثبت صحة العلاقة : طاقة الحركة = ½ الكتلة × مربع السرعة ($KE = \frac{1}{2} mv^2$) , إذا علمت أن معادلة أبعاد الطاقة $E = ML^2T^{-2}$.

١ – معادلة أبعاد الطرف الأيمن = ML^2T^{-2}

٢- معادلة أبعاد الرف الأيسر = الكتلة × مربع السرعة = M $\times (LT^{-1})^2 = ML^2T^{-2}$

. . معادلة أبعاد الطرف الأيمن = معادلة أبعاد الطرف الأيسر

. . العلاقة صحيحة

****

مثال : أحد الأشخاص أقترح أن حجم الاسطوانة يتعين من العلاقة:

($Vol = \pi r^2 h$) حيث r نصف قطر قاعدة الاسطوانة , h ارتفاع الاسطوانة.

١ – معادلة أبعاد الطرف الأيمن $Vol = L^3$

٢- معادلة أبعاد الرف الأيسر = $\pi r^2 h = L \times L = L^2$ (لاحظ أن π ثابت عددي ليس له وحدات)

. . معادلة أبعاد الطرف الأيمن ≠ معادلة أبعاد الطرف الأيسر

. . العلاقة غير صحيحة (خطا)

****

مثال: تخضع حركة جسم تحت تأثير الجاذبية للعلاقة التالية:

($V_f = V_i + gt$) حيث g هي عجلة الجاذبية الأرضية , t الزمن , V_f السرعة النهائية , V_i السرعة الابتدائية .

اثبت صحة هذه العلاقة باستخدام معادلات الأبعاد

١ – معادلة أبعاد الطرف الأيمن $V_f = LT^{-1}$

٢- معادلة أبعاد الرف الأيسر=

$$T = V_i + g_t \times (LT^{-2}) + LT^{-1} = 2\,LT^{-1} = LT^{-1}$$

. . معادلة أبعاد الطرف الأيمن = معادلة أبعاد الطرف الأيسر

. . العلاقة صحيحة

****

مثال : باستخدام معادلة الأبعاد اثبت مدى صحة العلاقة الآتية والتى تربط بين زمن الذبذبة للبندول البسيط وبين طول خيطه .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

حيث : T زمن الذبذبة ، L طول خيط البندول ، g عجلة الجاذبية الأرضية.

الحل : أبعاد الطرف الأيسر فى القانون هى T

أبعاد الطرف الأيمن يمكن كتابتها كما يلى(بعد استبعاد المقدار الثابت 2π).

$$\left(\frac{L}{L\,T^{-2}}\right)^{\frac{1}{2}} = [T^2]^{\frac{1}{2}} = T$$

ومن ثم يتضح أن طرفى القانون متساويان مما يحقق صحة القانون المعطى.

✓ **التحقق من المقادير الثابتة التى تدخل ضمن أى كمية طبيعية.**

وعلى سبيل المثال للتأكد من الثابت π 2 فى مثال البندول البسيط السابق الذكر، فبتطبيق نظرية الأبعاد يمكن التعرف على حقيقة هذا الثابت.

نكتب قانون البندول البسيط على الصورة الآتية :

$$T = a\left(\frac{L}{g}\right)^{\frac{1}{2}}$$

حيث a كمية ثابتة. وبتعيين أبعاد طرفى المعادلة نجد أن :

$$T = a\left\{\frac{L}{LT^{-2}}\right\}^{\frac{1}{2}}$$

ويتضح من هذا أن المقدار a كمية عددية فقط لا أبعاد لها وقد وجد عمليا أن قيمة هذا العدد الثابت هو π 2.

✓ **تعيين أبعاد كمية فيزيائية مجهولة:**

هناك العديد لهذا التطبيق سنتناوله بالدراسة لتعيين البعد (والوحدة القياسية) لبعض الكميات حين التصدى لها ومن أمثلة ذلك معاملات المرونة ومعامل اللزوجة وغيرها من الكميات الفيزيائية الأخرى.

✓ **الكشف عن قانون فيزيائى جديد:**

يمكن تطبيق قانون المعادلة البعدية فى الكشف عن قانون فيزيائى جديد يربط بين عدد من الكميات الفيزيائية والمثال الأتى يوضح نظرية المعادلة البعدية لاستنتاج معادلة ضغط السائل فى الأنابيب الراسية.

مثال : أذا وضع سائل فى أنبوبة راسية ، اوجد ضغط هذا السائل وبمعلومية ارتفاع السائل فى الأنبوبة وكثافة السائل وعجلة الجاذبية الأرضية.

الحل : نفرض ضغط السائل P وارتفاع السائل فى الأنبوبة h وكثافة السائل ρ وان عجلة الجاذبية الأرضية g .

وحيث أن الضغط يتوقف على هذه العوامل الثلاثة فيمكن كتابة معادلة الأبعاد كما يلى :

$$P = ha \cdot \rho b \cdot gc$$

حيث كل من c , b, a مقادير عددية ثابتة يمكن تعيين قيمة كل منها وذلك بالتعويض عن أبعاد الكميات الأربعة فى المعادلة السابقة.

بعد الطرف الأيسر من المعادلة السابقة هو :

$$ML^{-1}T^{-2}$$

بعد الطرف الأيمن من المعادلة السابقة هو :

$$L^a \cdot (ML^{-3})^b \cdot (LT^{-2})^c = L^a \cdot M^b \cdot L^{-3b} \cdot L^c T^{-2c}$$

$$= L^{a-3b+c} \cdot M^b \cdot T^{-2c}$$

وعلية تكتب المعادلة البعدية كالأتى:

$$= L^{a-3b+c} \cdot M^b \cdot T^{-2c}\ ML^{-1}T^{-2}$$

بمساواة أساس طرفى المعادلة البعدية نجد أن :

$$a = 1 , b = 1 , c = 1$$

$$P = h \cdot \rho \cdot g \therefore$$

أى أن الضغط يتناسب طرديا مع كل من ارتفاع السائل فى الأنبوبة وكثافة السائل وعجلة الجاذبية الأرضية.

١. كميات (مقاييس) أساسية أو أولية:

١. الطول (Length) L

٢. الزمن (Time) T

٣. الكتلة (Mass) M

٢. كميات (مقاييس) مشتقة:

وتشمل أي خاصية سواء طبيعية أو ميكانيكية خلاف الكميات الأساسية الثلاثة السابقة، وهي ذات أبعاد مركبة ومشتقة من الأبعاد الأساسية L , T , M مثل:

١. المساحة (Area)	L^2
٢. الحجم (Volume)	L^3
٣. السرعة (Velocity)	LT^{-1}
٤. العجلة (Acceleration)	LT^{-2}
٥. التصرف (Discharge)	L^3T^{-1}
٦. القوة (Force)	MLT^{-2}
٧. الضغط (Pressure)	$ML^{-1}T^{-2}$
٨. الطاقة (Energy)	ML^2T^{-2}
٩. القدرة (Power)	ML^2T^{-3}

١٠. الكثافة (Density)	ML^{-3}
١١.اللزوجة الديناميكية (Dynamic Viscosity)	$ML^{-1}T^{-1}$
١٢. اللزوجة الكينماتيكية (Kinematic Viscosity)	L^2T^{-1}
١٣.الوزن النوعي (Specific weight)	$ML^{-2}T^{-2}$
١٤. إجهاد القص (Surface tension)	$ML^{-1}T^{-2}$

مثال: أي من المعادلات التالية تعتبر معادلات تجريبية (غير متجانسة بعدياً) :

1. $V = \frac{C_u}{n} R^{2/3} S$

2. $h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$

3. $Q = \alpha y^{\beta}$

حيث أن :

C_u, n, f, α, β ثوابت V سرعة التدفق S الميل

R نصف القطر الهيدروليكي $\left(R = \frac{A}{P}\right)$ A مساحة المقطع P المحيط المبلل

h_f ضاغط $\left(h_f = \frac{Pressure}{\gamma}\right)$ L طول الأنبوب D قطر الأنبوب

g عجلة الجاذبية y عمق الماء S الميل

Q التصرف γ الوزن النوعي

الحل

1. $V = \frac{C_u}{n} R^{2/3} S$

أولاً الطرف الأيسر ⇐

$$V = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

ثانياً الطرف الأيمن ⇐

$$\frac{C_u}{n} R^{2/3} S = \frac{1}{1} \cdot L^{2/3} \cdot 1 = L^{2/3}$$

بما أن الطرف الأيسر ≠ الطرف الأيمن

∴ هذه المعادلة غير متجانسة بعدياً (تعتبر معادلة تجريبية).

2. $h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$

أولاً الطرف الأيسر ⇐

$$h_f = \frac{P}{\gamma} = \frac{F/A}{F/\forall} = \frac{FL^{-2}}{FL^{-3}} = L$$

ثانياً الطرف الأيمن ⇐

$$f\ \frac{L}{D}\ \frac{V^2}{2g} = 1 \cdot \frac{L}{L} \cdot \frac{\left(LT^{-1}\right)^2}{1 \times LT^{-2}} = \frac{L^2T^{-2}}{LT^{-2}} = L$$

بما أن الطرف الأيسر = الطرف الأيمن

∴ هذه المعادلة متجانسة بعدياً (تعتبر معادلة غير تجريبية).

3. $Q = \alpha\, y^{\beta}$

أولاً الطرف الأيسر ⇐

$$Q = \frac{L^3}{T} = L^3T^{-1}$$

ثانياً الطرف الأيمن ⇐

$$\alpha\, y^{\beta} = 1 \cdot L^{\beta} = L^{\beta}$$

بما أن الطرف الأيسر ≠ الطرف الأيمن

∴ هذه المعادلة غير متجانسة بعدياً (تعتبر معادلة تجريبية).

تمارين:

١. جد أبعاد كل من السرعة (v) و العجلة (a) و القوة (F) و الشغل (W) و الكثافة (ρ) و الضغط (P).

٢. أثبت صحة العلاقة التالية من حيث الأبعاد.

$$v = v_0 + at$$

حيث v ، a ، t تمثل السرعة الخطية والعجلة والزمن على الترتيب.

٣. حدد ما إذا كانت العلاقة التالية صحيحة من حيث الأبعاد أم لا.

$$v^2 = {v_0}^2 + 2a$$

[2]

مفهوم المادة وخصائصها

المادة هى كل ما له كتلة يشغل حيزا من الفراغ

وطبقا لهذا المفهوم فكل ما يحيط بنا من اشياء هى عبارة عن مواد مثل القلم، الكتاب، الكوب، الملح، السكر، الهواء ، الماء .....الخ.

وكل هذه المواد اكيد تختلف عن بعضها ببعض الخصائص او الميزات فقد تختلف تلك المواد عن بعضها فى اللون او الطعم او الرائحة ومن المواد التى ليس لها طعم او لون او رائحة مميزة يمكننا ان نميز بينهما من خلال مجموعة اخرى من الخصائص مثلا:

الكثافة - درجة الغليان – درجة الانصهار – المرونة – النشاط الكيميائى – التوصيل الكهربي – التوصيل الحرارى.....وغيرها.

عند دراسة المادة وجدا انها اما ان تكون متجانسه او غير متجانسه و تتكون المادة من وحدات بنائيه صغيرة تسمى الجزيئات ومفردها الجزئ ويلاحظ ان الجزئ يتكون من وحدات بنائيه اصغر تسمى ذرات ويلاحظ ان جزيئات المادة الواحدة اذا كانت متجانسه تكون متشابه وجزيئات المادة اذا كانت غير متجانسه تكون غير متشابه.

ونلاحظ ان المادة عندما يحدث لها التغير يكون تغير كيميائى او تغير فيزيائى.

- **التغير الكيميائى :** هو التغير الذى يحدث فى تركيب المادة وينتج عنه مواد جديدة
- **التغير الفيزيائى :** هو التغير الذى يحدث فى تركيب المادة ولاينتج عنه مواد جديدة ايحدث فى مظهر المادة فقط.

خصائص المادّة :

- **الخصائص الميكانيكيّة:** (معامل يونج، والمرونة، ومقاومة الشدّة، ومقاومة الانضغاط، ومقاومة القصّ، ومقاومة الخضوع، وقابليّة الطرق، والانفعال عند الانهيار، والمتانة، وشدّة تحمّل الصدمة، وقابليّة اللحام، والكثافة، واللزوجة، وسرعة الانفجار، والرجوعيّة).
- **الخصائص الكهربائيّة:** (الناقليّة الكهربائيّة، والسماحيّة، وثابت العازل، وشدّة العزل، والثوابت الكهروضغطيّة).
- **الخصائص الحراريّة:** (الموصل الحراري، ومعامل الانتشار، والانبعاثيّة، ومعامل التمدّد الحراري، والحرارة النوعيّة، وحرارة التبخّر، وحرارة الانصهار، والاشتعال، وضغط البخار، ودرجة الحرارة الحرجة، ونقطة الانصهار، ودرجة حرارة الاشتعال الذاتي).
- **الخصائص المغناطيسيّة:** (المغناطيسيّة المسايرة، والمغناطيسيّة المعاكسة، والمغناطيسيّة الحديديّة، والمغناطيسيّة الحديديّة المضادة). الخصائص الضوئيّة: (انكسار الضوء، وانعكاس الضوء، وسرعة الضوء، والتداخل، وحيود الضوء).
- **الخصائص الصوتيّة:** (انكسار الصوت، وامتصاص الصوت، وانعكاس الصوت، وسرعة الصوت).
- **الخصائص الإشعاعيّة:** (عمر النصف، وأشعّة بيتا، والأشعّة السينيّة، أشعّة جاما، واشعاع شيرينكوف).
- **الخصائص الذريّة.**
- **الخصائص الفيزيائيّة.**
- **الخصائص التصنيعيّة.**
- **الخصائص البيولوجيّة.**
- **الخصائص البيئيّة.**

ولابد هنا التنويه عن بعض المفاهيم المتربطة بالمادة مثل الكتلة والكثافة والوزن .....الخ.

الكتلة : هي كمية المادة الموجودة في جسم ما. وهي ترتبط بالجسم فقط ولا تتغير بتغير المكان.

