

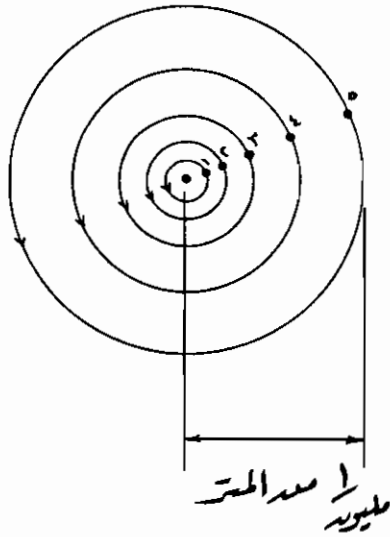
الفصل الأول

الخواص الفيزيائية للمواد

(١-١) فيزياء الذرة

أعتقد منذ قديم الزمان أن المادة على الرغم من كونها تبدو ظاهرياً متجانسة، فإنها تتألف من تراكيب دقيقة لا يمكن مشاهدتها بصورة مباشرة. ولم يأخذ هذا الاعتقاد شكله العملي إلا خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر. فمنذ ذلك الوقت، تم إثبات وجود مكونات المادة من الذرات والجزيئات.

وتتركب الذرات من جسيمات دقيقة تسمى الإلكترونات (مشحونة بشحنة سالبة) والبروتونات (مشحونة بشحنة موجبة) والنيوترونات (غير مشحونة). فكل ذرة تتكون من نواة صغيرة تتألف من بروتونات ونيوترونات وتشكل قلب الذرة وعلى مسافة منها هناك عدد من الإلكترونات تحوم في مدارات حولها. وربما يتصور المرء، أن الإلكترونات تدور حول النواة كدوران الكواكب حول الشمس، ولكن هذه النظرة في الحقيقة تتعارض مع النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية. إذ، حسب هذه النظرية، أن إلكترونات يسير بحركة دائرية يبث باستمرار طاقة كهرومغناطيسية، وبذلك يكون المدار غير مستقر. ولحل لغز الذرة، اقترح العالم نيل بوهر «N. Bohr» عام ١٩١٣م فكرة مقنونة الحركة (تكمم) التي تصف دوران الإلكترون حول نواة الذرة، وبذلك أمكن دراسة التركيب الذري. وحصل العالم بوهر على صورة للذرة التي هي مع عدم كمالها ثم استبدالها فيما بعد بنظرية تعتمد على ميكانيكا الكم أكثر دقة وفائدة، تشكل حتى الآن صورة جيدة تساعدنا على فهم الصفات الفيزيائية والكيميائية للذرات والمواد التي تكونها.



شكل ١ : رسم مبسط لذرة الهيدروجين كما تصوره العالم نيل بوهر.

إن الفرق الأساسي بين ميكانيكا نيوتن الكلاسيكية وميكانيكا الكم هو اختلاف مفهوم الكميات الفيزيائية تحت الدراسة. فميكانيكا نيوتن تتضمن دراسة حركة الأجسام تحت تأثير القوى، حيث يفترض أن الكميات الفيزيائية كموقع الجسم وكتلته وسرعته وعجلته (تسارعه) إلى آخره، يمكن قياسها بدقة متناهية. وهذه الفرضية بطبيعة الحال صحيحة في حدود تجاربنا اليومية.

ونتائج ميكانيكا نيوتن تتفق مع النتائج العملية في ظروف المشاهدات اليومية. أما ميكانيكا الكم، فتتضمن هي الأخرى علاقات بين الكميات الفيزيائية العملية والمشاهدة. ولكن مبدأ عدم التحديد «Uncertainty Principle» يغير جذرياً معنى القياسات في عالم الذرات، وبناء على مبدأ عدم التحديد، لا يمكن مطلقاً تحديد موقع الجسم وكمية حركته (الزخم) بدقة متناهية. في الوقت نفسه الذي نرى في ميكانيكا نيوتن أن هاتين الكميتين لهما قيمة محددة في كل لحظة.

وفي الحقيقة، أن الكميات الفيزيائية المتضمنة في ميكانيكا الكم هي المعدلات «average». على سبيل المثال، نقول استناداً على نظريات ميكانيكا نيوتن أن نصف قطر مدار الإلكترون في الحالة الأرضية لذرة الهيدروجين يساوي $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$. بينما استناداً على نظريات ميكانيكا الكم نقول إن معدل نصف قطر مدار الإلكترون في الحالة الأرضية لذرة الهيدروجين هو $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$.

وبالفعل لو قمنا بإجراء تجارب عملية مناسبة لقياس نصف قطر مدار الإلكترون لوجدناه في معظم الأحيان هو أكبر أو أقل من هذه القيمة، ولكن معدل القيم هذه يساوي $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$.

ويمكن للمراقب وللوهلة الأولى أن يجد في ميكانيكا الكم تعويضاً غير دقيق لميكانيكا نيوتن الكلاسيكية. ولكن دراسة دقيقة للموضوع توضح الحقيقة، وهي أن ميكانيكا نيوتن ليست إلا صيغة تقريبية لميكانيكا الكم.

إن الدقة المزعومة في ميكانيكا نيوتن هي خداعية، وتوافق نتائجها مع التجارب اليومية ليس إلا نتيجة أن الأجسام الكبيرة «macroscopic» تتألف من عدد كبير من الذرات، حيث يكون عدم التحديد في معدل تصرفاتها غير ملحوظ. وبدلاً من أن تكون هناك مجموعات من القوانين أو لاهما لوصف العالم الكبير ومجموعة أخرى من القوانين لوصف العالم الصغير الدقيق «microscopic»، هناك في الحقيقة مجموعة واحدة من القوانين. وميكانيكا الكم تشكل الهيكل الدقيق لوصف جميع الأشياء والأجسام.

كما ذكرنا سلفاً، تتركب المادة من أجزاء صغيرة جداً تسمى بالذرات أو الجزيئات. وذرات المادة الواحدة متشابهة تماماً من ناحية التركيب والخواص الفيزيائية والكيميائية. وتستقر جزيئات المادة في حالة اتزان داخلها تحت تأثير قوى بينية كبيرة بعضها جاذب والآخر طارد.

وتتوقف هذه القوى وشدتها على نوع المادة المعينة.

٢-١) النظرية الجزيئية للمادة:

والقوى الجاذبة في المادة ثلاثة أنواع هي :

(أ) قوى كولومية : تعتمد على التجاذب الكهربائي بين الشحنات المختلفة الإشارة، كما يحدث في حالة البلورات الأيونية مثل كلوريد الصوديوم .

(الكولومية مشتقة أساساً من قانون كولوم للقوة الكهربائية بين الشحنات)

(ب) قوى فان درفال : وتحدث نتيجة دوران الإلكترونات في مداراتها حول نواة الذرة، ويتسبب عن ذلك ما يسمى بثنائى القطب الكهربائي، وهذا يتجاذبها مع بعضها في الذرات المتجاورة وتحدث ما يطلق عليه بقوى فان درفال، وهي غالباً قوى ضعيفة كما في الشمع وذلك بسبب انخفاض نقطة انصهاره .

(ج) قوى التبادل : وتنشأ عندما يحدث اتحاد كيميائي ينتقل فيه الإلكترون من الذرة الأولى إلى ذرة مجاورة . هذا الانتقال يسبب تلاصق الذرتين بقوى كبيرة .

