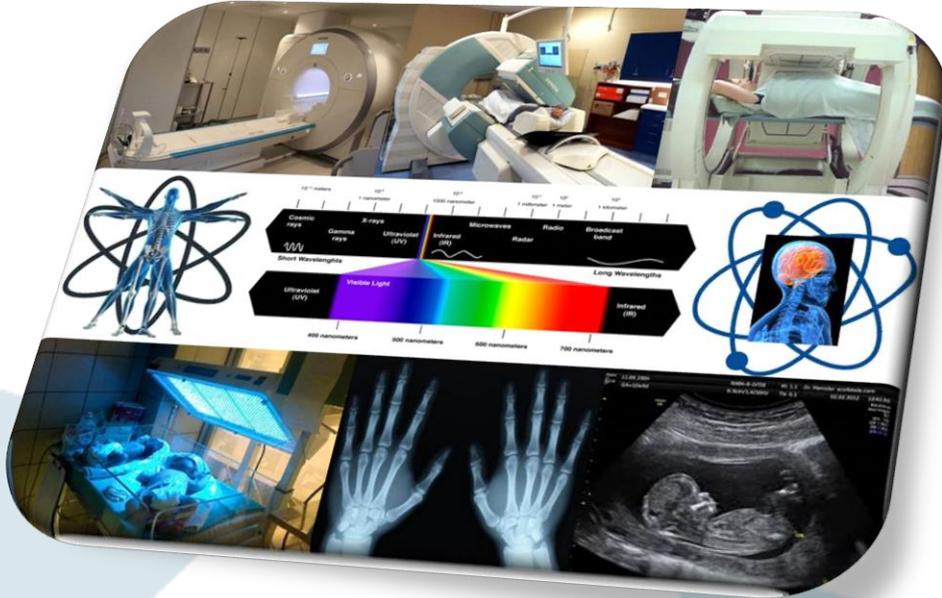


كلية طب الأسنان
مقرر الفيزياء الطبية (DEBL 103)
الجزء النظري



2025-2026

مدرس المقرر
د. محمد أحمد معلا

مفردات المقرر

الصفحة	عنوان الفصل	الفصل
الطيف الكهرومغناطيسي للضوء		
5	الضوء وفيزياء العين البشرية	الفصل الأول
22	الأشعة فوق البنفسجية وتطبيقاتها الطبية	الفصل الثاني
30	الأشعة تحت الحمراء وتطبيقاتها الطبية	الفصل الثالث
40	الأشعة السينية وتطبيقاتها الطبية	الفصل الرابع
48	أمواج التيراهرتز وتطبيقاتها الطبية	الفصل الخامس
53	فيزياء النواة و النشاط الإشعاعي	الفصل السادس
66	الطب النووي	الفصل السابع
76	الليزر وتطبيقاته الطبية	الفصل الثامن
ديناميكية الموائع		
85	ضغط الغازات و ميكانيك السوائل	الفصل التاسع
الصوت		
104	الأمواج فوق الصوتية وتطبيقاتها الطبية	الفصل العاشر

Contents of the Course

Page	Title of the chapter	Chapter
The Electromagnetic spectrum (EM)		
5	Optics: The light and the physics of human eye	Chapter one
22	The Ultra Violet (UV) Radiations and it's medical applications	Chapter two
30	The Infrared Radiations (IR) and it's medical applications	Chapter three
40	The X-Ray Radiations and it's medical applications	Chapter four
48	The Terahertz Radiations (T) and it's medical applications	Chapter five
53	Nuclear physics and Radioactivity	Chapter six
66	Nuclear medicine	Chapter seven
76	The LASER and it's medical applications	Chapter eight
Fluids Dynamics		
85	Gas pressure and liquids mechanism	Chapter nine
The Sound		
104	The Ultrasounds (US) and it's medical applications	Chapter ten

المقدمة

Introduction

منذ الأذل والإنسان يتساءل عن الأسباب الكامنة وراء العديد من الحوادث والظواهر في حياته. لكن في البدء قاده الجهل والخوف إلى الاعتقاد بوجود قوى خارقة، فعكفَ على عبادتها وتقديسها وتقديم الأضاحي لها.

لكن مع تطور العقل البشري مع الزمن قام الإنسان، وبدافع الحاجة للإجابة عن هذه التساؤلات المشروعة، بتسجيل العديد من الملاحظات ولاحقاً بالقيام بالعديد من الأبحاث والدراسات التي أفضت بدورها إلى نتيجة أنّ هذه الظواهر الطبيعية محكومة بقوانين معينة. فمثلاً قاد دافع الفضول، لمعرفة سبب سقوط التفاحة إلى الأسفل، نيوتن إلى الدراسة والبحث للذين أوصلاه إلى صياغة قانونه العام في الجاذبية. هذا القانون كان اللبنة الأولى التي ساهمت بشدة في علوم الفضاء والأقمار الصناعية بما تحمله من أهمية لحياتنا اليومية.

يعتمد التطور والتقدم في مختلف مجالات العلوم (الطب، فيزياء الفلك والاتصالات والليزر والألياف الضوئية والشاشات السائلة) بشكل أساسي على الفيزياء. ففي مجال الطب مثلاً، تعتمد معظم الأجهزة الطبية المستخدمة في التشخيص والعلاج على مبادئ وقوانين فيزيائية. بالنسبة للعديد من المؤرخين والعلماء فإن الفنان الإيطالي الشهير ليوناردو دافنشي كان من أوائل الفيزيائيين الطبيين منذ مئات السنين، حيث أنه قام بدراسة الجسم البشري واهتم بالتشريح وصمم آلة تصوير بغية تصوير الأعضاء الداخلية لجسم الإنسان. لاحقاً وفي القرن السابع عشر تم صناعة المجهر من قبل الهولندي أنطون هوك. ثم توالى الاكتشافات والاختراعات الفيزيائية، والتي استخدمت في مجال الطب التشخيصي والعلاجي. فبعد اكتشاف التيار الكهربائي تم تصميم أجهزة التخطيط الكهربائي للقلب والدماغ، وبعد اكتشاف الأشعة السينية من قبل الفيزيائي الألماني فيلهلم رونتجن، تم استخدام هذه الطريقة في التصوير الطبي الشعاعي على مدار العالم، وحتى يومنا هذا.

بعد أن قام الفيزيائي الفرنسي هنري بيكريل باكتشاف النشاط الإشعاعي، توالى الدراسات والأبحاث العلمية التي أفضت إلى إمكانية الاستفادة من هذا النشاط الإشعاعي في المجال الطبي، وهو ما عرف لاحقاً بالطب النووي الإشعاعي. رافق ذلك صناعة وتطوير العديد من أجهزة التصوير والقياس والعلاج المستخدمة في مجال الطب النووي.

تتضمن الفيزياء الطبية العديد من الاختصاصات، من أبرزها:

- فيزياء الأشعة التشخيصية.
- فيزياء العلاج الإشعاعي.
- الفيزياء الصحية.

بالإضافة إلى العديد من الاختصاصات الأخرى.

تجدر الإشارة هنا إلى أنّ هذا الاختصاص موجود في معظم بلدان العالم، حيث يتم تدريسه لطلاب الطب أو الفيزياء، بما يتيح لهم لاحقاً إجراء رسالتات ماجستير ودكتوراه في هذا المجال.

الفصل الأول

الضوء وفيزياء العين البشرية

Light & physics of human eye

تاريخ الضوء (History of light):

وضع بطليموس (Claudius Ptolemy) نظرية حول الضوء تقول بأن سبب رؤية الأشياء من قبل الإنسان هو الضوء الصادر عن عين الإنسان باتجاه هذه الأشياء. لاحقاً تم نقض هذه النظرية من قبل العديد من العلماء في أوروبا والعالم العربي، من بينهم الفيزيائي العربي الشهير الحسن ابن الهيثم.

من بين العلماء الذين رفضوا هذه النظرية هو الفيزيائي البريطاني الشهير السير إسحاق نيوتن (Sir Isaac Newton)، الذي بدوره وضع تصور الخاص للضوء وفق ما يعرف بالنظرية الجسيمية للضوء (Particle's theory of light)، والتي تنص على أن الضوء مكون من جسيمات تصدر عن الأجسام المشاهدة وليس عن العين، وهي تنتشر وفق خطوط مستقيمة في الفراغ بحيث أن سقوطها على العين يسبب رؤية الأشياء. وضع نيوتن المبادئ الأساسية لانعكاس الضوء ولكنه عجز عن تفسير انكسار الضوء بشكل صحيح.

لاحقاً قام الفيزيائي الهولندي كريستيان هويغنز (Christiaan Huygens) بوضع النظرية الموجية للضوء (Wave theory of light)، التي تعطي الضوء، وللمرة الأولى في تاريخ الفيزياء، الخاصية الموجية، مناقضةً بذلك النظرية الجسيمية للضوء حسب نيوتن. قدمت التجربة الشهيرة للفيزيائي البريطاني توماس يونغ (Thomas Young)، والمعروفة باسم تجربة شقي يونغ (Double-slit experiment)، تأكيداً إضافياً على الخاصية الموجية للضوء، حيث أظهرت الأشعة الضوئية النافذة عبر الشقين أهداب تداخل (Interference musters) بناء وهدام على اللوح الموجود خلف الثقبين.

بعد هذه التجربة سادت النظرية الموجية للضوء، حيث قام الفيزيائي الإيرلندي ماكسويل (James Clerk Maxwell) في أواسط القرن الثامن عشر انطلاقاً من النظرية الموجية، بوضع أساس ما يعرف بالنظرية الكهرومغناطيسية للضوء (Electromagnetic theory)، التي تثبت بأن الضوء عبارة عن مركبتين متعامدتين، كهربائية ومغناطيسية.

قام الفيزيائي الألماني الشهير ألبرت أينشتاين (Albert Einstein) في بدايات القرن التاسع عشر بوضع أساس ما يعرف الآن بالفيزياء الكمية (Quantum theory)، حيث أنه نجح في تفسير آلية حدوث المفعول الكهروضوئي (Photo effect) بالاعتماد على نظريته القائلة بأن الضوء مكون من جسيمات تدعى بالفوتونات (Photons) (مبدأ تكميم الضوء)، وأن طاقة هذه الفوتونات تتناسب طردياً مع تواتر الإشعاع الصادر

$$E = \hbar \cdot \nu$$

أحدثت هذه النظرية ثورة في علم الفيزياء وقدمت لأينشتاين جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1921. والأهم من ذلك إعادة أحياء فكرة النظرية الجسيمية لنيوتن.

وبذلك يكون قد تم إثبات الطبيعة المثنوية للضوء (Wave-Particle duality) (جسيم-ضوء) فهو تارةً يسلك سلوك جسيم (الفوتون في المفعول الكهروضوئي)، وتارةً يسلك سلوك الأمواج (أهداب التداخل في شقي يونغ).

الضوء الهندسي (Geometrical light):

يعرف الضوء الهندسي بأنه انتشار الأشعة الضوئية في أوساط شفافة مختلفة وفق خطوط مستقيمة صادرة عن المنبع الضوئي، حيث أن هذه الخطوط المستقيمة تخضع لقوانين الانعكاس والانكسار عند ورودها إلى سطح فاصل ما بين وسطين شفافين مختلفي الكثافة.

The geometric light is defined as the diffusion of light rays in different transparent media according to straight lines emanating from the optical source. These straight lines are subject to the laws of reflection and refraction when they reach a surface separating two transparent mediums with different densities.

نظراً لأهمية قوانين الانعكاس والانكسار وتطبيقاتها على العين البشرية بالإضافة إلى تطبيقاتها العلمية العديدة، ستقتصر دراستنا هذه على الضوء الهندسي، والذي يعتبر أبسط أشكال الضوء.

إذاً سنقوم بإهمال الخواص الموجية للضوء كالانعراج والتداخل، والاكتفاء بتحديد موقع تشكل خيال جسم ما بالنسبة للجسم الأصلي، بالإضافة إلى دراسة هذه الأخيلة المتشكلة وطبيعتها حقيقية أم وهمية، صحيحة أم مقلوبة.

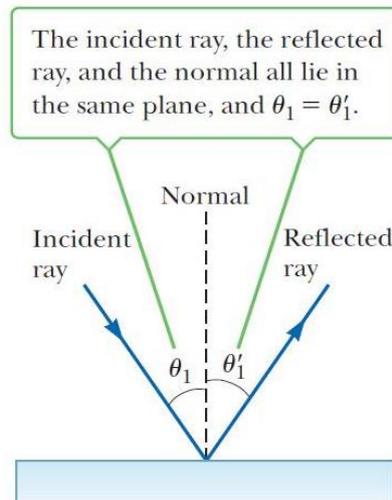
Due to the importance of laws of reflection and refraction and its applications to the human eye, in addition to its various scientific applications, this study will be limited to geometric light, which is the simplest form of light. So, we will ignore the wave properties of light such as diffraction and interference, but we will just determine the location of the image of an object according to the original body, as well as to study these formed images and its nature, real or virtual, true or inverted.

قوانين الانعكاس والانكسار (Reflection's & Refraction's laws):

ينص قانون الانعكاس الأول على أن الشعاع الضوئي الوارد على سطح أملس شفاف، ينعكس بزاوية انعكاس θ_i' مساوية لزاوية الورود θ_i . أي

$$\theta_i' = \theta_i$$

The first law of reflection states that the incident ray of light on a smooth transparent surface is reflected at an angle of reflection θ_i' equal to the angle of the incidence θ_i . So, the following relation is achieved: $\theta_i' = \theta_i$



الشكل 1.1: قانوني الانعكاس الأول والثاني.

وينص قانون الانعكاس الثاني على أن كلاً من الشعاع الوارد على السطح الأملس والشعاع المنعكس عن هذا السطح يقع في نفس المستوي، بحيث أن الناظم على هذا السطح يفصل بين هذين الشعاعين، أي أن الأشعة الثلاث (الوارد والمنعكس والناظم) تقع في نفس المستوي.

The second law of reflection states that both, the incident ray on the smooth surface and the reflected ray from this surface, are at the same level so that the normal on this surface separates these two rays.

يعرف انكسار الضوء بأنه انحراف في اتجاه مسير الأشعة الضوئية عند عبورها سطح يفصل بين وسطين شفافين مختلفي الكثافة، وذلك بسبب سرعة الانتشار المختلفة للضوء في هذين الوسطين.

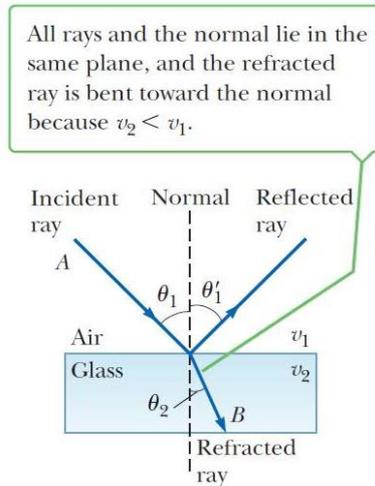
The refraction of light is known as a deviation in the direction of light rays when it crosses a surface, separating two transparent media with different densities, due to the different speed of diffusion of light in these two mediums.

ينص قانون الانكسار الأول على أن كلاً من الشعاع الضوئي الوارد والشعاع الضوئي المنكسر والناظم على السطح تقع في مستوي واحد.

The first law of refraction states that both, the incident ray and the refracted one on the surface, are located in one level.

أما القانون الثاني في الانكسار (قانون سنيل-ديكارت) فهو عبارة عن علاقة رياضية تربط ما بين زاويتي الورد والانكسار وقرين انكسار الوسطين المختلفين، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r \quad (1)$$



الشكل 2.1: قانوني الانكسار الأول والثاني.

The second law of refraction (the law of Snell-Descartes) is a mathematical relation between the two angles of incidence and refraction and the two refractive indexes of the two-different media.

استناداً إلى تعريف قرين الانكسار المطلقة n (Absolute refractive index) لوسط ما على أنه نسبة سرعة انتشار الضوء في الخلاء C إلى سرعة انتشار الضوء في هذا الوسط v ، يمكن كتابة قانون سنيل-ديكارت بالصيغة التالية:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n \quad (2)$$

According to the definition of the refractive index of a medium is the ratio of the speed of light in space C to the speed of light in this medium V, the law of Snell-Descartes can be written as following:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n \quad (2)$$

وبالتالي نستطيع أن نميز الحالات التالية:

. هذا يعني أن الشعاع المنكسر يقترب من الناظم على السطح (الشكل 3.1). $v_2 < v_1 \Leftrightarrow r < i$

. هذا يعني أن الشعاع المنكسر يبتعد عن الناظم على السطح (الشكل 3.1). $v_1 < v_2 \Leftrightarrow i < r$

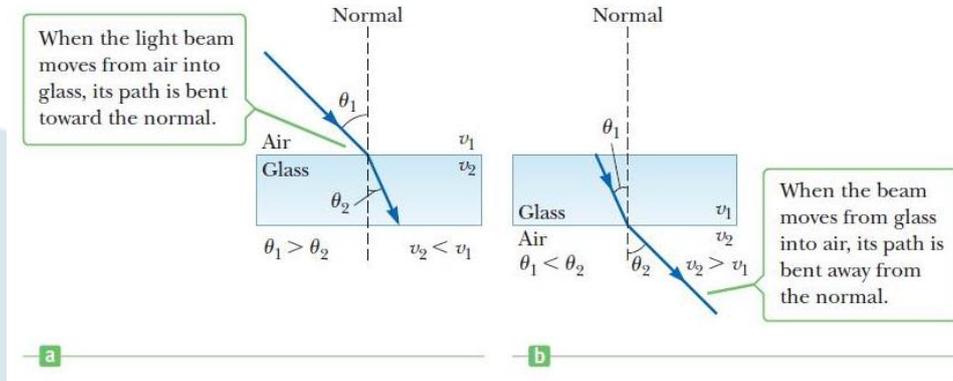
أما بالنسبة للشعاع الساقط عمودياً وفق الناظم على السطح، فإنه يتابع مسيره في الوسط الثاني بدون انكسار.

So, we can distinguish the following cases:

$v_1 > v_2 \Rightarrow i > r$, this means that the refracted ray approaches the normal N on the surface.

$v_2 > v_1 \Rightarrow r > i$, this means that the refracted ray moves away from the normal N on the surface.

As for the ray falling vertically according to the normal on the surface, it continues its path in the second medium without refraction.



الشكل 3.1: (a) انكسار الضوء مقترباً من الناظم. (b) انكسار الضوء مبتعداً عن الناظم.

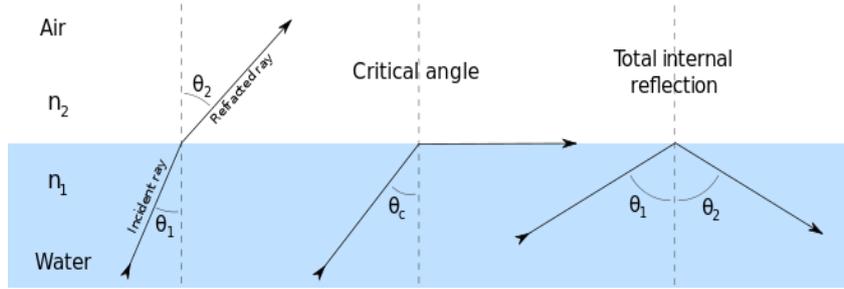
الجدول 1.1: قرينة الانكسار النسبية لبعض المواد.

n	المادة
2.417	الألماس (Diamond)
1.517	الزجاج (Glass)
1.333	الماء (Water)
1	الهواء (Air)

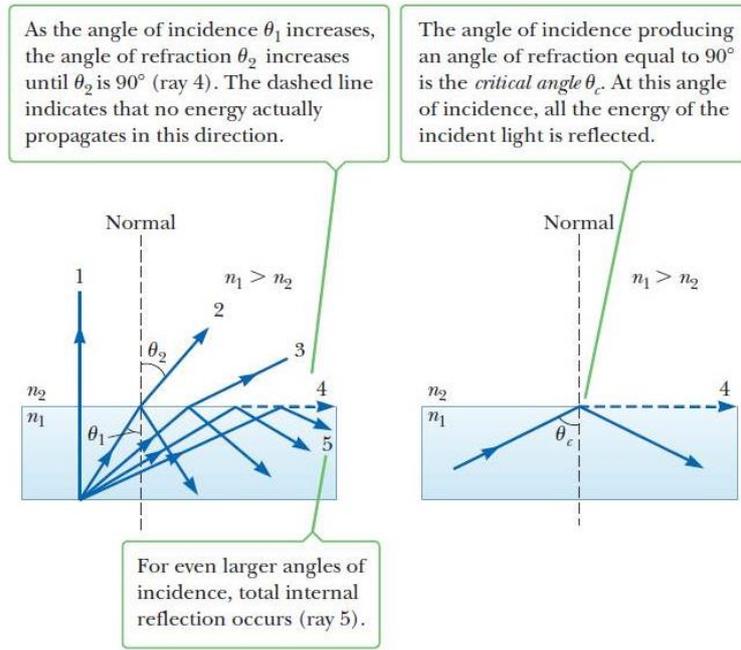
تدعى زاوية الورود المقابلة لزاوية الانكسار ($r = 90^\circ$) بالزاوية الحرجة (θ_c) (الشكل 1.4- 1.5)، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$n \cdot \sin \theta_c = 1 \cdot \sin 90^\circ \Rightarrow \theta_c = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right) \quad (3)$$

حيث تشير n إلى قرين انكسار وسط الورود (الماء أو الزجاج مثلاً) و 1 إلى قرين انكسار وسط الانكسار (الهواء).



الشكل 4.1: الزاوية الحرجة والانعكاس الداخلي الكلي للضوء.



الشكل 5.1: الزاوية الحرجة والانعكاس الداخلي الكلي للضوء.

أما إذا تجاوزت زاوية الورود هذه الزاوية الحرجة، عندها لا يستطيع الشعاع الضوئي النفاذ من الوسط الأول باتجاه الوسط الثاني (أي أنه لا ينكسر) وإنما ينعكس كلياً نحو الداخل وفق ما يعرف بظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي (Total internal reflection)، كما هو الحال في الألياف الضوئية (fiber optics) (الشكل 6.1).

The angle of incidence corresponding to the angle of refraction ($r = 90^\circ$) is called the critical angle, and is given via the following relation:

$$\sin 90^\circ = n \cdot \sin \theta_c \Rightarrow \theta_c = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right) \quad (3)$$

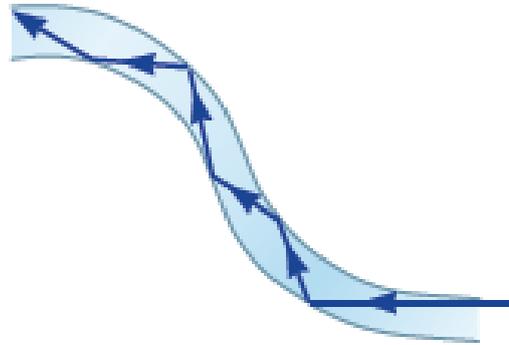
If the angle of incidence exceeds this critical angle, then the optical ray cannot access the first medium towards the second one (does not refract), but is completely reflected inward by the so-called total internal reflection phenomenon.

أما في حالة الانتقال من وسط منخفض الكثافة إلى وسط عالي الكثافة تكون الزاوية الحرجة عبارة عن زاوية الانكسار المقابلة لزاوية ورود قدرها $i = 90^\circ$ ، وتعطى بالعلاقة التالية:

But in the case of being the incidence medium less dense than the refraction one, the critical angle is the angle of refraction corresponding to the angle of incidence ($i = 90^\circ$) and is given via the following relation:

$$1 \cdot \sin 90^\circ = n \cdot \sin \theta_c \Rightarrow \theta_c = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right) \quad (4)$$

حيث تشير 1 إلى قرين انكسار وسط الورد (الهواء مثلاً)، و n إلى قرين انكسار وسط الانكسار.

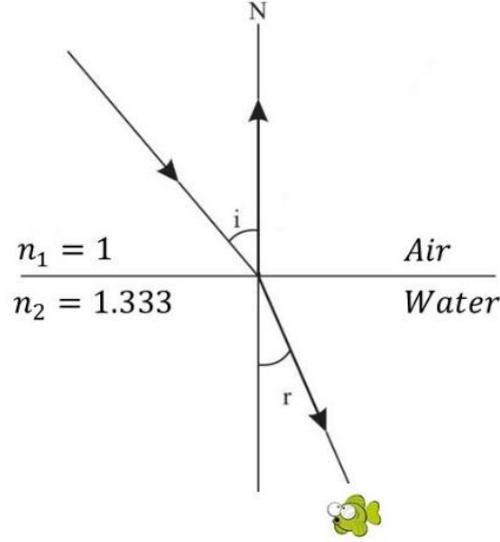


الشكل 6.1: الانعكاس الداخلي الكلي للضوء ضمن ليف ضوئي.

تمرين 1: لدينا صياد يجلس في قارب على سطح البحر. بفرض أنه شاهد سمكة بزاوية ورود قدرها 35° بالنسبة للناظم، أحسب قيمة زاوية انكسار الضوء بالنسبة للناظم.

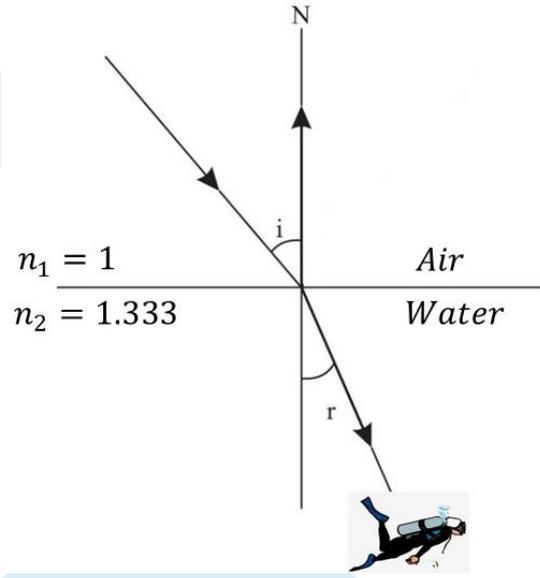
الحل: بتطبيق قانون الانكسار الثاني (قانون سنيل-ديكارت) نحصل على

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r \Rightarrow r = 25.54^\circ$$



تمرين 2: لدينا غواص في البحر. بفرض أنه شاهد قرص الشمس بزاوية قدره 45° بالنسبة للناظم، أحسب قيمة زاوية ورود ضوء الشمس.
الحل: بالاعتماد على قانون سنيل-ديكارت لانكسار الضوء نحصل على:

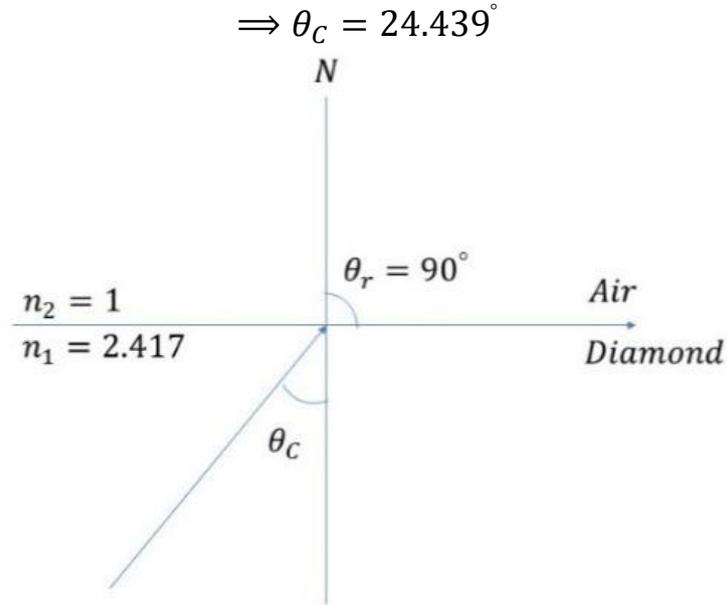
$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r \Rightarrow i = 70.12^\circ$$



تمرين 3: أحسب قيمة الزاوية الحرجة لقطعة من الألماس محاطة بالهواء.

الحل: بتطبيق العلاقة (3) نحصل على

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r \Rightarrow (2.417) \cdot \sin \theta_C = (1.00) \cdot \sin 90^\circ$$



تمارين غير محلولة

1. أحسب قيمة الزاوية الحرجة لقطعة من الزجاج محاطة بالهواء، موضحاً ذلك بالرسم.

2. Why is $n_{air} = 1$?
3. Why is $n_{air} < n_{water}$?

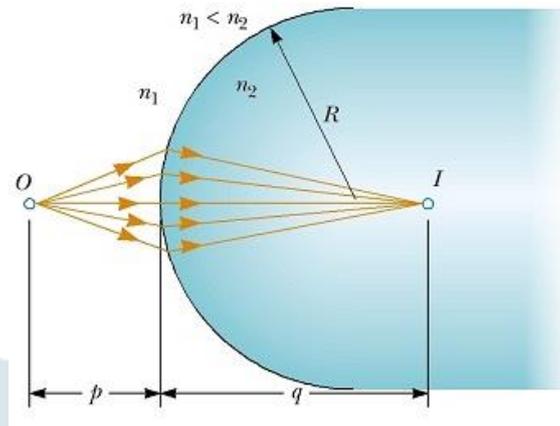
الكاسر الكروي (Spherical refractor):

بما أن السطوح الفاصلة بين مختلف مكونات العين البشرية هي سطوح كاسرة للضوء، وبما أن العين كروية الشكل تقريباً، سنقوم في هذا الجزء بدراسة ما يعرف بالكاسر الكروي.

يمكننا أن نعرف الكاسر الكروي على أنه سطح كروي الشكل نصف قطره R ويفصل بين وسطين شفافين مختلفي الكثافة، أي لهما قريبي انكسار مختلفين n_1, n_2 .

Since the surfaces among the various components of the human eye are refractive for light, and since the eye is almost spherical, we will study in this part what is known as spherical refractor.

We can define the spherical refractor as a spherical surface with a radius of R and separates two transparent mediums with different densities, which means different refractive indexes n_1, n_2 .



الشكل 7.1: الكاسر كروي.

يوضح الشكل 7.1 شكل الكاسر الكروي ومبدأ عمله، حيث أن الأشعة الضوئية الصادرة عن منبع ضوئي O يبعد مسافة p عن رأس هذا الكاسر، تنكسر عبر الكاسر مشكلة خيال لهذا المنبع الضوئي يبعد مسافة q عن رأس هذا الكاسر. يقع كلاً من المنبع الضوئي والخيال على نفس الاستقامة OI والتي تعرف باسم المحور الضوئي.

يشتهر الكاسر الكروي بوجود علاقة رياضية تربط بين نصف قطره وكلاً من بعد الجسم وبعد الخيال عن رأس هذا الكاسر، وتعطى كما يلي:

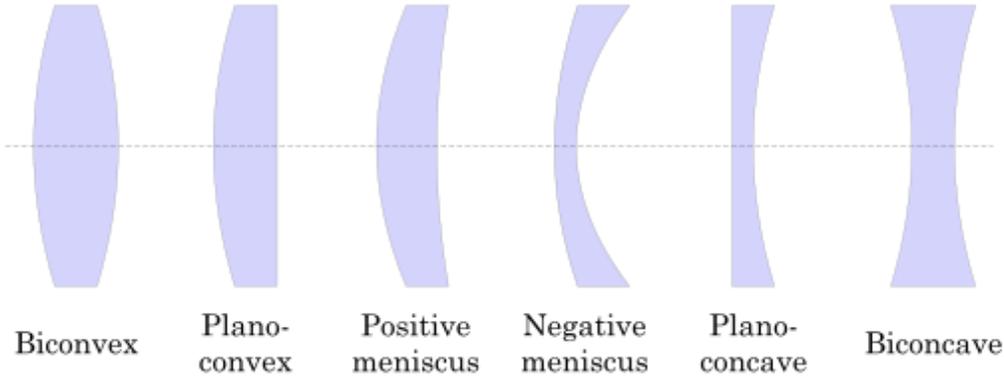
$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R} \quad (4)$$

The previous figure shows the shape of a spherical refractor and it's working principle, Where the optical light coming from a light source O with a distance of p to the head of this refractor, refracts through this refractor forming an image for this source with a distance of q to the head of this refractor. Both the optical sources and the formed image are on the same straightness OI , known as the optical axis.

The spherical refractor is known for the existence of a relation between the radius and both the distance to the body and the distance of the image to the head of this refractor, and is given via the following relation:

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R} \quad (4)$$

تعتبر العدسات (Lenses) من أهم الأمثلة على الكواسر الكروية، فهي تتكون عادةً من سطحين كاسرين كرويين، وهي ذات أهمية خاصة بسبب استخداماتها المتعددة في حياتنا اليومية، حيث أن نظارات القراءة (Reading lenses) والمجاهر الضوئية (Microscopes) والتلسكوبات الفلكية (Astronomical telescopes) والكاميرات (Cameras) تعتمد بشكل أساسي على العدسات وخواص الانكسار. أحدث تطور الصناعة ثورة في علم البصريات حيث تم تصميم العديد من العدسات مختلفة الأحجام والسماكات (الشكل 8.1)، من أهمها العدسات محدبة الوجهين (Biconvex) ومقعرة الوجهين (Biconcave).



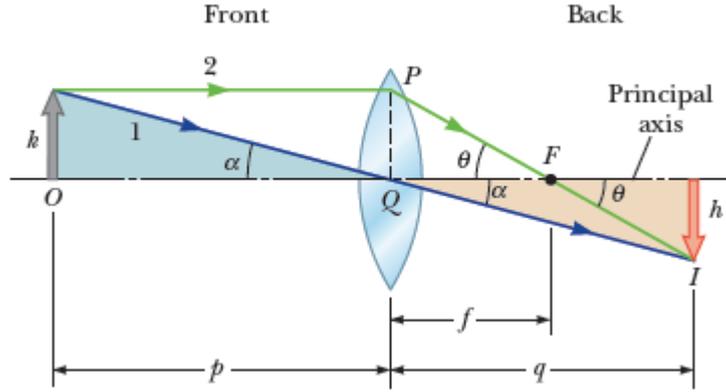
الشكل 8.1: عدسات مقربة ومبعدة للضوء.

من أشهر أنواع العدسات المستخدمة في العديد من المجالات الطبية هي ما يعرف بالعدسات الرقيقة (Thin lenses)، حيث تتحقق من أجلها معادلة شهيرة بين كلاً من البعد المحرقي للعدسة f (Focal length) وبعد الجسم p والخيال q عن هذه العدسة. تدعى هذه المعادلة بمعادلة العدسة الرقيقة وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (5)$$

One of the most famous types of lenses, that are used in various medical fields, is what is known as thin lenses, where it achieves a famous equation between both, the focal length f of the lens and the distance of the body p and the image q to this lens. It is called the thin-lens equation:

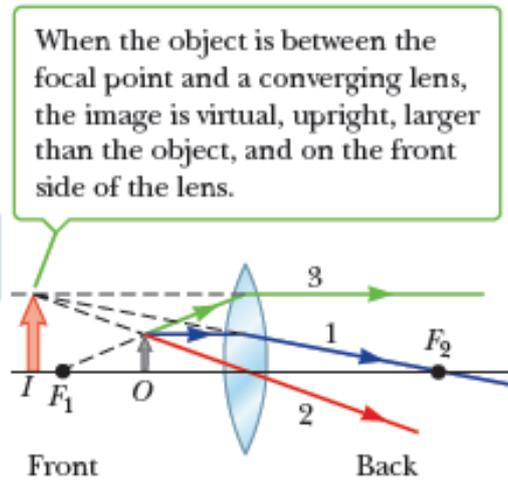
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (5)$$



الشكل 9.1: تشكل خيال حقيقي ومقلوب خلف عدسة محدبة، حيث أن q موجب .

نقول عن الخيال المتشكل بأنه حقيقي ومقلوب إذا كان خلف العدسة (كما هي الحال في العين البشرية) وتكون q موجبة (الشكل 9.1). ونقول إنه وهمي وصحيح إذا وقع أمام العدسة، وتكون q سالبة (الشكل 10.1).

We say that the formed image is real and inverted if it is behind the lens (as in the human eye) and q is positive. And we say that it is true and virtual if it forms in front of the lens, and q is negative in this case.

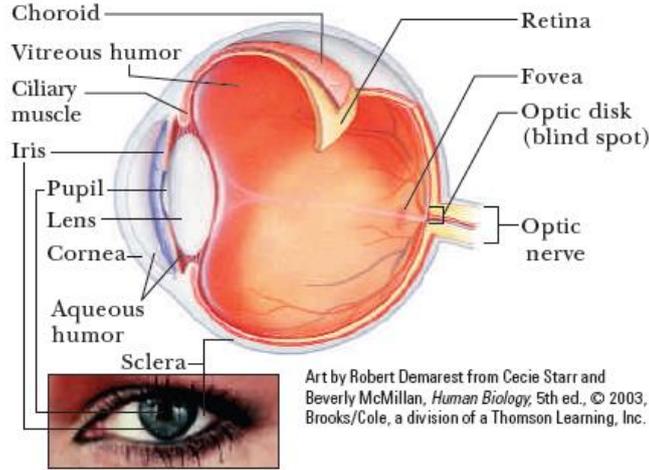


الشكل 10.1: تشكل خيال وهمي I وصحيح أمام عدسة محدبة للجسم O . حيث أن q سالب . .

العين البشرية (Human eye):

إن أفضل ما يمكن تشبيهه العين به هو كاميرا (Camera) تقوم بتشكيل خيال حقيقي مقلوب على الشبكية، يتولى الدماغ لاحقاً مهمة تحليل هذا الخيال وتصحيحه وبالتالي رؤية الأشياء والأجسام كما هي في الواقع.

تمتاز العين البشرية بأنها كروية الشكل تقريباً (الشكل 11.1) بنصف قطر $r \approx 1.2\text{cm}$ في مقدمتها طبقة شفافة تدعى بالقرنية (Cornea) قرين انكسارها $n = 1.351$ مملوءة بسائل ذو قوام مائي قرين انكساره $n = 1.333$.

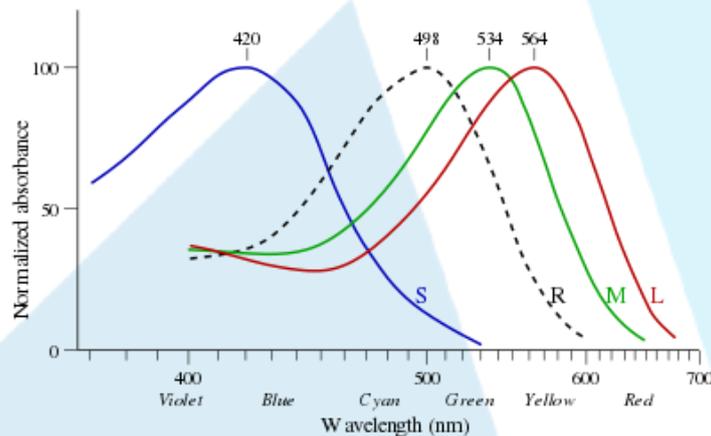


الشكل 11.1: الأقسام والأوساط الرئيسية للعين البشرية.