الوزن: ما هو الا قياسا لقوة الجاذبية المطبّقة على هذا الجسم. وعليه فان الوزن عبارة عن قوة، وبما ان القوة هي حاصل ضرب الكتلة والعجلة. بالتالي فوزن جسم ما هو الا حاصل ضرب الكتلة والعجلة الذي تحدثه الجاذبية (عجلة الجاذبية الارضية مثلا) وعليه يتغيّر وزن الجسم بتغيّر المكان، فعلى سبيل المثال، تزن الأجسام على سطح القمر أقل مما تزنه على سطح الأرض بسبب نقص الجاذبية. وفيما يلى جدول يوضح مقارنة بين الكتلة والوزن:

وجه المقارنة	الكتلة	الوزن
التعريف	هي كمية المادة الموجودة في الجسم بغض النظر عن حجمه أو القوى المؤثرة عليه.	قياس قوة الجاذبية المؤثرة على الجسم.
تأثير الجاذبية	تبقى الكتلة ثابتة في أي مكان و زمان	يرتبط وزن جسم ما بجاذبية المكان الذي يتواجد فيه
وحدة القياس	جرام او مضاعفاته	داين او مضاعفاته
وسيلة القياس	يتم قياس الكتلة باستخدام ميزان عادي، ميزان ثلاثي الأذرع، ميزان الرفع أو ميزان إلكتروني.	يتم قياس الوزن باستخدام ميزان ذي نابض (الميزان الزنبركي)
نوع الكمية	كمية قياسية	متجهة أو مشتقّة

الحجم: هو مقدار الحيز او المكان الذى يشغله الجسم. وحدة قياسه سم^3 او م^3. ويمكن حساب الحجم على حسب شكل المادة فكل مادة لها شكل معين يكون لها قانون يحسب الحجم مكعب، متوازى مستطيلات، اسطوانة،.....الخ. اما اذا كانت ليس للمادة شكل محدد او كونها سائلة يمكن استخدام المخبار المدرج كإداة لقياس الحجم.

الكثافة: كتلة وحدة الحجوم من المادة، أو هي كتلة ١ سم^3 من المادة. فالكثافة هي العلاقة بين حجم المادة وكتلتها. وتعطى من خلال العلاقة التالية:

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

وعليه فان وحدة قياس الكثافة هى جم/سم^3.

مثال: في تجربةٍ لتعيين كثافة سائل عملياً سُجلت النتائج التالية:

- كتلة الكأس الزجاجي فارغة = ٧٥ جم.
- كتلة الكأس وبها السائل = ١٣٥ جم.
- حجم السائل في المخبار المدرّج = ١٠٠ سم٣

احسب كثافة السائل.

الحل:

كتلة السائل = كتلة الكأس وبها السائل – كتلة الكأس فارغة

كتلة السائل = ١٣٥ – ٧٥ = ٦٠ جم.

والآن نطبق قانون الكثافة:

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} = \frac{60}{100} = 0.6 \text{ جم/سم}^3$$

ومن المواضيع الفيزيائية الشهيرة و المرتبطة بمفهوم كثافة المادة هو طفو المواد او غوصها داخل الماء فلو وضعنا مجموعة موادٍ في حوضٍ مملوءٍ بالماء، كعملةٍ معدنية، ومسمار، وقطعةِ ثلج، وقطعةِ خشب، وقطعةِ فلين، وقطرةِ زيت، فهل تطفو تلك الموادُ على سطحِ الماءِ أم تغوص فيه؟

بعضُ الموادِ تطفو، والبعض الآخر يغوص، والذي يحدد أيّها يطفو وأيّها يغوص هي خاصية الكثافة. فالمواد الأقل كثافة من الماء تطفو، والمواد الأكثر كثافة من الماء تغوص.

فى الجدول التالى الكثافة لبعض المواد المشهور وشائعة الاستخدام:

المادة	الكثافة kg/m^3	المادة	الكثافة kg/m^3
هواء	1.2	ثلج	920
ثاني أكسيد الكربون	1.98	ألمونيوم	2700
ماء	1000	النحاس	8890
ماء البحر	1025	حديد	7860
الغول الإثيلي	790	ذهب	19300
الجلسرين	1260	فضة	10500
الزئبق	13600	الخشب	500 - 1000

تدريب:

إذا كانت كتلة ٥٠ سم٣ من الماء تساوي ٥٠ جم، فأجب عمّا يلي:

١. احسب كثافة الماء.

٢. المادة (س) مادة مجهولة، حجم ٥ جم منها يساوي ٢٥ سم٣، فهل تطفو هذه المادة فوق سطح الماء أم تغوص؟

٣. المادة (ص) مادة مجهولة، حجم ٢٢ جم منها يساوي ٢,٢ سم٣، فهل تطفو هذه المادة فوق سطح الماء أم تغوص؟

القوة: إن إحساسنا بالقوة ينتج من خلال ملاحظتنا للأثر الذى تحدثه القوة عندما تؤثر على الاجسام المختلفة.

إن القوة تحدث فى الجسم تاثيرا واحدا او اكثر من التأثيرات التالية:

١. قد تتسبب فى حركة الجسم فتتقله من موضعه او تحدث فيه دورانا.
٢. قد تغير من شكل الجسم.
٣. قد تغير من حجم الجسم او من أحد أبعاده.

وبناء على ما سبق يمكن تعريف القوة على النحو الآتي:

القوة: هى ذلك المؤثر الذى إذا أثر على جسم ما فإنه يسبب تغيرا فى شكل الجسم أو موضعه او فى إتجاهه أو حركته.

هناك أنواع مختلفة من القوى مثل الشد والضغط والدفع والسحب والاحتكاك.....الخ. بل واتسع مفهوم القوة فى علم الفيزياء ليشمل انواعا مختلفة مثلا القوة الكهربائية والمغناطيسية والقوى النووية، وحدة قياس القوة فى النظام العالمى هى النيوتن.

تدريب:

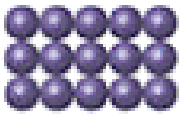
كرة حديدية كتلتها ٧٥٠جم ، إذا كان عجلة الجاذبية الارضية ٩,٨متر/ثانية٢ ، وعجلة الجاذبية القمرية ١,٦متر/ثانية٢. اوجد ما يلي:

١. وزن الكرة على سطح الارض.
٢. وزن الكرة على سطح القمر .
٣. كتلة الكرة على سطح القمر.

☒ حالات المادة:

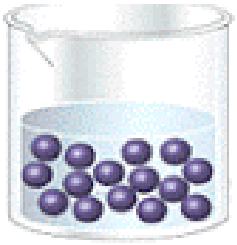
هناك العديد من الحالات التي تقوم عليها المادّة. وفيما يلى ندرس حالات المادة الثلاثة الشهيرة الصلبة والسائلة والغازية نقدم اولا الخصائص العامة لكل حالة وبعدها نتناول من كل حالة بعض الخصائص المشهورة بها والاكثر تطبيقا فى حياتنا العملية:

الحالة الصلبة



- ✓ تتحرك دقائقها حركة موضعية اهتزازية.
- ✓ لها شكل ثابت.
- ✓ لها حجم ثابت.
- ✓ غير قابلة للانضغاط.
- ✓ طاقتها الحركية منخفضة.

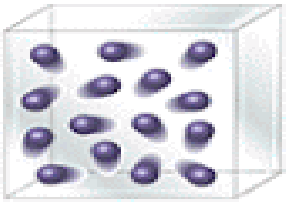
الحالة السائلة



- ✓ تتحرك دقائقها حركة انتقالية ودائمة وعشوائية.
- ✓ تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه.
- ✓ لها حجم ثابت.
- ✓ صعبة الانضغاط.
- ✓ قابلة للجريان.
- ✓ طاقتها الحركية عالية.

الحالة الغازية

- ✓ تتحرك دقائقها حركة انتقالية ودائمة وعشوائية وسريعة وفي خطوط مستقيمة وفي كافة الاتجاهات.
- ✓ تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه.
- ✓ حجمها غير ثابت ويعتمد على حجم الوعاء الذي توضع فيه.
- ✓ قابلة للانضغاط بسهولة.
- ✓ تمتاز بخاصية الانتشار.
- ✓ طاقتها الحركية عالية جداً.



[3]

التوتر السطحي

هى احد خواص السوائل المشهورة جدا وتميز سطح السائل فيما يلى نتعرض لهذه الظاهرة من حيث معناها الفيزيائي، تفسيرها العلمي، تجربة عملية لتوضيحها،تطبيقاتها او وجودها فى حياتنا اليومية.

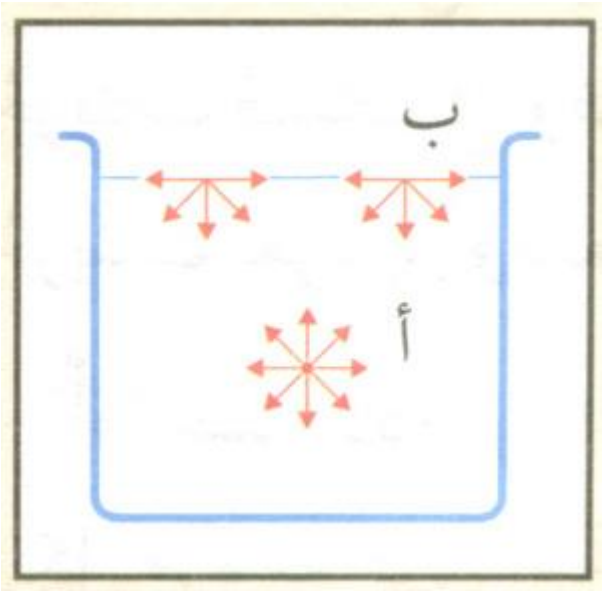
تقدم ظاهرة التوتر السطحي تفسيراً لكثير من الظواهر الشائعة في حياتنا والتي يظهر فيها سطح السائل كأنه غشاءًا مرناً مشدوداً. فعلي سبيل المثال:

- بعض الحشرات الخفيفة يمكنها الوقوف والسير فوق سطح الماء دون أن تبتل.
- نستطيع أن نضع قطعة نقود برفق لتطفو فوق سطح الماء، بالرغم من أن وزنها أكبر بكثير من قوة الدفع لأرخميدس.
- نستطيع أن نضع قطعة نقود برفق لتطفو فوق سطح الماء، بالرغم من أن وزنها أكبر بكثير من قوة الدفع لأرخميدس.
- قطرات المطر أو قطرات الماء الساقطة من الصنبور تأخذ شكلاً كروياً.
- إمكانية عمل فقاعات من الصابون بينما لا يمكن القيام بعمل فقاعات باستخدام الماء النقي وحده.

تنشأ ظاهرة التوتر السطحي عن قوى التماسك وقوى التلاصق بين الجزيئات عند سطوح السوائل وهي خاصية سطحيه لا وجود لها داخل السائل.

ويمكننا فهم هذه الظاهرة، من المعروف أن السائل يتكون من جزيئات تتجاذب مع بعضها. و يتعرض الجزيء فى داخل السائل إلى قوى جذب من الجزيئات التى تحيط به من جميع الجهات. و يتأثر الجزيء بقوى الجذب الناتجة عن

الجزيئات الموجودة داخل كرة يكون الجزىء فى مركزها و يمثل نصف قطرها مدى قوة الجذب بين الجزيئات و يساوى ١,٦ × ١٠$^{-٦}$ متر و بالنسبة للجزىء الموجود فى باطن السائل تكون القوى المؤثرة عليه متزنة أى تكون محصلتها مساوية صفرا. أما إذا اقترب الجزىء الممثل بمركز الكرة من سطح السائل، فإن القوى المؤثرة على هذا الجزىء تصبح غير متوازنة و السبب فى ذلك هو أن جزء من نصف الكرة العلوى يمتد الآن فوق سطح السائل و بذلك يكون عدد الجزيئات الجاذبة فيه أقل من تلك الموجودة فى النصف الأسفل و تكون هناك محصلة لقوة الجذب إلى داخل السائل.

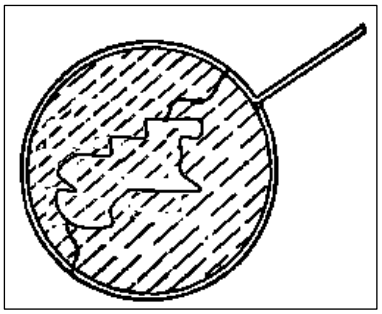


و كلما زاد اقتراب الجزىء من سطح السائل فإن حالة عدم الإتزان تزداد حتى تبلغ فيمتها العظمى عندما يكون الجزىء على سطح السائل. و لذلك فإن الجزيئات الموجودة على سطح السائل تتعرض إلى قوى جذب كبيرة فى اتجاه داخل السائل. هذه القوى تجعل سطح السائل يميل إلى التقلص ليصغر فى المساحة . ومن ذلك يتضح أنه لزيادة سطح السائل لابد من بذل شغل لكى

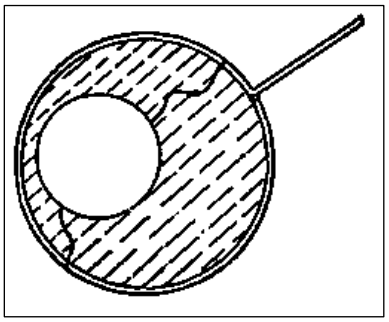
ندفع ببعض الجزيئات من داخل السائل إلى سطحه و هذا الشغل سيبذل ضد القوى الجاذبة التى تجذب هذه الجزيئات إلى داخل السائل. ويعرف الشغل المبذول لزيادة مساحة سطح سائل ما بمقدار وحدة المساحات بمعامل التوتر السطحي .

ولذلك يعرّف التوتّر السطحي بأنّه الشغل اللازم لزيادة مساحة سطح السائل بمقداروحدة المساحات، وذلك عند درجة حرارة وضغط ثابتين.

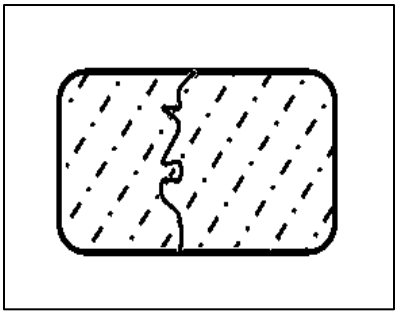
ووحدات التوتّر السطحي في النظام الدولي هي جول/متر^{2} وفي النظام الفرنسي هي إرج/سم٢. وتعتمد قيمة التوتر السطحي على نوع السائل ودرجة الحرارة والضغط. فيقل معامل التوتر السطحي بزيادة أي من درجة الحرارة أو الضغط.



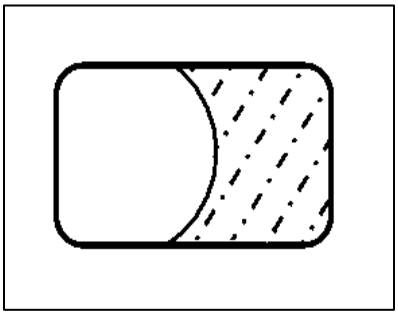
ولإظهار قوى التوتر السطحى عملياً نحضر سلكاً معدنياً على شكل حلقة، ونثبت بداخله خية من خيط خفيف، فعندما نغمر السلك في محلول صابون ثم نرفعه، يتكون غشاء رقيق من الصابون داخل الحلقة وتأخذ خية الخيط أى شكل.



فإذا قطعنا الغشاء داخل الخية فقط نجد أنها تأخذ في الحال الشكل الدائرى، وذلك لأن قوى التوتر السطحى تؤثر عمودياً على كل أجزاء الخية فتجعلها بذلك دائرية الشكل .



وفي تجربة مشابهه، إذا أحضرنا سلكاً علي هيئة مستطيل وثبتنا عليه خيط ثم غمرناه فى محلول الصابون ورفعناه بخفة نجد تكوين غشاء رقيق من محلول الصابون على هذا المستطيل ونشاهد أن الخيط يأخذ أي شكل.



