

# الفيزياء العامة

## الفصل الاول (حالات المادة)

Dr. Bilal Y. Taher

2019/2020

يتضمن الفصل الاول دراسة الحالات العامة للمادة وخصائصها والنظرية الحركية للمادة ، الابعاد الجزيئية والمسافات البينية، الحركة العشوائية، السرع الحزبيّة، القوى الجزيئية، التصادم بين الجزيئات، حالات المادة، وكذلك خاصية الكثافة والوزن وامثلة محلولة.

## **الفصل الاول (حالات المادة)**

1- مفهوم المادة

2- الخواص العامة للمادة

3- النظرية الحركية للمادة

4- الابعاد الجزيئية والمسافات البينية

5- الحركة العشوائية للجزيئات

6- السرع الجزيئية

7- القوى الجزيئية

8- قوى التناقض بين الجزيئات

9- التصادم المرن بين الجزيئات

10- الحالة الغازية

11- الحالة السائلة

12- الحالة الصلبة

13- خاصية الكثافة

14- خاصية الوزن

أمثلة محلولة

**1- مفهوم المادة :** ان علم الفيزياء يهتم بدراسة المادة والطاقة وتحولاتها ، في هذا الفصل سنتطرق الى المادة وحالاتها في الطبيعة من وجها نظر ميكانيكية لما في ذلك من اهمي قصوى في دراسة خواص المادة وسلوكها وال العلاقات التي تتحكم بذلك الخواص والسلوك .

مفهوم المادة بصورة عامة يبدو واضح و مألف للجميع حيث اي شى حولنا يشير الى وجودها مثل الماء والهواء والجواجمد حيث ان المادة تمثل احدى المفاهيم الجوهرية في الطبيعة فهي كالفضاء والزمن لا يمكن تعريفهما ولكن يمكن وصفهما من خلال مشاهدات وخواص يمكن قياسها ، هذا شأن جميع الحقائق الاساسية في الطبيعة يمكن تصورها وشرحها ولكن لا يمكن ادراكتها .

**2- الخواص العامة للمادة:** جميع المواد في الطبيعة تشتراك بخواص عامة مميزة ، وأهم هذه الخواص هي :  
أ- خاصية البقاء : المادة تبقى ولا تفنى ولكن يمكن تحويلها من حالة الى اخرى اوشكال الى آخر وقد يكون

المادة → ← الطاقة  
احد هذه الاشكال هي الطاقة .

ب- كل مادة تشغل حيز في الفضاء : حيث ان المادة تشغل حيزاً محدوداً في الفضاء (أي لا يمكن لمادتين ان تشغلان نفس الحيز في نفس الوقت ، ومقدار الحيز الذي تشغله المادة يمثل حجمها .

ج- كل مادة لها كتلة : الكتلة هي مقدار ما يحتويه الجسم من مادة ، وهي المقياس الكمي لخاصية القصور الذاتي للجسم .

القصور الذاتي (الاستمرارية) لا يجده جسم يعرف بأنه تلك الخاصية للجسم التي تميل الى مقاومة اي تغير في حالته الحركية (اذا كان ساكناً او متعركاً) ما لم يضطر الى تغيير حالته بفعل قوى خارجية . من هذا يتضح ان خاصية القصور الذاتي ترتبط ارتباطاً مباشرأً بكتلته اي بقدر ما يحتويه من مادة ، وعليه فأن كلّاً من القصور الذاتي والكتلة يقاسان بنفس الوحدات وهي الكيلوغرام أو الغرام .

من وجها نظر الفيزياء الحديثة يمكن اعتبار المادة شكل من اشكال الطاقة ، فقد اثبت العالم آشتاين أن غرام واحد من المادة يمكن تحويله كلياً الى طاقة تكافى ما قيمته عديداً مربع سرعة الضوء مقاسة بوحدة الارك ،  $E = mc^2$ .

وبصورة عامة توجد المادة بثلاث حالات شائعة تتوقف حالة كل مادة على درجة الحرارة ومقدار الضغط المسلط عليها وان أهم الخواص الميكانيكية التي تميز هذه الحالات عن بعضها هو ان المادة في :

أ- الحالة الغازية : ليس لها حجم وشكل محدد . (تحتاج الى قوة صغيرة نسبياً للتغيير حجمها بينما لا تحتاج لقوة للتغيير شكلها ) .

ب-الحالة السائلة : يكون للمادة حجم محدد وشكل متغير . (تحتاج الى قوة كبيرة للتغيير حجمها ولا تحتاج الى قوة للتغيير شكلها ) .

ج- الحالة الصلبة : يكون للمادة حجم وشكل ثابتين . (تحتاج الى قوة كبيرة للتغيير أي منهما) . حيث يمكن تقسيم هذه الحالات للمادة على ضوء النظرية الحركية للمادة .

**3- النظرية الحركية للمادة :** تقوم هذه النظرية على الفرضيات الاساسية التالية :

أ- ان المادة تتتألف من عدد هائل من الجسيمات المتناهية في الصغر تدعى بالجزئيات .

ب-الجزئيات في حالة حركة عشوائية مستمرة ، ومعدل سرعها يعتمد على درجة الحرارة .

ج- ان بين الجزيئات قوى متبادلة يعتمد مقدارها على المسافات الفاصلة بينها .

د- تصادم الجزيئات مع بعضها من تماماً ولذلك لا يصاحبها فقدان في الطاقة .

ونظراً لأهمية هذه الفرضيات يستحسن مناقشة الاسس النظرية والعملية التي تدعمها بغية بناء تصور ذهني واضح عن السلوك المجهري للجزيئات التي تدخل في تركيب المادة وتساعد في تفسير حالاتها الثلاث .