خلف القرنية تتواجد القزحية (Iris) التي تتحكم بنصف قطر بؤبؤ العين (Pupil)، يقع هذا البؤبؤ أمام ما يعرف بالعدسة العينية (Focal lens) ذات قرين الانكسار الكبير نسبياً $n = 1.437$. يحيط بالعدسة سائل شفاف يدعى بالمائع الزجاجي (Vitreous humor) وله نفس قرين انكسار الماء $n = 1.333$.

تعتبر القرنية المسؤولة عن انكسار الضوء الساقط على العين ومن ثم تقوم بتوجيهه باتجاه العدسة العينية التي تقوم بدورها بتركيز هذا الضوء ليسقط في المحرق الواقع خلف العدسة العينية. تقع الأخيلة المتشكل للأجسام في منطقة حساسة من الشبكية (Retina) تدعى باللطخة الصفراء (Macular) الموجودة فيما يعرف بالحفرة المركزية. تتركز في هذه المنطقة نسبة عالية جداً من المخاريط (Cones) والعصي (Rods) الضوئية المسؤولة عن رؤية الألوان بفعل حساسيتها العالية لمختلف الأطوال الموجية للضوء الوارد (الشكل 12.1).

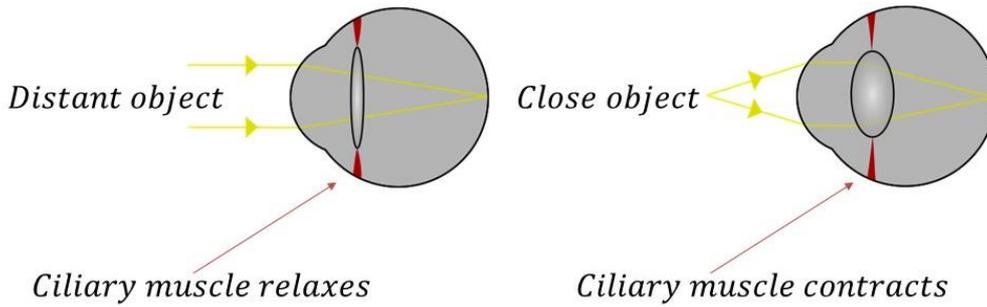
The cornea is responsible for the refraction of the light falling in the eye and then directing it towards the focal lens, which in turn concentrates this light to fall in the focus behind the lens. The formed images of the objects are located in a sensitive area of the retina called macular. In this region concentrates a Very high percentage of cones and rods, which are responsible for distinguishing colors due to it's sensitivity to the different wavelengths of the incident light.



الشكل 12.1: الخلايا الضوئية المسؤولة عن رؤية الألوان ضمن مجال الطيف المرئي (Optical light).

مبدأ المطابقة البصرية (Visual Accommodation):

عندما ينظر إنسان سليم البصر باتجاه جسم بعيد نسبياً، فإن خيال هذا الجسم يقع مباشرةً على الشبكية، ولكن عندما ينظر إلى جسم قريب نسبياً فإن خيال هذا الجسم يقع مبدئياً خلف العدسة ويكون غير واضح للعين، إلا أن الجسم البلوري يقوم وبشكل ذاتي بزيادة تحدبه بغية توجيه الأشعة الضوئية المنكسرة عبره كي تقع على الشبكية وبالتالي تصبح صورة الجسم القريب واضحة. تعرف هذه الآلية بالمطابقة البصرية (الشكل 13.1) وهي تتوقف على مرونة العدسة والعضلات الهدبية المتحركة بشكل العدسة.



الشكل 13.1: آلية حدوث المطابقة البصرية للعين.

إذاً نستطيع أن نعرف المطابقة البصرية على أنها زيادة شدة انكسار الضوء عبر العين عند النظر إلى الأجسام القريبة وتخفيض شدة هذا الانكسار عند النظر إلى الأجسام البعيدة، مما يتيح إمكانية تشكيل خيال واضح للأجسام على مختلف المسافات من العين، ابتداءً من نقطة الكتب (Near point) وحتى نقطة المدى (Far point).

We can so define the visual accommodation as increasing the refraction of light through the eye when looking at nearby objects, and reducing this refraction when looking at distant objects, Allowing the possibility of forming a clear image of objects on different distances of the eye, beginning from the near point until the far point.

نقطة الكتب هي أقرب مسافة يمكن للعين السليمة أن تُكون خيال واضح لها على الشبكية، وتبلغ حوالي 25cm عند الشباب وحوالي 10cm عند الأطفال. أما نقطة المدى فتوافق أبعد مسافة للرؤية السليمة والواضحة، فهي تصل حتى اللانهاية ∞ .

تعرف القوة الكاسرة P لعدسة ما على أنها قدرة هذه العدسة على كسر الأشعة الضوئية الواردة إليها، وهي مقلوب البعد المحرقي لهذه العدسة.

$$P = \frac{1}{f} \quad (6)$$

The near point is the closest distance, so that the eye can form a clear image on the retina, it is about 25cm by men and about 10cm by children. But the far point corresponds to the farthest distance of a clear and healthy vision, reaching up to infinity.

The refractive force P of a lens is defined as the ability of this lens to refract the light rays it receives, which is the invert of the optical length of this lens.

$$P = \frac{1}{f} \quad (6)$$

وتقاس بوحدة تدعى الكُسيّرة (Diopter)، وتعرف على أنها القوة الكاسرة لعدسة بعدها المحرقي $f = 1m$ وهي موجبة في العدسات المقربة وسالبة في العدسات المبعدة.

تدعى المسافة المحصورة بين نقطة الكُتب ونقطة المدى بسعة الرؤية أو مجال الرؤية الواضحة، كما ويمكننا تعريف سعة المطابقة بالعلاقة التالية:

$$A = \frac{1}{d} - \frac{1}{D} \quad (7)$$

حيث تشير d إلى بعد نقطة الكُتب و D إلى بعد نقطة المدى.

The distance between the near point and the far point is called the capacity of vision or the range of clear vision, and the accommodation capacity can be defined via the following relation:

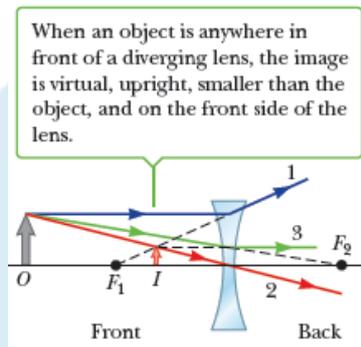
$$A = \frac{1}{d} - \frac{1}{D} \quad (7)$$

الضوء والعيوب البصرية (Light and visual errors):

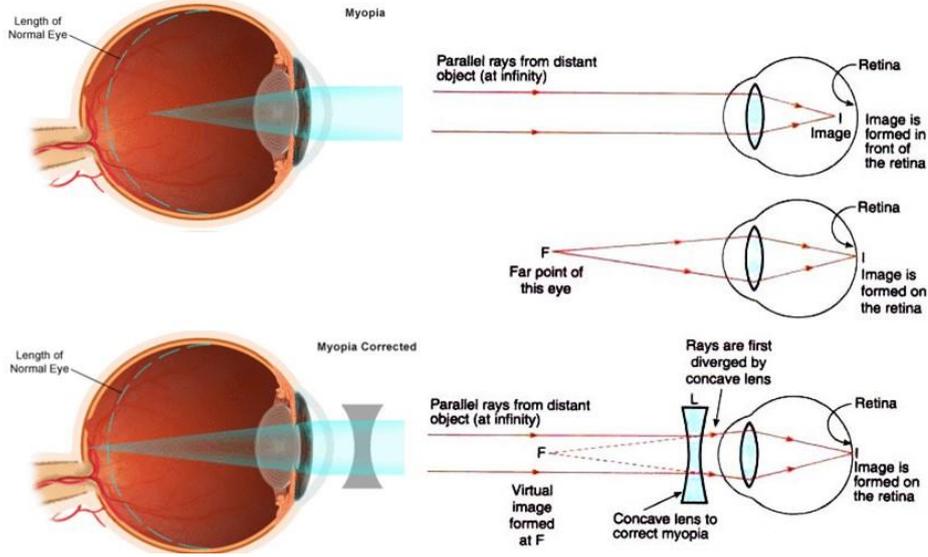
عند تجاوز العين لحدود الرؤيا السليمة والواضحة، أي إذا كانت نقطة الكُتب أكبر من 25cm أو نقطة المدى أصغر من ∞ ، نكون أمام عيب بصري ينبغي تصحيحه إما جراحياً أو فيزيائياً باستخدام العدسات المناسبة.

قصر أو حسر البصر (Myopia)

يكون الإنسان قادر على رؤية الأجسام القريبة بوضوح في حين أنه يعاني من صعوبة رؤية الأجسام البعيدة. يعود هذا العيب البصري إلى خلل في عمل القرنية أو العدسة العينية بحيث أن الخيال المتشكل للجسم في ∞ ، لا يقع على الشبكية وإنما أمامها.



الشكل 14.1: تشكل العدسة المبعدة (diverging lens) للجسم O خيال وهي I وصحيح وأصغر من الجسم الأصلي.



الشكل 15.1: آلية معالجة العين الحسيرة (Myopic eye) باستخدام عدسة مبعدة.

In a myopic eye a person is able to see nearby objects clearly while having difficulty seeing distant objects. This visual error is due to a malfunction of the cornea or the ocular lens, so that the formed image of a body in ∞ , does not fall on the retina but in front of it.

تتم معالجة هذا العيب البصري باستخدام كاسر كروي عبارة عن عدسة تصحيح مبعدة (الشكل 14.1) تقوم بتشكيل خيال وهمي وصحيح (غير مقلوب) يقع في نقطة المدى الفعلية للعين الحسيرة، بحيث يصبح بمثابة جسم حقيقي بالنسبة للسطح الأخر من العدسة، أي ان العين تتعامل مع هذا الخيال الوهمي على انه جسم حقيقي وبالتالي فإن الأشعة الضوئية الصادرة عنه تنكسر عبر عدسة التصحيح مشكلةً خيال مقلوب على الشبكية، مما يعني رؤية واضحة (الشكل 15.1).

This visual error is corrected with a spherical refractor, which is a concave lens that forms a virtual true (non-inverted) image, located at the actual far point of the myopic eye, so that it becomes a real image for the second surface of the lens. Thus, light rays that comes from it refracts through the correction lens, forming an inverted image on the retina, which means a clear vision.

تمرين 4: يعاني رجل من قصر النظر في عينه اليمنى. إذا علمت أن هذا الرجل لا يستطيع الرؤيا لمسافة أبعد من 80cm بواسطة عينيه. هل يمكن حل هذه المشكلة، وكيف؟

الحل:

تعالج هذه المشكلة باستخدام عدسة مبعدة.

نقطة المدى للمريض هي 80cm.

الخيال المتشكل، لجسم في اللانهاية ($p = \infty$)، بواسطة هذه العدسة، هو وهي $q = -80cm$ من معادلة العدسة الرقيقة:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = -0.8 \text{ m}$$

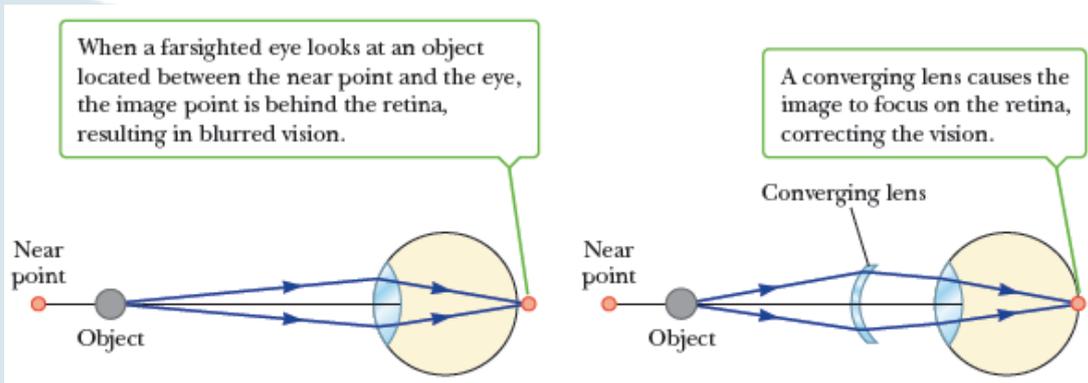
$$P = \frac{1}{f} \Rightarrow -1.25 \text{ m}^{-1} = -1.25 \text{ D}$$

مد أو طمس البصر (Hyperopia)

بصورة معاكسة لحالة قصر النظر، يعاني المريض في حالة مد النظر من مشكلة عدم القدرة على رؤية الأجسام القريبة بوضوح، في حين أنه يكون قادر على رؤية الأجسام البعيدة بوضوح. يعزى ذلك أيضاً إلى مشكلة في القرنية والعدسة العينية، إذ أن القوة الكاسرة للعدسة تكون منخفضة وبالتالي لا تستطيع كسر الأشعة الضوئية، القادمة من الأجسام القريبة، بشدة كافية كي يتشكل خيال على الشبكية وإنما يتشكل الخيال خلف الشبكية (البعد المحرقى يكون كبير جداً) (الشكل 16.1)، مما يعني عدم وضوح في رؤية هذه الأجسام القريبة.

On the contrary to Myopia, a hyperopic patient suffers from the problem of being unable to see close objects clearly, while being able to see distant objects clearly. This is also due to an error in the cornea and the ocular lens, since the refractive force is low and therefore cannot refract the light rays, coming from nearby objects, strongly enough to form an image on the retina (the focal length is very big). Means the blurring of seeing these close objects.

يمكن معالجة هذا العيب البصري باستخدام عدسة مقربة وذلك بغية تكبير القوة الكاسرة للعين، حيث تقوم هذه العدسة بتشكيل خيال وهمي للجسم القريب، بحيث يقع هذا الخيال عند نقطة كذب المريض، بالتالي فإن عدسة العين تتعامل معه كأنه جسم حقيقي فتقوم بكسر الأشعة الضوئية الصادرة عنه بشدة كي يتشكل خيال على الشبكية تماماً، مما يعني بالنتيجة رؤية هذه الأجسام القريبة بوضوح (الشكل 16.1).



الشكل 16.1: آلية معالجة مد النظر (Hyperopia) باستخدام عدسة مقربة.

This optical error can be treated (corrected) with a convex lens in order to increase the eye's refractive force, this lens creates a virtual image of the nearby body, so that this image falls at the patient's near point, Therefore the lens treats it as a real object, refracts the light rays coming from it strongly to form an image exactly on the retina, which means seeing these nearby objects clearly.

تمرين 5: رجل غير قادر على رؤية أجسام أقرب من 1.5 m من عينيه بوضوح. هل يمكن معالجة هذه المشكلة؟

الحل:

نقطة الكُثْب للشخص هي $q = -1.5m \Leftarrow 1.5m$

نقطة الكُثْب الحقيقية هي $p = 25cm \Leftarrow 25cm$

من معادلة العدسة الرقيقة:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = 0.3m \Rightarrow P = 3.33D$$

تمارين غير محلولة

1. تمرين: يعاني رجل من قصر النظر في عينيه. إذا كان هذا الرجل لا يستطيع الرؤيا لمسافة أبعد من $10m$. كيف يمكن حل هذه المشكلة؟
2. تمرين: شخص حسير النظر، نقطة الكُثْب والمدى بالنسبة له هي على الترتيب: $10cm, 220cm$. والمطلوب:
 - أوجد سعة المطابقة عند هذا المريض.
 - نوع العدسة والقوة الكاسرة للعدسة المستخدمة لمعالجته.

3. What is the difference between a myopic and a hyperopic eye?

الفصل الثاني

الأشعة فوق البنفسجية وتطبيقاتها الطبية

The Ultraviolet Rays (UV) Rays & medical applications

يعتبر الفيزيائي والكيميائي الألماني يوهان ريتير (Johann Wilhelm Ritter) أول من اكتشف الأشعة فوق البنفسجية وذلك عام 1801 كنتيجة لدراسته العديد من التفاعلات الكيميائية، حيث أنها دعيت في بادئ الأمر الأشعة المؤكسدة بسبب تسريعها حدوث هذه التفاعلات. لاحقاً وفي عام 1893 اكتشف الفيزيائي الألماني فيكتور شومان (Victor Schumann) ما يعرف بالأشعة فوق البنفسجية الخلائية (Vacuum UV, VUV) ذات الأطوال الموجية القصيرة ($\lambda < 200nm$). تمتاز هذه الأشعة بشدة امتصاص الأكسجين لها ولذلك فإنه لدراستها ينبغي العمل في جو خال من الأكسجين (خلاء). أجريت في بدايات القرن التاسع عشر العديد من الدراسات والبحوث على هذه الأشعة من قبل العديد من العلماء، فقد اكتشف أثرها القاتل والمبيد للجراثيم بالإضافة إلى أثارها التخريبية على الحمض النووي البشري (DNA).

مجالات الأشعة فوق البنفسجية (Ranges of the UV Rays):

تم تقسيم الأشعة فوق البنفسجية إلى عدة مجالات وذلك حسب خواصها وتأثيرها. يقع طيف هذه الأشعة ضمن المجال $\lambda = 10nm - 400nm$ ، حيث تشكل هذه الأشعة ما نسبته حوالي 10% من الاستطاعة الكلية للشمس.

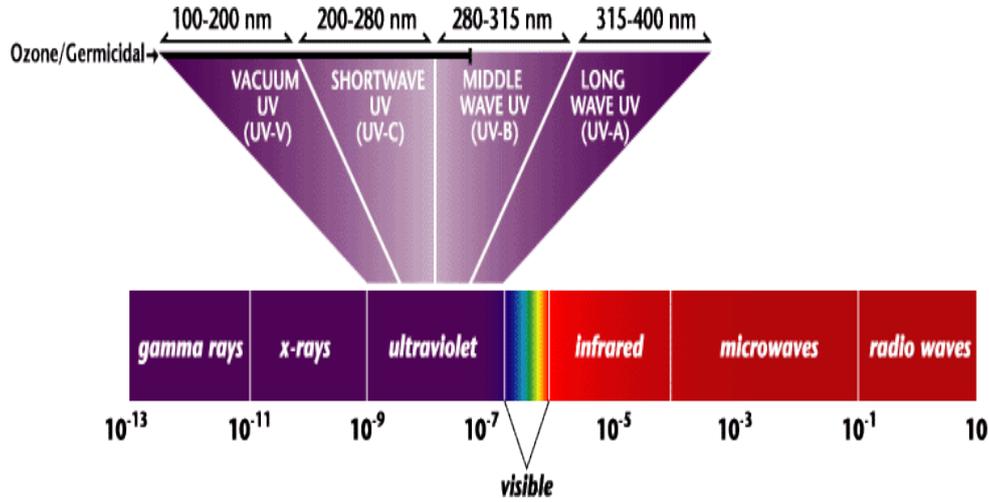
الجدول 1.2: طول موجة وطاقة كافة مجالات الأشعة فوق البنفسجية.

الطاقة [eV]	الطول الموجي [nm]	الاختصار
3.10-3.94	315-400	UVA
3.94-4.43	280-315	UVB
4.43-12.4	100-280	UVC
6.20-12.4	100-200	VUV
12.2-124	10-100	EUV

Ultraviolet rays have been divided into several ranges according to their properties and effects The spectrum of these rays is within the range $\lambda = 10nm - 400nm$, Where these rays constitute about 10% of the total capacity of the sun.

These rays are situated next to the violet, from the side of the frequencies higher than that of visible light, and thus their wavelength is larger than that of the visible light

تقع هذه الأشعة بجوار اللون البنفسجي من جهة التواترات الأعلى من الضوء المرئي (الشكل 1.2) وبالتالي فهي تمتلك طول موجي أصغر وبالتالي طاقة أعلى من الضوء المرئي.



الشكل 1.2: مجالات الأشعة فوق البنفسجية ضمن الطيف الكهرومغناطيسي.

يضم طيف الضوء الصادر عن الشمس كلاً من الأشعة فوق البنفسجية والأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء. تكتسب دراسة الأشعة فوق البنفسجية أهمية خاصة، حيث أنها تمتلك تأثيرات هامة على الأوزون وطبقات الجو العليا بالإضافة إلى تأثيرها على الكائنات الحية على الأرض.

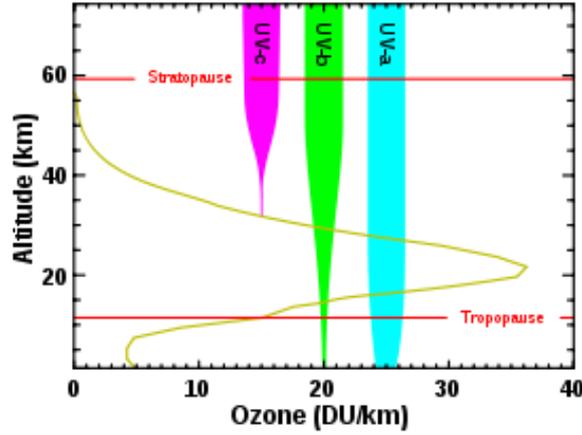
The spectrum of the sun includes both ultraviolet, visible and infrared rays.

The study of UV rays is particularly important as it has significant effects on ozone and the upper atmosphere layers, as well as its effects on living organisms on Earth.

يبين الشكل 2.2 نسبة امتصاص الغلاف الجوي للأرض للأشعة فوق البنفسجية بمجالاتها الثلاثة الرئيسية في المنطقة الواقعة ما بين طبقة الستراتوسفير وطبقة التروبوسفير بالإضافة إلى مقدار تغير تركيز الأوزون.

يقاس تركيز الأوزون الموجود في الغلاف الجوي للأرض بوحدة (Dobson, DU) DU/km وهي عدد جزيئات الأوزون اللازمة لتكوين طبقة أوزون صافي بسماكة $0.01mm$ في درجة حرارة الصفر المئوي وفي ضغط جوي واحد.

تبلغ القيمة المتوسطة لسماكة طبقة الأوزون في الغلاف الجوي حوالي $300DU = 3mm$ ، وأما في منطقة ثقب الأوزون فتبلغ $100DU = 1mm$.



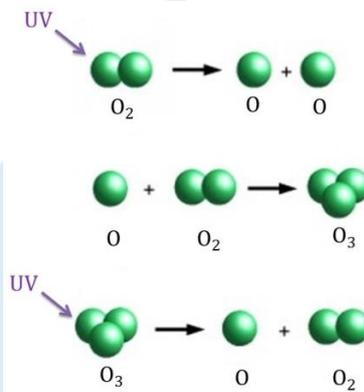
الشكل 2.2: تغير نسبة الأوزون بتابعية الارتفاع.

The previous figure shows the Earth's atmospheric absorption of ultraviolet rays in its three main ranges in the stratosphere and troposphere as well as the amount of change of the ozone concentration.

The concentration of ozone in the Earth's atmosphere is measured by DU /km (Dobson, DU), the number of ozone molecules needed to form a pure ozone layer at a thickness of 0.01mm at 0 °C and at a value of 1 Pascal for the atmospheric pressure. The average thickness of the atmospheric ozone layer is approximately 300DU = 3mm, while in the ozone hole area it is about 100DU = 1mm.

تقوم أشعة الشمس (الأشعة فوق البنفسجية) بتفكيك جزيء الأكسجين O_2 إلى ذرتي أكسجين O نشطين، تتحد كل منهما مع جزيء O_2 فيتشكل الأوزون O_3 (الشكل 3.2)، ثم تعود الأشعة فوق البنفسجية لتفكيك جزيء الأوزون مرةً أخرى وهكذا تستمر العملية وفق التفاعلات المبين في الشكل 3.2.

The Sun rays (ultraviolet rays) disassemble the oxygen molecule O_2 into 2 active oxygen atoms O , which combine with the O_2 molecule, forming an ozone molecule (O_3). The UV rays then disassemble the ozone molecule again and so the process continues.



الشكل 3.2: تشكل وتفكك الأوزون في طبقات الغلاف الجوي.

يؤثر كلاً من الإشعاع فوق البنفسجي بطوليه UVC, UVB سلباً على الكائنات الحية بفعل الطاقة العالية لهذه الأشعة، ولكن يتكفل الغلاف الجوي للأرض (الأكسجين والأوزون) بامتصاص شبه كلي لهذه الأشعة الضارة، في حين أن القسم الأعظم من أشعة UVA غير الضارة يصل إلى الأرض.

Both ultraviolet rays UVB and UVC affect negatively living organisms by the high energy of these rays, but the Earth's atmosphere (oxygen and ozone) absorbs almost all of these harmful rays, while most of the unharmed UVA rays reach the Earth.

فوائد الأشعة فوق البنفسجية (Benefits of the UV Rays):

يساعد التعرض لأشعة الشمس، ولفترة محدودة، جسم الإنسان على إنتاج فيتامين D في الجلد وذلك بمعدل 1000 IUs/minutes . حيث يعتبر المجال المتوسط من الأشعة البنفسجية UVB المسؤول عن ذلك رغم انخفاض نسبته ضمن اشعاع UV النافذ إلى سطح الأرض، ولكن بسبب الطاقة العالية لهذه الأشعة فإنه يحذر من التعرض للشمس ولفترات طويلة. لهذا الفيتامين أهمية كبيرة في تنظيم عملية استقلاب الكالسيوم في العظام بالإضافة إلى فوائده الصحية الأخرى لجسم الإنسان (زيادة مناعة الجسم وتنظيم ضغط الدم).

Exposure to sunlight, for a limited time, helps the human body to produce vitamin D in the skin with an average of 1000 IUs/minutes . Where the UVB range is responsible for this, despite of its low rate in the UV rays reaching the earth surface, but It is warned against long exposures to the sun due to the high energy of these rays.

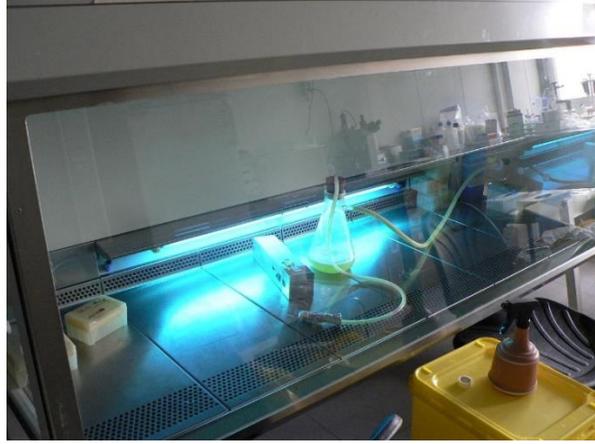
This vitamin has great importance in regulating the metabolism of calcium in the bones in addition to other health benefits for the human body (increased body immunity and regulation of blood pressure).

يؤدي التعرض المدروس لأشعة الشمس إلى زيادة إفراز صبغ الميلانين في الجلد مما يسبب اسمرار البشرة. يمتلك هذا الصبغ القدرة على امتصاص UVA, UVB وتحويل طاقتها العالية إلى حرارة مع المحافظة على تركيب الـ DNA لخلايا الجلد. تستخدم هذه الأشعة في تعقيم التجهيزات والمخابر الطبية (الشكل 4.2-2.5) وذلك باستخدام مصابيح خاصة تصدر ضوء بطول موجة الأشعة فوق البنفسجية، كمصابيح غاز الزئبق، حيث يقوم الضوء الصادر وبفعل طاقته العالية بإتلاف الحمض النووي للمتعضيات الكروية بحيث أنها تصبح غير قادرة على التكاثر وإنتاج نفسها ثانيةً. تعرف هذه الأشعة بالأشعة القاتلة للجراثيم UVGI. من الاستخدامات المفيدة أيضاً لهذه الأشعة تعقيم الهواء في المشافي وفي غرف العمليات كما انها تستخدم في تعقيم المياه. يتم تعريض الأطفال الخدج (حديثي الولادة) لكميات مدروسة من الأشعة فوق البنفسجية وذلك لتعقيم الجسم.

Studied exposure to the sun causes increased melanin pigmentation in the skin, causing skin to darken. This pigment has the ability to absorb UVB and UVA and convert its high energy into heat while maintaining the DNA structure of skin cells.

These rays are used to sterilize equipment and medical laboratories by using special UV light lamps, such as mercury gas lamps, where the resulting light and its high energy destroy the DNA of the spherical organisms so that they become unable to

produce themselves again. These rays are known as UVGI. Other useful uses of these rays, are air and water sterilization. The body of new born babies can be sterilized by using studied quantities of the UV radiations.



الشكل 4.2: تعقيم المخابر الطبية باستخدام أشعة UV.



الشكل 5.2: تعقيم فرشاة الأسنان باستخدام أشعة UV.

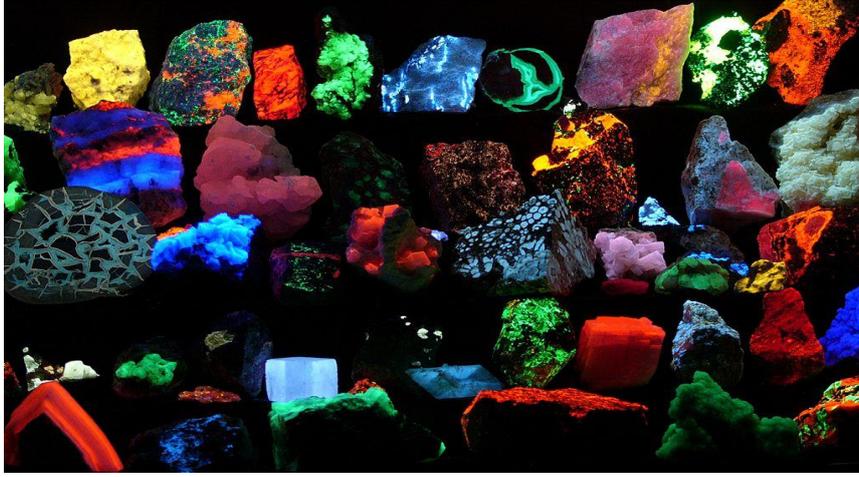
من أهم التطبيقات الصحية للأشعة فوق البنفسجية هو معالجة بعض الأمراض الجلدية، كالصدفية والبهاق، حيث أنه يتم تعريض المنطقة المصابة لمصابيح خاصة تصدر الأشعة فوق البنفسجية وذلك بعد تناول أدوية خاصة ومحفزة كالصدافولينات والتي تجعل الجلد شديد الحساسية لهذه الأشعة، ولكن بسبب مخاطر الإصابة بسرطان الجلد أو مشاكل الكبد، فإن هذه المعالجة تتم لعدد محدود من المرات خلال حياة المريض.

بالإضافة إلى الاستخدامات الطبية لهذه الأشعة، فهناك استخدامات أخرى في مجالات الأدلة الجنائية والطب الشرعي، بالإضافة إلى العديد من المجالات العلمية كالكيمياء والدراسات الجيولوجية (الشكل 5.2) التي تتضمن تحليل الفلزات أو المركبات الكيميائية بالاعتماد على الأشعة فوق البنفسجية حيث أن شدة ولون التوهج يختلف باختلاف نوع الفلز أو المركب المعرض للأشعة فوق البنفسجية.

One of the most important medical applications of ultraviolet rays is the treatment of some skin diseases, such as psoriasis and vitiligo, where the affected area is exposed to special lamps to produce ultraviolet light after taking special drugs and

stimulants such as psoralens, which make the skin very sensitive to these rays, but because of the risk of skin cancer and Liver problems, this treatment is done for a limited number of times during the life of the patient.

In addition to the medical uses of these rays, there are other uses in the fields of forensic evidence and forensic medicine, in addition to many scientific fields such as Chemistry and geological studies, where samples are analyzed and studied using the UV radiation, whereas the intensity and the color of the flame induced by the UV radiation varies according to the used sample.

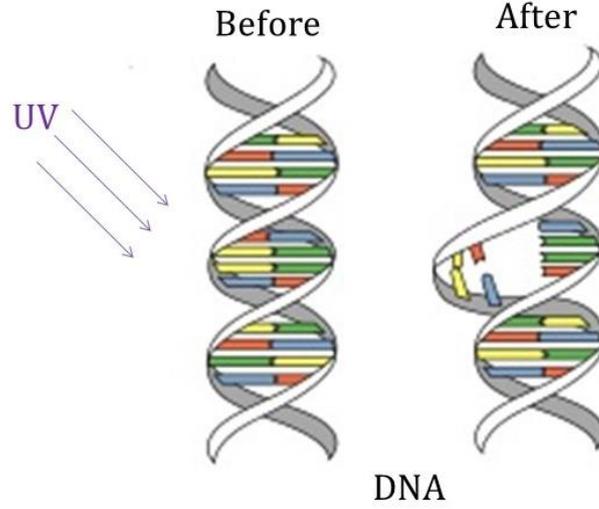


الشكل 6.2: اختلاف توهج الفلزات عند تعريضها للأشعة فوق البنفسجية وذلك تبعاً لتركيبها الكيميائي.

مضار الأشعة فوق البنفسجية (UV damage):

بما أن الأشعة فوق البنفسجية ذات طاقة عالية بما يكفي لإحداث ضرر في الخلايا الحية قد يتجاوز حد الحروق الشمسية ويصل إلى حد إحداث تغيير (تأين) في تركيب هذه الخلايا (سرطان الجلد)، فقد يؤدي التعرض الطويل لأشعة الشمس بصورة عامة وللأشعة فوق البنفسجية بصورة خاصة، إلى حدوث أضرار مختلفة بمختلف أعضاء الجسم البشري، على وجه الخصوص العين والجلد. ويعزى ذلك إلى الطاقة العالية لهذه الأشعة، حيث أنها تؤثر في تركيب الـ DNA ضمن خلايا الجلد، بل قد يتعدى ذلك إلى تأين هذه الخلايا وتلفها (الشكل 6.2). فهي قادرة بأطوالها الثلاثة UVA, B, C على إتلاف بروتين الكولاجين في جلد الإنسان مما يؤدي إلى أذية الجلد وترهله مبكراً.

Since the ultraviolet rays are energetic high enough to cause damage to living cells, this damage may exceed the limit of solar burns and lead to a change in the composition of these cells (skin cancer). Prolonged exposure to the sun in general and ultraviolet rays in particular, causes various damage to various organs of the human body, particularly the eye and skin. This is due to the high energy of these rays, as they affect the composition of DNA within skin cells, but may even lead to ionization of these cells and destruction. UVA, B, and C can damage the collagen protein in human skin, causing damage to the skin.



الشكل 7.2: إتلاف الـ DNA من قبل أشعة الـ UV.

تقوم الأشعة فوق البنفسجية المتوسطة والقصيرة بإتلاف خلايا الجلد من خلال تدمير الـ DNA بشكل مباشر مسببةً التهابات حادة في الجلد قد تصل حتى حد الإصابة بسرطان الجلد، ولكن بينت الدراسات بأنه حتى الأمواج الطويلة (الغير ضارة) قد تسبب حدوث سرطانات الجلد من خلال توغلها عميقاً في الجلد وتوليد وسط كيميائي يؤدي إلى تغيير في تركيب الـ DNA بشكل غير مباشر.

The UVB and UVA rays damage the skin cells by destroying the DNA directly, causing severe skin Inflammations that may even reach the level of skin cancer, but studies have shown that even long (harmless) rays (UVA) can cause skin cancers by penetrating deep into the skin and generating a chemical medium, which leads to a change in the composition of the DNA indirectly.

كنتيجة لخواص الطيف الكهرومغناطيسي للضوء، فإن العين البشرية غير قادرة على رؤية وتمييز الأطوال الموجية الخاصة بالأشعة فوق البنفسجية، كون عدسة العين والقرنية لا تسمح للأشعة النافذة إلى الأرض بالعبور إلى الشبكية، ولكن بينت الدراسات أن المخاريط والعصي البصرية قادرة على تمييز مجال صغير من الأشعة فوق البنفسجية القريبة (مشاهدة في الحالة العامة من قبل الحيوانات)، حيث أن الأشخاص الذين يعانون من فقدان عدسة العين يستطيعوا أن يشاهدوا هذا المجال بلون بنفسجي مائل إلى البياض.

As a result of the properties of the electromagnetic spectrum of light, the human eye is unable to see and distinguish the wavelengths of ultraviolet rays, because the lens of the eye and cornea does not allow the UV rays, which reach the earth, to cross the retina, but studies have shown that cones and rods can distinguish a small range of the ultraviolet rays (Seen in the general condition by animals), since people with lens loss can see this range as a violet-white color.

ترتفع نسبة الأشعة فوق البنفسجية عند الصعود إلى قمم الجبال العالية، حيث تنعكس على الثلوج، ولذلك يجب ارتداء نظارات بلاستيكية لوقاية العين. كما أن ضوء اللحام يصدر بعض أشعة الـ UV الغير موجود في طيف الشمس، والتي قد تؤدي إلى مشاكل عينية كالتهابات القرنية والملتحمة.

The average of the ultraviolet rays rises when climbing to high mountains, where they are reflected strongly on the snow, so plastic eyeglasses should be used to protect the eye.

The light of the welding produces some UV rays, not found in the spectrum of the sun, which may lead to problems in the eye, such as corneal and conjunctivitis.

من الجدير ذكره أنه يتم الاعتماد على مصابيح خاصة لإصدار هذه الأشعة وباستطاعات مختلفة وذلك حسب الاستخدام. كما أن العديد من الليزرزات يتم إصدارها ضمن مجال الأشعة فوق البنفسجية (كما سنرى في فصل الليزر)، من أهم هذه الليزرزات ليزر الإكسايمر الشهير والمستخدم في جراحة العين أو في معالجة البشرة من خلال ما يعرف بالاستئصال الضوئي.

It's important to mention that these Radiations are induced using special lamps and with different capacities according to their use. Many Lasers are emitted in the UV range (as we will see in the LASER chapter), one of the most important types of these Lasers is the well-known Excimer Laser which is widely used in the eye surgery or skin treatment via laser ablation.

