مبادئ أساسية في الفيزياء الذرية

الفيزياء النووية، والنشاط الإشعاعي

Fundamental principles in the atomic physics, the nuclear physics, and the radioactivity

1 – مدخل Introduction

2 – تركيب الذرة Atomic structure

3 – الأعداد المميزة للذرة Characteristic numbers of atom

4 – الوحدات المستخدمة في الفيزياء الذرية Utilized units in atomic physics

5 – الأعداد الكوانتية Quantum numbers

6 – تسمية السويات (الطبقات) الذرية Naming of the atomic levels

7 – توزع الإلكترونات على السويات الإلكترونية الثانوية Distribution of electrons on secondary levels

8 – تصنيف العناصر الذرية Classification of atomic elements

9 – نظرية بور Bohr's theory

10 – طيوف الإصدار (الخطوط الطيفية) Emission spectra (the lines spectral)

11 – السلاسل الطيفية وقاعدة الاختيار Spectral series and the selection rule

12 – طاقة التأين (التشرد) وطاقة الإثارة (التهيج) Excitation and ionization energy

13 – قوى الارتباط النووية Nuclear binding forces

14 – نقص الكتلة Mass defect

15 – طاقة الارتباط النووية Nuclear binding energy

16 – التفاعل النووي Nuclear reaction

17 – قوانين انحفاظ التفاعلات النووية Conservation laws of nuclear reactions

1 – مدخل Introduction:

تتكون كافة المواد، في أيٍ من حالاتها التجميعية الثلاث (الصلبة والسائلة والغازية)، من اتحاد (ارتباط) عدد محدود من العناصر الكيميائية التي جرى تصنيفها في جدول يسمى الجدول الدوري (أو جدول مندلييف). إن عدد العناصر الكيميائية في هذا الجدول 103 عنصر من الهيدروجين وحتى اللورينسيوم. كل عنصر كيميائي (ذري) يتألف من نوع خاص من الذرات، وإن ذرة عنصر كيميائي ما هي أصغر وحدة أو لبنة ما تزال تحتفظ بخصائصه في التفاعلات الكيميائية.

2 – تركيب الذرة Atomic structure:

تتكون الذرة بشكل أساس من جسيمات خفيفة مشحونة سلباً تسمى إلكترونات electrons تدور جسيمة ثقيلة نسبياً تشكل معظم كتلة الذرة تتوضع تقريباً في قلب المدارات الإلكترونية تسمى نواة nucleus. تتكون النواة من جسيمات أولية تدعى بالنيكليونات وهي على نوعين: بروتونات يرمز لها بالرمز P ونيوترونات يرمز لها بالرمز n. تحمل البروتونات شحنة موجبة، في حين أن النيوترونات تكون متعادلة كهربائياً. أما الإلكترونات فهي عبارة عن جسيمات أولية يرمز لها بالرمز e تدور حول النواة وفق مدارات محددة بدقة وهي تمتلك شحنة سالبة.

3 – الأعداد المميزة للنواة Characteristic numbers of nucleus:

إذن تتميز كل نواة بشكل عام بثلاث أعداد أساسية هي:

أ – عدد البروتونات (وهو مماثل لعدد الإلكترونات)، ويدعى أيضاً بالعدد الذري، ويرمز له بالرمز Z، ويكتب إلى الأسفل واليسار من الرمز الكيميائي للعنصر.

ب – عدد النيوترونات، يرمز له بالرمز N

ج – العدد الإجمالي للنيكليونات، ويدعى أيضاً بالعدد الكتلي (أو الوزن الذري)، يرمز له بالرمز A، ويكتب إلى الأعلى واليسار من الرمز الكيميائي للعنصر حيث أن: $A = Z + N$

وبناءً عليه يجري تمثيل نواة ذرة عنصر ما بالصيغة الرمزية التالية: ${}^{A}_{Z}X$، حيث X تمثل رمز ذرة العنصر الكيميائي.

4 – الوحدات المستخدمة في الفيزياء الذرية Utilized units in atomic physics:

4 – 1 – وحدة الكتلة الذرية Atomic mass unit:

هي بالتعريف تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة نظير الكربون 12، ويرمز لها بالرمز $\mathrm{a \cdot m \cdot u}$ أو اختصاراً (u) ويعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة التالية: $1\,\mathrm{u} = \frac{1}{\mathrm{N_{Av}}} = \frac{1}{6.023 \times 10^{23}} = 1.66 \times 10^{-24}\ \mathrm{g}$

2 – 4 – وحدة الطاقة الذرية Atomic energy unit:

تقاس الطاقة الذرية عادةً بواحدة الإلكترون فولت، يرمز لها بالرمز eV حيث أن:

$$1\ \text{eV} = 1.6\times10^{-19}\ \text{J}$$

3 – 4 – مكافئ كتلة – طاقة Energy-mass equivalent:

اعتماداً على علاقة إينشتاين الشهيرة $E = m\times c^2$ نجد أن: $1\,\text{u} = 931.5\,\text{MeV}$

5 – الأعداد الكوانتية Quantum numbers:

يوجد أربعة أعداد كوانتية مميزة للإلكترونات وهي:

أ – العدد الكوانتي الرئيسي يرمز له بالرمز n وهو يُحدد المستوي الطاقي الرئيسي والحجم الإجمالي للمدار الذري الذي ينتمي إليه الإلكترون حيث يأخذ هذا العدد القيم التالية: $n = 1\ ,\ 2\ ,\ 3\ ,\ 4,.....$

ب – العدد الكوانتي الثانوي (الفرعي) يرمز له بالرمز l وهو يُحدد المستويات الطاقية الثانوية، حيث يأخذ هذا العدد القيم التالية: $l = 0, 1, 2, ..., (n-1)$

ج – العدد الكوانتي المغناطيسي يرمز له بالرمز m_l وهو يُحدد توالد بعض المستويات الطاقية الثانوية، كما يُحدد توجه المدارات الذرية في الفراغ لدى خضوع الذرة لحقل مغناطيسي خارجي. ويساعد أيضاً على التمييز بين الإلكترونات التي تحتل المدارات المتماثلة بالشكل حيث يأخذ هذا العدد القيم التالية: $m_l = 0, \pm1, \pm2, ..., \pm l$

د – العدد الكوانتي السبيني، يرمز له بالرمز m_s وهو يُحدد اتجاه دوران الإلكترون حول نفسه حيث:

$$m_s = \pm\frac{1}{2}.$$

6 – تسمية السويات (الطبقات) الذرية Naming of the atomic levels:

يُرمز للطبقات الرئيسية بأحد الأحرف الموضحة بالجدول التالي:

العدد n	1	2	3	4	5	6	7
رمز الطبقة	K	L	M	N	O	P	Q
عدد الإلكترونات في السوية الرئيسية $N = 2\times n^2$ $N = 2\times n^2$	2	8	18	32	50	72	94

ويُرمز للطبقات الفرعية بأحرف مأخوذة من تسميات الخطوط الطيفية وفق الجدول التالي:

العدد l	0	1	2	3	4	5
رمز الطبقة	s	p	d	f	g	h
عدد الإلكترونات في السوية الفرعية $2\times(2l+1)$	2 s	6 p	10 d	14 f	18 g	22 h

7 – توزع الإلكترونات على الطبقات الإلكترونية الثانوية (الفرعية):

Distribution of electrons on subatomic levels:

يتم توزيع الإلكترونات على الطبقات الإلكترونية الثانوية (الفرعية) حسب مبدأ الاستبعاد لباولي وينص على ما يلي: لا يمكن أن يتواجد في الذرة إلكترونين لهما نفس الأعداد الكوانتية الأربعة. لذلك لا يمكن أن يتواجد في الحجيرة الإلكترونية (الخانة) الواحدة سوى إلكترونين على الأكثر متعاكسين بالسبين. يمثل الإلكترون في كل حجيرة بسهم عامودي، والخانة الممتلئة بإلكترونين تتمثل بسهمين عاموديين جهة أحدهما بعكس الآخر ويُرمز لذلك بالرمز $\boxed{\uparrow\downarrow}$

يتحدد عدد الإلكترونات في كل طبقة فرعية بالعددين الكوانتيين m_l و m_s ويُشار إلى ذلك بعدد يوضع على شكل أُس (قوة) فوق الحرف الذي يُحدد الطبقة الفرعية ويساوي إلى $2\times(2l+1)$. ويتحدد عدد الإلكترونات الأعظمي N في كل طبقة رئيسية بالعلاقة: $N=2\times n^2$

كما تخضع عملية إملاء الخانات الإلكترونية بشكل عام إلى قاعدة الاستقرار الأعظم (قاعدة هاند) والتي تنص على ما يلي: تُشغل في البداية كل خانة كوانتية بإلكترون وحيد (عازب)، وعندما تمتلئ جميع الخانات كلٌ بإلكترون وحيد، فإن الإلكترونات المتبقية يتم ملؤها بشكل متتالٍ في هذه الخانات. باعتبار أن الإلكترون يتحرك دائماً على المدار ذو السوية الطاقية الأخفض من بين تلك المسموح له الانتقال إليها، ومن ثم المستويات الطاقية الأعلى فالأعلى، وجد عملياً بأن هذا الترتيب يكون صحيحاً من أجل الذرات الخفيفة أي أنه تُشغل الطبقات ذات العدد الكوانتي الرئيسي الأقل وبعد ذلك فقط يبدأ شغل الطبقة الرئيسية التالية بالإلكترونات، وفي نطاق الطبقة الرئيسية الواحدة تُشغل في البداية الطبقات الفرعية ذات العدد الكوانتي المداري الأقل ومن ثم الطبقات الفرعية ذات القيم الأكبر للعدد l. لقد لوحظ بأن هذا الترتيب يصبح غير معبر تماماً عن توزع الإلكترونات وذلك ابتداءً من عنصر البوتاسيوم ($Z_K=19$) حيث تبين بأن بعض الطبقات الرئيسية التي لها قيمة أكبر للعدد n تتميز بطاقة أقل من الطبقات التي لها عدد كوانتي n ذات قيمة أقل والتي لم تُشغل بعد، ويتعلق هذا بالطبقات الفرعية $(n+1)$S و $(n+1)$p مقارنة بالطبقات الفرعية nd و nf. تُعرف العناصر التي

يجري فيها استكمال الطبقات السابقة (أي الطبقات الفرعية 3d , 4d , 4f , 5d , 5f) عندما تكون الطبقات الفرعية اللاحقة مشغولة جزئياً بالعناصر الانتقالية.

8 – تصنيف العناصر الذرية Classification of atomic elements:

يمكن تصنيف نوى العناصر الذرية تبعاً للأعداد A ، Z و N في مجموعات هي:

8 – 1 – النظائر Isotopes:

هي عبارة عن مجموعة من العناصر الذرية (عنصرين أو أكثر) تتميز بكونها تمتلك نفس العدد الذري ولكنها تختلف فيما بينها بعدد النيوترونات وبالتالي بالعدد الكتلي. تتميز النظائر بأنها تمتلك خواص كيميائية متشابهة إلا أن خواصها الفيزيائية مختلفة قليلاً وذلك بسبب الاختلاف في كتلها الذرية (مثل سرعة التبخر والانتشار كما تبدي اختلافاً في خواصها النووية). نذكر على سبيل المثال:

$$^{1}_{1}\mathrm{H},\ ^{2}_{1}\mathrm{H},\ ^{3}_{1}\mathrm{H}$$

8 – 2 – الإيزوبارات Isobars:

هي عبارة عن مجموعة من العناصر الذرية (عنصرين أو أكثر) تتميز بكونها تمتلك نفس العدد الكتلي ولكنها تختلف فيما بينها بالعدد الذري وكذلك بعدد النيوترونات. تبدي هذه العناصر اختلافاً بالخواص الكيميائية وذلك بسبب اختلاف عدد البروتونات فيها، في حين أنها تمتلك خواص نووية متشابهة كون البروتونات والنيوترونات تلعب نفس الدور في النواة. نذكر على سبيل المثال:

$$^{14}_{6}\mathrm{C},\ ^{14}_{7}\mathrm{N},\ ^{14}_{8}\mathrm{O}$$

8 – 3 – الإيزوتونات Isotones:

هي عبارة عن مجموعة من العناصر الذرية (عنصرين أو أكثر) تتميز بكونها تمتلك نفس العدد من النيوترونات ولكنها تختلف فيما بينها بالعدد الذري وكذلك بالعدد الكتلي من دون أن يؤدي ذلك إلى خواص مشتركة فيما بينها. نذكر على سبيل المثال:

$$^{14}_{6}\mathrm{C},\ ^{15}_{7}\mathrm{N},\ ^{16}_{8}\mathrm{O}$$

8 – 4 – الإيزوميرات (المماكبات) Isomers:

هي عبارة عن مجموعة من العناصر الذرية (عنصرين) تتميز بكونها تمتلك نفس العدد الكتلي والعدد الذري ولها نفس العدد من النيوترونات إلا أنها تختلف فيما بينها بطاقاتها الداخلية. تتصف هذه العناصر بكونها عناصر مشعة وتتميز بنصف عمر قصير. نذكر على سبيل المثال:

$^{99m}_{43}\mathrm{Tc}$ تكنيتيوم، $^{99}_{43}\mathrm{Tc}$

8 – 5 – النوى المرآتية Mirror nuclei:

هي مجموعة من النوى (نواتين) تمتلك نفس العدد الكتلي إلا أن عدد بروتونات (نيوترونات) إحداها يساوي عدد نيوترونات (بروتونات) الأخرى وبالعكس نذكر على سبيل المثال:

$$^{11}_{5}\mathrm{B},\ ^{11}_{6}\mathrm{C}$$

6 – 8 – <u>النوى الزوجية (الشفعية)</u>:

هي النوى التي تحتوي على عدداً زوجياً من البروتونات والنيوترونات.

7 – 8 – <u>الأعداد السحرية والنوى السحرية Magic numbers and magic nuclei</u>:

الأعداد السحرية هي: $2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$ أما النوى السحرية فهي عبارة عن النوى التي تضم عدداً من البروتونات أو النيوترونات يساوي أحد تلك الأعداد السحرية، وتعتبر هذه النوى من أكثر النوى استقراراً وانتشاراً في الطبيعة (تأخذ هذه النوى شكلاً كروياً). تمتاز النوى ذات العدد السحري من النيوترونات بكونها أكثر استقراراً من غيرها. وقد وجد بأن كل نواة تمتلك أحد الأعداد السحرية لها عدداً كبيراً من النظائر أو الإيزوتونات المستقرة. كما تتميز النوى السحرية بطاقة تهيج (إثارة) عالية.

9 – <u>نظرية بور Bohr's theory</u>:

تعتمد نظرية بور على مسلمتين أساسيتين هما:

أ – لا تستطيع الكترونات ذرة ما الدوران حول النواة إلا على بعض المدارات المفضلة.

ب – عندما يكون الإلكترون على مداره المفضل لا يشع أية طاقة، ويقال أن حالته الطاقية مستقرة. وإذا ما انتقل الإلكترون من سوية طاقية عليا مسموح بها إلى سوية طاقية دنيا مسموح بها أيضاً يكون هناك إصدار للطاقة، وفي الحالة المعاكسة يكون هناك امتصاص للطاقة. لقد تمكن بور من تحدد طاقات المدارات الذرية الرئيسية E_n وفق العلاقة الرياضية التالية:

$$E_n = \frac{-b_o \times (Z - \alpha_n)^2}{n^2}$$

حيث $b_o = 13.6\ \text{eV}$ و α_n هو ثابت الحجب يتحدد تجريبياً، وتكون قيمته كبيرة بمقدار ما تكون n كبيرة.