**4- الابعاد الجزيئية والمسافات البينية :** يمكن تصور الجزيئي باعتباره كرة صغيرة جداً ، وحجم الجزيئي يتوقف على طبيعة المادة ، ويمكن اجراء الحسابات التقريرية لابعاد الجزيئية لاي مادة اذا علمنا كتلة المول الواحد من المادة ، (كتلة مول واحد من المادة يكافئ الوزن الجزيئي للمادة مقاساً بالغرام ) ، ويحتوي المول الواحد لاي مادة على عدد افوكادرو من الجسيمات اى  $6 \times 10^{23}$  particles .

**مثال 1 :** أوجد قطر جزيئي الماء ، اذا علماً ان كتلة مول واحد من الماء  $H_2O$  يساوي 18 grams ، والوزان الجزيئية لجزيئه الماء هي  $O=16$  ،  $H=1$  ،  $d=1 \text{ g/cm}^3$  .

اولاً يجب ان نجد الحجم الذي يشغل مول واحد من الماء ، حيث ان كتلة مول واحد من المادة تكافئ الوزن الجزيئي لجزيئه الماء وهو  $(H_2O=2 \times 1 + 1 \times 16 = 18 \text{ grams})$  ، وبالرموز الرياضية يمكن ان نكتبها :

$$n(\text{mole}) = m(\text{g}) / M.W \left( \frac{\text{g}}{\text{mole}} \right) \quad \therefore 1 \text{ (mole)} = \frac{m(\text{g})}{18 \left( \frac{\text{g}}{\text{mole}} \right)} \rightarrow \therefore m = 18 \text{ gram}$$

$$d(\text{g/cm}^3) = m(\text{g}) / V_o(\text{cm}^3) \rightarrow 1 = 18 / V_o \rightarrow V_o = 18 \text{ cm}^3 \text{(volume of one mole from water)}$$

$$(1 \text{ mole } H_2O = N_a = 6 \times 10^{23} \text{ particles})$$

لذلك فأن حجم الجزيئي الواحد من الماء  $V_p = V_o / N_a = 18 / (6 \times 10^{23}) = 3 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$  يساوي  $V_p$  واذا اعتبرنا ان الجزيئي شكل كرة نصف قطرها  $r$  فأن

$$V_p = \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow 3 \times 10^{-23} = \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow r = 2 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

أي ان قطر الجزيئي تقريباً  $4 \times 10^{-8} \text{ cm}$  وهذا يشير الى ان المسافة بين جزيئات الماء هي حوالي  $4 \times 10^{-8} \text{ cm}$  ولكن جزيئات الماء ليست متراسقة تماماً لذلك فأن هذا المقدار هو بالتأكيد أكبر من قطر الجزيئي الواحد من الماء ، وبذلك تم اثبات الفرضية الاولى حول التركيب الجزيئي للمادة في مطلع هذا القرن ، حيث قيست اقطار الذرات والجزيئات بحدود تقارب من  $10^{-7} - 10^{-8} \text{ cm}$  .

**5- الحركة العشوائية للجزيئات (الحركة البروانيه) :** في سنة 1827 اكتشف العالم البريطاني روبرت بروان أنه عندما نثر حبوب اللقاح فوق الماء وشاهدها بالمجهر وجد أنها تتحرك حركة عشوائية مستمرة . واكتشف ان الجسيمات المعلقة في أي سائل مهما كانت طبيعتها فإنها تتحرك بنفس الطريقة ، وقد لوحظ أن سرعة الحركة تزداد وضوحاً كلما قل حجم الجسيمات المعلقة .

ويمكن تفسير الحركة العشوائية للجزيئات على النحو التالي : لما كانت الجسيمات المعلقة في السائل يمكن مشاهدتها بالمجهر بينما جزيئات السائل لا يمكن مشاهدتها لذلك فإن حجم الجسيمات يكون بالتأكيد أكبر من حجم الجزيئات التي يتالف منها السائل .

فإذا كانت جزيئات السائل ساكنة تماماً لما كان هنالك ما يسبب حركة الجسيمات ولكن اذا كانت جزيئات السائل في حالة حركة عشوائية دائمة فأنها ستتصف بالجسيمات باستمرار في جميع الجهات .

في معظم الأحيان تكون محصلة القوة على الجسم تساوي صفر ولكن قد يكون أن يحدث أحياناً أن تكون محصلة القوة لاتساوي صفر مما يؤدي إلى تحريك الجسم بمقدار ضئيل بسبب القصور الذاتي للجسم وصغر محصلة القوة المؤثرة عليه.

ان ما يحدث للجسيمات المعلقة في سائل يحدث تماماً لجزيئات السائل ذاتها وبذلك تستمر حركتها العشوائية إلى الأبد ، وهذه الحركة العشوائية تدعى بالحركة البرووانية .

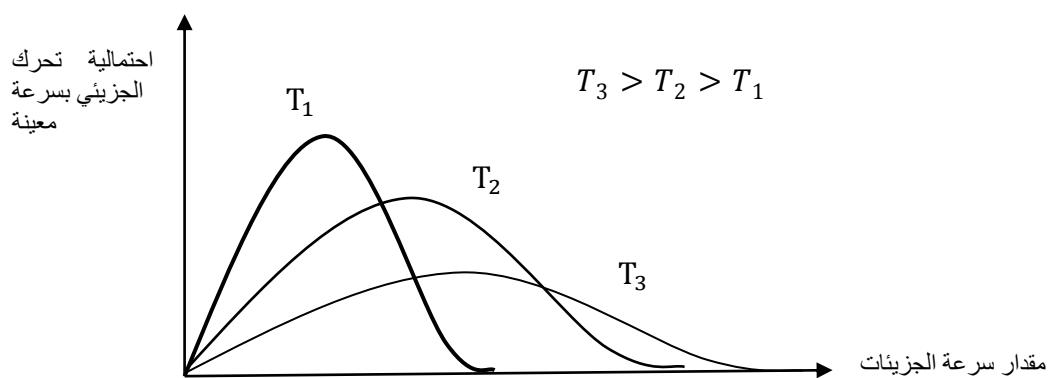
وفي الحقيقة ان الحركة البرووانية هي ظاهرة عامة تحدث لجميع جزيئات المائع (سائل أو غاز) والجسيمات العالقة فيه ، وما حركة دقائق الدخان أو الغبار العالقة في الجو وحركة الدقائق الغروية في السوائل الا أمثلة عملية على ذلك، حيث قدمت الحركة البرووانية أحد الادلة العملية المباشرة على صحة فرضيات النظرية الحرارية للمادة .