أما القوى الطاردة في المادة فتنشأ بسبب تنافر بين الشحنات السالبة (الإلكترونات) المحيطة بكل ذرة والتي يصبح تأثيرها كبيراً جداً عندما تقترب الذرات من بعضها بدرجة كبيرة تحت تأثير القوى الجاذبة سالفة الذكر .

تتواجد المادة في الطبيعة عادة على أشكال ثلاثة هي :

- الحالة الصلبة .

-- الحالة السائلة .

-- الحالة الغازية .

وتتوقف الحالة التي تتواجد عليها المادة على كيفية ارتباط جزيئاتها ببعضها وعلى مقدار القوى البينية بينها .

وفيها تكون الجزيئات قريبة من بعضها وتكون قوى التجاذب بين الجزيئات كبيرة جداً . وهذه القوى هي التي تحفظ للجسم الصلب شكله . ويتحرك كل جزيء حركة تذبذبية حول موضع توازنه، تزداد سعتها الحركية بازدياد درجة الحرارة . وعندما تصل درجة الحرارة لنقطة الانصهار تكون الذبذبات من العنف بمكان، حتى أنها تتغلب على قوى التجاذب . فيتحطم الشكل الصلب للجسم متحولاً إلى سائل . وتمثل الحرارة الكامنة للانصهار الطاقة الحرارية اللازمة لتحطيم الشكل الصلب للجسم .

في هذه الحالة تتحرك الجزيئات بحرية أكثر من حالة الصلابة، وإن كانت قوى التجاذب بينها لا تزال من القوة بحيث تجمعها جميعاً في حجم ثابت . وتغادر السوائل عند سطحها بعض الجزيئات ذات الطاقة الكبيرة ويعرف ذلك بالبخار . ونتيجة هروب الجزيئات السريعة ذات الطاقة العالية تبقى الجزيئات ذات الطاقة المنخفضة نسبياً، بحيث نجد أن متوسط طاقة الجزيء في داخل السائل تنخفض . ولذلك فإن البخار يخفف من درجة حرارة السائل .

أما إذا ارتفعت درجة الحرارة حتى تصل إلى نقطة الغليان . فإن الطاقة الحرارية تكون كافية لهروب جميع الجزيئات من السائل وبذلك يتحول إلى الحالة الغازية . ويكون ضغط الجزيئات فوق سطح السائل (ضغط البخار) عند نقطة الغليان مساوياً للضغط الجوي .

(٣-١) أحوال المادة:

* الحالة الصلبة للمادة :

* الحالة السائلة للمادة :

* الحالة الغازية للمادة:

فى هذه الحالة لا تشغل جزيئات الغاز أماكن ثابتة، فهى حرة الحركة فى أى مكان ولذلك فإننا نجد أن الغاز يشغل دائماً حجماً كل الإناء الموضوع فيه. ونتيجة لبعده الجزيئات عن بعضها يسهل ضغط الغازات بدرجة أكبر من السوائل والأجسام الصلبة.

وقد أثبت العلم الحديث الآن، أن الأطوار المختلفة التى تتواجد بها جزيئات المادة ليست ثابتة بل هناك أطوار عديدة بينها «mesophases» تتواجد بها. هذه الأطوار البينية تجعل المادة تجمع فى خصائصها الفيزيائية والكيميائية ما يجعلها وكأنها تتواجد فى الحالتين الصلبة والسائلة فى آن واحد كما هو الحال فى «مواد البلورات السائلة» كما سيأتى بيانه فى الفصل الثانى.

وفى ما يلى نستعرض بعضاً من خواص المادة فى حالتها الصلبة والسائلة:

٤-١) الخواص الفيزيائية

للسوائل؛

١-٤) خواص السوائل الساكنة

١) ضغط السائل

وجد عملياً أن ضغط السائل يؤثر دائماً عمودياً على السطح، ويتوقف ذلك على ارتفاع السائل وكثافته وعجلة الجاذبية الأرضية.

٢) قاعدة باسكال

وتنص على أنه: إذا وقع جزء من سائل متزن فى حيز محدود تحت تأثير ضغط ما، فإن الضغط ينتقل غير منقوص إلى جميع أجزاء السائل.

٣) دفع السوائل للأجسام المغمورة-

وجد عملياً أنه إذا غمر جسم فى سائل، فإنه يقع تحت تأثير دفع من أسفل إلى أعلى بسبب السائل.

فيها (قاعدة أرشميدس):

وهذا الدفع يسبب نقص وزن الجسم ظاهرياً. ويؤثر هذا الدفع على الجسم سواء كان مغموراً كلياً أم مغموراً جزئياً. وقد وجد أن هذا الدفع مساوياً لوزن السائل الذى يزيحه الجزء المغمور من الجسم. أى إن الدفع = وزن السائل المزاح وهذه العلاقة تعرف بقاعدة أرشميدس.

وتستعمل هذه القاعدة فى تعيين الأوزان النوعية للأجسام والسوائل.

ويعرف الوزن النوعى للجسم، بأنه النسبة بين وزن الجسم فى الهواء ووزن حجم من

الماء يساوى حجم الجسم.

$$\text{إذاً، الوزن النوعى لجسم صلب} = \frac{\text{وزن الجسم فى الهواء}}{\text{وزن حجم مساو للجسم من الماء}}$$

$$\text{والوزن النوعى للسائل} = \frac{\text{وزن حجم معين من السائل}}{\text{وزن الحجم نفسه من الماء}}$$

ويمكن قياس الوزن النوعى للسوائل باستعمال الهيدرومترات. ويتركب النوع البسيط منها من عمود من الخشب منتظم المقطع مثبت أسفله قطعة رصاص. وإذا وضع فى سائل فإنه يطفو رأسياً. ويتوقف طول العمود المغمور تحت سطح السائل على كثافة السائل.

٤) اتزان الأجسام الطافية

عندما يطفو أى جسم فوق سائل . . فإنه يكون متزنًا تحت تأثير قوتين هما:
 أ - ثقل الجسم وتعمل هذه القوة فى نقطة تسمى بمركز ثقل الجسم.
 ب - دفع السائل إلى أعلى وتؤثر قوة الدفع فى نقطة تسمى بمركز الطفو وهو فى الواقع مركز ثقل السائل المزاح.

ويكون الجسم فى حالة اتزان مستقر، إذا كان مركز الطفو أعلى وضعاً من مركز ثقل الجسم . أما إذا حدث العكس، فإن الاتزان يكون غير مستقر . وذلك بسبب تكون ازواج من قوى الثقل والدفع مما يؤدي إلى دوران الجسم ويجعل أسفله عاليه . ويجب مراعاة ذلك عند بناء السفن وتحميلها، بحيث يكون مركز الطفو أعلى دائماً من ثقل السفينة .

٥) التوتر السطحي

تنشأ ظاهرة التوتر السطحي عن قوى التماسك وقوى الالتصاق بين الجزيئات عند سطوح السوائل . وهى خاصية لا وجود لها فى داخل السوائل .
 فإذا اعتبرنا جزيئاً موجوداً فى باطن السائل فإنه يكون واقعاً تحت تأثير قوى الجزيئات المحيطة به من جميع الجهات ولذلك فإن محصلة هذه القوى تساوى صفراً .
 أما الجزيئ الموجود على السطح فإنه يقع تحت تأثير قوى جذب الجزيئات التى تحته فقط وتكون محصلة هذه القوى إلى أسفل . تعمل هذه المحصلة على حركة الجزيئات عند السطح إلى داخل السائل . وهذا يسبب ميل سطح السائل دائماً إلى الانكماش ويؤدي ذلك إلى تكور قطرات السوائل فوق ورق مشمع، وتبدو كما لو كانت موضوعة داخل غشاء مشدود رقيق من المطاط، وإذا اعتبرنا أى خط على سطح السائل فإنه يقع تحت تأثير قوتين متساويتين مقداراً ومتضادين اتجاهًا .
 ويعرف التوتر السطحي « بالقوة المؤثرة على وحدة الأطوال من أى خط من خطوط سطح السائل » .

