وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم البيولوجيا

محاضرات في الفيزياء

موجهة لنظام ل.م.د سنة أولى علوم الطبيعة والحياة

الدكتور: قحطار عبد الوهاب

2021/2020

محتوى المقياس

المحور الاول: مراجعة عامة

1. مقدمة..... ص1
1.1. المقادير الفيزيائية والتحليل البعدي..... ص1
1.1.1. المقدار الفيزيائي..... ص1
1.1.1.1. أنواع المقادير الفيزيائية..... ص1
- النوع الأول – المقادير الفيزيائية السلمية (كميات عددية)..... ص1
- النوع الثاني – المقادير الفيزيائية الشعاعية (الكميات المتجهة)..... ص1

2.1.1.1. وحدات القياس (وحدات القياس العالمية)..... ص2
- النظام العالمي SI..... ص2
- النظام CGS..... ص2

2.1.1. التحليل البعدي ص3
- معادلة الأبعاد..... ص3
- استعمال التحليل البعدي للتحقق من تجانس المعادلات..... ص5

2.1. حساب الخطأ في القياس..... ص7
1.2.1. القياس وانواع القياس..... ص7
- القياس المباشر..... ص7
- القياس غير المباشر..... ص7

2.2.1. الخطأ في القياس..... ص7
- الخطأ المطلق..... ص7
- الخطأ النسبي ص7
- الارتياب المطلق..... ص8
- الارتياب النسبي ص8

3.2.1. الطرق الرياضية لحساب الارتياب في القياس غير المباشر..... ص8
- طريقة التفاضل التام..... ص8
- طريقة التفاضل اللوغاريتمي..... ص9

المحور الثاني: الضوء

2. مقدمة..... ص13
1.2. طبيعة الضوء..... ص14
1. طيف الموجة الكهرومغناطيسية..... ص15
2. الفوتون..... ص15
3. خواص الضوء..... ص16

2.2. الضوء الهندسي ص17
1.2.2. مبادئ البصريات الهندسية..... ص17
2.2.2. انكسار الضوء..... ص17
- قانون الانكسار (قانون ســــــنل)..... ص18
- الانكسار الحدي..... ص20
- الانعكاس الداخلي الكلي..... ص20
1.2.2.2. العدسات الرقيقة..... ص21
- الصور المتكونة بالانكسار..... ص21
- القانون العام للعدسات (الطريقة الحسابية) ص26
3.2.2. انعكاس الضوء ص28
- قانون الانعكاس ص29
1.3.2.2. الصور المتكونة بالانعكاس على المرايا المستوية..... ص29
2.3.2.2. الصور المتكونة بالانعكاس على المرايا الكرية ص30
1- المرايا الكرية..... ص30
- المرايا المقعرة..... ص30
- المرايا المحدبة..... ص30
- تحديد موقع وطبيعة الصور المتكونة بواسطة المرايا الكروية ص31
4.2.2. دراسة بعض الأجهزة البصرية..... ص36
1.4.2.2. العين ص36
2.4.2.2. المكبرة..... ص38
3.4.2.2. المجهر الضوئي..... ص39

المحور الثالث: ميكانيك الموائع

3. مقدمة..... ص40
1.3. الموائع..... ص40
1.1.3. تعريف الموائع..... ص40
2.1.3. خواص الموائع..... ص40
1. كثافة المائع..... ص40
2. الوزن النوعي..... ص41
3. الكثافة النسبية..... ص41
4. الانضغاطية ص41
5. التوتر السطحي..... ص42
6. اللزوجة..... ص45

2.3. الموائع الساكنة..... ص47
1.2.3. قانون ضغط الموائع..... ص47
3.3. الموائع المتحركة..... ص48
1.3.3. معادلة الأستمرارية لأنسياب السائل الثابت مع الزمن (قانون حفظ الكتلة)..... ص49
2.3.3. قانون حفظ الطاقة ص51

المحور الرابع: مبادي أساسية في علم البلورات

4.مقدمة ص54
1.4. تعريف البلورة..... ص54
2.4. التركيب البلوري وتصنيف المواد الصلبة..... ص54
3.4. المواد البلورية وغير البلورية..... ص55
4.4. العوامل المؤثرة على نمو البلورة ص56
5.4. اجزاء البلورة ص57
1.5.4. الأجزاء الحقيقية..... ص57
2.5.4. الأجزاء الوهمية ص58
6.4. الانظمة البلورية ص59

المحور الخامس: مبادي أساسية في التحليل الطيفي

5. مقدمة..... ص63
1.5. تعريف الطيف ص63
➢طبيعة الاشعة الكهرومغناطيسية..... ص63
2.5. تعريف التحليل الطيفي..... ص64
3.5. تفاعل الاشعة الكهرومغناطيسية مع المادة..... ص64
➢امتصاص الاشعاع..... ص64
➢ قانون بير ص65
4.5. طرق القياس الطيفية..... ص65
5.5. استخدامات التحليل الطيفي..... ص66
6.5. أنواع التحليل الطيفي ص66
7.5. التركيب العام لأجهزة السبيكتروفوتوميتر..... ص67
8.5. مطياف الأشعة تحت الحمراء..... ص69
المراجع..... ص72

المحور الاول:
مراجعة عامة

أصل الفيزياء علم الطبيعة في معناه العام والقديم معرفة الطبيعة (العلوم الطبيعية أو الفلسفة الطبيعية). حديثا الفيزياء في معناه المحدود بوصف كميا ومفهوميا للمكونات الأساسية للكون، القوى المطبقة عليها وتأثيراتها .باستخدام المفاهيم الرياضية، يطور الفيزياء نظريات لوصف وتنبأ تطور الأنظمة. لكن بالمقابل، لا تُعتمد هذه النظريات إلا بعد تجربتها وذلك لتأكيد. كلنا يعلم بأن الفيزياء هي علم يعتمد على التجربة وليس على القوانين الرياضية فالقانون الرياضي ما هو إلا نتيجة لمئات أو آلاف التجارب للحصول على علاقة تربط بين المتحولات وبالتالي يجب أن نركز على أساس القانون الرياضي وهو التجارب.

1.1. المقادير الفيزيائية والتحليل البعدي

1.1.1. المقدار الفيزيائي

هو كل مقدار قابل للقياس، أي يمكن مقارنته بمقدار آخر من نفس الطبيعة واعتبار هذا الأخير كوحدة مثل الطول، الحرارة، القوة ...و من بين المقادير القابلة للقياس مقادير عرفها الإنسان لاستخداماته، ومقادير أخرى حسية تنبع من تعوده عليها و إحساسه دون إعطائها تعريف (غير قابلة للتعريف) وهي مقادير متفق عليها، وعدد هذه المقادير محدد، وهي سبع تدعى بالمقادير الأساسية: الطول، الكتلة، الزمن، شدة التيار، الحرارة، كمية المادة والشدة الضوئية، حيث تسمح هذه المقادير الأساسية بكتابة كل المقادير الأخرى على شكل علاقات رياضية مثلا: القوة التي هي مقدار غير أساسي، يمكن كتابته بدلالة المقادير الأساسية كالكتلة، الطول والزمن.

1.1.1.1.أنواع المقادير الفيزيائية:

يمكن تصنيف المقادير الفيزيائية الى نوعين:

- ✓ **النوع الأول – المقادير الفيزيائية السلمية (كميات عددية)**

هي مقادير يمكن التعبير عنها بعدد جبري، ووحدة قياس.

مثال:

كتلة جسم ما هي 60 كغ معناه تم التعبير بعدد حسابي 60 وبوحدة قياس كغ

- ✓ **النوع الثاني – المقادير الفيزيائية الشعاعية (الكميات المتجهة)**

هي مقادير نعبّر عنها بمقدار سلّمي واتجاه) بشعاع ووحدة قياس)

مثل: السرعة، القوة، التسارع.....

مثال: تسير سيارة بسرعة 80 كم / سا

2.1.1.1. وحدات القياس (وحدات القياس العالمية):

النظريات المطورة في مجالات الفيزياء تصاغ بشكل رياضي، يعتمد إدراج كل المقادير الخاضعة لها الجملة المطلوب دراستها. لذلك وجب اعتماد مقاييس معينة وموحدة عبر العالم، لتكون لغة تقنية مفهومة وتعتمد أقصى حد من المنطق التقني. فالمقادير تحدد بأبعاد والأبعاد تقدر بوحدات. خلال تطور العلوم الفيزياء، استحدثت طرق شتى لتوحيد المقاييس بحيث يصبح العمل بها شرطا ضروريا لاعتماد نتائج الأبحاث العلمية. بالرغم من الجهود التي بذلت لذلك، فإن توحيد المقاييس عبر العالم، لم يكن بالشيء البسيط، لكنها ساهمت بشكل كبير في تحديد العدد حاليا، يمكن أن نعدد نظامين اعتمدت عبر العالم:

- ✓ **نظام الوحدات SI** اعتمد سنة 1946 من طرف اللجنة العالمية للأوزان والمقاييس ويطلق عليه كذلك نظام الوحدات MKSA أي mètre، kilogramme، seconde، ampère.
- ✓ **نظام الوحدات CGS** اقترح من طرف المنظمة البريطانية لتطوير العلوم سنة 1847 نسبة إلى الوحدات الأساسية المستخدمة وهي السنتيمتر cm لقياس الطول (C) والجرام g لقياس الكتلة (G) والثانية s لقياس الوقت (S). يستخدم هذا النظام حاليا بشكل ملفت في الكيمياء (المخابر) وكذلك في علم الفلك.

كل المقادير الفيزيائية مشتقة في الأصل من سبعة مقادير أساسية: الطول، الكتلة، الزمن، شدة التيار، الحرارة، كمية المادة و الشدة الضوئية، سنعطي لكل منها وحدة في النظام SI والنظام CGS كما هو مبين في الجدول التالي:

المقدار الأساسي	وحدته في النظام SI	وحدته في النظام CGS
الطول	المتر m	السنتمتر cm
الكتلة	الكيلوغرام Kg	الغرام g
الزمن	الثانية S	الثانية S
شدة التيار الكهربائي	الامبير A	الامبير A
درجة الحرارة	الكلفن K	الكلفن K
كمية المادة	المول mol	المول mol
الشدة الضوئية	الشمعة cd	الشمعة cd

بعض البادئات التي تستخدم مع الوحدات في الجملة الدولية

الاجزاء		الاضعاف	
ميلي (m)	10^{-3}	كيلو (k)	10^{-3}
ميكرو (µ)	10^{-6}	ميغا (M)	10^{-6}
نانو (n)	10^{-9}	جيغا (G)	10^{-9}
بيكو (p)	10^{-12}	تيرا (T)	10^{-12}
فمتو (f)	10^{-15}	بيتا (P)	10^{-15}
اتو (a)	10^{-18}	اكسا (E)	10^{-18}

امثلة:

- ✓ 1 ميكرو امبير= 10^{-6} امبير
- ✓ 1 نانو متر = 10^{-9} متر

تضاف الى هذه الوحدات وحدتين مكملتين تستخدمان لقياس الزوايا المستوية والزوايا المجسمة

المقدار grandeur	الوحدة Unité	الرمز symbole
الزاوية المستوية	راديان radian	Rad
الزاوية المجسمة	ستراديان stéradian	sr

وهناك أيضا وحدات وضعت للاختصار في النظام SI مثل:

- ✓ وحدة القوة وهي 'النيوتن
- ✓ *وحدة الطاقة وهي الجول*
- ✓ *وحدة الشحنة الكهربائية وهي الكولوم*

كما وضعت أيضا وحدات للاختصار في النظام CGS مثل:

- ✓ وحدة القوة وهي داين
- ✓ وحدة الطاقة وهي ارغ
- ✓ وحدة اللزوجة وهي بواز

2.1.1. التحليل البعدي

في الفيزياء وكافة العلوم الأخرى، يعرّف "التحليل البعدي" على أنه عملية التحقق من العلاقات بين المقادير الفيزيائية بتحديد أبعادها. أما أبعاد أي مقدار فيزيائي فهي مجموع "الأبعاد الفيزيائية الأساسية" التي يتكون منها المقدار. سنتطرق في هذا الفصل إلى كيفية إيجاد التحليل البعدي لمقدار فيزيائي ومعادلة أبعاد العلاقات بين المقادير الفيزيائية والبحث عن صيغة المعادلات الرياضية، كما نتطرق إلى أنظمة الوحدات الأكثر استعمالا وطريقة التحول من نظام إلى آخر.

➢ **معادلة الأبعاد**

معادلة الأبعاد هي التعبير الرمزي عن العلاقات بين المقادير الفيزيائية المختلفة. فالبعد أو معادلة الأبعاد للمقدار الفيزيائي تكتب على الشكل [G]. ولفهمها نتبع الملاحظات التالية :

- ✓ عدم طرح نظام الوحدات عند كتابة معادلة أبعاد المقدار
- ✓ إذا كان [G] = 1 فان المقدار الفيزيائي ثابت، في الواقع قد يكون للمقدار الفيزيائي الثابت بدون بعد ووحدة مثلا: [2 π] = 1 وحدتها قد تكون الراديان أو الدرجات و [2/1] = 1 والمقدار 2/1 بدون وحدة
- ✓ تكون المعادلة الفيزيائية متجانسة إذا كان لطرفيها نفس البعد
- ✓ كل المقادير الفيزيائية مشتقة في الأصل من سبعة مقادير أساسية، سنعطي لكل منها رمزا كبعد خاص له، وباقي أبعاد المقادير الأخرى تعطى بدلالتها:

المقدار الأساسي	الرمز الخاص للبعد
الطول (Longueur)	L
الكتلة (*Masse*)	M
الزمن (*Temps*)	T
شدة التيار (*Intensité du courant électrique*)	I
درجة الحرارة (*Température*)	Θ
كمية المادة (*Quantité de matière*)	N
الشدة الضوئية (*Intensité lumineuse*)	J

- بعد جداء مقدارين هو جداء بعديهما: [A .B] = [A][B]
- بعد المقدار A^n هو $[A^n]=[A]^n$ حيث n عدد بدون بعد ولا وحدة.
- الدوال المثلثية، اللوغاريتمية، الاسية بدون بعد
- معادلة الابعاد لأي مقدار فيزيائي G تكتب على الشكل الرياضي التالي:

$$[G] = L^a M^b T^c A^d J^e N^f \theta^g$$

مثال تطبيقي:

اوجد التحليل البعدي للحجم V وعين وحدته في النظام SI والنظام CGS

الحل

نعلم ان عبارة الحجم V للمتوازي الوجوه تكتب على الشكل:

$$V = x \times y \times z$$

حيث تعبر كل من المقادير x، y، z عن الطول والعرض والارتفاع وهي مقادير اساسية

اذن التحليل البعدي للمقدار V او معادلة الابعاد V تكتب على النحو التالي:

$$[V] = [x \times y \times z]$$

$$[V] = [x] \times [y] \times [z]$$

$$[V] = L \times L \times L$$

$$[V] = L^3$$

2. وحدة المقدار V في النظام SI:

$$V\,(SI): m^3$$

3. وحدة المقدار V في النظام CGS:

$$V\,(CGS): cm^3$$

- **استعمال التحليل البعدي للتحقيق من تجانس المعادلات**

عند وضع العبارات الرياضية (القوانين)، يسمح لنا التحليل البعدي بالتحقق من تجانسها وتصحيح التناقضات فيها إ ذا وجدت، وكل علاقة غير متجانسة بين المقادير الفيزيائية هي علاقة خاطئة.

مثال تطبيقي:

التحقق من تجانس عبارة الدور لنواس البسيط

نعلم ان عبارة الدور لنواس البسيط تكتب كالتالي:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

حيث l طول النواس و g تسارع الجاذبية الارضية

لكي تكون المعادلة متجانسة يجب أن يكون بُعد الطرف الأول للمعادلة يساوي بعد الطرف الثاني.

بعد الطرف الاول هو:

$$[T_0] = T$$

بعد الطرف الثاني هو:

$$\left[2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\right] = \left[2\pi \times l^{1/2} \times g^{-1/2}\right]$$

$$\left[2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\right] = [2\pi] \times \left[l^{1/2}\right] \times \left[g^{-1/2}\right]$$

$$\left[2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\right] = 1 \times [l]^{1/2} \times [g]^{1/2}$$

مع العلم ان:

$$[g] = LT^{-2}$$

$$[l] = L$$

اذن تصبح:

$$\left[2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\right] = 1 \times L^{1/2} \times (LT^{-2})^{-1/2}$$

$$\left[2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\right] = T$$

ومنه بُعد الطرف الأول يساوي بُعد الطرف الثاني أي أن المعادلة متجانسة.

2.1. حساب الخطأ في القياس

1.2.1. القياس وانواع القياس

القياس عملية قرن الأعداد بالكميات الفيزيائية أو الظواهر. والقياس أساسي للعلوم والهندسة والإنشاء والمجالات التقنية الأخرى وفي كل الفعاليات اليومية تقريبا. ولهذا السبب درست العناصر والشروط والقيود لكل وسائل القياس المختلفة. علم القياس في الفيزياء هو تقنية استخدام آلات وأساليب لتحديد (قياس) قيم فيزيائية معينة مثل الطول، الوزن ، القوة ، الضغط ، التيار الكهربائي ، الحرارة ، الوقت، والقياس نوعان:

- **القياس المباشر**: في القياس المباشر يتم مقارنة قيمة القياس بطريقة فورية بواسطة سلّم للقياس أو نقطة نظام معيّنة. من الأمثال البسيطة عن استخدام القياس المباشر :إلقاء مسطرة على الطول المراد قياسه وقراءة الطول عنها بعد مقارنة طول الجسم بها. هذا النوع من القياس يحتوي دائما على خطأ قياس معين لا يمكن تفاديه في أغلب الأحيان.

- **القياس الغير المباشر**: يستخدم هذا النوع من القياس عند وجود صعوبات معينة تجعل استخدام القياس المباشر غير ممكنا. مثالا على ذلك، قياس بعد القمر عن كوكب الأرض، حيث نرى هنا استحالة استعمال القياس المباشر بواسطة شريط مقياس. فلقياس هذا البعد، نستخدم هنا سرعة ارتداد الموجات الضوئية أو الإذاعية التي يعكسها القمر، مما يمكننا اليوم من حساب بعد القمر عن الأرض مع نسبة خطأ لا تتعدى بضع ميليمترات.

2.2.1. الخطأ في القياس

قسم كبير من علم الفيزياء تجريبي كمي يقوم على القياس، وقد يكون هذا القياس مباشرا او غير مباشرة. تعتمد دراسة الظواهر على القياسات التي تتميز بعدم التعيين الدقيق، الناتج عن الأخطاء التي تنجم عن :المجرب، جهاز القياس، طريقة القياس... ، وتقسم الأخطاء إلى نوعين:

- **الخطأ المطلق:** الخطأ المطلق δG للمقدار G هو الفرق بين القيمة المقاسة G_M والقيمة الحقيقية G_R وهو مقدار حبري متبوع بوحدة المقدار G.

- **الخطأ النسبي:** هو النسبة بين الخطأ المطلق δG والقيمة المقاسة G_M حيث:

$$\frac{\delta G}{G_M}$$

ملاحظة :يتعذر معرفة الخطأ المطلق وبالتالي الخطأ النسبي لأنه لا يمكن معرفة القيمة الحقيقة للمقدارG، لذلك ندخل مفهوم الارتياب.

- **الارتياب المطلق:** الارتياب المطلق ΔG للمقدار G هو القيمة العظمي للخطأ المطلق اي:

$$\Delta G \geq [\delta G]$$

- **الارتياب النسبي:** وهو النسبة بين الارتياب المطلق والقيمة المقاسة، وهو عدد حسابي بدون وحدة، ويستعمل لتمييز دقة القياس.

$$\frac{\Delta G}{G_M}$$

ملاحظة: نتيجة القياس للمقدار G تكتب على الشكل التالي:

$$G = (G_M \mp \Delta G)u$$

3.2.1. الطرق الرياضية لحساب الارتياب في القياس غير المباشر :

هناك طريقتان لحساب الارتياب

- **طريقة التفاضل التام:**

ليكن المقدار G المقاس بطريقة غير مباشرة عن طريق المقادير x و y وz المقاسة بطريقة مباشرة حيث Δx و Δy و Δz الارتيابات المطلقة للمقادير السابقة على الترتيب.

لحساب الارتياب المطلق والنسبي للمقدار G المعبر علية بالدالة:

$$G = f(x,y,z)$$

✓ نتبع الخطوات التالية:

1. نقوم بالتفاضل التام للمقدار G

$$dG = \frac{\partial G}{\partial x}\,dx + \frac{\partial G}{\partial Y}\,dy + \frac{\partial G}{\partial z}\,dz$$

2. لحساب الارتياب المطلق نأخذ القيمة المطلقة لمعاملات الأخطاء، ونحول d الى Δ في المعادلة السابقة:

$$\Delta G = \left|\frac{\partial G}{\partial x}\right|\Delta x + \left|\frac{\partial G}{\partial Y}\right|\Delta y + \left|\frac{\partial G}{\partial z}\right|\Delta z$$

3. لحساب الارتياب النسبي نقسم النتيجة الارتياب المطلق على قيمة المقدار G.

$$\frac{\Delta G}{G} = \left|\frac{x}{G}\frac{\partial G}{\partial x}\right|\frac{\Delta x}{x} + \left|\frac{y}{G}\frac{\partial G}{\partial Y}\right|\frac{\Delta y}{y} + \left|\frac{z}{G}\frac{\partial G}{\partial z}\right|\frac{\Delta z}{z}$$

➢ **طريقة التفاضل اللوغاريتمي:**

نأخذ الدالة السابقة نفسها G = f(x,y,z) ونقوم بإدخال الدالة اللوغاريتمية على طرفيها ثم نفاضل.

$$\log(G)= \log(\ f(x،y،z))$$

$$d(\log(G))=d(\ \log(\ f(x,y,z))$$

وبنفس الخطوات السابقة نكمل حساب الارتياب النسبي والمطلق.

مثال -1-

عند قياس طول قطعة خشبية عدة مرات حصلنا على النتائج التالية: $x_1=10$ cm ، $x_2=10.2$ cm ، $x_3=10.15$ ، $x_4=10.17$ cm cm

➢ اوجد نتيجة القياس $x = (x_{moy} \pm \Delta x)$ cm

الحل

نتيجة القياس لأي مقدار فيزيائي تكتب على الشكل $x = (x_{moy} \pm \Delta x)$ cm

1- حساب x_{moy}

$$x_{moy} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4}$$

$$x_{moy} = \frac{10 + 10.2 + 10.15 + 10.17}{4} = 10.13\ cm$$

2- حساب Δx

$$\Delta x \geq |\delta x|$$

$$\begin{cases} \delta x = |x_{moy} - x_{min}| = |10.13 - 10| = 0.13\ cm \\ \delta x = |x_{max} - x_{moy}| = |10.20 - 10.13| = 0.07\ cm \end{cases}$$

$$\Delta x = 0.13 \text{ cm}$$

اذن نتيجة القياس تكتب:

$$x = (10.13 \pm 0.13)\ cm$$

مثال -2-

تتحرك سيارة على طريق مستقيم بسرعة ثابتة تقدر 10 م/ثا، فاذا علمت ان الارتياب المطلق المرتكب في قياس كتلتها 0.5 كغ وان كتلتها 100 كغ.

- احسب الارتياب النسبي في كتلة السيارة.
- احسب الارتياب النسبي في الطاقة الحركية للسيارة.
- احسب الارتياب المطلق في حساب الطاقة الحركية.

الحل

1- الارتياب النسبي في كتلة السيارة:

$$\frac{\Delta m}{\mathrm{m}} = \frac{0.5}{100} = 0.005$$

2- الارتياب النسبي في الطاقة الحركية للسيارة:

$$E_c = \frac{1}{2}\, m\, v^2$$

نستعمل التفاضل اللوغاريتمي:

$$\log(E_c) = \log\left(\frac{1}{2}\, m\, v^2\right)$$

$$\log(E_c) = log(\frac{1}{2}) + \log(m) + \log(v^2)$$

$$\mathrm{d}\log(E_c) = dlog\left(\frac{1}{2}\right) + d\log(m) + 2d\log(v)$$

$$\frac{dE_c}{E_C} = \frac{dm}{m} + 2\frac{dv}{v}$$

نستبدل d ب Δ ونأخذ المعاملات موجبة نجد عبارة الارتياب النسبي للطاقة الحركية للسيارة هي:

$$\frac{\Delta E_c}{E_C} = \frac{\Delta m}{m} + 2\frac{\Delta v}{v}$$

بما ان v تابت فان عبارة الارتياب النسبي للطاقة الحركية للسيارة تصبح:

$$\frac{\Delta E_c}{E_C} = \frac{\Delta m}{m} = 0.005$$

3- حساب الارتياب المطلق في حساب الطاقة الحركية:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (100)(10)^2 = 5000J$$

$$\frac{\Delta E_c}{E_C} = 0.005$$

$$\frac{\Delta E_c}{5000} = 0.005$$

$$\Delta E_c = 0.005 \times 5000 = 25J$$

المحور الثاني:

الضوء

كانت آراء فلاسفة الإغريق هي أول ما سجله العلم في محاولة تفسير حاسة الإبصار وفهم طبيعة الضوء وتعليل الظواهر الضوئية، وهو ما عرف في لغتهم باسم " أوبطيقا" Optics، أي البصريات. لكن إنتاجهم العلمي في هذا المجال لم يكن وافيا ولم يتعمقوا كثيرا في الموضوعات التي درسوها.