**6- السرعالجزئية :** لقد تأكد تجريبياً أن جزيئات المادة في حالة حركة عشوائية دائمة ، ولكن المطلوب الان معرفة ماذا كانت سرع الجزيئات واحدة أو أنها تختلف من جزئ إلى آخر .

من الواضح وفق ما جاء في البند السابق أن سرع مختلف الجزيئات لا يعين من المائع لا يمكن أن تكون واحدة بسبب الطبيعة العشوائية للحركة ، اذ أن سرعة أي جزئ معين تتغير باستمرار نتيجة التصادمات المستمرة مع الجزيئات المحيطة به .

أثبت العالم جيمس كلارك ماكسويل عام 1860 من الناحية النظرية على الأقل أن سرعة أي جزئ في الغاز يمكن أن يأخذ أي قيمة من الصفر وأي قيمة أخرى مهما كانت كبيرة ، لهذا لجأ ماكسويل إلى الطريقة الإحصائية في التعامل مع سرع الجزيئات للغاز ، ووصف توزيعها عشوائياً وفق نمط خاص يدعى بتوزيع السرع لماكسويل وهذا التوزيع يعتمد على درجة حرارة الغاز .

لذلك ينبغي أن نتعامل مع متوسط السرعة لتجنب التعامل الإحصائي مع السرعالجزئية ، حيث انه عند أي درجة حرارة هنالك عدد قليل جداً من جزيئات الغاز تتحرك بسرعة عالية جداً أو سرع واطئة جداً ، حيث الغالبية العظمى من الجزيئات تتحرك بسرع تقع ضمن منطقة مميزة تزداد سعتها مع ارتفاع درجة الحرارة .



شكل(1) يبين توزيع السرع على الجزيئات في مختلف درجات الحرارة

في الواقع عندما تمكّن العالم البرت آنستاين 1905 من اشتقاق العلاقات الرياضية للحركة البرووانية كان الفرض الأساسي الذي اعتمد هو أن الجسيمات المعلقة في المائع (سائل أو غاز) تشارك في الحركة

الحرارية للمائع ذاته وأن متوسط الطاقة الحركية الانتقالية لاي جسم تساوي  $(knetic energy) K.E = \frac{3}{2} K_B T$

حيث  $K_B$  يمثل ثابت بولتزمان  $\frac{J}{K} = 1.38 \times 10^{-23}$  ، و  $T$  درجة الحرارة المطلقة للمائع بوحدة الكلفن  $K$  تمثل الطاقة الحركية .

وهذا ما يتافق مع نظرية (تساوي توزيع الطاقة) وعلى ضوء ذلك فإن ظاهرة الحركة البرووانية يمكن تفسيرها كمياً بأعتبارها ناتجة من تصدامات الجسيمات العالقة في المائع . ولهذا فإن متوسط الطاقة الحركية الانتقالية للجسيمات العالقة في المائع تساوي متوسط الطاقة الحركية لجزيئات المائع  $K.E = \frac{1}{2} m \bar{c}^2$  أي أن

$$\frac{3}{2} K_B T = \frac{1}{2} m \bar{c}^2$$

حيث أن  $m$  تمثل كتلة الجزيئي الواحد،  $\bar{c}$  تمثل متوسط مربع سرعة جزيئات المائع . ومن هذا يتضح أن متوسط سرعة جزيئات المائع يعتمد مباشرةً على درجة حرارة المائع ، فنزيد بزيادتها وتتنقص بتقصانها وإذا ما وصلت درجة حرارة المائع الصفر المطلق تتوقف الجزيئات عن الحركة تماماً .

**7- القوى الجزيئية :** ان محاولة قطع سلك سيحتاج الى قوة لإنجاز ذلك وما هذه القوة الا مقاييس لقوة التماسك بين جزيئات السلك ، ومحاولة تجزئة كمية من السائل الى اجزاء صغيرة مثل قطرة الزبق يتم بسهولة مميشير الى ان قوة التماسك بين جزيئات السائل أقل بكثير مما هي عليه في الجسم الصلب ، أما في الغاز فأن ضالة قوى التماسك بين الجزيئات يحتم وضعه في وعاء مغلق لمنع هروب الجزيئات .

واذا حاولنا تسليط ضغط هائل على جسم صلب فإنه لاينضغط بسهولة وكذلك الحال للسائل ، أما الغاز فإنه ينضغط بسهولة في أول الامر ولكن ما أن تصل المسافات الفاصلة بين الجزيئات حداً معيناً حتى يصبح الانضغاط أمراً ليس سهلاً ، أن ذلك يشير الى وجود قوة تناصر تظهر متى ما أصبحت المسافات الفاصلة بين الجزيئات تقل عن مسافة معينة تدعى بمسافة التوازن ويزداد مقدار هذه القوة كلما قلت المسافة عن ذلك الحد .

ما سبق يظهر أن هناك نوعين من القوى بين الجزيئات هما قوى التجاذب وقوى التناصر ، وعندما تتساوى هذه القوى فإن الجزيئات تكون في حالة توازن وهذه هي الحالة الطبيعية للمادة ، وأن طبيعة القوى المؤثرة بين الجزيئات تعتمد على نوع المادة .