٦) الخاصية الشعرية وزاوية

التلامس

إذا غمرنا طرف أنبوبة رأسياً فى سائل، نلاحظ ارتفاع السائل داخل الأنبوبة . تسمى هذه الظاهرة بالخاصية الشعرية . ومرجعها وجود توتر سطحي للسائل .
 وكلما ضاق مقطع الأنبوبة الشعرية ازداد ارتفاع السائل بها . ويشد الزئبق عن جميع السوائل فى هذا الشأن، إذ يلاحظ انخفاض سطح الزئبق داخل الأنابيب الشعرية بالنسبة لسطحه خارجها وذلك بسبب كشافته المرتفعة وارتفاع توتره السطحي، مما يجعله يجمع بين خصائص السوائل والمواد الصلبة .
 وإذا لوحظ أى سائل داخل أنبوبة شعرية، نجد أن السائل يرتفع قرب جدار الأنبوبة عنه فى المنتصف . كما هو موضح بالشكل [٢]، حيث يصنع المماس لسطح السائل عند نقطة تلامسه مع جدار الأنبوبة زاوية داخل السائل تسمى زاوية التلامس .

وتؤثر قوة التوتر السطحي فى اتجاه هذا المماس، وتوقف زاوية التلامس على طبيعة السائل والمادة التى يلامسها . وفى حالة الماء والزجاج تكون زاوية التلامس

صفرًا. لذلك نجد أن الماء يبلل الزجاج تمامًا، أى إنه ينتشر فوقه. أما إذا كان الزجاج غير نظيف أو مدهونًا بمادة شمعية أو ما شابه ذلك، نجد أن الماء يتكور على السطح لأن زاوية التلامس لن تكون صفرية في هذه الحالة.

وتكون زاوية التلامس دائما حادة في جميع السوائل ما عدا الزئبق وهو السائل الوحيد الذى وجد أن زاوية تلامسه مع الزجاج منفرجة وتساوى 137° . وسبب ذلك، أن قوة التماسك بين جزيئات الزئبق أكبر من قوة التلاصق بين هذه الجزيئات وسطح الزجاج، بينما يحدث العكس فى حالة الماء والزجاج، والجدير بالذكر أن التوتر السطحي للسوائل يتغير بالحرارة.

١-٤ ب) خواص السوائل المتحركة ١) خاصية الانتشار

يقصد بالانتشار هو انتقال ذرات أو جزيئات المادة فى داخلها من مكان إلى مكان آخر. ويعود الفضل لاكتشاف الطبيعة الجزيئية للمادة إلى ظاهرة الانتشار.

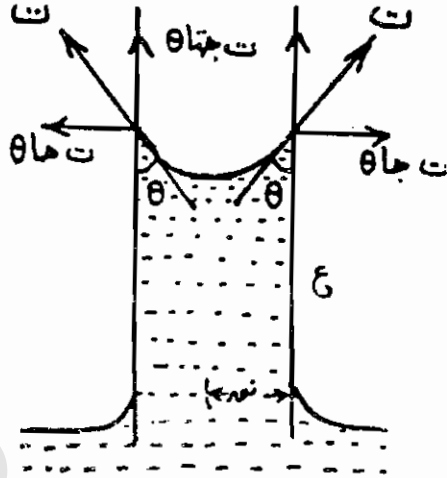
والجدير بالذكر أن خاصية الانتشار قد تحدث فى الأجسام الصلبة. وأجريت تجربة عملية لذلك عن طريق ضغط لوحين أحدهما من الذهب النقى والآخر من الرصاص النقى وتركنا بعد تلاصقهما لعدة سنوات. فوجد بعد التحليل الكهربائى تغلغل ذرات الذهب فى لوح الرصاص وكذلك تغلغل ذرات الرصاص فى لوح الذهب إلى أعماق تصل إلى ٢ مم فى الداخل مما يدل على أن ذرات كل من الذهب والرصاص تحركت داخل المادة.

أما فى حالة السوائل، فقد أجريت التجربة الآتية:

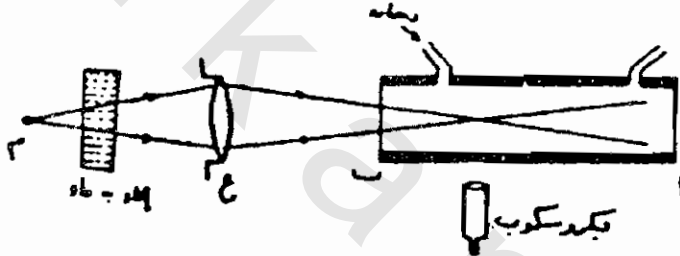
وضعت كمية من كبريتات النحاس الزرقاء المركزة فى مخبر ثم سكب بلطف مادة بيكرومات البوتاسيوم (وهو سائل أصفر اللون كثافته أقل من كثافة كبريتات النحاس)، على قطعة من الفلين طافية على سطح كبريتات النحاس، وذلك لمنع امتزاج السائلين عند السكب. فى البداية وجد أن السطح الفاصل للسائلين كان واضحاً تماماً.

وعندما ترك المخبر زمناً كافياً دون أن يقربه أحد، وجد أن السائلين اختلطا تماماً وتكون لون أخضر منتظم فى كل المخبر.

أما بالنسبة لانتشار الغازات فقد أجريت التجربة الآتية: - استعمل الدخان لتبين حركة جزيئات الغاز، والجهاز المستخدم موضح بالشكل [٣]، ويتركب من مصدر ضوئى قوى (S) موضوع أمام عدسة مجمعة (L) لتجميع الضوء داخل إناء زجاجى (AB) به فتحتان جانبيتان يمر تيار من الدخان داخل الإناء الزجاجى، وينظر إلى ذرات الدخان بواسطة ميكروسكوب.



شكل ٢: ارتفاع السوائل في الأنابيب الشعرية وتعريف زاوية التماس.



شكل ٣: تجربة الدخان في تعيين حركة الغازات.

فتظهر الجزيئات بتأثير شعاع الضوء كأنها نقط مضيئة في فضاء مظلم (كالنجوم في الليل). وترال الحرارة من شعاع الضوء الساقط بوضع إناء به ماء بارد في طريق الضوء يسمح بمروره ولكنه يمتص الشعاع الحرارى المتولد من المصدر الضوئى وذلك حتى لا تصل هذه الحرارة إلى الدخان فتسبب تيارات حمل تحرك ذراته . ولو حظ بالنظر فى الميكروسكوب أن النقط المضيئة ترتعش كما لو كان شيئاً غير منظور يصطدم بها وهذا الشئ هو جزيئات الهواء . واختير الدخان فى هذه التجربة لأن جزيئاته صغيرة الحجم وخفيفة الوزن، بحيث يمكن أن يؤثر فيها تصادم جزيئات الهواء فتظهر نتيجة التصادم فى الميكروسكوب على شكل رعشة للنقط المضيئة . وتتميز جميع المواد بما يسمى معامل الانتشار الذى تتوقف قيمته على نوع كل من المادة المنتشرة وكذلك الوسط الذى تنتشر خلاله هذه المادة . أما إذا كان الانتشار نتيجة لاختلاف تركيز المادة نفسها فى الوسط ذاته سميت الظاهرة « الانتشار الذاتى » . وهناك كما نعلم طرق عديدة لقياس معامل الانتشار فى السوائل من أهمها طريقة الضغط الأسموزى .