الفصل الثالث

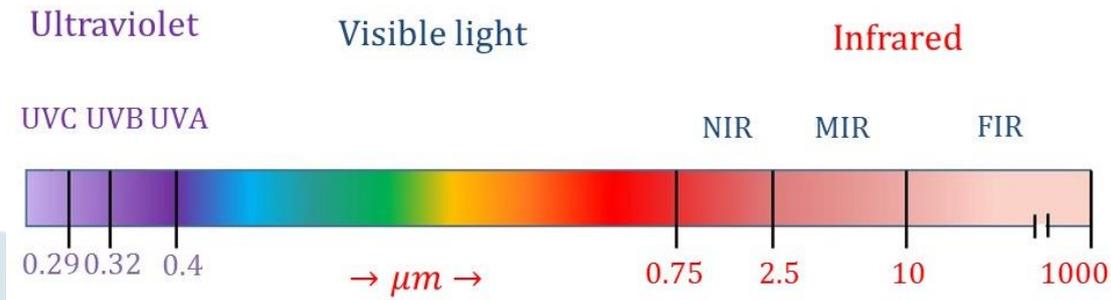
الأشعة تحت الحمراء وتطبيقاتها الطبية

The Infrared Rays (IR) & medical applications

تعتبر الأشعة تحت الحمراء جزء مهم من الطيف الكهرومغناطيسي للضوء إذ أن الطاقة الشمسية الواصلة إلى الأرض تكون على هيئة أشعة تحت حمراء وأشعة مرئية ثم النسبة الأقل فهي للأشعة فوق البنفسجية.

تمتاز هذه الأشعة بأطوال موجية كبيرة مقارنةً بالأطوال الموجية للأشعة المرئية ($400nm, 775nm$)، وبالتالي تواترات أقل من تواترات الأشعة المرئية مما يعني طاقات أقل من طاقة الأشعة المرئية. يمكن تقسيم هذه الأشعة إلى ثلاثة أقسام رئيسية (الشكل 1.3):

الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، الأشعة تحت الحمراء المتوسطة (MIR) والأشعة تحت الحمراء البعيدة (FIR).



الشكل 1.3: مجالات الأشعة تحت الحمراء ضمن الطيف الكهرومغناطيسي للشمس.

الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR): ($0.75\mu m, 2.5\mu m$) مجال قريب من الطيف المرئي ويستخدم على نطاق واسع في مجالات الاتصالات والتصوير الليلي (مناظير الرؤية الليلية وكاميرات المراقبة الأمنية). ينفذ القسم الأعظم من الأشعة القريبة عبر طبقات الغلاف الجوي للأرض.

Near Infrared Rays (NIR): ($0.75\mu m, 2.5\mu m$) A range close to the visible spectrum and used widely in communications and night imaging (night vision and security cameras). Most of the near rays (NIR) can penetrate through the earth atmosphere.

الأشعة تحت الحمراء المتوسطة (MIR): ($2.5\mu m, 10\mu m$) تصدر الأجسام شديدة الحرارة إشعاعها بقوة في هذا المجال، كما أن جلد الإنسان يصدر وفي درجات الحرارة العادية الإشعاع بقوة عند الأطوال الموجية المنخفضة في هذا المجال.

Middle Infrared Rays (MIR): ($2.5\mu m, 10\mu m$) High-temperature objects emit strong radiation in this range, as well as human skin emits at normal temperatures the radiation strongly at low wavelengths in this range.

الأشعة تحت الحمراء البعيدة (FIR): ($10\mu m, 1000\mu m = 1mm$) يمتد هذا المجال في الواقع حتى حوالي $200\mu m$ وذلك بفعل امتصاص الغلاف الجوي لهذه الأشعة، في حين أنه من الممكن أن تنفذ الإشعاعات الأطول والتي تقع ضمن المجال ($200\mu m, 1mm$) من الغلاف الجوي مشكلاً نوافذ للأشعة تحت الحمراء. تعتبر هذه المجالات (النوافذ) هامة في مجال الفيزياء الفلكية إذ توجد تلسكوبات خاصة

تعتمد على هذه الأطوال الموجية تدعى sub-millimeters telescopes، بالإضافة إلى أمواج التيراهرتز (Terahertz) الواقعة في نهاية هذا المجال والمستخدم بكثرة في المطارات والمرافق الأمنية.

Far Infrared Rays (FIR): $10\mu\text{m}, 1000\mu\text{m} = 1\text{mm}$ This range actually extends up to about $200\mu\text{m}$ due to the atmospheric absorption of these rays, while it is possible to implement the longest radiations ($200\mu\text{m} - 1\text{mm}$) through the atmosphere causing windows for the IR rays. These ranges are important in the field of astrophysics because there are special telescopes based on these wavelengths called sub-millimeters telescopes, in addition to the Terahertz at the end of this range which is used strongly in airports and security areas.

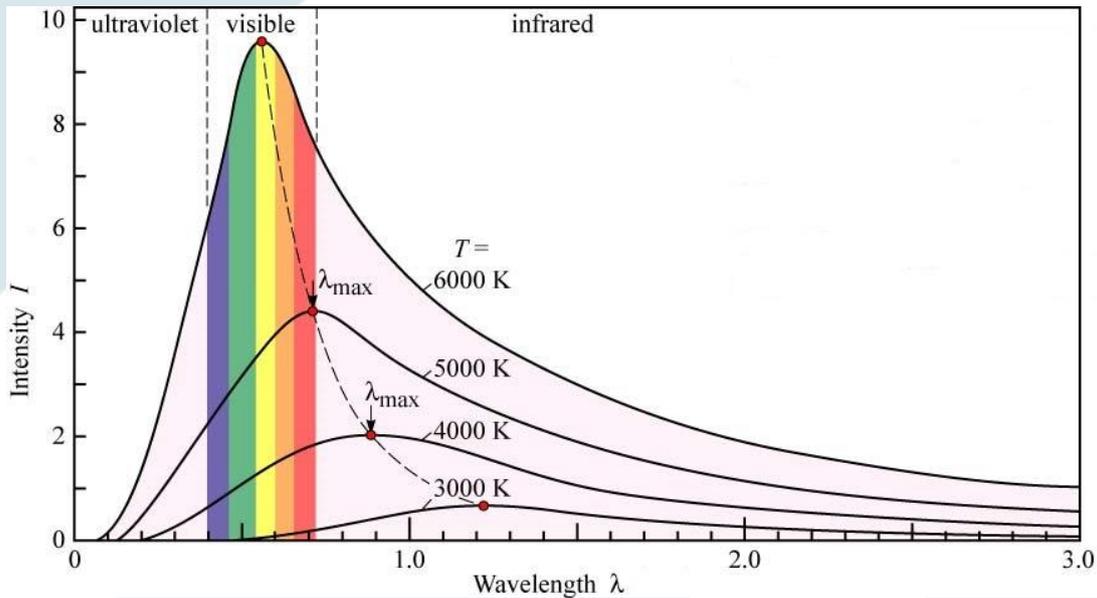
الجسم الأسود (Black body):

يعرف الجسم الأسود على أنه جسم مثالي يمتص كل الإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط عليه بكل الأطوال الموجية والتواترات، كما أنه يشع حرارياً في كل الأطوال الموجية وفي كل الاتجاهات.

عند رسم تغيرات شدة الإشعاع الصادر عن الجسم الأسود (الطاقة الصادرة عن واحدة السطح في واحدة الطول الموجي في واحدة الزمن) بتابعية الطول الموجي أو التواتر، فإننا نحصل على منحنى بياني شهير يدعى تابع إشعاع الجسم الأسود (تابع أو منحنى بلانك) (الشكل 2.3).

A black body is defined as a perfect body absorbs all electromagnetic radiation falling on it at all wavelengths and frequencies, and it radiates thermally at all wavelengths and in all directions.

When drawing the changes of the radiation's intensity emitted from the black body (the energy produced by unit surface at unit length at unit of time), as function of the wavelength or frequency, we get a famous diagram called the function of the black body's radiation (Planck's curve or function).



الشكل 2.3: تابع بلانك لإشعاع الجسم الأسود.

نلاحظ من الشكل السابق أنه عند ازدياد درجة حرارة الجسم الأسود تنزاح القمم باتجاه الأطوال الموجية الأقصر. إذاً هناك صلة قوية بين تغيرات هذا التابع ودرجة الحرارة.

We see from the previous figure that when the black-body temperature increases, the maximums move towards shorter wavelengths. There is a strong relation between the changes of this function and the temperature.

هناك مجموعة من القوانين التي تصف إشعاع الجسم الأسود، من أهمها: قانون ستيفان-بولتزمان في الإشعاع: وينص على أن الطاقة الصادرة عن واحدة السطح في الجسم الأسود تتناسب مع الأس الرابع لدرجة حرارة هذا الجسم.

$$E(\text{watt}/m^2) = \sigma T^4$$

حيث $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ watt} \cdot K^{-4} \cdot m^2$ هو ثابت ستيفان-بولتزمان.

قانون فين في الانزياح: عند ارتفاع درجة حرارة الجسم الأسود فإن الطول الموجي الأعظمي لتابع تغير شدة إشعاع الجسم الأسود ينزاح نحو الأطوال الموجية القصيرة.

$$\lambda_{max} \cdot T = 2.89 \times 10^{-3} m \cdot K$$

There are many laws that describe the radiation of the black-body, the most important are:

The Stefan-Boltzmann law in radiation states that the power radiated from unit surface in a black body is proportional to the fourth power of this black body's temperature.

$$E(\text{watt}/m^2) = \sigma T^4$$

Where $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ watt} \cdot K^{-4} \cdot m^2$, refers to the Stefan-Boltzmann constant.

Wien's displacement law: As the temperature of the black body increases, the wavelength of this black body radiation curve shifts towards short wavelengths.

آليات فقدان الحرارة:

من المعلوم أنه وبالرغم من محافظة جسم الإنسان على متوسط درجة حرارة قدره $37^\circ C$ في الحالة الطبيعية، فإنه غير معزول بشكل تام، إذ أنه يتبادل الحرارة مع الوسط الخارجي المحيط عن طريق الجلد بشكل أساسي. هناك أربع آليات لحدوث ذلك وهي: الإشعاع والنقل والحمل الحراري بالإضافة إلى التبخر.

It is known that although the human body maintains an average temperature of 37°C in normal state, it is not completely insulated, as it exchanges heat with the external environment surrounding through the skin mainly. There are four mechanisms for this: radiation, conduction (transfer), convection and evaporation.

1. الإشعاع (Radiation):

من المعلوم أن الشمس ترسل الطاقة الناتجة عن سلاسل الاندماج النووي، عن طريق الإشعاع، على شكل أمواج كهرومغناطيسية في الخلاء، تماماً مثل الضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية المدروسين في الفصلين السابقين. بينت الدراسات والتجارب أن الجسم البشري يصدر ويشع الطاقة على شكل إشعاع حراري (كهربي) في مجال الأطوال الموجية الأكبر من الضوء المرئي، أي في مجال الأشعة تحت الحمراء IR.

It is known that the sun sends energy from nuclear fusion reactions, through radiation, in the form of electromagnetic waves in the vacuum, just like visible light and ultraviolet light studied in the previous two chapters. Studies and experiments have shown that the human body emits and radiates energy in the form of thermal radiation in the range of wavelengths greater than visible light, which is in infrared range.

تدعى كمية الإشعاع الحراري الصادر عن جسم الإنسان بالتيار الحراري الإشعاعي ويعطى بالعلاقة التالية:

$$q = Ae\sigma T^4$$

حيث A هي مساحة السطح المشع، T درجة حرارة هذا السطح، σ ثابت بولتزمان، و e هي مقدار يتعلق بطبيعة السطح المصدر للحرارة وتدعى بالإصدارية، وهي عبارة عن نسبة الإشعاع الصادر عن سطح معين إلى الإشعاع الصادر عن نفس مساحة سطح جسم أسود مثالي وفي نفس درجة الحرارة، حيث تتراوح قيمتها بين 0 و 1.

The amount of thermal radiation produced by the human body is called the radiational thermal current, and is given via the following relation:

$$q = Ae\sigma T^4$$

Where A is the area of the radiated surface, T is its temperature, σ is Stefan-Boltzmann constant and e is an amount related to the nature of this body and called emission factor, this is the ratio of radiation from a given surface to radiation from the same surface area of an ideal black body and at the same temperature. Its value is from 0 to 1.

بالإضافة إلى أن جسم الإنسان يشع طاقة حرارية فإن الوسط المحيط به يشع طاقة حرارية أيضاً، يمتص جسم الإنسان قسم منها، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$q = Ae\sigma T'^4$$

وبالتالي فإن صافي ما يشعه جسم الإنسان ذو درجة الحرارة T في وسط محيط به درجة حرارته T' يعطى بالعلاقة التالية:

$$q = Ae\sigma(T^4 - T'^4)$$

يعتمد هذا الإشعاع الحراري على فرق درجتي حرارة الجسم والوسط المحيط.

In addition to the fact that human body radiates thermal energy, the surrounding environment radiates thermal energy as well, so the human body absorbs a section of it, and it is given via the following relation:

$$q = Ae\sigma T'^4$$

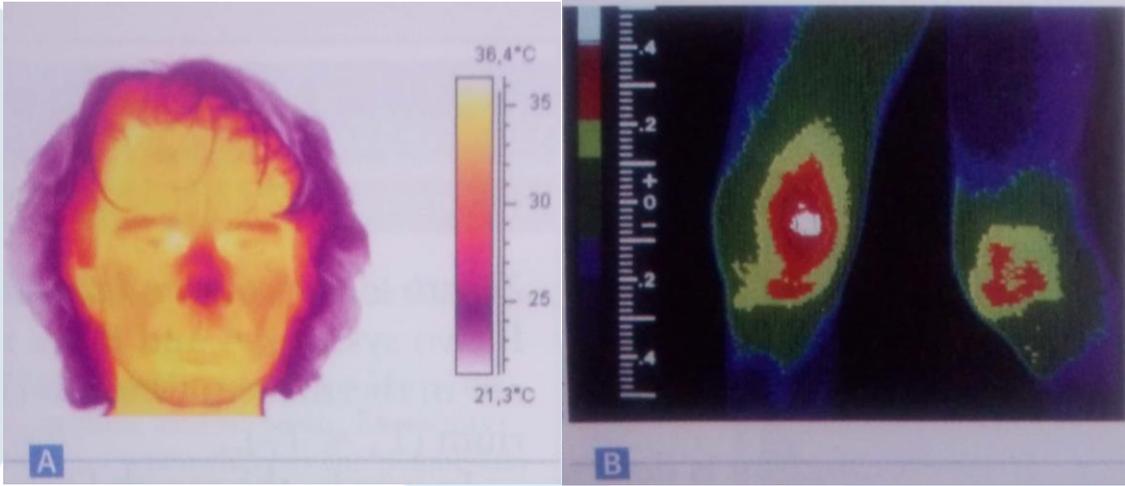
And thus, the radiation of the human body with temperature T in an environment with temperature T' is given via the following relation:

$$q = Ae\sigma(T^4 - T'^4)$$

This thermal radiation depends on the temperature difference of the body and the surrounding medium.

يمكن تشبيهه جسم الإنسان على أنه تقريباً جسم أسود، وأنه يشع في مجال الأشعة تحت الحمراء (الشكل 3.3) ويمتلك معامل إصدارية يقدر بحوالي $e = 0.98$ لمختلف ألوان البشرة ولذلك يدعى بالجسم الرمادي. بالإضافة إلى أن الطول الموجي الأعظمي لتابع إشعاع جسم الإنسان يبلغ تقريباً حوالي $\lambda_{max} = 9.6\mu m$.

The human body can be considered to be almost a black body, it radiates in infrared and has an emission factor of about $e = 0.98$ for various skin colors. In addition, and thus it's called gray body. The maximum wavelength of human body radiation is $\lambda_{max} = 9.6\mu m$.



الشكل 3.3: صورة حرارية للأشعة تحت الحمراء الصادرة عن الوجه (A) والقدمين (B).

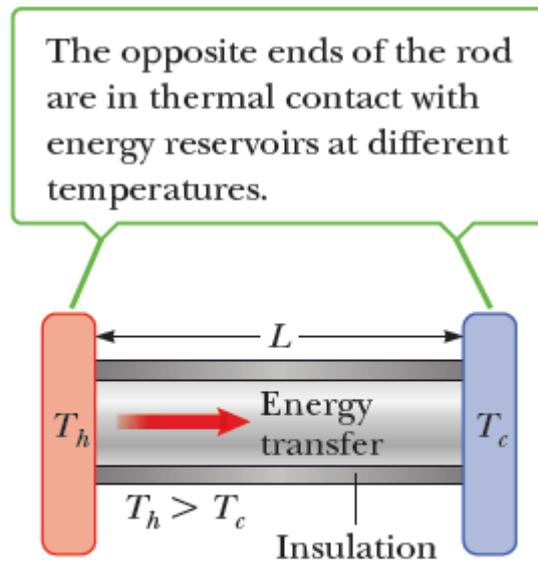
عند وضع حاضنة طفل بالقرب من أحد النوافذ فإنها تخسر قسم من حرارتها (حرارة الجدران) بفعل إشعاع حراري من الحاضنة باتجاه النافذة، مما يؤدي إلى فقدان الرضيع للحرارة بفعل إشعاعه نحو جدران الحاضنة. ولذلك يتم وصل مقياس خاص بقياس درجة حرارة جسم الرضيع، حيث يقوم هذا المقياس بتعديل درجة الحرارة بشكل دائم بالإضافة إلى وجوب وضع الحاضنة في مكان دافئ بعيد عن النوافذ.

When a child incubator is placed near a window, it loses a part of its temperature (wall's heat) by heat radiation from the incubator towards the window, causing the baby to lose heat by radiating heat to the incubator walls. Therefore, a special thermometer is placed on the baby's body to measure its temperature. This device will permanently adjust the temperature inside the incubator, and the incubator should be placed in a warm place away from the windows.

2. النقل (Transport):

هي طريقة من طرق انتقال الحرارة عبر الأجسام، حيث يكون الانتقال من المناطق ذات درجات الحرارة الأعلى إلى المناطق ذات درجات الحرارة المنخفضة، حتى يتحقق التوازن الحراري. هناك آليات عديدة لحصول النقل الحراري، من بينها ما يعرف بالنقل بواسطة التماس المرن كما هي الحالة في الموائع (السوائل والغازات)، أو بواسطة الإلكترونات الحرة في الأجسام الصلبة حيث أن انتقال الحرارة يكون فقط بواسطة هذه الآلية (الشكل 4.3).

Is a method of heat transport (or heat transfer) across objects, where the transition from areas with higher temperatures to areas with low temperatures, until the thermal balance is reached. There are many mechanisms for achieving thermal transport, including what is known as flexible transport, such as in fluids (gases and liquids), or by free electrons in solid objects where heat transfer is only through this mechanism.



الشكل 4.3: تبادل الحرارة عن طريق النقل الحراري من المناطق الحرارة T_h إلى المناطق الباردة T_c .

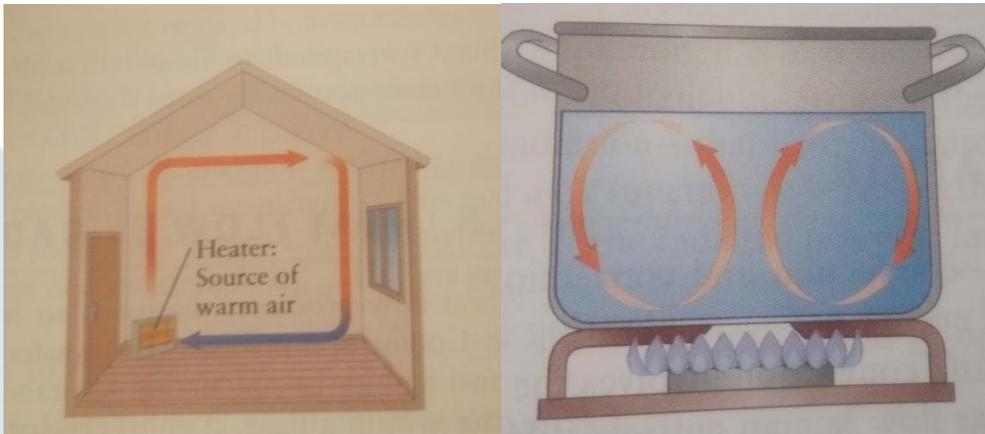
يتعلق تبادل الحرارة بين جسم الإنسان والأوساط المحيطة بوضعية هذا الجسم، فعند وقوف الإنسان يكون معدل انتقال الطاقة الحرارية مهملاً بسبب انخفاض مساحة التماس (القدمين) بين الأرض وجسم الإنسان، ولذلك ينبغي تقليل مساحة منطقة التلامس ما بين الأرض والأسرة واستخدام حوامل رديئة النقل الحراري (خشب أو بلاستيك).

The exchange of heat between the human body and the surrounding environment is connected to the position of the body. When the person is standing, the rate of heat transfer is negligible because of the low area of

the contact area between the ground and the human body. Therefore, the area of contact between the earth and the beds should be reduced.

الحمل الحراري (Convection)

يعرف الحمل الحراري على أنه طريقة من طرق انتقال الطاقة الحرارية عبر الموائع عندما يكون هناك اختلاف في الكثافات بفعل اختلاف درجة الحرارة، إذ أن السائل أو الهواء الساخن يمتلك كثافة أقل من السائل أو الهواء البارد وبالتالي يكون أخف منه مما يعني أنه سيصعد نحو الأعلى وهو ما يعرف بالحمل الطبيعي (الشكل 5.3)، وهناك ما يعرف بالحمل القسري حيث أن انتقال الحرارة يكون بفعل مؤثر محرض خارجي (تدفئة مركزية أو مروحة الكومبيوتر) يقوم بنقل الهواء الساخن نحو الخارج وإدخال الهواء البارد على شكل تيارات حمل هوائية. يخسر جسم الإنسان قسم من حرارته عن طريق الحمل الحراري بين الرئتين الدافئتين والهواء المستنشق البارد.



الشكل 5.3: تبادل الحرارة عن طريق الحمل الحراري حيث يرتفع الهواء (أو السائل) الساخن نحو الأعلى في حين ينخفض الهواء (أو السائل) البارد نحو الأسفل.

Convection is defined as a method of thermal energy transmission through fluids when there is a difference in densities due to different temperature, as the hot liquid or hot air has a lower density of the cold liquid or cold air and therefore lighter than it, which means it will go up which is known as normal convection, there is also what is called forced convection where the heat transfer is caused by an externally induced effect (central heating or computer fan) that moves hot air outwards and enters cold air in the form of air currents.

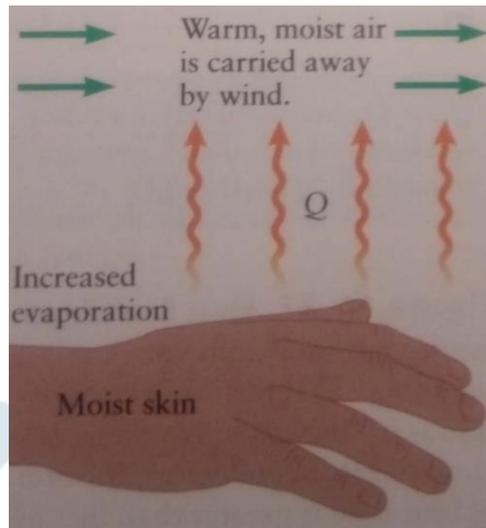
The human body loses a part of its temperature by convection between warm lungs and cold inhaled air.

3. التبخر (Evaporation):

بفضل آلية التبخر فإن جسم الإنسان قادر على المحافظة على درجة حرارته الداخلية (حوالي 37°)، وذلك عن طريق الغدد العرقية التي تقوم بتفريغ هذه الطاقة العالية بفعل إنجاز مجهود كبير أو بفعل درجة حرارة الوسط المرتفعة (في فصل الصيف مثلاً) (الشكل 6.3).

Due to the evaporation mechanism, the human body is able to maintain its internal temperature (about 37°), through the sweat glands that discharge this high energy caused by a great effort or by the high temperature of the medium (for example in the summer).

الهدف من ذلك هو الحفاظ على بنية وقوام المواد العضوية ضمن جسم الإنسان وخصوصاً البروتينات التي تعتبر حساسة جداً لارتفاع درجة الحرارة. تعتبر الغدة النخامية في جسم الإنسان المسؤولة عن التحكم بدرجة حرارة جسم الإنسان عن طريق إرسال أوامر إلى الغدد العرقية لتبخير الحرارة العالية.



الشكل 6.3: تبادل الحرارة بواسطة التبخر عن طريق الجلد.

تتوسع الأوعية الدموية في الصيف أو عند بذل مجهود كبير مما يؤدي إلى ازدياد معدل جريان الدم وبالتالي انتقال الحرارة الداخلية نحو الخارج مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الجلد (نقل حراري)، وبالعكس فإنه في فصل الشتاء يقوم الجسم بالمحافظة على درجة الحرارة الداخلية عن طريق تضيق الأوعية الدموية وبالتالي تخفيض كمية الطاقة الحرارية المنقولة نحو الخارج.

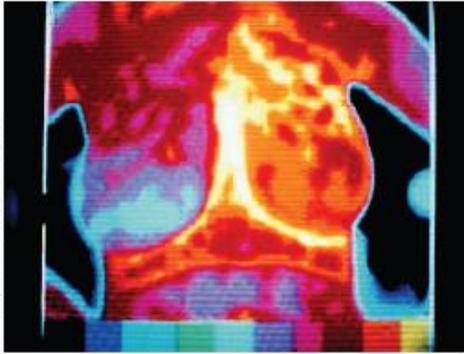
The Purpose is to maintain the structure of organic matter within the human body, especially proteins that are very sensitive to high temperature. The pituitary gland in the human body is responsible for controlling the temperature of the human body by sending orders to the sweat glands to evaporate the high temperature.

The blood vessels expand in the summer or when a great effort is done, which leads to an increase in the rate of blood flow and thus the internal heat transfers to the outside, which leads to temperature increase of the skin (thermal transfer), and vice

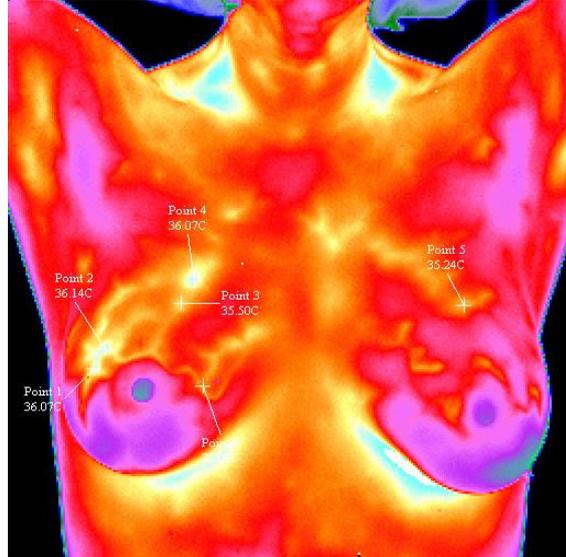
versa in winter the body maintains the internal temperature by narrowing the blood vessels, thus reducing the amount of heat energy transferred outwards.

التصوير الحراري (Thermography):

تعتمد هذه التقنية في التصوير الطبي على مبدأ أن الأجسام تصدر الأشعة تحت الحمراء ذات الأطوال الموجية الأكبر من الضوء المرئي. وبالتالي فإنه استناداً إلى قانون فين في الانزياح (علاقة بين الطول الموجي ودرجة الحرارة) فإنه من الممكن قياس درجة حرارة سطح ما بالاعتماد على قياس الطول الموجي الأعظمي الموافق للإشعاع الحراري الصادر عن الجسم، مما يعني بالمحصلة الحصول على صورة تعطي التغيرات في توزيع درجات حرارة هذا الجسم، حيث تشير التباينات في درجات الحرارة إلى اختلاف معدل تدفق الدم إلى هذه المناطق مما يعني شذوذ في العمليات الاستقلابية وبالتالي احتمال وجود مشكلة ما.



Thermogram of a woman's breasts. Her left breast is diseased (red and orange) and her right breast (blue) is healthy.



الشكل 7.3: صورة حرارية بالأشعة تحت الحمراء لمريضة سرطان في الثدي.

This technique in the medical imaging is based on the principle that objects emit infrared rays with larger wavelengths than visible light. Thus, according to Wien's law of displacement (a relation between wavelength and temperature), it is possible to measure the temperature of a surface based on the measurement of the maximum wavelength corresponding to the thermal radiation from the body, which means that the result is a picture that gives changes in the temperature distribution of this body, Where temperature variations indicate a difference in blood flow to these areas, which means an abnormality in metabolic processes and thus the possibility of having a problem.

لوحظ في عام 1956 أن مناطق الأورام السرطانية في الثدي تمتلك درجات حرارة عالية تصل حتى 36°C مقارنةً بالنسج المحيطة والسليمة وذلك بفعل سرعة تكاثرها (معدل الاستقلاب عالي جداً)، ولذلك يستخدم التصوير الحراري في المجال الطبي للكشف عن سرطان الثدي لدى

السيدات (الشكل 7.3)، حيث يتم قياس درجة حرارة معظم مناطق الثديين (بالاعتماد على قانون فين في الانزياح) ومن ثم يتم قياس التباينات في درجات الحرارة بواسطة برامج حاسوبية خاصة.

بالإضافة إلى ذلك يستخدم التصوير الحراري في الكشف عن التهابات المفاصل وبعض المشاكل في الدورة الدموية.

It was noticed in 1956 that breast tumors in the breast have high temperatures up to 36°C compared with surrounding and healthy tissues due to their rapid reproduction rate (the metabolic rate is very high). Therefore, thermal imaging (Thermography) in the medical field is used to detect breast cancer by women, the temperature of most areas of the breasts is measured (via Wien's law of displacement) and temperature variations are measured by special software.

In addition, thermal imaging is used to detect Arthritis and some problems in the blood circulation.

الفصل الرابع

الأشعة السينية وتطبيقاتها الطبية

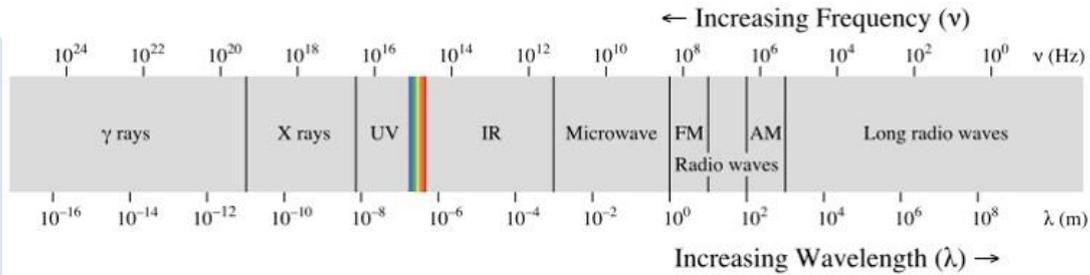
The X- Rays & medical applications

يعود الفضل في اكتشاف هذه الأشعة عام 1895 إلى الفيزيائي الألماني وليام رونتجن (Wilhelm Röntgen)، حيث منح بذلك جائزة نوبل في الفيزياء عام 1901.

لاحظ رونتجن أنه عند استخدام أنبوب مفرغ من الهواء ويحوي بداخله مصعد ومهبط كهربائيين فإنه عند تطبيق فرق جهد عالي بين اللبوسين تكتسب الإلكترونات طاقة حركية كبيرة جداً بحيث أنها تصدر وميض قوي عند سقوطها على سطح داخل الأنبوب. لاحقاً اكتشف رونتجن وبطريق الصدفة قدرة هذه الأشعة عندما وضع يد زوجته بين هذه الأنبوبة وشفيرة فوسفورية، حيث لاحظ تشكل صورة لعظام يدها، وكانت تلك أول صورة شعاعية لجسم الإنسان، أطلق عليها في بادئ الأمر أشعة X لأنها كانت مجهولة.

خواص الأشعة السينية (X-ray properties):

تعرف الأشعة السينية بأنها أمواج كهرومغناطيسية تشكل جزء من الطيف الكهرومغناطيسي للضوء (الشكل 1.4)، تمتلك أطوال موجية صغيرة جداً (0.01nm, 10nm) مقارنةً بالضوء المرئي، ولكن تمتاز فوتوناتهما بطاقة عالية تتراوح ما بين (10² eV, 10⁵ eV).



الشكل 1.4: الأشعة السينية (X-rays) ضمن الطيف الكهرومغناطيسي للضوء.

تمتلك هذه الأشعة القدرة على النفاذ من الجسم البشري، وتزداد نفوذيتها بازدياد قيمة الكمون المستخدم في توليدها.

X-rays are known as electromagnetic waves that form part of the electromagnetic spectrum of light. They have very small wavelengths (0.01nm – 10nm) compared to visible light, but their photons have high energy (10²eV – 10⁵eV). These rays have the ability to penetrate from the human body, and their permeability increases as the value of voltage used to generate them increases.

عند عبور الأشعة السينية جسم الإنسان فإنها تتخامد، بمعنى أنه يتم امتصاص قسم منها في جسم الإنسان بطرق مختلفة تتعلق بطاقتها. ففي حالة الطاقات المرتفعة تتحول معظم طاقة الفوتونات إلى الالكترتون ونظيره (البوزيترون)، وفي حالة الطاقات المتوسطة يتشتت الفوتون الوارد

بفعل اصطدامه بأحد الإلكترونات مما يؤدي إلى انخفاض طاقة هذا الفوتون (مفعول كومبتون)، وأما في حالة الطاقات المنخفضة فإنه يتم فقدان الطاقة بفعل المفعول الكهروضوئي حيث يتم إعطاؤها للإلكترون على شكل طاقة حركية كي يغادر موقعه في الذرة.

When the x-ray crosses the human body, it damps, in the sense that a part of it is absorbed in the human body in different ways related to its energy. In the case of high energies, most of the energy of the photons is converted into the electron and its antiparticle (positron). In the case of middle energies, the incoming photon is dispersed by colliding with an electron, which leads to a decrease in the energy of this photon (Compton effect). But in the case of low energies, where it is given to the electron in the form of kinetic energy to leave its position in the atom.

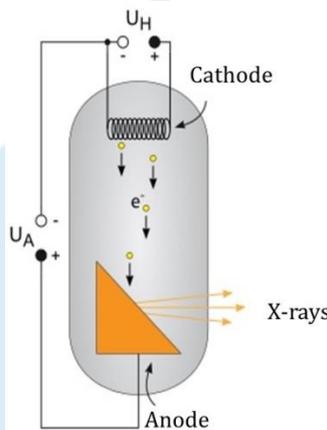
بالمحصلة فإنه يتولد إشعاع ثانوي يصدر عن جسم الإنسان وينتشر في الفراغ، قسم منه يسقط على فلم التصوير مسبباً تشويش في الصورة الملتقطة للجسم ولكن يمكن وباستخدام ما يعرف بالشبكة المضادة للانتثار التقليل من شدته وبالتالي تأثيره على جودة الصورة الملتقطة. بالإضافة إلى ذلك فإن طول المسافة التي تقطعها هذه الأشعة يؤدي إلى زيادة نسبة تخامدها، وكل ذلك مرتبط بمدى كثافة الوسط الذي تعبره وبالطاقة الابتدائية لهذه الأشعة.

As a result, it generates a secondary radiation from the human body and spreads in the vacuum, part of which falls on the film causing distortion in the image taken to the body but can be using the so-called anti-scattering network reduce its intensity and thus its influence on the quality of the image. In addition, the length of the distance traveled by these rays leads to an increase in its damping, all related to the intensity of the medium and the primary energy of the radiation.

من الصفات المميزة لهذه الأشعة أنها تنتشر وفق خطوط مستقيمة مسببةً تأين الوسط الذي تعبره ولذلك يمكن الاستفادة من هذه الخاصية في تحديد نسبة الإشعاع المستخدم بواسطة ما يعرف بحجرة التأين.

One of the characteristics of these rays is that it spread in straight lines causing ionization of the medium it crosses, and therefore can be used to determine the amount of radiation used by the so-called ionization chamber.

توليد الأشعة السينية (Generating of X-rays):



الشكل 2.4: آلية توليد الأشعة السينية.

يتم توليد الأشعة السينية بواسطة ما يعرف بصمام أو أنبوب الأشعة السينية (الشكل 2.4)، هو عبارة عن أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء يحوي على مهبط Cathode سالب وهو عادةً عبارة عن سلك معدني مثل التنغستن، حيث يؤدي تطبيق فرق جهد بين طرفيه إلى تسخينه وبالتالي تتحرر الإلكترونات من المهبط، ومن ثم يتم تسريع هذه الإلكترونات بواسطة فرق جهد عالي مطبق بين طرفي الصمام، ومن ثم توجيهها باتجاه المصعد Anode الموجب الشحنة مما يؤدي إلى انكباح حزمة الإلكترونات وبالتالي تتحول إلى الأشعة السينية مع كمية عالية جداً من الحرارة، ولذلك يتم تبريد المصعد بشكل دائم بغية المحافظة على جودته.

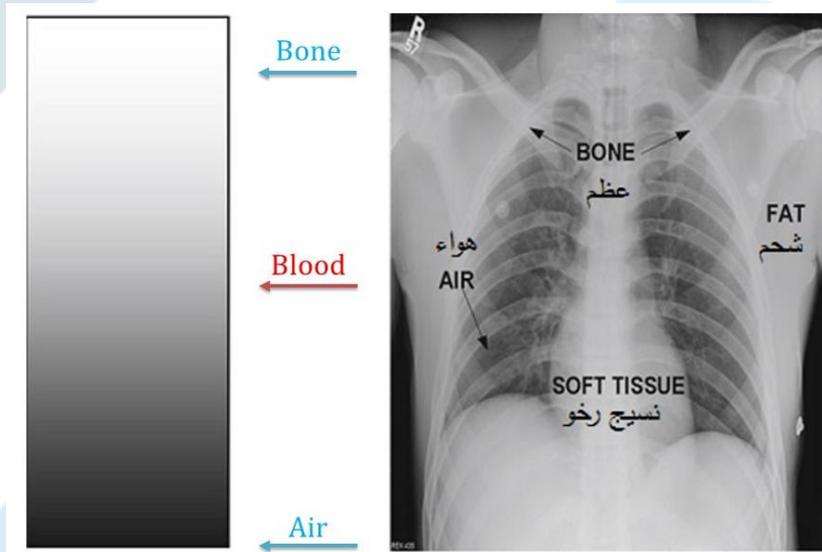
X-rays are generated by the so-called X-ray tube, an evacuant glass tube of air containing a negative Cathode, usually a metal wire such as tungsten, where it will be heated by applying voltage between its two ends and the electrons are released from the cathode, these electrons are accelerated by a high voltage between the two ends of the tube, and then directed towards the positive Anode. This causes the electron rays to be slowed down and thus converted to X-rays with a very high amount of heat. Therefore, the Anode is permanently cooled to maintain its quality.