10 – <u>طيوف الإصدار (الخطوط الطيفية) Emission spectra (the lines spectral)</u>:

عندما يقفز إلكترون من مداره ذات الطاقة E_i إلى مدار آخر أدنى مسموح به ذات الطاقة E_f فإن الإلكترون وبالتالي الذرة تتخلى عن جزء من طاقتها تعطى بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\Delta E_n = E_f - E_i = b_o \times (Z - \alpha_n)^2 \times \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

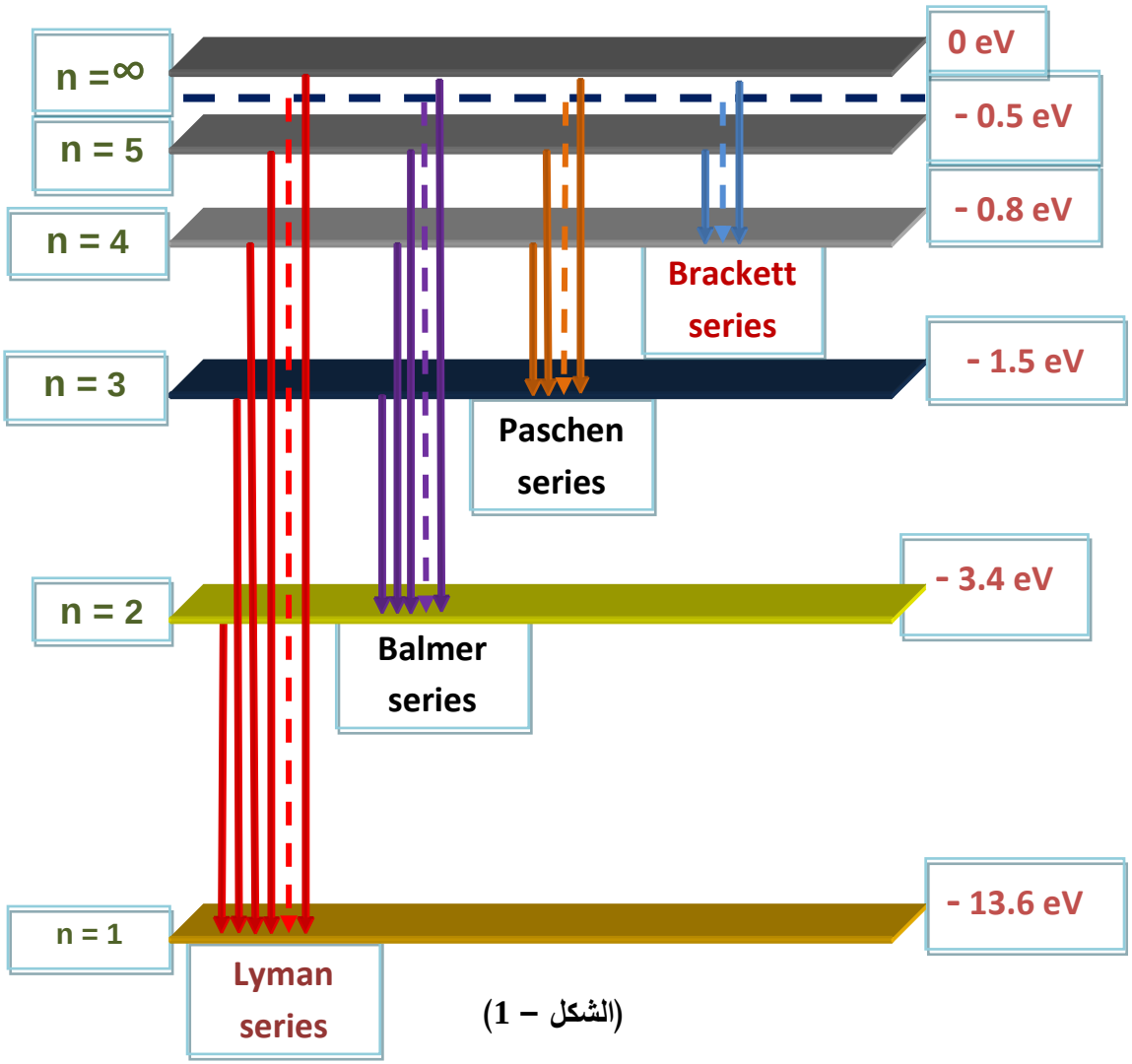
من المعروف بأن هذا الفرق في الطاقة يظهر على شكل إشعاع ذو طاقة $\Delta E_n = h\upsilon$ وذو طول موجة $\lambda = \frac{c}{\upsilon}$ يتحدد بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\lambda = \frac{h \times c}{b_o \times (Z - \alpha_n)^2} \times \frac{n_f^2 \times n_i^2}{(n_f^2 - n_i^2)}$$

حيث $h = 6.62 \times 10^{-34}\ J \times s$ يمثل ثابت بلانك، $c = 3 \times 10^8\ m \times s^{-1}$ تمثل سرعة الضوء في الخلاء و υ تمثل تواتر الإشعاع الصادر ويقدر حسب الجملة الدولية بالـ s^{-1} أما λ فتقدر بالـ m.

11 – السلاسل الطيفية وقاعدة الاختيار Spectral series and the selection rule:

لنأخذ على سبيل المثال حالة ذرة الهيدروجين حيث يتشكل لدينا عدة سلاسل من الخطوط الطيفية الممثلة لعودة الإلكترون المحرض إلى مداره، انظر (الشكل – 1).



(الشكل – 1)

ولكن تدل التجربة أن عدد الخطوط هو أقل من ذلك، ولا يوجد خطوط طيفية إلا لتلك المتوافقة مع قاعدة الاختيار أي: $\Delta n = \pm 1$ و $\Delta l = \pm 1$ و $\Delta j = 0\ ,\ \pm 1$ (ما عدا حالات

$(j_1 = 0 \rightarrow j_2 = 0)$، حيث $j = l + m_s$ (عدد كوانتي داخلي) من أجل $l \neq 0$، أما أجل $l = 0$ فإن $j = +\frac{1}{2}$.

لنأخذ على سبيل المثال حالة إلكترون مثار موجود على الطبقة الرئيسية L ولنحدد الانتقالات الممكنة لهذا الإلكترون إلى الطبقة الرئيسية K. من أجل ذلك لا بدّ من تحديد عدد السويات الطاقية في كل من الطبقة الرئيسية L والطبقة الرئيسية K والمعطيات (الأعداد الكوانتية) التي تتميز بها هذه السويات الطاقية حيث نجد أنه:

بالنسبة للطبقة الرئيسية L يوجد ثلاث سويات طاقية $m_l = m_1 = -1,0,1$ هي:

L_I تتميز بالمعطيات التالية: $n=2$ و $l=0$ و $m_s=+\frac{1}{2}$ و $j=\frac{1}{2}$

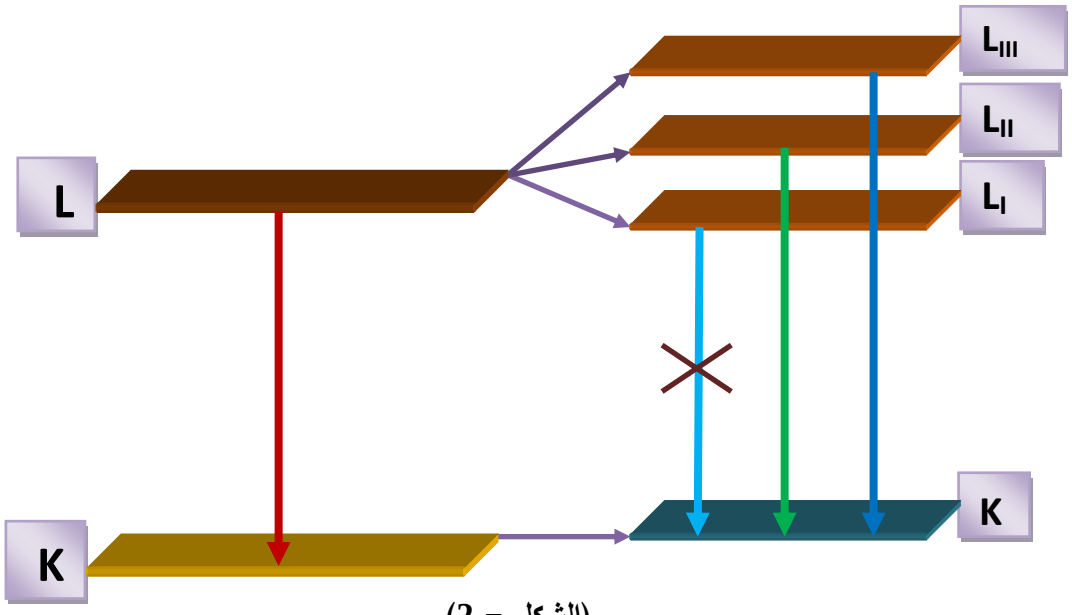
L_{II} تتميز بالمعطيات التالية: $n=2$ و $l=1$ و $m_s=-\frac{1}{2}$ و $j=\frac{1}{2}$

L_{III} تتميز بالمعطيات التالية: $n=2$ و $l=1$ و $m_s=+\frac{1}{2}$ و $j=\frac{3}{2}$

أما بالنسبة للطبقة الرئيسية K فيوجد سوية طاقية واحدة $m_0 = 0$ تتميز بالمعطيات التالية:

$$n=1 \text{ و } l=0 \text{ و } m_s=+\frac{1}{2} \text{ و } j=\frac{1}{2}$$

وبناءً على ذلك نلاحظ أن عدد الانتقالات الممكنة هي ثلاثة (أنظر الشكل – 2):



(الشكل – 2)

$$L_I(l=0\ ,\ j=\frac{1}{2}) \rightarrow K(l=0, j=\frac{1}{2})$$

$$L_{II}(l=1\ ,\ j=\frac{1}{2}) \rightarrow K(l=0\ ,\ j=\frac{1}{2})$$

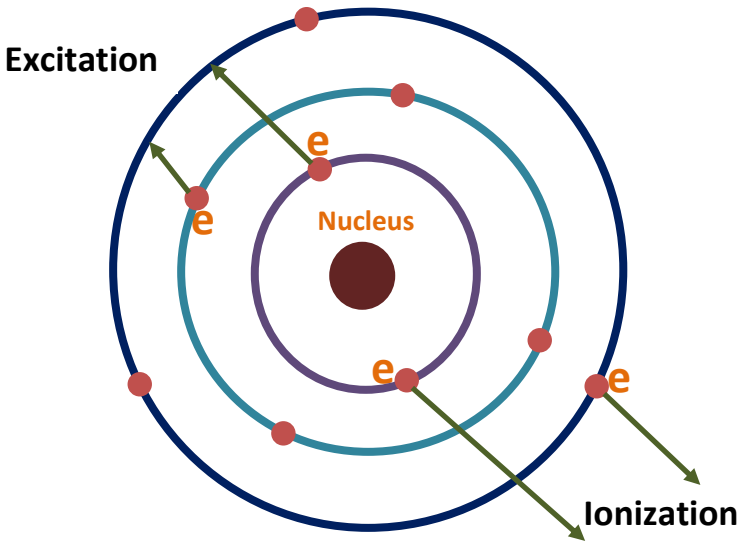
$$L_{III}(l=1\ ,\ j=\frac{3}{2}) \rightarrow K(l=0\ ,\ j=\frac{1}{2})$$

أما عدد الانتقالات المسموح بها فهو اثنين هما: الانتقال بين L_{II} و K والانتقال بين L_{III} و K .

12 – طاقة التأين (التشرد) وطاقة الإثارة (التهيج) Excitation and ionization energy:

12 – 1 – طاقة التأين Ionization energy:

هي عبارة عن الطاقة الواجب تقديمها من أجل اقتلاع إلكترون من مداره في الذرة إلى خارجها دون إكسابه طاقة حركية (أنظر الشكل – 3).



(الشكل – 3)

12 – 2 – طاقة الإثارة Excitation energy:

هي عبارة عن الطاقة الواجب صرفها كي نتمكن من نقل إلكترون من مداره إلى مدار أعلى دون إخراجه من الذرة، وبالتالي تنتقل الذرة من الحالة المستقرة إلى الحالة الغير مستقرة (الشكل – 2).

13 – قوى الارتباط النووية Nuclear binding forces:

يؤمن استقرار النواة عن طريق قوى ارتباط نووية معتبرة هي:

13 – 1 – القوى الكولونية Coulomb forces:

هي عبارة عن قوى تدافعية تطبق بين الجسيمات المشحونة (بروتونات) وتتغير تبعاً ل $\frac{1}{r^2}$، حيث r يمثل المسافة الفاصلة بين مركزي الجسيمين المشحونين.

2 – 13 – القوى النووية Nuclear forces:

هي عبارة عن قوى تجاذبية تطبق بين النيكليونات بشكل مستقل عن شحنتها وهذه القوى تكون أشد تأثيراً على مسافة قصيرة وتتغير تبعاً ل $\frac{1}{r^7}$.

3 – 13 – قوى التوتر السطحي Surface tension forces:

هي عبارة عن قوى تجاذبية تطبق بين النيكليونات المحيطية للنواة الثقيلة. وتتمتع هذه القوى بخواص الإشباع، أي أن كل نيكليون يتبادل التأثير فقط مع عدد محدد من النيكليونات المجاورة. لذلك لا تزداد القوى النووية في النواة عند زيادة عدد النيكليونات فيها. والأمر نفسه يحدث بالنسبة لقوى التنافر الكهربائي بين البروتونات. وهذا يساعد على تفسير الإستقرارية الدنيا لنوى العناصر الثقيلة.

14 – نقص الكتلة Mass defect:

لقد أثبتت التجارب أن كتلة النواة لا تساوي مجموع كتل الجسيمات الداخلة في تركيبها من بروتونات ونيوترونات وهي بشكل حر، وإنما تكون دائماً أقل من ذلك. يدعى الفرق بين هذين المقدارين بنقص الكتلة ويرمز له بالرمز ΔM ويعبر عن ذلك بالصيغة الرياضية التالية:

$$\Delta M = Z \times m_{\mathrm{p}} + N \times m_{\mathrm{n}} - M(A,Z)$$

حيث $M(A,Z)$ تمثل كتلة النواة.

15 – طاقة الارتباط النووية Nuclear binding energy:

هي عبارة عن أصغر طاقة لازمة لتفريق النواة إلى مكوناتها الأساسية من بروتونات ونيوترونات بطاقة حركية دنيا. تعطى طاقة الارتباط للنواة $E_{\ell}(A,Z)$ حسب إينشتاين بالعلاقة التالية:

$$E_{\ell}(A,Z) = \Delta M \times \mathrm{c}^2 = [Z \times m_{\mathrm{p}} + N \times m_{\mathrm{n}} - M(A,Z)] \times \mathrm{c}^2$$

نستخدم أحياناً عوضاً عن طاقة الارتباط E_{ℓ} طاقة الارتباط الوسطية للنيكليون E وهي بالتعريف عبارة عن طاقة الارتباط للنواة مقسومة على عدد النيكليونات الموجودة في النواة أي أن:

$$\mathrm{E} = \frac{E_{\ell}(A,Z)}{A}$$

16 – التفاعل النووي Nuclear reaction:

هو عبارة عن اقتراب بين نواة ذرة ما مع جسيمة عنصرية أو مع نواة أخرى تتحول فيه النواة الأصلية إلى نواة عنصر آخر. يتحقق التفاعل النووي عادةً نتيجة لتصادم النواة أو الجسيمة العنصرية التي تدعى عادةً بالقذيفة وهي عبارة عن نواة خفيفة في أغلب الأحيان (مثال ذلك: البروتون، الديتيريوم، جسيم ألفا، ...) بنواة أخرى تدعى بالهدف (مثل الألمنيوم). ولكي تقترب النواة القذيفة إلى مسافةٍ صغيرةٍ جداً من النواة الهدف لا بد من تسريعها كي تتغلب على قوى التنافر الكولونية بين الشحنتين الموجبتين للنواتين القذيفة والهدف. تُسَرع الجسيمة القذيفة عادةً بواسطة فرق كمون يبلغ عدة ملايين فولط.

يمكن تمثيل التفاعل النووي بالمخطط العام التالي:

$$a + A \rightarrow C \rightarrow B + b$$

حيث a يمثل الجسيم المقذوف، b يمثل الجسيم الناتج، A تمثل النواة الهدف، B تمثل النواة الناتجة، و C تمثل النواة المركبة. كما تستخدم أحياناً طريقة مختصرة لكتابة التفاعل النووي على الشكل التالي:

$$A(a,b)B$$

وكمثال على ذلك، لنأخذ تفاعل جسيمات ألفا مع نوى ذرات الأزوت وفق التفاعل النووي التالي:

$${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{18}_{9}F \rightarrow {}^{1}_{1}P + {}^{17}_{8}O$$

يكتب هذا التفاعل النووي بالصيغة المختصرة كما يلي: ${}^{14}N(\alpha, P)\,{}^{17}O$

17 – <u>قوانين إنحفاظ التفاعلات النووية Conservation laws of nuclear reactions</u>:

من أهم هذه القوانين نذكر ما يلي:

أ – انحفاظ الشحنة conservation of charge.