أما إذا نفذنا جسماً مدبباً فى أحد جانبي الغشاء لينقشع جزء من الغشاء فأننا نشاهد أن الخيط يأخذ شكلاً مقوساً.

والسبب فى أن الخيط فى الحالة الأولي يأخذ شكلاً غير منتظم هو أن أى جزء من الخيط الرفيع واقع تحت تأثير قوتين متساويتين ومتضادتين في الإتجاه على كل من سطحي الغشاء. أما فى الحالة الثانية فإن الخيط يأخذ شكل القوس لوجود قوى التوتر السطحي والتي تؤثر عمودياً على أجزاء الخيط من جهة واحدة، وتعمل هذه القوي على أن تصبح مساحة الغشاء أصغر ما يمكن.

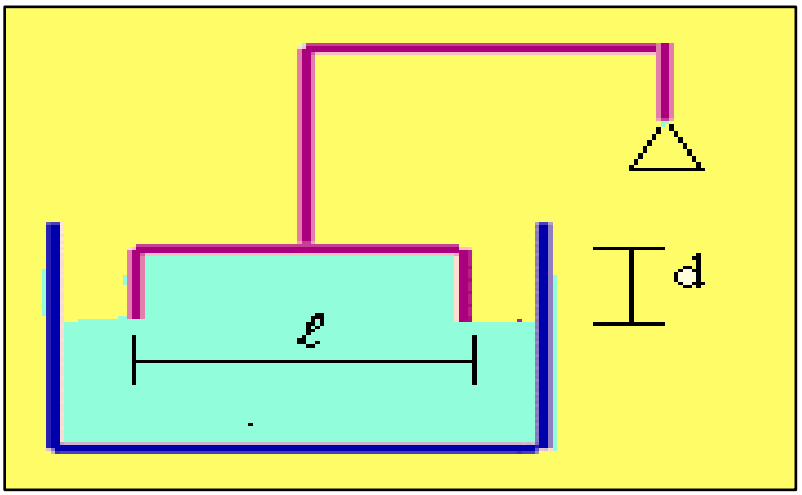
من التجربتين السابقتين نجد أن: أى خط على سطح السائل يكون واقعاً تحت تأثير قوتين متساويتين مقداراً ومتضادتين اتجاهاً.

ويعرّف التوتّر السطحى بأنّه القوة المؤثرة عمودياً على وحدة الأطوال من أى خط من خطوط سطح السائل، عندما تكون هذه القوة موازية للسطح.

ووحدات التوتّر السطحي في النظام الدولي هي نيوتن/متر وفي النظام الفرنسي هي داين/سم . لاحظ أن كل من جول/متر^{2} و نيوتن/متر متطابقين، وبالمثل يكون إرج/سم^{2} متطابق مع داين/سم.

تجربة لتعيين التوتر السطحي:

هناك تجربة بسيطة لقياس قوة التوتر السطحي لسائل تقوم على أساس هذا التعريف البسيط . لنفرض أن لدينا قطعة سلك على شكل حرف U ربطت قاعدتها بخيط مثبت فى ميزان ثم غمرت داخل السائل المراد إيجاد التوتر السطحي له. عند رفع هذا السلك تدريجياً وببطئ إلى أعلى، نلاحظ أنه قد تكونت طبقة رقيقة من السائل داخل السلك. كما بالشكل التالي:



معنى ذلك أن المساحة الأصلية لسطح السائل قد زادت بمقدار $2l \times d$ حيث ترمز l إلى طول السلك، d إلى عرض طبقة السائل، والمعامل ٢ مرجعه إلى وجود سطحين للسائل. الشغل اللازم لزيادة مساحة السطح هو :

$$W = 2 l d \gamma$$

وباستخدام الميزان الحساس يمكن تعيين الكتلة m التي سببت قوة الشد على السلك قبل تكون الغشاء الرقيق من السائل داخله. قيمة قوة الشد F الناتج عن تكون هذا الغشاء هي:

$$F = m g$$

وحيث أن هذه القوة F قد رفعت السلك مسافة d فإن الشغل المبذول هو:

$W = F \times d = m \times g \times d$

وهذا الشغل يساوي الشغل اللازم لزيادة مساحة السطح أي أن :

$m\ g\ d = 2\ l\ d\ \gamma$

$\gamma = m\ g / 2\ l$

فيما سبق وضحنا ظاهرة التوتر السطحى لسائل بمفردة كقطرة المطر، والآن نلقى الضوء على سائل موجود داخل إناء. هنا لابد من تعريف نوعى القوة التى تعتمد عليها تلك الظاهرة وهما:

- **قوى التماسك :**هي القوى المؤثرة بين جزيئات السائل مع بعضها البعض
- **قوى التلاصق :** هي القوى المؤثرة بين جزئيات السائل وبين جزيئات جدران الاناء الذي يحوي هذا السائل .

وايضا نحتاج لتعريف مهم جدا هو ما يطلق عليها زاوية التماس وهى:.

- **زاوية التلامس "التماس" α:-** هي زاوية داخل السائل تكون محصورة بين جدار الإناء والمماس لسطح السائل.

وتتوقف زاوية التلامس α على نوع السائل ونوع مادة الإناء والوسط الموجود فوق السائل. حيث و قد تكون زاوية التماس اكبر من ٩٠ درجة كما فى حالة الزئبق و الزجاج (١٣٧ درجة) و قد تكون أقل من ٩٠ درجة كما فى حالة الماء و الزجاج غير النظيف أما إذا كان الزجاج نظيفا فإن زاويه التماس مع الماء تساوى الصفر و يقال أن الماء يبلل الزجاج تماما.

وبناء على كل ما سبق فان جزيئات السائل التي تكون عند السطح وقريبة من جدار الإناء فإنها تتعرض لقوة أخري هي قوة التلاصق مع مادة الإناء. وهناك حالتين هما:

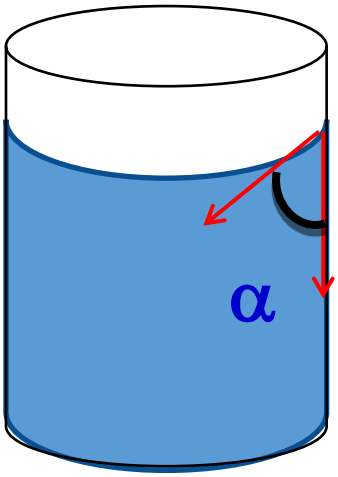
أولاً: محصلة قوى التلاصق < من محصلة قوى التماسك

١. **فإن سطح السائل يأخذ شكلاً مقعراً.**

٢. **يكون في هذه الحالة السائل مبلل لمادة الإناء.**

٣. **زاوية التلامس "التماس" α حادة.**

٤. كما هو الحال فى حالة الزجاج والماء وايضا النحاس والزئبق.



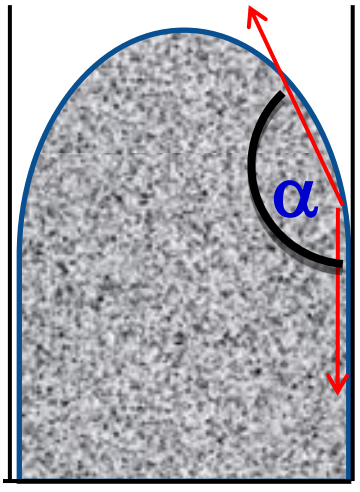
ثانياً: محصلة قوى التلاصق > من محصلة قوى التماسك

١. **فإن سطح السائل يأخذ شكلاً محدباً.**

٢. **يكون في هذه الحالة السائل غير مبلل لمادة الإناء.**

٣. **زاوية التلامس α منفرجة.**

٤. كما فى حالة الزجاج والزئبق.

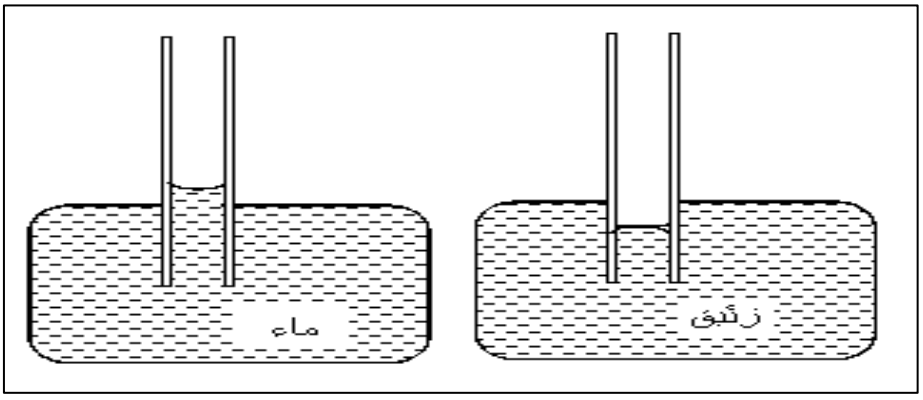


الخاصية الشعرية

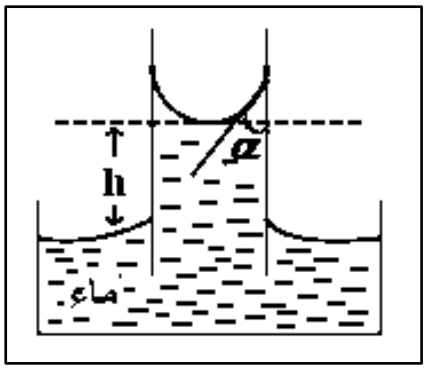
تلعب ظاهرة الخاصية الشعرية دورا ها فى سريان الماء فى النباتات الحية. فهى التى تمكن جذور النبات من امتصاص الماء بما فيه من مواد مغذية ذائبة من التربة. كما أن الخاصية الشعرية هى التى تجعل الماء يسرى إلى سطح التربة خلال الفتحات الشعرية بين حبيبات التربة. و فى المناطق الجافة يحاول المزارعون الإقلال من فقد التربة للرطوبة و ذلك بأن يجعلوا التربة السطحية أقل تماسكا و بالتالى تتسع الفتحات الشعرية على السطح و يقل سريان الماء إلى أعلى أى تحتفظ الأرض بالماء فترة أطول.

من الأمثلة الأخرى على الخاصية الشعرية هى أنك إذا غمرت طرف فوطة فى الماء و تركتها فترة ستجد أن الماء يرتفع ببطء إلى أعلى الفوطة. كما أن الكيروسين يرتفع فى شريط مصباح الكيروسين بالخاصية الشعرية.

إذا غمرنا طرف أنبوبة زجاجية ذات قطر داخلى صغير رأسيا فى سائل فإننا نلاحظ تغير ارتفاع السائل فى الأنبوبة الشعرية و يعتمد ذلك على زاوية التماس بين السائل و الزجاج. فإذا كانت زلوية التماس حادة كما فى حالة الماء فى الزجاج (المفروض أنها فى حالة الزجاج النظيف و الماء النقى تساوى الصفر) فإن الماء يرتفع فى الأنبوبة الشعرية أما إذا كانت الزاوية أكبرمن ٩٠ درجة كما فى حالة الزئبق و الزجاج فإن السائل ينخفض فى الأنبوبة الشعرية.



وفي حالة السوائل المبللة لمادة الأنبوبة الشعرية، يعتمد ارتفاع السائل h داخل الأنبوبة الشعرية على :



١. نوع السائل
   - ✓ كثافته ρ.
   - ✓ معامل توتره السطحي γ
   - ✓ زاوية التماس α.
٢. نصف قطر الأنبوبة الشعرية r.

ولإيجاد العلاقة بين نصف قطر الأنبوبة r والارتفاع h، نحسب أولاً:

حجم السائل المرتفع في الأنبوبة الشعرية = $\pi r^2 h$

كتلة السائل المرتفع في الأنبوبة = الحجم × الكثافة

$$= \pi r^2 h \rho$$

وزن عمود السائل المرتفع في الأنبوبة = الكتلة × عجلة الجاذبية الارضية

$$= \pi r^2 h \rho g$$

وزن عمود السائل هذا يتزن مع قوة التوتر السطحي F المسببة لإرتفاعه:

$$F = 2\pi r \gamma \cos \alpha$$

وكما هو معلوم أن زاوية التماس α فى حالة الزجاج النظيف والماء النقى تساوى تقريباً الصفر، وبالتالي فإن:

$$\cos \alpha = 1$$

فتصبح قوة التوتر السطحي F مساويه:

$$\therefore F = 2\pi r \gamma$$

وبمساواتها بوزن عمود الماء نحصل علي:

$$\therefore 2\pi r\gamma = \pi r^2 h\rho g$$

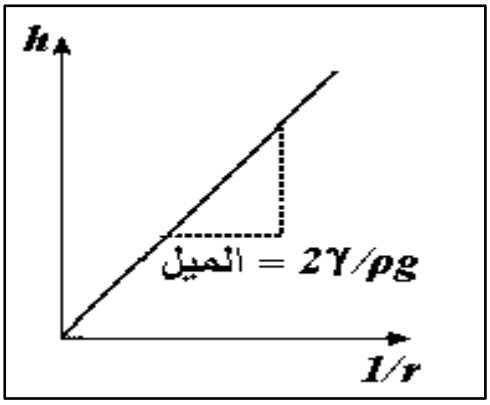
ومنها:

$$h = 2\gamma/r\rho g$$

تجربة لتعيين التوتر السطحي بطريقة الأنابيب الشعرية:

نغمر أنبوباً شعرياً نظيفاً (نصف قطره r معلوم) بشكل رأسي في كأس يحوى السائل المراد تعيين توتره السطحي. نقيس الارتفاع h بين سطح السائل في الكأس ومستوى السائل في الأنبوبه الشعريه.

نكرر ما سبق عدة مرات لقيم مختلفة من r.



نرسم العلاقة بين h علي المحور الرأسي وبين 1/r علي المحور الأفقي لتحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي $2\gamma/\rho g$.

بمعلومية كل من ρ كثافة السائل، g عجلة الجاذبية الأرضية، نعين معامل التوتر السطحي للسائل γ.

تمرين

أنبوبة شعرية قطرها ٠,٥ ملم وضعت رأسياً داخل حوض به سائل توتره السطحي ٠,٠٣ نيوتن/متر، فإذا كان السائل مبلل كلياً لمادة الأنبوبة، وكثافته ٨٠٠ كجم/متر^3، احسب إرتفاع السائل داخل الأنبوبة الشعرية.