التصوير الشعاعي باستخدام الأشعة السينية (Radiography with X-rays):

1. التصوير الشعاعي العادي (Normal Radiography)

تعتبر هذه التقنية، وبالرغم من بساطتها وقدمها، من أكثر الطرق المستخدمة حتى الآن في التصوير الشعاعي وتشخيص حالات الكسور والرضوض العظمية، حيث أن الأشعة السينية الصادرة تعبر جسد المريض (العضو المدروس) ومن ثم فإن القسم النافذ منها يصل إلى الفلم الضوئي أو إلى شاشة متفلورة مشكّلة صورة للعضو.

This technique, despite its simplicity and old, is one of the most widely used methods of radiography and diagnosis of fractures and bone trauma. The x-ray crosses the patient's body (the studied organ), and then the penetrated part of these rays reaches the film or a fluoridated screen, forming an image of the organ.



الشكل 3.4: تباين مناطق الجسم المختلفة في الصورة الشعاعية.

تمتاز هذه الصور الشعاعية بتباين واضح يظهر عند تصوير منطقة مختلفة الكثافات، فعند تصوير يد أو رجل تظهر العظام بلون أبيض واضح مقارنةً بالمناطق المجاورة، وذلك بسبب كثافة العظام العالية وبالتالي امتصاصها الكلي للأشعة ومنعها من الوصول إلى الفلم، وهو ما يفسر اللون الأبيض للعظام في الصورة. أما بالنسبة للمناطق المجاورة فهي ذات بنية رخوة مقارنةً بالعظام، مما يعني تفاوت نسبة امتصاصها للأشعة ما بين متوسط (كالدهن والجلد)، التي يظهر لونها رمادي في الصورة، وصولاً إلى الهواء الذي لا يمتص شيء من هذه الأشعة وبالتالي تصل الأشعة بشدتها الابتدائية إلى الفلم مسببةً اسوداد هذه المنطقة (الشكل 3.4).



الشكل 4.4: التصوير الشعاعي العادي.

These images are characterized by a marked contrast in the imaging of a different area of densities. When a hand or a leg is photographed, the bones appear in a clear white color compared to the surrounding areas because of the high bone density and therefore the total absorption of the radiation and preventing it from reaching the film. This explains the white color of the bones in the picture. As for the neighboring areas, they have a soft structure compared to the bones, which means that the average of radiation's absorption varies between middle (for fat and skin), which appears gray in the picture, to the air, which absorbs nothing of these rays and thus reach the radiation with its primary intensity the film causing the blackening of this area.

يتألف جهاز التصوير من منصة أفقية (على شكل طاولة) أو شاقوليته يتم وضع فلم التصوير بداخلها والذي يكون بدوره على تماس مع الشبكة المضادة للانتثار (الشكل 4.4). حسب العضو المدروس وحسب الحالة الصحية للمريض يتم تصوير المريض بحيث يكون إما مستلقياً أو واقفاً ما بين مصدر الأشعة وفلم التصوير الضوئي.

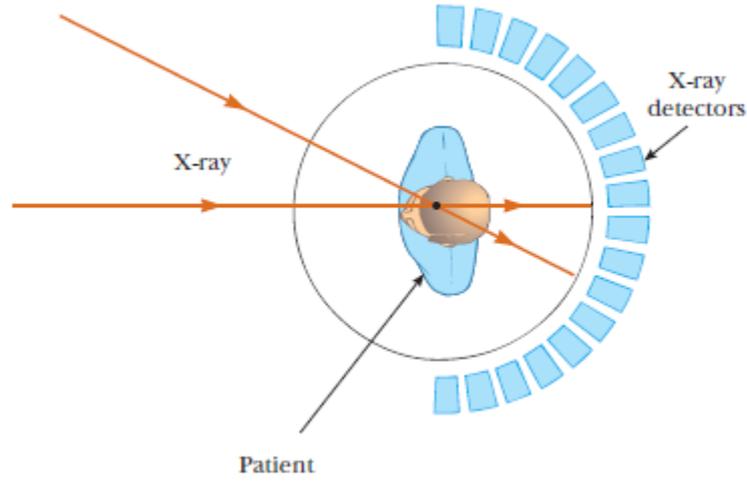
2. التصوير المقطعي المحوري (Computerized Axial Tomography, CAT)

تعتمد هذه الطريقة في التصوير الشعاعي على الأشعة السينية أيضاً وتمتاز بقدرتها على تشكيل صور ثلاثية الأبعاد للعضو المدروس.

This method of radiography is based on X-rays as well and has the ability to form three-dimensional images of the studied organ.

يمتاز الجهاز المستخدم بوجود حلقة كبيرة تحيط بالطاولة التي يتم وضع المريض عليها وهو مستلقي. داخل هذه الحلقة الكبيرة يوجد منبع للأشعة السينية والذي يتم توجيهه باتجاه العضو المراد تصويره (الشكل 5.4)، وبالتالي فإن الأشعة تعبر جسد المريض وتنفذ إلى الجهة المقابلة من الحلقة حيث يوجد كاشف خاص باستقبال الأشعة السينية وتشكيل صورة أولى للعضو.

The used device has a large ring surrounding the table that the patient is lying on. Inside this large ring there is an X-ray source that is directed towards the organ to be photographed, so the rays pass the body of the patient and implemented to the opposite side of the ring where there is a detector to receive X-rays and form a first image of the organ.



الشكل 5.4: جهاز التصوير المقطعي المحوري (CAT).

ثم يتم بعد ذلك تدوير الحلقة (المنبع المصدر للأشعة السينية والكاشف) بزاوية معينة ولتكن 1° وحتى 180° ، وبالتالي يتم تصوير العضو بشكل دائم والحصول على عدد كبير من الصور تدعى بالمقاطع، يتولى جهاز كومبيوتر مزود ببرمجيات خاصة معالجة هذه الصور. بما أن الصور (المقاطع) تؤخذ بالنسبة لجسم الإنسان (محور الدوران) الثابت، تدعى هذه التقنية بالتصوير المقطعي المحوري أو الطبقي المحوري المحوسب.

The ring is then rotated at a certain angle and can be 1° to 180° . Thus, the organ is permanently photographed and a large number of images called sections are acquired. A computer with special software handles these images. Since the images (sections) are taken for the fixed human body (axis of rotation), this technique is called Computerized Axial Tomography (CAT).

تصوير الأشعة السينية للأسنان:

يوجد لدينا في مجال طب الأسنان العديد من تقنيات التصوير بواسطة الأشعة السينية، ابتداءً من الصورة الشعاعية البسيطة مروراً بصورة البانوراما وتصوير مجاورات قمة الاسنان وتصوير الإطباق، وصولاً إلى صورة الطبقي المحوري الخاص بالأسنان. يمكن بواسطة هذه التقنيات المختلفة متابعة صحة الفم من خلال إلقاء نظرة على التجاويف العظمية ضمن الأسنان، كشف التسوس، كشف كسور الفكين والآفات السرطانية، بالإضافة إلى وضع الخطة العلاجية للفم.

1. الأشعة البسيطة:

يتم في هذه الطريقة تصوير عدد محدود من الأسنان (سن واحد أو أكثر) بحيث لا تشمل الصورة مناطق واسعة محيطة بالأسنان المصورة. يوجد هناك أنواع حديثة من أجهزة التصوير بالأشعة البسيطة والتي تتيح إمكانية الحصول على صورة بدقة أعلى وعلى شاشة الكومبيوتر وبسرعة كبيرة (دون الحاجة إلى تحميص الفيلم)، حيث تكون جرعة الأشعة المعطاة أقل.



الشكل 6.4: صورة شعاعية بسيطة لعدة اسنان.

2. التصوير البانورامي:

يتم في هذه التقنية تشكيل صورة شاملة للفم تشمل أسنان الفكين ضمن الصورة الواحدة بالإضافة إلى المفصل الفكي والجيوب الأنفية وقعر العين. تعتبر هذه الصورة ضرورية جداً قبل البدء بعلاج الأسنان من أجل الحصول على تشخيص سليم وواضح لحالة الفم.



الشكل 7.4: جهاز التصوير البانورامي للفم.

3. تصوير الرأس الجانبي:

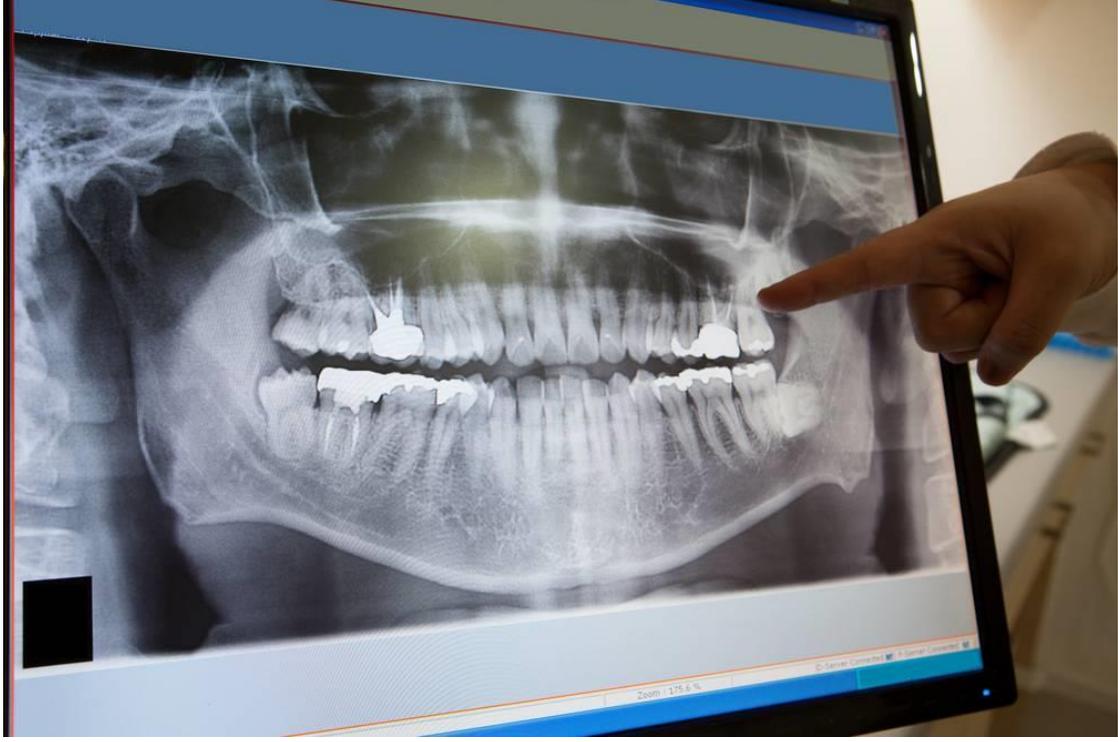
تدعى الأشعة السينية المستخدمة في هذه التقنية بالأشعة السيفالومترية، حيث يتم تشكيل صورة شعاعية للرأس في الوضع الجانبي. تعتبر هذه الصورة ضرورية قبل إجراء عملية تقويم الأسنان من أجل دراسة حالة المريض التقويمية للفم قبل البدء بالعلاج.



الشكل 8.4: صورة جانبية للرأس.

4. التقنيات الحديثة للتصوير الشعاعي للأسنان:

تعتبر هذه التقنية من أحدث تقنيات التصوير الشعاعي للفم وتدعى بالتصوير الطبقي للفكين، حيث يتم تشكيل مجموعة من الصور (مقاطع) ثنائية البعد بواسطة برمجيات متطورة تتيح للطبيب المعالج مشاهدة الفكين من كل الزوايا من خلال تدوير صورة الجسممة بواسطة برنامج خاص. تتم معالجة المقاطع ثنائية البعد للحصول على صورة ثلاثية البعد للفم. تستخدم هذه الصورة من أجل تحديد الموقع والعمق الذي ينبغي أن تصل إليه زرعة السن (دون الحاجة إلى جراحة اللثة) مع المحافظة قدر الإمكان على المناطق الحساسة كالأعصاب والجيوب الأنفية وقنوات الدم.



الشكل 9.4: تصوير طبقي للفكين.

الفصل الخامس

أمواج (أشعة) التيراهرتز وتطبيقاتها الطبية

The Terahertz waves & medical applications

تعرف أشعة التيراهرتز بأنها مجال من مجالات الطيف الكهرومغناطيسي للضوء، حيث يقع هذا المجال بين المجال تحت الأحمر البعيد *FIR* والأمواج الميكروية *microwaves* أي أنها تمتلك تواترات تتراوح ما بين 10^{12} Hz – 300GHz. وهي كلمة يونانية الأصل وتعني الوحش. حيث أنها كانت تشكل الجزء الأخفض من تواترات مجال الإشعاع تحت الأحمر البعيد قبل أن يتم توليدها صناعياً.

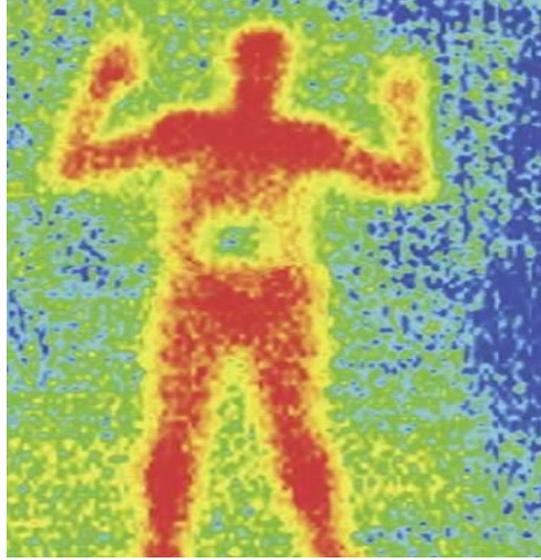
يغلب على الجزء الأقرب إلى الأمواج الميكروية أن يطلق عليه اسم الأمواج ويتم توليده بنبضات ليزيرية فائقة القصر، أما الجزء الأقرب إلى الأشعة تحت الحمراء فيغلب أن يطلق عليه إشعاع لقصر أطواله الموجية بالنسبة للجزء الآخر. تمتاز الأطوال الموجية لهذا المجال بأنها من مرتبة الملمتر ولذلك يطلق عليه أحياناً مجال الأمواج الملمترية.

خواص إشعاع التيراهرتز:

يمتاز إشعاع التيراهرتز بأنه إشعاع غير مؤين قادر على اختراق تشكيلة كبيرة من المواد غير الناقلة كالقماش والورق والكرتون والخشب ومواد البناء والبلاستيك والسيراميك، تماماً كالإشعاع الميكروموجي، مع فارق أن عمق اختراق أشعة التيراهرتز أقل منه في حالة الإشعاع الميكروموجي. يمتاز إشعاع التيراهرتز بعمق اختراق محدود في الضباب والغيوم وعدم قدرته على اختراق الماء و المعادن. يعتبر بخار الماء في الغلاف الجوي المسؤول الرئيس عن امتصاص إشعاع التيراهرتز الوارد من الشمس. تعتبر الجمادات والكائنات الحية من المنابع الطبيعية لإشعاع التيراهرتز في حين أنه من الممكن توليده باستخدام أنواع محددة من الليزر، لذلك يعتبر مفيد في التصوير على أبعاد من مرتبة $10m$.

تستخدم أشعة التيراهرتز في المراقبة، كالمسح الأمني في المطارات للكشف الخامل عن الأسلحة المخبأة (الشكل 1.5) (التصوير الخامل يتم من دون الاستعانة بمنبع خارجي وإنما بالاعتماد على الإشعاع الذاتي الذي يصدره الجسم ضمن هذا المجال).

The Terahertz radiation is characterized as non-ionizing radiation that is able to penetrate a wide variety of non-transporting materials such as cloth, paper, cardboard, wood, building materials, plastic and ceramics, just like the Microwaves, with the difference that the depth of penetration of Terahertz rays is less than in the case of Microwaves. Terahertz radiation has a limited penetration depth in fog and clouds and its inability to penetrate water and minerals



الشكل 1.5: صورة لشخص مرتد كامل ثيابه، بأموج التيراهرتز التي تصدر من جسمه وتخرق ثيابه. يبدو في الصورة حزام ناسف يخفيه أسفل ملابسه ويوقف إشعاع التيراهرتز الذي يصل إليه من الجسم فلا يبلغ (الكاميرا).

The water vapor in the atmosphere is primarily responsible for absorbing the Terahertz radiation from the sun. Inanimate objects and organisms are considered natural sources of Terahertz radiation, while it is possible to generate using specific types of lasers, so it is considered to be useful in imaging at dimensions of 10m.

Terahertz rays are used in monitoring, such as airport security checks for passive detection of hidden weapons (passive imaging is done without the use of an external source, but rather by relying on self-radiation issued by the body within this field).

التيارهرتز والبصمة الجزيئية:

تمتاز معظم الجزيئات العضوية وحتى الجزيئات الأخف، ولا سيما الكثير من الملوثات، بتواترات دوران أو اهتزاز أساسية تقع ضمن مجال التيراهرتز.

تعرف مطيافية التيراهرتز بأنها تحديد التركيب الكيميائي لمادة ما عن طريق قياس تواترات الإصدار والامتصاص لهذه المادة في مجال التيراهرتز. تتطلب هذه المطيافية إضاءة العينة بأموج التيراهرتز (تصوير فعال) بغية الحصول على إشارة كافية. تسمح مطيافية التيراهرتز بالكشف عن مواد غير مسموح بها أو خطيرة مخبأة في حقائب السفر أو الثياب، ولذلك تستخدم في مراقبة المسافرين وأمنهم في المطارات، حيث أثبتت فعاليتها في الكشف عن المتفجرات البلاستيكية وعن العناصر الممرضة كعصية الجمره الخبيثة من دون فتح المغلفات.

Most organic and even lighter molecules, especially many pollutants, have basic rotational or vibration frequencies within the Terahertz field.

The Terahertz spectroscopy is defined as determining the chemical composition of a substance by measuring the release and absorption frequencies of this material in the Terahertz field. This spectroscopy requires illumination of the sample with terahertz waves (effective imaging) in order to obtain a sufficient signal. The Terahertz spectroscopy allows the detection of

unauthorized or dangerous substances hidden in suitcases or clothing, and therefore is used in monitoring travelers and their security at airports, where it has proven effective in detecting plastic explosives and pathogens such as anthrax without opening envelopes.

التيارهرتز والتصوير الطبي:

بما أن طاقة أشعة التيارهرتز منخفضة مقارنةً بالأشعة السينية، فهي تعتبر أشعة غير مؤينة ولا تضر بالنسج والـ *DNA*. يمكن لإشعاع التيارهرتز أن يخترق عدة ملمترات في نسيج لا يحوي كمية كبيرة من الماء (كالنسيج الدهني مثلاً) وينعكس عنه (انخفاض كمية الماء في النسيج يؤدي إلى ازدياد النفاذية لأن الماء يعكس أشعة التيارهرتز بشدة). كما يمكن لإشعاع التيارهرتز أن يكشف الاختلافات في محتوى نسيج ما للماء بالإضافة إلى قدرته على تحديد كثافة هذا النسيج، حيث تشكل هذه الطرق نظام تصوير مأمون، وغير هجومي وغير مؤلم، للكشف عن السرطان الظهاري بنجاح. فقد تم إثبات قدرة التصوير بالتيارهرتز على التمييز بين جلد سليم وآخر مصاب بورم سرطاني في الخلايا القاعدية.

يعتبر تحديد مواقع النسج المصابة بالورم السرطاني للخلايا القاعدية بدقة كبيرة مفيد جداً، من حيث تبسيط عملية التداخل الجراحي والتقليل من خطر معاودة المرض والتخفيف من عمليات إعادة بناء الجلد.

من الممكن مسح سطح جلد مشكوك فيه، نقطة فنقطة، باستخدام نبضات التيارهرتز. حيث يستغرق مسح سطح جلدي مساحته حوالي $5cm^2$ دقيقة واحدة فقط. يمكن بناء صورة ثلاثية الأبعاد (تمتد على عمق صغير من الجلد) بالاعتماد على تحليل النبضات المنعكسة عن الجلد. يقوم الأطباء بالتأكد من وجود فرق واضح بين النسج المريضة والسليمة بالاعتماد على التباين بفعل اختلاف محتوى النسج للماء. من التطبيقات الهامة الأخرى لأموال التيارهرتز هو في طب الاسنان، حيث أنه من الممكن إظهار الاسنان المنخورة وفق ثلاثة أبعاد والكشف عن التجاويف الموجودة تحت ميناء السن.

يعود نخر السن إلى تلف طبقة السن الخارجية (الميناء) بفعل الحموض التي تفرزها بكتيريا اللويحة السنية، ومن الممكن أن تمتد الإصابة إلى العاج من دون أن يبدي سطح السن أي شقوق أو ثقوب مرئية.

إن الصور الشعاعية للأسنان لا تكشف النخر إلا في مرحلة متقدمة جداً من تطوره حيث لا بد من استخدام المثقب والحشوة للعلاج. أما بالكشف عن التغير في وقت مبكر، فيمكن التفكير بقلب العملية بإعادة تعدين الشق.

يمكن بواسطة التصوير بنبضات التيارهرتز تحليل ما يعرف بزمن الطيران (الزمن الذي تستغرقه الموجة من المنبع حتى الوصول إلى السطح ثم الارتداد عنه حتى الوصول إلى الكاشف)، بالإضافة إلى توفير معلومات طيفية (الشكل 2.5).

ينعكس جزء من النبضة الواردة، حيث يوجد تغير في قرينة الانكسار، وبالتالي يمكن بالاعتماد على النبضات المتعددة التي يتم استقبالها رسم بروفيل بدلالة العمق. تسمح عملية المسح لكامل سطح السن بالحصول على صورة ثلاثية الأبعاد.

يمكن التمييز بين النسج المكونة للسن الواحد من خلال قرائن كسرهما لأشعة التيارهرتز، حيث تتناسب قرينة انكسار وسط ما عكساً مع سرعة انتشار الأمواج في هذا الوسط. أي أنه من الممكن بقياس زمن طيران نبضات التيارهرتز التي تعبر السن، التمييز بين الميناء والعاج، ومن ثم إمكانية تقدير الإنخفاض في سماكة طبقة الميناء بفعل التآكل السني. كما أنه من الممكن وبالاعتماد على امتصاص أمواج التيارهرتز وليس على زمن طيرانها، تحديد القدرة الامتصاصية التي تختلف تبعاً لمحتوى النسيج من المعادن، مما يتيح التعرف على وجود تجويف داخل السن لا يظهر بصورة الأشعة السينية أو خلال الفحص البصري للطبيب.



الشكل 2.5: يميناً: صورة للسن تم الحصول عليها بالاعتماد على زمن الطيران. يساراً: صورة لنخر في السن بأشعة التيراهرتز تم الحصول عليها بالاعتماد على بيانات الامتصاص.

Since the energy of terahertz rays is low compared to X-rays, they are considered non-ionizing radiation and do not harm the tissues and the DNA.

Terahertz radiation can penetrate several millimeters in a tissue that does not contain a large amount of water (such as adipose tissue) and is reflected from it (a decrease in the amount of water in the tissue leads to an increase in permeability because the water reflects the terahertz rays strongly). Terahertz radiation can also detect differences in the content of a tissue of water in addition to its ability to determine the density of this tissue, as these methods constitute a safe imaging system, non-offensive and painless, to detect epithelial cancer successfully. It has been demonstrated the ability of Terahertz imaging to distinguish between healthy skin and another carcinoma in the basal cells.

Determining the sites of tissues infected with basal cell carcinoma with great accuracy is very useful in terms of simplifying the process of surgical intervention, reducing the risk of recurrence of the disease, and reducing the processes of skin reconstruction.

Doubtable skin surface, point by point, can be wiped using terahertz pulses. As it takes only minutes to wipe a $5cm^2$ leather surface. Depending on the analysis of the reflected pulses from the skin, a three-dimensional image (extending to a small depth of skin) can be built. Doctors make sure there is a clear difference between diseased and healthy tissues, based on the variance caused by the different tissues' content of water.

Another important application of the terahertz waves is in dentistry, as it is possible to show the implanted teeth according to three dimensions and to detect the cavities under the tooth port.

Tooth necrosis is due to damage to the outer tooth layer (port) due to the acids produced by dental plaque bacteria. The infection can extend to dentin without the surface of the tooth showing any visible cracks or holes.

Dental radiographs do not reveal necrosis except in a very advanced stage of its development, as the perforator and filling must be used for treatment. By detecting the change early, the heart of the process can be considered by re-mining the slit. By visualizing with terahertz pulses, it is possible to analyze what is known as the flight time (the time it takes for the wave from the source to reach the surface and then bounce off it until reaching the detector), in addition to providing spectral information.

A portion of the incoming pulse is reflected, as there is a change in the refractive index, and therefore it is possible to rely on the multiple pulses that are received to draw a profile in terms of depth. The sweep process allows the entire surface of the tooth to obtain a 3D image.

It is possible to distinguish between the tissues that make up one tooth through evidence that it breaks the terahertz rays, where the refractive index of a medium is inversely proportional to the speed of wave propagation in this medium. That is, it is possible to measure the flight time of the terahertz pulses that pass through the tooth, distinguish between the port and the ivory, and then the possibility of estimating the decrease in the thickness of the port layer due to dental wear. It is also possible, and by relying on the absorption of terahertz waves and not on the flight time, determining the absorptive capacity, which varies according to the tissue's content of minerals, which allows to identify the presence of a cavity inside the tooth that does not appear as an X-ray or during a doctor's visual examination.

الفصل السادس

فيزياء النواة والنشاط الإشعاعي

Nuclear physics & Radioactivity

يلعب النشاط الإشعاعي دور هام جداً في الكشف عن الإصابات بالأورام السرطانية وشدة انتشارها في جسم المريض بالإضافة إلى إمكانية استخدام خاصية النشاط الإشعاعي في علاج هذه الأورام. هناك العديد من أنواع المصادر الإشعاعية (الأشعة) المستخدمة في هذا المجال ولكن تعتبر أشعة غاما (γ - Rays) هي المقصود بشكل أساسي بالنشاط الإشعاعي. بغية معرفة وفهم آليات إصدار الأشعة سنقوم بدراسة تركيب النواة وأنواع القوى النووية والنظائر النووية المشعة الموجودة، بالإضافة إلى ظواهر الإصدار الإشعاعي.

Radioactivity plays a very important role in the detection of cancer tumors and their spread in the patient's body in addition to the possibility of using radioactivity in the treatment of these tumors. There are many kinds of radiation sources used in this field, but gamma rays (γ - Rays) are mainly intended for radioactivity.

In order to know and understand the mechanisms of the radiation we will study the structure of the nucleus and types of the nuclear forces and the existed nuclear isotopes, in addition to the phenomena of radiation.

بنية النواة (Nucleus structure):

تتألف النواة من جسيمات تدعى النكليونات وتضم البروتونات P (موجبة الشحنة) والنيوترونات n (متعادلة الشحنة) لتكون شحنة النواة بالمحصلة موجبة. تقسم النوى الذرية إلى نوعين أساسيين، نوى مستقرة ونوى غير مستقرة تظهر ما يعرف بالنشاط الإشعاعي.

The nucleus consists of particles called nucleons, including protons P (positive charge) and neutrons n (neutral charge) to be positively charged. Atomic nuclei are divided into two basic types, stable nuclei and unstable nuclei that show what is known as radioactivity.

يكون عدد البروتونات في النواة مساوٍ للعدد الكلي للإلكترونات وهو ما يدعى بالعدد الذري Z (Atomic number)، وأما مجموع عدد البروتونات والنيوترونات (العدد الكلي للنكليونات في النواة) هو ما يدعى بالعدد الكتلي أو عدد الكتلة A (Mass number). وبالتالي فإن عدد النيوترونات في النواة هو $N = A - Z$. في الحالة العامة يتم تمثيل النواة (النكليد) بالشكل التالي:



The number of protons in the nucleus is equal to the total number of electrons, which is called atomic number Z, and the total number of protons and neutrons (the total number of nucleons in a nucleus) is what is called a mass number or the number of mass A. Thus, the number of neutrons in the nucleus is $N = A - Z$. In the general case the nucleus is represented as follows:



$$A = 235 \quad \text{مثال:}$$

$${}_{92}^{235}\text{U} \Rightarrow Z = 92$$

$$N = 143$$

يجب التمييز هنا بين العدد الكتلي وكتلة النواة، فهما غير متساويين. فإذا أخذنا ذرة الهيدروجين ${}^1_1\text{H}$ على سبيل المثال:

$$A = 1, \quad M_{nucleus} = M_P = 1.00759\text{amu}$$

حيث تشير amu إلى وحدة الكتل الذرية (atomic mass unit)، وهي الوحدة الأساسية لقياس الكتل النووية، وتساوي $1\text{amu} = 931.5\text{Mev}$.

A distinction must be made here between the mass number and the mass of the nucleus, which are not equal. If we take the hydrogen atom ${}^1_1\text{H}$ as an example:

$$A = 1, \quad M_{nucleus} = M_P = 1.00759\text{amu}$$

Where amu refers to the atomic mass unit, which is the main unit for measuring atomic masses, and it's given via $1\text{amu} = 931.5\text{Mev}$.

بفرض أن $m(A, Z)$ هي كتلة النواة و $M(A, Z)$ هي كتلة الذرة، وبإهمال طاقة ارتباط الإلكترونات بالنواة نحصل على العلاقة التالية التي تعطي الكتلة الكلية للذرة بتابعية كلاً من كتلة النواة وعدد الإلكترونات Z :

$$M(A, Z) = m(A, Z) + Z \cdot m_e \quad (1)$$

Assuming that $m(A, Z)$ is the mass of the nucleus and $M(A, Z)$ is the mass of the atom, and by neglecting the binding energy of the electrons with the nucleus we have the following relation that gives the total mass of the atom as a function of the mass of the nucleus and the number of electrons Z :

$$M(A, Z) = m(A, Z) + Z \cdot m_e \quad (1)$$

نصف قطر النواة (Nucleus radius)

تعد النواة بحد ذاتها عالم آخر لا يعرف تركيبه بدقة، ومن الصعب بمكان قياس أبعادها (أفضل وصف للنواة هو طاقة).

The nucleus itself is another world whose exact structure is not yet precisely known, and it is difficult to measure its dimensions (the best description of the nucleus is energy).

عند توجيه أشعة من جسيمات α على ورقة رقيقة من الذهب، لوحظ أن بعض هذه الأشعة ينكسر (ينحرف) وبعضها ينعكس (يرتد) ولكن القسم الأعظم ينفذ، مما يعني أن هناك جسيمات مشحونة بنفس شحنة جسيمات α (أي موجبة الشحنة) بالإضافة إلى وجود مسافات فارغة في الذرة.

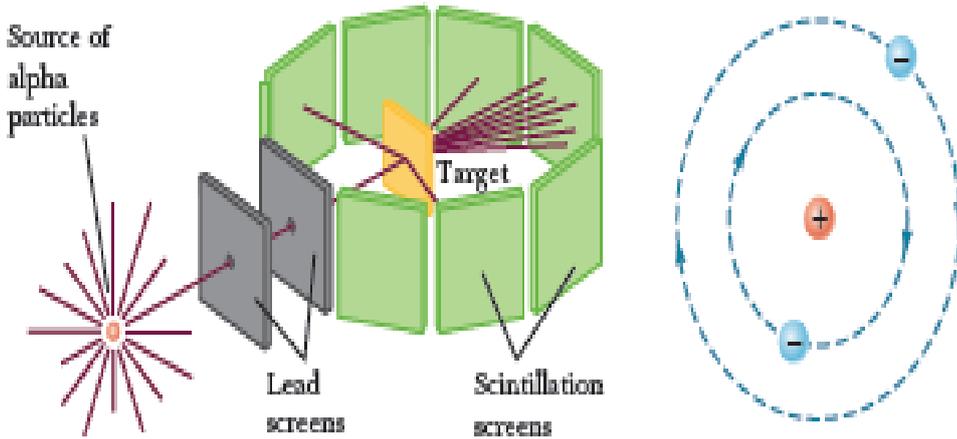
When rays are directed from α particles on a thin paper of gold, it is noticed that some of these rays refracts and some of them are reflected, but most of them are passing through. This means that there are particles, charged with the same charge of the α particles (i.e. positive charge), in addition there are empty spaces in the atom.

يعتبر الفيزيائي الأمريكي رذرفورد من أشهر العلماء في مجال الفيزياء النووية، إذ يعود الفضل إليه ولأبحاثه وتجاربه في وضع أول نموذج ذري، وهو ما يعرف بنموذج رذرفورد الذري بالاعتماد على تجربته الشهيرة (تجربة رذرفورد في تشتت جسيمات ألفا).

The American physicist Rutherford is one of the most famous scientists in the field of nuclear physics. It is up to him and his research and experiments the first atomic model, known as the Rutherford atomic model, based on his famous experiment (Rutherford's experiment in the dispersion of alpha particles).

تتكون التجربة (الشكل 1.6) بشكل أساسي من جسم مشع $^{226}_{88}\text{Ra}$ لإصدار جسيمات α وتوجيهها باتجاه الهدف، ولوحة معدنية على شكل دائرة غير مكتملة مغطاة بمادة فلورة (كبريتات الزنك) بالإضافة إلى رقاقة رقيقة جداً من الذهب.

The experiment consists mainly of a radiant object $^{226}_{88}\text{Ra}$ for radiating α particles and directing it towards the target, and a metal plate in the shape of an incomplete circle covered with fluorine (zinc sulphate), in addition to a very thin gold foil.



الشكل 1.6: تجربة رذرفورد.

يتم توجيه جسيمات α لتصدم باللوحة المعدنية وذلك بغية تحديد مكان وعدد الجسيمات المصطدمة باللوحة وذلك من خلال الومضات التي ظهرت عليها، ثم تم وضع الرقاقة الذهبية قبل اللوحة المعدنية. لاحظ رذرفورد أن القسم الأعظم من جسيمات α قد عبرت الرقاقة دون أي انحراف ونسبة قليلة لم تنفذ منها بل ارتدت عكس مسارها. وبالتالي استنتج أن القسم الأعظم من الذرة فارغ وأنه يوجد قسم ذو كثافة عالية

ويشغل حيز صغير جداً حيث تتركز فيه كتلة الذرة، وهو الجزء الذي عكس أشعة α ، إذاً هو موجب الشحنة. وبالتالي فإن الانعكاس أو الانحراف يعني أنها اقتربت من جسيم مشحون بشحنة موجبة فحدث التنافر.

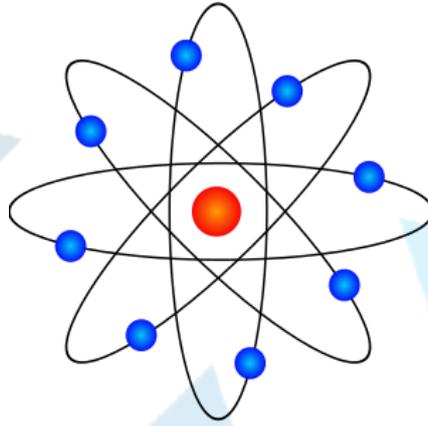
The α particles are directed to the metal plate to determine the location and number of particles hitting the plate through the flashes that appear on it, and then the gold chip is placed before the metal plate. Rutherford noticed that most of the α particles had crossed the chip without any deviation and a small fraction of it could not pass through, but reversed. He concluded that most of the atom is empty and there is a high-density section that occupies a very small space where the mass of the atom is concentrated, which is the reverse of the α rays, so it is positively charged. Thus, the reflection or deviation means that it is approaching a particle charged with a positive charge, and the dissonance occurs.

استناداً إلى ذلك وضع رذرفورد نموذج الذري الشهير

According to that, Rutherford developed his famous atomic model.

تم استخدام هذه الطريقة لقياس نصف قطر النواة وذلك بحساب عدد جسيمات α المرتدة وبالتالي يمكن حساب أقصر مسافة D استطاع أن يقترب فيها هذا الجسيم من النواة، حيث أنه يتوقف قليلاً ويتحول قسم من طاقته الحركية إلى طاقة كامنة. تم بواسطة هذه الطريقة حساب D للذهب والفضة وهي قيم تقريبية.

$$D_{Silver} = 3.2 \times 10^{-14}m, D_{Gold} = 3.0 \times 10^{-14}m$$



الشكل 2.6: نموذج رذرفورد الذري.

This method was used to measure the radius of the nucleus by counting the number of the reflected α particles and thus calculating the shortest distance D in which the particle could approach the nucleus, as it stops slightly and a section of its kinetic energy becomes potential energy. By using this method, D for gold and silver was calculated, which is approximate.

$$D_{Silver} = 3.2 \times 10^{-14}m, D_{Gold} = 3.0 \times 10^{-14}m$$

لاحقاً تم حساب نصف القطر R بطريقة تقريبية وبدلالة العدد الكتلي من خلال العلاقة التالية:

$$R = r_0 \cdot A^{1/3} \quad (2)$$

حيث $r_0 = 1.2 \times 10^{-15} m$ هو ثابت من مرتبة مدى تأثير القوى النووية. ومنه يمكن أيضاً حسب حجم النواة من العلاقة التالية:

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot r_0^3 A = k \cdot A \quad ; k = \frac{4}{3}\pi \cdot r_0^3 \quad (3)$$

أي أن حجم النواة يتناسب مع العدد الكتلي المتناسب مع كتلة النواة.

The radius R was then later calculated in a rough manner and in terms of mass number via the following relation:

$$R = r_0 \cdot A^{1/3} \quad (2)$$

The volume of the nucleus can then via the following relation:

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot r_0^3 A = k \cdot A \quad ; k = \frac{4}{3}\pi \cdot r_0^3 \quad (3)$$

The volume of the nucleus is proportional to the mass number, which is itself proportional to the mass of the nucleus.

طاقة ارتباط النواة (Nuclear binding Energy)

ترتبط النكليونات مع بعضها البعض بقوى تأثير متبادل نووية، مما يؤدي إلى تشكل ما يعرف بطاقة الارتباط النووي.

The nucleons are connected to each other by nuclear forces, leading to the formation of what is known as the nuclear binding energy.

تعرف طاقة ارتباط النكليون بالنواة بأنها الحد الأدنى من الطاقة اللازم تقديمه كي يفك هذا النكليون ارتباطه ببقية النكليونات في النواة، أي أنه سيكون هناك خسارة مقدار محدد من الطاقة يظهر على هيئة إشعاع γ مما يعني تغير في كتلة النكليون وذلك استناداً إلى نظرية أينشتاين.

The nucleon's binding energy to the nucleus is defined as the minimum energy that is needed for a nucleon to eliminate its connection to the other nucleons in the nucleus. There will be a loss of a specific amount of energy that appears as γ radiation, which means a change in the mass of the nucleus according to the Einstein's theory.