ب – انحفاظ الكتلة conservation of mass.

ج – انحفاظ عدد النيكليونات conservation of nucleons number.

د – انحفاظ العدد الذري conservation of atomic number.

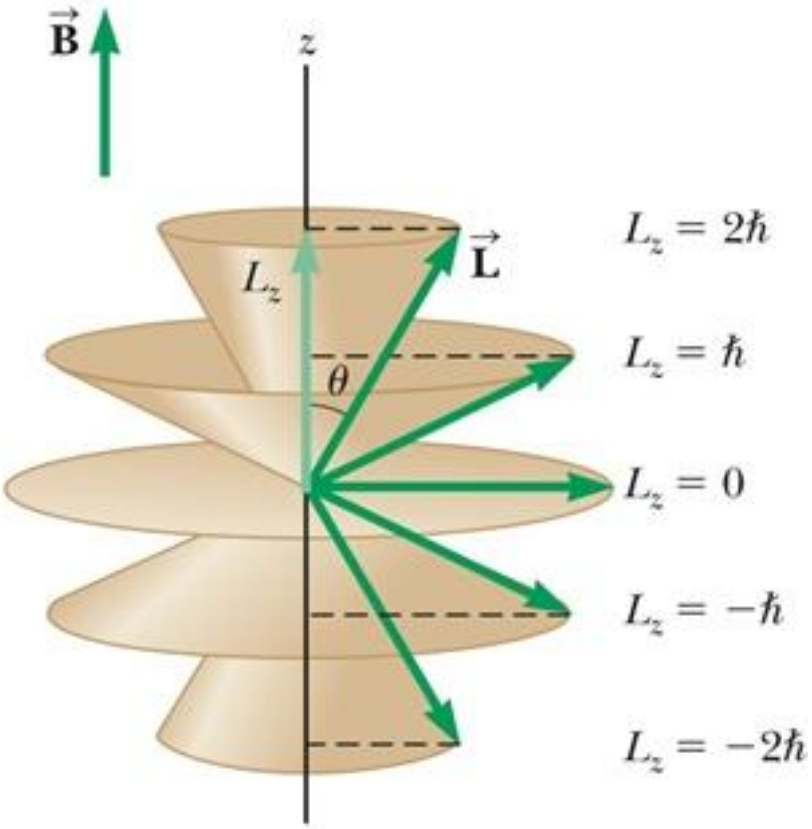
هـ – انحفاظ الطاقة conservation of energy: لكل جسيم طاقة إجمالية E هي عبارة عن مجموع طاقتيه السكونية والحركية أي أن:

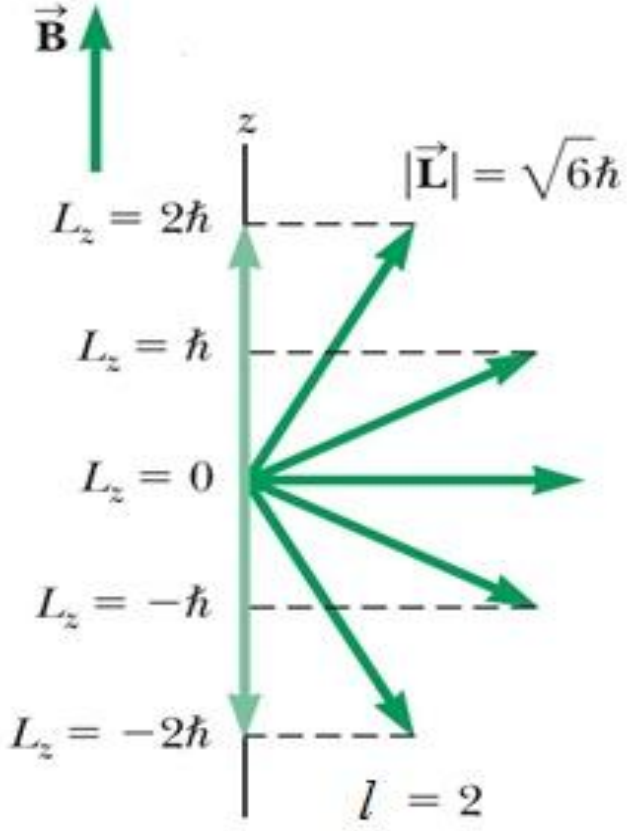
$$E = m \times c^2 = m_o \times c^2 + E_c$$

حيث m_o كتلة الجسيمة السكونية، m كتلة الجسيم النسبية (المتحركة) وتحسب من قانون إينشتاين التالي:

$$m = \frac{m_o}{\left[1 - \frac{v^2}{c^2}\right]^{\frac{1}{2}}}$$

حيث c سرعة الضوء في الخلاء و v سرعة الجسيم.


B
z
L
L_z
θ
$L_z = 2\hbar$
$L_z = \hbar$
$L_z = 0$
$L_z = -\hbar$
$L_z = -2\hbar$


B
z
$|\vec{L}| = \sqrt{6}\hbar$
$L_z = 2\hbar$
$L_z = \hbar$
$L_z = 0$
$L_z = -\hbar$
$L_z = -2\hbar$
$l = 2$

مبادئ أساسية في الفيزياء الذرية

الفيزياء النووية، والنشاط الإشعاعي

Fundamental principles in the atomic physics, the nuclear physics, and the radioactivity

18 – النشاط الإشعاعي The radioactivity

19 – التفكك الإشعاعي The radioactive decay

20 – قانون التفكك الإشعاعي Radioactive decay law

21 – عمر النصف (الدور) Half-life (period)

22 – العمر الوسطي (الاستمرارية) Mean lifetime (continuity)

23 – النشاط (الفعالية) Activity

24 – العلاقة بين كتلة العنصر المشع، ونشاطه ودوره

Relationship between the radioelement mass, his activity, and his period

25 – النظائر المشعة واستخدامها في الطب Radioisotopes and their medical uses

26 – عناصر التقفي (الاقتفاء) الإشعاعية Radioactive tracers

27 – الدور الحيوي والدور الفعلي Biological period and effective period

18 – النشاط الإشعاعي The radioactivity:

يُقسم النشاط الإشعاعي إلى قسمين: طبيعي (تلقائي) وصنعي (اصطناعي).

يعود اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي إلى العالم هنري بيكريل عام 1896 حيث كان لهذا الاكتشاف أهمية كبرى في تطور الفيزياء الذرية والنووية. وبعد عامين من ذلك التاريخ استطاعت ماري كوري اكتشاف هذه الظاهرة وبرهنت على أن النشاط الإشعاعي الطبيعي هو خاصة تتمتع بها نوى بعض النظائر وأن شدة الإشعاع تتناسب طرداً مع عدد نوى العنصر المشع ولا تتعلق لا بطبيعة المادة المستخدمة ولا بتركيبها الكيميائي. وفي عام 1899 درس رذرفورد طبيعة الإشعاع الصادر عن هذه المواد. يُعبر النشاط الإشعاعي الطبيعي عن قدرة نوى العناصر ذات العدد الذري $Z > 83$ (البيزموت له $Z = 83$) على التحول تلقائياً (أي بدون مؤثرات خارجية: كالتسخين إلى درجات حرارة مرتفعة أو تطبيق حقول كهربائية ومغناطيسية أو الضغوط العالية) إلى نوى عناصر أخرى، ويترافق ذلك بتحرير نوع خاص من الإشعاعات وبانطلاق كمية كبيرة من الحرارة، وتسمى هذه الظاهرة بالتفكك الإشعاعي. ينضوي تحت اسم إشعاعات النشاط الإشعاعي ثلاث أنواع من الأشعة المختلفة بطبيعتها ولكنها ذات خواص عامة واحدة سميت تاريخياً بأشعة ألفا، بيتا وغاما. أما ظاهرة النشاط الإشعاعي الاصطناعي فقد اكتشفت عام 1934 من قبل العالمين فريدريك جوليو وإيرين كوري.

وفي ما يلي سوف نوجز أهم الصفات والمميزات التي تتصف بها كل من إشعاعات ألفا، بيتا وغاما.

أ – تتصف أشعة ألفا بأنها عبارة عن جسيمات مشحونة بشحنة مضاعفة موجبة، وهي تمتلك عدد ذري 2 وعدد كتلي 4 وهي بذلك تقابل نوى ذرات الهليوم، يرمز لها بأحد الرمزين التاليين: $^{4}_{2}\mathrm{He}^{++}$ أو $^{4}_{2}\alpha$ (أو اختصاراً α). تمتلك جسيمات ألفا الصادرة عن النظائر المشعة المختلفة طاقات حركية كبيرة مختلفة تتراوح بين $1-10\,\mathrm{MeV}$، وكذلك تمتلك سرعات مختلفة تتراوح بين: $7000-20000\,\mathrm{Km}\times\mathrm{s}^{-1}$. يتميز مسار جسيمات ألفا بأنه عبارة عن خطوط مستقيمة قصيرة يختلف طولها تبعاً لطاقتها الابتدائية. كما تمتاز جسيمات ألفا بأنها ذات قدرة تأينية كبيرة وذلك بسبب كبر كتلتها وشحنتها الموجبة المضاعفة، ولكنها بالمقابل ذات قدرة اختراق (نفوذ) ضعيفة في الأوساط المادية التي تجتازها. يقدر طول مسارها في الهواء بين $2-8.5\,\mathrm{cm}$ وذلك تبعاً للنظير المشع، وتعتبر هذه القيمة من الخواص المميزة والثابتة للعنصر المشع عند درجة حرارة معينة. أما ضمن الأنسجة الحية فيقدر طول مسارها بعشرات الميكرومتر. فعلى سبيل المثال إذا سقطت حزمة من تلك الأشعة على سطح الجلد فإنه سرعان ما تفقد كامل طاقتها في خلايا الطبقة السطحية للأدمة. يمكن تحقيق الحماية من تأثير جسيمات α باستخدام طبقة رقيقة جداً من أية مادة كانت (قماش، ورق السميك، ...).

يكمن الخطر الأساسي لجسيمات α عند إصابتها لأغشية جهاز التنفس وجهاز الهضم وذلك من جراء استنشاق غازات أو تناول أغذية ملوثة بنظائر مشعة.

تصدر أشعة α عن نوى الذرات الثقيلة جداً (أي التي لها عدد ذري $Z > 83$) ويُعبر عن ذلك بمعادلة التفكك النووي التالية:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$$

لنأخذ على سبيل المثال تفكك نظير اليورانيوم ٢٣٨:

$$^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\alpha$$

ب – تتصف أشعة بيتا بأنها عبارة عن جسيمات مشحونة وهي على نوعين: إما سالبة (بالنسبة لغالبية العناصر الذرية المشعة) وهي عبارة عن إلكترونات وتدعى بأشعة بيتا السالبة، ويرمز لها بأحد الرمزين التاليين: $^{0}_{-1}e$ أو $^{0}_{-1}\beta$ (أو اختصاراً e^{-} أو β^{-})، وإما موجبة (بالنسبة لبعض النظائر المشعة الاصطناعية) وهي عبارة عن بوزيترونات (أي إلكترونات ذات شحنة موجبة) وتدعى بأشعة بيتا الموجبة، ويرمز لها بأحد الرمزين التاليين: $^{0}_{+1}e$ أو $^{0}_{+1}\beta$ (أو اختصاراً e^{+} أو β^{+}). تمتلك جسيمات بيتا بنوعيها طاقة حركية متغيرة من الصفر وحتى قيمة عظمى $\mathrm{E}_{\max}$، التي توافق سرعة قريبة من سرعة الضوء. يتميز مسار أشعة بيتا بأنه مستقيم في البداية وسرعان ما يأخذ شكل زيك–زاك. تمتاز أشعة بيتا بأنها ذات قدرة تأينية أقل من جسيمات ألفا ولكنها بالمقابل تمتاز بقدرة اختراق (نفوذ) أكبر من جسيمات ألفا في الأوساط المادية التي تجتازها. يقدر طول مسارها في الهواء بعدة أمتار، أما في الأنسجة الحية فيتراوح طول مسارها بحسب طاقتها الابتدائية بين جزء من الميكرون إلى بضع ميليمترات. إذا سقطت حزمة من أشعة بيتا على سطح الجلد فإن بإمكانها أن تخترق الطبقات العميقة من الأدمة حيث تتخلص عند هذا المستوى من قسم كبير من طاقتها. يمكن تحقيق الحماية من تأثير جسيمات β بنوعيها باستخدام طبق من البلاستيك أو الزجاج أو أي معدن خفيف تكون سماكته من مرتبة $1\mathrm{cm}$. يكمن الخطر الأساسي لجسيمات β عند إصابتها لأغشية جهاز التنفس وجهاز الهضم وذلك من جراء التلوث الإشعاعي الداخلي.

تصدر أشعة β^{-} عن نوى العناصر المشعة بشكل طبيعي والتي تمتلك فائض في النيوترونات بالنسبة لعدد البروتونات ويُعبر عن ذلك بمعادلة التفكك النووي التالية:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$$

لنأخذ على سبيل المثال تفكك نظير الكوبالت ٦٠:

$$^{60}_{27}\mathrm{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni} + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$$

أما أشعة β^+ فتصدر عن نوى العناصر المشعة بشكل اصطناعي والتي تمتلك فائض في البروتونات بالنسبة لعدد النيوترونات، ويُعبر عن ذلك بمعادلة التفكك التالية:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu$$

لنأخذ على سبيل المثال تفكك نظير الكربون ١١:

$$^{11}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{11}_{5}\mathrm{B} + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu$$

ج – تتصف أشعة غاما بأنها أمواج كهرطيسية وبالتالي فهي فوتونات متعادلة كهربائياً (لا تحمل شحنة) ولا تمتلك كتلة ولا عدد ذري وهي بذلك عبارة عن جسيمات طاقية يرمز لها بالرمز $^{0}_{0}\gamma$ (أو اختصاراً γ). تمتاز فوتونات غاما الصادرة عن النظائر المختلفة بكونها تمتلك طاقة حركية مختلفة، حيث تتراوح بين عشرات الإلكترون فولط إلى أكثر من $1\mathrm{MeV}$، كما تتميز بطول موجة قصير جداً ($\lambda \leq 0.1\mathrm{nm}$)، وسرعة تماثل سرعة الضوء. وتمتاز فوتونات غاما أيضاً بأنها ذات قدرة تأينية أقل بكثير من جسيمات ألفا وبيتا، إلا أن قدرتها التأينية الإجمالية أكبر بكثير من جسيمات ألفا وبيتا وذلك بسبب أن فوتونات غاما تحرض تأيناً ثانوياً من خلال التشتت على إلكترونات الحرة (مفعول كومبتون) أو بالامتصاص (المفعول الكهرضوئي). وتمتاز فوتونات غاما بأنها ذات قدرة اختراق (نفوذ) أكبر بكثير من جسيمات ألفا وبيتا، ويعود السبب في ذلك لانعدام كتلتها ولسرعتها التي تماثل سرعة الضوء. يقدر طول مسارها في الهواء بمئات من الأمتار، أما في الأنسجة الحية فهي قادرة على اختراق هذه الأنسجة وبالتالي الجسم بأكمله بيسر وسهولة. تتحقق الحماية من إشعاعات غاما باستخدام طبقة سميكة من الماء أو التربة أو البيتون المسلح أو الجدران القرميدية وأيضاً بواسطة المعادن الثقيلة مثل الرصاص حيث تستخدم طبقة منه يصل سمكها إلى بضع سنتيمترات.