- أعتقد أفلاطون أن إبصار الأشياء يتم عن طريق خروج النور من العين على هذه المواد فيحدث الإبصار.
- ولكن تلميذه أرسطو خالفه الرأي، وزعم أن الضوء ليس له وجود في ذاته، وأن الإبصار يتم بانطباع صور الأشياء في العين.
- أما أبيقور فقد تخيل أن للأشياء التي نراها أشباحا أو صورا تنخلع عنها وتنبعث منها بصورة مستمرة ويتم الإبصار بورود هذه الصور إلى العين.
- أما الرواقيون فقد كانت لهم فلسفة مختلفة عن سابقيهم، حيث افترضوا حدوث اتصال بين العين والأجسام المرئية عن طريق شعاع يخرج من العين على شكل مخروط رأسه عند العين وقاعدته عند الجسم، فإذا لمس هذا الشعاع جسما ما حدث الإبصار. وقد شاع واشتهر هذا الرأي في وقته حتى أن أصحاب هذا الرأي سموا " بأصحاب الشعاع". وهكذا تعددت آراء فلاسفة الإغريق في طبيعة الضوء وتفسير الإبصار وذلك لأن منهج التفكير في عصرهم كان فلسفيا يعتمد على التأمل العقلي الخالص بعيد عن التجربة والتحليل العلمي.

يعتبر العالم العربي المسلم الحسن بن الهيثم واحدا من أعلام الحضارة الإسلامية الذين حققوا الريادة في وضع المنهج العلمي المبنى على التجربة والاستقراء. وينسب لحسن بن الهيثم تأسيس علم البصريات بأكمله، فقد ألف العديد من المراجع العلمية المهمة من بينها كتاب "المناظر" الذي نهل منه كل من أتى بعده وكان واحدا من المصادر الهامة التي اعتمدت عليها معظم جامعات أوروبا والغرب الحديثة لعدة قرون. واستطاع بن الهيثم أن يضح حدا للخلافات القديمة حول تعريف الضوء وتفسير حاسة الإبصار، حيث أعزى إحساس الرؤية إلى عامل أو مؤثر خارجي له وجود وأسماه «الضوء". واستطاع الحسن بن الهيثم من وضع تعريف للضوء بأنه عبارة عن «حرارة نارية تتألف من أشعة لها أطوال وعروض، تنبعث من الأجسام المضيئة كالشمس والأجسام المتوهجة، وإذا سقطت على جسم كثيف أسخنته، وإذا انعكست من مرآة مقعرة وتجمعت عند نقطة واحدة وكان عندها جسم يقبل الاحتراق أحرقته". وهذا التعريف يتفق مع ما نعرفه الآن عن طبيعة الطاقة الضوئية.

وناقش ابن الهيثم عملية الإبصار، وبين في ذلك تركيب العين من الناحية التشريحية ووظيفة كل جزء من أجزائها، وأعزى حدوث الإبصار إلى تكون صور للمرئيات علم ما نسميه الآن شبكية العين وانتقال التأثير الحادث إلى المخ عن طريق العصب البصري. وعلل ابن الهيثم رؤية الشيء واحدا على الرغم من النظر إليه بعينين اثنتين بوقوع الصورتين على جزئيين متماثلين من الشبكية وتحدث كذلك عن تكبير المرئيات وذلك وفقا لزاوية إبصارها وبعدها عن العين.

وبحث الحسن ابن الهيثم ظاهرة انعكاس الضوء وقد استطاع أن يضع أساسا نظريا لقانون الانعكاس والذي توصل إليه فلاسفة اليونان والذي ينص على أن " زاوية السقوط تساوى زاوية الانعكاس" وزاد عليه القانون الأخر الذي ينص على أن " زاويتي السقوط والانعكاس تقعان في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس «كذلك بحث ابن الهيثم في ظاهرة انكسار الضوء عند نفاذه من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر مختلف عنه في الكثافة الضوئية، وأثبت قانوني هذه الظاهرة على أساس سرعة الضوء في الوسط الأقل كثافة ضوئية أكبر منها في حالة الوسط الأعلى كثافة ضوئية، وبين أن الشعاع المنكسر يقترب إلى العمود في الوسط الأعلى كثافة ضوئية، وقاس زاويتي السقوط والانكسار، ولم يذد العلم الحديث على ذلك إلا إثبات أن النسبة بين جيب زاوية السقوط إلى جيب زاوية الانكسار ثابتة لكل وسطين.

2.1.2. طبيعة الضوء

منذ قديم الزمان كانت خواص الضوء مثاراً للدهشة والإثارة، وكانت طبيعة الضوء دائماً موضوعاً لتأملات عظيمة ففي عصر نيوتن كان كل علماء الفترة تقريباً يقومون بأبحاث علمية في طبيعة الضوء. وعلى الرغم من الاهتمام العظيم بالضوء، إلا أن الطبيعة الداخلية للضوء ظلت محل جدل حتى مطلع القرن الحالي .وخلال عصر نيوتن ولسنوات خلت بعد ذلك كان هناك خلاف حول ما إذا كان شعاع الضوء هو تيار من الجسيمات أو هو موجات من نوع معين. وقد كان نيوتن نفسه من أعظم مؤيدي النظرية الجسيمية للضوء (وهي أن الضوء عبارة عن جسيمات تنطلق من المصدر الضوئي) .وفي عام 1670م استطاع كريستيان هيجنز وهو أحد معاصري نيوتن أن يفسر كثير من خواص الضوء باعتباره موجيا في طبيعته (أي أن الضوء ينطلق من مصدره على شكل موجات)، وقد كان لكلتا هاتين الفكرتين (الجسيمية والموجية) حول طبيعة الضوء مؤيدها. وقد تم التوسع في هذا المفهوم خلال السنوات التالية حتى أصبحنا اليوم نعتبر الضوء ذو طبيعة مزدوجة فهو جزئياً يبدو كأمواج وجزئياً كجسيمات. فبعض الظواهر الطبيعية للضوء قد أمكن تفسيرها بالمفهوم الجسيمي للضوء (النظرية الجسيمية)، وذلك مثل ظاهرة الانعكاس والانكسار. في حين أن بعض الظواهر الأخرى مثل التداخل والحيود لا يمكن تفسيرها إلا عن طريق المفهوم الموجي للضوء (النظرية الموجية).

1. الموجات الكهرومغناطيسية

هي أنماط مرتبطة من القوى الكهربائية والمغنطيسية التي تتولد نتيجة لتذبذب الشحنات الكهربائية وحركتها للأمام وللخلف. حيث تنتقل خلال الفضاء بسرعة الضوء. سميت بهذا الاسم نظراً لأنها تتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين على بعضها البعض وعلى اتجاه انتشار الموجة. لذا فالموجات الكهرومغناطيسية هي من الموجات المستعرضة، وهي تتحرك بسرعة عالية جداً. ففي الفراغ تبلغ سرعتها ثلاثمائة ألف كيلومتر بالثانية. إن أبسط الموجات الكهرومغنطيسية هي الموجات المستوية التي تنتقل عبر الفضاء في خطوط مستقيمة. وتتغير شدة الموجة في الفضاء وعبر الزمن بقمم وقيعان متناوبة. وتُسمى المسافة من قمة إلى قمة بالطول الموجي.

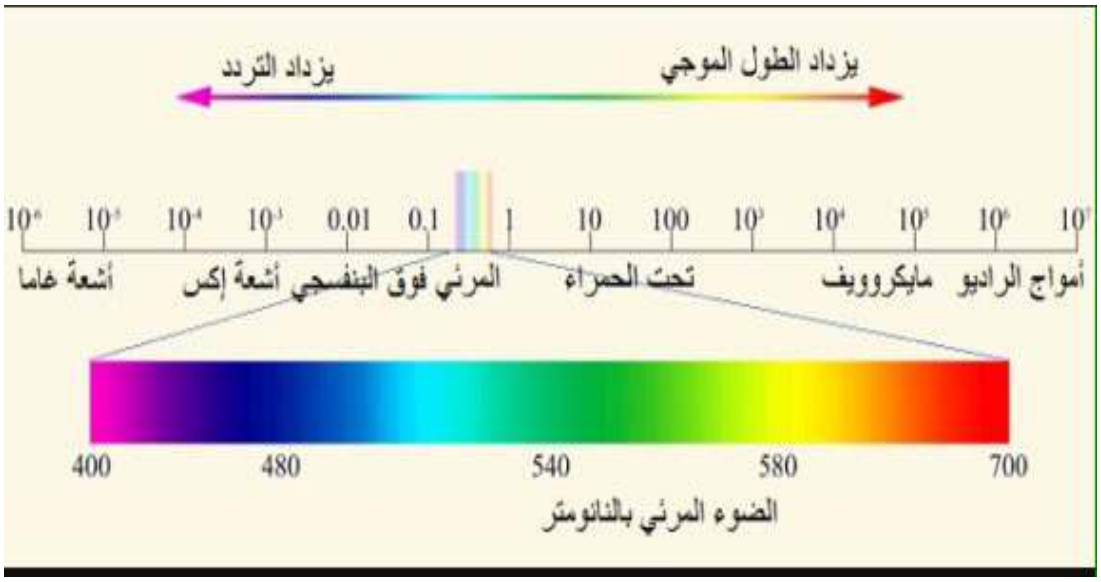
تستخدم الموجات الكهرومغناطيسية في العديد من المجالات، منها:

في مجال الطب مثلاً حيث يستخدم الأطباء أشعة جاما، التي يشعها الراديوم، في علاج السرطان. ويستخدمون كذلك الأشعة السينية لعلاج السرطان، كما يستخدمونها في تحديد مكان الاضطرابات الداخلية وتشخيصها. وتُستخدم الأشعة فوق البنفسجية في المصابيح الشمسية، وفي المصابيح الفلورية، وكمطهر. أما الأشعة تحت الحمراء، التي تنبعث من الأجسام الساخنة، فتُستخدم في علاج الأمراض الجلدية، وصقل المينا. وتستخدم موجات المايكروويف؛ أي الموجات المتناهية الصغر، لطهي الطعام، بينما تُستخدم موجات الراديو في الإذاعة المسموعة والمرئية، كما أن هنالك العديد من الإستخدامات الأخرى لها، مثل الإستخدامات المتعلقة بأشعة الليزر.

➢ خصائص الموجات الكهرومغناطيسية

1- أنها موجات مستعرضة لذلك تكون قابلة للاستقطاب.
2- سرعتها (3×10^8 م / ث) في الفراغ أو الهواء.
3- تتكون من مجالين كهربائي، ومغناطيسي متعامدين مع بعضهما وكل منهما متعامد على اتجاه انتشار الموجة.
4- لا تتأثر بالمجالات الكهربائية أو المجالات المغناطيسية لكونها غير مشحونة.
5- تنتشر في خطوط مستقيمة وتتعرض للانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.

يتكون الطيف الكهرومغناطيسي من موجات كهرومغناطيسية ذات أطوال موجية مختلفة، الشكل التالي يوضح ذلك:



الطيف الكهرومغناطيسي

من الشكل السابق يتضح لنا أنه:

بالقرب من منتصف الطيف الكهرمغناطيسي يوجد مدى من الأطوال الموجية يسمى " الطيف المرئي « وهو الجزء من الطيف الكهرمغناطيسي الذي نستطيع رؤيته. أما بقية الطيف الكهرمغناطيسي فإننا لا نستطيع رؤيته ولكننا نستطيع الكشف عنه بوسائل أخرى.

2. الفوتون

اقترح العالم الفيزيائي الألماني ألبرت أينشتاين في سنة 1905 نموذجًا للضوء، وهو مفيد تمامًا مثل النموذج الموجي. يتصرف الضوء في بعض التجارب كما لو أنه جسيمات، وتسمّي هذا النوع من الجسيمات الآن الفوتونات. وفي نموذج أينشتاين فإن شعاع الضوء هو المسار الذي يسلكه الفوتون. فمثلاً عندما يرسل المصباح شعاعًا من الضوء خلال غرفة مظلمة فإن شعاع الضوء يتألف من عدد كبير من الفوتونات، وكل واحد منها يسير في خط مستقيم. فهل الضوء موجات أو جسيمات؟ فيما يبدو، لا يمكن أن يكون النموذجان معًا، لأن النموذجين مختلفان تمامًا. وأفضل إجابة أن الضوء لا هذا ولا ذاك. ويتصرف الضوء في بعض التجارب كما لو أنه موجة، وفي بعضها الآخر كما لو أنه جسيمات.

3. خواص الضوء

- **انتشار الضوء**: ينتشر الضوء من مصادره في جميع الاتجاهات في خطوط مستقيمة، والدليل على ذلك تكون الظلال وأشباه الظلال وغيرها من الظواهر المعروفة المرتبطة بانتشار الضوء في خطوط مستقيمة.

- **سرعة الضوء:** لقد أجريت تجارب عديدة لقياس سرعة الضوء في الفراغ وفي الأوساط الأخرى مثل الماء والزجاج وغيرها، وقد وجد أن سرعة الضوء في الفراغ تكون أكبر من سرعته في الأوساط الأخرى، وتكون سرعته في الوسط الأقل كثافة أكبر منها في الوسط الأكبر كثافة، فسرعته في الماء مثلا أكبر من سرعته في الزجاج. علاوة على ذلك فإن سرعة الضوء خلال المواد تعتمد على الطول الموجي للضوء. وقد وجد بالتجربة أن سرعة الضوء في الفراغ $c=2.998x10^8$ m/s حيث c ترمز إلى سرعة الضوء في الفراغ.

- **معامل الانكسار**: تسمى النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعته في وسط بمعامل الانكسار او معامل انكسار الوسط، ويرمز له بالرمز n:

$$n = \frac{c}{v}$$

حيث v هي سرعة الضوء في الوسط.

يلاحظ من هذا القانون أن معامل الانكسار ليس له وحدة وذلك لأنه عبارة عن حاصل قسمة سرعتين. الجدول (1-2) يبين معامل الانكسار في المواد المختلفة للضوء الأصفر الذي ينبعث من مصباح بخار الصوديوم وطوله الموجي λ =5890A. حيث (لامدا Lambda) هي الطول الموجي ووحدتها وحدة طول.

جدول (2-1) معاملات الانكسار لبعض المواد عند الضغط ودرجة الحرارة المعياريين

المادة	$n=\frac{c}{v}$	المادة	$n=\frac{c}{v}$
الهواء*	1.003	كلوريد الصوديوم	1.53
الماء	1.33	بوليستيرين	1.59
إيثانول	1.36	ثاني كبريتيد الكربون	1.63
اسيتون	1.36	أيوديد الميثيلين	1.74
بنزين	1.5	ماس	2.42

مثال -1-

احسب سرعة الضوء في ثاني كبريتيد الكربون إذا علم أن معامل انكساره 1.63 بفرض أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي $3\times10^8 m/s$.

الحل:

$$n=\frac{c}{v}$$

$$v=\frac{c}{n}$$

$$v=\frac{3\times10^8}{1.63}=1.84\times10^8\ m/s$$

2.2. الضوء الهندسي

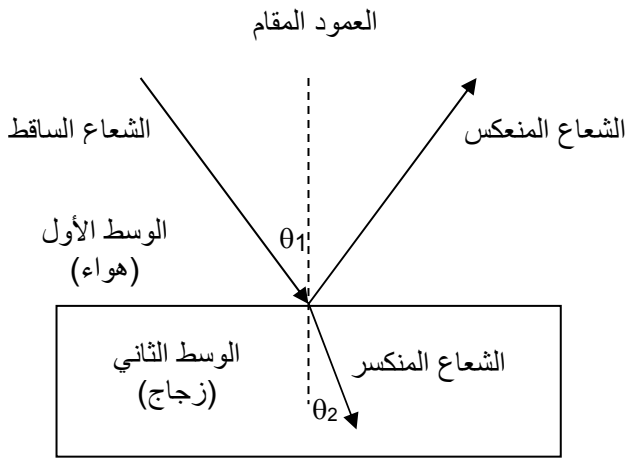
1.2.2. مبادئ البصريات الهندسية وانتشار الضوء.

الضوء الهندسي هو العلم الذي يهتم بدراسة انتشار الأشعة الضوئية في الأوساط الشفافة، قد تكون هذه الأوساط متجانسة أو غير متجانسة، وقد تحد هذه الأوساط سطوح عاكسة كلياً أو جزئيا. ينتشر الضوء في الأوساط المتجانسة وفق خط مستقيم إلى أن يبلغ السطوح الفاصلة بين وسطين شفافين مختلفين، حيث يتعرض للانعكاس أو الانكسار أو كليهما معاً. وعلى ذلك يمكن معالجة انتشار الضوء من خلا جملة ضوئية باستخدام نتائج الهندسة، ومن هنا سميت هذه الطريقة في دراسة الضوء بالضوء الهندسي .

2.2.2. انكسار الضوء

عندما يسقط شعاع ضوئي على سطح أملس لمادة شفافة كالماء أو الزجاج فإنه سوف ينعكس جزء منه تبعا لقانون الانعكاس وينكسر الجزء الباقي خلال الوسط مغيرا اتجاهه كما بالشكل (2).

يحدث انكسار الضوء في الوسط الثاني بسبب التغير في سرعة الضوء إثر دخوله في هذا الوسط. (أي بسبب اختلاف كثافة الوسطين)، فإذا كانت سرعة الضوء في الوسط الثاني أقل من سرعته في الوسط الأول (أي أن الوسط الثاني أكبر كثافة من الوسط الأول) فإن الضوء سينكسر مقتربا من العمود المقام. ويمكن تلخيص ذلك كما يلي:



شكل (2)

- إذا سقط الضوء من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة فإنه سينكسر مقتربا من العمود المقام.

- وإذا سقط الضوء من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة فإنه سينكسر مبتعدا عن العمود المقام.

- الزاوية θ_2 تعرف بزاوية الانكسار.

➢ **زاوية الانكسارِ**

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين. لقد بينت التجارب أنه عندما ينكسر شعاع ضوئي عند سطح فاصل بين وسطين فإنه يمكن وصف طبيعة الضوء المنكسر في صورة قانون مكون من جزأين ويسمى بقانون الانكسار أو(قانون سنل).

➢ **قانون الانكسار (قانون ســــــنل)**

ينص قانون الانكسار على أنه إذا سقط شعاع ضوئي على سطح فاصل بين وسطين مختلفين فإن:

1- النسبة بين جيبي زاوية السقوط في الوسط الأول وزاوية الانكسار في الوسط الثاني تساوي معكوس النسبة بين معاملي انكسار الوسطين على الترتيب.

$$\frac{\sin\ \theta_1}{\sin\ \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

أو إن

$$\boxed{n_1 \sin\ \theta_1 = n_2 \sin\ \theta_2}$$

وهو ما يعرف بقانون سنل.

2- الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام على السطح الفاصل تقع جميعها في مستوى واحد.

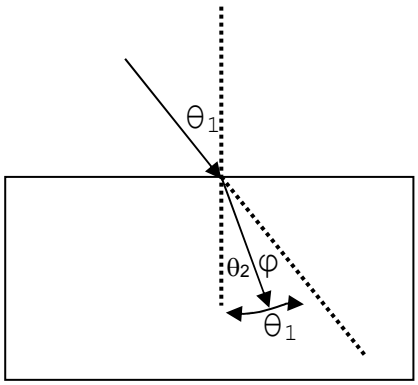
مثال -1-

سقط ضوء في الهواء بزاوية *45* درجة على سطح لوح من الزجاج معامل انكساره *1.52*

أ- احسب زاوية انكسار الضوء نتيجة لانكساره عند السطح العلوي.

ب- هل ينكسر الشعاع مقتربا أم مبتعدا عن العمود المقام؟

ج- احسب الزاوية التي ينعطفها (ينحرفها) الضوء.



الحل:

$$\theta_1 = 45^0, n = 1.52$$
$$\theta_2 = ?$$

أ-
$$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$
$$\sin\theta_2 = \frac{\sin 45}{1.52} = 0.4652$$
$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.4652) = 27.72^0$$

ب- بما أن $\theta_2 < \theta_1$ فإن الشعاع سوف ينكسر مقترباً من العمود المقام، وهذا صحيح لان الشعاع سقط من وسط أقل كثافة (الهواء) إلى وسط أكبر كثافة (الزجاج).

ج- واضح من الشكل أن زاوية الانعطاف (الانحراف) هي:

$$\varphi = \theta_1 - \theta_2 = 45 - 27.72 = 17.28^0$$

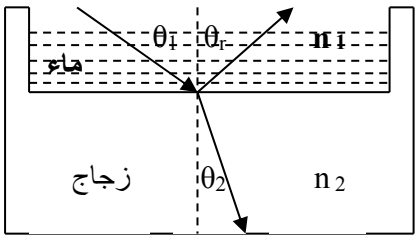
مثال -2-

سقط شعاع ضوئي من الماء ($n_1=1.33$) بزاوية ($\theta_1=60^0$) على سطح لوح من الزجاج ($n_2=1.52$).

أ- اوجد اتجاه الشعاع المنعكس ($\theta_r = ?$)

ب- اوجد اتجاه الشعاع المنكسر ($\theta_2 = ?$)

الحل:



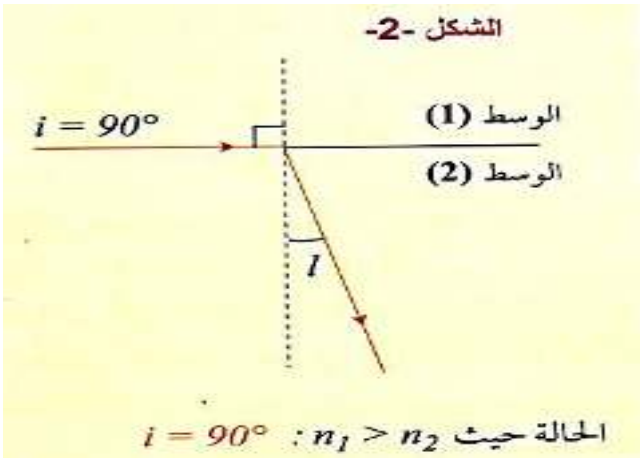
$$\theta_r = \theta_1$$
$$\theta_r = 60^0$$
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$1.33 \sin 60 = 1.52 \sin\theta_2$$
$$\sin\theta_2 = 0.7577$$
$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.7577) = 49.27^0$$

نلاحظ أن الشعاع المنكسر اقترب من العمود المقام وذلك لأن كثافة الزجاج أكبر من كثافة الماء، أي لأن الضوء انتقل من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة.

1.2.2.2. الانكسار الحدي

عندما ينتقل شعاع ضوئي من وسط أقل كسرا إلى وسط أشد كسرا فان:

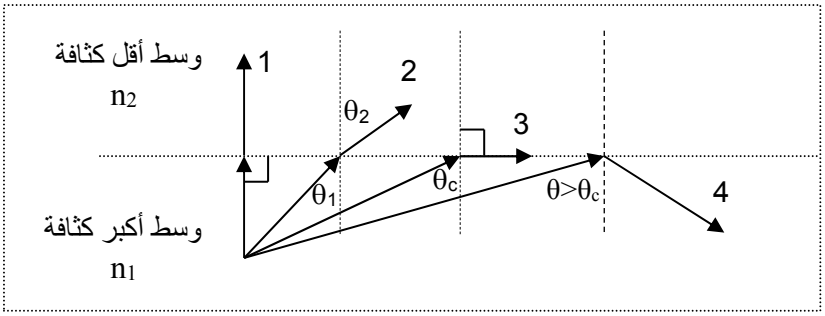
- زاوية الانكسار تبلغ قيمة حدية $r=l$ من أجل زاوية ورود قيمتها $i=90°$ (الشكل - 2)
- قيمة الزاوية الحدية تحسب بالعلاقة التالية: $\sin(l)=n_1/n_2$



2.2.2.2. الانعكاس الداخلي الكلي

عندما ينتقل الضوء من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة تكون زاوية الانكسار دائما أكبر من زاوية السقوط، بمعنى أن الشعاع ينكسر مبتعدا عن العمود المقام. وكلما زادت زاوية السقوط سوف تزداد زاوية الانكسار كما هو موضح بالشكل (3)، وأكبر زاوية انكسار ممكنة في الوسط الأقل كثافة هي 90 درجة.

زاوية السقوط (في الوسط الأكبر كثافة) المناظرة لأكبر زاوية انكسار ممكنة (90 درجة) تسمى بالزاوية الحرجة. وإذا زادت زاوية السقوط عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع سوف ينعكس كليا في داخل الوسط نفسه الذي سقط منه الشعاع، وهذا ما يعرف بالانعكاس الداخلي الكلي.