عند اتحاد مجموعة من النكليونات مع بعضها البعض لتشكيل نواة تنخفض قيمة الطاقة الكلية لهذه النواة بمقدار ΔE يتناسب مع الانخفاض في مجموع كتل مكوناتها ΔM . تعطى طاقة الارتباط الكلية للنواة بالعلاقة التالية:

$$E_B = \Delta E = \Delta M \cdot C^2 \quad (4)$$

حيث أن C هي سرعة الضوء، E_B هي طاقة ارتباط النواة، و ΔM مقدار نقصان الكتلة الذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta M = Z \cdot M_p + N \cdot M_n - M_{nucleus} \quad (5)$$

When a group of nuclei is united with each other to form a nucleus, the total energy value of this nucleus decreases by ΔE corresponding to the decrease in the total mass ΔM of its components. The total binding energy of the nucleus is given in the following relation:

$$E_B = \Delta E = \Delta M \cdot C^2 \quad (4)$$

Where C is the speed of light, E_B is the binding energy of the nucleus, and ΔM is the amount of mass reduction given by the following relation:

$$\Delta M = Z \cdot M_p + N \cdot M_n - M_{nucleus} \quad (5)$$

إذا تحدد طاقة الارتباط النووي بقياس الفرق في الكتلة بين النواة المكونة من N نوترون و Z بروتون وبين مجموع كتل هذه النكليونات، حيث أن الفرق في الكتلة يكافئ الطاقة المستخدمة لجمع هذه النكليونات سوياً في النواة.

So nuclear energy is determined by measuring the difference in the mass between the nucleus of the N -proton and Z -proton and the mass of these nuclei, the difference in mass is equivalent to the energy used to collect these nuclei together in the nucleus.

تمرين: أحسب قيمة طاقة الارتباط الكلية لنواة الهيليوم، علماً أن $M_{He} = 4.001493 \text{ amu}$ وتتكون نواة الهيليوم من بروتونين ونيوترونين ($2P+2N$)، ومنه تبلغ قيمة كتلة هذه النكليونات الأربعة:

$$2M_p + 2M_n = 4.031882 \text{ amu}$$

وبالتالي يحسب مقدار النقص في الكتلة اعتماداً على العلاقة (4)

$$\Delta M = 2M_p + 2M_n - M_{He} = 4.001493 - 4.031882 = 0.030389 \text{ amu}$$

ومنه نستطيع حساب طاقة الارتباط باستخدام معادلة اينشتاين $E = m \cdot C^2$

$$E_B = \Delta E = \Delta M \cdot C^2 = 0.030389 \text{ amu} \times 931.5 \frac{\text{Mev}}{\text{amu}} = 28.306 \text{ Mev}$$

من أهم الخصائص المميزة للنواة ما يعرف بالقيمة المتوسطة لارتباط النكليون (طاقة ارتباط النكليون الواحد)، أي النسبة بين طاقة ارتباط النواة والعدد الكتلي A ، وهي التي تحدد مدى استقرار النواة، فكلما ازدادت هذه القيمة كلما كانت النواة أكثر استقراراً.

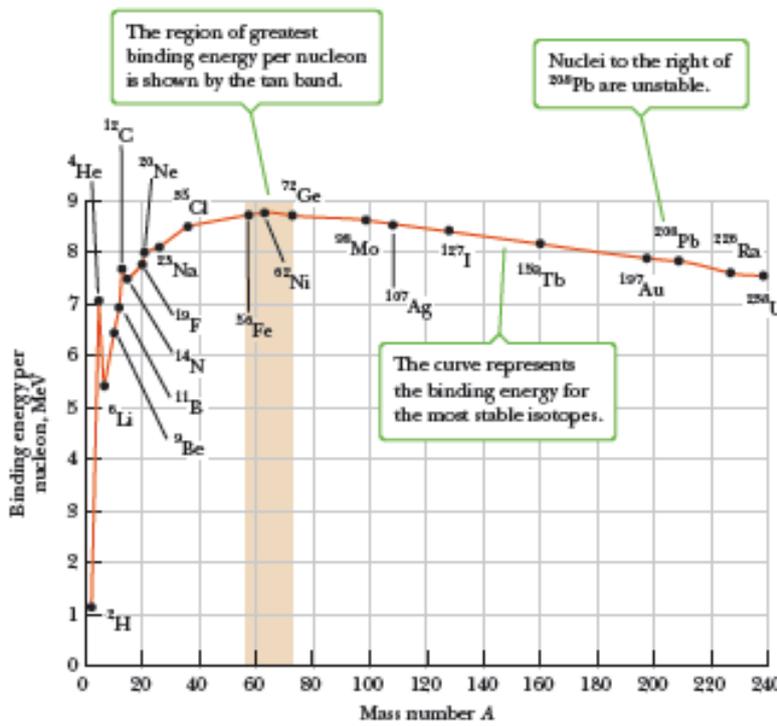
One of the most important characteristics of a nucleus is what is known as the average of the binding energy per nucleon, that is, the ratio between the binding energy of the nucleus and the mass number A , which determines the stability of the nucleus, the more the value, the more stable the nucleus is.

يبين الشكل 3.6 تغير متوسط قوة الارتباط لكل نكليون في النواة بتغير عدد النكليونات في النواة. نجد أن طاقة الارتباط هذه تكون كبيرة في ${}^4_2\text{He}$ وهي أشد النوى الذرية استقراراً. ثم تنخفض قوة الارتباط نسبياً بتشكيل ${}^6_3\text{Li}$ ثم تزداد حتى تصل إلى قمة ثانية عند ${}^{14}_6\text{C}$ ، ثم تهبط قليلاً بزيادة العدد الذري لتصل إلى نهاية عظمى ثالثة عند ${}^{16}_8\text{O}$ ، بعد ذلك تتغير طاقة الارتباط حتى تصل إلى أكبر قيمة لها عند الحديد ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ ، تبدأ بعد ذلك بالانخفاض بشكل طفيف حتى تصل إلى أثقل العناصر ${}^{238}_{92}\text{U}$.

الجدول 1.6: متوسط طاقة ارتباط بعض عناصر الجدول الدوري.

Element	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^3_2\text{He}$	${}^4_2\text{He}$	${}^{56}_{26}\text{Fe}$	${}^{238}_{92}\text{U}$
E_B/A (Mev)	1.09	2.8	2.5	7	8.7	7.5

The next figure shows the change in the average binding energy per nucleon in the nucleus by the number of nucleons in the nucleus. We find that this energy is big in ${}^4_2\text{He}$, which is the most stable atomic nuclei. Then the energy decreases relatively by the formation of ${}^3_3\text{Li}$ and then increases to reach a second maximum at ${}^{12}_6\text{C}$, then it drops slightly by increasing the atomic number to a third maximum at ${}^{16}_8\text{O}$. The binding energy reaches up to its greatest value at ${}^{56}_{26}\text{Fe}$, then begins to drop slightly until it reaches the heaviest elements ${}^{238}_{92}\text{U}$.



الشكل 3.6: متوسط طاقة ارتباط النكليونات بتابعة العدد الكتلي.

تعود القمم إلى ما يسمى بالأعداد السحرية، وهي نوى ذرات شديدة التماسك يصعب فصل محتوياتها ولا يوجد أي تفسير لها، ولذلك تدعى بالنوى السحرية.

The maximums return to the so-called magical numbers, the nuclei of highly cohesive atoms whose contents cannot be separated and there is no explanation for them.

يمكن تقسيم هذا المخطط (الشكل 3.6) إلى ثلاثة أقسام رئيسية. يدل الشريط العمودي على مكان تواجد أكثر العناصر استقراراً (أعلى طاقة ارتباط للنكليونات ضمن النواة) وهي: Fe, Ni, Ge . أما في الجزء اليساري (عن يسار ${}^{56}\text{Fe}$) فلم تصل القوى النووية القوية إلى حالة الإشباع، أي يمكن لطاقة ارتباط النكليونات أن تزداد مع ازدياد عدد النكليونات A ، ثم تبلغ حالة الإشباع عند ${}^{56}\text{Fe}$ حيث تكون قيمة E_B/A أعظمية. في حين أنها تنخفض بعد الذروة لأن ازدياد عدد البروتونات يؤدي إلى ازدياد قوى التنافر فيما بينها وبالتالي تنخفض شدة القوى النووية الشديدة، أي أن طاقة الارتباط تنخفض مما يجعل هذه النوى الثقيلة غير مستقرة.

This diagram can be divided into three main sections. The vertical band indicates the location of the most stable elements (the highest binding energy for nuclei within the nucleus): Fe, Ni, Ge . In the left part (left to ${}^{56}\text{Fe}$), the strong nuclear forces

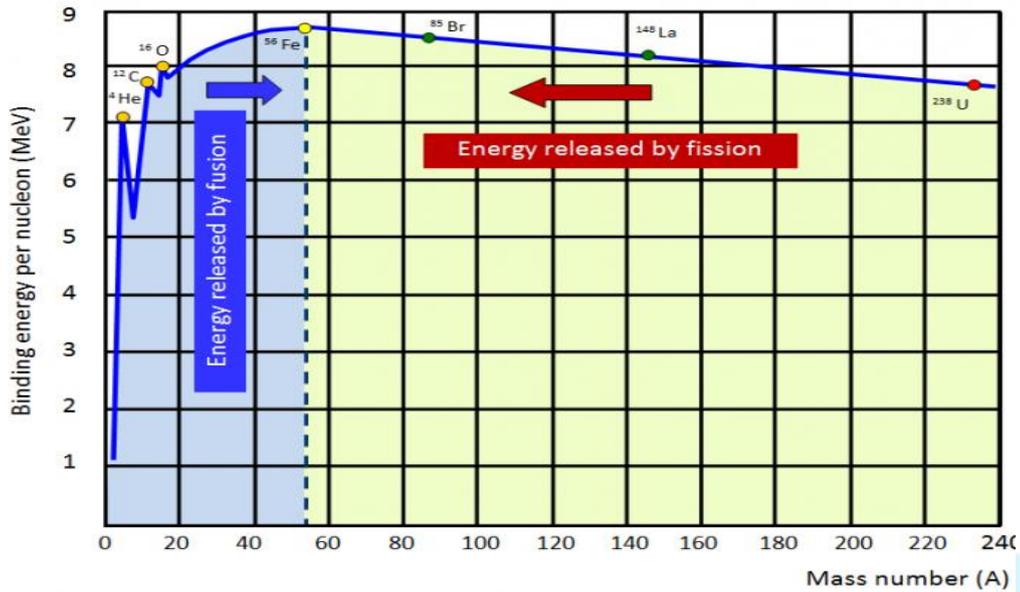
did not reach the saturation state, i.e., the binding energy of the nucleon could increase as the number of nucleons A increased, and then reach the saturation state at ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ where the value E_B/A is Greatest. While it decreases after the maximum because the increase in the number of protons leads to the intensification of the dissonance among them and thus the intensity of the strong nuclear forces decreases, that the binding energy decreases, making these heavy nuclei unstable.

يمكن استغلال طاقة الارتباط في إنتاج الطاقة، (الشكل 4.6) إما:

1. من العناصر الخفيفة ($A < 20$) بواسطة الاندماج النووي، حيث تندمج نوى خفيفة لتشكيل نواة أكبر.
2. من العناصر الثقيلة ($A > 150$) بواسطة الانشطار النووي، حيث تنشطر نواة كبيرة إلى نواتين أخف.

The binding energy can be used to produce energy, either:

1. Of light elements ($A < 20$) by nuclear fusion, where light nuclei fuse into a larger nucleus.
2. Of heavy elements ($A > 150$) by nuclear fission, where a large nucleus breaks into two lighter nuclei.



الشكل 4.6: طرق إنتاج الطاقة النووية بالاعتماد على طاقة الارتباط النووي.

القوى النووية (Nuclear forces)

هي قوى تأثير متبادل بين النكليونات وهي مسؤولة عن ارتباط البروتونات والنيوترونات داخل النواة (تماسك النواة). تمتاز القوى النووية بالعديد من الخصائص، من أهمها:

1. قوى جذب كي تتغلب على قوى تنافر البروتونات الموجودة ضمن النواة، ولكن عند مسافات $r \leq 0.4\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$ تتحول إلى قوى تنافر كي تمنع النكليونات من الاصطدام مع بعضها البعض وانهايار النواة. (fm هي واحدة لقياس المسافات الذرية وهي اختصار لكلمة فيرمي (fermi)).
2. مدى تأثيرها قصير جداً، يصل حتى مرتبة $r = 1\text{fm}$ من مركز النواة.

3. تمتاز هذه القوى بخاصية الإشباع (مدى تأثيرها قصير جداً، وبالتالي تؤثر بين النكليونات المتجاورة). أي أن نواة مكونة من أربعة نكليونات تكون مستقرة أكثر من أية نوى أخرى ذات أعداد كتلية أكبر، حيث أن النوى الذرية تميل إلى تشكيل أزواج من النكليونات.

They are interaction forces between the nucleons and are responsible for the binding of protons and neutrons within the nucleus (coherence of the nucleus). Nuclear forces are characterized by many characteristics, the most important of which are:

1. They are forces of attraction to overcome the forces of repulsion of protons within the nucleus, but at distances $r \leq 0.4fm = 10^{-15}m$ they turn into forces of repulsion to prevent the nuclei from colliding with each other and the collapse of the nucleus. (fm is a unit for the measurement of atomic distances and is the abbreviation of the name fermi).
2. Their effect is very short, up to $r = 1fm$ from the center of the nucleus.
3. These forces have the saturation property (their effect is very short, and therefore affect adjacent neutron). Which means that a nucleus of four nucleons is more stable than any other nucleus with larger mass numbers, as atomic nuclei tend to form pairs of nucleons.

بينت الدراسات والأبحاث العلمية أنه هناك ثلاثة أنواع رئيسية للقوى النووية بين النكليونات ضمن النواة، وهي على الترتيب:

1. قوى نووية قوية: قصيرة المدى (من $1.2fm$ وحتى $0.6fm$) وهي المسؤولة عن تماسك النواة.
2. قوى نووية ضعيفة: قصيرة المدى ($\leq 0.5fm$) وتمثل قوة تنافر بين كل النكليونات كي لا تنضغط النواة.
3. قوى تأثير متبادل كهربيسي بين البروتونات: بعيدة المدى وهي المسؤولة عن عدم استقرار النواة، حيث أنها تلعب دور أساسي في عدم استقرار النوى الثقيلة كاليورانيوم ${}_{92}^{235}U$.

Studies and scientific research have shown that there are three main types of nuclear forces among the nuclei within the nucleus, which are monotonous:

1. Strong nuclear forces (Strong interaction forces): short range (from $1.2fm$ to $0.6fm$) and are responsible for nucleic coherence.
2. Weak nuclear forces (Weak interaction forces): short range ($\leq 0.5fm$) and represent a force of repulsion between all the nucleons, so that the nucleus will not be compressed.
3. An electrostatic interaction force between protons: long range and is responsible for the instability of the nucleus, as it plays a key role in the instability of heavy nuclei such as uranium ${}_{92}^{235}U$.

النظائر النووية المشعة (Isotopes)

تعرف النظائر بأنها ذرات تمتلك نواها نفس عدد البروتونات (أي نفس العدد الذري Z) ولكنها تختلف بعدد نوترونها (أي بعدد الكتلة A). وهي تلعب دور رئيسي وهام في مجال الطب النووي. يمتلك أي عنصر كيميائي عدداً محدداً من النظائر، بعضها موجود بشكل طبيعي في الطبيعة وبعضها يكون صناعي، حيث يتم تصنيعه في مخابر مختصة.

Isotopes are defined as atoms whose nuclei possess the same number of protons (i.e. the same atomic number Z) but differ in the number of their neutrons (i.e. the mass number A). They play a major and important role in the field of nuclear medicine. Any chemical element has a certain number of isotopes, some of which are naturally found in nature and some are artificial, manufactured in specialized laboratories.

مثال: تمتلك ذرة الهيدروجين ثلاثة نظائر طبيعية وهي 1_1H , 2_1H , 3_1H ، وأربعة نظائر مصنعة 4_1H , 5_1H , 6_1H , 7_1H .

بالإضافة إلى النظائر (Isotopes)، لدينا الأنواع النووية التالية من النظائر:

1. الإيزوتونات (Isotones): عناصر نووية لها نفس عدد النوترونات N، مثل $^{14}_6C$, $^{15}_7N$, $^{16}_8O$ حيث تشترك هذه النظائر الثلاثة بالعدد N=8.

2. الأيزوبارات (Isobars): عناصر نووية لها نفس عدد النكليونات A مثل $^{14}_6C$, $^{14}_7N$ حيث يشترك هذين النظيرين بالعدد A=14.

3. الإيزوميرات (Isomers) أو ما يعرف بالمماكبات: نوى متشابهة من حيث عدد النوترونات والبروتونات ولكنها مختلفة الحالة النووية (الإثارة).

In addition to isotopes, we have the following nuclear types of isotopes:

1. Isotones: nuclear elements that have the same number of neutrons N, such as $^{14}_6C$, $^{15}_7N$, $^{16}_8O$ where these three isotopes share N = 8.
2. Isobars: nuclear elements with the same number of nucleons A, such as $^{14}_6C$, $^{14}_7N$, where these two are shared by A = 14.
3. Isomers: nuclei which are similar in number of neutrons and protons but different from the nuclear state (excitation).

النشاط الإشعاعي (Radioactivity)

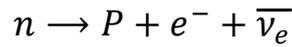
يعرف النشاط الإشعاعي على أنه تحول النوى غير المستقرة إلى نوى أكثر استقراراً وذلك بإصدار جسيم معين أو فوتون.

Radioactivity is defined as the transformation of unstable nuclei into more stable nuclei by emitting a specific particle or photon.

يعود عدم الاستقرار هذا إلى سببين، فإما أن يكون عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات أو بالعكس أن يكون عدد البروتونات أكبر من عدد النوترونات.

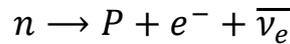
This instability is due to two reasons: either the number of neutrons is larger than the number of protons or, conversely, the number of protons is greater than the number of neutrons.

في الحالة الأولى ($Z < N$): عدد النوترونات أكبر، أي أنه هناك فائض في النوترونات وبالتالي يتحول أحد هذه النوترونات في النواة إلى بروتون وإلكترون ومضاد النترينو وفق ما يعرف بتفكك بيتا النووي ($\beta - decay$).



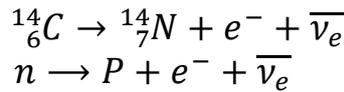
تكون طاقة الإلكترون الناتج عن هذا التفكك عالية جداً، لذلك يقذف إلى خارج النواة. لذلك غالباً ما يرمز إلى هذا الإلكترون بالرمز β^{-} .

In the first case ($Z < N$): the number of neutrons is greater, that means there is a surplus of neutrons and thus one of these neutrons in the nucleus turns into a proton, an electron and an anti-neutrino, according to what is known as $\beta - decay$.

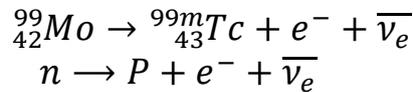


The electron energy produced by this dissociation is very high, so it is ejected out of the nucleus. This electron is often symbolized by β^{-} .

مثال: تحول نواة خفيفة ${}^{14}_6C$ إلى ${}^{14}_7N$ بفعل تفكك بيتا النووي، حيث يزداد العدد الذري بمقدار واحد مع المحافظة على العدد الكتلي للنواة.



وتحول نواة ثقيلة ${}^{99}_{42}Mo$ إلى ${}^{99}_{43}Tc$ وفق نفس الآلية.



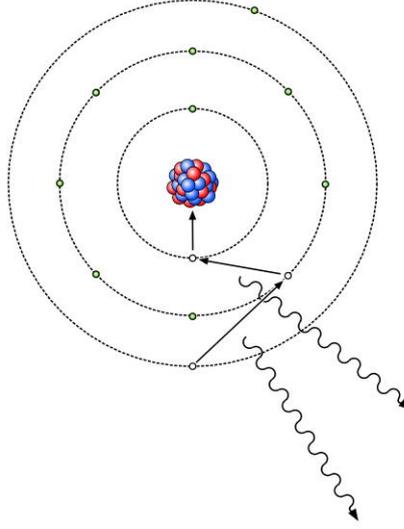
يشير الحرف m إلى أن النواة غير مستقرة، حيث أنها ستتفكك لاحقاً مصدرةً فوتون γ المستخدم على نطاق واسع في الطب النووي.

في الحالة الثانية ($Z > N$): فهناك فائض في عدد البروتونات على حساب عدد النوترونات. بالتالي فإنه هناك احتمالان:

In the second case ($Z > N$): there is a surplus in the number of protons at the expense of the number of neutrons. There are therefore two possibilities:

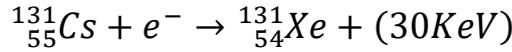
1. إما أن تقوم النواة باصطياد أحد الإلكترونات القريبة منها بواسطة القوى النووية الضعيفة، ومن ثم تشكيل نوترون جديد، وهو ما يعرف بظاهرة الأسر الإلكتروني (Electron capture). يلي ذلك قيام الغمامة الإلكترونية بترتيب تركيبها الإلكتروني مما يؤدي إلى إصدار إشعاع يعرف بفوتونات الفلورة السينية والتي تستخدم في مجال الطب النووي.

1. Either the nucleus captures one of the nearby electrons by weak nuclear interactions, and then forms a new neutron, the so-called electron capture phenomenon. The electron cloud then arranges its electronic construction, leading to a radiation known as X-ray fluorescence, which is used in the field of nuclear medicine.



الشكل 5.6: ظاهرة الأسر الإلكتروني.

مثال: عند تحول نظير السيزيوم إلى نظير الكزينون يترافق هذا التحول بانخفاض العدد الذري Z وثبات عدد الكتلة بالإضافة إلى إصدار الأشعة السينية وفق التفاعل التالي:

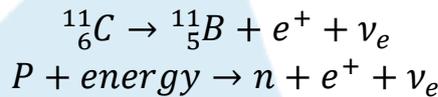


2. أو أن يتحول البروتون بعد حصوله على طاقة إلى نوترون يستقر في النواة ليعطي نواة العنصر الذي يسبقه في الجدول الدوري بالإضافة إلى البوزيترون e^{+} ونويترينو، وفق ما يعرف بتفكك

أو الإصدار البوزيتروني. يتفانى هذا البوزيترون مع أحد إلكترونات الوسط مشكلاً فوتونين ينطلقان باتجاهين متعاكسين، β^{+} بيتا العكسي حيث يعتمد عليهما في تقنية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني.

2. Or the proton, after having energy, turns into a neutron that settles in the nucleus to give the nucleus of the element preceding it in the periodic table in addition to the positron e^{+} and gamma-photon γ , according to what is known as reverse β -decay (β^{+}) or positron emission. This positron is eliminated to one of the electrons in the medium, forming two photons that go in opposite directions, where they are used in the Positron Emission Tomography (PET).

مثال: عند تحول نظير الكربون إلى نظير البور يترافق هذا التحول بانخفاض العدد الذري Z وثبات عدد الكتلة بالإضافة إلى إصدار بوزيترون ونويترينو وفق التفاعل التالي:



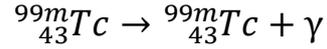
عند وجود نظيرين يمتلكان نفس العدد الكتلي A، في حين أن إحدى النواتين مثارة (تحوي فائض في الطاقة) فإنه من الممكن أن يتم إصدار فائض الطاقة هذا على شكل فوتون غاما γ وفق التفكك النووي التالي:



يعتبر هذا النظير الأساس في العديد من تقنيات التصوير النووي.

من الممكن أن ينتقل فائض الطاقة إلى أحد الإلكترونات مما يؤدي إلى قذفه خارج الذرة وبالتالي تشكل ما يعرف بالإلكترون التحول الداخلي ليصار بعدها إلى إصدار الأشعة السينية (فوتونات الفلورة السينية)

When two isotopes have the same mass number A, while one nucleus is excited (with excess energy), this excess energy can be produced in the form of photons according to the following nuclear decay:



This is the basically used isotope in many nuclear imaging techniques.

It is possible that the excess energy moves to one of the electrons, causing it to be thrown out of the atom, thus forming the so-called internal transformation electron, which means X-ray photons are emitted.

الفصل السابع

الطب النووي

Nuclear medicine

تستخدم النكليدات أو النظائر المشعة في البحوث الحيوية والطبية كقفاءات *tracers* تقتفي أثر التفاعلات الحيوية والفيزيولوجية. يتم عملياً إدخال أحد النظائر المشعة كالكربون ^{14}C أو التريتيوم 3H في الجزيئات التي تحقن في الجسم. إذ يمكن تعقب الجزيئات الموسومة أثناء حركتها في العضوية أو عندما تخضع إلى تفاعلات كيميائية.

يمكن الكشف عن وجود هذه الجزيئات الموسومة (أو عن أجزاء منها إذا كانت تخضع لتحول كيميائي) بعدد غايغر *Geiger* أو بعدد مضاني، حيث يقوم بالكشف عن الإشعاع وتحديد مكانه ضمن الجسم المدروس.

يشيع في التشخيص الطبي *medical diagnosis* استخدام النكليد الإشعاعي المماكب $^{99m}_{43}Tc$ ، وهو التكنسيوم 99 الذي يتميز بحالة مثارة طويلة العمر والذي يتم الحصول عليه عندما يتفكك الموليبدن.

يتميز هذا النظير بملاءمة عمر نصفه الذي يبلغ 6 ساعات، كما يتميز بإمكانية اتحاده مع عدد كبير من المركبات التي تحقن في الجسم بحيث أنها تتفاعل مع أو تستقر في المنطقة المصابة من جسد المريض.

الطب النووي الاستقصائي (Diagnostic nuclear medicine)

1. كاميرا غاما والتصوير الومضاني (γ – Camera & Scintigraphy)

هي كاميرا متطورة جداً تستخدم لتصوير أشعة غاما الصادرة عن نظائر مشعة توضع في جسم ما بغية فحص هذا الجسم. تتضمن هذه الكاميرا عدد كبير من الكواشف التي تقوم بتسجيل النشاط الإشعاعي في العديد من نقاط الجسم في نفس الوقت.

Is a very sophisticated camera used to image gamma rays from radioactive isotopes tagged in an object to checkup this body.

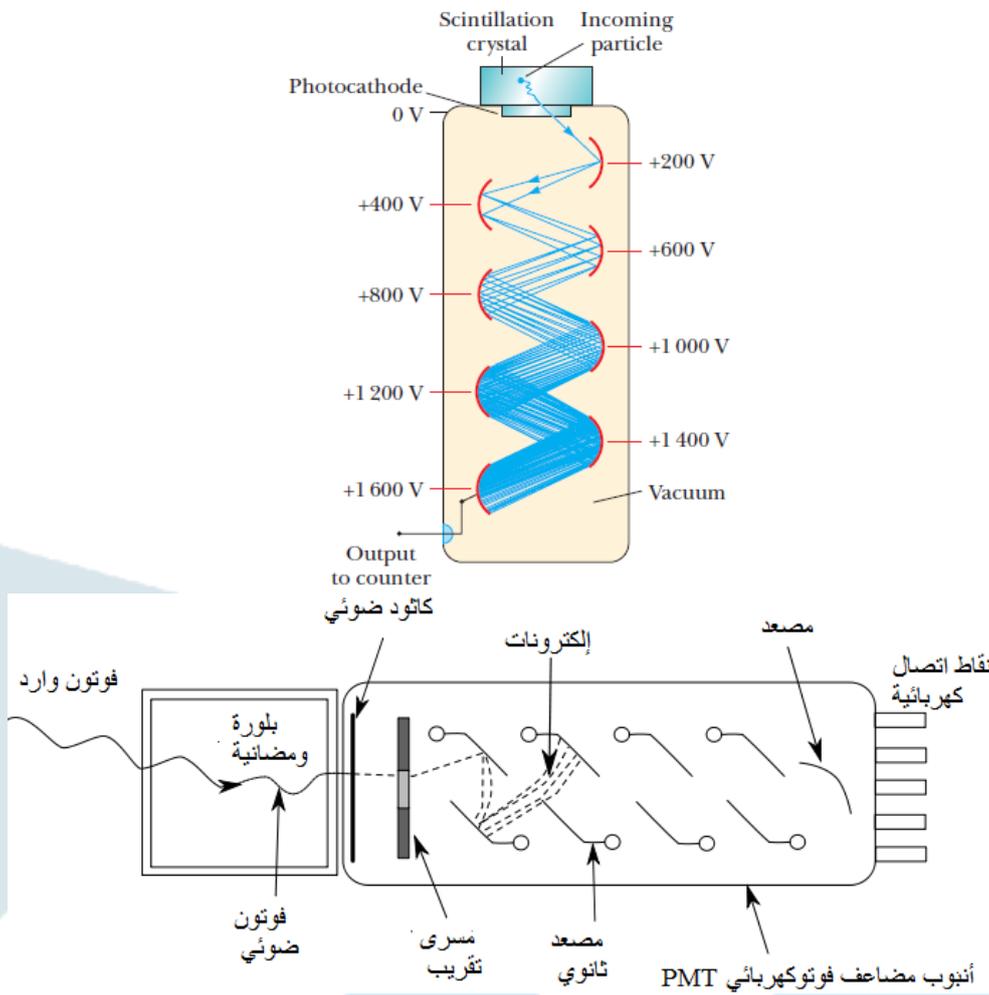
This camera includes a large number of detectors that record radioactivity in many body points at the same time.

عند خروج فوتونات غاما من جسم المريض فإنها تصطدم بنظام من الأنابيب الرصاصية المتوازية (صفيحة تسديد رصاصية) وذلك بسبب قدرة الرصاص الشديدة على امتصاص الإشعاعات. يحوي هذا النظام آلاف الفتحات بحيث أنه لا يعبر سوى الفوتونات الموازية للأنابيب وأما الأخرى فيتم امتصاصها من قبل الرصاص بغية تشكيل صورة واضحة للعضو المدروس. يلي ذلك بلورة من يوديد الصوديوم والثاليوم (بلورة ومضانية). تقوم الكواشف بتسجيل توزيع العنصر المشع ثم يقوم الحاسوب بتشكيل صورة ثنائية البعد تبين نسبة وتركيز النظير المشع في المنطقة المدروسة من الجسم.

When gamma photons leave the patient's body, they collide with a system of parallel lead tubes because of the ability of the lead to absorb radiations. This system contains thousands of openings so that it only crosses the photons parallel to the tubes and the other are absorbed by lead in order to form a clear image of the studied organe. This is followed by a crystal of sodium iodide and thallium (Scintillating crystal). The detectors record the distribution of the radioactive component and then a computer forms a two-dimensional image showing the ratio and concentration of the radioactive isotope in the studied area of the body.

يتكون الكاشف (الشكل 1.7) في أبسط حالاته من بلورة مسطحة تدعى بلورة ومضائية تقوم بامتصاص الفوتونات الصادرة عن تحلل النظير المشع، حيث أنها تصدر وميض عند اصطدام الفوتونات بها (سبب الوميض هو اقتلاع الفوتون ذو الطاقة العالية لأحد إلكترونات المادة المطلية بها البلورة، حيث يؤدي عودته إلى موضعه إلى إصدار هذا الوميض).

In its simplest form, the detector consists of a flat crystal called Scintillating crystal that absorbs the photons generated by the decay of the radioactive isotope, where it emits a flash when the photons collide with them (the high-energy photon displaces one of the crystal electrons, so that it returns later to its position causing this flash).



الشكل 1.7: آلية عمل الكاشف ضمن كاميرا غاما.

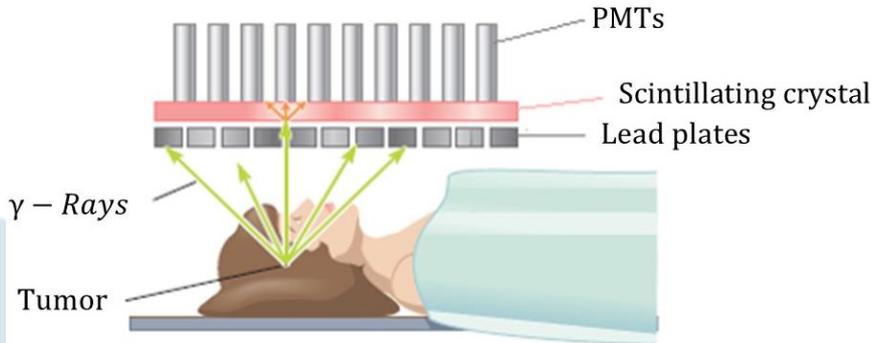
بعد ذلك يتم توجيه هذا الفوتون باتجاه ما يعرف بالمضاعف الفوتوكهربائي (المضخم الكهربائي)، حيث يؤدي اصطدام هذا الفوتون بالمهبط الضوئي إلى إصدار إلكترون (حسب المفعول الكهروضوئي). بعد ذلك يتم توجيه هذا الإلكترون المتحرر وتسريعه بواسطة جهد كهربائي مطبق على مجموعة من الأقطاب الثانوية، حيث يكون كل قطب مطلي بمادة خاصة تساعد على زيادة نسبة الإصدار، وبالتالي تكون المحصلة عدد

هائل من الالكترونات (يتم تضخيم الشعاع الضوئي الوارد إلى حوالي مليون ضعف). وهذا يعني بالمحصلة إشارة كهربائية (نبضة كهربائية) يمكن قراءتها ومعالجتها بواسطة الحاسوب.

This photon is then directed to the so-called photoelectric multiplier tube (Photomultiplier, PMT), where the collision of this photon with the Cathode emits an electron (photo effect). This free electron is then directed and accelerated by an electrical voltage applied to a set of secondary electrodes. Each electrode is coated with a special material that helps to increase the ratio of the release of electrons. The result is a huge number of electrons (the optical ray is amplified to about one million times). This means that an electric signal (pulse) can be read and processed by computer.

يتم تحريك الكاشف كي يقوم بمسح كامل الجسم وبالتالي قياس شدة النشاط الإشعاعي في عدد كبير من نقاط الجسم وبالتالي رسم خريطة للجسم يُعتمد عليها في تقييم حالة عضو معين من الجسم، حيث أن زيادة أو انخفاض النشاط قد تكون مؤشر على الإصابة بمرض ما.

The detector is activated to scan the whole body and thus to measure the intensity of the radioactivity in a large number of body points and thus to draw a body map used in the assessment of the condition of a particular organ of the body, as the increase or decrease activity may be indicative of the incidence of an illness.



الشكل 2.7: كاميرا غاما مكونة من عدد من الكواشف.

نحصل في التصوير الومضاني *Scintigraphy* على صور ثنائية البعد للجزء المصوّر من جسم المريض باستخدام كاميرا غاما. يستخدم هذا النوع من التصوير النووي في الكشف عن الكسور بأنواعها والالتهابات العظمية وصولاً إلى سرطان العظام. وفي الكشف عن الحالات المرضية للشرايين الإكليلية ويسمح بتقييم الحالة الوظيفية للعضلة القلبية بشكل عام، تستخدم فيه مادة دوائية موسومة بممكاب التكنسيوم $^{99m}_{43}Tc$ وفي الكشف عن أورام الغدة الدرقية، ويمكن في هذه الحالة استخدام ممكاب التكنسيوم $^{99m}_{43}Tc$ ، أو اليود المشع ^{123}I .

2. التصوير المقطعي المحوسب بالإصدار الأحادي الفوتون:

(Single Photon Emission Computed Tomography, SPECT)

من أهم التقنيات في الطب النووي، وتختلف عن التصوير الومضاني بأنها تعطي صورة ثلاثية البعد عن طريق تصوير مقاطع عرضية متعددة للعضو المدروس (عدد كبير من الصور ثنائية البعد ومن زوايا مختلفة)، حيث يتم تدوير الكاميرا المستخدمة (360°) لتأخذ صورة كل

$2^{\circ} - 3^{\circ}$ بزمن قدره $15 - 20s$ للمقطع الواحد (الشكل 3.7)، بحيث يكون الزمن الكلي للتصوير $15 - 20min$. يتم استخدام برمجيات خاصة لمعالجة هذه الصور المقطعية.

Is one of the most important techniques in nuclear medicine. It differs from the Scintigraphy by giving a three-dimensional image by taking multiple transverse sections of the studied organ (a large number of two-dimensional images and from different angles). The used camera is rotated (360°) to take an image every $2^{\circ} - 3^{\circ}$ with a time of 15-20s per section, so that the total time is 15-20min. Special software is used to process these images.



الشكل 3.7: جهاز SPECT برأسي غاما للتصوير النووي.

3. التصوير المقطعي المحوسب بالإصدار الثنائي الفوتون (البوزيتروني):

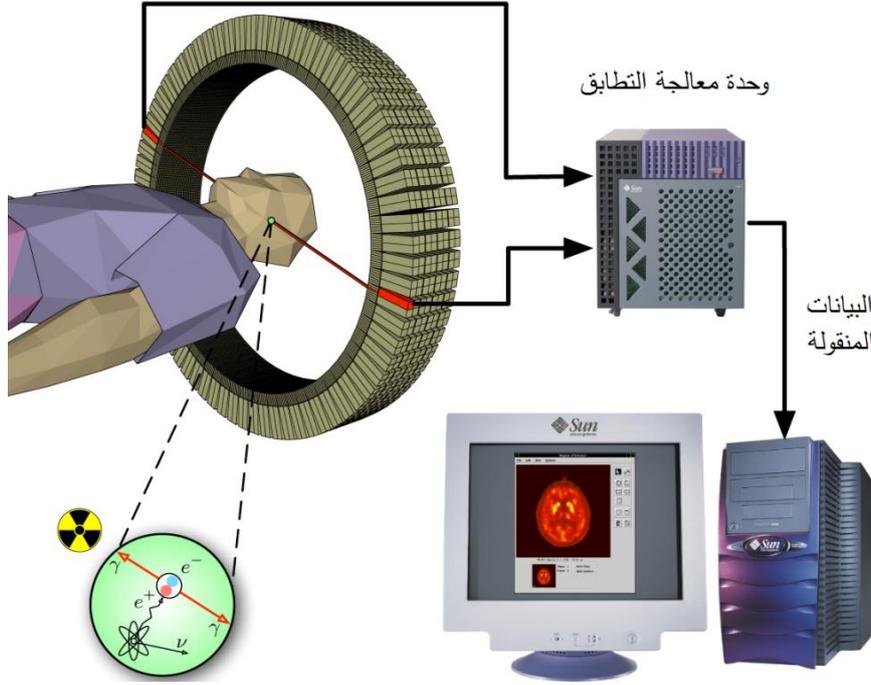
(Two Photon Emission Tomography, TPET)

(Positron Emission Tomography, PET)

يتم في هذه التقنية استخدام نظائر مشعة، مصدرة للبوزترونات تتفاني لاحقاً مع الالكترونات مصدرةً فوتوني غاما عالي الطاقة متعاكسين بالاتجاه، ذات أعمار نصف قصيرة نسبياً، مثل الكربون 11 ($20min$) والأكسجين 15 ($2min$)، والفلور 18 ($110min$) والأزوت 13 ($10min$)، حيث يجري تضمين هذه النظائر المشعة في مركبات يستهلكها جسم الإنسان كالغلوكوز والماء.