تصدر أشعة غاما بصفة عامة من إزالة الإثارة للنواة الناتجة عن إصدارات ألفا أو بيتا وذلك وفق التفاعل النووي التالي:

$$Y^{*} \rightarrow Y + {}^{0}_{0}\gamma$$

لنأخذ على سبيل المثال ناتج تفكك β^- حيث نجد أن: $^{60}_{28}\mathrm{Ni}^{*} \rightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni} + {}^{0}_{0}\gamma$

ملاحظات Remarks:

1 – تختلف جسيمات β^- و β^+ عن إلكترونات الذرة من حيث مصدرها وليس من حيث الشكل الفيزيائي، فهي تصدر عن النواة.

2 – عندما تدخل أشعة β^+ وتنخفض طاقتها إلى أدنى مستوى لها وتكون في تماس مع إلكترونات الوسط يحدث تفاعل فناء (الفناء البوزيتروني) يترافق ذلك بتحرير –على الأغلب– إشعاعي غاما كل منهما بطاقة قدرها $0.511\,\mathrm{KeV}$ يصدران تقريباً بزاوية قدرها 180^o أحدهما بالنسبة للآخر. يعتبر هذا الإصدار المضاعف لأشعة غاما مميز للنشاط الإشعاعي β^+.

19 – التفكك الإشعاعي The radioactive decay:

لا بدّ أولاً من أن نعرف ما يلي:

النوى الأم الغير مستقرة وهي عبارة عن نوى النظير المشع الأصلي القابلة للتفكك.

النوى البنت (الابن) هي النوى التي تنتج عن تفكك النوى الأم.

بناءً على ذلك يمكن أن نميز بين حالتين أساسيتين من التفكك الإشعاعي ترتبطان بحالة النوى البنت (الابن) الناتجة عن تفكك النواة الأم وهما:

أ – حالة النوى البنت (الابن) المستقرة.

ب – حالة النوى البنت (الابن) الغير مستقرة (سلسلة التفكك الإشعاعية).

سوف نقتصر في دراستنا على حالة النوى البنت (الابن) المستقرة، وفيما يلي نورد بالتفصيل أهم القوانين الخاصة بالتفكك الإشعاعي.

20 – قانون التفكك الإشعاعي Radioactive decay law:

في عام 1900 اكتشف العالم رذرفورد أن معدل إصدار الجسيمات من مادة مشعة غير ثابت مع الزمن ولكنه يتناقص أسياً (أنظر الشكل – 4)، وتشير خاصية الارتباط الأسي بالزمن والمميزة لكل النشاطات الإشعاعية إلى أن التفكك الإشعاعي هو عملية إحصائية، وأن احتمال التفكك الإشعاعي من أجل كل نواة خلال وحدة الزمن عبارة عن مقدار ثابت لا يتعلق بالشروط الفيزيائية والكيميائية للعنصر المعتبر، ويتحدد ذلك بمعامل يسمى ثابت التفكك ويرمز له بالرمز λ ويقدر بإحدى الوحدات التالية:

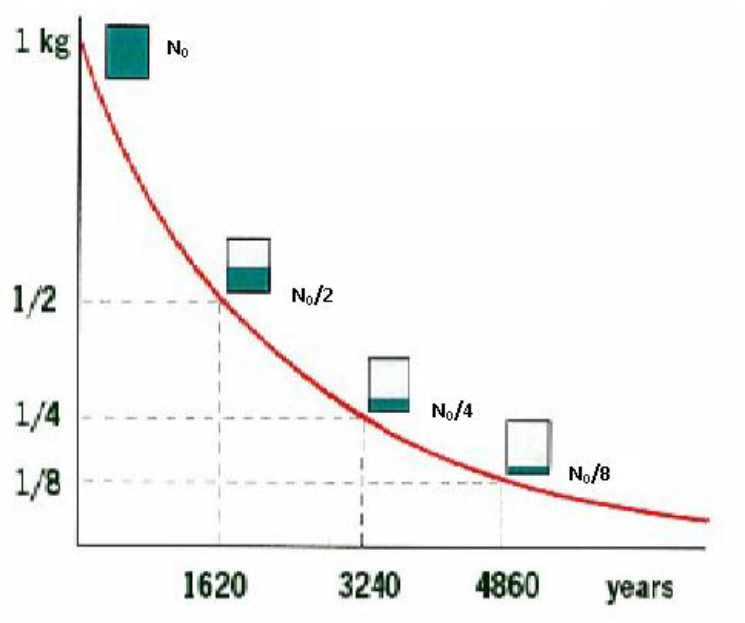
$$\mathrm{s^{-1}}\,,\ \mathrm{min^{-1}}\,,\ \mathrm{hr^{-1}}\,,\ \mathrm{D^{-1}}\,,\ \mathrm{yr^{-1}}$$

تجدر الإشارة إلى أن ثابت التفكك λ يختلف من عنصر مشع لآخر وهو يحدد سرعة التفكك.

يعطى قانون التفكك الإشعاعي بالعلاقة التالية:

$$\mathrm{N}_t = \mathrm{N}_\mathrm{o} \times e^{-\lambda t} \qquad (1)$$

حيث N_o تمثل عدد النوى القابلة للتفكك في اللحظة البدئية، و N_t تمثل عدد النوى الباقية دون تفكك حتى اللحظة t.



(الشكل – 4): يبين تناقص كتلة واحد كيلوغرام من الراديوم ٢٢٦ مع الزمن.

21 – عمر النصف (الدور) Half-life (period):

هو عبارة عن الزمن اللازم كي يتفكك نصف عدد النوى الابتدائي القابلة للتفكك يرمز له بـ T أو $t_{1/2}$. يرتبط عمر النصف بطبيعة المادة المشعة، وبالتالي بثابت التفكك ولا يرتبط بعدد النوى البدئي N_o ويعبر عن ذلك بالصيغة الرياضية التالية:

$$T = \frac{Ln\ 2}{\lambda} \qquad (2)$$

يقدر عمر النصف (الدور) بإحدى الوحدات التالية: s, min, hr, D, yr

22 – <u>العمر الوسطي (الاستمرارية) Mean lifetime (continuity)</u>:

هو عبارة عن الزمن اللازم لتفكك $\frac{1}{e}$ من عدد النوى البدئي القابلة للتفكك يرمز له بالرمز τ ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{Ln2} = 1.44 \times T \qquad (3)$$

يقدر العمر الوسطي τ بإحدى الوحدات التالية: s, min, hr, D, yr

23 – النشاط (الفعالية) The activity:

هي عبارة عن عدد النوى المتفككة خلال وحدة الزمن، ويرمز لها بالرمز A. من المعروف بأن المقدار الذي يتم قياسه تجريبياً هو النسبة $\left|-\frac{d\mathrm{N}}{dt}\right|$ أو كمية تتناسب معها وتسمى هذه النسبة معدل التفكك الإشعاعي أو سرعة التفكك الإشعاعي. بالاعتماد على العلاقة (1) يمكن التعبير عن النشاط (الفعالية) بالصيغة الرياضية التالية:

$$\mathrm{A}_t = \left|-\frac{d\mathrm{N}_t}{dt}\right| = \lambda \times \mathrm{N}_\mathrm{o} \times e^{-\lambda t} = \lambda \times \mathrm{N}_t = \mathrm{A}_\mathrm{o} \times e^{-\lambda t} \qquad (4)$$

حيث $\mathrm{A}_\mathrm{o} = \lambda \times \mathrm{N}_\mathrm{o}$ يمثل الفعالية للعنصر المشع في اللحظة الابتدائية.

و N_t تمثل عدد النوى المتفككة حتى اللحظة t. ترتبط الفعالية بطبيعة العنصر المشع وبعدد النوى القابلة للتفكك الموجودة في اللحظة t. تقدر الفعالية حسب الجملة الدولية بإحدى الوحدتين التاليتين: $(\mathrm{dps})\,\mathrm{decay}\times\mathrm{s}^{-1}$ أو بالبيكريل ويرمز لها بالرمز Bq حيث $1\,\mathrm{Bq} = 1\,\mathrm{decay}\times\mathrm{s}^{-1}$، أما في الجملة السغثية فتقدر بالكوري ويرمز لها بالرمز Ci حيث $1\ \mathrm{Ci} = 3.7\times10^{10}\ \mathrm{Bq}$

24 – العلاقة بين كتلة العنصر المشع، نشاطه ودوره:

Relationship between the radioelement mass, his activity, and his period:

من المعروف بأن m غرام من عنصر مشع دوره T وكتلته الذرية M_A تحتوي على $\mathrm{N} = \frac{\mathrm{N}_\mathrm{Av}}{M_\mathrm{A}} \times m$ ذرة حقيقية مشعة. في هذه الحالة تتحدد الفعالية لهذا العنصر المشع بالعلاقة التالية:

$$\mathrm{A} = \lambda \times \mathrm{N} = \lambda \times \frac{\mathrm{N}_\mathrm{Av}}{M_\mathrm{A}} \times m = \frac{\mathrm{Ln}2}{\mathrm{T}} \times \frac{\mathrm{N}_\mathrm{Av}}{M_\mathrm{A}} \times m \qquad (5)$$

تقدر A بال Bq و λ بال s^{-1} و T بال s أما m و M_A فتقدر كل منهما بال g

<u>ملاحظة Remark</u>:

اعتماداً على العلاقة (2) يمكن كتابة كل من العلاقتين (1) و (4) بالصيغ المختزلة التالية:

$$\mathrm{N}_t = \frac{\mathrm{N}_\mathrm{o}}{2^n} \qquad (6) \qquad \text{أو} \qquad \mathrm{A}_t = \frac{\mathrm{A}_\mathrm{o}}{2^n} \qquad (7)$$

حيث $n = \frac{t}{\mathrm{T}}$ تمثل عدد أعمار النصف (الدور) خلال الفترة الزمنية t .

25 – النظائر المشعة واستخدامها في الطب Radioisotopes and their medical uses:

تستخدم النظائر المشعة بكثرة في الطب، لاسيما لأغراض العلاجية والتشخيصية والدراسية. وكانت أولى استخدامات النظائر المشعة في دراسات حركية في الجسم الكائن الحي (in vivo)، وهي ترتبط بشدة مع علم الفيزيولوجيا في محاكمتها، كما هو الحال في التجديد وفي التدفق وفي الفقدان ومراكز التوشظ (التشظي). وهي ذات أهمية وخاصة في علم الدم كما في حجم الدم وأعمار الخلايا وحركية الحديد، وفي علم الجهاز الهضمي كامتصاص فيتامين B_{12} والحديد والكالسيوم، وفي علم العقاقير كامتصاص الأدوية وطرحها وتوزعها في مختلف أنحاء العضوية الحية وتفاعل الأدوية فيما يتعلق بامتصاصها، وفي الصحة العامة كما في دراسة مسالك الرفد الإضافية بالحديد أو الفيتامين ودراسة تأثيرات العادات الغذائية والمطبخية في امتصاص الأغذية الضرورية. كما تستخدم النظائر المشعة في تصوير الإشعاع الذاتي الذي يقوم على تتبع الانقسام الخلوي في داخل الزجاج (in vitro) (في التجربة) أو تتبع بعض الاصطناعات البروتينية في زراعات خلوية أو على مقاطع نسيجية وذلك باستخدام طلائع موسومة بالكربون ^{14}C أو بالتريتيوم ^{3}H ولاسيما طلائع DNA. كما تستخدم النظائر المشعة في التصوير بالكواشف الوميضية، الذي يقابل التصوير الإشعاعي التقليدي بالأشعة السينية، ولكنه يتميز عنه بثلاث مزايا خاصة، يمكن أن تكون هامة سريرياً إذا تمكنا من كيفية استغلالها وهي:

1 – النوعية في وسم أحد عناصر التقفي لعضو أو نسيج سليم أو خبيث بصورة اصطفائية كاليود في الغدة الدرقية وفوسفونات التكنيسيوم في النسيج العظمي والثاليوم في احتشاءات العضلة القلبية والأضداد وحيدة النسيلة الموسومة في السرطانات والنقائل.

2 – الطابع الكمي الذي يسمح بقياس تراكم عنصر التقفي في موقع أو آخر وذلك بإجراء حسابات معقدة أحياناً يمكن أن يكون لها قيمة علاجية.

3 – الطبيعة الديناميكية، حيث يسمح الكاشف (يتكون من كاميرا وميضية مقترنة بأجهزة حاسوبية مناسبة) بقياس تطور تثبيت عنصر التقفي واختفائه في كل من قطاعات الكشف الفراغية بدلالة الزمن. تدخل النظائر المشعة أيضاً في دراسات المناعة الإشعاعية وهي طريقة منافسة لتقدير جرعات الكميات الضئيلة من المواد التي لا يمكن معها استخدام الطرق الكيميائية التقليدية تقديراً دقيقاً. فالنظير هنا ليس إلا عنصر التقفي للمستضد أو للضد ولا تشكل الجرعات الصغيرة أي خطر على الأشخاص أو على الوسط المحيط. وقد تطورت كذلك تقانات أخرى تستخدم النظائر المشعة ولاسيما تلك التي تتناول المناعة الأنزيمية وغيرها. كما تستخدم النظائر المشعة (مثل الكوبالت والراديوم والسيزيوم والفوسفور واليود والإيريديوم والذهب) للأهداف العلاجية، فالنظير المشع للكوبالت يستخدم عند معالجه الخراجات

الخبيثة كمصدر لإشعاعات غاما. كما يستخدم الكوبالت المشع في المعالجة الداخلية حيث تغرز إبرة تحوي رأساً رفيعاً من الكوبالت المشع في أنسجة الجسم، كما تستخدم في المعالجات الطبية النظائر المشعة (الفوسفور لمعالجة أمراض الدم، واليود لمعالجة الغدة الدرقية)، حيث يعتمد الأثر العلاجي لهذه النظائر على تركُز هذه المواد في أعضاء ونسج محددة مؤثرة بإشعاعاتها على النسج المحيطة بها فمثلاً يتركز الفسفور الفعّال في المادة الصلدة من العظام القصبية ويتفكك وفق التفاعل:

$$^{32}_{15}\mathrm{P} \rightarrow {}^{32}_{16}\mathrm{S} + {}^{0}_{-1}e$$

لذلك فهو يقذف النخاع العظمي الموجود في قناة العظم بالإلكترونات مما يؤدي إلى تنظيم الخلل الحاصل أثناء إنتاج الدم. أما اليود المشع $^{131}\mathrm{I}$ فيتجمع في الغدة الدرقية حيث يتفكك قاذفاً الأجزاء الداخلية لها بجسيمات β^- الناتجة عن تفككه بطاقة قدرها $606\,\mathrm{KeV}$ ويستخدم اليود المشع بكثرة كمادة تشخيصية لأمراض الغدة الدرقية ولأورام الدماغ ويعطى بالإضافة إلى إشعاعات β^- فوتونات غاما بطاقة قدرها $364\,\mathrm{KeV}$ لذلك تستطيع هذه الفوتونات أن تنفذ إلى خارج الجسم وبالتالي استكشافه.

26 – <u>عناصر التقفي (الإقتفاء) الإشعاعية Radioactive tracers</u>:

تطلق تسمية عناصر التقفي (الاقتفاء) الإشعاعية أو الاستشفاء الإشعاعية على النوى المشعة التي تَسِمُ جزيئاً نوعياً والتي يستدل على توزعها في عضو ما أو نسيج بدءً من الإشعاعات التي تصدر عنها. لذلك فعنصر التقفي الإشعاعي في الجسم الحي يجب أن يتمتع ببعض المميزات الأساسية وهي:

1 – صالحاً من وجهة النظر الفيزلوجية، أي يسم نوعاً خلوياً بشكل اصطفائي أو يتثبت على بنية يراد إظهارها أو يتوزع في مواصفة فيزيولوجية يطلب قياسها كاليود مثلاً الذي يستخدم في فحص وعلاج الغدة الدرقية.

2 – قادراً على الاقتران بجزيئ نوعي أو متجه شديدة الإلفة للعضو الذي يطلب إظهاره أو للظواهر المرضية التي يبحث عنها كالنقائل مثلاً دون أن يغير من صفات ذلك الجزيء.

3 – مصدراً لفوتونات غاماوية لأنها الوحيدة التي تسمح باستكشاف الجسم البشري بدء من الخارج.