شكل (3)

ويمكن حساب الزاوية الحرجة (θc) بوضع $\theta_2 = 90^o$ في قانون سنل:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90$$
$$n_1 \sin\theta_c = n_2$$
$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

فعلى سبيل المثال إذا سقط الضوء من داخل مياه البحر ($n_1=1.33$) إلى الهواء الخارجي ($n_2=1$) فإن:

$$Sin\theta_c = 1 \div 1.33 = 0.75188$$

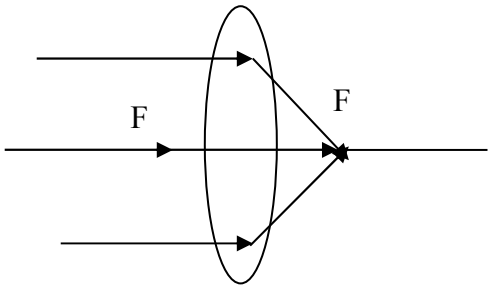
$$\theta_c = sin^{-1}(0.75188) = 48.7^0$$

1.2.2.2. الصور المتكونة بالانكسار

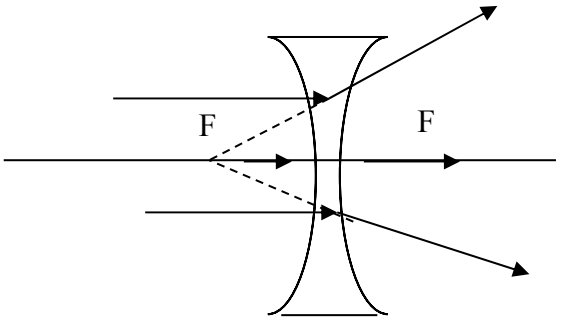
نناقش هنا انكسار الضوء خلال العدسات الرقيقة، والعدسة الرقيقة مصنوعة من مادة شفافة بحيث يكون سطحها جزء من كرة، وسمكها صغيرا مقارنة بخواصها البصرية مثل البعد البؤري وموضع الجسم وموضع الصورة. ولدينا نوعين من هذه العدسات هما:

1. **العدسة المحدبة ـ** اللامة أو المجمعة ـ تكون سميكة في الوسط ورقيقة عند الطرفين وهي إما أن تكون محدبة الوجهين أو محدبة مستوية أو محدبة مقعرة ـ هلالية ـ ويمكن اعتبار العدسة المحدبة الوجهين جزءا شفافا محصورا بين كرتين متداخلتين (شكل .4)

2. **العدسة المقعرة ـ** المفرقة ـ تكون رقيقة في الوسط وسميكة عند الطرفين وهي إما أن تكون مقعرة الوجهين أو مقعرة مستوية أو مقعرة محدبة ويمكن اعتبار العدسة المقعرة الوجهين جزءا شفافا محصورا بين كرتين متباعدتين (شكل .5)



شكل.4
عدسة محدبة أو لامة



شكل. 5
عدسة مقعرة أو مفرقة

وقبل أن نناقش تكون الصورة بالانكسار خلال العدسات الرقيقة علينا أن نعرف بعض المصطلحات و هي كالتالي:

- **المحور الأصلي:** هو المستقيم المار بمركزي تكور وجهي العدسة.
- **مركز تكور وجه العدسة:** هو مركز تكور الكرة التي يكون هذا الوجه جزء منها.
- **المركز البصري للعدسة:** هو نقطة على المحور الأصلي للعدسة تقع في منتصف المسافة بين وجهي العدسة وإذا مر بها شعاع ضوئي فإنه ينفذ على استقامته دون أن انحراف.
- **بؤرة العدسة:** هي نقطة تجمع الأشعة المنكسرة عن العدسة المحدبة أو امتدادات الأشعة المنكسرة عن العدسة المقعرة: بعد سقوطها متوازية وموازية للمحور الأصلي على أحد وجهي العدسة.
- **المحور الثانوي:** هو أي مستقيم يمر بالمركز البصري للعدسة خلاف محورها الأصلي.
- **البعد البؤري للعدسة:** هو المسافة بين البؤرة والمركز البصري للعدسة.

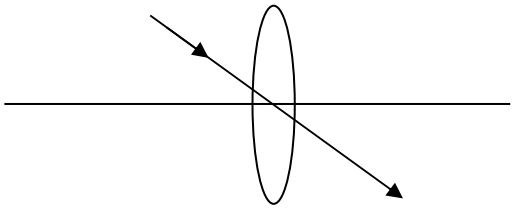
➢ يمكن أن نجد طبيعة الصورة المتكونة بواسطة العدسة الرقيقة وذلك بتحديد تقاطع اثنين من الأشعة التالية:

1- شعاع يمر بمركز العدسة فلا يعاني أي انكسار (شكل.6 و9).

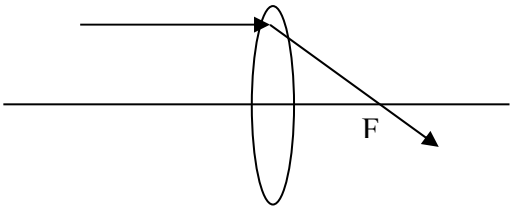
2- شعاع موازي للمحور الأصلي فينكسر مارا بالبؤرة أو يمر امتداده بالبؤرة (شكل .7 و10).

3- شعاع مار بالبؤرة أو يمر امتداده بالبؤرة فينكسر موازيا للمحور الأصلي (شكل.8 و11).

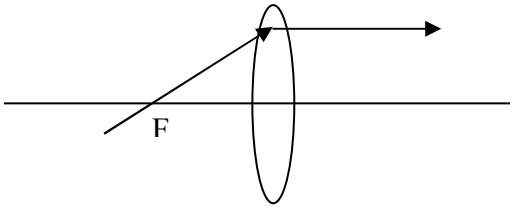
➢ الأشكال التالية توضح كيفية انكسار الأشعة للعدسة المقربة:



شكل .6. الشعاع الذي يسقط مارا بمركز العدسة لا يعاني أي انكسار

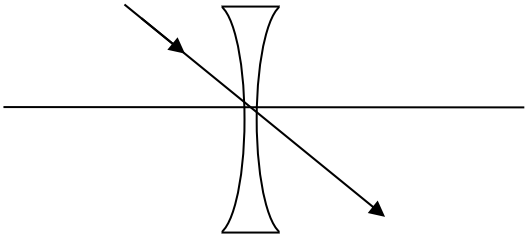


شكل .7. الشعاع الذي يسقط موازيا للمحور الأصلي للعدسة ينكسر مارا بالبؤرة

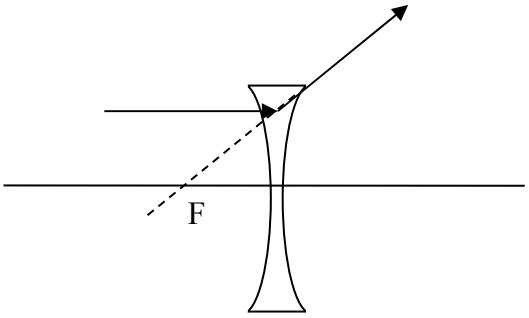


شكل .8. الشعاع الذي يسقط مارا بالبؤرة ينكسر موازيا للمحور الأصلي

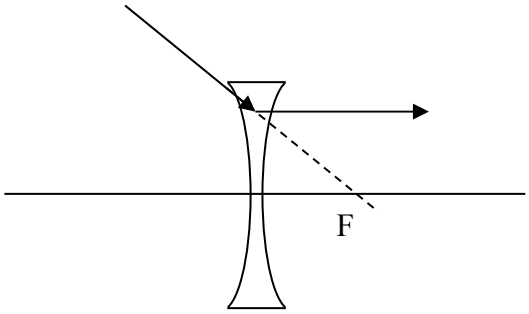
- الأشكال التالية توضح كيفية انكسار الأشعة للعدسة المقعرة.



شكل .9. الشعاع الذي يسقط مارا بمركز العدسة لا يعاني أي انكسار



شكل .10. الشعاع الذي يسقط موازيا للمحور الأصلي للعدسة ينكسر بحيث يمر امتداده بالبؤرة



شكل .11. الشعاع الذي يسقط بحيث يمر امتداده بالبؤرة ينكسر موازيا للمحور الأصلي

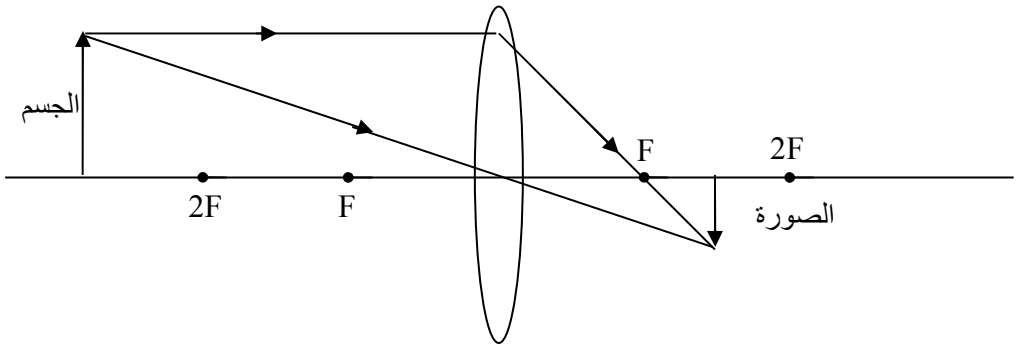
- **كيف تتكون الصور في كل من العدسة المحدبة والعدسة المقعرة وما هي صفاتها؟**

الطريقة الهندسية: في هذه الطريقة يُكْتفى بتحديد الخيال المتكوِّن للجسم برسم شعاعين أو الأشعة الثلاثة الآتية من الجسم الحقيقي، مع مراعاة استخدام مقياس رسم مناسب.

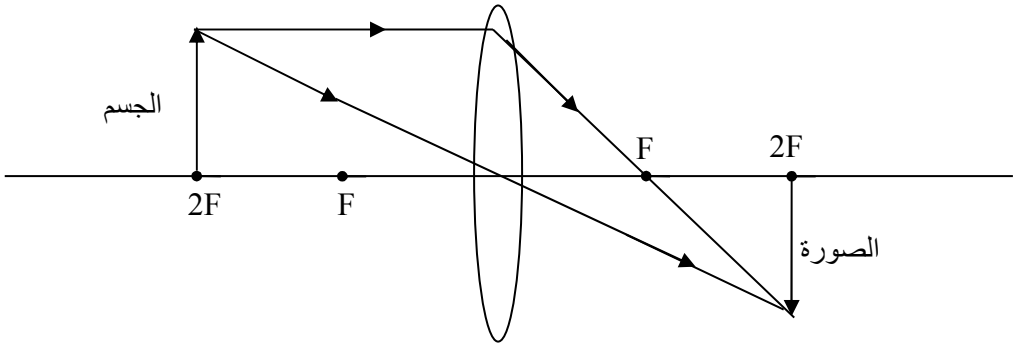
افترض جسم موجود على مسافة ما من البعد البؤري لعدسة محدبة كما في الأشكال التالية، ولتحديد مواصفات الصورة نتبع ما يلي:

1- نرسم شعاع من الجسم موازي للمحور الضوئي للعدسة ليسقط على العدسة وينفذ منكسراً ماراً بالبؤرة F. (الشعاع رقم 1)
2- نرسم شعاع من الجسم يمر في البؤرة ليسقط على العدسة وينفذ موارياً للمحور الضوئي. (الشعاع رقم 2)
3- نرسم شعاع من الجسم ماراً في مركز العدسة فينفذ دون انكسار. (الشعاع رقم 3)

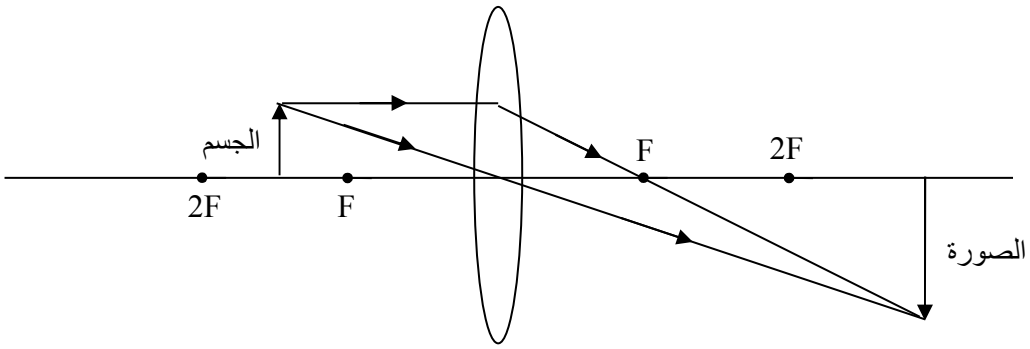
تقاطع الأشعة الثلاثة يحدد موقع الصورة ويمكن تحديد إذا كانت الصورة مكبرة أم مصغرة مقلوبة أم معتدلة وحقيقة أو تخيلية وفيما يلي بعض الحالات المختلفة للصورة عند تغير بعد الجسم عن العدسة.



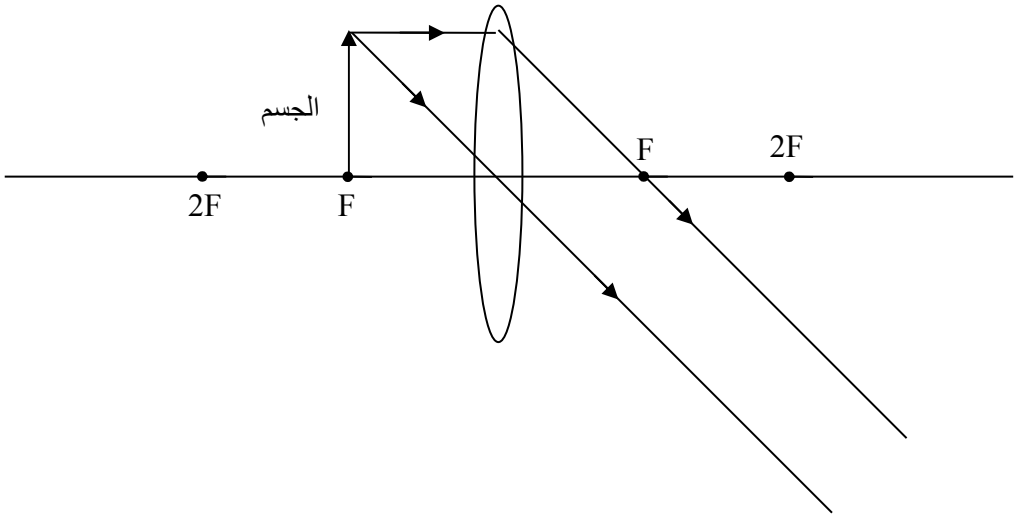
شكل .12. تتكون صورة حقيقية مقلوبة مصغرة عندما يكون الجسم على مسافة أبعد من ضعف البعد البؤري.



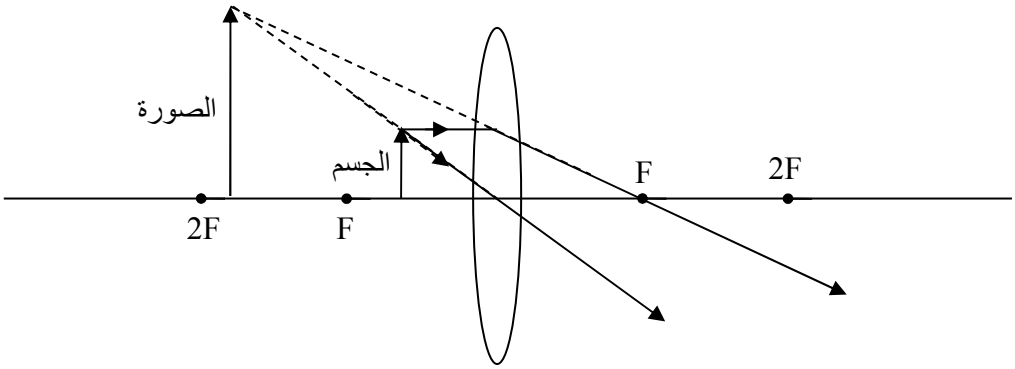
شكل .13. تتكون صورة حقيقية مقلوبة مساوية لحجم الجسم عندما يكون الجسم عند ضعف البعد البؤري.



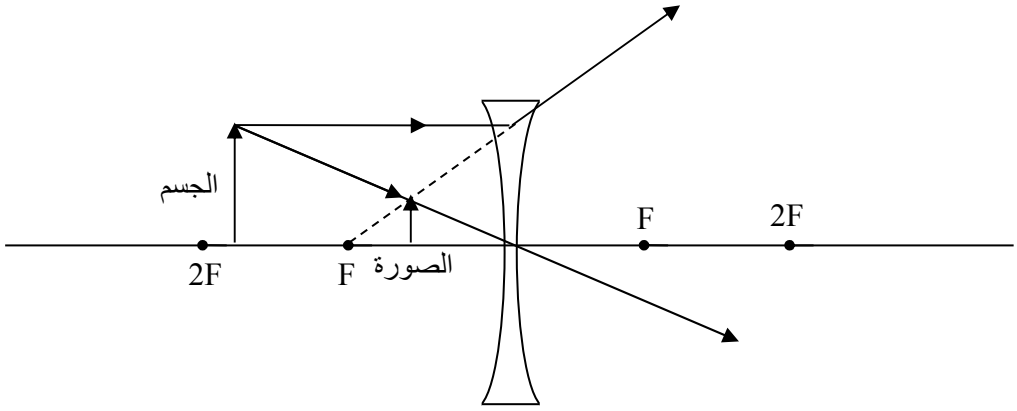
شكل .14. تتكون صورة حقيقية مقلوبة مكبرة عندما يكون موضع الجسم بين البعد البؤري وضعف البعد البؤري البؤري.



شكل .15. لا تتكون صورة للجسم عندما يكون موضع الجسم عند البعد البؤري.



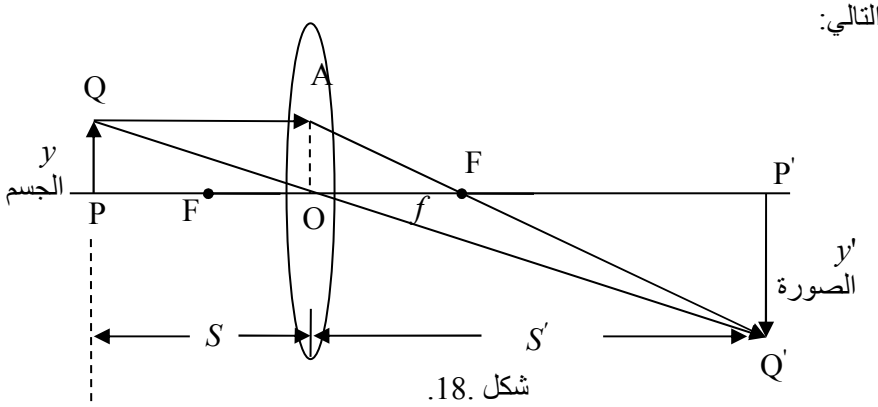
شكل .16. تتكون صورة تقديرية معتدلة مكبرة عندما يكون الجسم بين البعد البؤري ومركز العدسة.



شكل .17 جميع الصور المتكونة في هذه الحالة تكون صورا تقديرية معتدلة مصغرة بغض النظر عن موضع الجسم

- **القانون العام للعدسات (الطريقة الحسابية):**

هناك علاقة تربط بين موضع الجسم S، وموضع الصورة S' والبعد البؤري f وسوف نستنتج هذه العلاقة وذلك بالاستعانة بالشكل التالي:



شكل .18

من تشابه المثلثين FP'Q' ، FOA نجد أن:

$$\frac{P'Q'}{OA} = \frac{FP'}{FO}$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'-f}{f} \quad (1)$$

ومن تشابه المثلثين OP'Q' ، OPQ نجد أن:

$$\frac{P'Q'}{PQ} = \frac{P'O}{PO}$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{S'}{S} \quad (2)$$

بمقارنة (1)، (2) نجد أن

$$\frac{S'}{S}=\frac{S'-f}{f}=\frac{S'}{f}-1$$
$$\frac{1}{S}=\frac{1}{f}-\frac{1}{S'}$$
$$\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{f} \quad (3)$$

وبالرغم من أن المعادلة (3) قد اشتقت للعدسة اللامة فإنه يمكن أن نشتقها للعدسة المفرقة، وكذلك للمرآة المحدبة والمقعرة، والمعادلة (3) تعرف بالقانون العام للمرايا والعدسات.

- **ولكن عند استخدام هذا القانون يجب مراعاة التالي:**

1- البعد البؤري (f) يكون موجبا في حالة المرآة اللامة (المقعرة) والعدسة اللامة (المحدبة) ويكون سالبا في حالة المرآة المفرقة (المحدبة) والعدسة المفرقة (المقعرة).

2- بعد الجسم S يكون موجبا إذا كان الجسم حقيقيا، ويكون سالبا إذا كان الجسم غير حقيقي.

3- بعد الصورة S' يكون موجبا إذا كانت الصورة حقيقية وسالبا إذا كانت الصورة تقديرية.

4- جميع المسافات S'-S-f تقاس من مركز العدسة.

وقبل أن نوضح هذا القانون بأمثلة نود أن نشير بأن تكبير العدسة يمكن أن يعبر عنه كما هو واضح من المعادلة (4) كما يلي:

$$m=\frac{y'}{y}=\frac{S'}{S} \quad (4)$$

أي أن التكبير هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم.

- تعرف قدرة أو قوة العدسة بالقانون: $p=1/f$

حيث تقاس القوة بالديوبتر diopter و يقاس البعد البؤري f بالمتر

مثال-1-

وضع جسم طوله 2.5cm على بعد 10cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 8cm ، احسب طول الصورة.

الحل:

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{10}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{8}\Rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{10-8}{(8)(10)}$$

$$s'=\frac{80}{2}=40cm$$

وحيث أن 'S موجبة فان الصورة تكون حقيقية.

$$m=\frac{s'}{s}=\frac{y'}{y}$$

$$y'=y\frac{s'}{s}$$

$$y'=2.5\times\frac{40}{10}=10cm$$

إذن الصورة مكبرة لأن $y'>y$.

إذن موصفات الصورة هي: حقيقية غير مقلوبة مكبرة

3.2.2. انعكاس الضوء

لقد كان سائداً في القديم أن رؤية العين للأشياء تفسر بان الأشعة الضوئية تسقط من العين على الجسم وبالتالي يمكن رؤيته، ولكن عند وضع هذا الجسم في مكان مظلم وجد أن الرؤيا ستنعدم كليا. إن دل ذلك على شئ فانه يدل على أنه لا توجد أشعة صادرة من العين لتسقط على الأجسام ولكن فسرت الرؤيا كالتالي:

تسقط الأشعة الضوئية من المصدر الضوئي على الأجسام ثم ترتد عنها إلى العين وبالتالي تتمكن العين من رؤية تلك الأجسام.

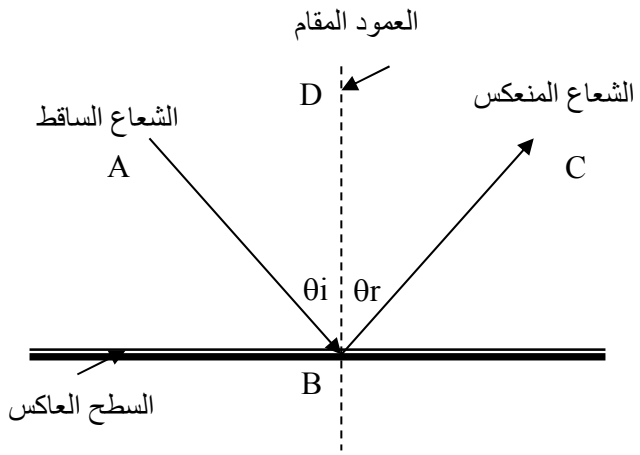
ظاهرة ارتداد الأشعة عن الأجسام تسمى بظاهرة انعكاس الضوء.

الشكل (19) يوضح ظاهرة الانعكاس على سطح مرآة مستوية حيث أن:

AB يمثل الشعاع الساقط

BC يمثل الشعاع المنعكس

DB يمثل العمود المقام على السطح العاكس



شكل (19)

θ_i زاوية السقوط

θ_r زاوية الانعكاس

زاوية السقوط **(θ_i)** هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح العاكس.

زاوية الانعكاس **(θ_r)** هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس.

لقد بينت التجارب أنه عندما ينعكس شعاع ضوئي عند سطح مستو فانه يمكن وصف طبيعة الضوء المنعكس في صورة قانون مكون من جزأين ويسمى بقانون الانعكاس.

- **قانون الانعكاس**

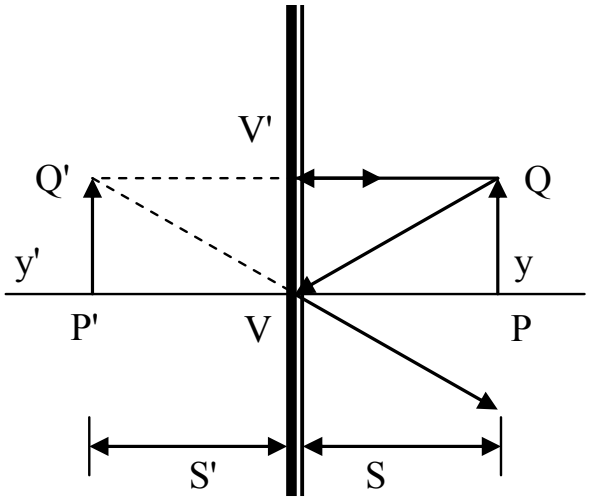
ينص على أنه إذا سقط شعاع ضوئي على سطح عاكس فان:

1- زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

2- الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد.