#### أنواع قوى التجاذب بين الجزيئات :

**أ- القوى الكهربائية :** هي القوى الناتجة عن التجاذب الكهربائي بين الايونات المختلفة الشحنة ، مثل  $H^+Cl^-$  وكذلك  $Al_2Cl_3$  .

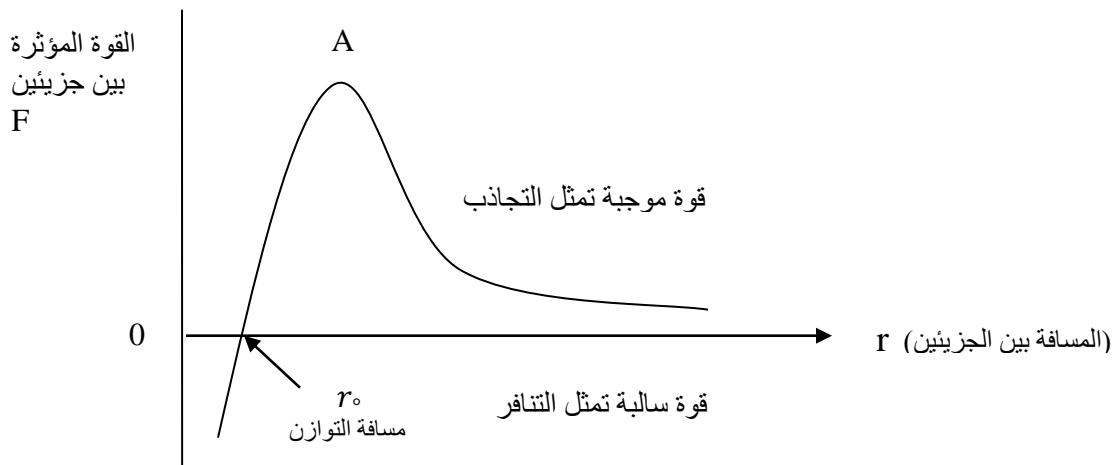
**ب- القوى التساهمية (التبادلية ) :** وهي القوى الناتجة عن اشتراك الالكترونات الخارجية لمختلف ذرات الجزيئي في تكوين الرابطة الكيميائية .

**ج - قوى دير فالز :** وهي قوية قصيرة المدى وتظهر فقط اذا كانت المسافة الفاصلة بين الجزيئات صغيرة جداً . وتنشأ هذه القوى نتيجة للتراكم بين ثنائيات القطب الدائمة أو المحتشة ومثال ذلك هي جزيئات الماء .

**8- قوى التناصر بين الجزيئات :** تنشأ هذه القوى نتيجة للتراكم بين السhabitats الالكترونية الموجودة حول الذرات أو الجزيئات عندما تحاول أن تتدخل تحت تأثير قوى التجاذب .

يمكن التعبير عن القوة المؤثرة بين جزيئين كدالة للمسافة الفاصلة بينهما كما هو مبين بالشكل التالي ، حيث يتضح من الشكل أن القوة المؤثرة بين الجزيئين تتغير مع المسافة الفاصلة بينهما . فعندما تكون المسافة بين الجزيئين كبيرة فإن قوى التجاذب بينهما تساوي صفرًا ، وعندما تقل المسافة تزداد قوى التجاذب بينهما

حتى تصل إلى نهايتها العظمى في A ، وعندما تقل المسافة  $r$  عن ذلك تبدأ بالتناقض تدريجياً حتى تصل صفرًا عندما يكون التباعد بين الجزيئين هو  $r_0$  . وبعد ذلك يبدأ تأثير قوى التناقض في الظهور وتزداد قوة التناقض زيادة سريعة كلما أصبحت الجزيئات قريبة من بعضها .

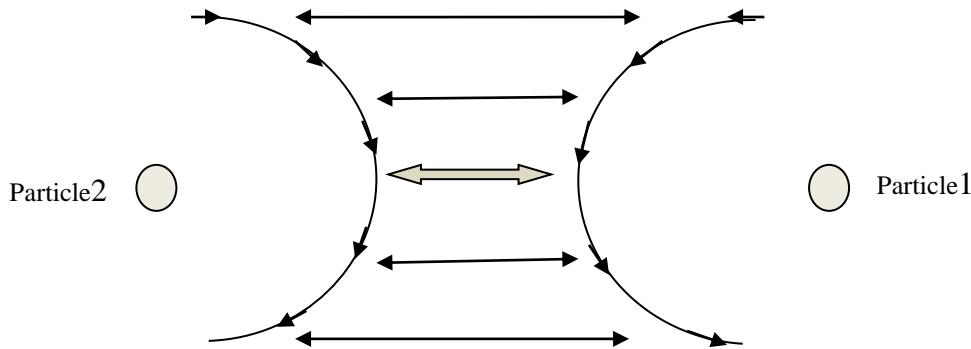


شكل(2) يمثل القوة بين جزيئين كدالة للمسافة الفاصلة بينهما

وهكذا يتضح أن الوضع الطبيعي للجزيئات يتحدد بالمسافة  $r_0$  التي تتعادل عندها قوى التجاذب مع قوى التناقض وهذا هو موضع التوازن لكل من الجزيئين وعليه فإن حالة التوازن تمثل تلك الحالة التي تتعادل فيها قوى التجاذب مع قوى التناقض .