وهناك نظريات عديدة وضعت لدراسة حركة السوائل نذكر منها «قاعدة توريشللى» التى تعتنى بخروج سائل من فتحة فى إناء. وكذلك «قاعدة برنولى» التى تعتنى بحركة السوائل داخل الأنابيب المختلفة. ولهذه القاعدة تطبيقات عديدة أهمها عمل مذرات spray العطور والمبيدات الحشرية السائلة ومذرات الطلاء بالبويات التى تعتمد أساساً على قاعدة برنولى التى تنص على أن ازدياد سرعة السائل أو الغاز عند مقطع فى أنبوية يصحبه انخفاض فى الضغط فى هذا المكان.

٢) لزوجة السوائل

لوحظ عند سكب كمية من زيت أو جليسرين وأخرى من ماء على مستوى أفقى، نجد اختلافاً فى قابلية كل منهما على الانسياب. فبينما نجد أن الماء يستجيب بسهولة لفعل القوة التى تعمل على تحريكه، نجد أن الجليسرين بطئاً فى التدفق. والخاصية التى تميز السائل من حيث استجابته للحركة تسمى باللزوجة وتنشأ عن وجود ما يشبه الاحتكاك بين طبقات السائل بعضها ببعض. وكلما ازدادت قيمة هذا الاحتكاك زادت لزوجة السائل. ويمكننا تعريف اللزوجة بأنها الممانعة التى تبديها طبقات السائل للحركة.

١ - ٥) فيزياء الجوامد

١ - ٥) مرونة الأجسام الصلبة

إذا أثرت بقوة على جسم صلب، ونتج عنها تغير فى أبعاده أو فى شكله، يقال إن الجسم تام المرونة، إذا عاد الجسم إلى سابق شكله وأبعاده تماماً بعد إزالة القوة. وتعود خاصية المرونة فى الأجسام إلى القوة البنينة الكبيرة بين الذرات المكونة لها. وتعتمد نظرية المرونة على بعض المشاهدات التى أجراها العالم «هوك» لربط العلاقة بين القوة المؤثرة على الجسم والتغير فى أبعاده وشكله. وكمقياس للقوة، عرف «هوك» الإجهاد Strain بأنه القوة الواقعة على وحدة المساحات من الجسم، كما عرف الانفعال Stress بأنه التغير النسبى الحادث وينقسم إلى ثلاثة أنواع هى:

- ١ - انفعال طولى: ويساوى التغير فى الطول مقسوماً على الطول الأصيلى.
- ٢ - انفعال حجمى ويساوى التغير فى الحجم مقسوماً على الحجم الأصيلى.
- ٣ - انفعال قاص: ويحدث فى حالة تغير شكل الجسم دون أبعاده كما يحدث عند لى سلك بقوة قاصة. ويقاس الانفعال القاصى بمقدار الزاوية التى يدورها خط مستقيم على سطح الجسم نتيجة لتأثير القوة.

ووضع «هوك» قانوناً فيزيائياً يعرف باسمه وينص على:

«تتناسب مركبات الإجهاد طردياً مع مركبات الانفعال المناظرة داخل الحد المرن للجسم».

والحد المرن للجسم هو النقطة التى يبطل بعدها قانون «هوك». وتتميز الأجسام بمعاملات المرونة التى تعرف بأنها النسبة بين الإجهاد إلى الانفعال.

ويتوقف معامل المرونة على طبيعة المادة وتميزها من ناحية المرونة. وبما أن هناك ثلاثة أنواع من الانفعال، لذلك يوجد ثلاثة أنواع من معاملات المرونة هى:

أ) معامل المرونة الطولى (معامل يونج) ويستخدم عندما يتضمن الانفعال تغييراً فى الطول، كما هى الحال فى حالة

$$\text{استطالة سلك} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال الطولى}}$$

وينشأ عندما يكون الانفعال الناشئ عن القوة حجمياً، كما هو الحال فى الغازات والسوائل والأجسام التى تقع عليها ضغوط من جميع الاتجاهات. وهناك معامل مرونة حجمى يميز الغازات وآخر يميز السوائل، ويعتمد على ضغط الغاز والحرارة النوعية.

ب) معامل المرونة الحجمى:

ويستخدم عندما يحدث الإجهاد تغييراً فى الشكل فقط. فى هذه الحالة يقاس الانفعال القاصى بمقدار الزاوية التى يتغير بها شكل الجسم. وبناء عليه يتحدد معامل الصلابة بالنسبة بين الإجهاد على الجسم إلى مقدار الزاوية أو الانفعال القاصى.

ج) معامل الصلابة أو القص

وهناك علاقات رياضية تربط بين جميع معاملات المرونة التى تميز المادة، ويمكن اشتقاقها بتعريف ما يسمى بنسبة بواسون التى تعرف بأنها النسبة بين الانفعال المستعرض للجسم على الانفعال الطولى له أو هى مقدار الانكماش النسبى فى سطح الجسم إلى الاستطالة.

١ - ٥ ب) البلور

كما ذكرنا سلفاً، تتركب المادة فى حالاتها الغازية أو السائلة أو الصلبة من ذرات وجزيئات دائمة الحركة، ويربط بينها قوى تكون صغيرة جداً فى حالة الغازات، وتكون أكبر فى حالة السوائل، بينما هى فى الأجسام الصلبة قوى كبيرة جداً تحفظ للجسم شكله وحجمه.

ونظراً لصغر هذه القوى فى الغازات والسوائل، فإن جزيئاتها تتحرك عشوائياً، ولا يكون هناك ترتيب منتظم لها.

بينما فى حالة الأجسام الصلبة فهى نوعان:

أ) مواد صلبة بلورية Crystalline، وهى التى تترتب ذراتها بانتظام على شكل خلايا تتكرر فى الاتجاهات الفراغية للجسم.

ب) مواد صلبة غير بلورية amorphous مثل الزجاج الذى يعتبر فى معظم الأحوال كأنه سائل فائق التبريد Super Cooled Liquid.

فيما يلى سوف نلقى الضوء على أنواع الجوامد المتبلورة التى تحددت بأربع أنواع هى:

١ - البلورات الأيونية.

٢ - البلورات الجزيئية.

٣ - البلورات التساهمية.

٤ - البلورات الفلزية.

فى البلورات الأيونية مثل كلوريد الصوديوم NaCl تتنازل ذرة الصوديوم عن إلكترون التكافؤ بها لذرة الكلور، وتكون رابطة الترابط أيونية بين أيون الصوديوم الموجب وأيون الكلور السالب.

أما في حالة البلورات الجزيئية، يكون الترابط بقوى فان درفال . وتكون جميع ذرات البلورة متشابهة ومتعادلة. تحمل كل ذرة شحنات موجبة في النواة وسالبة حولها.

وهذا يشبه بشكل ثنائي قطب كهربائي، حيث تتركب الذرات والجزيئات كما هو موضح بالشكل (٤)، بحيث تكون الشحنات المختلفة أقرب ما يمكن، وتكون القوى الكهربائية المحصلة هي الفرق بين قوى التجاذب والتنافر بين الشحنات المختلفة والمتشابهة، ويكون الجذب أكبر قليلاً من الطرد لقرب الشحنات المختلفة عن الشحنات المتماثلة.