1.3.2.2. الصور المتكونة بالانعكاس على المرايا المستوية

إذا وضعنا جسما على بعد S من مرآة مستوية كما في الشكل (20) فإن الأشعة الصادرة من الجسم ستسقط على المرآة وتنعكس عنها حسب قانون الانعكاس، وبعد الانعكاس فإن الأشعة ستتباعد، ولكنها تبدو كما لو أنها صادرة عن جسم خلف المرآة، أي أننا نرى صورة الجسم خلف المرآة وعلى بعد S من سطحها.



شكل (5-4)

كما نلاحظ من هندسة الشكل أن المثلث VPQ يكافئ المثلث V'P'Q (متطابقان) وبالتالي نستنتج أن:

$$S'=S$$

أي أن بعد الصورة يساوي بعد الجسم.

كما نستنتج أن:

$$y'=y$$

أي أن طول الصورة y' يساوي طول الجسم y

- **التكبير**

هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم، ويرمز له بالرمز m أي أن:

$$m=\frac{y'}{y}$$

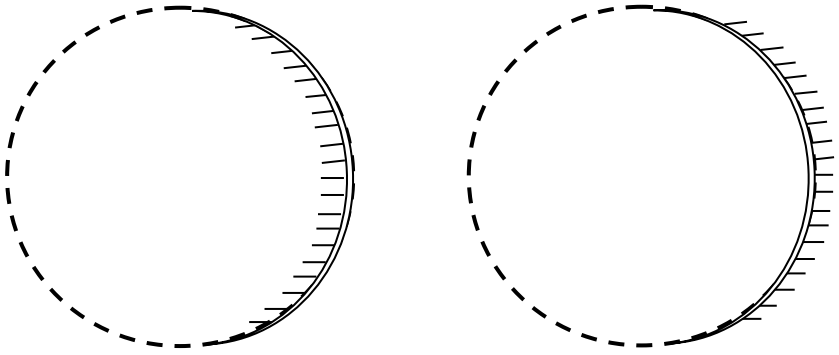
فيكون التكبير في هذه الحالة يساوي 1 لأن $y=y'$ أي أن الصورة لم تكبر ولم تصغر.

2.3.2.2. الصور المتكونة بالانعكاس على المرايا الكرية

- **تعريف المرايا الكرية:** هي مرايا سطحها يتكون من جزء صغير من كرة، وتتكون الصور في هذه المرايا حسب قانون الانعكاس، ولكن طبيعة الصورة في هذه الحالة تكون مختلفة، وتقسم المرايا الكرية إلى نوعين (انظر الشكل.21).

1- **المرايا لمقعرة:** وتسمى أيضا بالمرآة اللاَّمة وذلك لأنها تجمع الأشعة الساقطة عليها ويكون سطحها العاكس هو السطح المقعر.

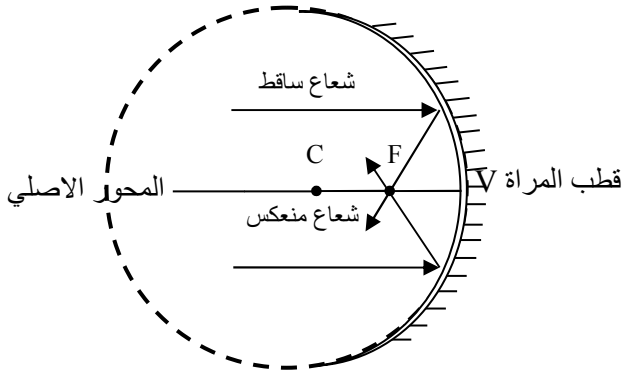
2- **المرايا المحدبة**: وتسمى أيضا بالمرآة المفرقة وذلك لأنها تفرق الأشعة الساقطة عليها ويكون سطحها العاكس هو السطح المحدب.



مراة مقعرة (لامة) **مراة محدبة (مفرقة)**

شكل (21)

وقبل أن نناقش كيف تتكون الصور بواسطة المرايا الكرية سنعرف بعض المصطلحات بالاستعانة بالشكل (22).



شكل (22)

1- مركز التكور ©: هو مركز الكرة التي تكون المرآة جزء منها.

2- قطب المرآة(v) : هو مركز المرآة نفسها.

3- نصف قطر التكور®: وهو المسافة بين مركز التكور C وقطب المرآة V.

4- المحور الأصلي: هو المحور الذي يصل بين مركز التكور وقطب المرآة.

5- البؤرة (F): هي النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الموازية للمحور الأصلي ، وتسمى في هذه الحالة بؤرة حقيقية (في المرآة المقعرة). أوهي النقطة التي تبدو وكأن الأشعة الموازية للمحور الأصلي تتفرق منها، وتسمى في هذه الحالة بؤرة تقديرية (في المرآة المحدبة). وتكون البؤرة في منتصف المسافة بين مركز التكور C وقطب المرآة V.

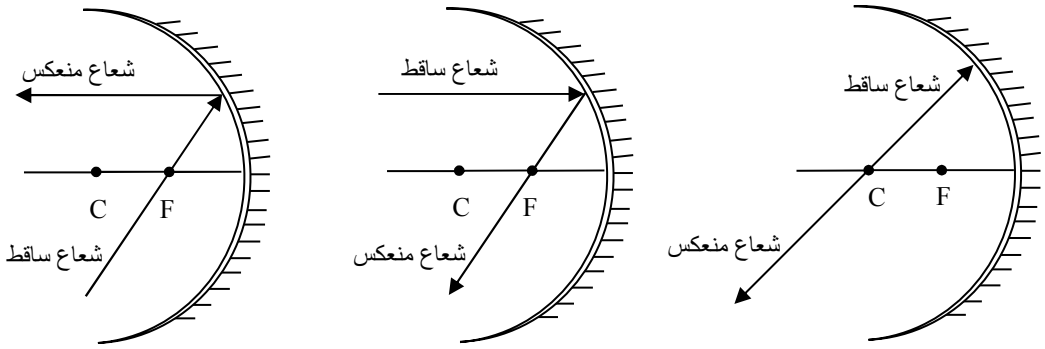
6- البعد البؤري (f): هو المسافة بين البؤرة F وقطب المرآة V .

- **يمكن تحديد موقع وطبيعة الصور المتكونة بواسطة المرايا الكرية برسم اثنين من ثلاث أشعة يمكن رسمها بسهولة وهي موضحة على الترتيب بالشكل (23) كما يلي:**

1- شعاع مار بمركز التكور فينعكس على نفسه.

2- شعاع موازي للمحور الأصلي فينعكس في البؤرة.

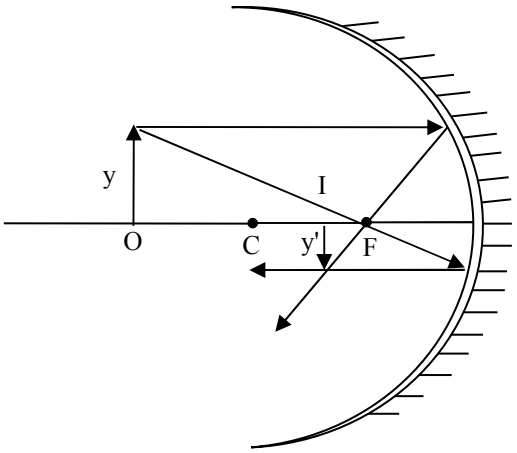
3- شعاع مار بالبؤرة فينعكس موازيا للمحور الأصلي.



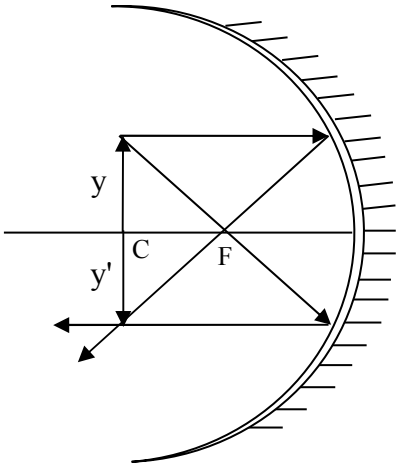
(3) (2) (1)

شكل (23)

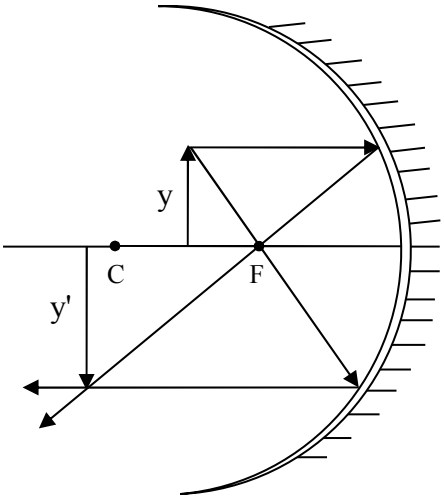
فإذا تكونت صورة لجسم أمكن استقبالها على حائل فان الصورة تكون حقيقية (الصورة الحقيقية هي التي تظهر أمام المرآة) أما إذا لم يمكن استقبالها على حائل تكون صورة تقديرية (الصورة التقديرية هي التي تظهر خلف المرآة)، والأشكال (من 24 إلى 28) التالية توضح موقع وطبيعة الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة.



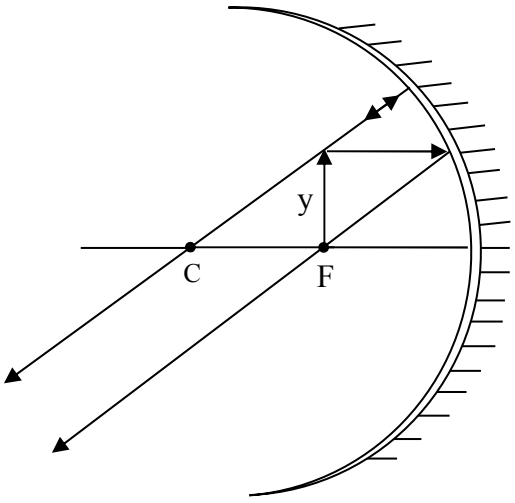
شكل (24)
عندما يكون الجسم على بعد أكبر من مركز التكور، تتكون له
صورة حقيقية مقلوبة أصغر من طول الجسم



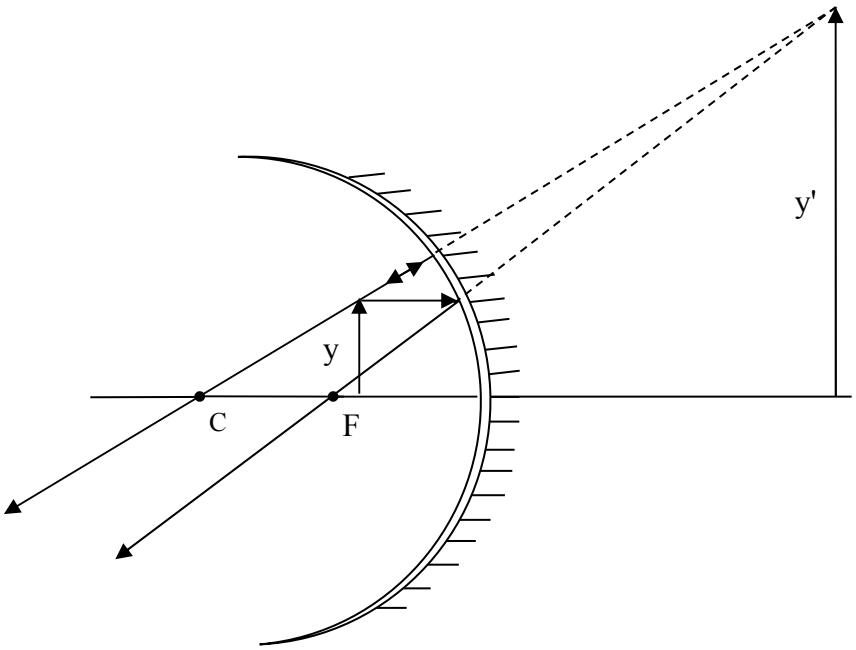
شكل (25)
عندما يكون الجسم عند مركز التكور تتكون له صورة حقيقية عند نفس
المسافة وتكون الصورة مقلوبة وطولها يساوي طول الجسم



شكل (26)
عندما يكون الجسم بين مركز التكور والبؤرة تتكون
صورة حقيقية مقلوبة اكبر من طول الجسم

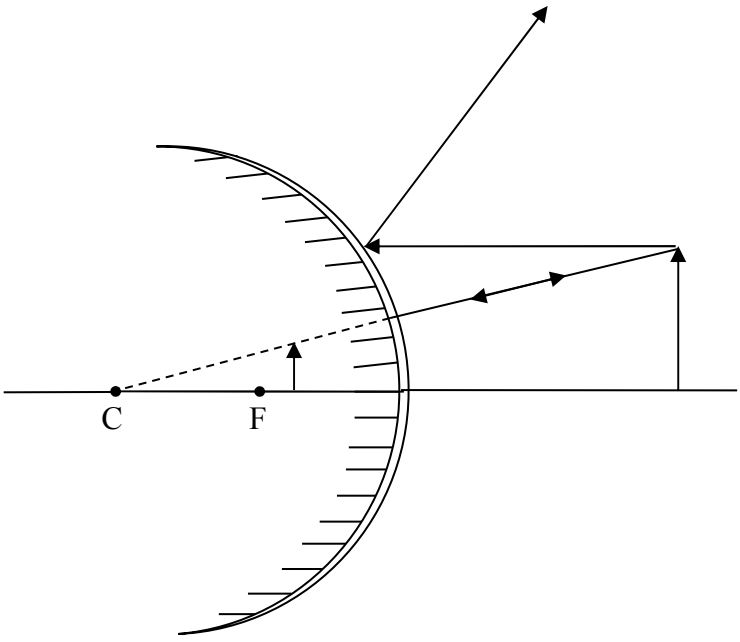


شكل (27)
عندما يكون الجسم في البؤرة تتكون له صورة
حقيقية في مالا نهاية



شكل (28)
عندما يكون الجسم على بعد أقل من البعد البؤري
تتكون له صورة تخيلية معتدلة مكبرة

وعندما تكون المرآة محدبة، أي أن بؤرتها تقديرية، فإن جميع الصور المتكونة للجسم تكون صورا تقديرية معتدلة، والشكل (29) يوضح أحد هذه الحالات:



شكل (29)
جميع الصور المتكونة للجسم تكون صوراً تقديرية معتدلة

مثال -1-

وضع جسم طوله $5cm$ على بعد $4cm$ من مرآة مقعرة بعدها البؤري $5cm$. احسب بعد وطول الصورة وكذلك التكبير في المرآة.

الحل:

1- حساب بعد الصورة

$$\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{f}$$
$$\frac{1}{S'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{S'}$$
$$\frac{1}{S'}=\frac{1}{5}-\frac{1}{4}$$
$$S'=-20cm$$

والإشارة السالبة لبعد الصورة تدل على أن الصورة تقديرية

2- حساب التكبير

$$m=\frac{y'}{y}=\frac{S'}{S}$$
$$\frac{y'}{5}=\frac{20}{4}=5$$
$$y'=5\times 5=25cm$$

نستنتج أن الصورة مكبرة لان m أكبر من الواحد وكذلك تقديرية وذلك لأن بعدها سالب.

مثال -2-

وضع جسم على بعد 27cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 9cm، أوجد طبيعة الصورة المتكونة.

الحل:

$$s=27cm,\ f=-9cm$$
$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$$
$$\frac{1}{27}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{-9}\Rightarrow\frac{1}{s'}=-(\frac{3+1}{27})$$
$$s'=\frac{-27}{4}=-6.75cm$$

وحيث أن بعد الصورة سالب فان هذا يعني أن الصورة تقديرية

$$m = \frac{s'}{s} = \frac{6.75}{27} = 0.25 < 1$$

وحيث أن التكبير اقل من الواحد الصحيح فان الصورة تكون مصغرة

إذن موصفات الصورة هي: تقديرية عير مقلوبة مصغرة

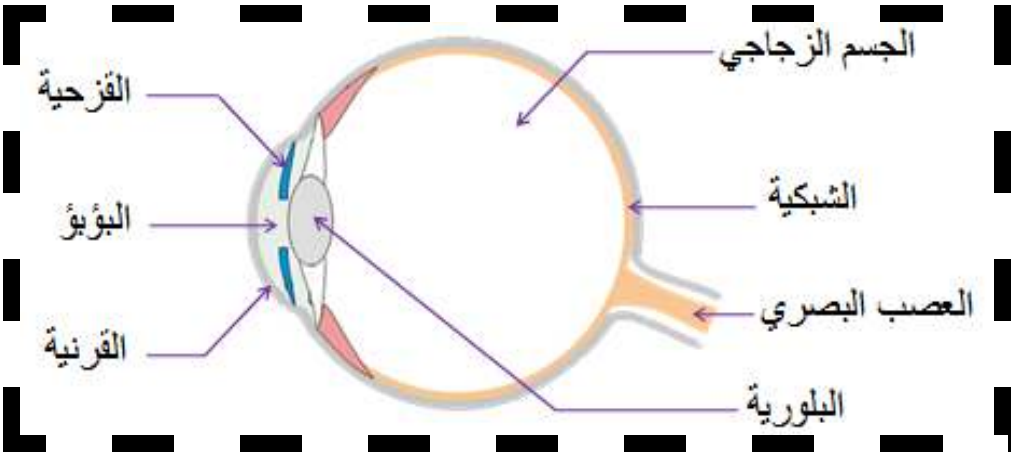
4.2.2. دراسة بعض الأجهزة البصرية

الاجهزة البصرية هي أجهزةٌ متخصصةٌ في معالجة الموجة الضوئية بشكلٍ مناسبٍ، بغرض تحسين الصورة المرئية للكائن، والحصول على رؤيةٍ أكثر وضوحًا. كانت هناك حاجة إلى اكتشاف الضوء وخصائصه لاختراع أجهزةٍ بصريةٍ مثل الكاميرا أو التلسكوب أو المجهر بالإضافة إلى أكبال الألياف الضوئية.

تستخدم الأدوات أو الأجهزة السابقة العدسات والمرايا لعكس وكسر الضوء، وتشكيل الصور المرئية. عادةً ما يؤدي استخدامنا للأجهزة البصرية إلى جعل الأشياء أكبر، ويساعدنا على الرؤية بشكلٍ أكثر تفصيلًا.

1.4.2.2. العين

وصف مبسط للعـــــــين:



تتركب العين من كرة مقورة ممتلئة بمادة هلامية تسمى بالرطوبة الزجاجية وتتكون من:

1. القرنية: عنصر التركيز الرئيسي للعين، تقوم بدور نافذة العين فحين يدخل الضوء للعين ينكسر بواسطة القرنية.

2. القزحية: الجزء الملون المرئي للعين الذي يوسع ويقلص الفتحة المركزية للعين.
3. البؤبؤ: الفتحة المركزية التي تسمح للضوء بالمرور داخل العين.
4. العدسة: قرص مرن بلوري شفاف، محدب الوجهين يفيد في التركيز، كلما تقدمنا في العمر تقل مرونة العدسة.
5. الشبكية: تتكون الشبكية من ملايين الخلايا الحساسة للضوء، وهي تعمل على ترجمة الضوء الساقط على العين إلى سيالات عصبية، تنتقل عبر العصب البصري إلى الدماغ.
6. البلورية:
   1) عدسة مجمعة بعدها البؤري صغير، توجد بؤرتها الصورة في الشبكية في حالة العين السليمة.
   2) تلعب شبكية العين دور الشاشة اي مكان تكون الصورة.

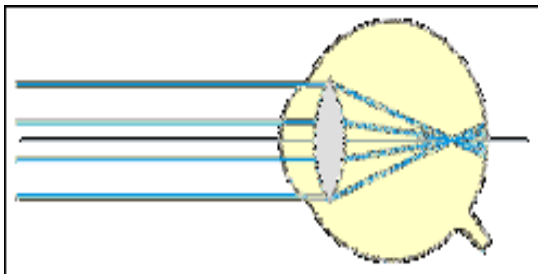
- **مبدأ اشتغال العين**

- تستقبل العين الأشعة الضوئية المنبعثة من الشيء المضيء
- يلعب البؤبؤ دور الحجاب، بحيث يسمح بمرور الكمية الكافية من الأشعة الضوئية للحصول على رؤية واضحة
- البلورية عدسة مجمعة مسافتها البؤرية متغيرة بفضل عضلات تُغيِّر من تحدبها، فتعطي صورة حقيقية ومقلوبة تتكون على الشبكية بالنسبة لعين سليمة
- تلعب الشبكية دور الشاشة، وهي تحول الصورة المتكونة عليها إلى سيالة عصبية ينقلها العصب البصري إلى الدماغ الذي يجعلها تبدو معتدلة.

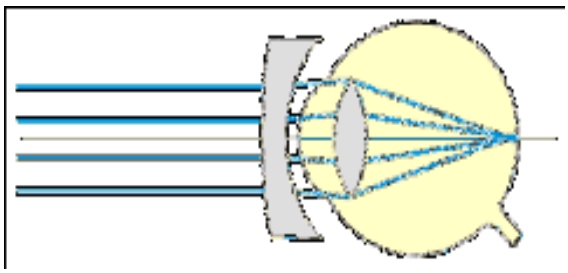
- بعض عيوب العين ومعالجتها.

قصر النظر او الحسر la myopie: يحدث من جراء طول محور العين الأمامي الخلفي أكثر من الطبيعي لذلك تكون الصورة التي تتكون أمام الشبكية غير واضحة، نقول إن العين الحسيرة أكثر تجميعا للأشعة.

إن المصاب بقصر البصر غير قادر على رؤية الأشياء البعيدة بوضوح بينما يتمكن من رؤية الأشياء القريبة بشكل واضح. ولمعالجة هدا العيب يستعمل الحسير او قصير البصر نظارات لها عدسات مفرقة

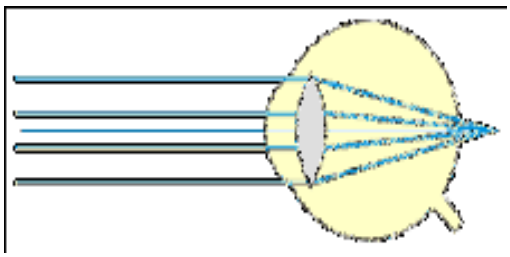


قصر البصر (الحسر)

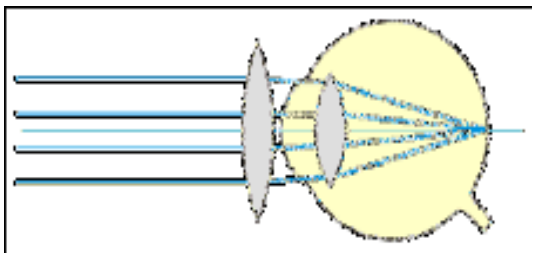


تصحيح الحسر

طول البصر Hypermétropie: يحدث عندما يكون محور العين الأمامي الخلفي أقصر من الطبيعي وتتكون الصورة خلف الشبكية وهذا ما يجعل الرؤية غير واضحة نقول إن عين طويل البصر أقل تجميعا للأشعة. لمعالجة هدا العيب يستعمل المصاب بطول البصر نظارات ذات عدسات مجمعة.



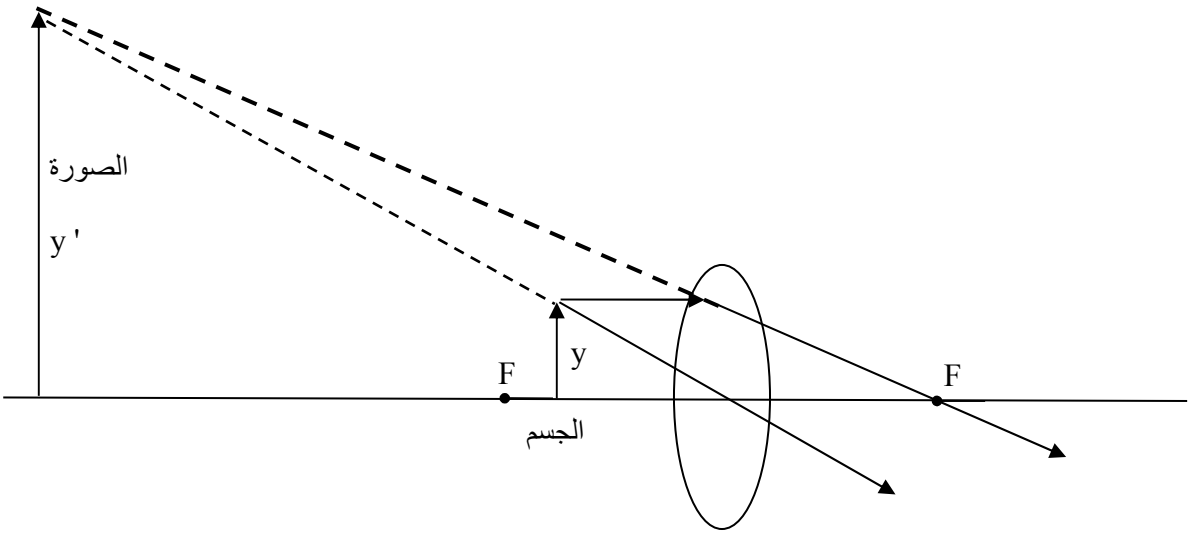
طول البصر



تصحيح طول البصر

1.4.2.2. المكبرة

تعريف المكبرة شكل (30) ليس أكثر من عدسة محدبة، ويوضع الجسم المراد تكبيره بين مركزها وبؤرتها كما في الشكل، والصورة النهائية تكون تقديرية معتدلة، وفي العادة تكون على بعد 25cm، وهي النقطة القريبة للعين.