**9- التصادم المرن بين الجزيئات :** اذا فرضنا أن لدينا كمية من الغاز محصور في داخل وعاء مغلق ، فإن جزيئات هذا الغاز تكون في حالة حركة مستمرة ونتيجة هذه الحركة تتصادم مع بعضها ومع جدران الوعاء . وبالرغم من التصادمات الكثيرة التي تقع الا أن الجزيئات لا تهداً أبداً . وهذا يشير الى أن التصادمات لا تتضمن أي فقدان في الطاقة ، ويمكن ملاحظة ذلك عملياً من خلال وضع محرار في مائع معزول عزلآ حراريأ تماماً عن المحيط فیلاحظ أن درجة حرارة المائع تبقى ثابتة مع الزمن .

ان طبيعة التصادم المرن بين جزيئين يمكن فهمه على أساس أنه يحدث عن بعد وليس بالتماس المباشر ، وهذا ناجم عن ظهور قوة التناقض التي تزداد بسرعة كلما اقتربا من بعضهما فتحول دون تلامسهما ، وبالتالي تباعد هما عن بعضهما كما مبين في الشكل التالي ، حيث أن مثل هذا النوع من التناقض لا ينطوي على أي خسارة في الطاقة . حيث أن تلامساً من نوع ما يحدث أثناء التصادم ، فعند تصادم الجزيئات مع بعضها تتدخل المدارات الالكترونية الخارجية مع بعضها ، ولكن تكم مسويات الطاقة لا يسمح بانتقال الطاقة بين الجزيئات وعليه يكون التصادم مرنأ .



شكل(3) يبين ان التصادم بين جزيئين يحدث عن بعد نتيجة قوة التناور القصيرة المدى التي تظهر عندما تكون المسافة الفاصلة بين الجزيئين أقل من مسافة التوازن  $r_0$ .

**10- الحالة الغازية :** عندما تكون المادة في الحالة الغازية فان المسافات الفاصلة بين الجزيئات تكون كبيرة جداً بالمقارنة مع ابعادها (اي اقطارها) ونتيجة لذلك تكاد قوى التجاذب بين الجزيئات معدومة تماماً ، والجزيئات في حالة حركة عشوائية دائمة ومتوسط سرعة الجزء الواحد تحت الظروف الاعتيادية تقارب سرعة الصوت في الهواء  $\frac{m}{s} 340$  . ونتيجة الحركة المستمرة فأن الجزيئات تتصادم مع بعضها ومع جدران الوعاء الذي يحتويها . وما الضغط الذي يسلطه الغاز على جدران الوعاء الا نتاج للنصف المستمر لجزيئات الغاز لتلك الجدران . وكمثال على ضغط الغاز هو الضغط الذي يسلطه الهواء المحصور داخل اطار عجلات السيارات . حيث عدد الجزيئات التي تتصف الجدران المطاطية من الداخل أكبر بكثير من الخارج مما يجعل الاطار المطاطي قادرة على تحمل ثقل السيارة دون أن تتكشم .

ان المسارات التي تقطعها الجزيئات ما بين التصادمات تكون على شكل خطوط مستقيمة ولكن أطوالها ليست ثابتة بل تتغير عشوائياً . لذلك يؤخذ معدلها الذي يتمثل بمتوسط المسار الحر الذي يرمز له عادةً بالحرف ( $\lambda$ ) ويعرف بأنه متوسط طول المسار الذي يقطعه الجزء بين تصادمين متتاليين . وقد وجد أن ( $\lambda$ ) لأي غاز

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2n}\sigma}$$

حيث  $n$  تمثل عدد الجزيئات في وحدة الحجم، و  $\sigma$  مساحة المقطع العرضي الفعال للجزء وتساوي مساحة دائرة نصف قطرها  $a$  ، حيث  $2a$  تمثل القطر الحقيقي للجزء الواحد . وقد أمكن تقدير قيمة  $\lambda$  لأي غاز حقيقي تحت الشروط القياسية ووجد أن متوسط طول المسار الحر هو 200 مرة بقدر قطر الجزء .

ويلاحظ من المعادلة أعلاه أن متوسط طول المسار الحر يتوقف على كثافة الغاز (أي عدد الجزيئات في وحدة الحجم) وهذا يعتمد على الضغط المسلط على الغاز ، حيث كلما زاد الضغط تقارب الجزيئات من بعضها وازداد معدل تصادمتها مع بعضها وبذلك يقل متوسط طول المسار الحر والعكس بالعكس تماماً اذ كلما قل الضغط ازداد طول المسار الحر .

**11 – الحالة السائلة :** في هذه الحالة تكون المسافات الفاصلة بين الجزيئات أقل مما هي عليه في الحالة الغازية ، أي أن متوسط المسار الحر في السائل أقل بكثير مما هو عليه في الغاز ، وهذا يفسر لماذا أن السائل يشغل في العادة حجماً يقل بمقدار أكثر من ألف مرة عن الحجم الذي يشغله الغاز المساوي له في الكتلة .

ان ذلك يشير الى أن قوى الجذب التي تمسك الجزيئات الى بعضها لا يمكن اهمالها . وبالرغم من أن جزيئات السائل في حالة حركة مستمرة الا أن طاقتها الحركية غير كافية للتغلب على قوى الجذب المتبادلة بين جزيئات المتجاوحة . وهي لذلك لا تستطيع أن تنفصل عن بعضها بسهولة كما في الحالة الغازية ، ولهذا السبب فإن السائل يتواجد على شكل مجموعة متماسكة من الجزيئات .

ان جزيئات السائل تمتلك حركتين احدهما اهتزازية والاخري انتقالية ونتيجة لذلك فأنها تتصادم مع بعضها بأستمرار ، وبسبب الحركة الانتقالية فأنها تنتقل ما بين الجزيئات خلال الفجوات منزلاقه على بعضها البعض ، وهذا السلوك الحركي لجزيئات السائل هو الذي يضفي على السائل صفة الميوعة ، وهو لذلك يأخذ شكل الوعاء الذي يحتويه . ان أي جزء داخل السائل يمتلك طاقة حركية تتغير بأستمرار نتيجة التصادمات الكثيرة التي يعانيها وهو بذلك ينتقل داخل السائل من موقع الى آخر ، واذا ما وصل سطح السائل وكان يمتلك طاقة حركية كافية وتحرك بالاتجاه المناسب فأنه قد يتغلب على قوى الجذب ويتحرر من سطح السائل ، وهذا ما يحدث في عملية التبخر ، واذا ما زود السائل بالحرارة فأن متوسط الطاقة الحركية للجزيئات يزداد وبذلك يزداد معدل التبخر والعكس بالعكس تماماً .