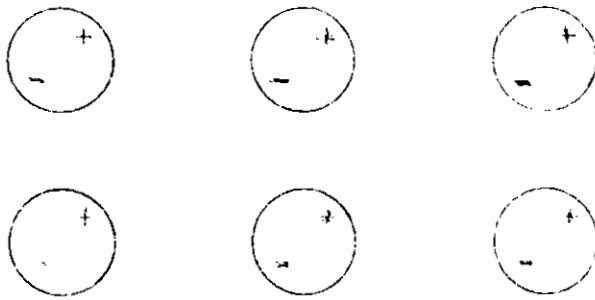
هنا يكون الترابط ضعيفاً، ولذلك فإن درجة انصهار مثل هذه المواد (كالشمع) تكون صغيرة، حيث إن رفع الحرارة وما يتبعه من تهيج حراري Thermal agitation يسبب كسر الحالة الصلبة إلى سائلة.

وفي حالة البلورات التساهمية تكون الكثافة الكهربائية بين الذرات المتجاورة كبيرة. وتتشترك الإلكترونات في الذرات المتجاورة.

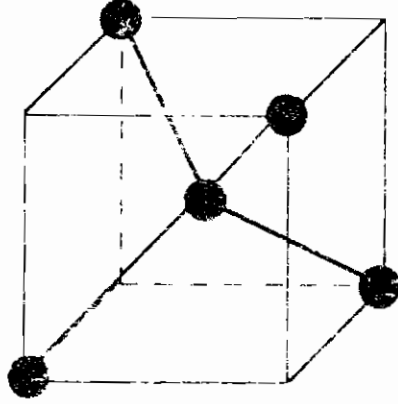
ومن المعروف لدينا، أننا نحصل على تركيب إلكتروني مستقر في الذرات إذا استوفت عدد $2n^2$ إلكترون في الغلاف الخارجي لها، حيث إن n تمثل رتبة المدار أو العدد الكمي الأساسي للذرة.

على سبيل المثال تملك ذرة الكربون أربعة إلكترونات في غلافها الثاني، فإذا كان لكل ذرة كربون أربع ذرات كأقرب جيران، يمكن أن تشترك كل ذرتين متجاورتين في إلكترونين وتصبح جميع ذرات الكربون في الجسم الصلب، وكان بغلافها الخارجي عدد ثمانية إلكترونات، وليس أربعة فقط، وهذا بالطبع وضع مستقر. وتنشأ من هنا قوى ترابط غاية في القوة كما في حالة شبيكة الماس، انظر الشكل (٥).

أما في حالة البلورات الفلزية فنجد أن الفلزات تتميز بعدد صغير من الإلكترونات في أغلفتها الخارجية. وتعطى ذرات الفلز هذه الإلكترونات الخارجية لتكوين سحابة



شكل ٤ : ثنائي القطب الكهربائي.



شكل ٥ : شبكة الماس.

من الشحنات السالبة تحيط بأيونات هذه الذرات، ويعود ذلك لضعف الرابطة بين هذه الإلكترونات الخارجية وبين الذرات التابعة لها. وتكون قوى التجاذب بين الأيونات والسحابة الإلكترونية هي القوى الأساسية للترابط بين ذرات الفلز الذي يمكن تصوره على أنه حالة رص منتظمة من الأيونات الموجبة تحيط بها سحابة من الإلكترونات.

ولما كانت الرابطة هنا بين الأيون والسحابة الإلكترونية المحيطة، لذلك تتميز الرابطة في الفلزات بأنها مطاطة "elastic". ويعود هذا الاختلاف إلى عدم وجود ربط مباشر بين الذرات وبعضها، كما في الحالات السابقة. ويلاحظ هنا أن السحابة الإلكترونية في الفلزات تعطى لها خواصاً مميزة مثل التوصيل الكهربائي والحرارى الجيد وكذلك لمعة السطح الخارجى.

إذا ترتب في الفراغ عدد لا نهائى من النقط، بحيث يكون لكل نقطة الوسط المجاور نفسه *identical Surroundings* فإنها تكون شبكة فراغية، لكل نقطة فيها عدد الجيران نفسه على الأبعاد والاتجاهات نفسها. ويتميز التركيب البلورى على ذلك بعدد التناسق "Coordination number" الذى يحدد الذرات المجاورة كما سبق ذكره.

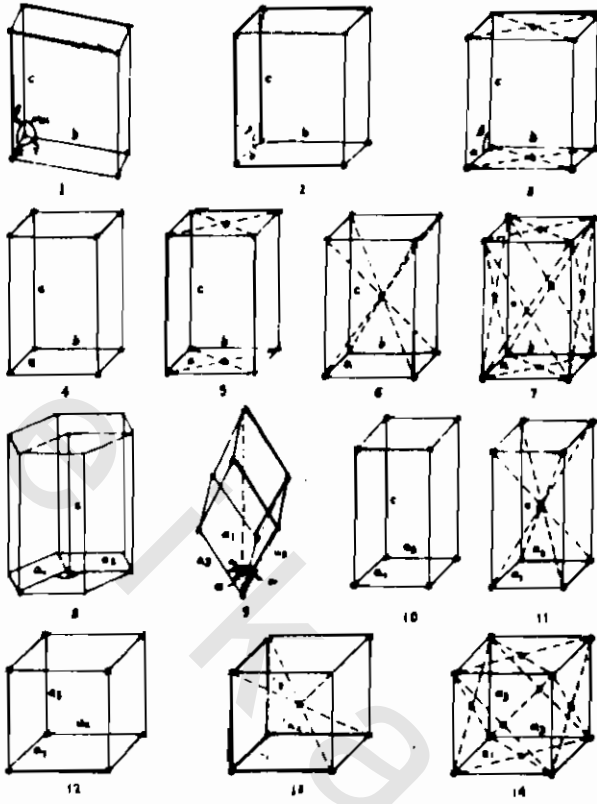
يوجد فقط أربعة عشرة طريقة يمكن بواسطتها ترتيب أى عدد من النقط، بحيث تستوفى شروط تكوين الشبكة، انظر الشكل (٦).

ولكل طريقة من هذه الطرق تتحدد وحدة خلية Unit cell عندما تتكرر هذه الوحدة فى الاتجاهات الفراغية. ووحدة الخلية هي أصغر منشور أو متوازى مستطيلات توجد عند كل ركن من أركانه شبكة نقطية.

١ - ٦) التركيب البلورى

أ - شبكات الأربعة عشر الجرافية

The 14 - Bravais Lattices



شكل ٦ : الشبكات البراقية الأربعة عشر.