This technique uses radioactive isotopes which are the source of positrons that annihilated with electrons emitting two high energy gamma photons, with relatively short half time, such as carbon 11 (20 min), oxygen 15 (2 min), fluor 18 (110 min) and nitrogen 13 (10 min). These isotopes are included in compounds consumed by the human body, such as glucose and water.

يسقط هذين الفوتونين على زوجين متقابلين من الكواشف الوميضية (البلورة الوميضية) بشكل متزامن مما يحدث ومضتين ضوئيتين (راجع مبدأ عمل الكاشف). يتم بعد ذلك تشكيل صورة للدماغ من خلال معرفة توزع النظير في الدماغ (الشكل 4.7).



الشكل 4.7: مبدأ عمل جهاز الـ PET في التصوير النووي.

These two photons fall on opposite pairs of detectors (Scintillating crystal) simultaneously, causing two optical flashes (see the principle of the detector). A brain image is then formed by knowing the distribution of the isotope in the brain.

تستخدم هذه التقنية لدراسة نشاط مختلف مناطق الدماغ وللكشف عن مرض الزهايمر والأورام السرطانية الدماغية، كما أنها لا تحتاج إلى صفيحة التسديد الرصاصية (كما في التقنية السابقة) وهذا يعني انخفاض عدد الفوتونات المفقودة وبالتالي إعطاء المريض جرعة أقل من الإشعاع.

This technique is used to study the activity of different regions of the brain and to detect Alzheimer's disease and brain tumors. It does not need a lead-release plate (as in the previous technique).

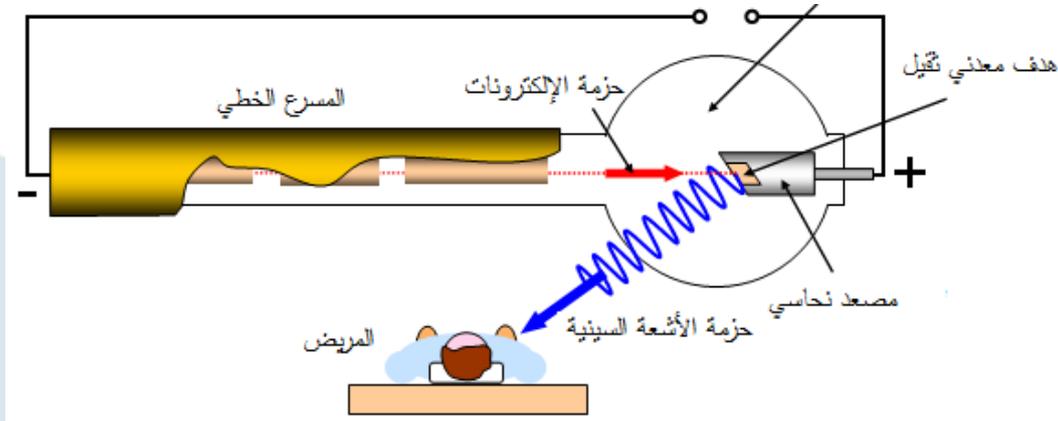
الطب النووي العلاجي (Radiotherapy)

يعرف الطب النووي العلاجي بأنه استخدام النظائر المشعة لعلاج العديد من الأمراض وعلى رأسها الأورام السرطانية بسبب قدرة هذه الأشعة المؤينة على تدمير الخلايا السرطانية، حيث يتم تشعيع الورم بالكامل أو المنطقة بعد العمل الجراحي بغية قتل ما تبقى من خلايا أو بغية تخفيف الآلام المرافقة للأورام السرطانية. المعالجة قد تكون عن قرب أو عن بعد.

Radiotherapy is defined as the use of radioactive isotopes to treat many diseases, especially cancer tumors, because these ionizing radiations can destroy cancer cells. Treatment may be close-up or telemedicine.

بالنسبة للمعالجة عن بعد فتتم بواسطة مسرع خطي طبي *Linac* (الشكل 5.7) يقوم بتوليد حزمة إشعاعية تكون عبارة عن الكترونات عالية الطاقة ($1 - 18Mev$) أو فوتونات عالية الطاقة ($1 - 15Mev$) أي أشعة سينية. بالنسبة للحزم الفوتونية فيتم استخدامها لمعالجة الأورام العميقة بسبب قدرتها على الاختراق وأما الأورام القريبة من السطح والسطحية فيتم معالجتها باستخدام الحزم الالكترونية لقدرتها الاختراقية المنخفضة للنسج. يقوم حاسب مزود ببرمجيات متطورة بتحديد نسبة وحجم الأشعة الموجهة باتجاه الورم بغية الحفاظ على سلامة الخلايا القريبة والمحيطة بالمنطقة المصابة.

For telemedicine, a Linac medical accelerator generates a radiation rays that is either high-energy electrons (1-18Mev) or high-energy (X-ray) photons (1-15Mev). For photon rays, they are used to treat deep tumors due to their ability to penetrate, but near-surface and surface tumors are treated with electronic beams for low penetration of tissue. A computer with advanced software determines the proportion and size of radiation directed toward the tumor in order to maintain the safety of cells near and surrounding the affected area.



الشكل 5.7: العلاج عن بعد باستخدام المسرع الخطي.

. ما في حالة أورام الرأس الصغيرة الحجم فيتم إعطاء المريض جرعة عالية جداً في موضع الورم بغية تدميره والمحافظة على الخلايا السليمة المجاورة للورم. يستخدم لذلك خوذة خاصة مثبتة بشكل جيد للحفاظ على توجيه حزمة الأشعة عبر أحد ثقوب الخوذة وهو ما يعرف بالمشروط الغاموي (الشكل 6.7).

In the case of small head tumors, the patient is given a very high dose at the site of the tumor in order to destroy it and maintain healthy cells adjacent to the tumor. A specially fitted helmet is used to keep the beam guided through a helmet hole, known as a **gamma knife**.



الشكل 6.7: علاج أورام الرأس بواسطة المشروط الغاماوي.

أما بالنسبة للعلاج عن قرب فيتم في هذه التقنية إعطاء المريض جرعات من العناصر المشعة (اليود 131) فمويماً أو وريدياً، حيث تصدر إشعاعات مؤينة تقطع مسافة قصيرة في مكان إصدارها مما يساعد في تخفيف الأذية للأعضاء والنسج المجاورة للورم. عند استخدام اليود المشع لمعالجة أمراض الغدة الدرقية، يتم إعطائه فمويماً لتتركز المادة المشعة في الغدة حيث يتفكك اليود وفق تفكك بيتا مصدراً للالكترونات ذات طاقة عالية تدمر الورم.

هناك تقنية أخرى للعلاج عن قرب وذلك عن طريق ذرع المادة المشعة في الورم أو في النسيج المحيط به على شكل كبسولات (بذور) بواسطة إبر أو حاقنات خاصة (سرطان البروستات- الثدي-عق الرحم).

In this technique, the patient is given doses of radioactive elements (iodine 131) orally or Venous, producing ionizing radiation that takes a short distance in the place of emission, which helps to reduce the damage to organs and tissues adjacent to the tumor. When radioactive iodine is used to treat Thyroid diseases, it is given orally to concentrate the radioactive material in the gland where the iodine disintegrates according to the $\beta - decay$ giving electrons with high energy that destroys the tumor.

Another technique for the closeup treatment (near-treatment) is through the implantation of the radioactive substance in the tumor or surrounding tissue in the form of capsules (seeds) by needles or special injectors (prostate cancer, breast and cervix cancer).

التجاوب المغنطيسي النووي والتصوير بالتجاوب المغنطيسي النووي

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) & Nuclear Magnetic Resonance Imaging (NMRI)

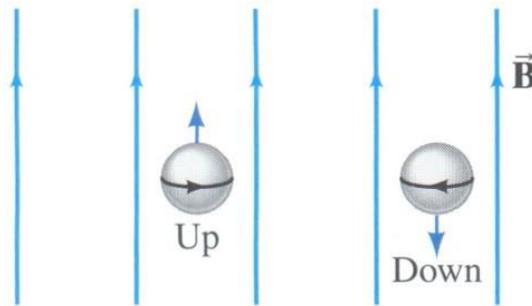
يعتبر التجاوب المغنطيسي النووي (*NMR*) ظاهرة سرعان ما أصبحت بعد اكتشافها أداة بحث فعالة في العديد من المجالات من الفيزياء إلى الكيمياء والكيمياء الحيوية، بالإضافة إلى كونها تقنية مهمة جداً في مجال التصوير الطبي بغية الكشف عن وجود الأورام السرطانية أو حتى مشاكل القلب والدماغ.

ترتبط ظاهرة الـ *NMR* بالخصائص المغناطيسية (العزم المغناطيسي النووي والحقل المغناطيسي) للنكليونات في داخل النوى، حيث يكون الاعتماد الأساسي في هذه الظاهرة الفيزيائية على نوى الهيدروجين ^1H كونها الأكثر شيوعاً في العضوية.

The NMR phenomenon is related to the magnetic properties (Nuclear magnetic moment and magnetic fields) of nucleons inside the nuclei, where the basic dependence in this physical phenomenon is on the nucleus of the hydrogen, because it is the most common in the organic matter.

يأخذ الاندفاع الزاوي السبيني للنكليون ضمن نواة الهيدروجين وبوجود حقل مغناطيسي خارجي قيمتين Spin up & Spin down، كما هو مبين بالشكل 7.7:

The spinular angular momentum of the nuclei takes within the nucleus of the hydrogen and by the existence of an external magnetic field two values Spin up & Spin down, as its shown in the following figure:



الشكل 7.7: حالي السبين الممكنة لبروتون ذرة الهيدروجين بوجود حقل مغناطيسي خارجي \vec{B} .

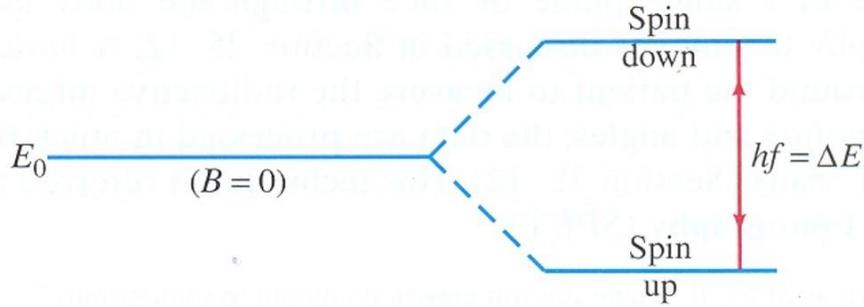
تنشطر طاقة الحالة للبروتونات ضمن نوى الهيدروجين بوجود حقل مغناطيسي خارجي إلى سويتين طاقيتين (الشكل 8.7)، حيث أن فارق الطاقة بين هاتين السويتين يتناسب طردياً مع شدة الحقل المغناطيسي المطبق وذلك وفق العلاقة التالية:

The energy of the state of the protons within the hydrogen nucleus is split with the existence of an external magnetic field into two energetic levels. The energy difference between these two levels is proportional to the intensity of the applied magnetic field according to the following relationship:

$$\Delta E = k B_T$$

حيث أن k هو ثابت تناسب يختلف باختلاف النكليد.

Where k is a constant that varies with different nuclei.



الشكل 8.7: انشطار طاقة النواة إلى قيمتين بوجود حقل مغناطيسي خارجي.

آلية حدوث التجاوب المغناطيسي النووي (Mechanism of the NMR)

يوضع الجسم المدروس ضمن حقل مغناطيسي سكوني (خارجي). ثم تطبق نبضة تواتر راديوي من إشعاع كهربي على هذا الجسم، بحيث يوافق تواتر النبضة تماماً فارق الطاقة بين المستويين:

$$hf = \Delta E = kB_T$$

فيتم امتصاص فوتونات التواتر الراديوي لينتقل الكثير من النوى من الحالة الأخفض إلى الحالة الأعلى. تدعى هذه الظاهرة تجاوب مغناطيسي.

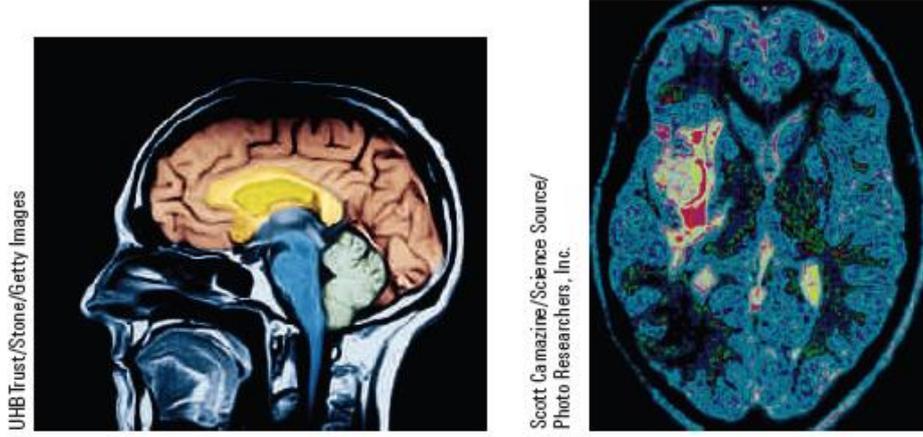
The studied body is placed within a static (external) magnetic field. Then a Radio Frequency (RF) pulse of an electromagnetic radiation is applied to this body, so that the frequency of the pulse fully corresponds to the energy difference between the two levels.

Radio frequency photons are absorbed so that many nuclei move from the lower energy level to the higher one. This phenomenon is called magnetic Resonance.

يتم توليد الحقل المغناطيسي الخارجي بفعل مرور تيار كهربائي ضمن ملفات كبيرة، بالإضافة إلى ملفات أخرى تنشأ تدرجاً له وفق المحاور الثلاثة (X, Y, Z)، في حين تقوم ملفات صغيرة بتوليد نبضات متدرجة التواتر من الأمواج الكهربية (الفوتونات) بحيث تؤدي إلى قفز النوى من الحالة الأخفض إلى الحالة الأعلى.

يمكن لهذه الملفات أو ملف آخر أن يكشف امتصاص الطاقة أو الإشعاع الصادر (وأيضاً تواتره) عندما تقفز النوى من جديد نحو الحالة الأخفض. يتم استقبال الإشارة الصادرة من العضو (الذي خضع لتأثير الحقل مغناطيسي ونبضة التواتر الراديوي) بواسطة نفس الملفات التي قامت بإرسال النبضات الراديوية حيث يتم فرز التواترات بحسب المناطق التي صدرت منها.

These coils or another coil can detect the absorption of energy or the emitted radiation (and also its frequency) when the nuclei jump back toward the lower level. The signal from the organ (which has been subjected to the influence of the magnetic field and the radio frequency pulse) is received by the same coils that transmitted the radio pulses where the frequencies are sorted according to the regions from which they were emitted.



الشكل 9.7: صورة للدماغ مأخوذة بواسطة تقنية التجاوب المغنطيسي النووي.

يمكن بمعالجة البيانات الناتجة تشكيل صورة للمقطع أو للعضو المصور وذلك باستخدام برمجيات خاصة، حيث أن الصورة الناتجة هي صورة تشريحية ووظيفية نستطيع فيها التمييز بوضوح بين النسج المختلفة وبالتالي تحديد أماكن النشاط الإضافي أو النشاط المنخفض.

The received data can be manipulated to form an image of the section or of the organ using special software. The resultant image is an anatomical and functional image in which we can distinguish clearly between the different tissues and thus determine where additional or low activity are exist.

الفصل الثامن

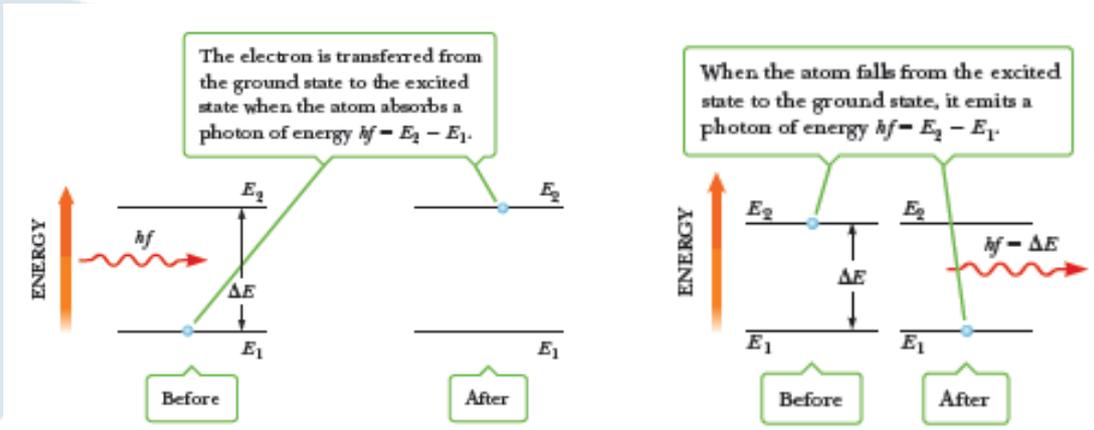
الليزر وتطبيقاته الطبية

The LASER & medical applications

يعتبر علم الليزر أحد أهم فروع الفيزياء، نظراً لتعدد استخداماته وتطبيقاته في مختلف مجالات الحياة العلمية والصناعية، ويعود اكتشاف الليزر في ستينيات القرن الماضي، إلى باحث شاب إيراني وأستاذه الأمريكي. تعني كلمة ليزر LASER تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للإشعاع وهي اختصار للمصطلح الفيزيائي (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). يشمل ضوء الليزر عدة أطوال موجية، وليس المجال المرئي فقط، كمجال الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية. ولكن هذا لا يعني أنه من غير الممكن توليد الليزر في مجالات طيفية أخرى. تدعى الليزر المولدة في الأطوال الموجية الأكبر (المجالات الميكروية والراديوية) بالميزر MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

إصدار الليزر (Laser Emission)

يعتمد إصدار الليزر على مبدأ الإصدار المحثوث (الشكل 1.8)، وهي عبارة عن عملية إصدار كهريطيسي مدعومة بعملية إصدار محثوث. يتم في عملية الإصدار الكهريطيسي المحثوث إصدار فوتون من ذرة تم إثارتها عن طريق تقديم طاقة خارجية بغية رفعها من سوية طاقة دنيا إلى سوية طاقة عليا، أي تتم عملية الإصدار بفعل فوتون وارد خارجي (محررض) تواتره مساوي لتواتر الفوتون الصادر (المتحررض).



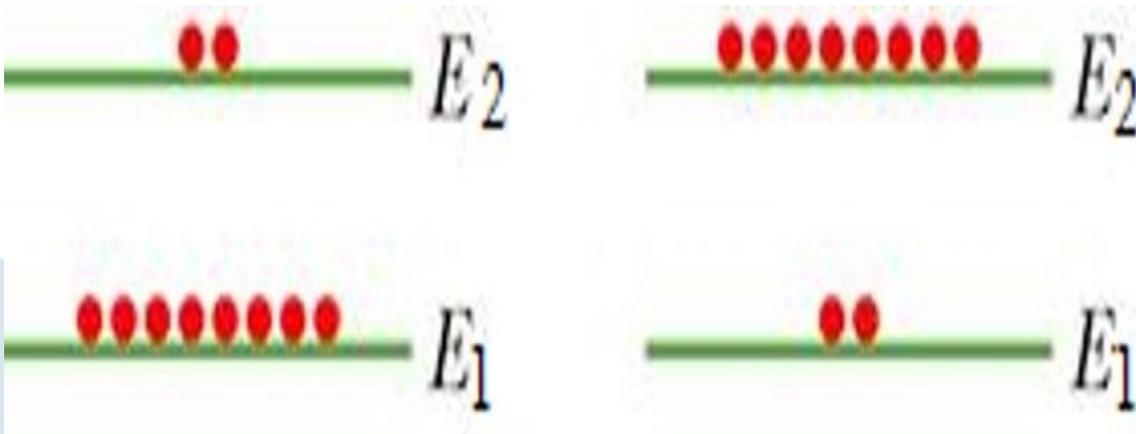
الشكل 1.8: مبدأ الإصدار المحثوث في الليزر.

The laser emission is based on the principle of stimulated emission, which is an electromagnetic emission process supported by a stimulated emission. In the process of the electromagnetic stimulated emission, a photon is released from an excited atom by providing external energy to raise it from a ground energy level to a high energy level, i.e., the process of emission is done by an externally induced incoming photon with a frequency equal to the frequency of the induced photon.

بغية تحقيق الإصدار المحثوث وبالتالي تحقق الليزره ينبغي في البدء تحقيق شرط هام جداً يعرف بالانقلاب الإسكاني (الشكل 2.8)، أي يجب أن يكون عدد الذرات في حالة الإثارة أكبر منه في الحالة الطبيعية. حيث بينت الدراسات النظرية بأن احتمال قيام إشعاع وارد بتحريضه لعملية الإصدار المحثوث في جسم ما متوازن حرارياً هي شبه معدومة، لأن الإصدار المحثوث تزداد نسبته بازياد عدد الذرات المثارة. إن عملية قلب توزع الذرات المثارة خارج حالة التوازن الحراري، بغية زيادة الإصدار المحثوث، هي ما يعرف بالانقلاب الإسكاني Population Inversion.

In order to achieve the stimulated emission and thus achieve the laser, a very important condition known as the Population Inversion should first be achieved. In other words, the number of atoms in the excited level must be higher than it in the ground level.

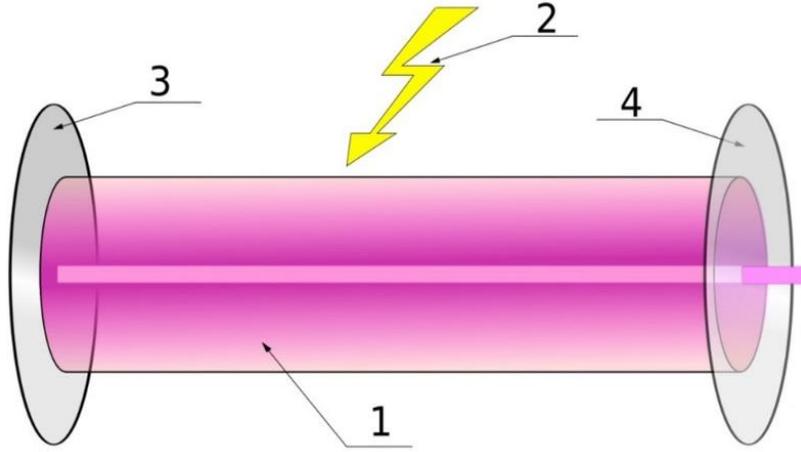
Where theoretical studies have shown that the probability of stimulated emission by an incoming photon in an object with a thermal equilibrium state is almost zero, because the stimulated emission is increased by increasing the number of the excited atoms.



الشكل 2.8: توزع طبيعي للذرات في جسم ما (يساراً)، وعملية انقلاب إسكاني (يميناً).

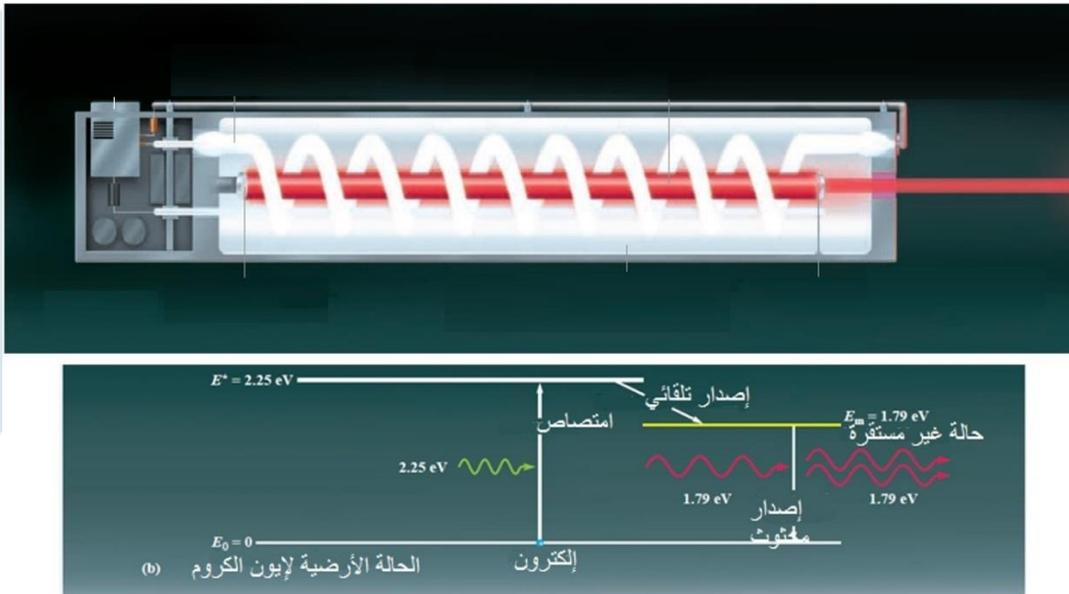
مكونات الليزر (Laser Parts)

يتكون جهاز الليزر، في الحالة العامة، من أربعة أقسام رئيسية. يدعى القسم الأول، وهو الأهم، بوسط الربح والثاني منبع طاقة الليزر، أما الثالث والرابع فهما عبارة عن مرآتين مختلفتي الشفافية (الشكل 3.8).



الشكل 3.8: الأقسام الرئيسية لليزر.

بالنسبة لوسط الريح فهو عبارة عن مادة محفزة للإصدار المحثوث قد تكون صلبة أو سائلة أو غازية، وهي متواجدة ضمن تجويف أسطواني مصممت عالي الانعكاسية. تحقق الانقلاب الإسكاني يتم بواسطة منبع للطاقة قد يكون عبارة عن تيار كهربائي أو حتى منبع ليزري. يحوي هذه التجويف على مرأتين عاكستين مرتبتين بطريقة هندسية تتيح للضوء الصادر الانعكاس ذهاباً وإياباً عابراً وسط الريح بشكل دائم، وهو ما يؤدي بدوره إلى تضخيم الضوء بشكل أكبر وعلى مراحل. تكون المرآة الأولى شديدة الانعكاسية بحيث أنها تمنع نفاذ الضوء نهائياً، وأما المرآة الثانية فتكون شفافة نسبياً كي تتيح لشعاع الليزر بالنفاذ نحو الخارج عند شدة معينة.



الشكل 4.8: آلية توليد الليزر الياقوتي.

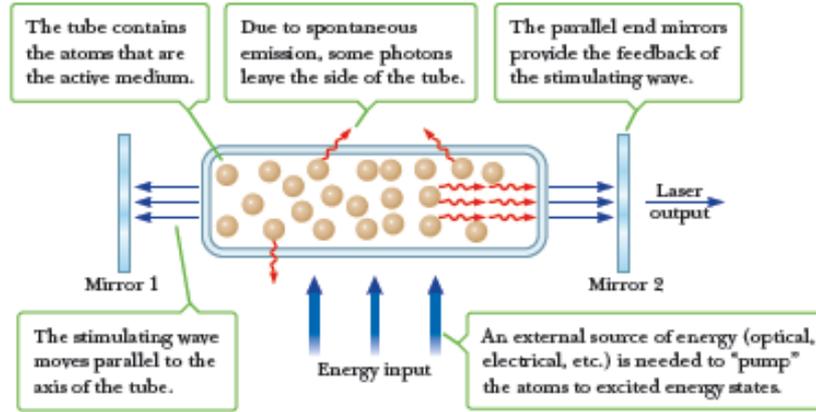
The laser device consists in general of four main parts. The first one, most importantly, is called the gain medium and the second is the energy source of laser, while the third and fourth are two different mirrors of transparency.

For the gain medium, it is a catalyst substance for the stimulated emission that may be solid, liquid or gaseous, and is located within a high reflective cylindrical cavity. The population inversion is achieved by an energy source that may be an electric current or even a laser source.

This cavity contains two geometric reflectors in a geometrical way that allows the reflected light to travel back and forth through the gain medium permanently, which in turn amplifies the light more and in stages. The first mirror is very reflective so that it prevents the light from entering permanently, and the second mirror is relatively transparent to allow the laser beam to go out at a certain intensity.

يظهر في الشكل 4.8 مخطط تفصيلي لليزر الياقوتي (Ruby laser). يتكون هذا الليزر من منبع تغذية كهربائي ومصباح غاز الكزنيون (Xe gas) عالي الشدة، أما وسط الريح فهو عبارة عن قضيب من الياقوت مشوب بأيونات الكروم المصدرة للإلكترونات. يؤدي امتصاص أيون الكروم لطاقة فوتون وارد إلى إثارة هذا الأيون وبالتالي ارتفاعه إلى سوية طاقة عليا تدعى سوية الإثارة. تمتلك هذه السوية طاقة تقدر بحوالي $E^* = 2.25eV$.

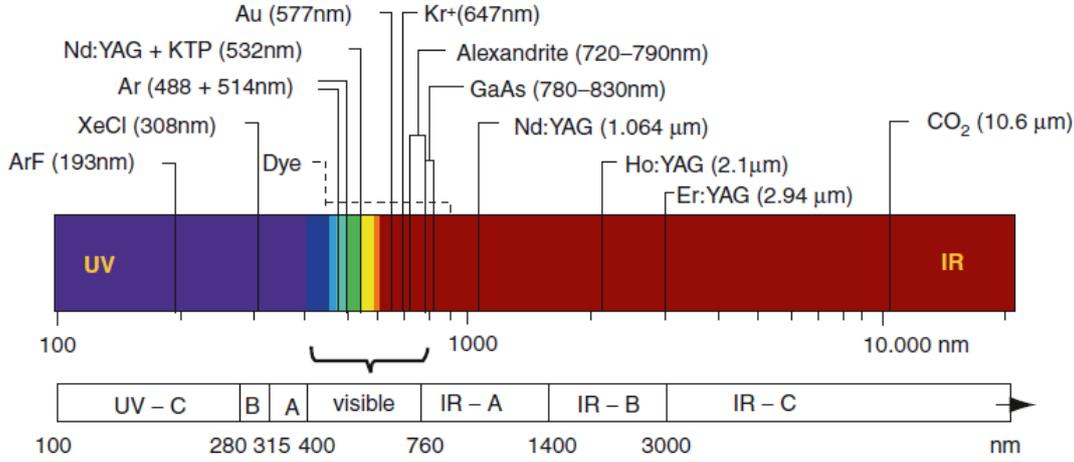
يستطيع الإلكترون البقاء في هذه السوية لفترة زمنية محددة. بعد ذلك يسترخي الإلكترون ويهبط إلى سوية طاقة غير مستقرة تدعى سوية الليزر وتمتلك طاقة ($E_m = 1.79eV$) أقل من طاقة سوية الإثارة. حال وصول الإلكترون إلى هذه السوية يتم إصدار فوتون آخر تكون طاقته مساوية لطاقة هذه السوية الطاقية ($E_m = 1.79eV$). حيث يقوم هذا الفوتون الوارد بتحريض الإلكترون الموجود في سوية الليزر على إطلاق فوتون طاقته مساوية له. يدعى هذا الفوتون الوارد فوتون الليزر.



الشكل 5.8: الآلية العامة لتوليد الليزر.

أنواع الليزر (Laser types)

نظراً للتطبيقات العديدة لأجهزة الليزر في مختلف مجالات الحياة فهناك عدد كبير جداً من الليزر المستخدمة وفي مختلف الأطوال الموجية، حيث تشترك معظم الليزر المستخدمة في المجالات الطبية بوقوعها ضمن المجالات الترددية الثلاثة (المرئي، تحت الأحمر بمجالاته الثلاثة وفوق البنفسجي بمجالاته الثلاثة أيضاً) (الشكل 6.8). تكون هذه الليزر إما صلبة أو سائلة أو غازية.



الشكل 6.8: مجال إصدار مختلف أنواع الليزر.

يدعى مجال إصدار الليزر بالمجال الحيوي أو المجال المفيد ويمتد من المجال تحت الأحمر المتوسط $\lambda = 10000\text{nm}$ إلى المجال فوق البنفسجي المتوسط $\lambda = 200\text{nm}$.

أما بالنسبة لليزر خارج هذه الأطوال الموجية فهي ذات استخدامات مخبرية بحتة.

Because of the many applications of lasers in different fields of life, there are a very large number of lasers used and at different wavelengths. Most lasers used in medical fields are involved in the three frequency fields (visual, infrared with its three fields and the ultraviolet with its three fields as well). These lasers are either solid, liquid or gaseous.

The field of lasers is called the dynamic or useful field and extends from the med infrared range (MIR) $\lambda = 10000\text{nm}$ to the Middle ultraviolet range (UV-B) $\lambda = 200\text{nm}$.

As for lasers outside these wavelengths, they are purely laboratory applications.

من أهم أنواع الليزر الطبية:

ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون: ليزر غازي يمتاز بقدرته على إصدار إشعاع عالي الاستطاعة عند الطول الموجي $\lambda = 9.6\mu\text{m}$ (المجال تحت الأحمر IR)، وهو الموافق للامتصاص العظمي لجسم الإنسان (كجسم أسود). ولذلك يستخدم هذه الليزر في العمليات الجراحية كمشط ليزري (ليزر مستمر) (الشكل 7.8).

The CO2 laser: Is a gas laser which has the ability to produce high-capacity radiation at the wavelength $\lambda = 9.6\mu\text{m}$, which corresponds to the maximum absorption of the human body (as a black body). This laser is therefore used in surgical procedures as a **laser scalpel**.



الشكل 7.8: مشرط ليزري (ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون).

ليزر الإكسايمر: ليزر غازي يكون وسط الريح فيه خليط من غاز حامل (الأرغون Ar أو الكزينون Xe أو الكريبتون Kr) وغاز فعال (الفلور F أو الكلور Cl)، ويمتاز بإصداره في مجال الأشعة فوق البنفسجية UV . يمتاز هذا الليزر بأن تأثيره سطحي، تستطيع المادة الحية والمركبات العضوية امتصاص إشعاع ليزر الإكسايمر بشكل جيد، مما يعني إضافة طاقة كافية للتداخل مع الروابط الجزيئية في النسيج السطحي بحيث يمكن تفكيكه عن طريق تسخينه (وليس حرقه) بواسطة حرارة الإشعاع وهو ما يعرف بالاشتئصال الضوئي. أي أن هذا الليزر قادر على إزالة الطبقات السطحية من دون أذيتها ولذلك تستخدم هذه الليزرات في معالجة طبقات الجلد المتقرنة بالإضافة إلى جراحة العين ومعالجة الشبكية (ليزر نبضي).

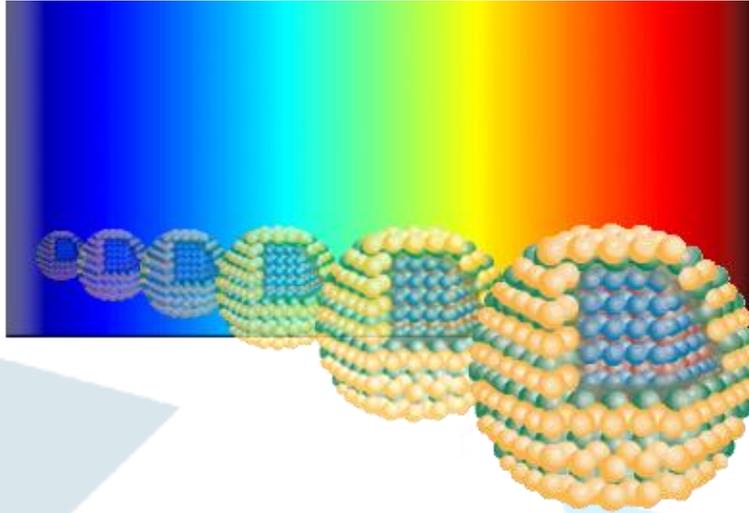
Excimer Laser: Is a gas laser with a gain medium which is a mix of an Inert gas (Ar or Xe or Kr) and a Halogen gas (F or Cl), and is emitted in the UV range. This laser has the effect of being superficial. Living matter and organic compounds can absorb the radiation of the excimer laser well, which means adding enough energy to interfere with the molecular bonds in the surface tissue so that it can be disassembled by heating (not burning) by the heat of radiation, and this is known as laser ablation. This laser is capable of removing the surface layers without harming them. Therefore, these lasers are used in the treatment of corneal skin layers in addition to eye surgery and retinal treatment.

بالإضافة إلى الأنواع السابقة، والتي هي من أشهر أنواع الليزر المستخدمة طبياً، يوجد العديد من الليزرات المستخدمة في مجالات الصيدلة، والكشف الجرثومي. حيث أنه يمكن ومن خلال الدمج ما بين تقنيتي النانو والليزر الكشف عن وجود فيروس أو بكتيريا في عينة ما بواسطة استخدام ما يعرف بالنقاط الكمومية المتفلورة (الشكل 8.8).

يستفاد من هذه النقاط الكمومية في التحليل الجرثومي، حيث يتم وسم هذه النقاط بأضداد جراثيم معينة. فعند وضع ضد لجرثوم معين على نقاط بقطر معين، فإنه من الممكن الكشف عن وجود هذا الجرثوم في عينة ما عند إضاءتها بضوء ليزر، إذ لن يتفلور من هذه النقاط الكمومية إلا التي وجدت المستضد (الجرثوم) الذي تحمل أضداده.

In addition to the previous laser types, which are the most famous and used laser in medicine, there are various kinds of lasers used in the branches of pharmacy and microbial detection. By combining nanotechnology and laser technology, it is possible to detect the presence of a virus or bacteria in a sample by using what is known as fluoridated quantum dots.

These quantum dots are used in microbial analysis, where these points are labeled with antibodies against certain bacteria. When a particular antibody is placed against points of a given diameter, it is possible to detect the presence of this microbial in a sample when illuminated by a laser light. Only those quantum dots will radiate and will be thus able to detect the bacteria that carries its antibodies.



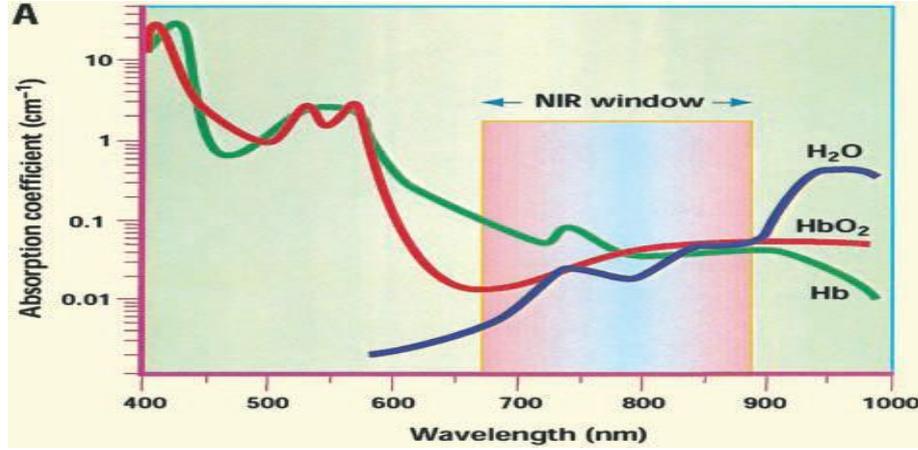
الشكل 8.8: نقاط كمومية مختلفة الأحجام تصدر ألوان مختلفة عند تعريضها لضوء الليزر.