التوتر السطحي في الحياة اليومية:

تقدم ظاهرة التوتر السطحي تفسيراً لكثير من الظواهر الشائعة في حياتنا والتي يظهر فيها سطح السائل كأنه غشاءًا مرناً مشدوداً. فعلي سبيل المثال:

- بعض الحشرات الخفيفة يمكنها الوقوف والسير فوق سطح الماء دون أن تبتل. لأن سطح الماء يعمل كغشاء رقيق مرن يحاول أن يمنع أى جسم من أختراقه . ولمقاومة البعوض ترش فوق المستنقعات وبرك المياه بعض المواد التي تقلل من التوتر السطحي للماء "مثل الزيت أو الكيروسين"، حتي لاتستطيع البعوضة أن تقف علي سطح الماء وتضع بيضها. وحتى لا تستطيع يرقات البعوض أن تتعلق بسطح الماء فتغوص وتغرق.
- تسوية فوهات الأنابيب الزجاجية : عند قطع انبوبة زجاجية يقوم صانع الزجاج بتسخين فوهتها إلى درجة الانصهار حيث تعمل خاصية التوتر السطحى للزجاج المنصهر على جذب الأجزاء الحادة فيستدير طرف الأنبوبة بشكل منتظم.
- قدرة الصابون و المنظفات الصناعية على التنظيف: عند سكب ماء نقى على لوح من الزجاج مغطى بطبقة دهنية تلاحظ أن الماء ينتشر عليه على هيئه قطرات متقطعه بسبب كبر معامل التوتر السطحى للماء . ولكن عند أضافة الصابون الى الماء يعطى محلولا معامل التوتر السطحى له أقل لذلك عند سكبه على اللوح الزجاجى السابق ينتشر على سطحه ويبلله تماما فيتمكن بذلك الصابون من ازاله البقع.

أسئلة :

١ – ما المقصود بالخاصة الشعرية، وكيف يمكن تفسيرها؟
٢ – أيهما أكثر قدرة على امتصاص العرق صيفاً، الملابس القطنية أم الحريرية، ولماذا؟
٣– ما العوامل التي يعتمد عليها ارتفاع السائل في الأنابيب الشعرية؟

[4]

ميكانيكا الموائع

ميكانيكا الموائع هو العلم الذى يدرس ميكانيكا السوائل والغازات أو بمعنى آخر العلم الذى يدرس الموائع فى الحركة والسكون . ويعتمد أساسا على نفس المبادىء المستخدمة فى ميكانيكا المواد الصلبة

يمكن تقسيم ميكانيكا الموائع الى قسمين :

☒ **استاتيكا الموائع :** وهى دراسة القوى المءثرة على الموائع فى حالة السكون

☒ **ديناميكا الموائع :** وهى دراسة الموائع أثناء الحركة

إن أهمية ميكانيكا الموائع تتضح تماما عندما نفكر فى الدور الذى تلعبه فى حياتنا اليومية . ففى مجال التكييف والتبريد هناك الماء المثلج الذى يضخ خلال المواسير ، والهواء البارد يدفع بواسطة المراوح خلال مجارى الهواء لتكييف المنازل. والكهرباء التى نستخدمها وطرق توليدها من المساقط المائية التى تدفع الماء خلال التوربينات والتى تولد الطاقة الكهربية . أو من الطاقة الحرارية من البخار الذى يدفع خلال التوربينات البخارية لتوليد الطاقة الكهربية , وسياراتنا التى نقودها الاطارات الهوائية تعطى السيارات التعليق , الوقود يضخ عبر أنابيب .. بل إن حياتنا اليومية تعتمد على الموائع . فسريان الدم فى أوردتنا وشراييننا هو عملية ميكانيكا الموائع.

☒ **الضغط في الموائع:**

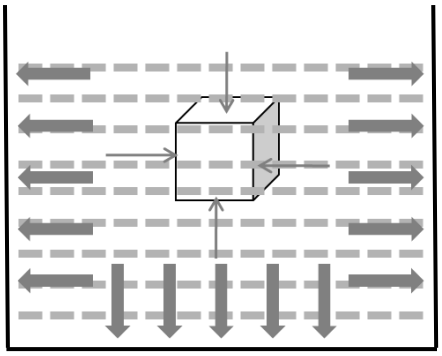
من الممكن أن يؤثر الجسم الصلب على سطح ما بقوة ويكون اتجاه هذه القوة في جميع الاتجاهات. بينما القوة التي يؤثر بها السائل على سطح ما (الإناء ألذي يحويه أو جسم مغمور فيه) لابد أن تكون قوة عمودية.

لذلك كان من الأفضل وصف القوة المؤثرة في حالة السؤال بفكرة الضغط. حيث أن الضغط P هو مقدار القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات من السطح.

وتكتب رياضيا على الصورة:

$$P = \frac{F}{A}$$

حيث أن A مساحة السطح.



ويقاس الضغط في النظام العالمي للوحدات بوحدة نيوتن/م^{2} وتسمي **باسكال**. وعمليا تعد هذه الوحدة صغيرة جدا، لذلك يستخدم البار بدلا منها حيث أن **الواحد باريساوى 10^5 باسكال.**

وقيمة الضغط عند نقطة داخل سائل تعطى من العلاقة:

$$P = P_0 + \rho g h$$

حيث أن ρ هي كثافة السائل، g هي تسارع الجاذبية الأرضية ، h العمق، أما P_0 فهو الضغط الجوي.

إذا كانت كثافة الزئبق 13.6 جم/سم٣ وارتفاعه عن سطح البحر 76 سم ، فان الضغط الجوي يعطى من:

$$P_0 = \rho g h$$

$$P_0 = 13.6 \times \underline{\mathbf{1000}} \times 9.8 \times 0.76 = 1.013 \times 10^2 \ N/m2$$

تدريب: غواصة تستطيع أن تغوص إلى عمق أقصاه 1000 m تحت سطح البحر. احسب أقصى ضغط يتحمله غلافها الخارجي إذا كان الضغط الجوي يعادل 75 سم زئبق وكثافة ماء المحيط $1.3\ gm/cm^3$ وكثافة الزئبق $13.6\ gm/cm^3$.

اللزوجة

هي خاصية للمادة تتسبب في وجود قوي مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل تعوق انزلاقها فوق بعضها البعض أو هي مقاومة السوائل للانسياب بفعل قوى من نوع قوى الاحتكاك، وتقل لزوجة السائل بزيادة قابليته للانسياب والعكس صحيح. تعريف اخر : هي مقاومة السائل للجريان. او مقاومة السائل لحركة الاجسام داخله.

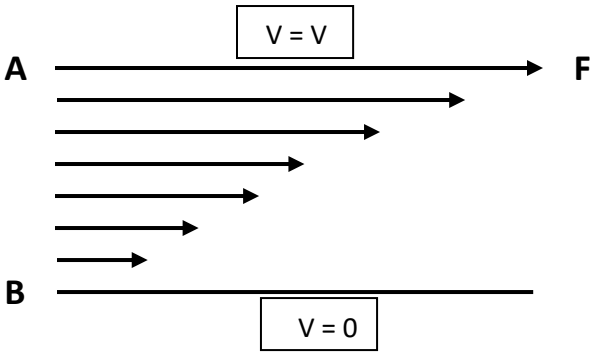
وبصفة عامة هي خاصية من خواص المادة تتحكم بمعدل سريانه ولا تقتصر على السوائل فقط بل أن للغازات لزوجة وبهذه الخاصية يتعين سهولة إنسياب المائع .

ومن تجارب اللزوجة وجد ان:

- بعض الموائع تكون قابليتهاللإنسياب والحركة كبيرة وتكون مقاومتها لحركة الأجسام الصلبة فيها صغيرة فتكون ذات لزوجة صغيرة (مثل الماء- الكحول) .
- بعض الموائع تكون قابليتهاللإنسياب والحركة صغيرة وتكون مقاومتها لحركة الأجسام الصلبة فيها كبيرة فتكون ذات لزوجة كبيرة (مثل العسل- الجليسرين).

☒ **تفسير خاصية اللزوجة:**

إذا كان السطحان A و B يحصران بينهما طبقة رقيقة من سائل ثم أثر في السطح A بقوة F لتحريكه بسرعة صغيرة وثابتة V بالنسبة للسطح الساكن B فيلاحظ أن السائل بين اللوحين يتحرك في هذه الحالة وكأنه مكون من صفائح أو طبقات. كما هو موضح فى الشكل التالى:



تتناقص سرعتها بالبعد عن اللوح A وتكون سرعة الطبقة الممتزة على السطح A مساوية لسرعته أي V بينما تنعدم سرعة الطبقة الممتزة على السطح B يسمى هذا النوع من الجريان والذي يتحقق في حالة السرعات البطيئة (أي في حالة التدفق الصغير) بالجريان الصفائحي أو الانسيابي، أما إذا كانت السرعة v كبيرة تكون سرعة الجريئات عشوائية ويسمى الجريان في هذه الحالة بالجريان المضطرب.

وقد وجد أن سبب هذه الظاهرة هو **الاحتكاك** بين طبقات السائل. وأن السائل يتحرك عند التأثير على طبقاته **بقوة مماسية**. ولكل سائل معامل لزوجة خاص به تتوقف قيمته على نوع السائل ودرجة حرارته.

<u>ويمكن استنتاج معامل اللزوجة على النحو التالي:</u>

يسمى مقدار التغير في السرعة Δv خلال وحدة المسافات Δh بانحدار (تدرج) السرعة.

$$\text{انحدار السرعة} = \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

أما إذا كانت سرعة الطبقة العليا v وسرعة الطبقة السفلى صفر وكان العمق هو h فان المعادلة السابقة تكتب على الصورة:

$$\text{انحدار السرعة} = \frac{v}{h}$$

أما القوة المماسية المحركة للطبقة العليا فسوف نستخدم بدلا منها تعبيرا أكثر دقة وهو الإجهاد المماسي F/A حيث A هي المساحة التي تؤثر عليها القوة.

ويتناسب الاجهاد المماسي اللازم لاحداث حركة نسبية في كثير من السوائل مع انحدار السرعة، أي أن:

$$\frac{F}{A} \ \alpha \ \frac{v}{h} \qquad \therefore \frac{F}{A} = \eta \ \frac{v}{h}$$

وحيث η ثابت التناسب وهو معامل اللزوجة. وتتوقف قيمة معامل اللزوجة لسائل على نوع السائل ودرجة حرارته.

$$\therefore \eta = \frac{F/A}{v/h} \qquad \frac{N/m^2}{m.sec/m} = N.sec/m^2$$

ويقاس معامل اللزوجة في النظام الدولي للوحدات بوحدة نيوتن.ث/م٢. أما في نظام CGS داين.ث/سم٢ وتشتهر هذه الوحدة باسم البواز.

وهنا يمكننا تعريف معامل اللزوجة كما يلى:

معامل اللزوجة هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات فينتج عنها فرق في السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة .

☒ تعيين معامل اللزوجة بطريقة ستوكس

لقد درس ستوكس حركة الأجسام في السوائل اللزجة غير القابلة للانضغاط وافترض أن حركة الجسم في المائع هي حركة منتظمة وعمودية وجريان السائل حول الجسم هو جريان صفائحي غير مضطرب.

أن القوة التي تعيق حركة الجسم في السائل تتناسب مع سرعة الجسم أي أن قوة الإعاقة الناتجة عن لزوجة السائل هي:

$$F_d = f\ v$$

ويسمى f بمعامل الاحتكاك ويعتمد على لزوجة السائل والأبعاد الخطية للجسم المتحرك (نصف القطر في حالة الجسم الكروي) ولذلك فإن:

$$\mathrm{f} = \mathrm{k}\,\eta\,\mathrm{r}$$

حيث η هى معامل اللزوجة لسائل، r نصف قطر الجسم الكروى.

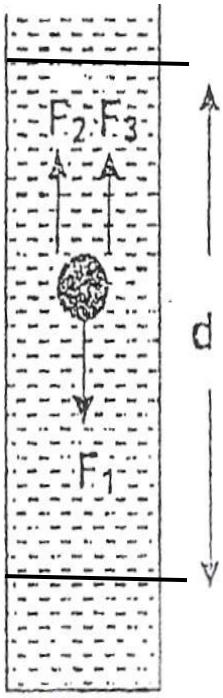
و K ثابت يعتمد على هندسة الجسم وفي حالة الجسم الكروي يكون $K = 6\pi$ وعليه فان الصورة النهائية لقوة الاعاقة الناتجة عن لزوجة السائل تكون على الصورة التالية:

$$F_d = 6\pi\,\eta\,\mathrm{r}\,v$$

تسمى معادلة الأخيرة بقانون ستوكس في اللزوجة.

يمكن استخدام نظرية ستوكس لتعيين معامل اللزوجة لسائل وذلك بدراسة حركة كرة خلال السائل علماً بأن جريان السائل حول الكرة يجب أن يكون صفائحياً، وباعتبار الشكل التالى فان هناك ثلاث قوى تؤثر فى الكرة هى:

١. قوة وزن الكرة واتجاهها للاسفل:



$$F_1 = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s g$$

حيث ρ_s هى كثافة الكرة.

٢. قوة دفع السائل للكرة واتجاهها للاعلي:

وهى تساوى وزن السائل المزاح (ارشميدس)

$$F_2 = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_l g$$

حيث ρ_l هى كثافة الكرة.

٣. قوة الاعاقة الناتجة عن لزوجة السائل واتجاهها للاعلي:

$$F_3 = 6\pi\,\eta\,\mathrm{r}\,v$$

يلاحظ أن القوتين (١) و (٢) ثابتتان أما القوة الثالثة فتعتمد على سرعة الكرة وتكون هذه السرعة غير ثابتة في بداية الحركة بل تزداد بتسارع متناقص وبزيادتها تزداد القوة F_3 حتى تتزن القوى المؤثرة في الكرة وتصبح عند ذلك حركة الكرة منتظمة وسرعتها ثابتة ويكون عند ذلك:

$$F_1 = F_2 + F_3$$

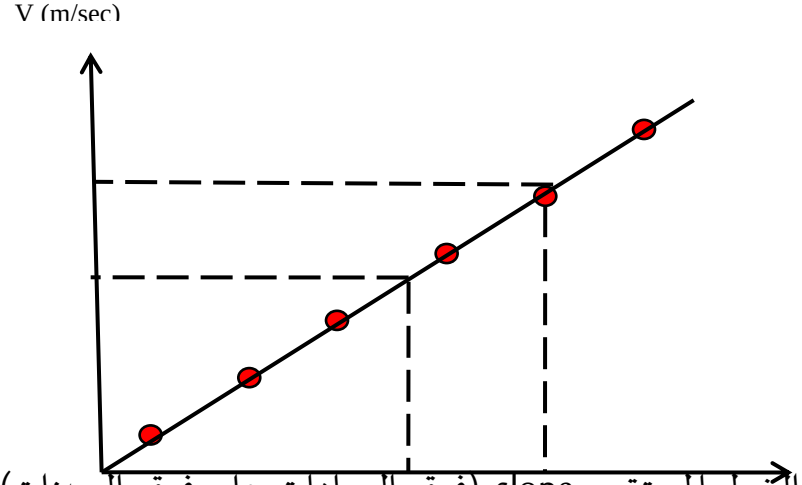
وبالتعويض والاختصار يمكن الحصول على العلاقة التالية:

$$\mathrm{V} = \frac{2}{9}(\rho_s - \rho_l)\frac{g}{\eta} r^2$$

وعمليا يمكن إيجاد معامل لزوجة سائل على النحو التالي:

نعتبر الشكل السابق وهو عبارة عن أنبوبة بها سائل المراد تعيين معامل لزوجته. نحضر كرة معلومة نصف قطرها (يمكن قياس نصف القطر باستخدام الميكرومتر) ونسقطها في السائل. عندما تصل الكرة إلى العلامة الأولى الموجودة على جدار الأنبوبة نبدأ في تسجيل الزمن حتى تصل إلى العلامة الثانية. نقيس المسافة بين العلامتين وبذلك يمكن إيجاد السرعة (خارج قسمة المسافة على الزمن). نكرر الخطوات السابقة لكور أخرى مختلفة في أنصاف أقطارها.