شكل (30): المجهر البسيط

➢ **ميزات المكبرة**

القوة الذاتية للمكبرة لا تتعلق إلا بالمكبرة (نرمز لها بالحرف) Pi:

$$Pi = 1/f$$

وحدة قياسها هي الديوبتري.

➢ **قوة التكبير**

قوة التكبير لجهاز بصري هو النسبة بين القطر الظاهري للصورة 'α والقطر الظاهري للشيء α ونرمز له الحرف G:

$$G = \alpha'/\alpha$$

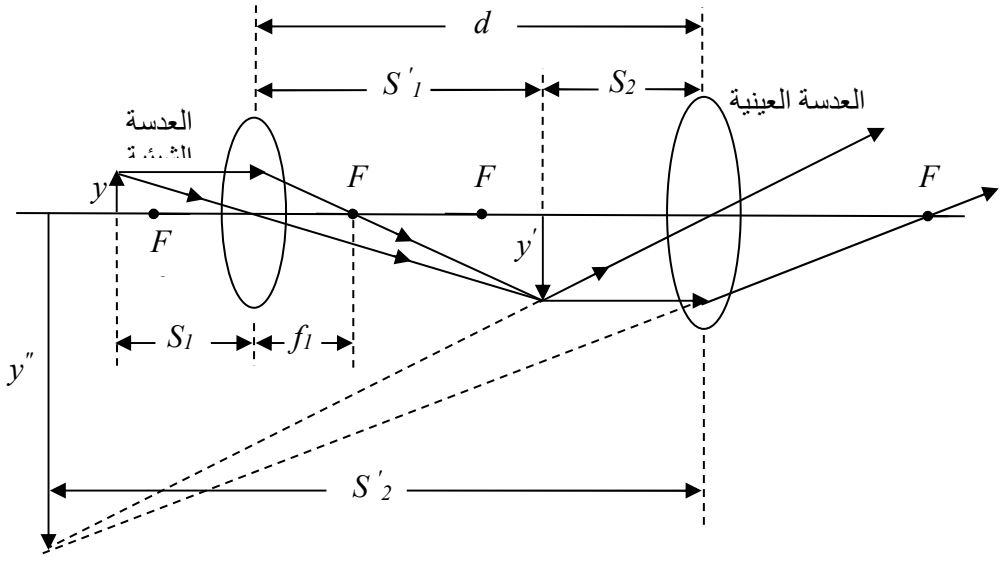
قوة التكبير التجاري (تستعمل لتسويق المكبرات) نرمز لها بـ Gc وتتعلق بالقوة الخاصة بالمكبرة حسب العلاقة الآتية:

$$Gc = 0.25 x Pi$$

2.4.2.2. المجهر الضوئي

المجهر الضوئي من الاجهزة البصرية التي تدخل في تركيبها العدسات، والتي يكون عملها تشكيل صورة مكبّرة لكائناتٍ صغيرةٍ جدًا لا يمكن للعين المجرّدة رؤيتها. النوع الشائع من المجاهر الضوئية هو المجهر المركّب، الذي يحتوي على عدستين محدّبتين على الأقل:

يتكون المجهر الضوئي من عدستين محدبتين بحيث تكون الصورة الناتجة عن العدسة الأولى (العدسة الشيئية) بمثابة جسماً للعدسة الثانية (العدسة العينية). المسافة بين العدستين يمثل طول المجهر والشكل (31) يوضح عمل المجهر المركب.



شكل (31) المجهر المركب

يوضع الجسم المراد تكبيره بعيد قليلاً من البعد البؤري للعدسة الشيئية، فتتكون له صورة حقيقية مكبرة بحيث يكون موضعها داخل البعد البؤري للعدسة العينية، وتعمل العدسة العينية عمل المجهر البسيط فتكون له صورة تقديرية مكبرة ويكون تكبير المجهر المركب هو

$$m = \frac{y''}{y} = \frac{y''}{y'} = \frac{y''}{y'} \bullet \frac{y'}{y} = m_2 m_1$$

$$m = m_1 m_2$$

حيث m_1 تشير الى تكبير العدسة الشيئية و m_2 تشير الى تكبير العدسة العينية.

المحور الثالث:

ميكانيك الموائع

يعد علم الموائع من العلوم التي تشغل بال الكثير من المهتمين بعلم الفيزياء حيث يحتوي ذلك العلم على الكثير من الأشياء التي تخص حياتنا، والتي من بينها صناعة القوارب والسفن كبيرة الحجم وآلية عمل الغواصات وجهاز قياس الضغط والكثير من الأشياء الأخرى التي تدخل في كافة مناحي الحياة، ومنذ القدم وحتى اليوم أجريت الكثير من الدراسات التي مكنت العلماء والمخترعين من التوصل إلى الكثير من الاختراعات التي تستخدم حتى يومنا هذا في الكثير من المجالات.

1.3. الموائع

1.1.3. تعريف الموائع

يقصد بالموائع السوائل والغازات؛ ويتميز السائل عن الجسم الصلب بأن السوائل دائماً تأخذ شكل الوعاء الذي تضع فيه، بينما الغازات تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه وحجمه. وعند ظروف معينة قد يحتاج للتمييز الدقيق بين الأجسام الصلبة والسوائل والغازات إذ أن هناك سوائل لزجة جداً لا تسيل بسهولة ويظن الشخص أنها أجسام صلبة. فالخاصية الأساسية التي يتميز بها السائل على الجسم الصلب أن السائل مهما بلغت لزوجته يسيل ولو بمعدل صغير جداً. حيثما أثرت قوى خارجية على جسم صلب فإن الاجهادات المماسية الناشئة في الجزيئات المتجاورة تسعى لإعادة الجسم الصلب إلى وضعه الابتدائي؛ أما في السوائل فإن هذه الاجهادات تتناسب مع سرعة التغير في شكل السائل وتضعف هذه الاجهادات وتتلاشى عند اقتراب سرعة التغير من الصفر لهذا لا يعود السائل إلى وضعه الابتدائي.

إذ أن الغازات لا يمكن أن توجد في حالة اتزان إلا إذا وضعت في إناء محكم الإغلاق، وتكون قابلة للضغط، وتتمدد تمدداً كبيراً عند إزالة هذا الضغط، أما السوائل فإن قابليتها للانضغاط ضعيفة جداً.

2.1.3. خواص الموائع

لمعرفة الموائع لابد من دراسة خواصها، وبعض الخواص معرفتها ضرورية من الناحية الهندسية فمثلاً الكثافة والانضغاطية وضغط البخار تعتبر من الخواص المهمة جداً في حالة السوائل الساكنة؛ بينما اللزوجة تكون مهمة في حالة الموائع المتحركة. وتطلق على الصفات الثابتة في الموائع التي لا تتغير في الأحوال الاعتيادية من نقطة إلى أخرى ومن حين لآخر وتشمل:

1. **كثافة المائع**

وهي كتلة وحدة الحجوم، ووحداتها الأساسية بالنظام SI هي (كغ/م^3)، والكثافة الكتلية للجسم لا تتغير بتغيير النظام الجانبي وتبقى ثابتة في حال ثبوت درجة الحرارة والضغط، وتدعى بالكثافة اختصارا. ويرمز لها بـ (ρ) حيث:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

إن الكثافة خاصية ديناميكية، أي يدخل في أبعادها الكتلة والطول .أما درجة الحرارة والضغط فتأثيرهما ضئيل على الكثافة . ويعرف مقلوب الكثافة بالحجم النوعي وهو مقلوب الكثافة الكتلية (حجم / كتلة) ووحداتها م^{3}/كغم ، ويرمز له بالرمز (υ) حيث:

$$\upsilon = \frac{1}{\rho}$$

2. الوزن النوعي

يعرف الوزن النوعي على أنه وزن وحدة الحجم ويرمز له بالرمز (γ) حيث: $\gamma = \rho g$

3. الكثافة النسبية

إن الكثافة النسبية مصطلح يستخدم لمقارنة كثافة المادة بالنسبة لكثافة مادة مرجعية أخرى؛ فمثلا تقارن كثافة السوائل بالنسبة للماء عند 4° مئوية كمادة مرجعية .وبهذا فإن الكثافة النسبية للسوائل تعرَّف على أنها" النسبة بن كثافة السائل وكثافة الماء عند 4° مئوية"؛ ويرمز لها بالرمز s حسب المعادلة:

$$s = \frac{\rho}{\rho_{eau(4°)}}$$

وهي كمية عديمة الأبعاد؛ أي بعدها يساوي الوحدة.

4. الانضغاطية

هي قدرة المائع على إحداث التغيير في مقدار حجمه (زيادة أو نقصان) نتيجة تعرضه لقوة ضغط معينة، فنقول إن الهواء يقل حجمه مع ازدياد الارتفاع نتيجة لخاصية الانضغاطية له. يمكن ضغط المائع بضغط خارجي يسلط على حجم منه .والانضغاطية تعرف بدلالة متوسط معامل المرونة الحجمي والذي يرمز له بالرمز $\overline{k}$ حسب المعادلة:

$$\overline{k} = -\frac{(p_2 - p_1)}{\frac{V_2 - V_1}{V_1}} = -\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}}$$

V_2, V_1 حجم المادة عند الضغط P_1 و P_2 على التوالي.

تشير العلامة (-) في المعادلة إلى ان زيادة الضغط تؤدي الى انخفاض الحجم.

أما انضغاطية الموائع فهي مقلوب معامل المرونة الحجمي، أو هي مقدار تغير الحجم أو الكثافة مع الضغط، ويرمز لها بالرمز k حيث:

$$k = \frac{1}{\overline{k}}$$

مثال.1:

ضغط سائل في أسطوانة حجمها 1 لتر وضغط قدره 1 مجا نيوتن/م^2 لحجم قدره 995 سم^3 وضغط قدره 2 مجا نيوتن/م^2 احسب.

- معامل المرونة الحجمي للسائل وانضغاطيته؟

الحل:

➢معامل المرونة الحجمي

حسب القانون لدينا $\bar{k} = -\dfrac{\Delta p}{\dfrac{\Delta V}{V}}$

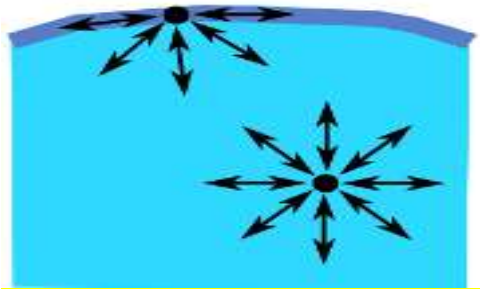
ت.ع. $\bar{k} = 200MPa$

➢انضغاطيته:

$$k = \frac{1}{\bar{k}} = 0.005 \times 10^{-6} Pa^{-1}$$

5. التوتر السطحي

تنشأ ظاهرة التوتر الشد السطحي من قوى التجاذب الموجودة بين الجزيئات والتي تؤثر على بعد صغير جدًا كما مبين على شكل.



ظاهرة التوتر السطحي من الظواهر الفيزيائية التي يسهل مشاهدتها في الطبيعة، والتي تتمثل في قدرة الحشرات على الوقوف والسير على سطح الماء، وتجمع نقاط الندى على أوراق الشجر، وتعلق قطرة الماء في الصنبور لبعض الوقت وعدم سقوطها فوراً، وطفو الإبرة أو القش على سطح السائل دون غرقه، وتمكن علماء الفيزياء من تفسير هذه الظواهر من خلال ماهية التوتر السطحي، كما ساعدهم ذلك على توضيح عدد من الظواهر والعمليات الفيزيائية؛ مثل: الخاصية الشعرية، ولزوجة السوائل.

قبل تفسير ظاهرة التوتر السطحي من المهم توضيح نوعين من القوى، وهما: قوى التماسك التي تتمثل في قوة الجذب الحاصلة بين جزيئات السوائل، وقوة التلاصق التي تتمثل في قوة الجذب الحاصلة بين جزيئات السوائل وسطح الإناء الموجودة داخله.

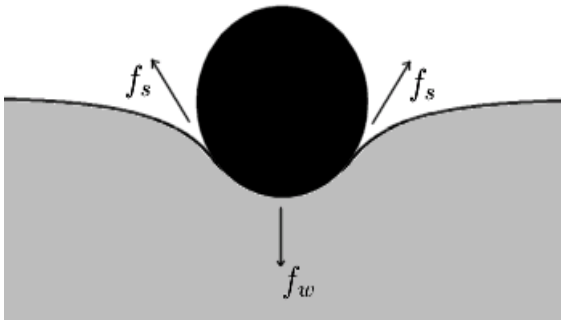
يرمز للتوتر السطحي بالرمز σ, γ أو T ، ويعرّف بأنه القوة المؤثرة عموديّا على طول خط عمل وحدة القوى عندما تكون هذه القوة موازية للسطح. ويقاس التوتر السطحي بوحدات نيوتن لكل متر $(N \cdot m^{-1})$، أو داين لكل سنتيمتر. وبالنسبة للديناميكا الحرارية يعرف التوتر السطحي على انه الشغل المبذول لوحدة المساحات.

يعتمد التوتر السطحي على عاملين:

1. نوع السائل: أي أنه الحشرة لا تقف على أي سائل. حيث أن هناك ذات توتر سطحي أعلى من سوائل أخرى.
2. درجة الحرارة: إذا كان السائل في درجة غليانه فذلك سيؤدي إلى انعدام قوة التوتر السطحي. وبشكل عام كلما ارتفعت درجة حرارة السائل قل الشد السطحي للسائل.

تنشأ خاصية التوتر السطحي لسائل ما بسبب وجود قوة تماسك بين جزيئاته، ويعمل سطح السائل وكأنه غشاء مشدود. أي أن عندما نضع شفرة برفق على ماء في إناء، فإن جزيئات الماء سوف تتماسك وكأنها غشاء مشدود يحمل الشفرة. حتى ولو كانت كثافة الشفرة أكبر من كثافة الماء.

ويمكن فهم سبب حدوث ظاهرة الشد السطحي إذا لاحظنا أن أي جزيء داخل السائل يتعرض لقوى متساوية من قبل الجزيئات الحيطة به وفي جميع الاتجاهات. ولكن على النقيض من ذلك فإن جزيئات السائل التي تقع على السطح تتعرض لقوى جذب (تعرف بقوة التماسك) فقط في اتجاه السائل، (انظر الشكل)



➢ **طرق قياس التوتر السطحي**

توجد طرق متعدد لقياس التوتر السطحي نذكر منها طريقة ارتفاع السائل في الأنبوبة الشعرية المتمثلة في الخطوات التالية:

1. نحضر السائل المراد تعيين التوتر السطحي له ونضعه في إناء.
2. نحضر أنبوبة شعرية مفتوحة الطرفين ومعلوم نصف القطر (r) لها ونغمسها من أحد طرفيها في السائل.

3. نلاحظ ارتفاع السائل داخل الأنبوبة الشعرية، ويستمر ارتفاع السائل داخل الأنبوبة تحت تأثير قوى التوتر السطحي (تعمل هذه القوى على تقليل المساحة السطحية للسائل).
4. عند ارتفاع معين داخل الأنبوبة الشعرية، يتوقف ارتفاع السائل. وعند هذه النقطة يكون السائل واقع تحت تأثير قوتين متساويتين في المقدار، ومتضادتين في الإتجاه، وهما قوى التوتر السطحي، التي تدفع السائل لأعلى، وقوى الجاذبية الأرضية التي تشد السائل لأسفل.
5. نقيس ارتفاع السائل داخل الأنبوبة الشعرية، وليكن h بوحدة سم أو المتر.

- **طريقة الحساب**

عند توقف السائل عن الإرتفاع داخل الأنبوبة الشعرية فإن السائل يكون واقع تحت تأثير قوتين متساويتين في المقدار ومتضادتين في الإتجاه وهما: قوة الجذب للأسفل الناشئة عن الجاذبية الأرضية (قوة عمود السائل) و قوة الشد لأعلى (قوى التوتر السطحي):

$$\text{قوة الجاذبية الارضية} = \pi r^2 h d g$$

$$\text{قوى التوتر السطحي} = 2\pi \bar{r} \gamma$$

حيث $\bar{r}$ تمثل نصف قطر التقعر، والعلاقة بينه وبين نصف قطر الأنبوبة (r):

$$\bar{r} = r \cos\theta$$

وبالتالي فإن قوى التوتر السطحي تساوي:

$$2\pi r \gamma \cos\theta$$

وعند توقف ارتفاع السائل في الأنبوبة الشعرية فإن:

قوى التوتر السطحي = قوى الجاذبية الأرضية

$$2\pi r \gamma \cos\theta = \pi r^2 h d g$$

$$\gamma = \frac{\pi r^2 h d g}{2\pi r \cos\theta}$$

$$\gamma = \frac{r h d g}{2 \cos\theta}$$

- γ : معامل التوتر السطحي ووحدته (dynes/cm) أو (N/m).
- r : نصف قطر الأنبوبة الشعرية بوحدة (cm) أو المتر (m) أذا استخدم لقياس التوتر السطحي وحدة (N/m).
- h : ارتفاع السائل في الأنبوبة الشعرية (ارتفاع العمود بوحدة cm) ويمكن أن يستخدم المتر (m) إذا استخدم لقياس التوتر السطحي وحدة (N/m).

- d : كثافة السائل بوحدة (g/cm^3) وهى نفس الوحدة (g/ml) ويمكن تكون الوحدة (Kg/m^3) إذا استخدم لقياس التوتر السطحي وحدة (N/m)
- g : الجاذبية الأرضية وتساوي ($981\ cm/s^2$) ويمكن أن تستخدم القيمة ($g = 9.81\ m/s^2$) إذا استخدم لقياس التوتر السطحي وحدة (N/m).
- θ : زواية البلل (في حالة السوائل التي تبلل السطوح الصلبة (مثل الماء) فإنها تساوي تقريباً صفراً وقيمة $\cos 0 = 1$)

حالة خاصة: في حالة أن السائل في الأنبوبة الشعرية يبلل السطح تماماً (كما هو الحال في الماء) فإنه يمكن اعتبار زاوية البلل تساوي صفراً، وعندها فإن القانون يصبح:

$$\gamma = \frac{rhdg}{2\cos\theta}$$

$$\gamma = \frac{rhdg}{2\cos 0}$$

$$\gamma = \frac{rhdg}{2 \times 1}$$

$$\gamma = \frac{1}{2} hdgr$$

مثال .2:

إذا كان نصف قطر أنبوبة شعرية ($r = 0.0335\ cm$) وعند غمسها في سائل كثافته ($d = 0.866\ g/cm^3$) ارتفع السائل في الأنبوبة الشعرية إلى ارتفاع قدره ($h = 2.0\ cm$) فإذا علمت أن عجلة الجاذبية الأرضية تساوي ($g=981\ cm/s2$) فاحسب التوتر السطحي لذلك السائل.

الحل:

$$\gamma = \frac{1}{2} hdgr$$

$$\gamma = \frac{1}{2} * 2 * 0.86 * 981 * 0.033$$

$$\gamma = 28.46\ dyne/cm$$

6. اللزوجة : هي مقياس يوصف به قابلية سائل ما للجريان، ومقدار مقاومته لضغط يجبره على التحرك والسيلان. كلما زادت لزوجة سائل ما قلّت قابليته للجريان. وكلما قلت اللزوجة زاد مقدار ميوعة هذا السائل. تكون جزئيات سائل عالي اللزوجة مرتبطة ببعضها بشكل قوي، وبذلك تكون أقل قدرة على التحرك. ويكبر احتكاكها بالجسم الصلب الملامس لها، ويمكن وصف اللزوجة بأنها إحتكاك داخلي بين جزيئات السائل.

وهي خاصية مهمة من خصائص الموائع وبها يقاوم المائع التغير في الشكل الناتج من تأثير قوى القص المؤثره عليه. فإذا افترضنا وجود طبقه من المائع بين لوحين مستويين متوازيين بحيث يثبت اللوح السفلى ويتحرك العلوي بسرعه V تحت تأثير قوه مقدارها F .

ويمكن تشبيه هذا الإحتكاك الداخلي للجزيئات بطبقات مسننة وممددة على بعضها البعض. وعند الجريان، تنزلق الجزيئات المكونة لهذه الطبقات على بعضها، وتحاول أن تتغلّب على هذه المسننات بواسطة قوة. مقدار لزوجة السائل يتحدد بواسطة هذه القوة بالإضافة إلى خواص السائل.

اما اللزوجة الحركية لسائل ما، فهي تبين مقدار مقاومة السائل للجريان (السيلان) عند حركتة و علاقة هذه المقاومة بدرجة حرارة السائل. فكلما زادت الحرارة، تقل اللزوجة الحركية ويصبح السائل أكثر ميوعة. ومن جهة أخرى، كلما زادت سرعة التدفق إرتفعت اللزوجة ، أي أن مقاومة السائل للسير بالحركة تزداد مع إزدياد الضغط.

مثال.3:

نفترض وجود لوحين متوازيين بينهما مسافة x ومساحة كل منهما A، ونفترض وجود سائل يملأ المكان بين اللوحين. فإذا بدأنا تحريك اللوح 2 بسرعة ثابتة v فتتحرك طبقة السائل الملاصقة للوح 2 أيضا بالسرعة . v وبما أن اللوح 1 ثابت لا يتحرك فإن طبقة السائل الملاصقة له تبقى لا تتحرك. أي أن طبقات السائل بين اللوحين ستتحرك بسرعات متناسبة طرديا مع المسافة بين اللوحين

ويمكن أن تبين التجربة أن القوة F التي تحرك اللوح 2 تتناسب تناسبا طرديا مه مساحة اللوح A، كما تتناسب تناسبا طرديا مع سرعة اللوح v ، وتتناسب تناسبا عكسيا مع المسافة x بين اللوحين أي أن:

$$F \sim \frac{Av}{x}$$

ويمكن تحويل العلاقة إلى معادلة بوساطة ثابت التناسب:

$$F = \eta \frac{Av}{X}$$

ويسمى ثابت التناسب η اللزوجة الحركية واحيانا يقال لها اللزوجة.

ووحدة اللزوجة هي نيوتن. ثانية / متر^2 أي ($N.s/m^2$)

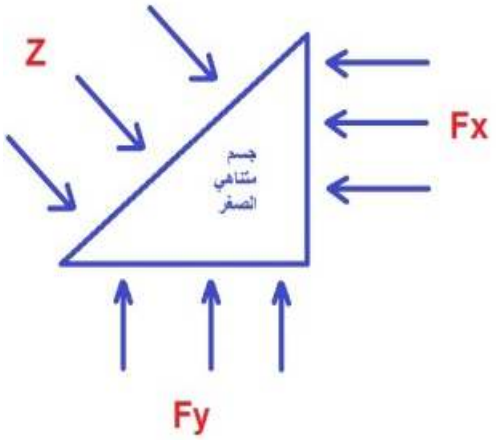
أما الموائع المثالية فليس لها لزوجة فهي غير موجودة في الطبيعة إلا أن قسماً من الموائع لزوجتها صغيرة جداً لدرجة أنها تهمل في الحسابات واللزوجة على أنواع.

أن اللزوجة هي الأساس في مقارنة الموائع، ولدرجة الحرارة أثر كبير في تغير قيمة اللزوجة لأن لزوجتها تختلف باختلاف درجة الحرارة والسبب يعود الى طبيعة اللزوجة الناتجة من تماسك الجزيئات بعضها ببعض ومن

تبادل الزخم بين طبقات المائع المختلفة الارتفاعات فعند ارتفاع درجات الحرارة يزداد تبادل الزخم بين الطبقات بنسبة أكبر من النقصان الحاصل من تماسك الجزيئات ويحصل العكس في السوائل لذلك نرى انخفاض اللزوجة عند ارتفاع درجة الحرارة تقل اللزوجة في السوائل وتزيد في الغازات.

2.3. الموائع الساكنة

عندما يكون المائع في حالة السكون لا توجد حركة نسبية بين طبقاته المختلفة فيكون أنحدار السرعة صفراً وكنتيجة لذلك يكون إجهاد القص صفراً مهما كبرت لزوجة المائع والقوى العاملة على المائع الساكن هي قوى الضغط فقط. يستعمل مصطلح الضغط في الموائع للدلالة على قوة المائع سواء أكان متحركاً أو ساكناً وهو يقع متساوياً في جميع الجهات على نقطة في المائع الساكن ويمكن مشاهدة ذلك في جسم متناهي الصغر من المائع على شكل مثلث قائم الزاوية كما في الشكل:



حيث أن : $P_X = P_Y = P_Z$

1.2.3. قانون ضغط الموائع

هناك نوعان من الموائع، هي الموائع المتحرّكة والتي تسير في مسارٍ معيّن، وموائع ساكنة ومعدومة الحركة، ولكل نوع منهما ضغطٌ خاصٌ:

1. **ضغط الموائع المتحركة:** تم وصف ضغط الموائع المتحركة من خلال معادلة أو مبدأ العالم برنولي، والتي تنصّ على أنّه كلّما قلت قيمة ضغط المائع زادت سرعته، وكلّما زادت قيمة ضغط المائع قلّت سرعته، وتعبّر المعادلة أيضاً عن قانون حفظ الطّاقة في علم حركة الموائع، وينص القانون رياضياً على أنّ مجموع كل من الضغط والطاقة الحركية لوحدة الحجوم وطاقة الوضع لوحدة الحجوم يساوي مقداراً ثابتاً عند أي نقطة من نقاط سريان المائع كالآتي: (الضغط + الطاقة الحركية لوحدة الحجوم + طاقة الوضع لوحدة الحجوم = مقدار ثابت).