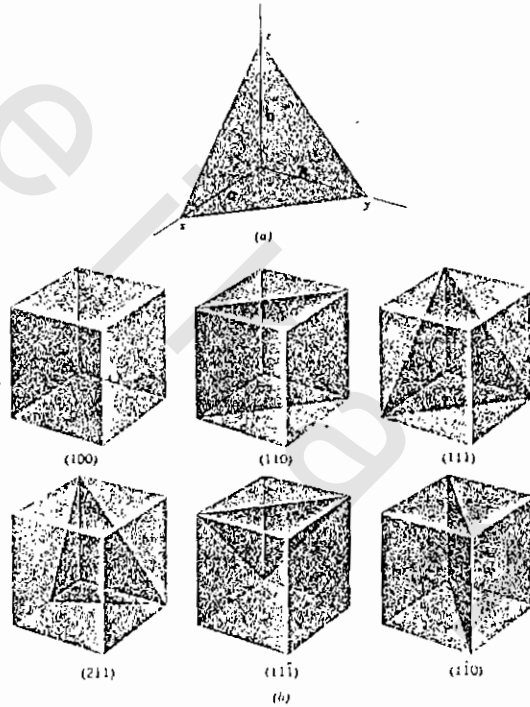
ب - المجاميع البلورية ووحدة الخلية عدد المجاميع سبعة وأساسها محاور ثلاثة هي X, Y, Z تميل بزوايا α, β, ϕ وتؤخذ هذه المحاور على أنها خطوط تقاطع الثلاثة أوجه الأساسية للبلورة والتي توازي مستويات التماثل في البلورة إذا كانت تحتوى إياها. والمجاميع السبعة هي:

- 1 - Triclinic (ثلاثى الميل) : $\alpha \neq 90, \beta \neq 90, \phi = 90$
- 2 - Monoclinic (أحادى الميل) : $\alpha = \phi = 90, \beta \neq 90, c < a, b$ arbitrary
- 3 - Orthorhombic (نظام التبلور المعينى) : $\alpha = \beta = \phi = 90, c < a < b$
- 4 - Tetragonal (الأضلاع الرباعى الزوايا والأضلاع) : $\alpha = \beta = 90, \phi = 120$
 $a = b \neq c$
- 5 - Hexagonal (سداسى) : $\alpha = \beta = 90, \phi = 120, \text{arbitrary } a = b, c$
- 6 - Cubic (تكعيبي) : $\alpha = \beta = \phi = 90, a = b = c$
- 7 - Trigonal (ثلاثى الوجه) : $\alpha = \beta = \phi \neq 90, a = b = c$

وتتبلور معظم الفلزات بترتيب ذرى بسيط هو عادة F.C.C. تكعيبي متمركز الوجه أو تكعيبي متمركز الجسم b.c.c أو h.c.p سداسى.

ج - معاملات ميلر
Miller indices

تستعمل معاملات ميلر لتعريف الشبكة في حالة المحاور المتعامدة فقط وهدفها إعطاء وصف كامل لأي مستوى أو اتجاه في الفراغ. لتعريف أى مستوى نفرض أنه يقطع المحاور X, Y, Z فى a, b, c على الترتيب، ثم نوجد مقلوبات هذه الأعداد فنحصل على $\frac{1}{a}, \frac{1}{b}, \frac{1}{c}$ ويتوحيد المقامات تصبح $\frac{1}{x}, \frac{1}{y}, \frac{1}{z}$ وبإزالة المقامات يكون تعريف المستوى بالمعاملات $(h k l)$ وهى التى يطلق عليها اسم معاملات ميلر. والشكل [٧] يبين بعض المستويات الأساسية فى الشبكة التكعيبية.



شكل ٧ : إحداثيات ميلر .

د - تعريفات تتعلق بالتراكيب ١ - عدد التناسق: هو عدد أقرب جيران البسيطة

٢ - نصف قطر الذرة: هو نصف المسافة بين أقرب ذرتين متجاورتين فى بلورة من العنصر النقي بدلالة طول ضلع الخلية.

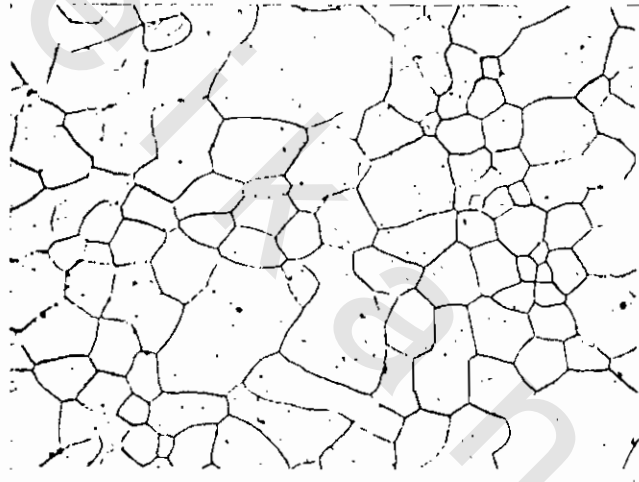
٣ - الكثافة النسبية للرص: هى النسبة بين الحجم الذى يشغله الكرات التى تمثل الذرات فى الخلية إلى الحجم الكلى للخلية.

عندما يبدأ مصهور فلز فى التجمد تثبت درجة حرارته، حتى يتم تحويله من الطور السائل إلى الطور الصلب مع خروج الحرارة الكامنة أثناء عملية التحول. ويظهر تلقائياً وفى أماكن مختلفة من المصهور نويات بلورية، تأخذ فى النمو على شكل « دندريت » كلما ازداد التحول إلى الطور الصلب. ويكون ذلك على حساب السائل المحيط وتستمر عملية النمو حتى يتم التحول إلى الطور الصلب كاملاً.

والجددير بالذكر أن الدندريت يأخذ شكل أفرع طويلة يقف نموها إذا ما تلامست مع دندريت آخر تختلف فيه اتجاهات المستويات الذرية. وبنهاية التجمد تكون

١ - ٧) الإنماء البلورى :

أسطح التلامس بين هذه الدندريجات حدوداً حبيبية "Grain Boundaries" في مادة متعددة التبلور "Polycrystalline" انظر شكل [٨] .
وعندما يكون عدد النويات التي يتجمد عندها السائل قليلاً يكون الحجم الحبيبي كبيراً، وإن كان ذلك لا يحدث تلقائياً.
ولكى نحصل على بلورة أحادية من مادة ما يجب أن تعالج حرارياً بطرق خاصة عن طريق الإنماء البلوري. وتتوقف هذه الطريقة على المادة المراد تحضير بلورة أحادية لها.
وهناك طرق عديدة للإنماء البلوري، نذكر منها ما يلي:



شكل ٨ : مادة متعددة التبلور.

تستخدم هذه الطريقة لتحضير بلورات المواد العضوية وغير العضوية، وفيها نحتاج إلى تحضير محلول مائي فوق المشبع يترك لترسب فيه بلورات أحادية، كما هو الحال عند تحضير بلورات السكر أو الملح. وإذا أردنا تحضير بلورة أحادية لها اتجاهات بلورية معينة، نبدأ النمو ببذرة بلورة "Seed Crystal" معلومة الاتجاهات توضع فوق السائل فوق المشبع. فتتكون بلورة كبيرة لها اتجاهات البذرة نفسها. وتصلح هذه الطريقة لتنمية بلورات من الهاليدات القلوية وملح روшил.
ليس من الضروري أن يكون المحلول مائياً لتحضير بلورة منه. فالخاميل الصلبة مثل الياقوت الأحمر "Ruby" تعطى بلورات وذلك باستعمال مذيبات تكون نقط انصهارها مرتفعة.