4 – أن تكون طاقة الفوتونات التي يصدرها تتراوح بين $100 - 400\,\mathrm{KeV}$ في الجسم الحي وقابلة للكشف باستخدام كاميرا غاماوية، فإذا كانت طاقة الفوتونات ضعيفة جداً يمتص أغلبها في النسج الرخوة والجلد، وإذا كانت عالية جداً في هذه الحالة يعبر أغلبها الكاشف دون التمكن من كشفه. من أجل الكشف الجيد عن إشعاعات غاما الصادرة عن عنصر الاستشفاء يجب أن تمتلك فوتونات غاما طاقة وسطية قدرها

150 KeV. تجدر الإشارة إلى أن العنصر المشع الأكثر استخداماً في مجال الطب النووي هو التكنيسيوم Tc^{99m} والذي يصدر عنه إشعاع غاما بطاقة قدرها 140 KeV

5 – أن يكون دور العنصر المشع قصيراً، فكلما قصر كان عدد الإصدارات التي يسجلها الكاشف أكبر خلال مدة الفحص ويسمح أيضاً بالحصول على صور أفضل وبتشعيع أقل نظراً لسرعة اختفاء الذرات المشعة بعد إجراء الفحص مثل التكنيسيوم Tc^{99m} ويقدر عمر النصف له بست ساعات

6 – أن يكون غير خطير، أي يجب أن لا تشكل الجرعة المستخدمة في الجسم الحي خطراً على مستقبله.

27 – <u>الدور الحيوي والدور الفعلي Biological period and effective period</u>:

يتفكك عنصر الإقتفاء الإشعاعي داخل الكائن الحي وفق آليتان هما:

1 – فيزيائية وتتميز بالدور الفيزيائي T_{phy} وهو عبارة عن الدور للعنصر المشع.

2 – بيولوجية وتتميز بالدور الحيوي T_{bio} وهو عبارة عن الزمن اللازم الذي يتم من خلاله طرح نصف كمية العنصر المشع الممتصة من قبل الجسم خارجاً.

لذلك يمكن أن يختفي عنصر التقفي من العضوية إما بالتفكك الذي يرتبط بالدور الفيزيائي T_{phy} أو بطرحه خارجاً وترتبط العملية الأخيرة بطبيعة المتجهة الكيميائية ووظائف العضوية الحيوية كشدة الاستقلاب أو الطرح وتتميز بالدور الحيوي T_{bio} للمتجه المفروض في العضوية المفروضة لذلك ينجم تغير في معدلات العد التي يسجلها الكاشف. بناءً على ذلك أعتمد على تعريف دور ثالث للعنصر المشع ودعي بالدور الفعلي T_{eff} حيث يرتبط مع كل من الدورين الفيزيائي والحيوي بالعلاقة التالية:

$$T_{eff} = \frac{T_{phy} \times T_{bio}}{T_{phy} + T_{bio}}$$

والدور الفعلي هو أصغر من كل من الدورين الفيزيائي والحيوي.

استخدام المواد المشعة في التشخيص

تستخدم المواد المشعة في تقدير نسبة الهرمونات وبعض المواد الأخرى في الدم كما تستخدم في حالات المسح الإشعاعي لأعضاء كثيرة في جسم الإنسان وسوف نتطرق إلى ذلك بشيء من التفصيل.

استخدام المواد المشعة فى العلاج

تستخدم المواد المشعة في حالات كثيرة وتأتي بنتائج مشجعة مثل استخدامها في علاج بعض الأورام الخبيثة وعلاج تسمم الغدة الدرقية ومن أمثلة المواد المشعة الآتي:

- الكوبالت وهو من المواد المشعة المستخدمة منذ وقت بعيد ويستخدم في علاج بعض الأورام السرطانية مثل سرطان الحنجرة وسرطان المثانة البولية وسرطان المخ والعظام والرحم.

- السيزيوم المشع الذي يستخدم في علاج سرطان الثدي

- الراديوم المشع ويستخدم على هيئة بذور أو إبر تزرع في مكان المرض في حالات مثل سرطان اللثة و سرطان عنق الرحم

- الذهب المشع ويستخدم في حالات سرطان وأورام الغدة النخامية

- اليود المشع وهو نظير مشع يستعمل بكثرة في تشخيص أمراض الغدة الدرقية وأيضاً في علاج بعض منها.

١. تقدير نسبة الهرمونات وبعض المواد الأخرى في الدم Radio-immuno-Assay:

تستخدم النظائر المشعة في تقدير كمية بعض المواد والأدوية والهرمونات في الدم وذلك باستخدام جهاز يسمي **العداد الوميضي Scintillation counter** وذلك بسحب عينة من دم المريض وفصل المصل (البلازما) Serum وإضافة النظير المشع الخاص بالمادة المعينة إليه، مثل تحديد هرمون التيروكسين

ومن الفحوصات التي لا يمكن لأشعة
رونتجن القيام بها وقامت بها طريقة
المسح الإشعاعي هي مثلاً تصوير أعضاء
الجسم مثل الكبد والطحال والغدة الدرقية.
وفيما يلي أهم استعمالات المواد المشعة في
المسح الإشعاعي للأعضاء:

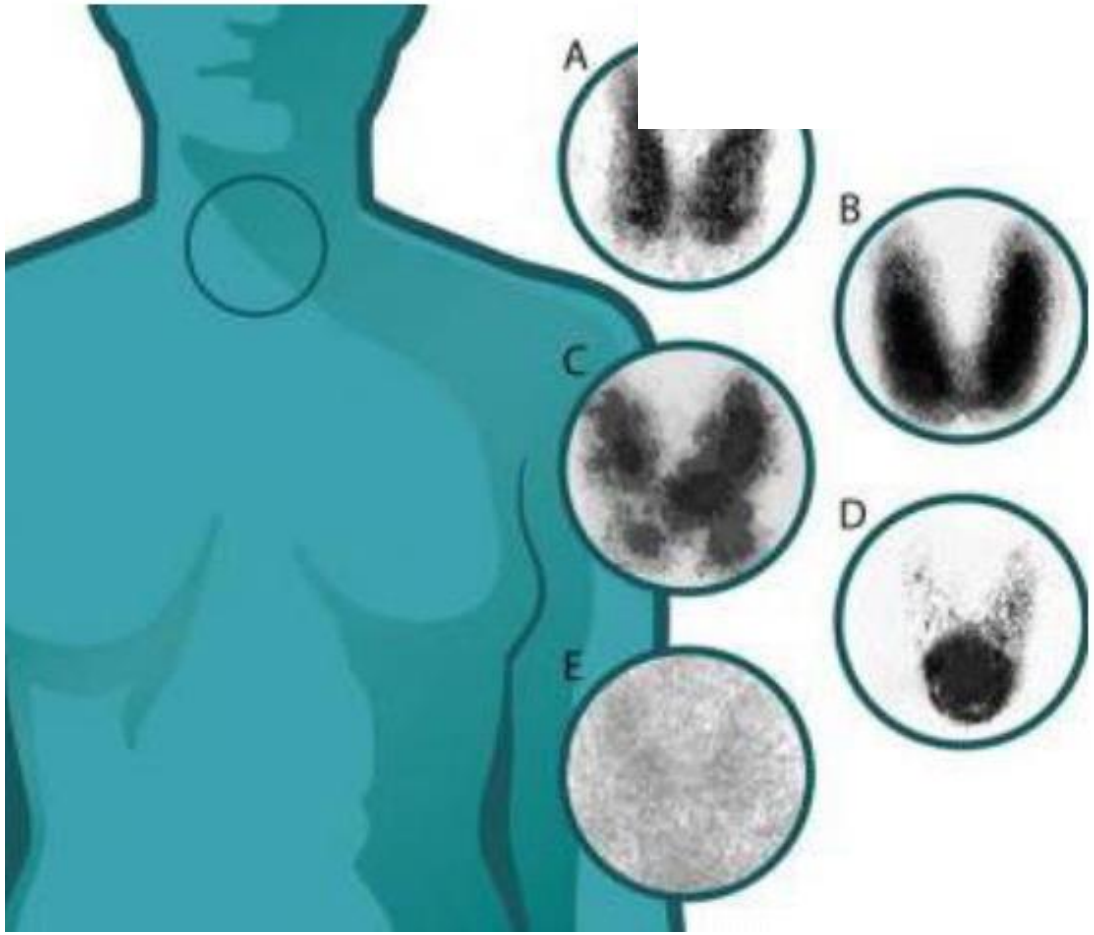
١. المسح الإشعاعي للغدة الدرقية وقياس نشاطها :

Thyroid Scan and I131 uptake وهذا الفحص يعتبر أول فحص استخدم بكثرة في مجال الطب النووي. ومن المعروف بأن الغدة الدرقية تتميز بشراهتها في التقاط مادة اليود ولهذا يستعمل اليود المشع (يود١٣١ ويود١٢٥) في قياس نشاط الغدة والمسح الإشعاعي لها، ويأخذ المريض جرعة اليود المشع عن طريق الفم على فترات (ساعتين - ٤ ساعات - ٨ ساعات - ٢٤ ساعة) تحسب له بطريقة معينة النسبة المئوية لالتقاط الغدة لليود باستخدام جهاز المسح الإشعاعي وفي نفس الوقت تؤخذ صورة للغدة الدرقية عن طريق كاميرا الجهاز وتبين هذه الصورة حجم الغدة وشكلها وانتشار المادة المشعة فيها ويستخدم فحص المسح الإشعاعي للغدة الدرقية ونشاطها في الحالات التالية:

معرفة حجم الغدة اكتشاف حالات تضخم الغدة الدرقية البسيطة والفيزيولوجية حالات سرطان الغدة Thyroid Carcinoma حالات تضخم الغدة العنقودي والحويصلي Nodular Goitre and Thyroid Cyst حالات زيادة نشاط الغدة الدرقية وتضخم الغدة التسممي Thyrotoxic Goitre حالات نقص وكسل الغدة الدرقية Hyperthyrodism and Myxoedema تحديد المكان لوجود أنسجة غدية في غير مكانها الطبيعي Ectopic Thyroid التهابات الغدة الدرقية الحادة والمزمنة Acute ,Subacute and Chronic Thyroiditis تقييم وتحديد وضع الغدة الدرقية بعد عمليات الإستئصال Post Operative

يرتفع قبط اليود المشع^{18} من الغدة الدرقية في:

1. **داء غريف** Graves' disease ⇦ **الصورة** B.
2. **السلعة الدرقية السمية متعددة العقيدات** Toxic multinodular goiter ⇦ **الصورة** C.
3. **ورم غدي وحيد سمي** Toxic solitary adenoma ⇦ **الصورة** D.
4. **عوز اليود** Iodine Deficiency.



تستخدم كثير من النظائر المشعة في حالات المسح الإشعاعي للكبد ومن أهما التكنزيوم٩٩ TC99 بعد خلطه بمادة رغوية تلتقط بخلايا الكبد ويعطى للمريض عن طريق الحقن الوريدي، ويطلب فحص المسح الإشعاعي للكبد في الحالات الآتية: تحديد حجم الكبد وشكله وموضعه تحديد أورام البطن ومعرفة ما إذا كانت في الكبد أو خارجه اكتشاف نوع وسبب تضخم الكبد مثل حالات خراج الكبد وأورامه وأكياسه أو أي تجمع دموي بالكبد تحديد مكان أي ورم بالكبد عند أخذ عينة منه المقارنة بين حالة الكبد قبل وبعد العلاج كما في حالات ثانويات السرطان في الكبد Liver Metastasis معرفة وتحديد أمراض الكبد المزمنة مثل تليف الكبد Liver Cirrhosis والتهاب الكبد Hepatitis وأمراض التمثيل الغذائي Metabolic Diseases

٣. المسح الإشعاعي للطحال Spleen Scan:

وتستخدم فيه ايضا مواد مشعة كثيرة منها مخلوط التكنزيوم والمادة الرغوية ويظهر في هذه الحالة في نفس صورة المسح الإشعاعي للكبد ويعطى المخلوط أيضاً عن طريق الوريد والحالات التي تتطلب فيها هذا المسح هي:

* تحديد حجم الطحال وشكله تضخم الطحال وأورامه Splenomegaly

*تحديد مكان الطحال عند استعمال الأشعة العميقة والمواد المشعة في علاج سرطان الدم

* إصابة الطحال بتهتك خاصةً بعد الحوادث بعد حالات استئصال الطحال

*وفي حالات جلطة الطحال وجود أنسجة للطحال في غير مكانها الطبيعي

٤. حالات المسح الإشعاعي للمخ Brain Scan:

ويستخدم فيه التكنزيوم فقط أو مخلوطاً بمادة تسمى DTPA حيث تعطى بالحقن الوريدي ويستخدم المسح الإشعاعي للمخ في الحالات

*أورام المخ السرطانية والحميدة والثانويات Brain Tumour and Metastasis

*التهاب المخ وخراجه Brain Abscess

*التجمع الدموي في المخ Brain Heamatoma

*والنزف بالمخ Intra Cerebral Hemorrhage

*أمراض الأوعية الدموية بالمخ وجلطة المخ Cerebro Vascular Accidents

٥. حالات المسح الإشعاعي للرئتين Lung Scan:

ويستخدم فيه مخلوط التكنزيوم ومادة زلالية MAA ويعطى بالوريد أو مادة الزينون١٣٣ وهو غاز مشع يعطى عن طريق الاستنشاق. والحالات التي تستدعي استخدام هذا

*حالات جلطة الرئتين وتأثير العلاج فيها أمراض الرئة الإنسدادية Obstructive Pulmonry Diseases

*حالات سرطان الرئة وخراج الرئة أمراض الرئة المزمنة مثل تمدد الشعب الهوائية Bronchiactesis

*العيوب الخلقية في الرئتين

*تقدير نسبة التهوية للرئتين

٦. حالات المسح الإشعاعي للعظام والنخاع العظمي Bone and Bone Marrow Scan:

ويستخدم فيه التكنزيوم مخلوطاً بمادة فسفورية مثل MDP OR PYP. ويطلب هذا الفحص في الحالات التالية:

*استكشاف وتحديد الأورام أو ثانويات الأورام الخبيثة في العظام
*تحديد مكان الورم عند أخذ عينة منه
*تحديد نشاط النخاع العظمي في حالات أمراض الدم *الحالات المزمنة لفقر الدم
* تحديد نمو العظام وعمرها
*تحديد أماكن التكلس الزائد في العظام ومواقع تكوين العظام الغير طبيعية ومدى اتساعها
*تحديد اتساع ونشاط التهاب المفاصل Arthritis

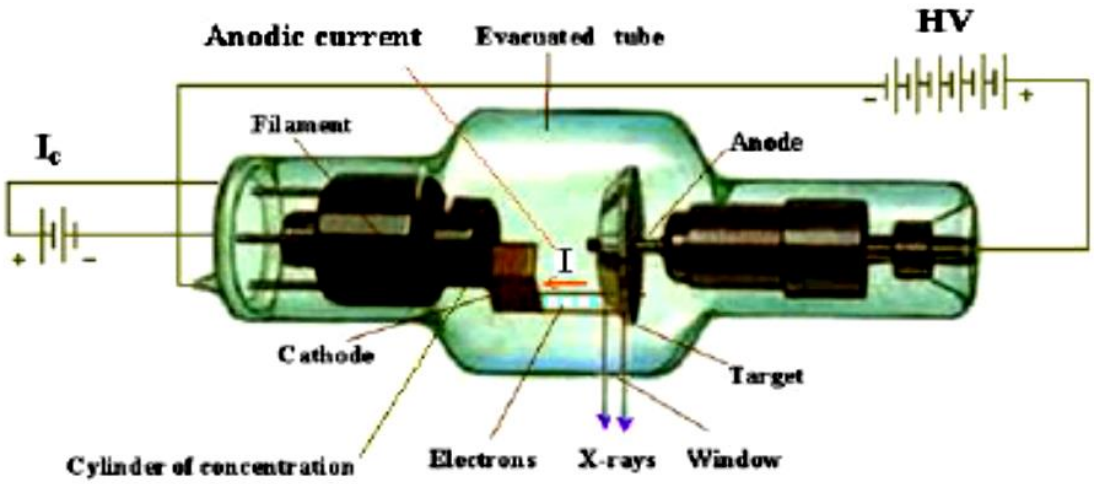
٧. حالات المسح الإشعاعي للقلب والأوعية الدموية

1- مدخل introduction

اكتشفت الأشعة السينية عام 1895 على يد العالم رونتجن حيث وجد أنه تنبعث من الأنبوبة المولدة للأشعة المهبطية أشعة غير معروفة تخترق الزجاج وكذلك العديد من الأجسام غير الشفافة بالنسبة للضوء العادي. وتم تفسير خواص وطبيعة هذه الأشعة عام 1932 من قبل العلماء بيس، هيتلر وسوتي.