**12- الحالة الصلبة :** في هذه الحالة تكون المسافات الفاصلة بين الجزيئات أقل مما هي في الحالتين السائلة والغازية ، أي أن متوسط المسار الحر اقل مما هو عليه في السائل والغاز ، ونتيجة لذلك فأن قوى التجاذب بين الجزيئات كبيرة جداً ، وكمثال على ذلك المقاومة الهائلة التي يبديها السلك المعدني القيق عن محاولة قطعه الى قسمين .

ان كل جزء في المادة الصلبة يكون مقيداً بموضعه بشدة بسبب قربه من الجزيئات المحيطة به وتعرضه لقوى جذب ماسكة كبيرة ولها السبب فان الجسم الصلب يحتفظ بشكله ثابتاً . وفي الحقيقة ان الجزيئات ليست ساكنة في مواضعها بل انها تتحرك حركة عشوائية ذات طبيعة اهتزازية وليس انتقالية كما في الحالتين السائلة والغازية .

وبصورة عامة فأن المواد الصلبة تكون على نوعين :

**النوع الاول** وهو المادة البلورية وتكون فيها جميع الجزيئات مرتبة بدقة وفق نمط هندسي يتكرر بانتظام ، وهذا النمط يتوقف على طبيعة الجزيئات التي يتتألف منها الجسم البلوري ومن الامثلة المألوفة لهذا النوع هو ملح الطعام والماس .

**اما النوع الثاني** وهو المادة غير البلورية وتكون فيها الجزيئات مثبتة في مواضعها تقريباً ولكن ليس مرتبة وفق أي نمط محدد ومن الامثلة على ذلك الزجاج واللائئن والشمع .

**13- خاصية الكثافة :** هي احدى الخواص الميكانيكية التي تميز المادة في جميع حالاتها الصلبة والسائلة والغازية وتعرف بأنها كتلة وحدة الحجم من المادة ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً  $\frac{M}{V} = \rho$  ويفترض عند تطبيق هذا القانون ان تكون المادة متجانسة ووحداتها هي ( $\text{kg}/\text{m}^3, \text{gm}/\text{cm}^3$ ) . اما العوامل التي تحدد قيمتها هي :

أ- كتل الجزيئات التي تتتألف منها المادة (تزداد الكثافة مع زيادة العدد الكتلي) .

ب- المسافة الفاصلة بين الجزيئات (حيث تزداد الكثافة كلما قلت المسافات الفاصلة بين الجزيئات وهذا ما يلاحظ عندما تكون المادة في الحالة الصلبة تكون المسافات الفاصلة قليلة جداً ، اما في الحالة السائلة تكون المسافات اكبر ، وفي الحالة الغازية تكون المسافات كبيرة جداً حيث تكون الكثافة قليلة جداً) .

ج- درجة الحرارة (معظم المواد تتمدد بالتسخين نتيجة اهتزاز الجزيئات لمسافات اكبر عند درجات حرارية عالية وبالتالي فان المسافات بين الجزيئات تزداد مع بقاء الكتلة ثابتة وبالتالي فان الكثافة سوف تقل عند زيادة درجة الحرارة). (الا في بعض الحالات الشاذة).

د- الضغط (من المعلوم ان المواد الصلبة والسائلة لا تتكيس كثيراً عند زيادة الضغط المسلط عليها بسبب صغر المسافات البينية بين جزيئاتها بينما في الغازات تتكيس بسهولة بسبب كبر المسافات بين جزيئاتها).

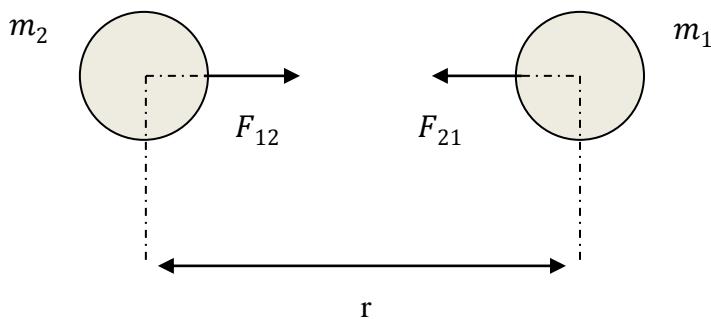
**14- خاصية الوزن :** يعرّف وزن الجسم في أي نقطة في الفضاء بأنه محصلة قوة الجذب المسلط عليه من قبل جميع الأجسام في الكون . ان الجاذبية هي تأثير عام ينجم عنه أن جميع الأجسام في الكون تجذب بعضها بعضاً . ومقدار قوة الجذب بين أي جسمين يتحدد بقانون الجذب العام لنيوتون الذي ينص على أن (أي جسمين في الكون يجذب أحدهما الآخر بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما ) ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً كالتالي :

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

حيث  $F$  تمثل قوة التجاذب بين جسمين كتلتيهما  $m_1$  و  $m_2$  والمسافة الفاصلة بينهما  $r$  و  $G$  هو ثابت الجاذبية العام وله نفس المقدار بالنسبة لأي جسمين في الكون مهما أختلفت كتلتيهما وتبعادهما . وقيمة  $G$  هي

$$6.6732 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{Kg^2}$$

شكل(4) يوضح زوج من القوى متساويان بالمقدار ومتعاكسان بالاتجاه



حيث ان  $F_{21}$  قوة جذب الجسم الاول على الثاني، و  $F_{12}$  قوة جذب الجسم الثاني على الاول.