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = cst$$

2. **ضغط الموائع الساكنة:** تم وصف ضغط الموائع الساكنة من خلال مبدأ باسكال، حيث ركّز العالم باسكال على دراسة علم الموائع، مما قاده إلى اكتشاف قانون الضغط للسوائل الساكنة، والذي ينص على أنّ السوائل التي توجد في إناء مغلق تنقل الضغط الواقع عليها من جهةٍ معينة إلى باقي الجهات بشكل متساوٍ، كما ساعد قانون باسكال الفيزيائي على صناعة العديد من الأجهزة، ومنها ضاغطات الهواء، والمضخّات الفراغية، والرافعة الهيدرولكية، ورافعات السيارات الثقيلة، والمضاغط. ينتج الضغط في السوائل بسبب وزن السائل والذي يكون في جميع الاتجاهات وعمودي على الجسم المغمور فيه، وعلى جدران الوعاء الموضوع فيه أيضاً. يُمكن حساب قيمة الضغط المتشكّلة في السوائل الساكنة من خلال المعادلة الرياضيّة الآتية:

$$P = \rho gh$$

حيث تعبّر الرموز عن الآتي:

P : الضغط

ρ : كثافة المائع

g : ثابت الجاذبيّة الأرضيّة

h : العمق.

يجب الانتباه إلى أنّ القيمة ρ يجب أن تساوي قيمة كثافة المائع المشكّل للضغط وليس كثافة الجسم الواقع في المائع، كما إنّ العمق يجب أن يساوي عمق الجسم في المائع، ويجب استخدام الإشارة الموجبة لوصف العمق على الرغم من أنّه واقعاً تحت السطح، أمّا ثابت الجاذبيّة الأرضيّة فهو يساوي 9.8 م/ث^2. عند الرغبة بقياس قيمة الضغط الكليّ المتشكّل على جسمٍ ما مغمور في المائع، فيجب تطبيق المعادلة الآتية:

$$P_T = \rho gh + p_{atm}$$

حيث تعبّر الرموز عمّا يلي :

P_T : قيمة الضغط الكليّة.

Patm : قيمة الضغط الجويّ.

3.3. الموائع المتحركة

هناك قانونان أساسيان في ديناميكية الموائع المتحركة وهما:

1. قانون حفظ الكتلة (ويمثل بمعادلة الأستمرارية).
2. قانون حفظ الطاقة (ويمثل بمعادلة برنولي).

- **معدل التدفق:** أن معدل التدفق هو كمية أنسياب المائع خلال وحدة الزمن خلال مقطع الأنبوب أو سطح ويرمز له بالحرف Q_m ويعبّر عنه بالنظام الفرنسي بالكيلوغرامات المتدفقة في الثانية أو (كغم/ثانية) (kg/sec) أو (غم/ثانية) (g/sec).

يعتمد معدل التدفق على الكثافة وسرعة المائع ومقطع مساحة الأنبوب، فكلما زادت السرعة أو الكثافة أو مساحة مقطع الأنبوب زاد معدل التدفق لذا فأن:

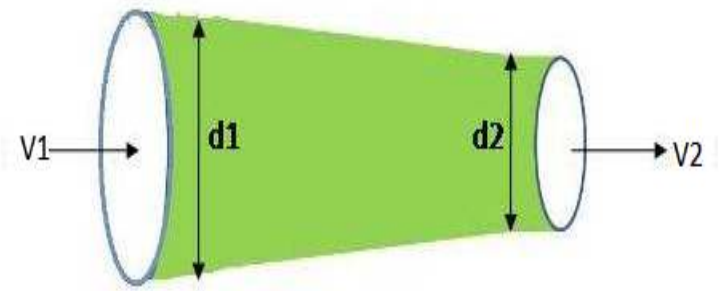
معدل التدفق للمائع = السرعة x الكثافة x مساحة مقطع الأنبوب.

$$Q_m = \rho . \nu . A$$

1.3.3. معادلة الأستمرارية لأنسياب السائل الثابت مع الزمن (قانون حفظ الكتلة):

إذا تدفق سائل بأستمرار خلال أنبوب فأن كمية السائل المارة خلال وحدة زمنية تكون متساوية في جميع النقاط، شرط عدم إضافة أو سحب أية كمية من السائل وهذه القاعدة تسمى (معادلة الأستمرارية)

ولتوضيح هذه المعادلة ، نأخذ أنبوب متغير القطر ، مساحته تبلغ A_1 في البداية و A_2 في النهاية ، وتكون سرعة السائل في المقطع الأول ν_1 وفي المقطع الثاني ν_2 .



لذا ستكون كمية السائل المار خلال المقطع الأول:

$$Q_1 = \rho_1 . \nu_1 . A_1$$

كمية السائل المار خلال المقطع الثاني:

$$Q_2 = \rho_2 . \nu_2 . A_2$$

ولما كانت كمية السائل المار خلال وحدة الزمن متساوية بالمقطعين، لذا فأن:

$$Q_1 = Q_2$$

وحيث أن كثافة السائل هي نفسها فأن:

$$\rho_1 = \rho_2$$

نحذفهما من المعادلة، فنحصل على معادلة الأستمرارية:

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

مثال.4:

إذا كان الماء ينساب بانتظامٍ في أنبوبٍ أفقيٍ غير منتظم المقطع، وكانت A_1=24 سم²، وA_2=8 سم²، ν_1 = 12م/ث، فما هي سرعة جريان الماء في الطرف الثاني للأنبوب، وما هو معدّل التدفق له.

الحل:

✓سرعة جريان الماء في الطرف الثاني للأنبوب:

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

$$12\times24=\nu_2\times8$$

$$.8/(12\times24)=\nu_2$$

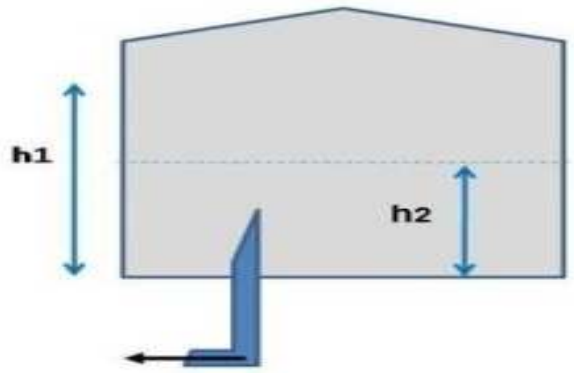
$$.\text{سم/ث}\ 36=\nu_2$$

✓معدّل التدفق:

$$A_1\times\nu_1=12\times24=288\ \text{سم}^3/\text{ث}$$

➢ **معدل التدفق المتغير مع الزمن:**

فيما سبق كان الأنسياب ثابتاً لا يتغير مع الزمن، ويمكن أن يتم التحكم به بواسطة المضخة مثلاً، ولكن هناك حالات أخرى يتغير فيها معدل التدفق مع الزمن، فمثلاً لو تركنا سائلاً يخرج من خزان كما في الصورة.



فأن سرعة خروج السائل من الخزان تعتمد على أرتفاعه في الخزان ونعبر عن سرعة خروج السائل من الخزان بالمعادلة التالية:

$$\nu = \sqrt{2gh}$$

وبما أن ارتفاع السائل في الخزان يتناقص تدريجياً كلما انخفضت كمية السائل فأن السرعة تنخفض أيضا ومعدل التدفق ينخفض تدريجياً، وهذا يعني أن معدل خروج السائل يتغير بتغير الزمن وعليه لا يصح حساب الزمن اللازم لتفريغ الخزان بتقسيم وزن السائل على معدل خروجه، وهذا لا يجوز إلا عندما يكون معدل الخروج ثابتاً، ومن خلال اشتقاق هذه المعادلة نحصل على هذه المعادلة:

$$t = \frac{2 \times A_b}{A} \sqrt{\frac{(h_1 - h_2)}{2 \times g}}$$

حيث أن:

A_b = مساحة قاعدة الخزان

A = مساحة مقطع الفوهة

h_1 = ارتفاع السائل عند البداية

h_2 = ارتفاع السائل بعد مرور زمن t

g = التسارع الأرضي (ثابت).

2.3.3. قانون حفظ الطاقة

وفقاً لهذا القانون فأن الطاقة لا يمكن أن تفنى ولكنها يمكن أن تتحول من شكل الى آخر والمعادلة التي نحصل عليها تسمى معادلة برنولي أو معادلة الطاقة حيث تأخذ أشكالاً مختلفة حسب نوع الجريان والمائع والأبعاد المستخدمة.

- **أنواع الطاقة التي تؤدي إلى حركة الموائع:**

تعرف الطاقة على أنها القابلية على أنجاز شغل وبالرغم من وجود أشكال مختلفة، لكننا سنختصرها على الأنواع التالية:

1. الطاقة الكامنة: وهذا النوع من الطاقة يُنتج غالباً من تأثير قوة الجاذبية الأرضية فمثلاً نجد أن الماء يُخزن في خزانات مرتفعة حتى يكون له القدرة الكافية للأنسياب في الأنابيب لتوزيعه وكذلك عند أنحدار السيارة من أعلى المنحدر الى الأسفل دون تشغيل المحرك وذلك بفعل الطاقة الكامنة والتي تعتمد على كتلة الجسم وارتفاعه عن مستو معين فإذا كانت الطاقة الكامنة E_t لذا فأن:

$$E_t = m.g.h$$

2. طاقة الضغط: وهي الطاقة التي تمتلكها جزيئات السائل نتيجة ضغطها فإذا كان ضغط كتلة من المائع تساوي P وكثافتها تساوي ρ ، فأن:

$$Ep = P.m/\rho = P.V$$

حيث V يساوي حجم المائع الذي تم تسليط الضغط عليه لأنجاز الشغل.

3. الطاقة الحركية: هي الطاقة الناتجة عن حركة جسم كتلته m وتعتمد على سرعته v، فإذا رمزنا لهذا النوع من الطاقة بـ Ec فأن:

$$Ec = \frac{1}{2} m \times v^2$$

وجميع أنواع الطاقات بصورة عامة تُقاس بوحدات القوة X الإزاحة اي (نيوتن.متر) (N.m) ويسمى بالجول Joule مجموع الطاقات لجزئيات المائع في حالة الحركة تساوي مجموع الطاقة الكامنة + طاقة الضغط + الطاقة الحركية:

$$E_T = m.g.h + P.m/\rho + \frac{1}{2} m \times v^2$$

➢ **معادلة برنولي:** تقول معادلة برنولي بأنّ مجموع كلٍ من الضغط والطاقة الحركية لوحدة الحجوم وطاقة الوضع لوحدة الحجوم هو مقدار ثابت في أي نقطةٍ من نقاط جريان المائع، ورياضياً: الضغط + الطاقة الحركية لوحدة الحجوم + طاقة الوضع لوحدة الحجوم = مقدار ثابت، معناه: $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = cst$

مثال.5:

إذا ارتفع أنبوب ما عن الأرض مسافة 2.5م عند الطرف الأول منه، وكانت مساحة مقطع الأنبوب عند هذا الطرف 0.2م²، وعند الطرف الآخر يرتفع الأنبوب مسافة 2م ومساحة مقطعه هي 0.1م²، فإذا كانت سرعة جريان الماء في الطرف الأول هي 2م/ث وضغط الماء 30000 باسكال، وكانت كثافة الماء تساوي 1000كغ/م³، والجاذبية 10م/ث²، فاحسب السرعة والضغط عند الطرف الثاني.

الحل:

1. حساب السرعة، من معادلة الاستمرارية لدينا:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$.v_2 \times 0.1 = 2 \times 0.2$$

$$.\text{ث/م}4 = v_2$$

2.حساب الضغط، من معادلة برنولي لدينا:

$$P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1$$

.2×10×1000 +16×1000×2/1 +P_2=2.5×10×1000 + 4×1000×2/1 +30000

.20000+8000+ P_2=25000 +32000

.28000+ P_2=57000

.28000-57000=P_2

P_2=29000 باسكال.

المحور الرابع:

مبادئ أساسية في علم البلورات

يعتبر علم البلورات أحد العلوم التي تدرس ضمن مادة علم المواد كالفيزياء والكيمياء وهندسة المواد وعلم المعادن. لذا نحن ندرس علم البلورات (Crystallography) وذلك لارتباطه بعلم المعادن وذلك حسب تعريف المعدن انه مادة طبيعية، صلبة، غير عضوية، متبلورة وذات تركيب كيمياوي وعلية اقتضت الضرورة ان ندرس علم البلورات باعتبار المعدن مادة متبلورة حيث كل معدن يملك نظام بلوري خاص به. فعلم البلورات يختص بدراسة المواد المتبلورة من حيث الشكل الخارجي للبلورات اي دراسة علاقة الاوجه البلورية بعضها ببعض وكذلك دراسة خواصها الطبيعية المختلفة والتركيب الذري الداخلي للبلورة وذلك بطريقة استخدام الاشعة السينية (x-Ray) اضافة الى استخدام هذه الاشعة في التعرف على المعادن على اساس حيود الاشعة السينية حيث تكون على هيئات مختلفة معتمدة على الترتيبات الذرية في المعدن الواحد.

1.4. تعريف البلورة: البلورة عبارة عن جسم صلب متجانس ذي تركيب كيمياوي معين وشكل هندسي منتظم محاط بأوجه مستوية ملساء تسمى بأوجه البلورة (Crystal faces) تعكس حالة الترتيب الداخلي المنتظم للذرات او الايونات او الجزيئات وتكونت بفعل عوامل طبيعية وتحت ظروف مناسبة من ضغط ودرجة الحرارة. ومنذ القرن الثامن عشر حتى 1912 م كان الاعتقاد السائد ان الشكل المنتظم للبلورة ما هو إلا انعكاس لانتظام المكونات الداخلية للبلورة، من دون التوصل الى شكل هذا الانتظام. حتى جاء العالم الاماني وأوضح اول نموذج للتركيب الداخلي لبلورة معدن الهالايت (ملح الطعام). وحازا بها على جائزة نوبل (حيث قام بتسليط اشعة اكس على بلورة معدن الهالايت وأسقط الانعكاس على ورق التصوير، ورسم اول نموذج للتركيب الداخلي لبلورة الهالايت. وان اكتشاف حيود الاشعة السينية X-ray diffraction حّول علم البلورات من الحالة الوصفية التي كانت عليها الى علم تحليلي تمكنت من دراسة التركيب الذري للمواد المتبلورة والنجاح في دراسة المادة المتبلورة دون الاقتصار على دراسة بلورات الكاملة النمو، وأصبح من الممكن الان تحديد نوع ووحدة الخلية Unit-cell وحساب ابعادها وكثافتها ثم ايجاد عدد الذرات فيها والتعرف على طريقة توزيع الذرات او الايونات داخل وحدة الخلية.

2.4. التركيب البلوري وتصنيف المواد الصلبة: تصنف المواد الصلبة إلى الأصناف التالية:

1. **تصنف البلورات نسبة للشبيكة البلورية إلى:**
   - أ- البلورات ذات الشبيكة البرافية Bravais Lattice.
   - ب- البلورات ذات الشبيكة غير البرافية Non Bravais Lattice.
2. **تصنف المواد الصلبة نسبة لتوصيله الكهربائي إلى:**
   - ا- المعادن Metals
   - ب- أشباه الموصلات Semiconductors.
   - ج- العوازل Insulator.
3. **تصنف المواد الصلبة نسبة لخواصها المغناطيسية إلى:**
   - أ- المواد الدايامغناطيسية Diamagnetic materials.

ب- المواد البارامغناطيسية paramagnetic material.

ج- المواد الفيرومغناطيسية Ferromagnetic material.

4. تصنف المواد الصلبة بالنسبة لطاقة الربط بين ذراتها أو جزيئاتها إلى:

أ- البلورات الأيونية Ionic crystals.

ب- البلورات التساهمية Covalent crystal.

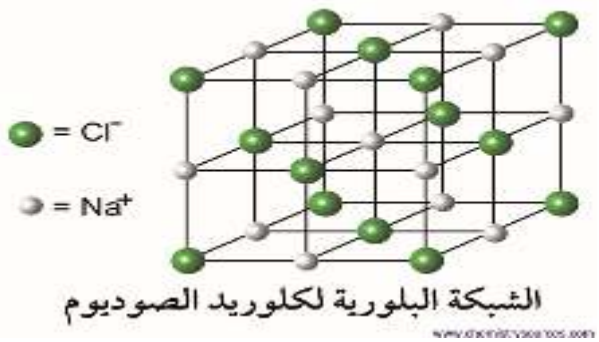
ج- البلورات الجزيئية Molecular crystals.

د- البلورات المعدنية Metallic crystals.

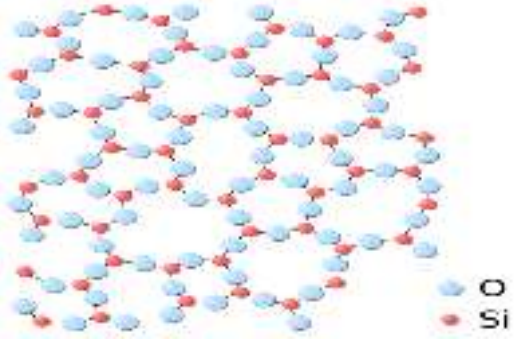
3.4. المواد البلورية وغير البلورية: تتكون المادة في حالاتها الثلاث (الغازية ـ السائلة ـ الصلبة) من ذرات أو جزئيات دائمة الحركة ويعزى وجود المادة في إحدى هذه الحالات إلى طبيعة وحدود التأثيرات المتبادلة بين ذراتها وجزيئاتها ويمكن تمييز كل حالة عن الأخرى فيزيائياً بالنظر فلي خاصية السريان و التدفق حيث تكون المادة في حالتها الغازية والسائلة قابلة للانسياب والتشكل بشكل الإناء الذي توضع فيه بينما تفقد المادة الغازية أو السائلة القدرة على التدفق عندما تتحول إلى الحالة الصلبة بعد تبريدها وتتخذ شكلاً وحجماً ثابتين وتصنف المواد الصلبة إلى نوعين .

أ – **المواد البلورية**: **Crystalline** وفيها ينتظـم ترتيب الذرات في الفراغ بحيث تشكل نمطاً هندسياً دورياً . وعندما ينتشر هذا النمط ليشغل كل أجزاء المادة فإن هذا يعني أن لدينا بلورة وحيده Single crystal. أما إذا توقف اطراد دورية النمط الهندسي عندما يسمى بحدود الحبيبات Grain – Boundries بأن المادة حينئذ تكون متعددة البلورات Poly-crystalline أي أنها تتكون من مجموعات صغيرة جداً من الحبيبات أو البلورات الأحادية الصغيرة في اتجاهات مختلفة.

ب ـ المواد اللابلورية: Noncrystaline وتضم المـــــواد الصلبة التي تتخذ ذراتها أو جزيئاتها توزيعاً عشوائياً حيثما يتسنى لها وعندما تتحول من الحالة المائعة " الغازية أو السائلة " إلى الحالة الصلبة توصف بأنه لا شكلية أو مورفيه Amorphous، بمعنى أنها لا تتخذ شكلاً مميزاً كمـــــــا أنها توصف بأنها زجاجية Vitreous Glassy نظراً لأنها تتشابه مع الزجاج في عشوائية ترتيب الذرات.



المواد البلورية



المواد اللابلورية

أن المواد السائلة تشبه الغازات أكثر مما تشبه المواد الصلبة حيث أن كل من السوائل والغازات هي موائع Fluid ولا يمكن تمييز بعضها عن بعض عند الدرجة الحرجة الحرارية ومع هذا فإن الصفات المجهرية microscopic للسوائل تشبه كثيراً صفات المواد الصلبة. فكثافة سائل تساوي تقريباً كثافة نفس المادة في حالة التجمد ونجد أن هذه الصفة توضح أن تقارب جزئيات المادة يكون متساوي تقريباً في الحالتين السائلة والصلبة ودراسة قابلية الانضغاط Compressibilities لتلك المواد تكون مؤكدة هذه الصفة وأن حيود الأشعة السينية x-ray يظهر بأن هناك سوائل كثيرة لها تراكيب منسقة قصيرة المدى تشبه تماماً تركيب المواد الصلبة غير المتبلورة ، عدا أن تراكيب المواد السائلة تتغير باستمرار مع الزمن.

ولما كانت المواد الصلبة غير المتبلورة تشبه السوائل لذلك فإنها لا تظهر درجات انصهار متميزة ونستطيع أن نفسر هذه الصفة في الضوء التركيب المجهري لتلك المواد. فالمواد الصلبة غير المتبلورة لا تمتلك تنظيماً بعيد المدى ولذا فالروابط بين الجزئيات تتباين فيما بينها وعند تسخين المادة الصلبة نجد الروابط الضعيفة تتفكك عند درجات حرارة أوطأ مما تحتاجه الروابط الأقوى. ولذلك فالمادة غير المتبلورة تتميع تدريجياً أما المواد الصلبة المتبلورة فيتضمن الانتقال من الترتيب المنتظم البعيد المدى إلى الترتيب القصير المدى " أو عدم الترتيب كسر الروابط المتساوية القوة ولذلك يحدث انصهارها عند درجة حرارة محددة".

وتكون الحالة البلورية هي الحالة الطبيعية لغالبية المواد الصلبة نظراً لأن طاقة الترتيب المنتظم للذرات تكون أقل من طاقة التوزيع العشوائي لها. وعموماً إذا لم تتح لذرات المادة فرصة ترتيب نفسها كما ينبغي وذلك بأن تتيح حركتها فإنه يمكن أن تكون مادة غير بلورية مثال ذلك : ـ الكربون " الزجاجي " لناتج من عملية التحليل عند درجات حرارة منخفضة وبعض البلورات التي تتكون من عدد كبير جداً من الجزئيات غير المتناسقة وهناك حالات أخرى لا تتاح الفرصة لنمو بلورات من السوائل عالية اللزوجة عند تبريدها بسرعة ، حيث يؤدي التبريد الفائق Supercoolin إلى تجميد السائل بنفس النمط غير الدوري لترتيب جزيئاته ويمكن لبعض المواد الزجاجية يمكنها اكتساب الحالة البلورية بصورة كلية أو جزئية عن طريقة معالجتها حرارياً بعملية تسمى التلدين أو التخمير Annealing وهي عبارة عن عملية تسخين يعقبه تبريد بمعدلات بطيئة منظمة.

4.4. العوامل المؤثرة على نمو البلورة

تنمو البلورات كاملة الاوجه إذا توفرت لها العوامل التالية:

1. ان تكون الذرات او الايونات حرة الحركة في الصهير او المحلول لكي تتقرب الذرات من بعضها البعض حسب النسب الصحيحة للمعدن.
2. ان تكون الظروف السائدة مناسبة من ناحية الضغط والحرارة والتركيز لكي تسمح للبلورة للنمو بشكل طبيعي ومتواصل
3. ان تكون اوجه البلورة النامية غير متوترة فيزيائيا لكي تسهل ترسيب مستويات الذرية الاضافية عليها.

ان المعادن المتبلورة التي لا تظهر فيها الأوجه البلورية تعتبر أكثر شيوعا من تلك التي يكون فيها المعدن ببلورات كاملة النمو وواضحة ويتم الحصول على بلورات كبيرة عندما يكون هناك متسع من الوقت للذرات والجزيئات لترتيب نفسها في الابعاد الثلاثة وفي مديات طويلة تؤدي الى نمو بلورات كبيرة وفي التبريد السريع لا يتكون بلورات لعدم توفر الوقت الكافي للذرات لترتيب نفسها بشكل منتظم.

توصف أشكال الحبيبات في الصخور اعتمادا على درجة وضوح الاوجه البلورية وتقسم الثلاثة صنوف اساسية وهي:

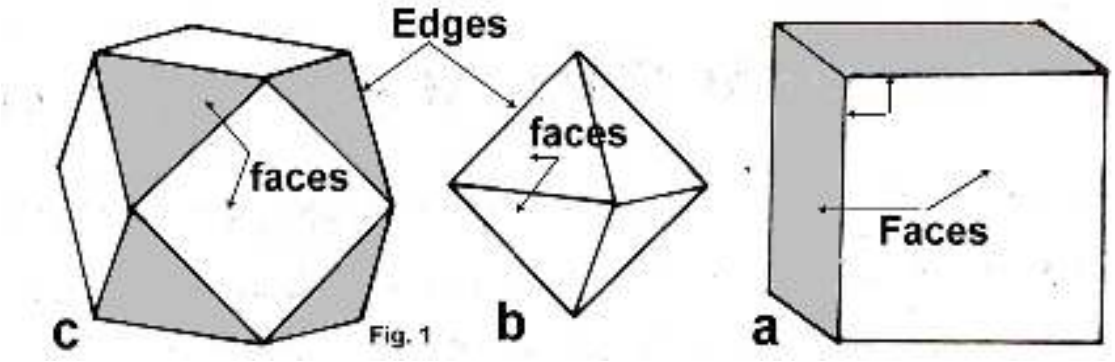
1 بلورات كاملة الوجه: تحاط الحبيبة بأوجه الحقيقية متشابهة او غير متشابهة.
2 بلورات ناقصة الاوجه: تكون الحبيبة محاطة ببعض اوجهها البلورية وليست جميعها.
3 عديمة الاوجه: لا تظهر في الحبيبة أي من اوجهها البلورية الاصلية.