2- توليد الأشعة السينية Production of X-rays

يجري توليد الأشعة السينية في أنبوبة تعرف بأنبوبة كوليدج، وهي أنبوبة زجاجية مخلاة من الهواء إلى ضغوط منخفضة جداً $(10^{-3} - 10^{-4} mmHg)$ فيها قطبين كهربائيين يشكلان مهبطاً ومصعداً، انظر الشكل (١).



الشكل (١)

يتكون المهبط من مادة غنية بالإلكترونات ويدعى أيضاً فتيل التسخين الذي يصدر حزمة من الإلكترونات، يُصنّع الفتيل عادةً من مادة التنغستين على شكل لولب، وذلك لأن التنغستين ذو عدد ذري كبير (Z=74) ودرجة انصهار كبيرة (3370°C). يحاط فتيل التسخين باسطوانة مشحونة سلباً تدعى باسطوانة التركيز أو التمحرق، وذلك من أجل تجنب تباعد حزمة الإلكترونات. أما المصعد فهو عبارة عن صفيحة معدنية تصنع في أغلب الأحيان أيضاً من مادة التنغستين. تنتج الحزمة الإلكترونية عن طريق تسخين الفتيل وذلك بإمرار تيار تسخين شدته $\mathbf{I_c}$ تبلغ قيمتها بضع أمبيرات (المفعول الكهرحراري). بعد ذلك تسرع الحزمة الإلكترونية الصادرة عن الفتيل باتجاه المصعد تحت تأثير الحقل الكهربائي المتولد عن تطبيق الجهد العالي **HV** بين المصعد والمهبط، الذي يمكن أن يصل في بعض الأنابيب حتى **200KV**، وبنتيجة ذلك تصطدم حزمة الإلكترونات المسرعة بالمصعد، الذي يكون موضوع بشكل مائل بالنسبة لمسار الحزمة الالكترونية، مما يؤدي إلى اختراقه وحدوث جملة من التأثيرات المتبادلة بين الإلكترونات و ذرات مادة المصعد، وهذا يؤدي في نهاية المطاف إلى إصدار الأشعة السينية من منطقة محددة بالمصعد (وتدعى أيضاً بالمحرق أو البؤرة) عبر مسامت مخصص

لخروج الحزمة يدعى النافذة. يقابل تحرك حزمة الإلكترونات من المهبط باتجاه المصعد تيار عكسي من الأيونات الموجبة يدعى **بالتيار المصعدي** شدة **I** من رتبة الميلي أمبيري. يرتبط التيار المصعدي **بالجهد العالي المطبق V** وبدرجة حرارة الفتيل **T** وذلك قبل الوصول إلى درجة حرارة محددة مميزة لعتبة **تيار الإشباع I_s** (التيار الذي يصدر عنده أكبر كمية من الإلكترونات). تعطى شدة التيار المصعدي بحسب لانغموير بعلاقة من الشكل التالي:

$$I = k \times V^{3/2}$$

أما تيار الإشباع فيعطى بحسب ريتشاردسون بعلاقة من الشكل التالي:

$$I_s = \acute{k} \times A \times T^2 \times e^{-b/T}$$

حيث **A** تمثل مساحة الفتيل، **T** تمثل درجة حرارة تسخين الفتيل، $\acute{k}$ ، **k** و **b** عبارة عن ثوابت.

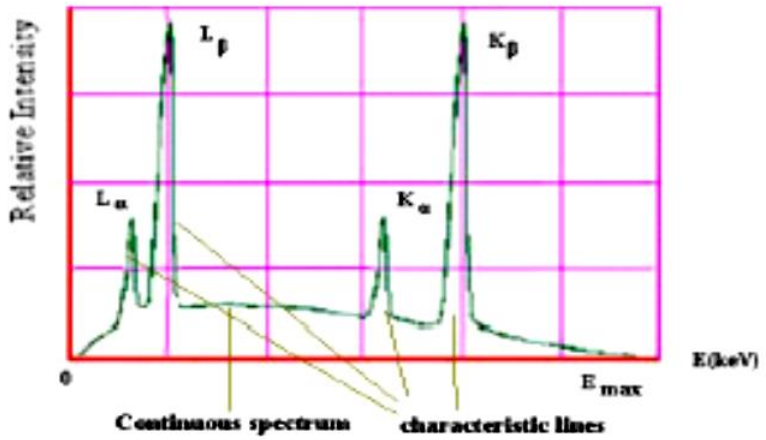
ملاحظات Remarks

1- يصمم فتيل التسخين بشكل لولبي بهدف جعل مقاومته أكبر لكي يكون الارتفاع في درجة حرارته أكبر.

2- يرتبط عرض حزمة الأشعة بعرض المحرق، فإذا كان المحرق كبيراً (منطقة عريضة)، فإننا نحصل على معدل كبير من الأشعة السينية، أما إذا كان المحرق صغيراً (منطقة ضيقة) فنحصل على معدل صغير للأشعة السينية. إضافة لذلك يرتبط عرض المحرق بميل المصعد، حيث يكون صغيراً بقدر ما يكون الميل صغيراً.

3- إصدار الأشعة السينية Emission of X-rays

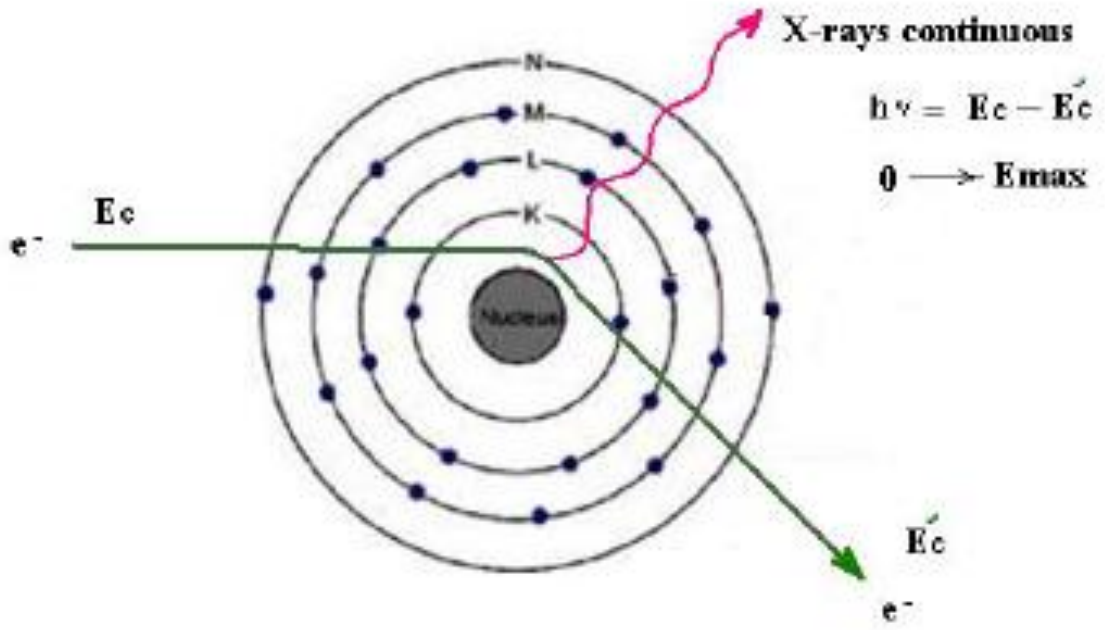
يعزى طيف إصدار الأشعة السينية المتولد في أنبوبة كوليدج إلى وجود حالتين هما: التأين أو التهيج (الإثارة) وينتج عنه طيف مميز characteristic يدعى بطيف الخطوط، وطيف الكبح الذي هو طيف مستمر يدعى. من ذلك نستنتج بأن طيف إصدار الأشعة السينية الناتج هو عبارة عن مجموع طيفين: طيف مستمر يدعى بطيف الكبح وطيف متقطع discontinuous يدعى بالطيف المميز (أو الخطوط) (انظر الشكل -2).



الشكل (٢):

4- الطيف المستمر Continuous spectrum:

بفرض أن أحد الإلكترونات الصادرة عن فتيل التسخين يمتلك طاقة حركية قدرها E_c تمكنه من الوصول إلى جوار النواة، عندئذٍ سوف ينجذب هذا الإلكترون إلى النواة تحت تأثير القوة الكولونية التجاذبية، إلا أنه عندما يقترب بشكل كافٍ من النواة سوف ينحرف عن مساره فاقداً جزءاً من طاقته الحركية لأن القوى النووية تعيق حركته فهي التي تعمل على فرملته. لتكن طاقته بعد الفرملة $\acute{E_c}$ (انظر الشكل – 3).

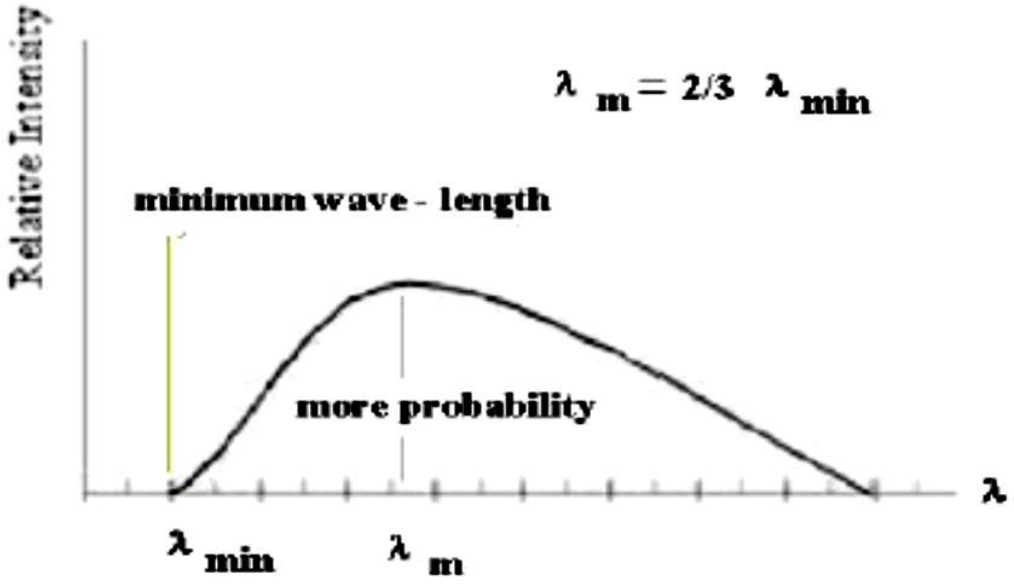


الشكل (٣)

في هذه الحالة تصدر الطاقة الحركية التي يتخلى عنها الإلكترون أثناء مساره وبشكل مستمر على شكل أشعة سينية طاقتها $h\nu = E_c - \acute{E_c}$ وهي تمثل طاقة الإعاقة (الفرملة). باعتبار أن المسافات الفاصلة بين النواة ومسار الإلكترون المار بجوارها كلها ممكنة، فإن طاقة الأشعة السينية الصادرة تكون غير مكممة وتأخذ قيمتها من الصفر 0 وحتى قيمة عظمى E_{max} وذلك عندما يتخلى الالكترون عن كامل طاقته الحركية لتصدر على شكل فوتون سيني، يدعى الطيف الصادر بهذه الطريقة بالطيف المستمر أو بشعاع الإعاقة.

5- قانون دوان وهانت Duane and hunt's law:

بفرض أن كامل الطاقة الحركية للإلكترون قد تحولت إلى إشعاع سيني مستمر (انظر الشكل–4).



الشكل (٤)

للشعاع السيني الصادر عن الأنبوبة λ_{min}في هذه الحالة يمكننا أن نحدد الطول الموجي الأصغري بالصيغة الرياضية التالية:

$$\lambda_{min} = \frac{h \times c}{e \times V}$$

تمثل شحنة الإلكترون.e تمثل سرعة الضوء في الخلاء و c يمثل ثابت بلانك، hحيث

بالتعويض عن هذه الثوابت نجد أن:

$$\lambda_{min}(A°) = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{1.6 \times 10^{-19} \times V(KV)} = \frac{12.4}{V(KV)}$$

تدعى هذه العلاقة بقانون **دوان وهانت.**

ملاحظات *Remarks*:

1- يعتبر طيف الإصدار السيني المستمر مستقل عن طبيعة مادة المصعد (الهدف)، ولا يرتبط سوى بالجهد المسرع، ويستفاد منه في المجال الطبي بالتصوير والمعالجة الإشعاعية.

2- تدعى الأشعة السينية الناتجة عن الإعاقة (الفرملة) بالأشعة المستمرة (البيضاء)، أو أشعة براميستراهلنغ.

3- يعتمد الشعاع السيني المستمر على الشحنة النووية أي على Z، بحيث يكون أكبر في العناصر الثقيلة (كالرصاص والتنغستين) من العناصر الخفيفة (كالنحاس والألمنيوم).

4- يكون شعاع الإعاقة معامد لاتجاه الالكترونات من أجل الطاقات الضعيفة، ويكون موازٍ من أجل الطاقات المرتفعة.

5- من أجل جهد مُسرع محدد فإن الطول الموجي الأكثر احتمالاً للتدفق الصادر هو λ_m ويدعى بالطول الموجي الحامل للعدد الأكبر من الفوتونات في وحدة الزمن. يتم الحصول عليه تجريبياً بالعلاقة التالية: $\lambda_m = \frac{2}{3}\lambda_{min}$

6- تدعى الأشعة السينية ذات الطول الموجي القصير وقدرة الاختراق الكبيرة بالأشعة السينية القاسية، وهي تصدر عن الذرات الثقيلة، أما الأشعة السينية ذات الطول الموجي الكبير وقدرة الاختراق غير الكبيرة فتدعى بالأشعة السينية اللينة. يتم التحكم بقساوة أو ليونة الأشعة السينية بتغيير قيمة الجهد المُسرع V. وكلما كانت الأشعة السينية أكثر قساوة كلما كان امتصاصها أضعف وكانت نفوذيتها أكبر من خلال الأوساط التي تجتازها.

6- الطاقة المشعة والاستطاعة المشعة لأنبوبة الأشعة السينية:

Radiant energy and radiant power for X-rays tube:

تتناسب **الطاقة** المُشعة بالجول طرداً مع: زمن التشغيل t، العدد الذري Z لمادة المصعد، مربع الجهد المُسرع V وعدد الالكترونات الصادرة بواحدة الزمن I (يسمى أيضاً بشدة التيار المصعدي)، وذلك على فرض إهمال التوهين الذي يسببه زجاج الأنبوبة المولدة للأشعة السينية وإهمال الامتصاص الذاتي للأشعة السينية الصادرة من قبل المصعد، ويعبر عن ذلك بالصيغة الرياضية التالية:

$$R(J) = k \times I \times Z \times V^2 \times t$$

وبالتالي فإن **الاستطاعة** المشعة بالواط تعطى بالعلاقة:

$$R(watts) = \frac{dR}{dt} = k \times I \times Z \times V^2$$

حيث k يمثل ثابت مميز للأنبوبة ويرتبط بجمل الوحدات المستخدمة.