نرسم العلاقة البيانية بين السرعة V على المحور y وبين مربع نصف قطر الكرة r^2 على المحور x، نحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل. كما هو بالشكل.



بحساب ميل الخط المستقيم slope (فرق الصادات على فرق السينات). وبمعرفة كثافة الكرة والسائل يمكن الحصول على معامل اللزوجة من العلاقة المقابلة.

$$\eta = \frac{2}{9}(\rho_s - \rho_l)\frac{g}{slope}r^2$$

☒ **العوامل المؤثرة على اللزوجة**

ان لزوجة السوائل بإرتفاع درجة حرارتها تقل بينما تزيد لزوجة الغازات بإرتفاع درجة الحرارة تزداد. وذلك لأنه عند ارتفاع حرارة السائل تزيد المسافات بين الجزيئات فيقل الاحتكاك بينها ومن ثم تقل اللزوجة. بينما تزيد عدد للتصادمات بين جزيئات الغاز مما يسبب زيادة في الاحتكاك و من ثم زيادة اللزوجة.

☒ **تطبيقات اللـزوجـة:**

التزييت والتشحيم (الغرض منه):

١. **تقليل الحرارة المتولدة عن الاحتكاك.**
٢. **حماية أجزاء الألة من التآكل.**
٣. **تقليل الاحتكاك الذي يستهلك طاقة.**

•**مميزات الزيت اللازم للتزيت:**

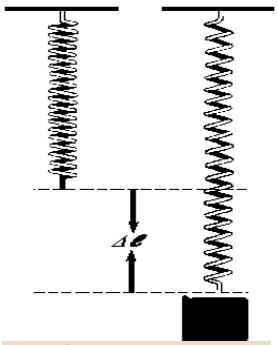
١. **لزوجته عالية ليلتصق بشدة بأجزاء الألة ولا ينساب بدورانها.**
٢. **يختلف زيت الألة صيفاً عنه شتاءً فتقل اللزوجة بارتفاع درجة الحرارة**

تدريب: احسب السرعة النهائية لكرة فلزية قطرها ٢ مم، سقطت في سائل كثافته ١,٣ جم/سم٣ . إذا علمت أن كثافة الكرة تساوي ٨ جم/سم٣ ومعامل لزوجة السائل ٧,٣ بواز.

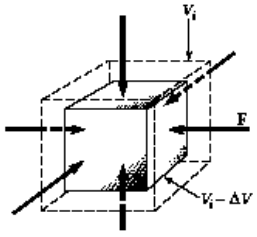
[4]

المرونة

تمهيد: إذا أثرت قوة خارجية على جسم، فإنه يستجيب لهذه القوة فيتحرك تحت تأثيرها بسرعة وتسارع ما ويقطع مسافة معينة خلال زمن معين. ولكن في بعض الأحيان يكون الجسم مثبتاً بطريقة أو بأخري، فعندما تؤثر عليه قوة خارجية لا تحركه ولكن تغير من شكله. التغير الحادث في شكل الجسم يتناسب مع القوة المسببة لذلك. وهذا التغير يكون إما في طول الجسم أو في شكله أو حجمه. كالامثلة التالية:



- عند التأثير على زنبرك مثبت في حائط بقوة شد فإنه لا ينتقل من مكانه ولكنه يستطيل.
- عند التأثير على وجهين متقابلين لمكعب أو كتاب بإزدواج فإن شكل المكعب أو الكتاب سيتغير.



- عند التأثير على جميع أوجه مكعب بضغط P فإن حجم المكعب سيتناقص.

وعند زوال القوة المؤثرة علي الجسم يكون هناك ثلاثة إحتمالات يمكن على اساسها تقسيم الاجسام كالتالى:

جسم تام المرونة	**يستعيد الجسم حالته السابقة تماماً، أي يستعيد شكله وحجمه الأصلي تماماً.**
جسم مرن	**يستعيد الجسم جزء من حالته السابقة أي يستعيد شكله وحجمه جزئياً.**
جسم عديم المرونة "لدن"	**لا يستعيد الجسم لا شكله ولا حجمه الأصلي ويحتفظ بتغيرهما دائماً.**

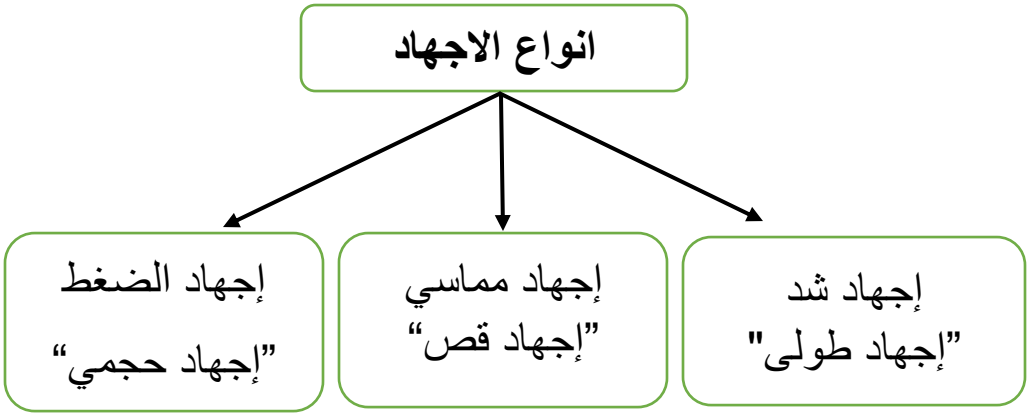
المرونة: خاصية للأجسام تمكنها من استعادة شكلها وحجمها الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة عليها.

ولكى نتمكن من دراسة تلك الخاصية لابد من استنتاج تعبيرا رياضيا يعبر عنها يسمى معامل المرونة يمكن استنتاجه كما يلى:

اولا تسمي القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات بمفهوم الاجهاد. ورياضيا يكتب على الصورة:

$$\text{الاجهاد} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{A}} \qquad \frac{\boldsymbol{N}\ \text{نيوتن}}{\boldsymbol{m^2}\ \text{مترمربع}}$$

اى ان وحدة قياس الاجهاد نيوتن /م^2. وطبقا للامثلة السابقة التى تعبرعن انواع القوة المسببة تبعا للتغير الحادث فى الطول او الحجم او الشكل فان الاجهاد له ثلاث انواع كما يلى:



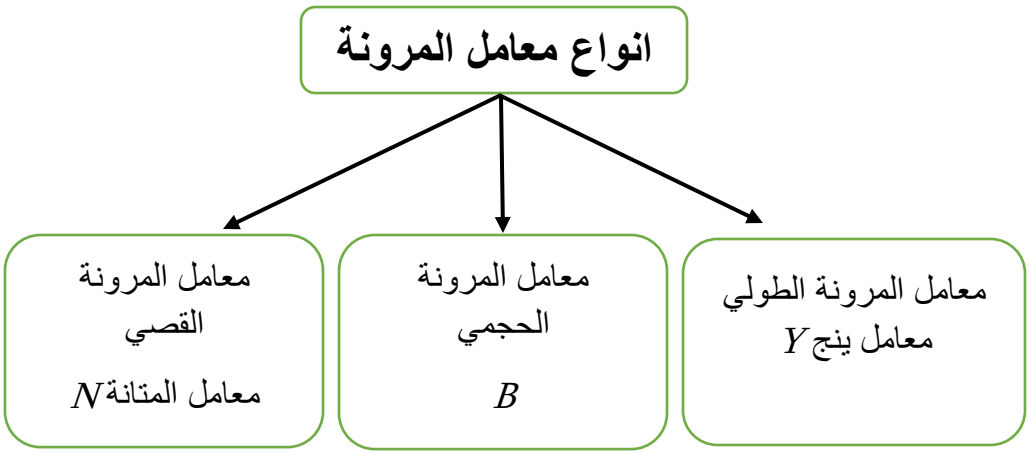
اما النسبة بين التغير الحادث في الجسم عند التأثير عليه بقوى خارجية إلي أبعاد الجسم الأصلية يعرف فيزيائيا بمفهوم الانفعال. وليس له وحدة قياس حيث انه نسبة من نفس النوع. وايضا تبعا لتقسيم الاجهاد يقسم ايضا الانفعال الى ثلاث انواع هى كالتالى:

الانفعال الطولي	وهو النسبة بين التغير في طول الجسم Δl والطول الأصلي l_0.
الانفعال القصي	يساوى ظل الزاوية φ الناشئة من التأثير على الجسم بقوي مماسية.
الانفعال الحجمي	هو عبارة عن التغير في الحجم ΔV إلى الحجم الأصلي V.

وبمعرفة كلا من مفهومى الاجهاد والانفعال يمكن تعريف معامل المرونة:

معامل المرونة: هو النسبة بين الإجهاد والانفعال تسمى معامل المرونة. ووحدة قياسه هى وحدة قياس الاجهاد وهى نيوتن/م٢.

وطبقا لمعامل المرونة ثلاث انواع كما يلى:



وفى يلى نعطي تعريفا بسيط لكل معامل من معاملات المرونة وكذا كتابتة بطريقة رياضية:

معامل المرونة الطولى "معامل ينج Y":

اكتشف العالم ينج أن النسبة بين الإجهاد والإنفعال فى مرحلة المرونة للمادة المرنة تساوي دائم ا مقدار ا ثابت ا للمادة الواحدة. بمعنى أن الحديد له قيمة مميزة عن النحاس عنه فى الذهب و هكذا وسمى هذه النسبة بمعامل ينج ويكتب على الشكل التالى:

$$Y = \frac{\text{الاجهاد الطولى}}{\text{الانفعال الطولى}} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

معامل المرونة الحجمي ومعامل الانضغاطيه

يعرف بانه النسبه بين الاجهاد الحجمي والانفعال الحجمي، فاذا اثرت قوة F على مساحة A من جسم صلب فان الاجهاد المؤثر على الجسم "الضغط" يعطى بالعلاقة $p = \frac{F}{A}$ ونتيجة لهذا الضغط يتغير حجم الجسم بمقدار ΔV وعليه يكتب معامل المرونة الحجمية على الصورة التالية:

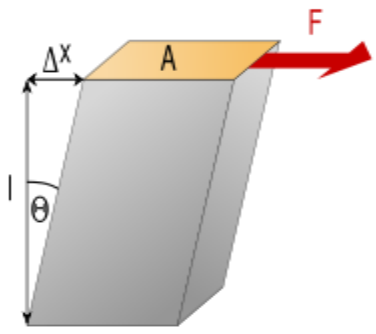
$$B = -\frac{P}{\Delta V/V}$$

والاشارة السالبة هنا تدل على ان حجم الجسم يقل مع زيادة الضغط.

و يسمى مقلوب معامل المرونة الحجمي بمعامل الانضغاطية.

$$K = \frac{1}{B} = -\frac{\Delta V/V}{P}$$

معامل المرونة القصي "معامل المتانة "N



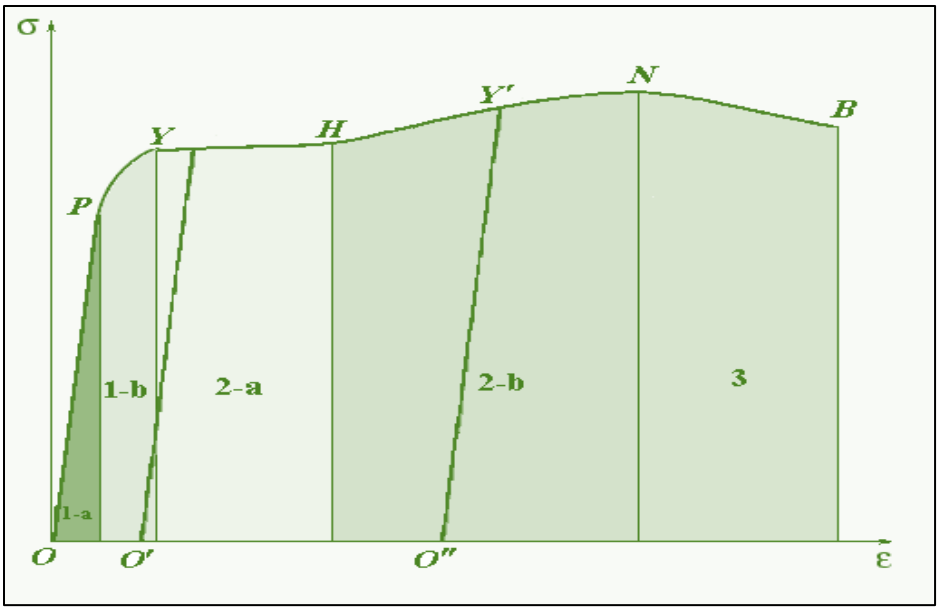
يعرف القص بانه التغير فى شكل الجسم دون تغير فى حجمه ويحدث ذلك تحت تاثير إجهاد مماس ومعامل القص عبارة عن نسبة إجهاد القص الى الانفعال القص الحادث بتاثيرة ويقدر إجهاد القص بالقوة السطحية المؤثرة فى وحدة المساحات من سطح الجسم ويقدر إنفعال القص

بزاوية القص فاذا كانت F هى القوة المؤثرة على مساحة مقطع مكعب A لتحدث زاوية إنحراف فى الطبقات بمقدار θ ويكون :

$$\text{N} = \frac{\text{الاجهاد القص}}{\text{انفعال القص}} = \frac{F/A}{\theta}$$

منحني الاستطالة:

العلاقة بين الإجهاد الطولي والانفعال الطولي لمادة مرنة من الأمور الهامة في الفيزياء لمعرفة طبيعة المواد وخواصها الميكانيكية. كما بالشكل التالى ويمكن تقسيم شكل هذه العلاقة إلي عدة مناطق كالآتي:



١) منطقة المرونة: في المنطقة (١) يكون السلك في هذه المنطقة تام المرونة. وتنقسم تلك المنطقة في بعض المواد إلي منطقتين:

a) منطقة التناسب: في المنطقة (a-1) يتبع السلك قانون هوك. وتسمى النقطة P بحد التناسب.

b) في المنطقة (b-1)عند زيادة الإجهاد عن حد التناسب P يظل السلك تام المرونة ولكن لا يتبع قانون هوك أي أن العلاقة بين الإجهاد والانفعال تكون غير خطية.