5.4. اجزاء البلورة crystal parts

يمكن تقسيم البلورة الى اجزاء حقيقية Real parts واجزاء خيالية وهمية Imaginary parts.

أ - **اجزاء الحقيقية** هي: الاوجه والاحرف والزوايا المجسمة والزوايا بين الوجهيه.

1. **اوجه البلورة Crystal Faces**: هي المستويات او السطوح التي تحد البلورة من الخارج وتعين شكلها الهندسي المنتظم. وغالبا تكون الاوجه البلورية مستوية ولكن في بعض الاحيان مقوسة او منحنية كما في بعض بلورات الالماس. وقد تكون الاوجه في البلورة الواحدة متشابه، وتدعى بالبلورة البسيطة (Simple Crystal) او غير متشابهة تدعى بالبلورة التآلفية (Combined crystal) انظر الشكل (1 - a، b وc).



(شكل – 1) توضح اجزاء المختلفة من البلورة

2. **الاحرف (الحافات) البلوريةCrystal edges:** هي الخطوط (الحافات) الناتجة عن التقاء وجهين متجاورين، وهذه الحواف توازي عادة الخط الذي يقع عليه أكبر عدد ممكن من النقاط البينية انظر (الشكل- 1).

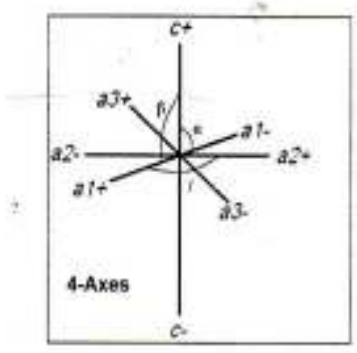
3. **الزاوية المجسمة (الزاوية الصلبة) Solid angle:** هي الزاوية الناتجة عن التقاء ثلاثة اوجه او أكثر في البلورة.
4. **الزاوية بين الوجهية Interfacial angle:** هي الزاوية الداخلية الناتجة عن التقاء وجهين متجاورين في البلورة. وتحتسب قيمتها بلوريا وذلك بقياس الزاوية المحصورة بين العمودين المقامين على الوجهين المتجاورين كما موضح في (الشكل-2) .

ب – الاجزاء الوهمية Imaginary parts: اجزاء تخيلية وهمية يستخدم لتصنيف البلورة والتعرف على الانواع المختلفة منها وهي:

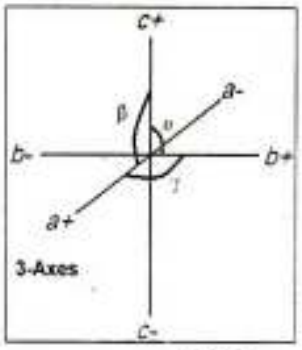
1. **المحاور البلورية Crystallographic axes:** هي خطوط مستقيمة او اتجاهات وهمية تؤخذ موازية لأضلاع التقاطع لمعظم الاوجه البلورية. وتتقاطع في مركز البلورة يطلق عليها اسم التقاطع المحوري (Axial cross) وتنطبق مع مركز تناظر البلورة التي تحتوي عليه، وتدعى الزوايا الناتجة عن تقاطع المحاور البلورية بالزاوية المحورية (Axial angle)، وتمتد الى منتصف الاوجه البلورية او الى منصفات الحافات او الى الزوايا الصماء المتناظرة في البلورة. وهناك بلورات تمتلك ثلاثة محاور واخرى تمتلك اربعة محاور.

1.1. البلورات ذات ثلاثة المحاور Three axis crystals:

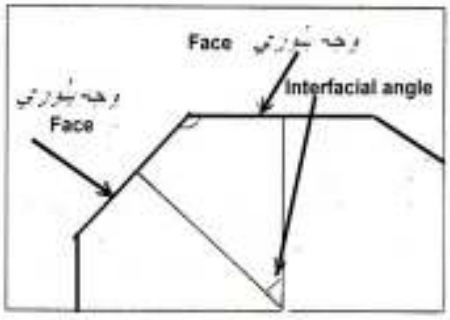
- **المحور a:** يمتد هذا المحور من صدر الفاحص للبلورة (واجهة البلورة) باتجاه ظهر البلورة. ويكون الجز الامامي موجبا a^+ اما الجزء الخلفي سالبا a^- (انظر الشكل-3).
- **المحور b**: يمتد هذا المحور افقية في جميع البلورات (ماعدا في النظام Triclinic حيث يكون مائلا) موازيا جسم الشخص الفاحص للبلورة .تكون الجهة اليمنى من المحور موجبا b^+ وتكون الجهة اليسرى منه سالب B^- .
- **المحور c**: يمتد هذا المحور بصورة شاقوليه موازيا لطول الشخص الفاحص يكون الجزء العلوي منه موجبا c^+ اما الجزء السفلي c^- . وإذا كانت اطوال المحاور البلوري متساوية يطلق عليها الرموز (a,a,a) وإذا كانت المحاور الافقية متساوية بالطول ولا تساوي المحور الراسي فيطلق (a,a,c).



الشكل4



الشكل3



الشكل2

2.1. البلورات ذات اربعة محاور Four axis crystal: في هذه البلورات هناك اربعة محاور متساوية الطول منها ثلاثة (a_1,a_2,a_3) تقع في مستوي افقي واحد وتعمل 120°بين نهاياته الموجبة ويكون هذا المستوي عموديا على المحور c، انظر (الشكل-4).

- **المحور a_2:** يمتد هذا المحور بصورة افقية في جميع البلورات موزيا الى جسم الفاحص (يحتل نفس الموقع لمحور b (في بلورات ثلاثية المحاور). تكون الجهة اليمنى من المحور موجبة a_2^+ وتكون الجهة اليسرى منه سالبة a_2^- (انظر الشكل-4)
- **المحور a_1:** يقع هذا المحور بزاوية افقية مقدارها 120° باتجاه حركة عقرب الساعة من a_2^+. ويكون موقعه مشابهة تقريبا لمحور a في البلورات ثلاثية المحاور.
- **المحور a_3:** يقع هذا المحور بزاوية افقية 120 ° من المحور a_1^+. وتكون النهاية a_3^+ في الجهة الخلفية من البلورة، والنهاية السالبة a_3^- من جهة الواجهة للبلورة.
- **المحور c:** هو محور شاقولي على المستوى الذي يحوي المحاور الثلاثة السابقة ، وبذلك يصنع معهم زاوية 90 °. الجزء العلوي منه موجب c^+ والجزء السفلي منه سالب c^- (انظر الشكل 3).

2. الزوايا بين المحورية Interaxial angles: هي زوايا وهمية تقع بين المحاور البلورية وهي ثلاثة زوايا انظر الشكل 3 و4:

- **<u>الزاوية الفا α Alpha</u>:** هي الزاوية المحصورة بين المحورين b^+ و c^+ في البلورات ذات المحاور الثلاثة او تلك المحصورة بين a_2^+ و c^+ في البلورات ذات المحاور الاربعة .
- **<u>الزاوية بتا β Beta</u>**: هي الزاوية المحصورة بين المحورين a^+ و c^+ في البلورات ذات المحاور الثلاثة او تلك المحصورة بين محاور البلورات a_1^+ و c^+ في البلورات ذات المحاور الاربعة .
- **<u>الزاوية كاما γ Gamma</u>:** هي الزاوية المحصورة بين a^+ , b^+ في البلورات ذات المحاور الثلاثة او تلك المحصورة بين a_2^+ و a_1^+ في البلورات ذات المحاور الاربعة .

6.4. الانظمة البلورية Crystal Systems

تنضوي البلورات في الطبيعة تحت سبعة انظمة مختلفة، وجاء تقسيم البلورات الى سبعة انظمة بلورية وذلك اعتمادا على العلاقات بين اطوال المحاور البلورية (a,b,c) وبين الزوايا بين المحورية (α, β, γ) وكذلك التناظر في البلورات. وفيما يلي خصائص كل نظام:

1. **النظام المكعب Cubic System**

يتضمن هذا النظام جميع البلورات التي تحتوي على ثلاثة محاور بلورية متعامدة ومتساوية في الطول انظر الشكل (5-1) حيث: $a_1 = a_2 = a_3$ و $\alpha = \beta = \gamma = 90°$

2. النظام الرباعي Tetragonal System

للبلورات التابعة لهذا النظام ثلاثة محاور بلورية متعامدة ويكون المحوران الافقيان متساويان في الطول، والمحور الرأسي اما اطول او أقصر منهما انظر الشكل (5- 3)

$$a_1 = b \neq c \qquad \alpha = \beta = \gamma = 90°$$

3. النظام الثلاثي او المعيني الاوجه Orthorhombic System

يتضمن هذا النظام جميع البلورات التابعة التي تحتوي على ثلاثة محاور بلورية متعامدة ومختلفة بالطوال، ويكون المحور a عادة اقصر من المحور b اي (a < b)، اما المحور c فيكون اما اقصر او اطول من المحورين (a و b). انظر الشكل (5-4).

$$\alpha = \beta = \gamma = 90° \text{ و} \qquad a \neq b \neq c$$

4. النظام السداسي Hexagonal System

تحتوي البلورات التابعة لهذا النظام على اربعة محاور، ثلاثة منها افقية متساوية في الطول وتعمل زاوية 120° بين نهاياتها الموجبة، المحور الرابع عمودي على المستوي الذي يحوي المحاور الافقية ويكون اما أقصر او اطول منها انظر الشكل (5-2).

$$\alpha = \beta = 90° \neq \gamma = 120° \text{ و} \quad a_1 = a_2 = a_3 \neq c$$

5. النظام احادي الميل Monoclinic System

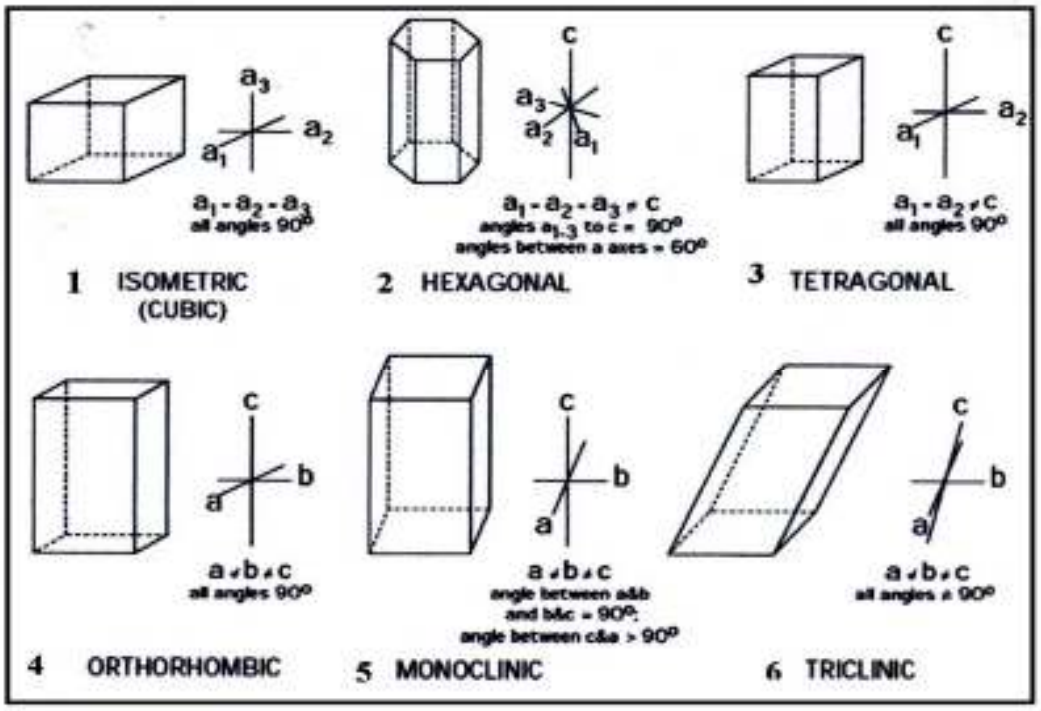
تحتوي بلورات هذا النظام على ثلاثة محاور مختلفة في الطول ويكون المحور البلوري b عمودي على المستوي الذي يحوي المحوران a ، c. وتكون الزاوية المحورية (β) بين المحورين a^+ , c^+ منفرجة دائما (°90 <) انظر الشكل (5-5) .

$$\gamma = \alpha = °90 \qquad ° \beta > 90 \qquad a \neq b \neq c$$

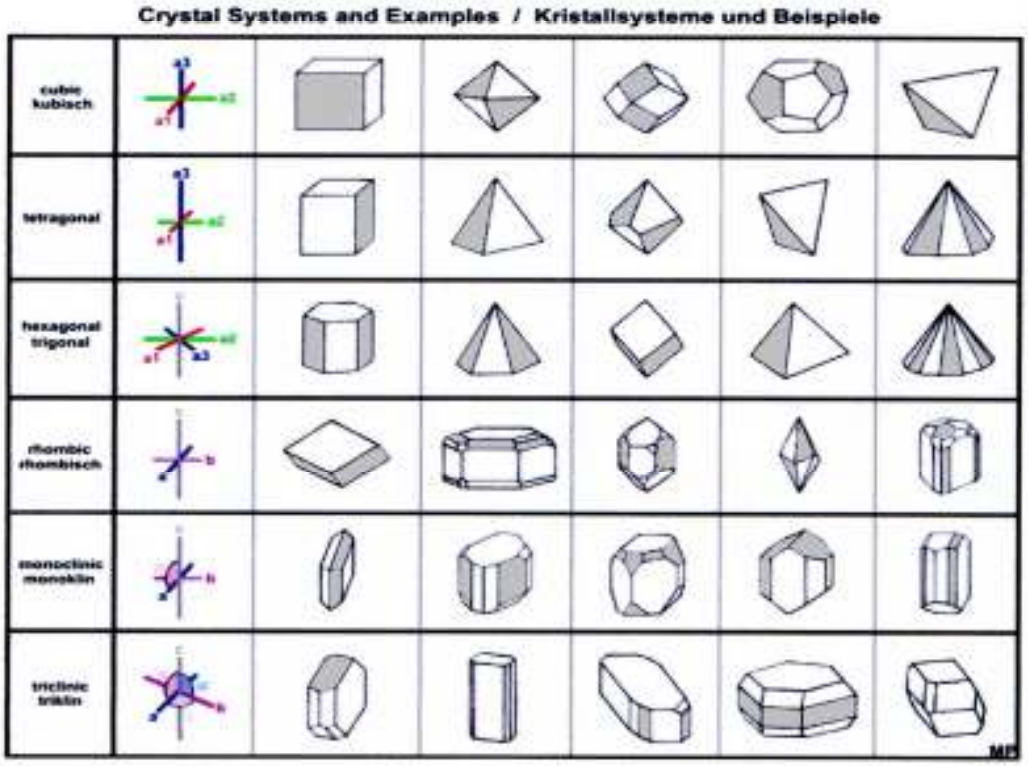
6. النظام ثلاثي الميل Triclinic System

تحتوي بلورات هذا النظام على ثلاثة محاور مختلفة في الطول وغير متعامدة يكون المحور البلوري b عادة اطول من المحور a (b>a) ويجب ان يكون الزاوية(β) منفرجة اما الزاويتين (α و γ) فكلاهما لا تساوي (90°) ولا يشترط باي منهما ان تكون منفرجة او حادة على المستوي الذي يحوي المحوران a ، c. وتكون الزاوية المحورية (β) بين المحورين a^+ , c^+ منفرجة دائما (°90 <) انظر الشكل (5-6) .

$$\gamma \neq \beta \neq \alpha \neq ° 90 \qquad \alpha > 90° \qquad \beta > 90° \qquad a \neq b \neq c$$



(شكل-5) توضح الانظمة البلورية الستة



(شكل – 6) توضح الانظمة البلورية الستة وبعض الامثلة لكل نظام بلوري

ويجدر بنا أن نشير في هذا المقام إلى أن بعض المؤلفين في بعض الدول يعتبرون فصيلة الثلاثي قسما تابعا لفصيلة السداسي، وهذا يعني ستة فصائل بلورية فقط، ولكن العدد الكلي لمجموعات التماثل المختلفة (النظم البلورية) موزعة على هذه الفصائل الستة بعينة نفس العدد (32) الذي يضمه التصنيف إلى سبعة فصائل.

ملاحظة

تكون كل ذرة في البلورة المثالية مرتبة ضمن ترتيب متكرر مثالي. ولكن في الواقع تحتوي معظم المواد البلورية على مجموعة متنوعة من العيوب البلورية، وهي الأماكن التي ينهار فيها نمط البلورة. قد يكون لهذه العيوب تأثير عميق على خصائص المواد.

بعض الأمثلة على العيوب البلورية تشمل عيوب الشواغر (مساحة فارغة كان يجب أن تملأها ذرة)، العيوب الخلالية (ذرة إضافية مضغوطة في المكان لا تتناسب فيه. هناك نوع شائع آخر من العيوب البلورية هو شوائب، وهذا يعني أن نوعًا "خاطئًا" من الذرات موجود في البلورة. على سبيل المثال، لن تحتوي البلورة المثالية من الماس إلا على ذرات الكربون، لكن ربما تحتوي البلورة الحقيقية على ذرات بورون قليلة أيضًا.

المحور الخامس:

مبادئ أساسية في التحليل الطيفي

التحليل الطيفي، ودراسة امتصاص وانبعاث الضوء والإشعاع الآخر حسب المادة، فيما يتعلق باعتماد هذه العمليات على الطول الموجي للإشعاع. في الآونة الأخيرة، تمّ توسيع التعريف ليشمل دراسة التفاعلات بين الجسيمات مثل الإلكترونات والبروتونات والأيونات، بالإضافة إلى تفاعلها مع الجسيمات الأخرى كدالة لطاقة تصادمها .كان التحليل الطيفي حاسمًا في تطوير معظم النظريات الأساسية في الفيزياء، بما في ذلك ميكانيكا الكم والنظريات الخاصة والعامة للنسبية والديناميكا الكهربية الكمية. كان التحليل الطيفي، كما هو مطبق على الاصطدامات عالية الطاقة، أداة رئيسية في تطوير الفهم العلمي ليس فقط للقوة الكهرومغناطيسية ولكن أيضًا للقوى النووية القوية والضعيفة.

1.5. تعريف الطيف

تسمى البيانات التي يتم الحصول عليها من التحليل الطيفي بالطيف . الطيف هو مخطط لشدة الطاقة المكتشفة مقابل الطول الموجي (أو الكتلة أو الزخم أو التردد ..... إلخ) للطاقة. يمكن استخدام الطيف للحصول على معلومات حول مستويات الطاقة الذرية والجزيئية والهندسة الجزيئية والروابط الكيميائية وتفاعلات الجزيئات والعمليات ذات الصلة. في كثير من الأحيان، يتم استخدام الأطياف لتحديد مكونات العينة (التحليل النوعي). كما يمكن استخدام الأطياف لقياس كمية المادة في عينة (التحليل الكمي). هناك العديد من الأدوات المستخدمة لإجراء تحليل طيفي. في أبسط المصطلحات، يتطلب التحليل الطيفي مصدرًا للطاقة (شائعًا في الليزر، ولكن يمكن أن يكون مصدرًا أيونيًا أو مصدرًا للإشعاع) وجهازًا لقياس التغير في مصدر الطاقة بعد تفاعله مع العينة (غالبًا مقياس طيفي أو مقياس تداخل).

هناك نوعين من الطيف:

يمكن الحصول على طيف الانبعاث بتحليل الطيف المنبعث من مصدر مضئ منير اما طيف الامتصاص فيمكن الحصول علية من التحليل السبيكتروسكوبي للضوء المنتقل خلال وسط ممتص يوضع بين المصدر الضوئي والسبيكتروسكوبي.

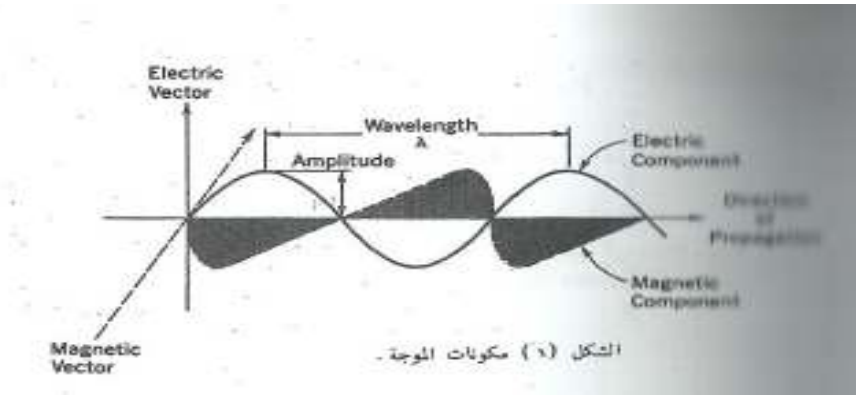
تزداد طاقة جزيئة ما عند امتصاصها للإشعاع والزيادة الحاصلة في طاقة الجزيئة تكون مساوية لطاقة الفوتون ويعبر عنة بالمعادلة التالية: $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ حيث ان:

E طاقة الفوتون بالأرج و ν عبارة عن التردد للأشعة الكهرومغناطيسية (دورة بالثانية) و h يمثل رقم ثابت و λ عبارة عن الطول الموجي و c سرعة الضوء.

➢ طبيعة الاشعة الكهرومغناطيسية

1 - ان أحد مكونات الموجة الكهرومغناطيسية هي كهربائية والأخرى مغناطيسية. يتذبذبان هذان المكونان للموجة في سطح بحيث يكون المكون الكهربائي عموديا على المكون المغناطيسي. حيث ان المكون الكهربائي هو الذي يكون فعالا فقط في تفاعلات تحول الطاقة مع المادة.

2- صفات الدقائق: لواعتبرنا الضوء على انه حزمة غنية بالفوتونات فان طاقة كل فوتون تتناسب طرديا مع تردد الموجة كما في المعادلة التالية : $E = h\nu$



الشكل (١) مكونات الموجة.

2.5. تعريف التحليل الطيفي

التحليل الطيفي أو تحليل الطيف هو تحليل للضوء المنبعث أو المنعكس عن أية مادة بواسطة جهاز خاص يطلق عليه اسم المطياف .ولكل مادة طيفها المميز الذي لا يطابق أية مادة أخرى. ويمكن تعرّفها عن طريق خطوط سوداء تظهر في أماكن محدودة من مقياس الطيف، والطيف نفسه ينشأ أساسًا من مرور الضوء في منشور زجاجي. القوانين الأوليّة لتحليل الطيف، والمعروفة عمومًا باسم قوانين كيرشوف، تقسّم الطيف المنبعث على النحو التالي:

1. المواد الصلبة، أو الغازات الكثيفة: تنتج عند تسخينها طيفًا مستمرًا.
2. الغازات منخفضة الكثافة: تنتج عند تسخينها طيفًا منبعثًا.
3. مصدر للطيف المستمر يظهر من خلال غاز بارد منخفض الكثافة ينتج خط من الطيف الممتص.

3.5. تفاعل الاشعة الكهرومغناطيسي مع المادة

ان امتصاص مادة ما للأشعة الكهرومغناطيسية يؤدي الى زيادة طاقة الاشعة الكهرومغناطيسية الممتصة وتصبح المادة غنية بالطاقة ومن الطبيعي انه كلما كانت كمية الطاقة الممتصة اكبر كلما كان التهيج اكثر. بعد ذلك تفقد المادة الطاقة التي امتصتها وترجع الى حالتها الاصلية اي ان محتواها من الطاقة يصبح واطئا كما موضح بالمعادلة التالية:

$$E_h - E_1 = \Delta E = h\nu$$

➢ امتصاص الاشعاع

عند مرور الاشعاع الكهرومغناطيسي خلال مادة ما فان ذلك يؤدي الى حدوث عدد من التغيرات وإذا الفوتون محتويا على طاقة كافية فانه قد يمتص من قبل المادة ويؤدي الى تحول او انتقال الكتروني او تغيرات تذبذبية وإذا كان الفوتون محتويا على طاقة اقل يؤدي الى تغيرات دورانية. ان امتصاص الذرات او الجزيئات للأشعة السينية او الاشعة

فوق البنفسجية او الاشعة المرئية يؤدي الى حدوث ما يسمى بالانتقال الالكتروني او يصاحب ذلك لكن بدرجة اقل تغيرات تذبذبية ودورانية. اما الاشعة تحت الحمراء تؤدي الى حدوث تغيرات تذبذبية في جزيئات المادة حيث لا تمتلك فوتونات هذه الاشعة الطاقة الكافية لإحداث الانتقال الالكتروني.