7- مردود (عائدية) أنبوبة الأشعة السينية returns of X-rays tube:

المردود بالتعريف هو عبارة عن **حاصل قسمة الطاقة المشعة R إلى الطاقة المستهلكة E** ضمن أنبوبة الأشعة السينية أو المسرعات الخطية (في حالة المعالجة الإشعاعية). أو هو عبارة عن حاصل قسمة **الاستطاعة المشعة $\dot{R}$ إلى الاستطاعة الكهربائية المستهلكة P** ضمن أنبوبة الأشعة السينية أو المسرعات الخطية. يرمز للمردود بالرمز r ويحدد وفق العلاقة التالية:

$$r = \frac{R}{E} = \frac{\dot{R}}{P} = \frac{k \times I \times Z \times V^2}{V \times I} = k \times Z \times V$$

يعتبر مردود الأشعة السينية المتولدة بواسطة أنابيب كوليدج ضعيف جداً ولا يتجاوز في أفضل الأحوال نسبة **2%** وهذا يؤدي إلى تحرير كمية كبيرة من الحرارة من الممكن أن تسبب خلل في أداء الجهاز وتسبب أيضاً تلف مادة المصعد. ومن أجل تلافي ذلك يستخدم مصعد دوار.

8- الطيف المميز أو طيف الخطوط Characteristic spectrum (lines spectrum):

عندما يصبح الجهد العالي المطبق كافياً نلاحظ ظهور خطوط تتوضع (تتراكب) على الطيف المستمر، وهذه الخطوط تكون مميزة لذرات مادة المصعد (انظر الشكل -2). يمكن تفسير ذلك كما يلي: عندما

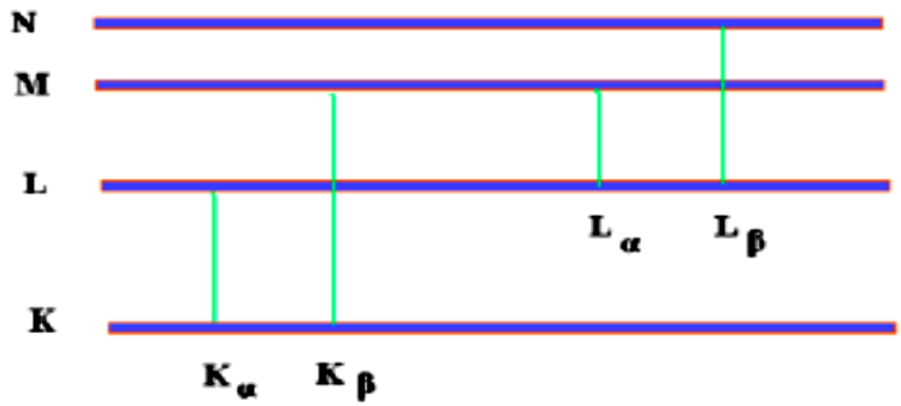
تصل الالكترونات المُسرعة إلى ذرات المصعد فإنها تعمل على اقتلاع إلكترون أو أكثر من الطبقات الداخلية للذرة وذلك تبعاً لطاقتها الحركية المكتسبة. بعد ذلك تصبح الذرة مثارة (حالة غير مستقرة) وكي تعود إلى استقرارها السابق يحصل إعادة ترتيب إلكتروني، وذلك بملء الفراغ بإلكترون يهبط من الطبقات الأعلى أو بواسطة إلكترون حر. إن الاختلاف في طاقة الرابطة لهذا الأخير يظهر على شكل شعاع (خط) سيني مميز أحادي الطاقة ذات تردد ν تعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta E = -b_0 \times Z^2 \times \left(\frac{1}{n_f} - \frac{1}{n_i}\right) = h \times \nu$$

9- تسمية الخطوط المميزة *Naming of the characteristic lines:*

اتفق على تسمية الخطوط المميزة بنفس الحروف اللاتينية العائدة للمستويات الذرية الرئيسية التي يسقط عليها الإلكترون الشاغل للفراغ، أما منشأ هذه الإلكترون (أي الطبقة التي أتي منها) فيستدل عليه بإحدى الحروف اليونانية $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ وتكتب على شكل دليل يستدل من خلاله على أن الإلكترون المالئ للفراغ قد أتى من الطبقة الأعلى مباشرة أو من الطبقات التالية (انظر الشكل -5). لنفرض مثلاً أن إلكترون أتى من الطبقة L ليملئ الفراغ الالكتروني المُحدث في الطبقة K فسوف يفقد نتيجة لذلك تظهر على شكل شعاع (خط) سيني مميز K_α ذات طاقة قدرها E_{K_α} حيث:

$$E_{K_\alpha} = h\nu = E_L - E_K$$



$$E_L - E_K = E_{K_\alpha} \qquad E_M - E_K = E_{K_\alpha}$$

الشكل (٥)

ملاحظات *Remark:*

1- تستخدم الأشعة السينية المميزة في الغالب في المجال العلمي في علم البلورات *crystallography.*

2- من الممكن للفوتون السيني الصادر عن ذرة الهدف أن يقتلع إلكترون محيطي تابع لنفس الذرة يطلق عليه اسم إلكترون أوجيه ***Auger's electron***. لنفرض على سبيل المثال أن إلكترون أوغر اقتلع من الطبقة الرئيسية M بواسطة فوتون K_α في هذه الحالة يملك هذا الإلكترون طاقة حركية مساوية إلى:

$$E_{e_{Auger}} = h\nu_{K\alpha} - E_M$$

إذاً يؤدي ذلك إلى إصدار إلكترون أحادي الطاقة وذلك على عكس إصدارات β^+ و β^-.

3- من أجل المواد الخفيفة (أعدادها الذرية صغيرة)، يكون هناك تنافس ما بين الإصدار الذري وإصدار إلكترون أوجيه. أما من أجل المواد التي تميز بعدد ذري أكبر من *70* فإن أثر أوجيه يكون مهملاً.

4- لا يشاهد طيف الخطوط المميز عند جهد أصغري، ولكن تبدأ هذه الخطوط بالظهور عند جهود تسريع أعلى، وبالتالي فإن أول خط طيفي يظهر بنتيجة زيادة جهد التسريع يقابل حالة التأين للطبقة السطحية لذرات المصعد.

10- خواص الأشعة السينية *Properties of X-rays*:

1- ذات طبيعة كهرطيسية.

2- طاقتها محصورة بين $10^2 - 10^5 eV$ وأطوالها الموجية محصورة بين $10^{-9} m - 10^{-12}$.

3- تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء وفق خطوط مستقيمة وفي سائر المناحي.

4- لا تنحرف تحت تأثير الحقلين الكهربائي والمغناطيسي.

5- تؤدي إلى تأين الغازات التي تعبرها، ويستفاد من ذلك في قياس كمية الأشعة السينية باستخدام حجرة التأين.

6- تؤدي إلى فلورة بعض الأملاح المعدنية ويستفاد منها في الدريئات المستخدمة في التنظير الإشعاعي والدريئات الداعمة التي تكون على تماس مع أفلام التصوير الإشعاعي.

7- قادرة على اختراق جسم الإنسان ويكون ذلك أسهل بقدر ما تكون نفوذيتها أكبر.

8- تتوهين ذاتياً بشكل طردي مع مقلوب مربع بعدها عن المنبع.

9- تتوهين لدى اختراقها للمادة، ويزداد توهينها بقدر ما تكون كل من ثخانة المادة وكثافتها كبيرة.

10- تحدث تفاعلات كيميائية وحيوية ضمن الأنسجة الحية مما يؤدي إلى تأين وانحراف الاستقلاب الخلوي.

11- تتسبب في اسوداد مستحلبات التصوير الضوئي.

11- الاستخدام الطبي للأشعة السينية (أو أشعة غاما) في التصوير الشعاعي:

Mutual effect for gamma rays and X-rays photons with the material medium:

يقوم الاستخدام الطبي لكل من الأشعة السينية وأشعة غاما في التصوير الإشعاعي على التأثيرات المتبادلة بين فوتونات الأشعة السينية أو الغاماوية مع الوسط المادي الذي تجتازه وكذلك فيلم التصوير الإشعاعي، إذ تسيطر ثلاثة أنواع رئيسية من التأثيرات المتبادلة وهي:

11-1- المفعول (الأثر) الكهرضوئي *Photoelectric effect*:

يحدث المفعول الكهرضوئي عند الطاقات المنخفضة، وغالباً ما يكون مع الإلكترون الأكثر ارتباطاً بالذرة (الكتروني الطبقة K أو الكترونات الطبقة الأعلى من ذلك). بموجب هذا المفعول يفقد الفوتون السيني (أو الغاماوي) كامل طاقته نتيجة للتصادم المباشر مع أحد الالكترونات المرتبطة بذرة من ذرات الوسط المادي الذي يجتازه، ليفنى بنتيجة ذلك الفوتون الساقط، وليطلق الإلكترون المصدوم ليحمل اسم الإلكترون الضوئي. تتصف احتمالية التأثير المتبادل بواسطة المفعول الكهرضوئي بمعامل توهين كتلي $(\mu_m)_{Phel}$. لقد تمكن كلاً من العالمان براغ وبيرس من وضع قانون يربط معامل التوهين الكتلي $(\mu_m)_{Phel}$ بطاقة أو طول الموجة للإشعاع الوارد، وبطبيعة الوسط المادي، بالشكل التالي:

$$(\mu_m)_{Phel} = k \times \frac{Z^3}{E^3}$$
$$= \acute{k} \times Z^3 \times \lambda^3$$

حيث

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

11-2- مفعول كومبتون Compton effect:

يحدث مفعول كومبتون عند الطاقات العالية، وغالباً ما يحدث مع الإلكترونات الأقل ارتباطاً بالذرة (الكترونات الطبقات الخارجية) أو الإلكترونات الحرة. ويتلخص هذا المفعول في أنه عندما يسقط الفوتون ذات الطاقة العالية على إلكترون حر يكتسب هذا الإلكترون جزء من طاقة الفوتون فينطلق بسرعة مبتعداً بينما يفقد الفوتون هذا الجزء من الطاقة ويحدث نتيجة لذلك تشتت لكل من الإلكترون والفوتون الوارد. تتصف احتمالية التأثير المتبادل بواسطة مفعول كومبتون بمعامل توهين كتلي $(\mu_m)_C$.

11-3- مفعول إنتاج الأزواج Pair production effect:

يحدث مفعول إنتاج الأزواج إذا تجاوزت طاقة الفوتون الوارد ضعف طاقة الإلكترون في حالة السكون (أي أكبر من 1.02MeV)، وفي حال اجتاز هذا الفوتون المجال القريب من نواة الذرة فإن ذلك يؤدي إلى فناء الفوتون في المجال الكهربائي الشديد لنواة الذرة مع إنتاج زوج من الجسيمات المشحونة وهي عبارة عن "إلكترون وبوزيترون" يساوي مجموع طاقتيهما في حالة السكون 1.02MeV. وتعتبر هذه الطاقة أصغر طاقة يجب أن يمتلكها الفوتون لإنتاج هذا الزوج من الجسيمات. أما إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من ذلك، فإن الطاقة الزائدة يكتسبها كلاً من الجسيمين على شكل طاقة حركية تمكنهما من الانتقال باتجاهين متعاكسين. تتصف احتمالية التأثير المتبادل بواسطة مفعول إنتاج الأزواج بمعامل توهين كتلي $(\mu_m)_P$.

ملاحظات Remarks:

1- يلعب المفعول الكهرضوئي دوراً أكثر أهمية في المواد الثقيلة منها في المواد الخفيفة.

2- من أجل الطاقات العالية يكون مفعول كومبتون هو المسيطر، أما من أجل الطاقات المنخفضة فيعتبر المفعول الكهرضوئي هو المسيطر.

3- لا يأخذ مفعول كومبتون بالاعتبار العدد الذري للأوساط المادية الماصة ولكن فقط كثافتها الالكترونية.

4- تجدر الإشارة أيضاً إلى أن المفعول الكهرضوئي يحدث في نفس وقت حدوث مفعول كومبتون من دون أن يكون هناك أي ترابط بين هذين المفعولين.

5- في حال كان الوسط المادي مكون من عناصر ذرية مختلفة، يجب أن نأخذ في هذه الحالة العدد الذري الفعال Z_{eff} للوسط المادي وذلك انطلاقاً من الأعداد الذرية للعناصر البسيطة المكونة لهذا الوسط وبحسب نسبة وجودها فيه.

12- قوانين توهين الأشعة السينية (أو أشعة غاما) في الأوساط المادية:

The laws of X-rays and gamma rays attenuation:

12-1- التوهين في الخلاء:

ترتبط شدة الإشعاع ببعدها عن المنبع النقطي المشع الذي يصدر الإشعاع في جميع الاتجاهات وبشكل متجانس، وهي تتناسب عكساً مع مربع البعد عن هذا المنبع النقطي أي أن:

$$I = \frac{I_0}{d^2}$$

حيث: I_0 تمثل شدة حزمة المنبع النقطي و I تمثل شدة الحزمة على بعد d من المنبع النقطي.

12-2- التوهين في وسط مادي (صلب أو سائل)

إذا سقطت حزمة من الأشعة السينية (أو الغاماوية) شدتها I_0 على وسط مادي يلاحظ ما يلي: قسم صغير من حزمة الأشعة الواردة (الساقطة) إلى الوسط المادي ينعكس عن ذلك الوسط، أو يعبر (يجتاز) ذلك الوسط دون أن تتبادل التأثير معه، أما القسم الأكبر فينفذ إلى أعماق الوسط المادي حيث يتبادل التأثير مع إلكترونات ذرات ذلك الوسط. عند ذلك يمكن أن تحدث الأفعال التالية: المفعول الكهرضوئي، مفعول كومبتون ومفعول إنتاج الأزواج، ويحصل نتيجة لذلك تأين وإثارة لذرات وجزيئات الوسط المادي، وتظهر بالتالي الأشعة الثانوية ذات الطول الموجي الكبير. بناءً على ذلك، وضع العالم بور قانونه الذي ينص على ما يلي: ترتبط الشدة I_x لحزمة من الأشعة (X, γ) وحيدة اللون متوازية والواصلة إلى الطبقة الواقعة على عمق x من سطح المادة المتجانسة بالشدة I_0 للأشعة الساقطة على سطح المادة وتعطى بإحدى العلاقتين التاليتين:

$$I_x = I_0 \times e^{-\mu \times x}$$
$$I_x = I_0 \times e^{-\mu_m \times X}$$

حيث: μ يمثل معامل التوهين الخطي linear attenuation coefficient للمادة ويقدر حسب الجملة الدولية بالـ m^{-1} أو بالـ cm^{-1} حسب الجملة المغنثية و $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$ يمثل معامل التوهين الكتلي mass

attenuation coefficient الإجمالي للمادة ويقدر حسب الجملة الدولية بالـ $m^2 \times Kg^{-1}$ أو بالـ $cm^2 \times g^{-1}$ حسب الجملة المغنثية، و x تمثل سماكة المادة وتقدر حسب الجملة الدولية بالـ m أو بالـ cm حسب الجملة المغنثية، و $X = x \times \rho$ تمثل الكتلة السطحية للمادة وتقدر بالجملة الدولية بالـ $Kg \times m^{-2}$ أو بالـ $g \times cm^{-2}$ بالجملة المغنثية.

13- سماكة النصف *half-thickness* :

سماكة النصف لوسط مادي ماص للأشعة (X, γ) بالتعريف هي: عبارة عن السماكة التي يمكنها خفض شدة الإشعاع الوارد عليه إلى النصف. بكلام آخر هي عبارة عن السماكة التي تجعل نسبة شدة الإشعاع النافذ إلى الإشعاع الوارد مساوياً إلى النصف. يرمز لها بأحد الرمزين التاليين: HVL أو $x_{1/2}$ وتحدد قيمتها اعتماداً على العلاقة (1) بالصيغة الرياضية التالية:

$$x_{1/2} = \frac{Log2}{\mu}$$

تقدر السماكة النصف حسب الجملة الدولية بالـ m أو بالـ cm حسب الجملة المغنثية.

ملاحظات *Remarks*:

1- إذا كان الإشعاع وحيد الطاقة، تكون السماكات النصفية المتتالية مماثلة للسماكة النصفية الأولى.

2- إذا كانت الحزمة تضم الإشعاع اللين والإشعاع القاسي فإن السماكة النصفية للأول تخفض نسبة الأشعة اللينة ومن ثم تكون السماكة النصفية للإشعاع الثاني أكبر.

3- تعتبر السماكة النصفية من المعاملات المهمة في مجال الوقاية من الأشعة.