٢) منطقة التشوه اللدن: إذا زاد الإجهاد عن إجهاد النقطة Y التي تسمي بنقطة الإذعان أو الخضوع نجد أن السلك يفقد مرونته. وتنقسم تلك المنطقة في بعض المواد "مثل الحديد الصلب" إلي منطقتين:

a) منطقة الإذعان أو الخضوع: يكون الانفعال كبيراً لأي زيادة صغيرة في الإجهاد، فيكون الميل قريباً من الصفر.

b) منطقة التصلد الانفعالي: بعد النقطة H لابد من زيادة الإجهاد بقيمة كبيره نسبياً للحصول علي انفعال محسوس. يكون السلك سهل الكسر عند ثنيه أو طرقه.

٣) منطقة الاختناق والإخفاق: يمكن زيادة الإجهاد حتى النقطة N التي تمثل أقصي إجهاد يتحمله السلك وتسمي بنقطة الاختناق.

٤) ولكن إذا زاد الإجهاد عن إجهاد النقطة N زيادة طفيفة يبدأ السلك في الاختناق فتتناقص مساحة مقطعه a سريعاً في منطقه عند منتصف السلك تقريباً، ويستمر النقص في مساحة المقطع حتى ينكسر السلك عند نقطة الكسر B.

قانون هوك:

ينص قانون هوك على أنه: قبل حد المرونة فان مقدار الاستطالة الحادثة في قضيب أو زنبرك يتناسب طردياً مع مقدار قوة الشد المؤثرة.

$$F \ \alpha \ \Delta L \qquad \therefore \quad F = K\Delta L$$

حيث K ثابت التناسب ويسمي ثابت الزنبرك ويمكن تعريفه كما يلى:

ثابت الزنبرك هو عبارة عن القوة اللازمة لإحداث تغير في الطول مقداره الوحدة. وعليه وحدة قياسه نيوتن/م او داين/سم.

من تعريف معامل المرونة الطولى او معامل ينج الذى يكتب رياضيا كما يلى:

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{F}{\Delta L}\frac{L}{A}$$

بالتعويض عن $\frac{F}{\Delta L}$ بثابت الزنبرك k نحصل على العلاقة التى تربط ثابت الزنبرك بمعامل ينج.

$$Y = K\frac{L}{A}$$

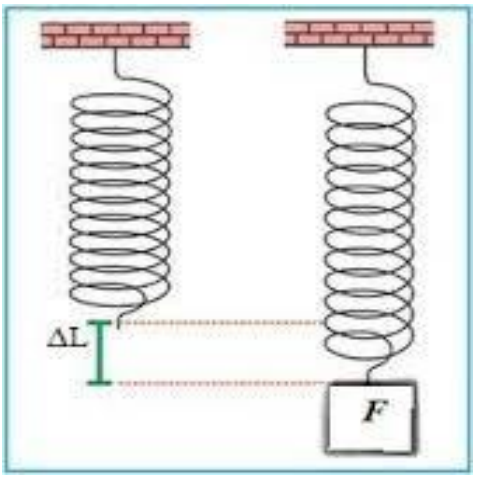
وايضا عادةً ما يكتب قانون هوك بواسطة قوة الارجاع على الصورة:

$$F = - k \Delta l$$

ومعني الإشارة السالبه أنه بزيادة الاستطالة تزيد قوة الارجاع التي تحاول أن تعيد الجسم إلي وضعه الأصلي.

حد المرونة : إذا تجاوزت القوى المؤثرة على الجسم الصلب هذا الحد – مهما كان نوعه – أكسبته تشوهاً دائماً

تحقيق قانون هوك عملياً وتعيين ثابت الزنبرك:



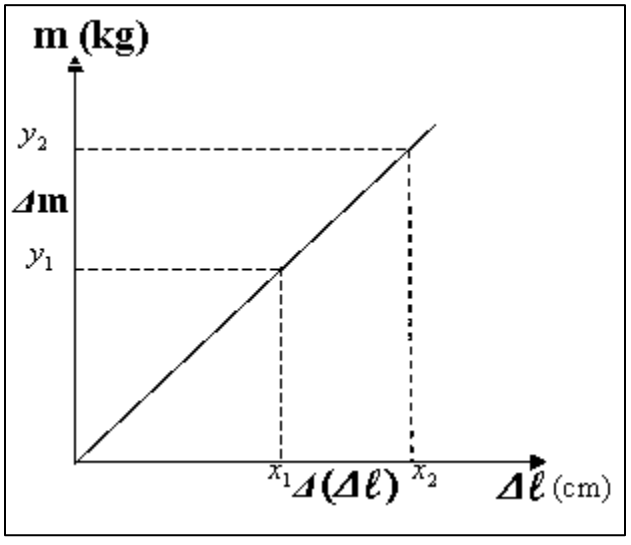
فى داخل معاملنا يمكننا تحقيق قانون هوك عمليا عن طريق نعلق كتلاً مختلفة m في طرف الزنبرك ثم نحدد في كل مرة استطالة الزنبرك عند الاتزان. وبالاخذ فى الاعتبار العلاقة السابقة ويمكن كتابتها على الصورة التالية:

$$K = \frac{F}{\Delta L} = \frac{mg}{\Delta L} \quad \rightarrow \quad m = \frac{K}{g}\Delta L$$

وتم التعويض عن القوة المؤثرة بحاصل ضرب الكتلة فى عجلة الجاذبية الارضية.

نرسم العلاقة بين الكتلة علي المحور الرأسي وبين الإستطالة Δl علي المحور الأفقي، فنحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وهذا يحقق قانون هوك وميله يساوي k/g.

من ميل الخط الناتج نحسب ثابت الزنبرك k.

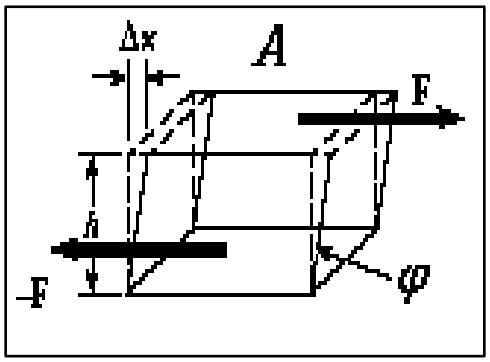


تمارين

(١) في تجربة لقياس معامل ينج للفولاذ، علق جسم وزنه 10 كيلو نيوتن بسلك من الفولاذ طوله 4 متر ومساحة مقطعه 1 سم^{٢} فزاد طول الجسم بمقدار 0.1 سم احسب كل من:

١- الإجهاد ٢- الانفعال ٣- معامل ينج

(٢) مكعب طول ضلعه 10 سم، تؤثر فيه قوة قص قدرها 1000 كيلو نيوتن، مما سبب إزاحة قدرها 0.03 سم للجانب العلوي بالنسبة للجانب السفلي. احسب قيمة معامل القص.



(٣) اسقطت كره من الرصاص حجمها $0.5\ m^3$ فغطست إلى عمق حيث ضغط الماء $2 \times 10^7\ \frac{N}{m^2}$ فإذا كان معامل الحجم للرصاص هو 7.7×10^9 فاحسب الانضغاطيه للكره؟

(٤) عند دراسة قانون هوك ندرس العلاقه بين .....

الكثافه والحجم

الاجهاد والانفعال

السرعه والزمن

التسارع و الزمن

(٥) الاجسام التي تحتفظ بالتشوه بعد زوال القوه

مرن تام المرونه عديم المرونه شاد السلوك

(٦) الاجسام التي تستعيد حالتها السابقه جزئيا بعد زوال القوه

مرن تام المرونه عديم المرونه شاد السلوك

(٧) الانضغاطيه.....

مقلوب معامل الحجم

مقلوب مربع معمل الحجم

يساوي معامل الحجم

يساوي مربع معامل الحجم

(٨) معامل يونج يرتبط بالتغير في.....

الطول الشكل الحجم السرعه

(٩) معامل القص يرتبط بالتغير في.....

الطول الشكل الحجم السرعه

(١٠) معامل الحجم يرتبط بالتغير في .....

الطول الشكل الحجم السرعه

(١١) معامل يونج ينطبق فقط على .....

الجوامد السوائل الغازات الجوامد والسوائل

(١٢) معامل القص ينطبق فقط على .....

الجوامد السوائل الغازات الجوامد والسوائل

(١٣) معامل الحجم ينطبق فقط على .....

الجوامد السوائل الجوامد والسوائل والغازات الجوامد والسوائل

[5]

الغازات

تتكون الغازات من جزيئات صغيرة ومتباعدة كثيرا عن بعضها اذ يقدر معدل المسافة بين الجزيئات بعشرة امثال قطر الجزيئة . وتكون سرعتها مقاربة لسرعة الصوت في الهواء . ان تباعد جزيئات الغاز عن بعضها البعض بمسافات اكبر من اقطارهذه الجزيئات ادى الى انعدام الاحتكاك الداخلي بينها, والى هذا السبب ايضا تعزى قابلية الغازات على الانكماش لكونها لاتمتلك شكلا محددا ولا حجما ثابتا , اذ تملا جزيئات الغاز كل انحاء الوعاء الذي توضع فيه.

- **الغاز المثالي:** هو الغاز الذي تكون جزيئاته متناهية في الصغر ، تامة المرونة،ينعدم بينها الأحتكاك لأنها لاتؤثر في بعضها البعض بأية قوى. ان الغاز المثالي غير موجود في الحقيقة.
- **الغاز الحقيقي:** هو الغاز الذي جزيئاته صغيرة ومتباعدة عن بعضها البعض. وعند الظروف الأعتيادية من ضغط ودرجة حرارة تقترب خواص الغاز الحقيقي من خواص الغاز المثالي.
- **تتميز جميع الغازات بالخواص الفيزيائية التالية:**
  - ✓ تأخذ شكل وحجم افناء الموجودة فيه.
  - ✓ ان جميع الغازات قابلة للضغط.
  - ✓ نختلط الغازات مع بعضها البعض بشكل تام عند وجودها فى غناء واحد.
  - ✓ كثافة الغازات اقل بكثير من كثافة المواد الصلبة والسائلة.

- **النظرية الحركية للغازات**

تعتمد النظرية الحركية للغازات على الفرضيات الرئيسيه التي يمكن اجمالها في النقاط التالية:-

١. تتكون الغازات من جزيئات متناهية في الصغر (كتلة نقطية) أي انها تملك كتلة ولا تملك حجم.
٢. اهمال القوى المؤثرة بين جزيئات الغاز، ماعدا لحظة التصادم.
٣. تكون حركة الجزيئات عشوائية ومستمرة وبخطوط مستقيمة بين التصادمات.
٤. تكون جزيئات الغاز تامة المرونة ، وكذلك التصادم بين الجزيئلت يكون مرنا.
٥. درجة حرارة الغاز هي المقياس لمتوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها جزيئاته نتيجة لحركتها.

- **عدد افوجادرو:** تحتوي الحجوم المتساوية للغازات جميعها على نفس عدد الجزيئات بشرط ان تكون تحت نفس الظروف من ضغط ودرجة حرارة. لذلك فأن عدد افوكادرو من جزيئات الغاز تشغل نفس الحجم تحت نفس الظروف من ضغط ودرجة حرارة, وبالتحديد فان المول الواحد من اي غاز تحت الظروف القياسية من ضغط ودرجة حرارة سوف يشغل الحجم نفسه والذي مقداره 22.4 لتر.

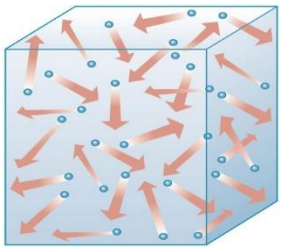
$N_A = 6.022 \times 10^{26}$ particle/ kg.mole

$N = n\, N_A$

حيث ان: عدد جزيئات الغاز N ، عدد المولات n ، عددافوجادرو N_A

النظرية الحركية .الجزيئية للغازات هي نظرية تفسر صفات وخواص الغازات مثل: ضغط، درجة حرارة وحجم، مع الأخذ بعين الاعتبار المبنى الجزيئي للغازات وتركيبها المجهري. هذه الصفات مشتركة لكل الغازات.

لكي نفهم المصطلحات ضغط، حجم ودرجة حرارة غاز، يجب أن نعرف أولا عدة مبادئ وأسس هامة للنظرية الحركية .الجزيئية للغازات:



- جسيمات الغاز (جزيئات أو ذرات) تتحركة بحركة سريعة، عشوائية ومستمرة.
- البعد بين الجسيمات كبير جدا مقابل حجمها (تسلك الجسيمات كنقاط صغيرة جدا في الفرغ)

استخدم نظرية الحركة الجزيئية لتفسر كلا من :
انتشار الغازات : نظرا لكون الفراغات بين الجزيئات كبيرة جدا وقوي التجاذب بين الجزيئات معدومة تقريبا فتكون حرية حركة هذه الجزيئات و الانتشار في كل مكان وفي كل اتجاه
التبخر : التبخر يكون في جميع درجات الحرارة أي أن هناك جزيئات تكون نشطة فتكون لها طاقة تمكنها من أن تفلت من قوي التجاذب وتصبح حرة الحركة مثل الغازات وكلما زادت درجة الحرارة زادت عدد الجزيئات هذه.
الرمل مادة صلبة تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه.: وذلك لان قوي الترابط بين جزيئات الرمل تكون ضعيفة.
ذوبان الملح في الماء: لان الملح دخلت بين جزيئات الماء .
ثبات حجم السائل وتغير شكله : لان قوي التجاذب بها اقل منها في الحالة الصلبة وبالتالي لا تسمح هذه القوي بتغير في الحجم ولكن تسمح بتغير في الشكل.

قوانين الغازات

هى علاقات رياضية بسيطة بين حجم الغاز ودرجة حرارتة وضغطة وكميته
ضغط الغاز: هى القوة التي يبذلها الغاز لكل وحدة مساحة من سطح الإناء الموضوع فيه،ويقاس حسب نظام SI بوحدة الباسكال (Pa).
نضغط الغازات علي اى سطح تكون على اتصال به وذلك جزئيات الغاز فى حالة حركة مستمرة بالرغم من وجود محيط غازى حول الانسان إلا انه لايشعر بوجود هذا الضغط وذلك لانه مهيأ فسيولوجيا لضغط الهواء تماما كالسمك فى البحر لايؤثر عليه ضغط الماء. اما وحدة قياس الضغط هى الباسكال Pa والتى تساوى نيوتن/م٢.

- **<u>الضغط الجوى:</u>** تخضع ذرات وجزئيات الغازات الموجودة فى الغلاف الجوى للجاذبية الأرضية كبقية المواد وبالتالى فإن كثافة الغاز تقل كلما زاد الارتفاع عن مستوى سطح الارض، ولقد اوضحت القياسات ان حوالى ٥٠٪ من كثافة الغلاف الجوى تقل بالارتفاع لمسافة ٦,٤كم عن سطح الارض وتقل بمقدار ٩٠٪ بالارتفاع لمسافة ١٦كم، وتقل بنسبة ٩٩٪ بالارتفاع لمسافة ٢٢كم.

وللغلاف الجوى المحيط بالارض ضغط يعرف بالضغط الجوى وهو عبارة عن مقدار القوة الضاغطة علي الارض وبعبارة أخرى هو وزن الغلاف الجوى مقسوما علي مساحة السطح الواقع تحت هذا الوزن، وقيمة الضغط الجوى بوحدة SI هي مقدار وزن عمود من الهواء مساحة مقطعه ١م٢. وقيمة هذا الضغط تعتمد على كل من الموقع، ودرجة الحرارة وظروف الطقس.