ان الوزن هو محصلة قوة الجذب المسلط عليه من قبل جميع الأجسام في الكون ، وان الجاذبية هي تأثير عام ينجم عنه أن جميع الأجسام في الكون يجذب بعضها بعضاً وأن قوة التجاذب بين اي جسمين في الكون يكون متبادلاً وان قوة تأثير اي من الجسمين على الاخر تكون متساوية وعلى خط فعل واحد . وللتعبير عنه رياضياً وفهمه بصورة واضحة نفرض ان قوة جذب الارض على الجسم اي وزنه هو  $w$  وان كتلة الجسم هي  $m$  لا يجسم على سطح الارض وان  $M$  هي كتلة الارض و  $R$  هي نصف قطر الارض و  $h$  هي ارتفاع الجسم عن سطح الارض فان

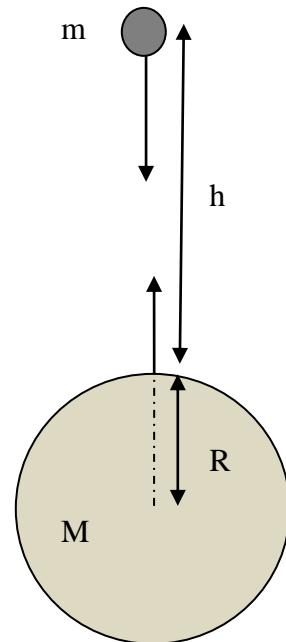
$$W = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$

حيث  $G$  ثابت الجاذبية العام و  $m$  هي كتلة الجسم . ولان هناك علاقة بين الكتلة والوزن هي  $W=mg$  و  $g$  هو ثابت التعجيل الارضي وبنطاقها في معادلة ثابت الجاذبية العام فان المعادلة تصبح كما يلي:

$$g = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

من هذه المعادلة نلاحظ ان التعجيل الارضي يعتمد على ارتفاع الجسم عن سطح الارض فكلما زاد الارتفاع قل التعجيل الارضي ومن الدلائل على ذلك رجل الفضاء حيث تتعدم فيها اثار الجاذبية تماماً ويصبح وزن الجسم صفرأً أما كتلته فتبقي ثابتة ولا يتغير وتبقى كما هي على سطح الارض، وهذا دليل على ان كتلة الجسم

مقدار ثابت لا يتغير بينما وزن الجسم متغير وقد ينعدم أحياناً ، وعليه فإن الكتلة خاصية جوهرية للجسم وهي لذلك أكثر تمييزاً للجسم من وزنه .



شكل(5) وزن الجسم الذي كتلته  $m$  هو مقدار قوة جذب الأرض على ذلك الجسم ويكون اتجاه قوة الجذب نحو مركز الأرض دائماً (ان الجسم يجذب الأرض بنفس مقدار قوة جذبها له)

**أمثلة محلولة :**

**مثال 1:** الوزن الجزيئي الغرامي لعنصر البوتاسيوم  $g = 39$  وكتافته  $\rho = 0.86 \text{ g/cm}^3$  ، أحسب قطر أيون البوتاسيوم ؟

من قانون عدد المولات يمكن ايجاد الوزن الكتلي حيث ان

$$n(\text{mole}) = \frac{M(\text{grams})}{M.W(\text{grams/mole})} \Rightarrow 1 = \frac{M}{39} \Rightarrow M(\text{grams}) = 39$$

الحجم الذي يشغله مول واحد من البوتاسيوم  $V_o$  يمكن ايجاده من قانون الكثافة

$$\rho = \frac{M}{V_o} \Rightarrow 0.86 = \frac{39}{V_o} \Rightarrow V_o (\text{cm}^3) = 45.4$$

المول الواحد من البوتاسيوم يحتوي على عدد افوكادرو  $N_a$  وعليه فإن متوسط الحجم الذي يشغله الايون الواحد من البوتاسيوم هو

$$V_p = \frac{V_o}{N_a} \Rightarrow V_p = \frac{45.4}{6 \times 10^{23}} \Rightarrow V_o (\text{cm}^3) = 7.5 \times 10^{-23}$$

وإذا اعتبرنا أن الايون الواحد على شكل كرة نصف قطرها  $r$  فإن حجم الايون الواحد، ومنها نجد نصف قطر الايون كما يأتي:

$$V_p = \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow 7.5 \times 10^{-23} = \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow r(\text{cm}) = 2.1 \times 10^{-8}$$

وعليه فإن قطر أيون البوتاسيوم هو  $4.2 \times 10^{-8} \text{ cm}$  . ومن المعلوم ان في المعادن تكون الذرات (أو الايونات) متراصة مع بعضها والبوتاسيوم من المعادن الخفيفة وسبب خفتها هو كبر حجم الايون بالمقارنة مع حجم ايونات المعادن الأخرى وما يعزز هذه النتيجة أن عنصر الذهب هو معدن ذو كثافة عالية وأيوناته

ذات حجم صغير قطر ايون الذهب هو  $2.6 \times 10^{-8} \text{ cm}^3$  (علمًا أن كثافة الذهب هي  $19.3 \text{ g/cm}^3$  وزنه الجزيئي الغرامي  $197 \text{ g/mole}$ ) ، من ذلك يتضح أن حجم الايونات أو الذرات أو الجزيئات تختلف من مادة إلى أخرى وعلى العموم تكون قطراتها محصورة بين  $5.1 \times 10^{-8} \text{ cm}^3$  و  $1.5 \times 10^{-8} \text{ cm}^3$  .