تستخدم هذه الطريقة لتحضير بلورات من الماس. فمن المعروف أن الماس يتרכب من ذرات كربون ولتحويل الكربون النقي في صورته العادية على شكل جرافيت

أ - الإنماء البلوري من الخاليل المائية

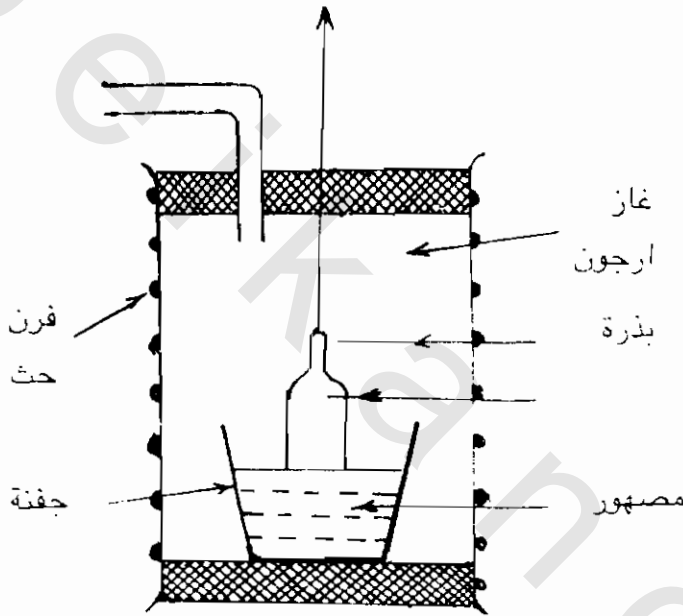
ب - الإنماء البلوري من الخاليل الصلبة:

ج - الإنماء البلوري عن طريق الضغط والحرارة:

سداسي البنية إلى ماس تربط بين ذراته روابط تساهمية، يوضع الجرافيت النقي في مكبس قوى يصل ضغطه إلى ١٠٠٠ (ألف) كيلو جرام لكل سم^٢، كما يمكن رفع درجة حرارة الأسطوانة إلى أن تصل ٢٠٠٠ درجة مئوية. عندئذٍ، ينضغط الجرافيت في حيز صغير جداً ويتحول إلى ماس.

تعتمد هذه الطريقة على غمس بذرة بلورة في مصهر المادة، ثم تسحب إلى أعلى ببطء شديد (حوالي ١٠ مم في الساعة) وتترتب الذرات بذلك عند تجمدها على بذرة البلورة بالترتيب الموجود نفسه في البذرة ونحصل في النهاية على بلورة كبيرة أحادية Single Crystal كما هو موضح بالشكل [٩].

د - طريقة التنمية من المصهور Growing From the melt



شكل ٩ : التنمية البلورية من المصهور.

توضع المادة متعددة التبلور "Polycrystalline" فيما يشبه قارب من الجرافيت، وتوضع عند طرف المادة بذرة البلورة المراد الإنماء عليها. حول القارب يوجد فرن يرفع درجة الحرارة إلى درجة أقل قليلاً من نقطة الانصهار للمادة. ثم بواسطة فرن صغير آخر يمكن رفع درجة الحرارة في منطقة صغيرة من القارب إلى درجة أعلى قليلاً من نقطة الانصهار، أي أن المنطقة الصغيرة تتحول إلى مصهور. عند تحريك الفرن الصغير ببطء شديد من ناحية البذرة إلى الطرف الآخر للمادة، فإننا نحرك المنطقة المنصهرة كذلك ببطء. وبذلك نعطي الفرصة للذرات لكي تتجمد عند اتصال المادة بالبذرة بالترتيب المنتظم نفسه لها. وبذلك نحصل في النهاية على بلورة أحادية من المادة، والجدير بالذكر أنه يمكن الكشف عن التركيب البلوري للمواد بواسطة التداخل الضوئي للأشعة السينية.

هـ - طريقة الصهر النطاقي

تتميز المواد الصلبة بمعامل توصيلها الكهربائي، وتنقسم إلى ثلاثة أنواع هي:
١ - مواد جيدة التوصيل الكهربائي وهي المواد المعدنية مثل النحاس.

١ - ٨ الخواص الكهربائية للأجسام الصلبة

٢ - مواد شبه موصلة مثل كبريتيد الرصاص .

٣ - مواد رديئة التوصيل أو عازلة كهربائياً مثل الأيونيت .

ويعتمد التوصيل الكهربائي للأجسام الصلبة على وجود حاملات حرة للشحنة "Free charge carriers" يمكن لها أن تتحرك تحت تأثير مجال كهربائي .

وهناك نظريات مختلفة لدراسة التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة أهمها:

أ - النظرية الإلكترونية للغاز الإلكتروني الحر، التي وضع فروضها عام ١٩٠٠م العالمان درودي ولورنتز Drude & Losentz . وقد افترضوا أن الفلزات تحتوي إلكترونات حرة تخضع في حركتها لقوانين الميكانيكا الكلاسيكية .

ب - النظرية الكمية للإلكترون الحر، وقد وضع فروضها العالم سمرفيدل Sommerfeld عام ١٩٢٨م، حيث فرض خضوع الإلكترونات الحرة في الفلزات لقوانين ميكانيكا الكم .

ج - نظرية المناطق: وضع فروضها عام ١٩٢٨م العالم بلوخ Bloch ، حيث اعتبر حركة الإلكترونات في مجال جهد دورى ناشئ عن الشبيكة .

ترتبط الخواص المغناطيسية للمواد الصلبة بالحركة المدارية والمغزلية للإلكترونات في ذراتها . وتقاس عادة الخاصية المغناطيسية بالقابلية المغناطيسية - "magnetic Susceptibility" لوحدية الحجم من المادة، وتنقسم المواد الصلبة إلى ثلاثة أنواع هي:

أ - مواد ديا مغناطيسية Diamagnetic

ويكون لها قابلية مغناطيسية سالبة، أي إنها تتنافر مع الأجزاء القوية من المجال المغناطيسي .

ب - مواد بارامغناطيسية Paramagnetic

وهي المواد التي تنجذب للمناطق القوية من المجال المغناطيسي وقابليتها موجبة .

ج - مواد فيرومغناطيسية Ferromagnetic

وهي المواد التي لها قابلية مغناطيسية كبيرة جداً .

ومن وجهة نظر النظرية الكمية للمواد البارامغناطيسية، تكون الذرة بارامغناطيسية إذا كان لها محصلة عزم مغناطيسي ناشئ عن تحصيل العزم المغناطيسي المداري والمغزلي .

والجدير بالذكر، أن القابلية المغناطيسية للمواد تتغير مع تغيير درجة الحرارة . والعلاقة التي تربط بينهما تعطى بقانون يسمى « قانون كورى » .

أما بالنسبة لتلك البلورات التي تكون فيها الأغلفة الداخلية لذراتها ممتلئة تماماً بالإلكترونات، وتكون إلكترونات التكافؤ حرة الحركة في البلورة فينشأ عنها عزم مغناطيسي للذرة من الحركة المغزلية لهذه الإلكترونات .

وفي بعض الفلزات يوجد داخلها أغلفة ممتلئة تماماً بالإلكترونات وفي هذه الحالة تساهم الحركة المدارية بالإضافة إلى الحركة المغزلية للإلكترونات في تكوين العزم المغناطيسي لذرات هذه المواد . ويؤدى ذلك إلى قيم مرتفعة جداً للقابلية المغناطيسية . ويطلق على مثل هذه المواد « المواد الفيرومغناطيسية » مثل الحديد

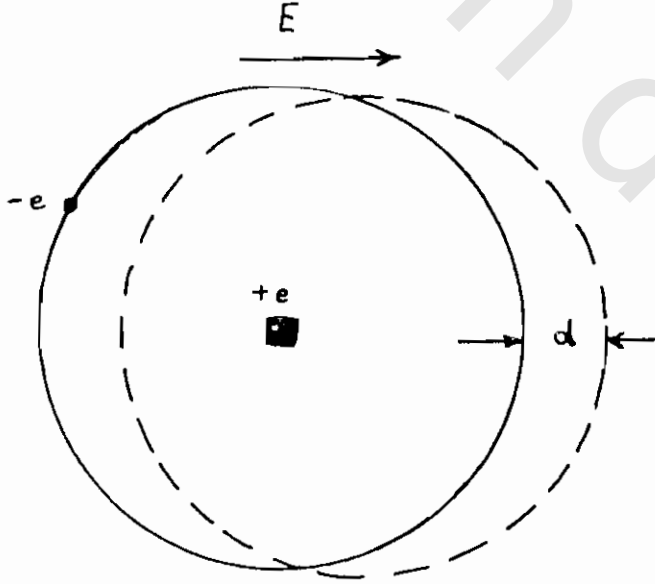
١ - ٩) الخواص المغناطيسية للمواد الصلبة

والكوبلت والنيكل .