العلاقة بين الضغط والحجم: قانون بويل

درس العالم روبرت بويل سلوك الغازات وفى احدى تجاربه درس العلاقة بين ضغط وحجم الغاز . واتضح ان هناك عكسية بين الضغط والحجم عند ثبوت درجة الحرارة فعند زيادة الضغط يقل الحجم وعرفت هذه العلاقة فيما بعد بقانون بويل والذى ينص على أنه:

قانون بويل: يتناسب حجم كمية معينة من اى غاز تناسبا عكسيا مع الضغط عند ثبوت درجة الحرارة.

ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\mathrm{P}\alpha\frac{1}{\mathrm{V}}$$

ومن الممكن استبدال علامة التناسب بمقدار ثابت وتصبح العلاقة كالتالي:

$$\mathrm{P} = \mathrm{K}\frac{1}{\mathrm{V}} \qquad \rightarrow \qquad PV = K$$

وهذا يعنى ان حاصل ضرب ضغط كمية معينة من الغاز فى حجمه عند ثبوت درجة الحرارة يساوى دائما مقدار ثابت.

ومن الجدير بالذكر انه عند مضاعفة الضغط فان الحجم يتغير بشكل كبير لكمية معين من الغاز وبثبوت درجة الحرارة فان الحجم من الممكن ان لايتغير لفترة طويلة، ولكن حاصل ضرب الضغط فى الحجم يعطي عادة مقدار ثابت ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة الرياضية التالية:

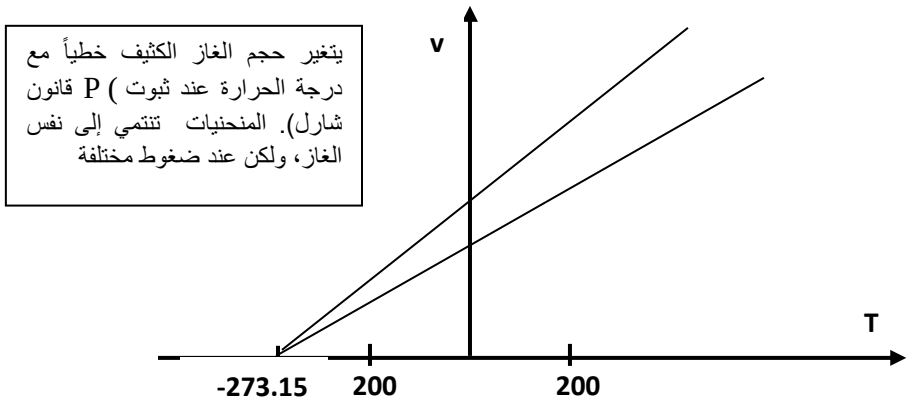
$$P_1V_1 = K = P_2V_2$$

حيث ان $\mathrm{V}_1, \mathrm{V}_2$ هى الحجوم *عند الضغط* P_2 و P_1 على الترتيب.

العلاقة بين درجة الحرارة والحجم: قانوني شارل وجاى لوساك

قام كلا من جاكوس شارل وجوزيف جاى لوساك بدراسة تأثير درجة الحرارة على حجم الغاز وتوصلا الى انه عند ثبوت الضغط فان حجم كمية معينة من الغاز يزداد بإرتفاع درجة الحرارة ويقل بإنخفاض درجة الحرارة.

وعليه ان حاصل ضرب درجة حرارة الغاز فى حجمه يساوى مقدار ثابت. ولقد وجد انه برسم العلاقة بين درجة الحرارة وحجم الغاز نحصل على خط مستقيم وعند مد هذا الخط ليتقاطع مع محور الحجم عند القيمة صفر وجد ان درجة الحرارة تساوى -٢٧٣,١٥م^{o}. وعند ضغط آخر مختلف تم الحصول على خط مستقيم اخر للعلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة وبمد هذا الخط وجد انه يتقاطع مع محور الحجم عند درجة حرارة تساوى -٢٧٣,١٥م^{o} ايضا كما هو موضح فى الشكل التالى، مع ملاحظة ان التغيير فى الضغط يكون ضمن مدى معين من درجات الحرارة لانه عند درجات الحرارة المنخفضة جدا يبدأ الغاز بالتحول للحالة السائلة. وفى عام ١٨٤٨م اوضح العالم لورد كلفن ان درجة الحرارة -٢٧٣,١٥م^{o} هى اقل درجات الحرارة المعروفة وأطلق عليها درجة الصفر المطلق.



ويمكن التعبير عن قانون شارل رياضيا بالعلاقة التالية:

$$V\alpha T \quad \rightarrow \quad V = k\ T \quad \rightarrow \quad \frac{V}{T} = k$$

حيث K مقدار ثابت، وعرفت هذه المعادلة بقانون شارل وجاى لوساك واختصار تعرف بقانون شارل.

قانون شارل: ينص على ان حجم كمية معينة من الغاز يتناسب تناسبا طرديا مع درجة الحرارة المطلقة عند ثبوت الضغط.

وعند تغير الحجم ودرجة الحرارة لكمية معينة من الغاز عند ضغط ثابت فان:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

حيث ان V_1, V_2 هى الحجوم *عند الضغط* T_2 و T_1 على الترتيب.

كما يوضح ايضا قانون شارل انه لكمية معينة من الغاز وعند ثبوت الحجم فان ضغط الغاز يتناسب تناسبا طرديا مع درجة الحرارة.

$$P\alpha T \quad \rightarrow \quad P = C\ T \quad \rightarrow \quad \frac{P}{T} = C$$

وبالمثل فان:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

حيث ان P_1, P_2 هى *ضغط الغاز الاو لوالثانى على التوالى ،و* T_2 و T_1 هما درجتى الحرارة المطلقة للغاز الاول والثانى على التوالى.

العلاقة بين الحجم والكمية: قانون أفوجادرو

وجد العالم الايطالى اميدو افوجادرو عام ١٨١١ انه عند ثبوت الضغط ودرجة الحرارة فان الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تحتوى على نفس العدد من الجزئيات (أو الذرات فى حالة الغازات احادية الذرة) وهذا يعنى ان حجم اى غاز يجب ان يعتمد على عدد مولاته الجزيئية الموجودة. اى ان

$$V \alpha\, n \qquad \rightarrow \quad V = k\, n$$

حيث n عدد المولات و K ثابت التناسب

وتعرف هذه المعادلة بقانون أفوجادرو:

قانون افوجادرو ينص على انه عند ثبوت لاضغط ودرجة الحرارة فان حجم الغازيتناسب تناسبا طرديا مع عدد مولاته.

معادلة الغاز المثالى: القانون العام للغازات

من قوانين الغازات السابقة:

قانون بويل: $V\ \alpha\ \frac{1}{P}$ عند ثبوت كلا من n, T

قانون شارل: $V\ \alpha\ T$ عند ثبوت كلا من $n\ ,\ P$

قانون أفوجادرو: $V\ \alpha\ n$ عند ثبوت كلا من $T\ ,\ P$

وعليه يمكن تجميع تلك القوانين فى علاقة رياضية واحدة كما يلى:

$$\mathrm{V}\alpha\frac{\mathrm{nT}}{\mathrm{P}}$$

$$\therefore V = R\,\frac{nT}{P} \quad \rightarrow \quad PV = nRT$$

حيث R الثاب العام للغازات وتعرف هذه المعادلة بمعادلة الغاز المثالى وتجمع المتغيرات الاربعة الحجم والضغط ودرجة الحرارة والكمية.

والغاز المثالى هو الغاز الذى تنطبق عليه معادلة الغاز المثالى ويتميز الغاز المثالي بعدم تاثر جزيئاتة بعضها ببعض، وفي الحقيقة هو غاز متخيل وغير حقيقي وتم افتراضه لايجاد معادلة مناسبة يمكن عن طريقها حل العديد من المشكلات المتعلقة بالغازات.

وقبل تطبيق تلك المعادلة على الغازات الحقيقة يجب الاشارة الى قيمة الثابت R عند درجة حرارة الصفر المئوى (٢٧٣,١٥ كلفن) وواحد ضغط جو. ووجدت التجارب العلمية انه تحت هذه الظروف فان حجم واحد مول من الغاز يساوى ٢٢,٤١٤ لتر.

وعليه وبالتعويض فى معادلة الغاز المثالى:

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{(1\ atm.)(22.414\ L)}{(1\ mol)(273.15\ K)}$$

$$= 0.082057 \cong 0.0821\ atm.\frac{L}{mol}.K$$

وباستخدام تلك المعادلة يمكننا حساب المتغيرات (الضغط والحجم ودرجة الحرارة وكذا عدد المولات) للغاز بمعلومة ثلاث متغيرات منها يمكن إيجاد الرابع اى ان:

$$R = \frac{P_1V_1}{n_1T_1}$$ قبل التغيير

$$R = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$$ بعد التغيير

ومنها:

$$\frac{P_2V_2}{n_2T_2} = \frac{P_1V_1}{n_1T_1}$$

وعندما تكون $n_1=n_2$ فان

$$\frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_1V_1}{T_1}$$

ومن القانون العام للغازات يمكننا حساب كثافة الغاز كالتالي:

بتريب معادلة الغاز المثالى على الصورة:

$$\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$$

وعدد المولات n يساوى النسبة بين كتلة الغاز بالجرام (m) و كتلة الغاز المولية (M) اى ان:

$$\mathrm{n} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{M}}$$

وبالتعويض عن n نجد ان:

$$\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{MV}} = \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{RT}}$$

وحيث الكثافة تساوى الكتلة مقسومه على وحدة الحجوم : $d = \frac{m}{V}$

بالتالى نحصل على العلاقة التالية:

$$\mathrm{d} = \frac{\mathrm{MP}}{\mathrm{RT}}$$

وتختلف جزئيات الغاز عن الجزيئات الموجودة فى الحالة الصلبة أو السائلةبان المسافات بينها كبيرة جدا وبالتالى فان كثافة الغازات منخفضة جدا مقارنة بالحالة السائلة والصلبة لذلك فان وحدة كثافة الغازات هى الجرام لكل لتر g/L بدلا من $g/cm3$.

تطبيقات على قوانين الغازات

- قابلية الغازات للانضغاط : لوجود مسافات كبيرة تفصل جزئيات الغاز عن بعضها البعض فانه يمكن ضغط الغاز لحجم اقل بسهولة كبيرة.
- ان ضغط الغاز ناتج عن اصطدام جزئياته بجدار الاناء الحاوى له ومعدل الاصطدام او عدد تصادمات الجزئيات بالجدار فى الثانية يعتمد على كثافة الغاز اى عدد الجزئيات فى وحدة الحجوم فبالتالى انخفاض حجم الغاز يؤدى الى كثافته ومعدل الاصطدامات ولهذ السبب فان ضغط الغاز يتناسب عكسيا مع الحجم اى كلما انخفض الحجم زاد الضغط والعكس صحيح.
- نظرا لان معدل الطاقة الحركية لجزئيات الغاز تعتمد على درجة الحرارة اى كلما ارتفعت درجة الحرارة كلما ارتفع معدل الطاقة الحركية ويؤدى ذلك الى زيادة عدد تصادمات جزئيات الغاز بجدار الاناء الحاوى له وبالتالى يزداد الضغط ايضا ويزداد حجم الغاز حتى يتم معادلة الضغط الثابت.

تدريب

- ما الكتلة المولية لغاز كتلته 0.427g وحجمه 125mL عند درجة حرارة C^0 20 وتحت ضغط 0.980atm
- ما كثافة عينة من غاز الأمونيا $NH3$ ، إذا كان الضغط 0.928 atm ودرجة حرارة 63.0^0C
- غاز كثافته 2.0g/L تحت ضغط 1.50atm وعند درجة حرارة 27^0C ، احسب الكتلة المولية لهذا الغاز

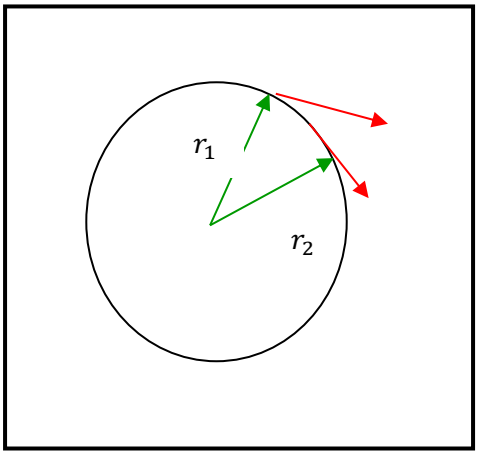
[6]

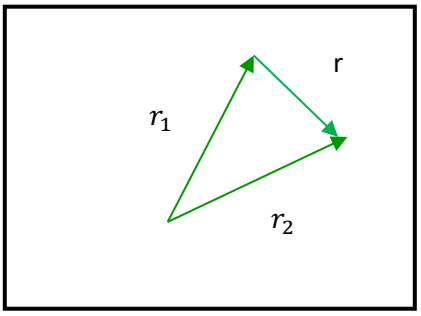
الحركة التوافقية البسيطة

الحركة الدورانية: عندما يدور جسم متماسك أي أنه ثابت الحجم والشكل حول محور فيه المحور العمودي على سطحه فإن جميع نقاطه تقطع مسافات مختلفة في زمن متساوي. والتي نصفها بالحركة الدورانية وتعرف على أنها حركة جسم أو جسيم بسرعة ثابتة المقدار حول دائرة نصف قطرها r , وعلية نقول أن نقطة قريبة من المركز الجسم المتماسك تتحرك بسرعة خطية أصغر عن تلك التي تتحرك بها نقطة بعيدة عن المركز, لذا هنا نتعامل مع الإزاحة الزاوية والسرعة الزاوية والعجلة الزاوية (التسارع المركزي).

الإزاحة الزاوية :

تقاس في النظام العالمي للوحدات بالوحدة النصف قطرية radian ورمزها rad تعرف الوحدة النصف قطرية rad بأنها الزاوية المركزية المقابلة لقوس مساوي في الطول لنصف قطر الدائرة.





طول محيط الدائرة = 2π x r

حيث r هو نصف القطر علية تكون اللفة أو الدورة الكاملة تساوي ٣٦٠ أي أن :

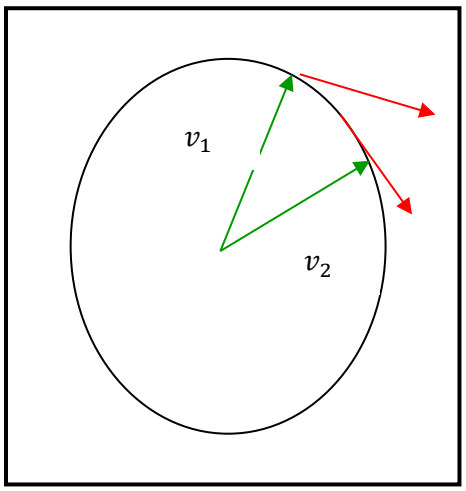
$$1rad = \frac{360}{2\pi} = (57.31)°$$

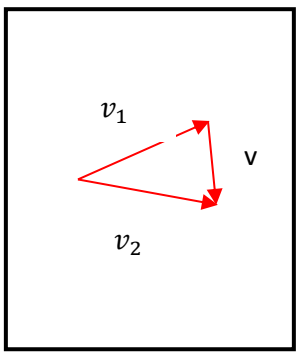
السرعة الزاوية (ω) :

السرعة الزاوية لجسم يتحرك في مسار دائري حول محور معين هي معدل تغير إزاحته الزاوية بالنسبة للزمن.ووحداتها هي rad/s

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \theta f$$

حيث f هو التردد ويساوي عدد اللفات أو الدورات في الثانية.