**مثال 2:** أحسب عدد ذرات الزئبق في قطرة من الزئبق قطرها 1 mm ؟ علمًا أن الوزن الجزيئي الكيلو غرامي  $M.W=202 \text{ Kg/Kmole}$  وأن كثافة الزئبق  $\rho=13600 \text{ Kg/m}^3$  .

أولاً نجد حجم قطرة الزئبق ، وبما أن كثافة الزئبق موجودة فيمكن ان نجد كتلة القطرة من قانون الكثافة . ثانياً نجد كتلة الذرة الواحدة من الزئبق وذلك بتقسيم كتلة الكيلو مول الواحد من الزئبق  $M.W$  على عدد ذرات الزئبق في الكيلو مول الواحد الذي يتمثل بعدد افوكادرو  $N_a$  .

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad \text{ان حجم قطرة الزئبق } V \text{ يمكن ايجاده من خلال العلاقة}$$

$$r=D/2=1/2=0.5 \text{ mm}=0.5 \times 10^{-3} \text{ m} \quad \text{حيث } r \text{ هو نصف قطر قطرة الزئبق}$$

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times (0.5 \times 10^{-3})^3 \Rightarrow V(m^3) = 5.24 \times 10^{-10} \quad (\text{حجم القطرة})$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{وكتلة قطرة يمكن ايجادها من قانون الكثافة}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \times V = 13600 \times 5.24 \times 10^{-10} = 7.1 \times 10^{-6} \text{ Kg} \quad (\text{كتلة القطرة})$$

أما كتلة ذرة الزئبق فيمكن ايجادها من القانون التالي

$$m_a = \frac{M.W}{N_a} = \frac{202}{6.02 \times 10^{26}} = 3.36 \times 10^{-25} \text{ Kg} \quad (\text{كتلة ذرة الزئبق})$$

فإذا رمنا إلى عدد ذرات الزئبق بالرمز  $n$  فيمكن ايجاد عدد ذرات الزئبق في قطرة الزئبق حسب القانون التالي:

$$n = \frac{m}{m_a} = \frac{7.1 \times 10^{-6}}{3.36 \times 10^{-25}} = 2.1 \times 10^{19} \quad (\text{عدد ذرات الزئبق في قطرة المغطاة})$$

**مثال 3:** اذا علمت أن الوزن الجزيئي الكيلوغرامي للهيدروجين هو  $M_h.W=2 \text{ Kg/Kmole}$  وللنایتروجين هو  $M_n.W=28 \text{ Kg/Kmole}$  . أحسب السرع الفعلية لجزيئات الهيدروجين والنايتروجين في الهواء الجوي تحت الشروط القياسية ؟ علمًا أن ثابت بولتزمان  $J/K=1.38 \times 10^{-23} \text{ K}$  وان عدد افوكادرو  $N_a=6.02 \times 10^{26} \text{ particles}$  .

الحل: من المعلومات أن الوزن الجزيئي الكيلوغرامي  $M.W$  لا يحتوي على نفس العدد من الجزيئات وهو عدد افوكادرو  $N_a$  . وعليه يمكن الحصول على كتلة الجزء الواحد من العنصر من تقسيم  $M.W$  على  $N_a$  وعلىه فأن

$$M_h = \frac{M_h.W}{N_a} = \frac{2}{6.02 \times 10^{26}} = 0.332 \times 10^{-26} \text{ Kg} \quad (\text{كتلة الجزء الواحد من غاز الهيدروجين})$$

وكتلة الجزء الواحد من غاز النيتروجين  $M_n = \frac{M_n \cdot W}{N_a} = \frac{28}{6.02 \times 10^{26}} = 4.65 \times 10^{-26} \text{ Kg}$  وباستخدام المعادلة التالية (متوسط الطاقة الحركية الانتقالية للجسيمات العالقة في المائع تساوي متوسط الطاقة الحركية الانتقالية لجزيئات المائع )

$$\frac{3}{2} K_B T = \frac{1}{2} m \bar{C}^2$$

حيث  $T$  هي درجة الحرارة المطلقة (بمقاييس كلفن) وتساوي تحت الشروط القياسية  $K$  273 . وعليه بالتعويض المناسب في المعادلة اعلاه يمكن الحصول على متوسط مربع سرع جزيئات الهيدروجين

$$\frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 273 = \frac{1}{2} \times 0.33 \times 10^{-26} \times \bar{C}^2$$

ومنها نجد السرعة الفعالة لجزيئات غاز الهيدروجين  $V_{\text{effective}} = \sqrt{\bar{C}^2} = 1832.6 \frac{m}{s}$

والسرعة الفعالة لجزيئات غاز النيتروجين بنفس الطريقة  $V_e = 490 \frac{m}{s}$

وبمقارنة السرينين نجد ان سرعة جزء الهيدروجين تزيد بثلاث مرات عن سرعة جزء النيتروجين . وهذا يشير الى أنه اذا كان لدينا خليط من الغازات المختلفة في نفس الدرجة الحرارية فإن الجزيئات التي كتلتها أقل تكون سرعتها أكبر ، وهذا ناتج من تساوي الطاقة الحركية لجميع الجزيئات اذا كانت في نفس الدرجة الحرارية .

#### المصادر:

1- "اساسيات الفيزياء" ، تايف فريدرك. ج. بوش ، رافيد أ. جيرد ترجمة أ.د. سعيد الجزييري ، أ.د. محمد أمين سلمان، 6<sup>th</sup> Ed. الدار الدولية مصر، 1992 .

2- "PRINCIPLES OF PHYSICS" ، Raymond A. Serway, John W. Jewett, 4<sup>th</sup> Ed. THOMSON.USA, 2006.

3- "Concepts in Thermal Physics" ، Stephen J. Blundell and Katherine M. Blundell, OXFORD University Press Inc., 2006.