➢ **قانون بير Beers Law**

يعتمد امتصاص الضوء في التحليلات الكيمياوية الكمية والوصفية على امتصاص الضوء وان هذا الامتصاص من قبل اي مادة يتعلق بتركيز المادة في المحلول وينص قانون بير على ان كمية الضوء الممتص تتناسب طرديا مع تركيز المادة وطول مسار الضوء وقانونه هو: $Log\frac{I_0}{I} = abc$ حيث ان:

a= معامل الامتصاص الجزيئي

b= طول المسار الضوئي للخلية بالسنتمترات

c=تركيز المادة

I_0= شدة اضاءة الضوء الساقط

I= شدة اضاءة الضوء الخارج

فإذا وضع محلول لمادة لها خاصية امتصاص الضوء على طول موجي معين في خلية ذات ابعاد معلومة وأسقطت عليها اشعة ضوئية نجد ان بعض هذا الضوء ينفذ من الخلية والبعض الاخر يمتص. هذا وتتناسب كمية الضوء طرديا مع تركيز المادة. $Log\frac{I_0}{I} = A$. وطبقا لقانون بير فان الامتصاص A لمحلول ما يجب ان يبقى ثابتا طالما يبقى ناتج ضرب تركيز المادة x طول المسار الضوئي ثابتا ولكن في الحقيقة من الناحية العملية هي غير ذلك لان غالبا ما تتفاوت قيمة معامل الامتصاص الجزيئي بدرجة كبيرة بتفاوت تركيز المادة ويعود هذا التفاوت لعدة اسباب منها:

- يحصل اتحاد بين جزيئات المذاب في التراكيز العالية
- تأين المادة المذابة كما هو الحال في الحوامض والقواعد والأملاح
- فلورة المذاب
- عدم انتقال الضوء بصورة جيدة في المذيب.

4.5. طرق القياس الطيفية

أغلب الطرق الطيفية تتميز بأنها ذرية أو جزيئية حسب تطبيقها على الذرات أو الجزيئات: بالإضافة إلى ذلك التصنيف يمكن تقسيم طرق القياس الطيفي اعتماداً على طبيعة التفاعل بين الأشعة والمادة إلى المجموعات الآتية:

1- طرق التحليل الطيفي بالامتصاص: تستخدم الأطياف الكهرومغناطيسية التي تمتصها مادة ما، وهي تشمل طرق الامتصاص الذري ومختلف الطرق الجزيئية مثل طرق الأشعة تحت الحمراء والفوق بنفسجية والمرئية والمايكرويف .

2- **طرق التحليل الطيفي بالانبعاث:** تستخدم الاطياف الكهرومغناطيسية التي تبعثها مادة ما .

3- **طرق التحليل الطيفي بالتشتت:** تقيس كمية الضوء التي تشتتها مادة ما عند أطوال موجية وزوايا سقوط وزوايا استقطاب مغينة. وأحد هذه التطبيقات المفيدة بالتشتت هو تحليل رامان .يمكن تلخيص طرق القياس الطيفية في الطرق العامة الآتية:

1. **طرق الامتصاص:** هي طريقة تقارن فيها شدة الشعاع الضوئي المقاسة قبل وبعد التفاعل مع العينة. طرق معينة للامتصاص تنسب إلى الطول الموجي للأشعة المقاسة مثل التحليل الطيفي بالامتصاص للأشعة الفوق بنفسجية أو التحت الحمراء أو اشعة المايكرويف. يحدث الامتصاص عندما تطابق طاقة الفوتون الساقط الفرق في الطاقة بين حالتين لمستويات الطاقة للمادة التي سقط عليها الشعاع الضوئي.
2. **طرق الفلورة:** تستخدم الفوتونات ذات الطاقة العالية لأثارة عينة ما والتي سوف تبعث فوتونات ذات طاقة منخفضة. تمتاز هذه الطريقة بتطبيقاتها في الطب والكيمياء الحيوية.
3. **طرق الأشعة السينية**: عندما تتفاعل اشعة سينية ذات طاقة كافية (تردد كافي) مع مادة، فإن الكترونات المدارات الداخلية للذرة سوف تثار إلى المدارات الخارجية الفارغة، أو تفقد كليا وجعل الذرة متأينة. الفراغات (holes) في المستويات الداخلية الناتجة من ذلك تملأ بواسطة الكترونات من مستويات الخارجية.

5.5. استخدامات التحليل الطيفي

تمّ تطبيق تقنيات التحليل الطيفي في جميع المجالات التقنية للعلوم والتكنولوجيا. تمّ استخدام التحليل الطيفي للترددات الراديوية للنواة في مجال مغناطيسي في تقنية طبية تسمى التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) لتصور الأنسجة الرخوة الداخلية للجسم بدقة غير مسبوقة. تمّ استخدام التحليل الطيفي بالموجات الدقيقة لاكتشاف ما يسمى بإشعاع الجسم الأسود بثلاث درجات، وبقايا الانفجار العظيم (أي الانفجار البدائي) الذي يُعتقد أنّ الكون قد نشأ منه .يتم الكشف عن البنية الداخلية للبروتون والنيوترون وحالة الكون المبكر حتى أول جزء من الألف من الثانية من وجوده بتقنيات التحليل الطيفي باستخدام مسرعات الجسيمات عالية الطاقة. يمكن تحديد مكونات النجوم البعيدة والجزيئات بين المجرات وحتى الوفرة البدائية للعناصر قبل تكوين النجوم الأولى بواسطة التحليل الطيفي الضوئي والراديوي والأشعة السينية. يستخدم التحليل الطيفي البصري بشكل روتيني لتحديد التركيب الكيميائي للمادة ولتحديد هيكلها المادي.

6.5. أنواع التحليل الطيفي

- **مطيافية فلكية:**

يتم استخدام الطاقة من الأجسام السماوية لتحليل تركيبها الكيميائي، والكثافة، والضغط، ودرجة الحرارة، والمجالات المغناطيسية، والسرعة، وغيرها من الخصائص. هناك العديد من أنواع الطاقة التي يمكن استخدامها في التحليل الطيفي الفلكي .

- **مطياف الامتصاص الذري**

يتم استخدام الطاقة التي تمتصها العينة لتقييم خصائصها. أحيانا الطاقة الممتصة تؤدي إلى إطلاق الضوء من العينة، والتي يمكن قياسها بتقنية مثل التحليل الطيفي الفلوري.

- **مطياف الالكترون المغناطيسي**

هذا هو تقنية الميكروويف على أساس تقسيم حقول الطاقة الإلكترونية في مجال مغناطيسي. يتم استخدامه لتحديد هياكل العينات التي تحتوي على إلكترونات غير مقترحة.

- **مطياف الالكترون**

هناك عدة أنواع من مطيافية الإلكترون، وكلها مرتبطة بقياس التغيرات في مستويات الطاقة الإلكترونية.

- **مطيافية تحويل فورييه**

هذه هي عائلة من التقنيات الطيفية التي يتم فيها تشعيع العينة من قبل جميع الأطوال الموجية ذات الصلة في وقت واحد لفترة قصيرة من الزمن. يتم الحصول على طيف الامتصاص عن طريق تطبيق تحليل رياضي لنمط الطاقة الناتج.

- **مطياف الأشعة تحت الحمراء**

يسمى أحيانا طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء من مادة بصمة جزيئية لها. على الرغم من استخدامها المتكرر لتحديد المواد، يمكن أيضًا استخدام التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء لتحديد عدد جزيئات الامتصاص.

- **مطيافية الليزر**

إن مطيافية الامتصاص، مطيافية الفلورة، مطيافية رامان، مطيافية رامان المعززة بالسطح تستخدم عادة ضوء الليزر كمصدر للطاقة. توفر مطيافية الليزر معلومات حول تفاعل الضوء المترابط مع المادة. طيفي ليزر عموما لديه دقة عالية وحساسية.

- **مطياف أو مطياف التردد التعددي**

في هذا النوع من التحليل الطيفي، يتم ترميز كل طول موجي بصري مسجل بتردد صوتي يحتوي على معلومات طول الموجة الأصلية. يمكن لمحلل الطول الموجي أن يعيد بناء الطيف الأصلي.

- **مطياف الأشعة السينية**

تتضمن هذه التقنية إثارة للإلكترونات الداخلية للذرات، والتي يمكن اعتبارها امتصاص الأشعة السينية. يمكن إنتاج طيف انبعاث الأشعة السينية عندما يسقط الإلكترون من حالة طاقة أعلى إلى الشاغر الناشئ عن الطاقة الممتصة.

7.5. التركيب العام لأجهزة السبيكتروفوتوميتر

تتكون اجهزة السبيكتروفوتوميتر من:

- مصدر الاشعاع
- موحد الموجات وذلك للحصول على حزمة ضوئية متجانسة ذات طول موجي واحد او متقارب
- خلية زجاجية معينة لوضع عينة المادة المراد قياسها
- جهاز خاص لقياس قوة الاشعة النافذة
- مسجل

أ) مصادر الاشعة:

1- مصدر الاشعة فوق ألبنفسجية: تعد لمبة الهيدروجين او لمبة غاز الزئبق من أكثر المصادر شيوعا للحصول على هذا النوع من الاشعة وهي عبارة عن انبوبة مصنوعة من مادة الكوارتز مملوءة بغاز الهيدروجين وموصلة بقطبين كهربائيين حيث يؤدي ايصال التيار الكهربائي الى تهيج ذرات الهيدروجين مع انبعاث اشعاع على طول موجي بين 180-350 نانومتر.

2- مصادر الاشعة المرئية: تعتبر لمبة التنكستن من أحسن المصادر للأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة وتعطي اشعاع ينبعث على طول موجي يتراوح بين 350-2500 نانومتر.

ب) موحد الموجات Monochromators

ان الاشعة المنبعثة من اي مصدر تكون على شكل خليط من اشعاعات على اطوال موجية مختلفة ولما كان من المفروض استعمال اشعة على طول موجي معين (التي يحدث عندها اعلى نسبة من امتصاص الاشعة بالنسبة للمادة المراد قياسها او تقديرها) فأنه يتوجب استعمال حزم من الاشعة ذات اطوال موجية محددة ويسمى الجهاز الذي يوحد هذه الحزم من الاشعة بموحد الموجات (ان قانون بير ينطبق فقط على الاشعة الموحدة الموجات. هناك طريقتين للحصول على الاشعة الموحدة الموجات الاولى باستعمال المرشحات الضوئية والثانية باستعمال جهاز موحد الموجات). ومن فوائده هي:

- ان حزم الاشعة ذات الاطوال الموجية المحددة والواقعة ضمن حدود ضيقة سوف تساعد على التعرف على المواد التي تمتص الاشعة على اطوال موجية متقاربة.
- تساعد على زيادة حساسية الفحص.

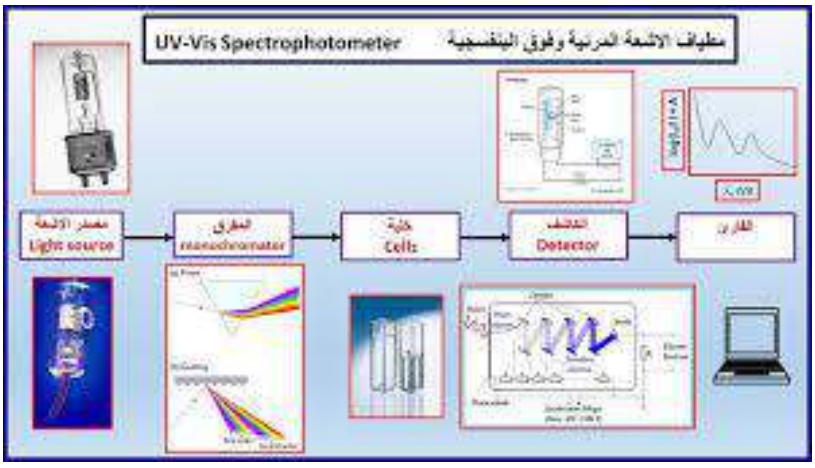
ج) الخلايا الزجاجية والمذيبات

عند القياس في المنطقة فوق البنفسجية توضع العينات في خلايا خاصة تسمى Cells or Cuvettes مصنوعة من الكوارتز او السيلكا المصهور. اما عند القياس في المنطقة المرئية فتوضع العينة في خلايا زجاجية عادية. في اجهزة السبيكتروفوتوميتر الحديثة تستعمل خليتين أحدهما تستعمل كمصدر او مرجع يوضع بها المذيب اما االخلية الاخرى فيوضع فيها النموذج. ان استعمال خليتين ضروري للتعويض الذي قد يحصل نتيجة امتصاص المذيب للإشعاع او الضوء في خلية المصدر او المرجع وكذلك للتعويض الذي قد يحصل نتيجة فقدان الاشعاع او الضوء بفعل التشتت او الانعكاس.

ان من اهم العوامل التي تقرر اختيار المذيب المستعمل في تحضير المحاليل هي ان المذيب يجب ان لا يمتص الاشعاع على نفس المنطقة التي يمتص فيها المذاب ومن المذيبات التي يمكن استعمالها هي: الماء، الكحول اثيلي او مثيلي، كلورفورم وهكسان.

يجب ان لا يؤثر الاختلاف الطفيف الذي قد يحصل في درجة الحرارة في المختبر على Absorption Spectra.

يستعمل عادة في الدراسات التي تجرى لتقدير الطيف حوالي 0.1 - 100 ملغم من المادة. اما اذا كانت المادة المراد تقدير طيفها نادرة جدا وقلقلة فيمكن استعمال 0.001 ملغم إلا ان السبيكتروفوتوميتر يجب ان يكون اكثر حساسية.



مكونات جهاز السبيكتروفوتوميتر

1- الاجهزة المستخدمة في الكشف

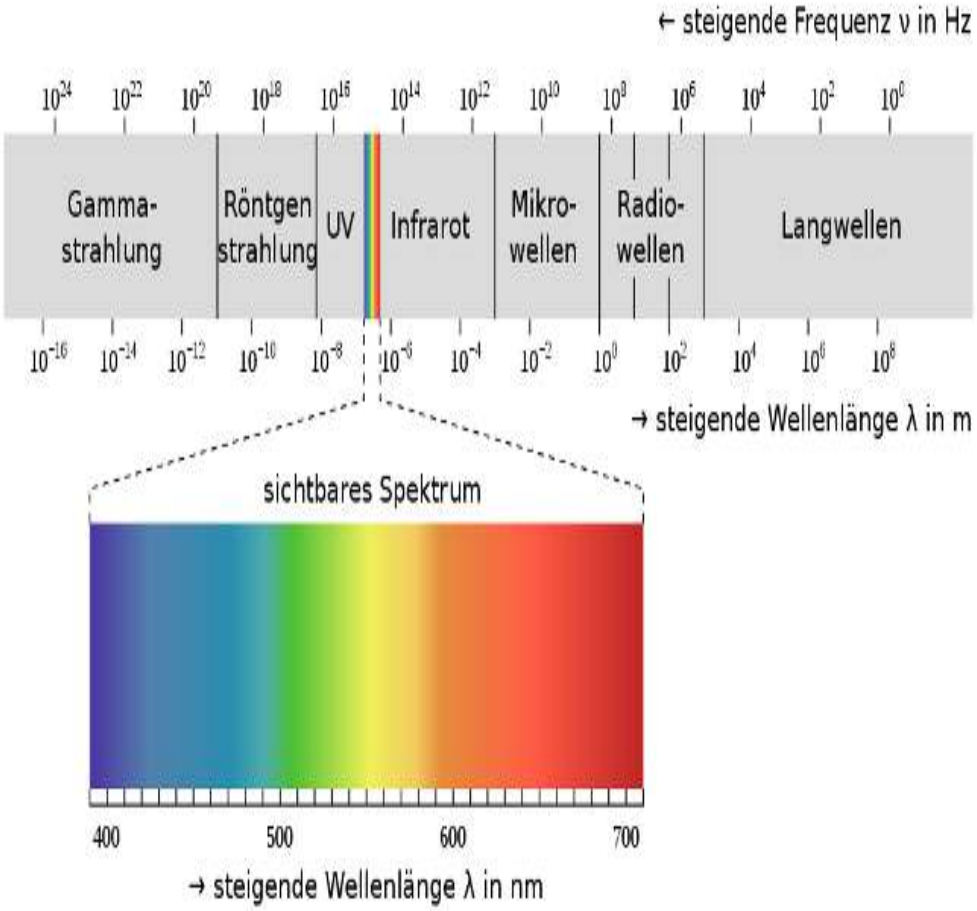
تعتمد الاجهزة المستخدمة في الكشف على امتصاص الفوتونات وتحويلها الى نوع اخر من الطاقة يسهل قياسه اما على شكل حرارة او تيار كهربائي. ويشترط في الجهاز المستخدم لهذا الغرض:

- ان يكون على درجة عالية من الحساسية
- السرعة في التسجيل
- ثبات الجهاز وقلة الذبذبات التي تحصل فيه قدر الامكان.

8.5. مطياف الأشعة تحت الحمراء

مطيافية الأشعة تحت الحمراء أو علم الأطياف ما تحت الحمراء: هو أحد فروع علم الأطياف الذي يتعامل مع المنطقة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي .ويشمل مجموعة من التقنيات، وأشهرها مطيافية الامتصاص وتستعمل هذه المطيافية في تعيين العناصر الكيميائية في المركبات قيد الدراسة. وهي تستخدم بصفة رئيسية في علم الفلك لمعرفة عناصر المواد الموجودة في مناطق معينة من الكون، كما لها استخدامات أخرى في نطاق التحليل الكيميائي. فبواسطة مطيافية الأشعة تحت الحمراء يمكم التعرف على، مثلا الميثيلين والتفرقة بين الألكينات و المواد العضوية العطرية . ويمكن الاطلاع على جدول الارتباط لمطيافية الأشعة تحت الحمراء الذي يبين خصائص مواد عديدة يمكنها إصدار وامتصاص أشعة تحت الحمراء تميزها، مثل بصمة الإصبع للإنسان .

ويدرس علم الأطياف ما تحت الحمراء تفاعل المادة نتيجة الأشعة تحت الحمراء .تستخدم الموجات الكهرومغناطيسية ذات طول الموجة بين الحدود المرئية للضوء وهي في حيز أطوال الموجة بين 800 نانومتر حتى أقصر الموجات الدقيقة حوالي 1 مليمتر كما موضح في الشكل التالي:

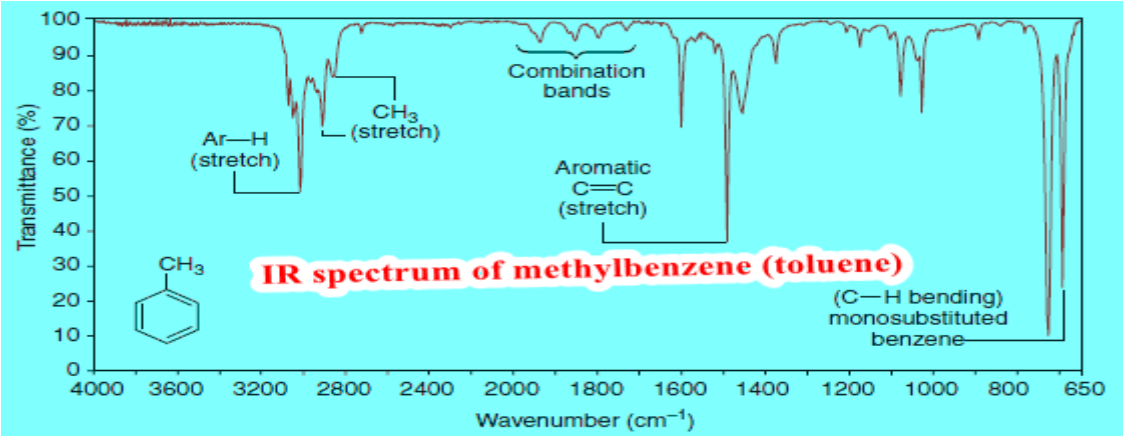


موقع حيز الاشعة تحت الحمراء infrared في طيف الموجات الكهرومغناطيسية.

كي يكون الجزيء فعال في مطيافية الأشعة تحت الحمراء، بمعنى أن يكون له طيفاً في هذه المنطقة من أطوال الموجة، يجب أن يمتلك الجزيء عزم ثنائي قطب .وعند تسليط الأشعة تحت الحمراء على الجزيء يحدث تداخل بين المجال الكهربائي للأشعة تحت الحمراء مع المجال الكهربائي المتولد عن عزم ثنائي قطب. وإذا توافق تردد المجال الكهربائي لشعاع من الأشعة تحت الحمراء مع تردد المجال في الجزيء، فإن الجزيء يمتص هذا الشعاع .

عندئذ يحدث امتصاص الجزيء للطاقة ينقله من مستوى اهتزازي واطئ إلى مستوى اهتزازي أعلى. وعند فقدان الطاقة ورجوع الجزيء إلى مستوى اهتزازه "الأرضي" (ليس مثارا) يحصل انبعاث للضوء تحت الأحمر يمكن لكاشف حساس تسجيله. وتسجل تلك البيانات على جهاز يرسمها على ورق بياني تمثل صورة طيف الأشعة تحت الحمراء .

مثال: طيف الأشعة تحت الحمراء لمركب التولوين



ويمكن حساب مقدار التردد الممتص من قبل الجزيئات أو المواد باستخدام القانون :

$$\nu = \frac{1}{2\pi c}\sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

حيث :

ν: التردد الاهتزازي (التردد اللازم لاهتزاز الجزيء المعني)

c: سرعة الضوء في الفراغ،

π النسبة الثابتة،

K: ثابت يمثل قوة رابطة الجزيء،

M: الكتلة المختزلة وتساوي :

$$\mu = \frac{m_A m_B}{m_A + m_B}$$

يمكن للجزيء أن يهتز بأنماط مختلفة وكل نمط منها متعلق بطاقة مميزة. ويعتمد عدد أنماط الاهتزاز في جزيء على عدد N من الذرات المكونة له. فإن الجزيئات الخطية تمتلك 3N - 5 درجات من أنماط الاهتزاز؛ بينما تمتلك الجزيئات غير الخطية 3N - 6 درجات من أنماط الاهتزاز (وتسمى أيضاً درجات الحرية). فعلى سبيل المثال، فإن جزيء الماء H_2O غير خطي ويمتلك 3 × 3 - 6 =3 درجات من أنماط الاهتزاز أو درجات الحرية .

تمتلك الجزيئات البسيطة ثنائية الذرات آصرة واحدة فقط، وحزمة اهتزاز واحدة أيضاً. فإذا كانت الجزيئة متناظرة كأن تكون N_2 فإن طيفها لا يظهر في مطيافية الأشعة تحت الحمراء ولكنه يظهر في مطيافية رامان. أما الجزيئات غير المتناظرة مثل CO فإنها تظهر طيفاً في هذه المطيافية. أما الجزيئات التي تحتوي على أكثر من ذرتين فإنها تمتلك أطيافاً معقدة نظراً لوجود الكثير من الاهتزازات فيها، وهذا يعني أن الجزيئات الكبيرة لها قمم امتصاص متعددة في مطيافية الأشعة تحت الحمراء .

يمكن للذرات في مجموعة CH_2 الشائعة في المركبات العضوية، أن تهتز بستة طرق مختلفة: اهتزاز متناظر وغير متناظر، انحناء مقصي، انحناء تأرجحي، انحناء التوائي، وانحناء ارتجاجي.

المراجع

المراجع

1. http://aguillerand.bcpsthoche.fr/doc/physique/analyse_dimensionnelle/Chapitre0_cours.pdf
2. H. Moreau Le Système métrique Paris, Chiron, 1975.
3. P. Giacomo Du système métrique décimal au SI BNM Paris, №100, 1995.
4. BIPM Brochure sur le SI : Le Système international d'unités. Disponible sur http://www.bipm.org
5. https://femto-physique.fr/omp/grandeurs-physiques.php
6. J. Taylor Incertitudes et analyse des erreurs dans les mesures physiques Paris, Dunod, 2000.
7. F-X Bally *et al.* Incertitudes expérimentales ENS, Université Paris Paris, 2010.
8. D. Larousserie Neutrinos supraluminiques : chercher l'erreur. Disponible sur le monde.fr
9. http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M03_C01/co/Contenu_13.html
10. http://pac.unisciel.fr/optique-geometrique/
11. Yann Charles et Gabriel Dutrer, Optique géométrique, Institut Galilée, 99 jean-Baptiste-Clément 93430 Vilietaneuse 2010/2011.
12. Agnès Maurel, Optique géométrique, Edition Belin 2002, ISSN : 1158-3762. ISBN : 978-2-7011-3035-4.
13. Jean-Paul Parisot, Patricia Segonds et Sylvie le Boiteux, Cours de physique, optique, Edition Donod, Paris 2003. ISBN : 2100068466.
14. Agnès Maurel, Jean-Marie Malbec, Optique géométrique, Rappel de cours et exercices, Edition Belin 2002. ISSN : 1158-3762, ISBN : 2-7011-3033-6.
15. M. Gabriel, C. Ernst et J. Grange, Comprendre et appliquer l'optique, Edition Masson, Paris 1981, 1986. ISBN : 2-225-80829-5. ISSN : 0335-4628.
16. https://tech-alim.univ-lille.fr/intro_gia/co/001_module1_13.html
17. Mott, R. L. "Applied fluid mechanics" 5thed., Prentice-Hall, Inc, 2000.
18. Waite, L. and Fine, J. "Applied Bio Fluid Mechanics" Mc Graw-Hill 2007.
19. https://nte.mines-albi.fr/SciMat/co/SM_uc1-4-1.html