التصوير بالليزر

يعتبر التصوير بالليزر من التقنيات الحديثة في المجال الطبي لانخفاض تكلفته وكونه آمن مقارنةً بتقنيات التصوير الأخرى كالأشعة السينية وأشعة غاما المصنفة على أنها أشعة هجومية ومؤينة للوسط.

بما أن الليزر هو ضوء صناعي فهو يمتلك خواص الضوء العادي، أي أنه ينعكس أو ينفذ وينتثر ضمن النسيج الحية. يرتبط تخامد الضوء ضمن النسيج الحية ارتباط وثيق بالطول الموجي، حيث يمتص الدم الضوء في المجال المرئي بشدة ولكن تنخفض نسبة الامتصاص عند الانتقال من الطول الموجي الأحمر إلى تحت الأحمر القريب وهو ما يفسر اللون الأحمر للضوء النافذ عبر الجسم.

يمتاز المجال الطيفي الواقع ما بين $650\text{nm} - 950\text{nm}$ بأدنى نسبة امتصاص للضوء من قبل النسيج، فهو يشكل ما يعرف بالنافذة الضوئية (العلاجية) (الشكل 9.8) حيث يستطيع الإشعاع الضوئي النفاذ داخل النسيج الحية مع نسبة ضياع منخفضة في الطاقة. تستخدم هذه النافذة في تصوير النسيج.



الشكل 9.8: النافذة العلاجية NIR window المستخدمة في التصوير الضوئي.

يشيع في المشافي استخدام جهاز يعرف بمقياس أكسجة النبض *Pulse Oximeter* (الشكل 10.8)، وذلك لمراقبة أداء القلب والإشباع الشرياني بالأكسجين. يتم في مقياس أكسجة النبض الاستعانة بثنائيات مصدرة للضوء تطبق طولين موجيين من الضوء، أحدهما أحمر 780nm يمتص بشدة من قبل Hb في الحالة العامة والثاني تحت أحمر قريب 830nm يمتص من قبل HbO_2 ، على أحد جانبي الأصبع.

بقياس كمية الضوء المارة في الإصبع واستنتاج الكمية التي قام أكسجين الدم بامتصاصها، يمكن أن نقرأ على شاشة مقياس الأكسجة مقدار تغيرات الإشباع الشرياني بالأكسجين، وهي النسبة المئوية من كمية الأكسجين العظمى التي يمكن للدم أن يحملها، كما يمكن أن نقرأ تواتر النبض (تغيرات حجم الدم).



الشكل 10.8: مقياس الأكسجة والنبض.

من أشهر تقنيات التصوير بالليزر هي تقنية التصوير بالضوء الموسوم بالأمواج فوق الصوتية (*Acousto – Optic Imaging, AO*) المستخدمة في تصوير الثدي، بالإضافة إلى تقنية التصوير المقطعي بالترابط الضوئي (*Optical Coherence Tomography, OCT*) المستخدمة بشكل كبير في تصوير شبكية العين. تمتاز تقنية التصوير المقطعي بالترابط الضوئي بمقدرة فصل عالية جداً، تكاد تقارب مقدرة فصل المجاهر الضوئية، للنسج السطحية.

Laser imaging

Laser imaging is a new technology in the medical field because it is low in cost and safe compared to other imaging techniques such as x-rays and gamma rays, which are classified as offensive and ionized radiations.

Since the laser is an artificial light, it has the properties of normal light, which means it reflects or penetrates and scatters within living tissue. Light retention within living tissue is closely related to wavelength, where blood absorbs light in the visible range but the absorption rate decreases when moving from red R to NIR, which explains the red color of light passing through the body.

The spectral range between 650nm-950nm has the lowest absorption of light by the tissue. It forms the so-called photo (NIR) window, where light radiation can penetrate into the biological tissue with low energy loss, this window is used in imaging the tissue.

A Pulse Oxymeter is used to monitor the performance of the heart and oxygen saturation in the veins. The Pulse Oximeter uses light-emitting diodes to apply two wavelengths of light, one of them is 780 nm red, which is strongly absorbed by *Hb* in the general case and the other is a near infrared light 830 nm absorbed by *HbO₂*, on one side of the finger.

By measuring the amount of light passing through the finger and concluding the amount of oxygen absorbed by the blood, we can read on the screen of the oxygen meter the changes of the oxygen saturation, which is the percentage of the amount of oxygen that the blood can carry. We can also read the frequency of pulse.

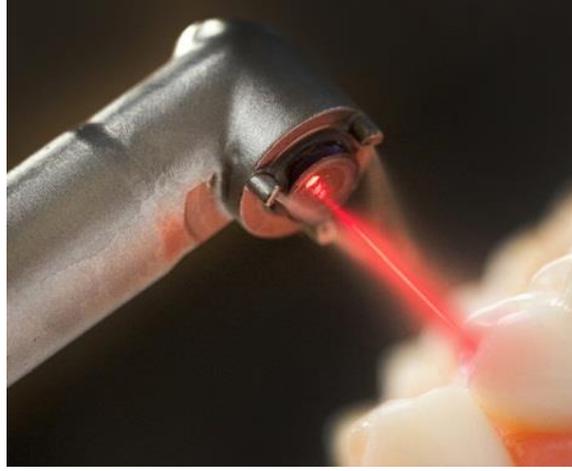
One of the most famous laser imaging techniques is Acousto-Optic Imaging (AO), which is used in breast imaging, as well as Coherence Optical Tomography (COT), which is used extensively in retinal imaging.

The COT technique is characterized by a very high-Resolution ability, almost close to the resolution of optical microscopes, to surface tissues.

تطبيقات الليزر في طب الأسنان

يعتبر استخدام أجهزة الليزر في مجال طب الأسنان حديث العهد إلا أنه أثبتت فعاليته للعديد من الأسباب ومنها:

1. يخفف استخدام الليزر من استخدام مواد التخدير، لأنه عديم أو قليل الألم.
 2. على عكس الأجهزة التقليدية المستخدمة في عيادات الأسنان، فإن جهاز الليزر لا يصدر أي صوت وبالتالي يكون المريض أقل توتراً.
 3. التخفيف من الأعراض الجانبية الناتجة عن العمليات الجراحية (جراحة اللثة مثلاً) كون تأثير الليزر محدود في المنطقة المعالجة.
- يستخدم الليزر لإزالة تسوس الأسنان وتحضير السن للحشوة بالإضافة إلى معالجة العصب، كما يستخدم في تبييض الأسنان وعلاج بعض مشاكل اللثة، أضف إلى ذلك استخدامه في العمليات الجراحية البسيطة وإزالة الكتل والأورام ضمن الفم، لقدرته على إحداث شق مع تخثير للدم في المنطقة المعالجة.
- تعتبر تكلفة العلاج بالليزر عالية مقارنةً بتقنيات العلاج التقليدية.



الشكل 11.8: حفر الأسنان بواسطة الليزر.

الفصل التاسع

ضغط الغازات وميكانيك الموائع

Gas pressure & Fluids dynamics

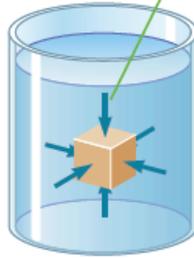
من أهم السوائل الموجودة في جسم الإنسان هو سائل الدم (Blood) الذي ينقل الأكسجين والغذاء لكل أعضاء الجسم عن طريق الدورة الدموية (Blood circulation). تعرف الدورة الدموية بأنها عملية نقل الدم بفعل الضغط الناتج عن انقباض العضلة القلبية، والذي يولد أمواج ضغط تعرف بالنبض Pulse.

يخضع تدفق الدم من القلب إلى مختلف أعضاء الجسم البشري (الدورة الدموية) إلى مجموعة من القوانين الفيزيائية من أهمها معادلة الاستمرارية (Continuity equation) التي تعطي العلاقة بين سرعة تدفق الدم في وعاء دموي ومساحة مقطع هذا الوعاء، ومعادلة برنولي (Bernoulli's equation) التي تعطي العلاقة بين سرعة التدفق والضغط والارتفاع في نقطتين ضمن نفس الوعاء الدموي.

الضغط وطرق قياسه:

تمتلك معظم السوائل ضغط بسبب وزنها، فيؤثر السائل بالتالي على الوعاء الموجود به وعلى أي جسم يقع بداخله (الشكل 1.9) بقوة معتمدة له ولسطح الهواء المماس له.

The force exerted by a fluid on a submerged object at any point is perpendicular to the surface and increases with depth.



الشكل 1.9: ضغط السائل على مكعب مغمور ضمنه.

تعرف قيمة الضغط الذي يؤثر به سائل ما على سطح ما بأنه القوة العمودية على هذا السطح.

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

يقاس الضغط في الجملدة الدولية بوحدة الـ Pascal حيث

$$\left(1Pa = \frac{N}{m^2}\right)$$

بالإضافة إلى وجود واحدة أخرى تدعى الجو (Atmosphere)، وهو تعريفاً متوسط ضغط الهواء عند سطح البحر.

$$1atm = 101.3kPa$$

Most fluids have pressure due to their weight, so the liquid affects the vessel with a power perpendicular to it and to the contact surface. The pressure value of a liquid on a surface is defined as the vertical force on this surface.

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Pressure in the international sentence is measured by the Pascal (Pa) unit, where

$$\left(1Pa = \frac{N}{m^2}\right)$$

In addition to the existence of another unit called Atmosphere, which is the average of air pressure at sea level.

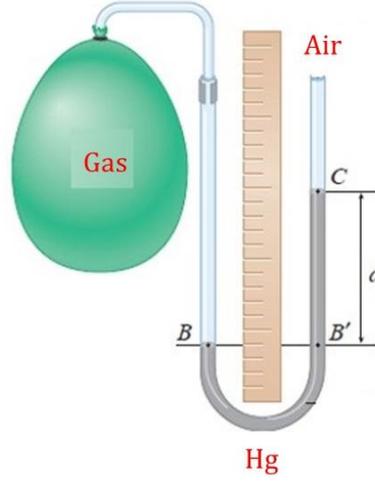
$$1atm = 101.3kPa$$

من أحد أسباب قدرة الإنسان على العيش على سطح الأرض هو تساوي قوة ضغط معظم الموائع في جسم الإنسان مع الضغط الجوي المحيط بنا. ولكن ترتفع قيمة ضغط الدم في شرايين الجسم لتصل حتى $30kPa$ مما يسبب تمددها ولكن تبقى قيمة هذا الضغط ثابتة بفعل معاكسة التوتر السطحي لجدران الشرايين لهذا الضغط. من بين الواحدات الأخرى المستخدمة في قياس الضغط ما يعرف بالـ bar أو $millibar$ حيث أن $1atm = 1bar = 10^3mbar$.

One of the reasons why a human being can live on Earth is that the pressure of most fluids in the human body equals the surrounding atmospheric pressure. But the value of blood pressure in the arteries of the body rises up to $30kPa$, which causes its expansion, but the value of this pressure remains constant due to the opposite force of the surface tension of the walls of the arteries, which acts against this pressure.

من أشهر المقاييس المستخدمة في قياس الضغط هو مقياس المانومتر (Manometer) (الشكل 2.9) وهو مكون من أنبوب زجاجي على شكل حرف U يحوي كمية من الزئبق في أسفله (كما هو موضح في الشكل المرفق)، بحيث يكون أحد طرفيه مفتوح على الهواء الخارجي أما الطرف الأخر فيوصل إلى وعاء يحوي الغاز المراد حساب ضغطه بالنسبة للضغط الجوي.

One of the most commonly used measuring tools for the pressure is the Manometer, which is a U-shaped glass tube containing mercury in the bottom (as shown in the attached figure), one of his two ends is opened on the outside, and the other one is connected to a vessel containing the gas, its pressure to be calculated relative to the atmospheric pressure.



الشكل 2.9: مقياس مانومتر زئبقي.

يؤدي وصل وعاء يحوي غاز ضغطه أكبر من الضغط الجوي إلى دفع الزئبق نحو الطرف المفتوح من الأنبوب مما يعني ارتفاع سوية الزئبق في هذا الطرف مقارنةً بالطرف الأخر. تتساوى قيمة ضغط الغاز وضغط الزئبق عند النقطة B (نقطة توازن)، وكون النقطة B' تمتلك نفس ارتفاع النقطة B فهي تملك نفس قيمة الضغط، وأما الضغط في النقطة C فهو مساوٍ للضغط الجوي.

يحسب الضغط عند النقطة B من العلاقة:

$$P_B = P_{B'} = P_C + \rho \cdot d \cdot g \quad (2)$$

ومنه يمكن حساب فرق الضغط على جانبي المقياس بالعلاقة التالية:

$$\Delta P = P_{B'} - P_C = \rho \cdot d \cdot g \quad (3)$$

حيث ρ هي كثافة الزئبق ($\rho = 13600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)، d الفارق بين مستويي الزئبق، و g هو تسارع الجاذبية الأرضية. ما يتم حسابه بهذه الطريقة (أحد طرفي الأنبوب مفتوح) هو الفرق بين ضغط الغاز والضغط الجوي وهو ما يعرف بالضغط القياسي (gauge pressure)

$$P_{gauge} = P_{abs} - P_{atm} \quad (4)$$

Connecting a vessel with a gas, its pressure bigger than the atmospheric pressure will push the mercury towards the open end of the tube, which means that the mercury level in this side is higher than the other side. The value of gas pressure and mercury pressure is the same at the point B (equilibrium point), and since B' has the same height as point B, it has the same pressure value, but the pressure at point C is equal to the atmospheric pressure.

Pressure at point B is calculated via the following relation:

$$P_B = P_{B'} = P_C + \rho \cdot d \cdot g \quad (2)$$

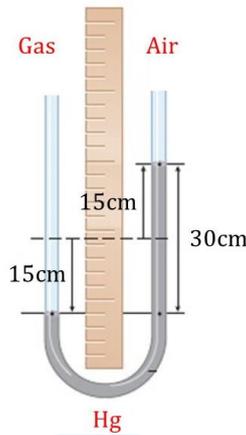
The pressure difference on both sides of the Manometer can be calculated with the following relation:

$$\Delta P = P_{B'} - P_C + \rho \cdot d \cdot g \quad (3)$$

Where ρ is the density of mercury, d the difference between the mercury levels, and g is the acceleration of gravity. What is calculated in this way (one end of the tube ends is opened) is the difference between gas pressure and atmospheric pressure, which is known as the gauge pressure.

$$P_{gauge} = P_{abs} - P_{atm} \quad (4)$$

تمرين (محلول): إذا علمت أن مستوي الزئبق في مقياس المانومتر قد ارتفع بمقدار 15cm في الطرف المقابل (المفتوح على الجو)، أحسب كلاً من الضغط القياسي والضغط المطلق للغاز بالباسكال.
الحل:



ارتفاع عمود الزئبق عند الطرف المفتوح على الهواء الخارجي يعني أن ضغط الغاز المستخدم أعلى من الضغط الجوي، وهذا يعني أن الضغط القياسي للغاز أكبر من الصفر ويعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{gauge} = \rho \cdot d \cdot g$$

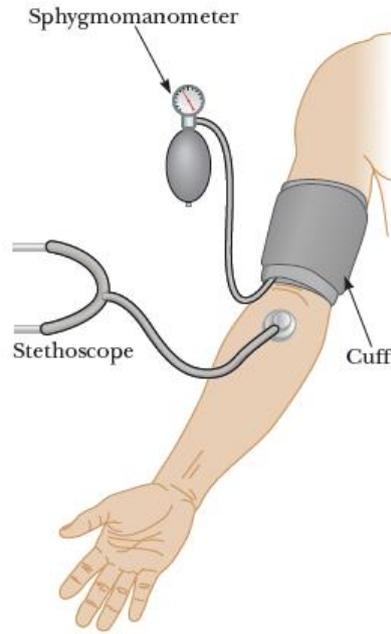
$$P_{gauge} = (13600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}) \cdot (9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}) \cdot (0.3 \text{ m}) = 40 \text{ kPa}$$

أما الضغط المطلق فيعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge} = 101kPa + 40kPa = 141kPa$$

تمرين (غير محلول): إذا علمت أن مستوي الزئبق في مقياس المانومتر قد ارتفع بمقدار 15cm في الطرف الموصول بالغاز، أحسب كلاً من الضغط القياسي والضغط المطلق للغاز بالباسكال.

قياس ضغط الدم في جسم الإنسان (Blood pressure in a human body):



الشكل 3.9: مقياس المانومتر الزئبقي المستخدم في قياس ضغط الدم.

يمكن قياس ضغط الدم في جسم الإنسان بواسطة أحد نماذج مقياس المانومتر الزئبقي، حيث يوصل أحد طرفي المقياس إلى حزام ضاغط يمكن ملؤه بالهواء، يتم لف هذا الحزام حول القسم العلوي من الذراع قريب من مستوي القلب ثم يتم ملؤه بالهواء.

Blood pressure can be measured in the human body by one of the models of the mercury Manometer, where one of its two ends is connected to a compressor belt that can be filled with air. This belt is put around the upper part of the arm close to the heart level and then filled with air.

مهمة هذا المقياس قياس الضغط القياسي للهواء في الحزام، حيث أن الضغط الأولي يكون عالي جداً ضمن الحزام (أعلى من الضغط الانقباضي) لدرجة أنه يتم إغلاق الشريان في الساعد ومنع تدفق الدم في الساعد. يتم بعد ذلك السماح للهواء بالخروج من الحزام الضاغط بواسطة صمام صغير وببطء شديد، إلى أن تنخفض قيمة ضغط الهواء في الحزام إلى قيمة أقل من قيمة الضغط الانقباضي بقليل، عندئذٍ يمكن سماع صوت نبض القلب بوضوح بواسطة سماعة صدر يمكن أن توضع أسفل الحزام الضاغط. توافق هذه القيمة على الميزان الزئبقي قيمة الضغط الانقباضي (الضغط العلوي) (الشكل 3.9).

The function of this gauge is to measure the gauge pressure of the air in the belt, as the initial pressure is very high within the belt (above the systolic pressure) to the extent that the artery is closed in the forearm and prevents the blood flow in this

forearm. The air is then allowed to exit the belt by a small valve and very slowly until the value of the air pressure in the belt drops to a value slightly below the systolic pressure value. The heartbeat sound can be clearly heard by a Stethoscope that can be placed down the belt.

مع استمرار خروج الهواء من الحزام نصل إلى ما يعرف بالضغط الانبساطي وهو الحد الموافق لاسترخاء العضلة القلبية. عندئذ يكون الضغط على الشريان قد انعدم وبالتالي لا يمكن سماع أي نبض، قيمة القراءة على الميزان الزنبركي توافق قيمة الضغط الانبساطي (الضغط السفلي). تقدر قيمة كل من الضغطين القياسيين العلوي والسفلي لقلب إنسان سليم في الحالة الطبيعية بحوالي (120mmHg/80mmHg).

As the air gets out of the belt we reach what is known as diastolic pressure, which is the corresponding limit for the relaxation of the heart muscle. Then the pressure on the artery has been eliminated and therefore no pulse can be heard with the Stethoscope, the value on the mercury gauge corresponds to the value of the diastolic pressure (lower pressure).

The upper and lower gauge pressure of a normal human heart is estimated to be (120mm. Hg/80mm. Hg).

الوزن النوعي (Specific Gravity):

من المقادير الفيزيائية المهمة في علوم الصيدلة هو ما يعرف بالوزن النوعي Specific Gravity لمادة ما، وهي نسبة كثافة هذه المادة إلى كثافة الماء في الدرجة $4^{\circ}C$.

$$S. G. = \frac{\rho}{\rho_{water}} = \frac{\rho}{1000kg.m^{-3}} \quad (5)$$

One of the important physical parameters in the pharmacy is what is known as Specific Gravity (S.G.) of a material, and it is defined as the ratio of the density of this material to the density of water at temperature $4^{\circ}C$.

$$S. G. = \frac{\rho}{\rho_{water}} = \frac{\rho}{1000kg.m^{-1}} \quad (5)$$

من ضمن تحاليل الدم ما يعرف بالوزن النوعي للدم والذي قيمته في الحالة الطبيعية ما بين 1.040 حتى 1.065. انخفاض قيمة هذا المؤشر يعني أن متوسط كثافة كريات الدم الحمراء منخفض والشخص قد يكون مصاب بفقر الدم، لذلك من الضروري إجراء فحص اختبار الوزن النوعي للدم قبل التبرع بالدم. كذلك فإنه من الممكن إجراء تحليل الوزن النوعي للبول والذي قيمته في الحالة الطبيعية ما بين 1.015 حتى 1.030، حيث من الممكن أن يشير ارتفاع قيمته إلى ارتفاع نسبة الأملاح المنحلة في البول، مما قد يعني وجود مشكلة طبية لدى المريض.

Blood tests include what is known as specific gravity of blood, which is in normal between 1.040 and 1.065. The low value of this indicator means that the average density of red blood cells is low and the person may be anemic, so it is necessary to test the blood specific gravity before the blood donation. It is also possible to do a qualitative specific gravity test of the urine, which its normal value between 1.015 to 1.030, where the high value can indicate the high proportion of salts dissolved in urine, which may mean a medical problem for the patient.

حركة الموائع (Fluids movements):

تعتبر دراسة حركة الموائع في الحالة العامة معقدة جداً، إذ أنه هناك العديد من القوى والمؤثرات الخارجية التي ينبغي أخذها بعين الاعتبار. كحالة خاصة سنقوم بدراسة مائع غير قابل للانضغاط، ذو كثافة ثابتة وسرعته ثابتة أيضاً مع الزمن في أية نقطة، أي أنه مستقر ولزوجته معدومة.

يخضع جريان مائع مثالي لمعادلتين أساسيتين، هما معادلة الاستمرارية ومعادلة برنولي.

معادلة الاستمرارية (Continuity equation): هي عبارة عن علاقة بين سرعة جريان مائع ضمن أنبوب بمساحة مقطع هذا الأنبوب (الشكل 4.9).

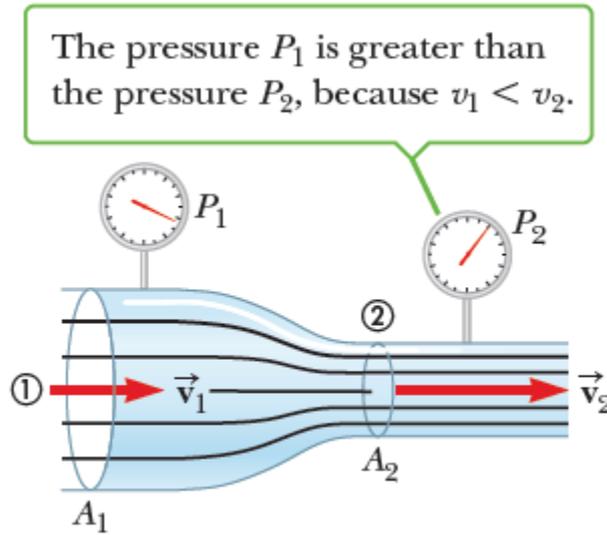
نفرض أن المائع مثالي، أي غير قابل للانضغاط ويجري جريان مستقر في أنبوب غير متجانس المقطع فإننا نحصل على المعادلة التالية:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

وهي معادلة الاستمرارية التي تنص على أن معدل الجريان الحجمي لمائع غير قابل للانضغاط يبقى ثابت.

The continuity equation states that the volumetric flow rate of non-compressible fluid remains constant.

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$



الشكل 4.9: معادلة الاستمرارية.

نستنتج أنه كلما كان نصف قطر الأنبوب أصغر كلما ازدادت سرعة جريان المائع.

We conclude that the smaller the radius of the tube, the faster the flow of fluid will be.

تمرين: من المعلوم أن القلب يضخ الدم في الجسم عبر الشريان الأهر ($r = 1\text{cm}$)، والذي يتفرع عنه 32 شريان رئيسي ($r = 0.21\text{cm}$). إذا علمت أن سرعة جريان الدم في الشريان الأهر $v_1 = 28\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ، احسب وباستخدام معادلة الاستمرارية سرعة جريان الدم في الشرايين.

الحل:

بما أن الدم هو مائع مثالي، فإنه يمكننا تطبيق معادلة الاستمرارية

$$A_1 = \pi r_{aorta}^2, A_2 = 32\pi r_{artery}^2$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \Rightarrow v_2 = 0.20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

عند ضخ الدم من القلب إلى الشريان الأهر ثم من الشريان الأهر إلى الشرايين الـ 32 تنخفض سرعة الدم في الشرايين مقارنةً بسرعه في الأهر بسبب مساحة السطح الكبيرة للشرايين مجتمعةً مقارنةً بمساحة مقطع الأهر.

When the blood is pumped from the heart to the aorta and then from the aorta to the 32 arteries, the blood velocity in the arteries decreases compared to its velocity in the aorta. This is due to the large surface area of the arteries (combined) compared to the surface area of the aorta.

كذلك الأمر بالنسبة للشعيرات الدموية، والتي يبلغ عددها المليارات ضمن جسم الإنسان، تنخفض سرعة جريان الدم فيها مقارنةً بالشرايين، استناداً إلى معادلة الاستمرارية، بفعل مساحة سطح مقطعها الكبيرة، مما يوفر الإمكانية لتوصيل الأكسجين والغذاء لمعظم نسيج جسم الإنسان.

As for the blood capillaries, which are billions in the human body, the blood flow velocity compared to the arteries, according to the continuity equation, is reduced by its large surface area, which provides the possibility to deliver oxygen and food to most tissues of the human body.

معادلة برنولي (Bernoulli's equation):

تعرف معادلة برنولي على أنها معادلة رياضية تربط بين سرعة مائع في نقطة معينة والضغط عند تلك النقطة، في حين أن معادلة الاستمرارية تعطي العلاقة بين سرعة جريان مائع مثالي في نقطتين مختلفتين من نفس الانبوب بتابعية تغير سطح مقطع هذا الأنبوب.

Bernoulli's equation is defined as a mathematical equation between a fluid velocity at a given point and the pressure at that point, while the continuity equation gives the relation between the velocity of a perfect fluid flow in two different points of the same tube as a function of the surface section of the tube.

استناداً إلى مبدأ الاستمرارية فإن المائع يتسارع عند دخوله منطقة ضيقة أي يزيد من سرعته ليحافظ على معدل التدفق الحجمي، ثم يعود إلى قيمته الابتدائية حال مغادرته هذا التضيق. ولكن استناداً إلى مبدأ برنولي يكون الضغط في المناطق الضيقة (حيث السرعة كبيرة) أخفض منه في المناطق الأخرى حيث السرعة أصغر (خارج التضيق).

According to the continuity's principle, the fluid accelerates when entering a narrow area, which means it increases its speed to maintain the volumetric flow rate, then it returns to its initial value once it has left this area. But according to Bernoulli's principle, the pressure in narrow areas (where velocity is greater) is lower than in other regions where speed is smaller (outside these narrowed areas).

تنص معادلة برنولي على أن مجموع كلاً من الضغط والطاقة الحركية والطاقة الكامنة لوحدة الحجم في مائع مثالي تبقى ثابتة.

Bernoulli's equation states that the sum of the pressure, kinetic energy and latent energy of the volume unit in a perfect fluid remains constant.

$$(P_2 - P_1) + \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) + \rho g(y_2 - y_1) = 0 \quad (2)$$

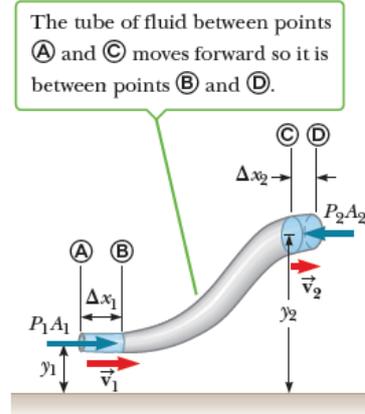
أو

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad (3)$$

أو

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = \text{const} \quad (4)$$

أي أن معادلة برنولي تربط بين كلاً من الضغط P وسرعة التدفق v والارتفاع y بين نقطتين في مائع مثالي (الشكل 5.9).



الشكل 5.9: جريان مائع بين نقطتين مختلفتي الارتفاع في أنبوب غير متجانس (معادلة برنولي).

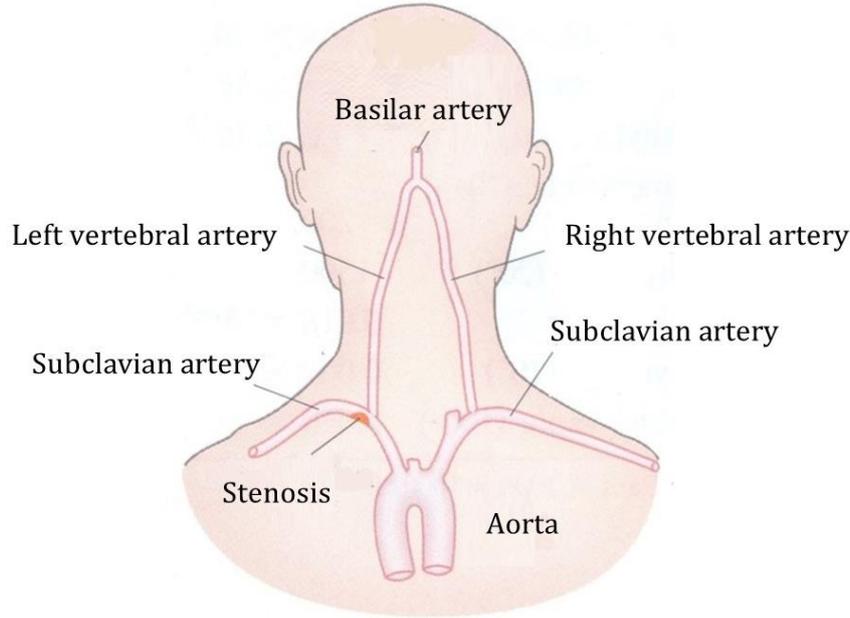
That is, Bernoulli's equation connects both the pressure P and the flow velocity v and the height y between two points in a perfect fluid.

[a] أحد تطبيقات مبدأ برنولي في الطب هو تفسير ما يعرف بنوبة نقص التروية الدماغية العابرة، والتي يعاني المريض فيها من دوام ووجع في الرأس والأطراف بالإضافة إلى عدم وضوح في الرؤية.

An application of the Bernoulli's Principle in Medicine is the interpretation of the so-called Transient Ischemic Attack (TIA), in which the patient suffers from vertigo and pain in the head and limbs, as well as blurred vision.

يتم ضخ الدم من القلب وعبر الشريان الأبهري إلى الدماغ بواسطة شرياني فقارين أيمن وأيسر يصعدان نحو الأعلى ثم يلتقيان أسفل الدماغ مشكلين ما يعرف بالشريان القاعدي. يتفرع الشرياني الفقارين عن شرياني تحت الترقوة حيث يتابعان مسيرهما نحو الذراعين (الشكل 6.9).

Blood is pumped from the heart and across the aorta to the brain by right and left vertebral arteries that ascend upward and then meet below the brain, forming what is known as the basilar artery. The two vertebral arteries branch out from the two subclavian arteries as they follow their path towards the arms.



الشكل 6.9: نقص التروية الدماغية (TIA).

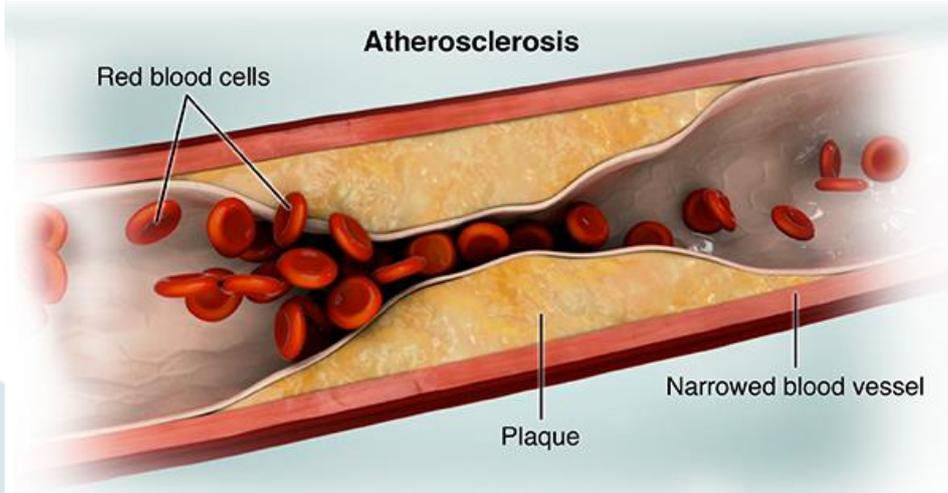
إن تضيق أحد هذين الشريانين تحت الترقوة (كما هو موضح بالشكل المرافق) يؤدي وحسب معادلة الاستمرارية إلى ازدياد سرعة تدفق الدم في هذا الشريان من أجل التغذية الدموية اللازمة، وهذا يؤدي بدوره وحسب مبدأ برنولي إلى انخفاض قيمة الضغط أمام فتحة الشريان الفقاري مقارنةً بالضغط عند مدخل الشريان الفقاري الآخر حيث يكون الضغط طبيعي، وبالتالي يتحول جزء من الدم من الشريان السليم إلى الشريان المتضيق (من الضغط المرتفع إلى الضغط المنخفض) مما يعني انخفاض كمية الدم الواصلة إلى الدماغ بفعل هذا التضيق وهو ما يعرف بنقص التروية الدماغية.

The Stenosis of one of these subclavian arteries (as shown in the attached figure) leads, according to the continuity's equation, to an increase in blood flow in this artery for the necessary blood supply, this in turn, according to Bernoulli's principle, reduces the pressure value in front of the vertebral artery compared to pressure at the entrance of the other vertebral artery where the pressure is normal, thus, a part of the blood is converted from the healthy artery to the stenotic artery (from high pressure to low pressure), which means that the amount of blood reaching the brain is reduced by this stenosis, known as Transient Ischemic Attack (TIA).

بما أن جدران الشريان مرنة وليست قاسية يؤدي انخفاض الضغط إلى تقلص الشريان في هذه المنطقة حيث تكون سرعة

جريان الدم عالية. تستمر جدران الشريان بالانقباض إلى أن يتم إغلاق الشريان وتوقف جريان الدم بشكل مؤقت وأني إلى أن يتراكم الضغط وترتفع قيمته إلى الحد الكافي لفتح الشريان والسماح للدم بالتدفق، ثم تتكرر العملية طالما أن التضيق في الشريان موجود. تدعى هذه المشكلة الطبية بالتضيق الشرياني (الشكل 7.9).

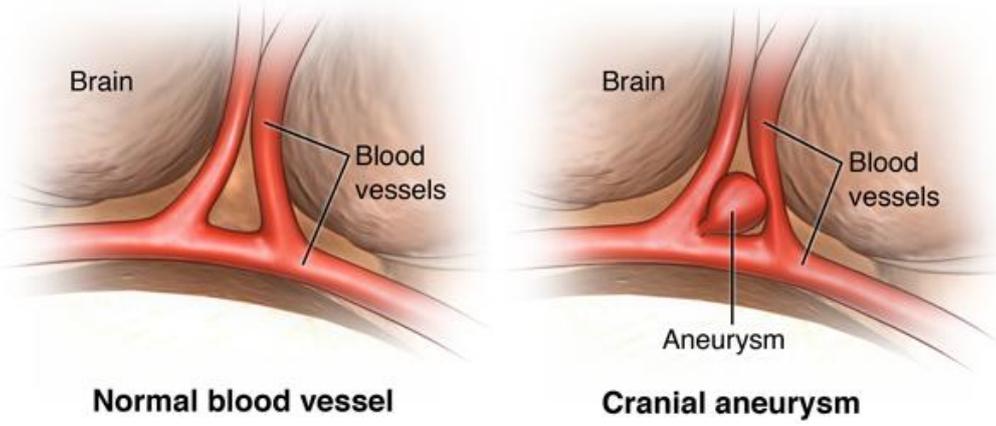
But In the case that the stenosis is in an artery of the human body's arteries, it means that, according to Bernoulli's principle, the pressure in this area of the artery is decreased. Since artery walls are flexible and not tough, low pressure causes arterial contraction in this area, where the blood flow velocity is high. The walls of the artery continue to contract until the artery is closed and the blood flow stops temporarily until the pressure accumulates and is sufficiently elevated to open the artery and allow the blood to flow. The process is repeated as long as the stenosis in the artery is there. This medical problem is called arterial stenosis.



الشكل 7.9: التضيق الشرياني.

بطريقة معاكسة يمكن أن تكون جدران الشريان ضعيفة وقليلة المرونة في مكان ما، بالتالي يؤدي ضغط الدم إلى دفع هذه الجدران الضعيفة نحو الخارج وتشكل انتفاخ (أم دم)، تكون سرعة جريان الدم فيه منخفضة وبالتالي الضغط مرتفع، مما يعني أنه من الممكن أن تتمدد وتنفجر بفعل الضغط المتزايد (الشكل 8.9).

In an opposite way, the walls of the artery can be weak and have little elasticity. Blood pressure causes these weak walls to move outwards and form a bulge called aneurysm. Blood flow velocity is low and therefore the pressure is high, which means that it can expand and explode due to the increased pressure.



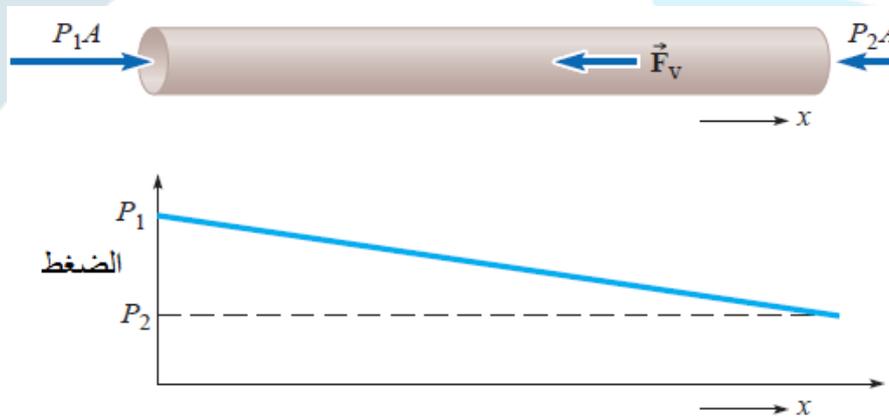
الشكل 8.9: أم دم.