يلاحظ أن المواد العازلة كهربائياً تتكون من نويات موجبة التكهرب يحيط بها شحنات سالبة، حيث تنطبق مراكز الشحنة الموجبة والسالبة في كل جزء منها . وعندما يؤثر على مثل هذه المواد مجال كهربائي، يحدث استقطاب كهربائي بها وينشأ عنه ثنائيات قطب محلية في أجزاء المادة المختلفة "Local dipoles" . وفي بعض المواد العازلة تشكل مجاميع الأيونات أو الجزيئات ثنائيات قطب دائمة تظهر حتى في حالة انعدام المجال الكهربائي الخارجي . ومن البديهي أنه عند التأثير بمجال كهربائي خارجي تترتب هذه الثنائيات القطبية في اتجاهات توازي المجال الكهربائي . وتتأثر عملية الاستقطاب هذه بعامل التهييج الحراري ولذلك فهي تعتمد على درجة الحرارة .

والاستقطابية الاستاتيكية تنقسم إلى ثلاثة أنواع هي :

تحدث بتأثير المجال الكهربائي إزاحة نسبية بين مراكز الشحنات الموجبة والسالبة على الذرة ويتكون ثنائي قطب كهربائي، انظر الشكل [١٠] ، عزمه يساوي حاصل ضرب الشحنة في المسافة بين الشحنة السالبة والشحنة الموجبة . عندما يتركب الجزيء من أيونات فإن خواصها تتأثر بالمجال الكهربائي ويحدث لها إزاحة نسبية . وينشأ نتيجة لذلك تغير في أبعاد الروابط بين ذرات الجزيء وكذلك في اتجاهاتها في الفراغ، مما يتسبب عنه إزاحة مراكز الشحنات السالبة عن مراكز الشحنات الموجبة في الجزيء، فيحدث الاستقطاب الأيوني .



شكل ١٠ : استقطاب ذرة الهيدروجين في مجال كهربائي .

تتميز بعض المواد بوجود ثنائيات قطب دائمة فيها حتى في حالة انعدام المجال الكهربائي، وعند التأثير بالمجال تدور محاور ثنائيات القطب هذه لتترتب في اتجاه

١ - ١٠) نظرية العوازل

١ - استقطابية إلكترونية

٢ - استقطابية أيونية

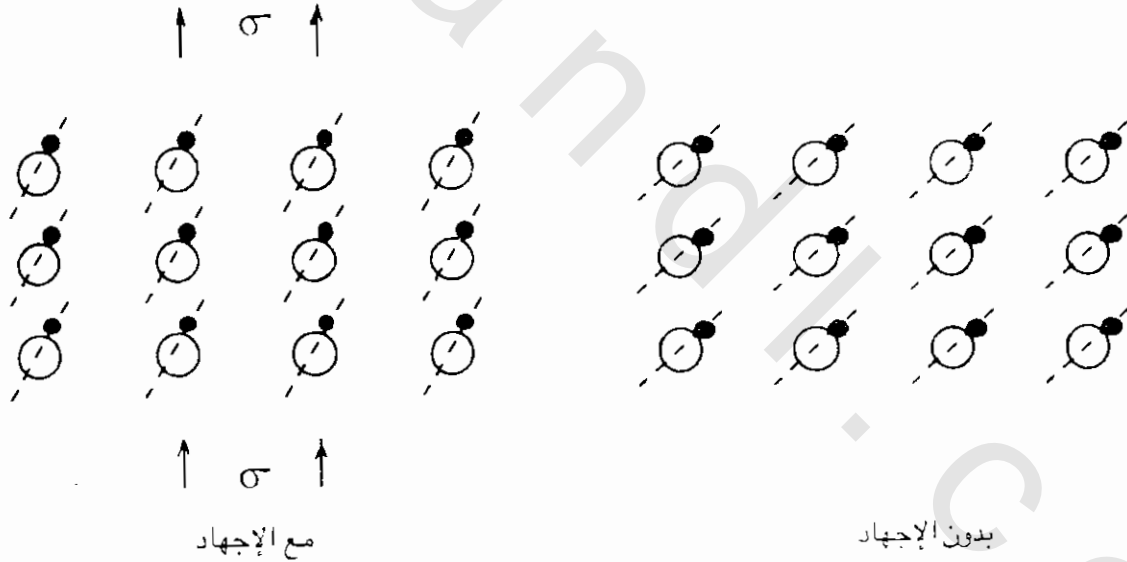
٣ - الاستقطابية الموجهة

المجال الكهربائي . وينشأ عن ذلك الاستقطابية الموجهة .

المادة الفيروكهربية هي مادة لها استقطاب ذاتي، وبالتالي لها عزم ثنائي قطب كهربائي حتى في غياب المجال الكهربائي الخارجى . ولا توجد ظاهرة الفيروكهربية فى المواد التى ينطبق فيها مركز تماثل الشحنات السالبة والموجبة على بعضها كما هو الحال فى البلورات الأيونية، أى إن وجود تماثل فى التركيب البلورى شرط ضرورى للحصول على الحالة الفيروكهربية فى البلورة .

والجدير بالذكر، أن ظاهرة الفيروكهربية تختفى عند الارتفاع بدرجة الحرارة إلى درجة مميزة تسمى بنقطة كورى للفيروكهربية (T_C) . وعند هذه الدرجة تحدث زيادة مفاجئة فى ثابت العزل للمادة . وتتحول المادة بعد هذه الدرجة من حالة الفيروكهربية إلى الحالة الباراكهربية (أسوة بما يحدث للمواد المغناطيسية) .

عندما يؤثر على بلورة ما بإجهاد ميكانيكى، تزاح الذرات من أماكنها، فإذا كان للبلورة مركز تماثل شبيكى (Centro Symmetric Lattice) تكون الإزاحات متماثلة حول مراكز التماثل، وبالتالي، فإن توزيع الشحنات فى البلورة يظل دون تغيير يذكر، ويظل عزم ثنائى القطب الكهربائى دون تغيير . هذا النوع من البلورات لا تظهر فيه خاصية الكهروضغطية . أما إذا اعتبرنا بلورات ذات تركيب غير متماثل كما فى شكل [١١] فإن الأيونات تترتب على شكل أزواج تكون ثنائيات قطب .



شكل ١١ : الظاهرة الكهروضغطية .

وعندما تؤثر على هذه الأيونات بإجهاد ميكانيكى يحدث تشويه يسبب الإزاحة النسبية للأيونات بشكل غير متماثل، وبذلك تتغير القيمة الكلية لعزم ثنائى القطب الكهربائى فى البلورة .

تسمى هذه الظاهرة بالكهروضغطية نسبة إلى حدوث استقطاب كهربائي ناشئ عن الإجهاد الميكانيكي.

ويلاحظ أن هذه الظاهرة انعكاسية، أي أن تغيير استقطاب المادة كهربائياً يحدث أيضاً بداخلها انفعالاً ميكانيكياً. ولذلك تستخدم هذه المواد كمحولات للطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية والعكس بالعكس.