العجلة الزاوية (التسارع المركزي) (α):

بالرجوع للشكل السابق الذي يمثل الإزاحة الزاوية , والشكل السابق الذي يمثل السرعة الزاوية ,نستطيع حساب مقدار التسارع المركزي لجسم ما ,حيث أن الزاوية بين r_2, r_1 هي الزاوية نفسها بين v_2, v_1 ,لذا يكون المثلثان متشابهان وهكذا فأن $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$

وبقسمة الطرفين على الزمن Δt ينتج:

$$\frac{\Delta v}{v \Delta t} = \frac{\Delta r}{r \Delta t}$$

حيث أن $v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$, $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

لذا فأن :

$$\frac{a}{v} = \frac{v}{r}$$

بضرب طرفين بوسطين:

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

a_c يعبر عن التسارع المركزي والذي يشير اتجاهه إلى مركز الدائرة دائماً , ومقداره يساوي حاصل قسمة مربع السرعة على نصف قطر دائرة الحركة.

وبما أن التسارع الجسم الذي يتحرك في مسار دائري يكون دائماً في اتجاه المركز, فلا بد أن تكون القوه المحصلة نحو مركز الدائرة أيضاً وهذه القوة تسمى بالقوة المركزية.

كذلك فإن قانون نيوتن الثاني يمكن تطبيقة في الحركة الدائرية المنتظمة على النحو التالي:

$$F_{\text{المحصلة}} = m\, a_c$$

القوة المحصلة المركزية تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في تسارعه المركزي. ونستطيع التعويض بقيمة التسارع المركزي في المعادلة:

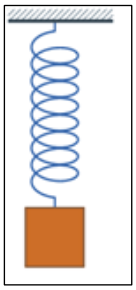
$$\boldsymbol{F = m\frac{v^2}{r}}$$

الحركة الدورية: هى الحركة التى تكررنفسها فى فترات زمنية متساوية

الحركة التوافقية البسيطة هي حركة دورية تتحرك جيئةً وذهاباً مروراً بمستوي معين يسمي بمستوي الاتزان. ذو هي الحركة التي تكرر نفسها كل فترة زمنية, وتكون سعة اهتزاز الحركة ثابتة, تتناسب العجلة مع إزاحة الجسم من موضع الاتزان و يكون اتجاهها دائما إلى موضع الاتزان.

الحركة التو افقية البسيطة

هي حركة اهتزازية تتناسب فيها القوة المعيدة (قوة الارجاع) طردياً مع الازاحة الحادثة للجسم وتكون دائماً في اتجاه معاكس لها.



قوة الارجاع: هي قوة مساوية للقوة المؤثرة من حيث المقدار و عكسها من حيث الاتجاه . وعليه تتناسب طردياً مع إزاحة الجسم المهتز وتعاكسها فى الاتجاه.

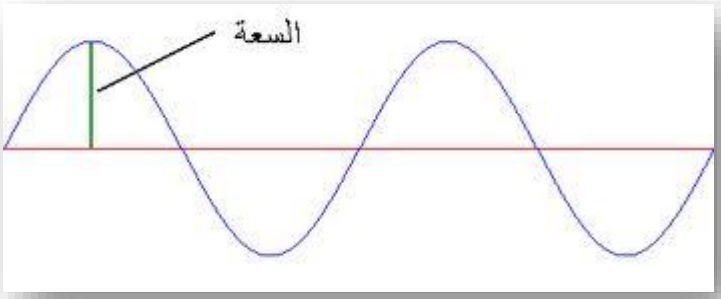
شروط الحركة التو افقية البسيطة

- **مقدارقوة الارجاع تتناسب طردياً مع الإزاحة الحادثة للجسم.**
- **اتجاه قوة الارجاع عكس اتجاه إزاحة الجسم.**

كل حركة توافقية بسيطة تعتبر حركة اهتزازية دورية وليس العكس .

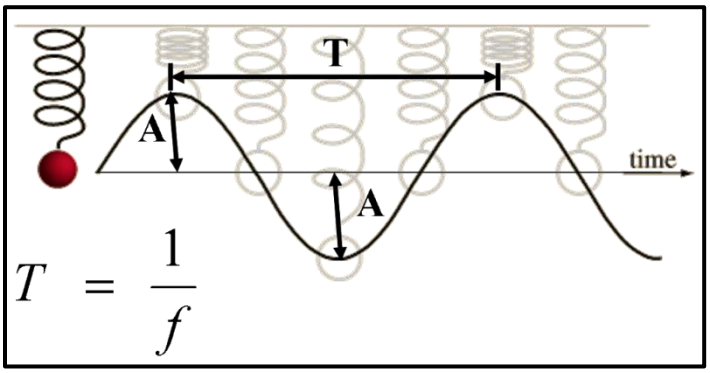
و توصف هذه الحركة بمجموعة من المفاهيم منها:

السعة A: هي نصف المسافة التي تفصل بين أبعد نقطتين يصل إليهما الجسم المهتز. او أكبر إزاحة للجسم عن موضع سكونه (إتزانه).



التردد f: هو عدد الاهتزازات الكاملة الحادثة في الثانية الواحدة. يقاس بوحدة الهرتز (Hz).

الزمن الدوري T: هو زمن دورة كاملة، ويقاس بوحدة الثانية (s).

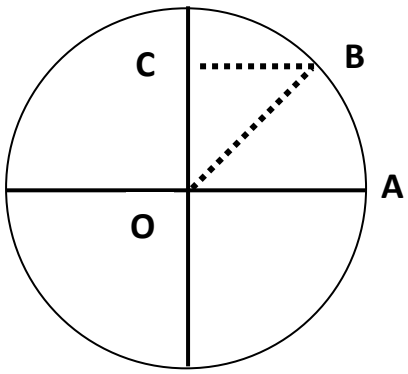


السـرعة الزاوية (ω): وهي مقدار الزاوية التي يمسحها نصـف القطر في الثانية الواحدة. يقاس بوحدة الراديان/ثانية (rad/s).

$$\omega = 2\pi\upsilon = \tfrac{2\pi}{T}$$

معادلة الحركة التوافقية البسيطة

تمثل بحركة مســقط متجه موضــع نقطة تتحرك علي محيط دائرة ، علي قطر ثابت فيها. وتوضح بالشكل المقابل:



ومن هندسة الشكل نجد ان

$$x = r\sin(\theta)$$

باستخدام السرعة الزاوية حيث $\theta = \omega t$

$$\therefore\ x(t) = r\sin(\omega t)$$

هذه المعادلة تعطى إزاحة الجســم في الحركة التوافقية البســيطة عند اى زمن. اما الســرعة عند اى زمن يمكننا الحصــول عليها من تفاضــل المعادلة الســابقة بالنســبة للزمن اى:

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = rw\cos(wt)$$

بتفاضل مرة اخرى نحصل على العجلة عند اى زمن :

$$a(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2} = -rw^2\sin(wt)$$

وبالاستعانة بالمعالات السابقة يمكننا الحصول على الصورة النهائية لمعادلة الحركة التوافقية البسيطة وهى:

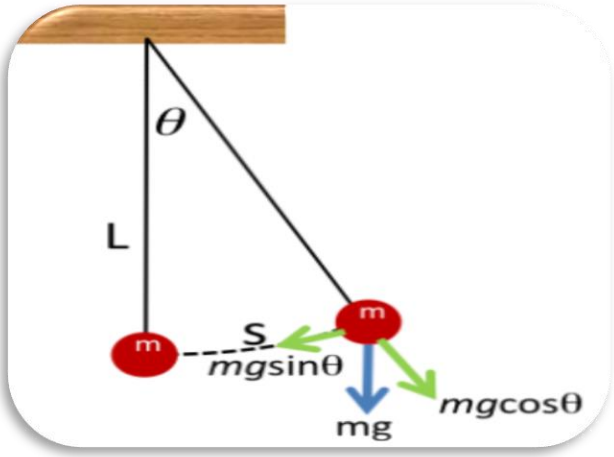
$$a(t) = -w^2x(t)$$

تطبيق على الحركة التوافقية البسيطة

البندول البسيط

البندول البسيط هو عبارة عن ثقل مربوط في أحد طرفي خيط رفيع بينما يثبت الطرف الآخر من الخيط في نقطة ثابتة.

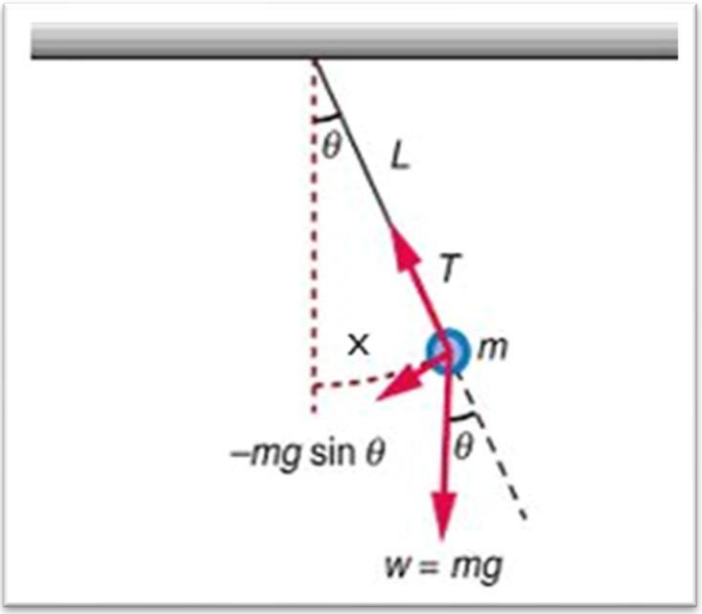
بتحريك البندول حركة بسيطة (لاتزيدعن 10^o) يعود الي موضع الاتزان بتأثير مركبة الثقل $F=-\sin\theta$ وهي سالبة لأن مركبة القوة تكون باتجاه عكس الازاحة (X).



باستخدام البندول البسيط داخل المعامل الطلابية يمكننا الاتى:

- دراسة حركة البندول البسيط واثبات انها حركة تواقفية بسيطة.
- ايجاد عجلة الجاذبية الارضية.

إذا علقت كتلة واثرت عليها قوة بحيث تتحرك هذه الكتلة حول موضع سكونها حركة اهتزازية فان هذا المهتز يسمى" البندول" وإذا كانت هذه الكتلة صغيرة كالكرة المعدنية "نقطة مادية " فان هذا البندول يسمى البندول البسيط.



شكل (١)

إذا كانت كتلة كرة البندول (m) وازيحت هذه الكرة فى اتجاه السهم المبين فى الشكل (١) وتصور وضع البندول وهو (مزاج) عن موضع السكون بإزاحة مقدارها θ من الاتجاه الراسى فان وزن البندول الى أسفل (mg) يمكن تحليله الى مركبتين الأولى ($mg \sin \theta$) في الاتجاه العمودى و $mg \cos \theta$ في اتجاه الخيط ويلاحظ ان مركبة القوة ($mg \sin \theta$) تعمل فى اتجاه مضاد لاتجاه القوة المسببة لحركة البندول وهذه الحركة هى التى تعمل على ارجاع البندول مرة اخرى فى اتجاه موضع السكون ومن ثم فان:

$F=- mg \sin \theta$

$ma=- mg \sin \theta$

حيث (a) العجلة التى يتحرك بها البندول.

وإذا كانت الزاوية θ صغيرة (فى حدود ٥ درجات)

فان: $\sin \theta = \theta$

ومن تعريف الزاوية القطرية = القوس /نصف القطر

$$\theta = \frac{X}{L}$$

وبالتعويض عن $\sin \theta$ فى (١) فان:

$ma=-m\, g\, X/L$

$a=-(g/L)X$

$a=-Constant.X$

اى ان العجلة تتناسب مع الازاحة، اى ان هذه الحركة هى حركة توافقية بسيطة وبمقارنة ذلك بقانون الحركة التوافقية البسيطة.

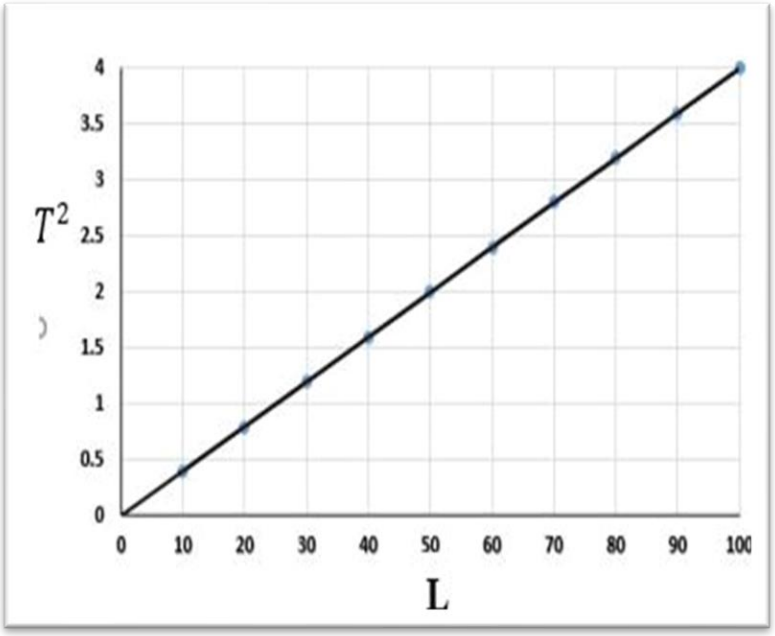
$a = -w^2.X$

يمكن استنتاج قيمة الثابت $w = \sqrt{g/L}$ ولما كانت $w = 2\pi/T$

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g}\ L$$

وهذه العلاقة تمثل خط مستقيم. عند رسم العلاقة بين T^2 على المحور الراسى، L على المحور الافقى ويكون ميل الخط المستقيم $4\pi^2/g$ وبمعلومية قيمة النسبة التقريبية π يمكن ايجاد قيمة عجلة الجاذبية.



العوامل التي يتوقف عليها الزمن الدوري للبندول :

١- طول الخيط L

٢- عجلة الجاذبية الأرضية g

ولا يتأثر الزمن الدوري للبندول بكتلة ثقل البندول ولا بسعة الحركة شرط ألا تزيد زاوية الاهتزاز عن 10^{o}