اللزوجة (Viscosity)

تعتبر معادلة برنولي حالة خاصة إذ أنها تفترض أن لزوجة المائع مهملة، وبالتالي يمكن لهذا المائع المثالي أن يجري في أنبوب أفقي بسرعة ثابتة. ولكن في الحالة العامة فإن جميع الموائع بما فيها الماء تمتلك معامل لزوجة، وبالتالي للمحافظة على الجريان في مائع لزج، يجب تطبيق قوة خارجية معاكسة لقوى الاحتكاك الناتجة عن اللزوجة والمعاكسة لجريان هذا المائع، مما يعني فرق ضغط بين طرفي الأنبوب (الشكل 9.9).

The Bernoulli equation is a special case, as it dictates that fluid's viscosity is negligible, so this ideal fluid can flow in a horizontal tube with a constant velocity.

However, in the general case, all fluids including water have a viscosity factor, and therefore to maintain the flow in a viscous fluid, an external force must be applied to the viscosity friction forces of the fluid flow, which means pressure difference between the ends of the tube.



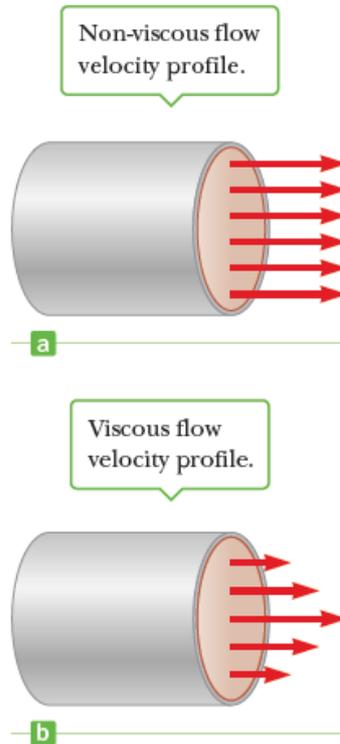
الشكل 9.9: فرق الضغط بين طرفي أنبوب لمقاومة اللزوجة.

للإبقاء على الجريان اللزج، يجب تطبيق قوة صافية، بفعل ضغط السائل تساوي $(P_1 - P_2)A$ في اتجاه التدفق لتتوازن مع قوة اللزوجة \vec{F}_V التي تعاكس الجريان. الضغط في المائع يتناقص من P_1 إلى P_2 إلى يمين القناة.

To maintain the viscous flow, a pure force $(P_1 - P_2)A$ must be applied by the liquid's pressure in the direction of flow to be balanced with the viscosity force \vec{F}_V which reverses the flow. The pressure in the fluid decreases from P_1 to P_2 to the right of the channel.

في الجريان اللزج تعتمد سرعة المائع على البعد عن جدران الأنبوب الساكنة، حيث يكون أسرع جريان للطبقة في مركز الأنبوب وتتحرك الطبقات الأقرب إلى الجدران ببطء. حيث تظل الطبقة الخارجية الملاصقة للأنبوب ساكنة لا تتحرك. تطبق كل طبقة من المائع قوى لزوجة على الطبقات المجاورة؛ هذه القوى تعاكس الحركة النسبية للطبقات، وأما أبعد طبقة فتطبق قوة لزوجة على الأنبوب نفسه.

In the viscous flow, the velocity of the fluid depends on the distance from the static tube walls, where the layer's fastest flow is in the center of the tube and the layers closest to the walls move slowly. Where the outer layer adjacent to the tube remains static. Each layer of the fluid applies viscous forces to the adjacent layers; these forces reverse the relative motion of the layers; the farthest layer applies viscous force on the tube itself.



الشكل 10.9: جريان الدم بدون اللزوجة (a) وجريان الدم مع اللزوجة (b).

في مثل هذا الجريان الطبقي (الرقائقي) (الشكل 11.9) يمكن تعريف معامل لزوجة المائع بأنه ثابت التناسب بين تدرج السرعة، أي ازدياد سرعة الطبقة مع البعد عن جدار الأنبوب، والقوة المطبقة على واحدة المساحة للإبقاء على هذا التدرج أي:

in such a flux, the fluid viscosity coefficient can be defined as the proportional constant between the velocity gradient, ie, the velocity of the layer with the distance from the tube wall, and the force applied to unit space to maintain this gradient:

$$\frac{F}{A} = \eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta r}$$

تزداد اللزوجة بانخفاض درجة حرارة السوائل أو بارتفاع درجة حرارة الغازات.

من وحدات اللزوجة المستخدمة $Pascal.s (Pa.s)$ وكذلك واحدة البواز حيث أن $Poise (1P = 0.1 Pa.s)$.

Viscosity increases with lower fluid temperature or higher temperature of gases.

One of the viscosity units used are Pascal.s (Pa.s) as well as the Poise unit where Poise (1P = 0.1 Pa.s).



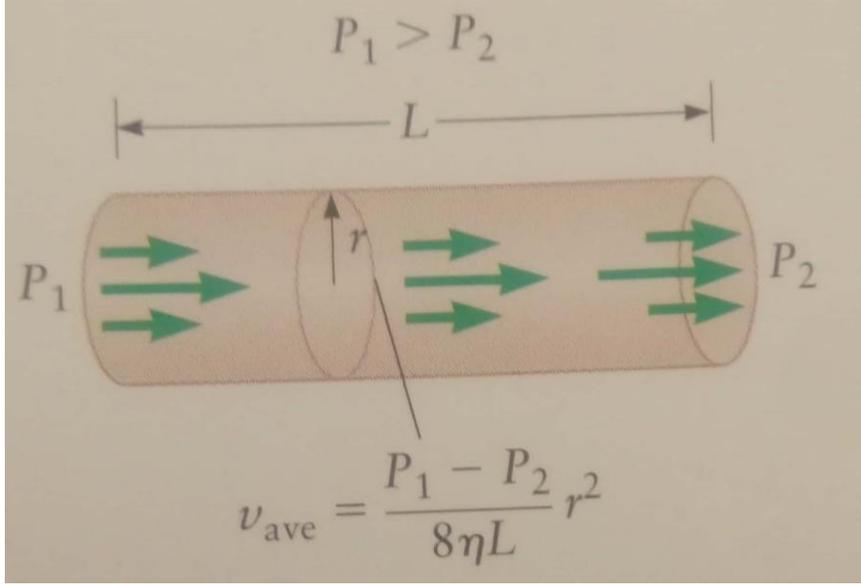
الشكل 11.9: جريان الهواء الطبقي الرقائقي.

قانون بوازوي Poiseuille law

ينص قانون بوازوي على أنه يتناسب معدل الجريان الحجمي في حالة الجريان الرقائقي لمائع في أنبوب أسطواني $\Delta V/\Delta t$ طردياً مع هبوط الضغط في واحدة الطول $\Delta P/L$ ، وعكسياً مع لزوجة المائع η وطردياً مع القوة الرابعة لنصف قطر الأنبوب (الشكل 12.9).

The volumetric flow rate in the case of liquid flow in a cylindrical tube $\Delta V/\Delta t$ is proportional to the pressure drop at the unit length $\Delta P/L$, and is inversely proportional to the fluid's viscosity η , and is proportional to the fourth force of the tube diameter.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi \Delta P/L}{8 \eta} r^4$$



الشكل 12.9: قانون بوازوي.

تؤدي حركة جسم في مائع لزج إلى مقاومة هذا المائع لحركة الجسم، وذلك عن طريق تطبيق قوة تتناسب طردياً مع سرعة الجسم v ونصف قطره r بالإضافة إلى عامل اللزوجة η . تدعى هذه القوة بقوة ستوكس والقانون المستخدم قانون ستوكس.

The movement of an object in a viscous fluid causes a resistance of this fluid to the movement of the body by applying a force proportional to the velocity of the body v and radius r in addition to the viscosity factor η . This force is called the Stokes force and the law used is the Stokes law.

$$F = 6\pi\eta r v$$

تزداد القوة F بازدياد السرعة النسبية إلى أن تتوازن الكرة فتتوقف السرعة عن الازدياد وتسمى السرعة المقابلة بالسرعة الحدية.

The force F is increased by the increase of the relative velocity until the ball is balanced and the velocity stops increasing and the corresponding velocity is called the terminal velocity.

سرعة التثفل والطرْد المركزي (sedimentation velocity & Centrifugal)

تدعى السرعة النهائية (الحدية) التي تحتاجها الجسيمات الصغيرة التي تسقط في سائل ما، بسرعة التثفل (الترسيب) وهي عادةً ما تكون مقدار صغير لانخفاض كثافة هذه الأجسام مقارنةً بكثافة السائل ولأن هذه السرعة تتناسب طردياً مع r^2 ، في حين أن قوة اللزوجة تتناسب مع r .

The end velocity required by small particles falling in a liquid is called sedimentation velocity, which is usually a small amount due to the low density of these objects compared to the density of the liquid and because this velocity is proportional to r^2 , while the viscosity strength is proportional to r .

تناسب سرعة التثفل طرداً مع g ، يمكن زيادة سرعة التثفل باستخدام جهاز الطرد المركزي (*Centrifuge*) وهو وعاء دوّار يحدث ثقالة صناعية قيمتها $g_{eff} = w^2 \cdot r$.
تستطيع أجهزة الطرد المركزي الدوران بمعدل $10^5 rev \cdot min^{-1}$ وبالتالي توليد ثقالة صناعية أكبر بحوالي مليون ضعف من الثقالة الأرضية g .

The sedimentation velocity is proportional to g , it can be increased using a centrifuge, a rotary container that produces an artificial gravity of about $g_{eff} = w^2 \cdot r$.

Centrifuges can rotate at a rate of $10^5 rev \cdot min^{-1}$ and thus generate artificial gravity more than 1 million times the earth gravity g .

التوتر السطحي (Surface tension)

يعرّف التوتر السطحي لسائل بأنه القوة في واحدة الطول التي يؤثر بها السطح على حافته. واتجاه هذه القوة مماس للسطح عند حافته.
The surface tension of a liquid is defined as the force at length unit that the surface effects on its edge. The direction of this force is tangent to the surface at its edge.

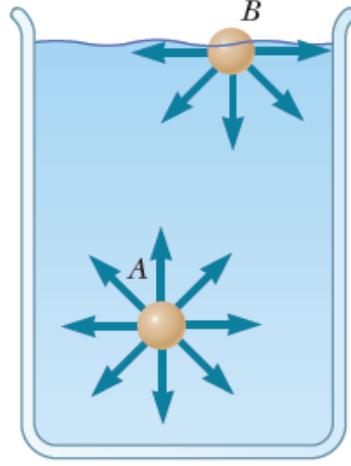
$$\gamma \propto \frac{F}{R}$$

تعزى ظاهرة التوتر السطحي إلى حقيقة أن الجزيء الواقع على سطح سائل ما يخضع إلى جذب من جزيئات السائل المجاورة، بحيث تكون هذه القوى باتجاه واحد فقط، بالتالي فإن محصلة هذه القوى المؤثرة على هذا الجزيء هي باتجاه داخل السائل وعمودية على السطح (الشكل 13.9).

The phenomenon of surface tension is due to the fact that the molecule on the surface of a liquid is attracted to the attraction of adjacent liquid particles, so that these forces are in one direction only, so the sum of these forces acting on this molecule is toward the interior of the liquid and vertical on the surface.

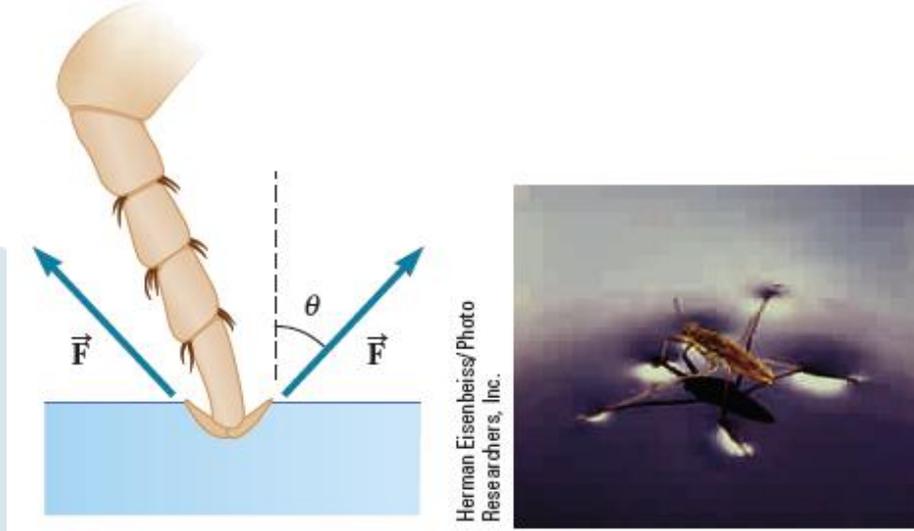
يمكن، النظر للتوتر السطحي بأنه طاقة كامنة، باعتبار أن زيادة السطح تحتاج إلى صرف عمل، يخزن في السطح على شكل طاقة سطحية؛ ويمكن تبين ذلك إذا ضربنا بسط ومقام علاقة التوتر السطحي بانتقال ΔX ، فينتج في البسط طاقة وفي المقام سطح.

Surface tension can be seen as latent energy, as the surface increase needs to be worked out, stored in the surface in the form of surface energy; this can be seen if we multiply the relation of the surface tension with the ΔX transition, so we get Energy.



الشكل 13.9: محصلة القوى المؤثرة على الجسم A تساوي الصفر في حين انهمال التساوي صفر في حالة الجسم B بفعل التوتر السطحي.

تستطيع الحشرات الوقوف على سطح الماء (الشكل 14.9) وكذلك تطفو النباتات والأوراق على السطح بفعل التوتر السطحي.



الشكل 14.9: وقوف الحشرات على سطح الماء بفعل التوتر السطحي.

Insects can stand on the surface of the water as well as floating plants and leaves on the surface due to surface tension.

يعتبر كل من الصابون والمواد المنظفة خافضة للتوتر السطحي، حيث أنها تسمح للماء بالانتشار وتبليل السطح المراد تنظيفه.

Both soap and detergent are surfactant, allowing water to spread and moisten the surface to be cleaned.

التوتر السطحي والتنفس (Surface tension and breathing)

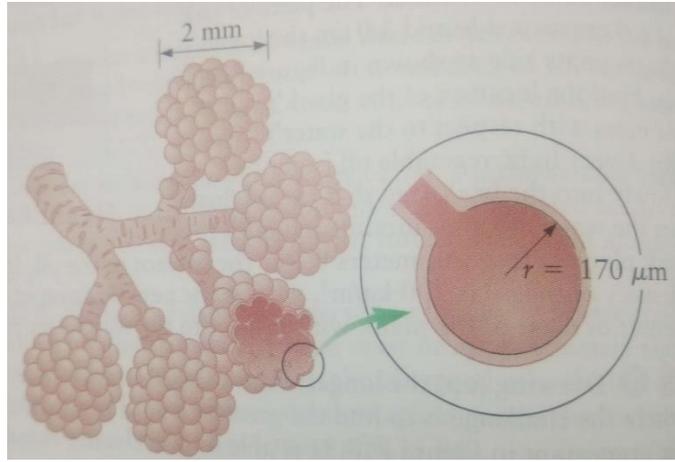
تحتوي رئتي الإنسان على جيوب صغيرة تدعى النخاريب (الشكل 15.9)، وهي كروية الشكل بنصف قطر قدره $0.05mm$ إلى $0.15mm$ في

نهاية القصبات الرئوية. وتتولى مهمة تبادل O_2 و CO_2 بين الهواء المستنشق والدم.

The human lungs contain small pockets called the wormhole, which is spherical with a diameter of 0.05mm to 0.15mm at the end of the pulmonary bronchi. Its task is exchanging CO_2 و O_2 between inhaled air and blood.

تغلف هذه النخاريب بسائل مخاطي (يحتوي نسبة عالية من الماء)، فإذا كانت قيمة التوتر السطحي لهذا السائل مساوية لقيمة التوتر السطحي للدم فلن يكون هناك فرق في قيمة الضغط بين الداخل والخارج $\Delta P = P_{in} - P_{out}$ يقضي إلى تمددها وامتلائها بالهواء.

These wormholes are coated with a mucous liquid (containing a high percentage of water), If the surface tension value of this liquid is equal to the surface tension value of the blood, there will be no difference in pressure $\Delta P = P_{in} - P_{out}$ between the inside and outside to extend and fill with air.



الشكل 15.9: النخاريب الرئوية في رتي الانسان.

تفرز النخاريب مادة خافضة للتوتر السطحي في الغشاء المخاطي (الليستينات)، تزداد نسبته في الشهيق وتنخفض في الزفير بحيث تبقى نسبة التوتر السطحي إلى قطر النخروب $\gamma/2r$ ثابتة.

The wormholes produce a surfactant in the mucous membrane (leastin), its rate increases during inhalation and decreases in exhalation so that the surface tension ratio to the diameter of the wormhole $\gamma/2r$ remains constant.

إفراز الليستينات الخافضة للتوتر السطحي في النخاريب الرئوية يبعد خطر الموت عن حديثي الولادة. تكون النخاريب الرئوية في حالة حديث الولادة منكماشة.

الفصل العاشر

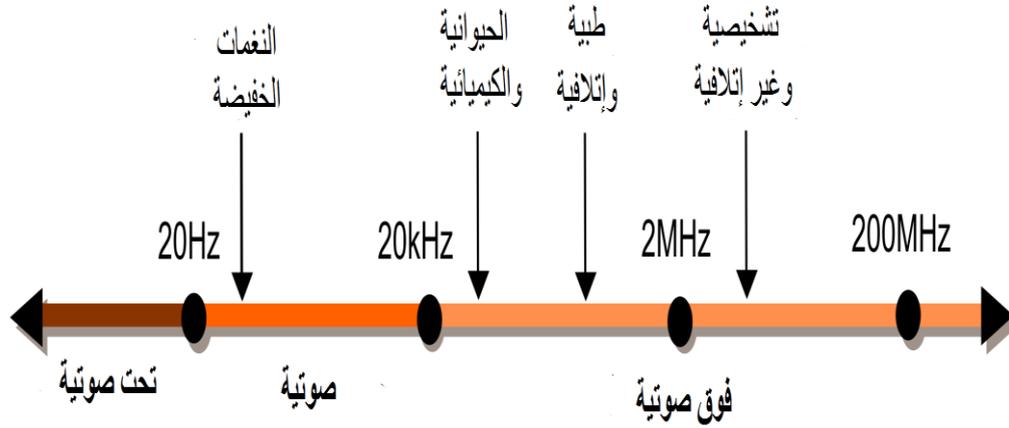
الأمواج فوق الصوتية وتطبيقاتها الطبية

The Ultrasound waves (US) & medical applications

تمتلك الأمواج الصوتية طيف يدعى طيف الأمواج الصوتية (الشكل 1.10)، يحوي مجال متوسط (المجال المسموع) الممتد من 20Hz – 20kHz وهو مجال تواترات الأصوات التي تسمعها الأذن وفي نفس الوقت تصدرها الحنجرة.

يحتوي هذا الطيف ثلاثة مجالات رئيسية:

1. مجال الأمواج الصوتية المسموعة.
2. مجال الأمواج تحت الصوتية.
3. مجال الأمواج فوق الصوتية.



الشكل 1.10: طيف الأمواج الصوتية.

The acoustic waves have a spectrum called the acoustic wave spectrum, which includes an intermediate range extending from 20Hz – 20kHz , which is the range of sound's frequencies heard by the ear and at the same time produced by the throat.

This spectrum includes three main ranges:

1. Acoustic sound waves.
2. Infrasound waves.
3. Ultrasound waves.

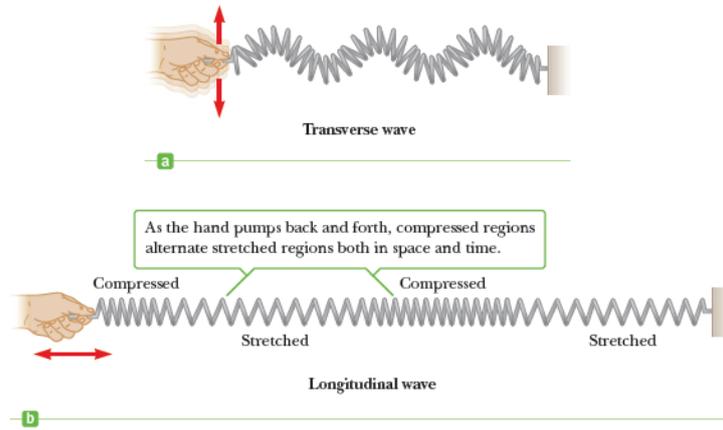
الحركات الموجية (Wave movements):

هناك نوعين مهمين من الأمواج في الطبيعة:

الأمواج الطولانية أو الأمواج الضغطية أو الأمواج الانضغاطية (الشكل 2.10) التي تنتمي لها الأمواج الصوتية المستخدمة في الإيكوغرافي (تصوير الصدى)، حيث تهتز جزيئات الوسط أو الجسم المهتز (حلقات النابض مثلاً) باتجاه موازٍ لاتجاه انتشار الموجة، حيث تكون هذه الموجة مكونة من انضغاطات وتخلخلات مؤقتة وهي مقابلة للقمم والقيعان في الأمواج العرضية. تنتشر الأمواج الصوتية في الهواء على شكل أمواج طولانية.

Longitudinal waves, pressure waves or compression waves that belong to it the acoustic waves used in the *Echography*, where vibrating molecules or body vibrations (e.g. pulse rings) vibrate in a parallel direction to the wave propagation direction, Compressions and temporal expansions, corresponding to Crests and Troughs in transverse waves. Sound waves spread in the air in Longitudinal waves.

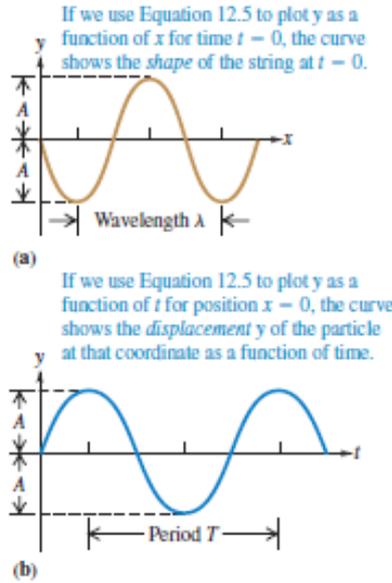
والأمواج العرضانية أو أمواج القص التي لا تنتشر في الموائع، وتستخدم في جس النسيج وتشخيص الأورام فيها. يؤدي انتشار موجة في نابض أو وتر إلى اهتزاز جسيمات هذا الوتر أو حلقات النابض إلى الأعلى والأسفل باتجاه عرضي معامد لاتجاه انتشار الموجة (الشكل 2.10).



الشكل 2.10: موجة عرضية (a) وموجة طولية (b).

Transverse waves or shear waves that do not spread in fluids, and are used in tissue palpation and the diagnosis of tumors. A wave propagation in a spring or a string causes vibration of the particles of this string up and down in a transverse direction quadrature to the wave propagation direction.

تنتشر الحركة الاهتزازية في وسط ما على شكل موجة. من أهم بارامترات هذه الموجة، الذروة أو القمة (*Crest*)، والقاع (*Trough*)، والسعة أو المطال (*Amplitude*) الذي يمثل الارتفاع الاعظمي للذروة أو للقاع عن المستوي الطبيعي. الطول الموجي λ فهو المسافة الفاصلة بين قمتين أو قعرين متتاليين، والتواتر f فهو عدد الاهتزازات في واحدة الزمن وأما الدور $T = \frac{1}{f}$ فهو الزمن الفاصل بين قمتين أو قعرين متتاليين (الشكل 3.10).



الشكل 3.10: البارامترات الأساسية لموجة تنتشر وفق المحور X.

تقوم الأمواج بنقل الطاقة في نفس الوسط أو من وسط إلى وسط آخر، حيث يكون هذا الانتقال على شكل طاقة اهتزازية تنتقل من جسيم إلى آخر.

The vibrating movement propagates in a medium in the form of a wave. One of the most important parameters of this wave, are the Crest and the Trough, and the Amplitude which represents the maximum high of the Crest or the Trough to the basic level. The wavelength λ is the distance between two consecutive Crests or Troughs, and the frequency f is the number of vibrations in one second. The period $T = \frac{1}{f}$ is the time between two consecutive Crests or Troughs.

أمواج الضغط (Pressure waves):

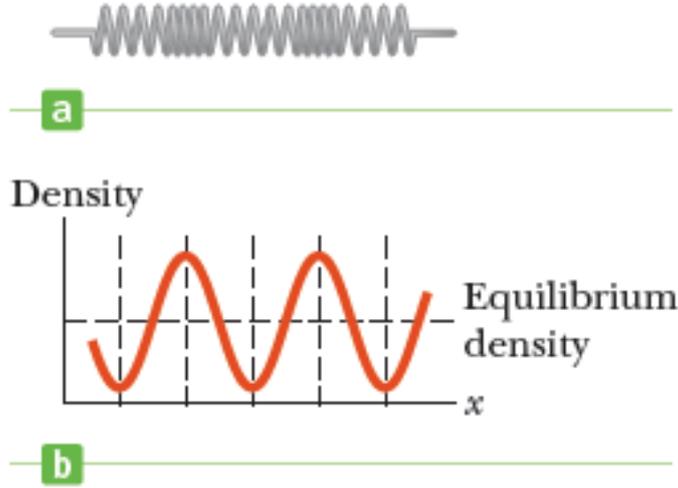
يعرف الضغط الصوتي P_M في مائع (كالهواء مثلاً) على أنه حاصل جداء السرعة الاهتزازية لجزيئات هذا المائع u_M بممانعته الصوتية Z ، أي أن:

$$P_M = Z \cdot u_M$$

حيث $u_M = 2\pi f A$ و $Z = \rho (kg \cdot m^{-3}) \cdot v (m \cdot s^{-1})$

يؤدي تطبيق فرق ضغط بين نقطتين (الضغط الصوتي) إلى انتشار الموجة الصوتية بين هاتين النقطتين على شكل قطار من الأمواج الصوتية الطولانية (الشكل 4.10)، تماماً مثل التيار الكهربائي.

The application of a pressure difference between two points (acoustic pressure) causes the sound wave to propagate between these two points, just like the electrical current.



الشكل 4.10: التمثيل البياني لموجة طولية.

من أهم تطبيقات الممانعة الصوتية هو تصوير الإيكوغرافي والذي يعتمد على تسجيل الأصداء القادمة من نسيج مختلفة الممانعة الصوتية، حيث أن معامل الانعكاس يكون أكبر بمقدار ما يكون الفارق ما بين ممانعة النسيجين أكبر.

One of the most important applications of acoustic impedance is the Echography, which depends on the recording of echoes coming from different tissues with different vocal impedance, where the reflection's coefficient is greater as much as the difference between the impedances of the two tissues is greater.

الشدة الصوتية والمستوى الصوتي (Sound Intensity & Sound level):

يتضمن مجال الشدة الصوتية اثنا عشر مرتبة، من حيث أن أذن الانسان تستطيع التقاط أصوات شداتها منخفضة جداً تصل إلى 10^{-12} حتى الشدة العالية جداً من مرتبة 10^{12} حيث أن $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ تقابل عتبة الاستماع (Hearing Threshold) وهي أخفض شدة صوت تستطيع الأذن البشرية السليمة تمييزها. تتحدد مستويات الشدة الضوئية على سلم لغارتي وتقدر بوحدة البل *Bell* أو وحدة الديسيبل $dB = 0.1B$ ، ومنه يمكن تعريف المستوى الصوتي لأي صوت شدته I بالعلاقة التالية:

$$\beta(dB) = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

تمرين: إذا كانت زيادة العلو بمقدار $3dB$ تعني أشد بمرتين، فماذا تعني أشد بمقدار $6dB$.

الحل:

$$3 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} \Rightarrow I_1 = I_0 \cdot 10^{\frac{3}{10}} \cong 2 \times 10^{-12} \frac{W}{m^2} \cong 2I_0$$

$$6 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} \Rightarrow I_2 = I_0 \cdot 10^{\frac{6}{10}} \cong 4 \times 10^{-12} \frac{W}{m^2} \cong 4I_0$$

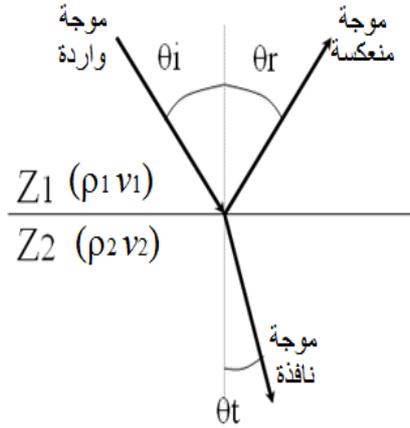
تمرين: إذا علمت أن المحادثة العادية تقابل مستوى صوتي قدره نحو $65dB$ ، فإذا كان شخصان يتحدثان في الوقت نفسه يكون المستوى الصوتي، $65dB$ ، $68dB$ ، $75dB$ ؟

الحل:

$$\begin{aligned}\beta &= 10 \log \frac{2I_1}{I_0} = 10 \log 2 + 10 \log \frac{I_1}{I_0} \\ &= 3dB + 65dB = \mathbf{68dB}\end{aligned}$$

خصائص الأمواج الصوتية (Properties of the acoustic waves):

تمتلك الأمواج الصوتية خصائص صوتية شبيهة بخصائص الأمواج الضوئية، كالانعكاس والانكسار والتداخل والانعراج (5.10). Acoustic waves have acoustic characteristics similar to those of light waves, such as reflection, refraction, interference, and diffraction.



الشكل 5.10: انعكاس وانكسار الأمواج الصوتية.

إذا كان لدينا مائعان يمتلكان ممانعتين صوتيتين ($Z_1 \neq Z_2$) وكثافتين ($\rho_1 \neq \rho_2$) مختلفتين وبالتالي سرعتي صوت مختلفتين:

$$v_1 = Z_1/\rho_1 \neq v_2 = Z_2/\rho_2$$

فإنه عندما ترد حزمة صوتية على سطح يفصل بين هذين الوسطين مختلفي الممانعة الصوتية، ينعكس جزء منها بزاوية انعكاس مساوية لزاوية الورد، في حين ينكسر الجزء الأخر وفق قانون الانكسار:

$$\sin\beta_i/v_1 = \sin\beta_t/v_2$$

بحيث أن الأشعة الثلاثة (الوارد والمنعكس والمنكسر) تقع في نفس المستوى.

عندما ترد موجة صوتية من وسط ممانعته الصوتية كبيرة (أي سرعة الانتشار فيه عالية) إلى وسط ثاني ممانعته أصغر (سرعة الانتشار فيه أقل من الوسط الأول)، تقترب الموجة الصوتية المنكسرة من الناظم، وخلافاً لذلك يحدث العكس. عندما يكون $I_r = I_i$ ، أي أن الانعكاس مثالي والسطح الفاصل بين الوسطين هو بمثابة مرآة صوتية. عندما يكون $(I_r = I_t = 0)$ فهذا يعني أنه لا يوجد موجة منعكسة أو حتى منكسرة)، مما يعني أن السطح الفاصل يقوم بامتصاص الموجة الصوتية الواردة وهو ما يعرف بالعازل الصوتي.

When $I_r = I_i$, that is, the reflection is perfect and the surface between the two media is a sound (acoustic) mirror.

When $I_r = I_t = 0$, there is no reflected or even refracted wave, this means that the surface absorbs the incident wave totally, and this is known as acoustic insulator.

التصوير بالأموح فوق الصوتية (Echography):

تتيح تقنية التصوير الطبي بالأموح فوق الصوتية، إمكانية تصوير بنية الجسم الداخلية، عن طريق الأصداء التي ترتد عنه. تشكل هذه الصور نصراً طبياً كبيراً، كون الأمواح فوق الصوتية قادرة على اختراق النسيج الحيوية، وتسمح باستكشاف الجسم البشري من دون إلحاق أي ضرر به. The Echography technology enables the imaging of the body's internal structure by echoes. These images represent a major medical victory, as the ultrasound is able to penetrate vital tissues, allowing the human body to be explored without any damage to it.

وأصبح بإمكان الطبيب حالياً تحديد موقع ورم معين في الجسم، وأن يكشف النقاب عن وجود الأجرية ضمن المبايض بالإضافة إلى مراقبة الحمل من دون خطر على العضوية (الشكل 6.10).

The doctor can now locate a specific tumor in the body, and reveal the presence of the pursals within the ovaries as well as control pregnancy without the risk of damaging the human tissues.

يتم توليد الأمواح فوق الصوتية ببلورات كهروضغطية *Piezoelectricity* تقوم بتحويل الإشارة الكهربائية إلى إشارة ضغطية إي صوتية وبالعكس تقوم بتحويل الإشارة الصوتية إلى إشارة كهربائية إي نبضة كهربائية. من أشهر أنواع البلورات هو الكوارتز *Quartz* (SiO_2)، تمتاز هذه البلورات بقدرتها الفائقة على التمدد والتقلص بشكل دائم ودوري بفعل تطبيق فرق جهد بين طرفيها مما يؤدي إلى توليد أمواح انضغاطية (صوتية)، وبالعكس فإن تطبيق ضغط علما بفعل موجة صوتية يؤدي إلى توليد فرق جهد بين طرفيها.

An ultrasound wave is generated by an Piezoelectricity crystal that convert the electrical signal to an acoustic sound signal and, conversely, convert the acoustic signal to an electric pulse. The Quartz crystal (SiO_2) is the most common type of these crystals. They have the ability to expand and contract permanently and periodically by applying voltage differeces between its two ends producing acoustic waves. Conversely, the application of pressure by a sound wave generates a voltage difference between the two ends.



الشكل 6.10: صورة جنين ضمن الرحم تم الحصول عليها بالأمواج فوق الصوتية.

تحول هذه البلورة الكهرضغطية الموجة فوق الصوتية الواردة إلى جهد كهربائي ولذلك تدعى بالترجم لأنها تحول (تترجم) الإشارة الكهربائية إلى ميكانيكية وبالعكس. قد يتكون الترجام من عدد من البلورات الكهرضغطية. إن مبدأ عمل المجس هو نبضي كون العناصر المكونة له تقوم بوظيفة إرسال واستقبال في نفس الوقت.

This piezoelectric crystal converts the incoming ultrasound into an electrical voltage and is therefore called a transducer because it transforms the electrical signal into a mechanical and vice versa. A transducer may consist of a number of piezoelectric crystals. The principle of the work of the sensor is **pulsing**, because its component elements receive and send the waves at the same time.

يعتبر المجس القسم الأهم في جهاز تصوير الصدى إذ يحوي في مقدمته البلورة الكهرضغطية، وبغية التقليل من تباعد الحزمة الصوتية الصادرة عن البلورة يتم وضع عدسة صوتية (acoustic lens) بغية تقريب الحزمة (الشكل 7.10).



الشكل 7.10: تقرب الحزمة الصوتية بواسطة عدسة صوتية.

بالإضافة إلى تصوير الجسم فإنه ثمة طرق أخرى للعلاج بالأمواج فوق الصوتية، كطريقة *HIFU* ، High Intensity Focused ، *Ultrasound hemostasis*، والتقنية *Ultrasound hemostasis*، وتفتيت الحصى بالأمواج فوق الصوتية وتحطيم الخثرات *Thrombolysis* بالاستعانة بالأمواج فوق الصوتية أيضاً.

تنظيف الأسنان باستخدام الأمواج فوق الصوتية:

يتم في عملية تنظيف الأسنان إزالة تصبغات الأسنان مما يمنح ابتسامة أكثر إشراقاً وبريقاً، بالإضافة إلى إزالة الرواسب الجيرية والبكتريا الضارة المسببة للعديد من إصابات الفم والأسنان.

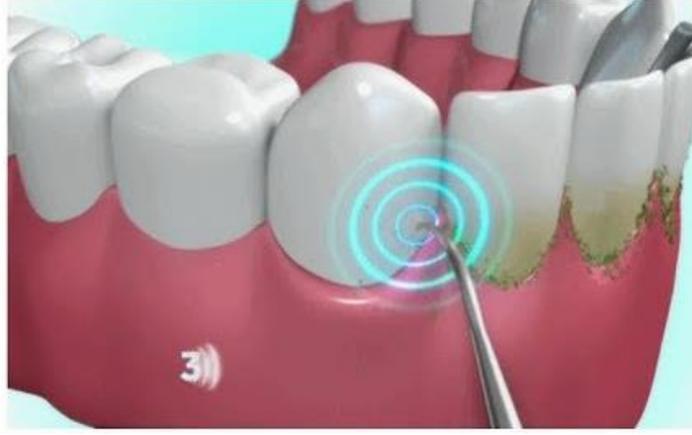
لقد شهدت آليات تنظيف الأسنان تطورات عديدة أفضت إلى ظهور العديد من تقنيات تنظيف الأسنان بواسطة ضغط الماء العالي بالإضافة إلى الليزر والأمواج فوق الصوتية.

يعتبر الجير (البلاك) عبارة عن بقايا من الطعام والشراب تترسب على الأسنان على شكل رواسب معدنية مسببةً مع الزمن اصفرار الأسنان وتسوسها، بالإضافة إلى الأضرار البالغة الممكن حدوثها في اللثة كالتهاب اللثة وتشكل الجيوب اللثوية المؤلمة، أضف إلى ذلك يعتبر الجير أحد أسباب رائحة الفم الكريهة.

يتم تنظيف الجير باستخدام جهاز خاص لتنظيف الأسنان من الجير مصدر للأمواج فوق الصوتية، حيث تقوم الذبذبات (الامواج فوق الصوتية المتولدة) بتكسير الجير المتراكم على الأسنان واللثة إلى قطع صغيرة وذلك خلال جلسة واحدة او عدة جلسات دون أن يسبب ذلك ألم يذكر للمريض.



الشكل 8.10: جهاز تنظيف الأسنان بالأمواج فوق الصوتية.



الشكل 9.10: تنظيف الأسنان بالأمواج فوق الصوتية.

المراجع
References

1. College physics, Vuille|Serway, eighth edition. Brooks|Cole, USA 2009. ISBN 13-978-0-495-55498-1
2. Segway's Essentials of college physics, Vuille|Serway. Brooks|Cole, USA 2007. ISBN 13-978-0-495-10619-7

نهاية المقرر...

Best of luck my dears

Dr. M. Moualla