4- يمكن أن نحدد عدد السماكات النصفية في المادة اعتماداً على الشدة الإشعاعية (أو عدد الفوتونات) وذلك وفق العلاقتين التاليتين:

$$I = \frac{I_0}{2^n}$$

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

حيث $n = \frac{x}{x_{1/2}}$ تمثل عدد سماكات النصف للمادة.

5.2.3. التقنيات الشعاعية وخصائص الصورة الشعاعية

تختلف وسائل الكشف باختلاف التقنية والغرض منها وكلفتها فيوجد تقنية:

5.2.3.1. التصوير الشعاعي التقليدي

تمر الأشعة السينية البارزة من الأنبوب في هذه الطريقة من التصوير، في الجسم وتكشف بفلم تصوير ضوئي أو بشاشة متفلورة، (الشكل 5.11). وهو يستخدم أفلاماً من دون شاشات داعمة في تصوير الأعضاء القليلة الثخانة والتي يمكن تثبيتها بسهولة (كاليد والقدم)، وحافظات في تصوير الأعضاء الأكثر ثخانة كالأطراف، وحافظات وشبكة مضادة للانتشار في الفحوص الأخرى. كما يمكن اللجوء إليه في **الفحوص باستخدام مستحضر تباين لتحسين الصورة.**



الشكل 5.11. التصوير التقليدي بالأشعة السينية الذي يمثل التظليل shadowing عملياً.

يجب أن تتمتع الصورة الشعاعية بأكبر قدر ممكن من التباين ومن النقاوة. وأما التباين Contrast في الصور الشعاعية فيمثل التفاوت بين الرقع السوداء والرقع البيضاء على الصورة السلبية، ويتعلق بالشروط التقانية للحصول عليها، كما يتعلق بحدة نظر المراقب.

تزودنا الأشعة السينية الضعيفة الاختراق أو متوسطته، بصور سلبية شديدة التباين. يستخدم هذا النوع من الأشعة بخاصة في الصور الشعاعية للعظام: فيكون التباين شديداً بين العظم (الذي يبدو أبيض) والأعضاء الرخوة. كما تستخدم الأشعة السينية في تصوير المناطق التي تتصف بالامتصاص الشديد لمستحضرات التباين اليودية المستخدمة في تظليل المجاري البولية والأقنية الصفراوية والأوعية الدموية.

يؤدي تخامد حزمة الأشعة السينية في الجسم البشري إلى إصدار أشعة منتثرة في سائر المناحي، يحتمل أن تؤثر في الصورة الشعاعية بشكل متجانس تفقد معه الصورة تباينها. يضاف إلى ذلك **التشويش الحركي** الذي ينشأ عن حركة الجسم أو العضو المدروس. ويضعف بشدة مع قصر زمن اللقطة. ما يتطلب أحياناً استعمال **الشاشات الداعمة**، التي تسمح بتقصير زمن اللقطة ولكنها تؤدي إلى تشويش يزداد تأثيره بازدياد فعاليتها.

تراقب الصورة الشعاعية، بعد الحصول عليها، من خلال منظار الصورة السلبية negatoscope لاستخلاص أكبر قدر من المعلومات. كما يوضع بين العين والمنطقة من الفلم التي يطلب دراستها جذع مخروط من الورق المقوى طوله 20 سنتمتراً، إذا شئنا تحليل بعض التفاصيل بدقة.

5.2.3.2. التنظير الشعاعي التقليدي radioscopy

وهو يستخدم شاشة متفلورة تتألق بفعل الأشعة السينية، ولكن إضاءتها ضعيفة جداً يصعب معها مزاولة هذه التقنية في غير الظلام. ولا بد من مرور عشر دقائق على الأقل للتكيف مع الظلام. وقد عزف عنه حالياً بسبب التشعيع الكبير الذي ينجم عنه.

يمكن التقاط صور ضوئية للخيال المتشكل على شاشة التنظير الشعاعي التقليدي بآلة تصوير ضوئي. تستخدم هذه التقنية عادة في تقفي الالتهابات الرئوية.

5.2.3.3. التنظير الشعاعي المتلفز televised radioscopy

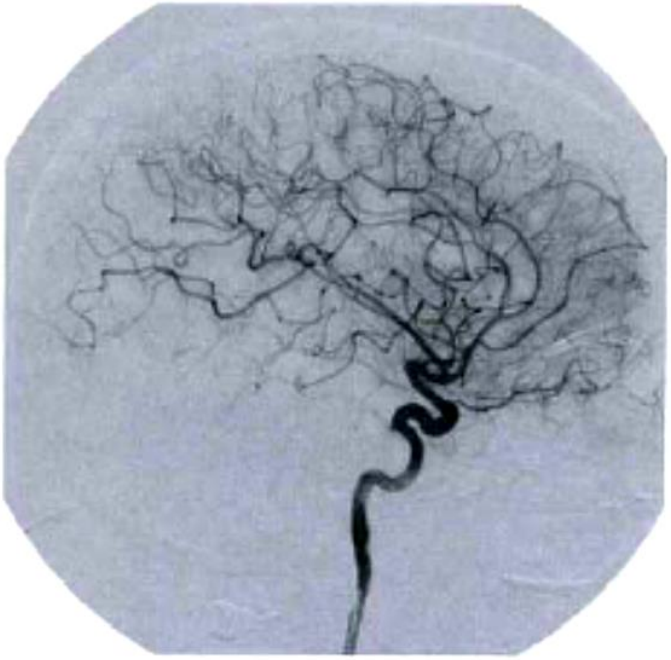
نحصل على الخيال في هذا النمط من التنظير الشعاعي بعُشْر الجرعة السينية الضرورية للقيام بالتنظير الشعاعي التقليدي ضمن الشروط نفسها. كما يمكن مراقبة الصورة التي تتشكل على شاشة المستقبل التلفزيوني في وضح النهار، إلّا أنه يمكن لهذه التقنية أن تطيل زمن التعرض كثيراً. يسمح التنظير الشعاعي بإجراء دراسة ديناميكية. ومن عيوبه أنه لا يترك أي وثيقة (ما لم يسجل على شريط مغنطيسي magnetoscope أو سينمائي radiocinema) ومن جهة أخرى يسمح التنظير الشعاعي بترشيد الإبر والقثاطر والأدلة العاتمة في بعض الفحوص الراديولوجية.

5.2.3.4. التصوير الرقمي المتلفز

وهي تقانة حديثة، يعاد فيها التقاط الصورة المتشكلة على شاشة مضخم السطوع الثانوية عن طريق محوّل converter تمثيلي analogic / رقمي digital يقوم بتعيين رقم لكل نقطة منها، تسمح الأجهزة الحالية بتمثيل ما يزيد على مئتي قيمة للسطوع بين الإضاءة العظمى والظلام. يبلغ عدد عناصر الصورة نحو 250,000 pixel (يمثل عدد عناصر مصفوفة الصورة)، وربما تزداد جودة هذه الأجهزة في المستقبل القريب.

تحفظ هذه الصورة الرقمية في ذاكرة مغنطيسية (غالباً على شكل أقراص disc) تتسع لأكثر من ألف صورة إجمالاً، ليقوم الحاسب بمعالجتها (بطرحها من صورة أخرى مثلاً) من دون النيل من جودتها ومن ثم إعادة تشكيلها على شاشة مستقبل تلفزيوني في شكلها المألوف عن طريق محوّل رقمي / تمثيلي.

5.2.3.5. التصوير الوعائي الرقمي



الشكل5.12. نموذج لصورة وعائية حصل عليها بالطرح الرقمي.

يعد التصوير الوعائي الرقمي (الشكل5.12) من تطبيقات التصوير الرقمي المتلفز الرئيسية. يؤدي حقن مستحضر تباين داخل الوريد إلى زيادة التباين داخل الأوردة فالشرايين حتى في مناطق بعيدة عن نقطة الحقن. يسمح إمكان تمييز أكثر من مئتي صبغة، في الواقع، بتقصي أثر تراكيز ضئيلة من مستحضر التباين في وعاء نموي وذلك بمعالجة الصورة. أي بإجراء عملية طرح الصورة التي حصل عليها قبل حقن مستحضر التباين، فلا يبقى على الصورة النهائية سوى صورة الوعاء شريطة أن نحسن اختيار نافذة الدراسة كي نتمكن من الوقوف على منطقة الكثافات المهمة،فما يجب أخذه في الحسبان فقط الاختلاف الكائن بين الأوعية المحقونة والأعضاء التشريحية الأخرى المطروحة.

تسمح هذه التقنية بإجراء التصوير الوعائي بعد الحقن داخل الوريدي من دون تخدير ومن دون أي خطر يرتبط بالوخز الشرياني.

تسمح زيادة جودة هذا النوع من الأجهزة باستخدامها في التصوير الوعائي القلبي، الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض الفحوص باستخدام القثطرة .

تطورت تقانات التصوير الرقمي بسرعة واحتلت مكانة مرموقة في تقصي آثار الإصابات العصبية.

5.2.4. الأجهزة الشعاعية

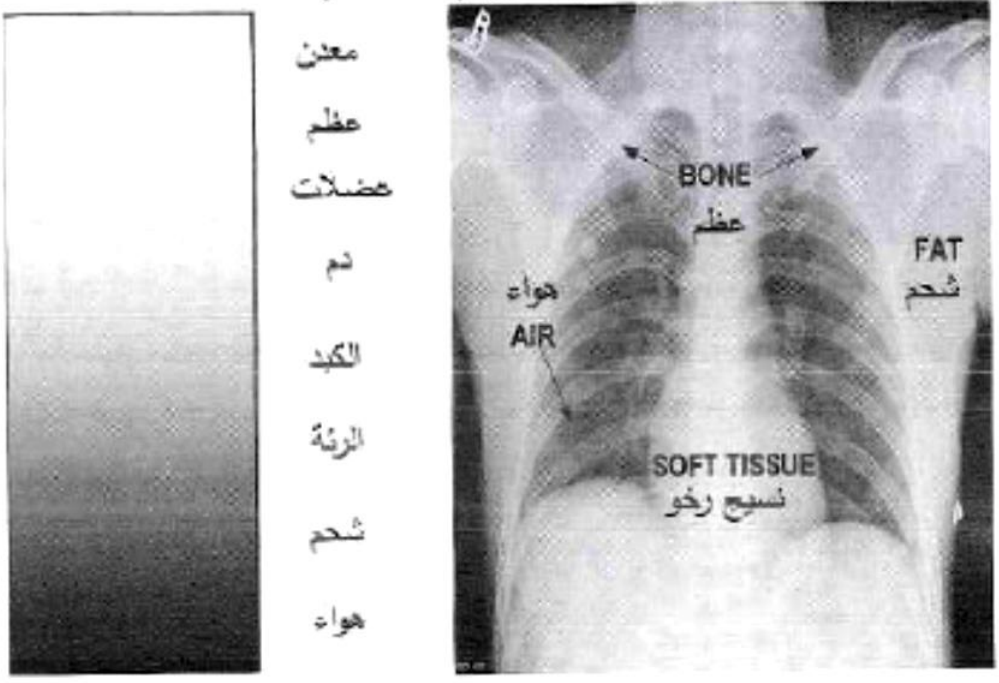
تتألف مناضد الفحص من منصة أفقية (أو شاقولية)، يسهل وضع حافظة في داخلها على تماس مع شبكة مضادة للانتثار. يوضع صمام الأشعة السينية بحيث يقابل الحافظة.

تسمح المناضد الموجهة عن بعد بالإضافة إلى مضخم السطوع وجهاز الاستقبال التلفزيوني بإجراء جميع فحوص الترشيد بالتنظير الشعاعي وبخاصة في الفحوص الهضمية. وعندما يكون العامل على الأجهزة على مقربة من المنضدة، فتجري وقايته من الإشعاع بدرع رصاصي.

5.2.5. الكثافات الشعاعية المختلفة

تضم كليشة التصوير الشعاعي تدرجاً للكثافات الشعاعية بين الأبيض والأسود، تنتج هذه الكثافات المختلفة عن اختلاف النسج في امتصاصها للأشعة السينية. حيث يتعلق الامتصاص، في حالة النخانة نفسها، بالكتلة الذرية للوسط. فالجزيئات المكونة من ذرات ثقيلة كالكالسيوم واليود والباريوم تمنع الأشعة السينية من بلوغ الفلم وتحصل، من وجهة النظر الشعاعية، على رقعة بيضاء نسبياً على فلم التصوير الشعاعي. وبالعكس يتأثر الفلم بشدة بالأشعة السينية إذا لم يكن سوى الهواء يفصل بينه وبين المنبع، فيصبح أسود.

هناك أربع كثافات شعاعية أساسية في الجسم البشري (الشكل5.13):



الشكل5.13. صورة تظهر الكثافات الأساسية الأربع.

- الكثافة الكلسية Bone وينتمي إليها العظام ومستحضرات التباين العاتمة كلّها كاليود والباريوم.

- الكثافة المائية soft tissue وينتمي إليها مختلف النسج البرنشيمية (كالكبد والطحال والكلية والدماغ ...) والعضلات والأوتار والأربطة والغضاريف والسمحاق والأوعية والدم والسائل النخاعي الشوكي ....إلخ .

- الكثافة الدهنية Fat وينتمي إليها النسيج الخلوي تحت الجلد والشحم الذي يحيط بعدد من الأعضاء.

- الكثافة الهوائية Air وتنتمي إليها البنى كلّها التي تحوي الهواء كالرغامى والقصبات والأسناخ الرئوية والجيوب الجبهية وبعض أجزاء الأنبوب الهضمي.

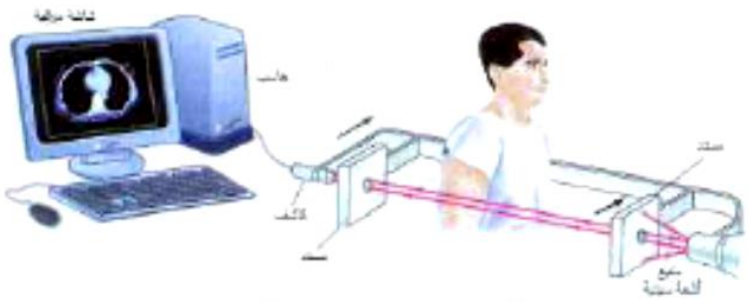
5.2.6. التصوير المقطعي المحوري

يطلق اسم الماسح Scanner على الجهاز الذي يصور مقاطع في الجسم البشري بالأشعة السينية وبالاستعانة بالحاسب وله عدة مرادفات منها، قياس الكثافة المقطعية tomodensitometry، والتصوير المقطعي المحوري العرضاني المحوسب Computed transverse axial Tomography و CT scan Computed Tomography scan. وقد كان هاونسفيلد Hounsfield من ابتكر هذا الجهاز عام 1972 في إنكلترا.

يسمح التصوير المقطعي بتجنب التراكبات المزعجة وتصوير مقطع في منطقة معينة من الجسم. يمكن حالياً رؤية البنيات والإصابات التي كان يتعذر إظهارها سابقاً، بوضوح كبير.

5.2.6.1. مبدأ التصوير المقطعي

في التصوير المقطعي الشكل5.14، تعبر حزمة مسددة دقيقة من الأشعة السينية الجسم نحو كاشف يقيس الشدة النافذة. يتم أخذ القياسات عند عدد كبير من النقاط لدى انتقال المنبع والكاشف معاً في جوار الجسم. ثم يتم تدوير الجهاز زاوية صغيرة حول محور الجسم ويجري مسحه ثانية؛ تتكرر هذه العملية ربما بفواصل مقدار كل منها 1° ولأجل 180°. ترسل شدة الحزمة النافذة لنقاط كل مسح الكثيرة ولكل زاوية إلى حاسب يقوم ببناء صورة الشريحة وتعرض على شاشة تلفزيونية. لاحظ أن الشريحة المصورة عمودية على المحور الكبير للجسم. لهذا السبب، يدعى هذا النوع من التصوير أحياناً التصوير المقطعي المحوري المحوسب computerized axial tomography (CAT)، ولو أن الاختصار CAT كما في CAT scan يمكن قراءته على النحو computer-assisted tomography.



الشكل5.14. التصوير المقطعي

الليزر Laser

تعريف الليزر: تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث

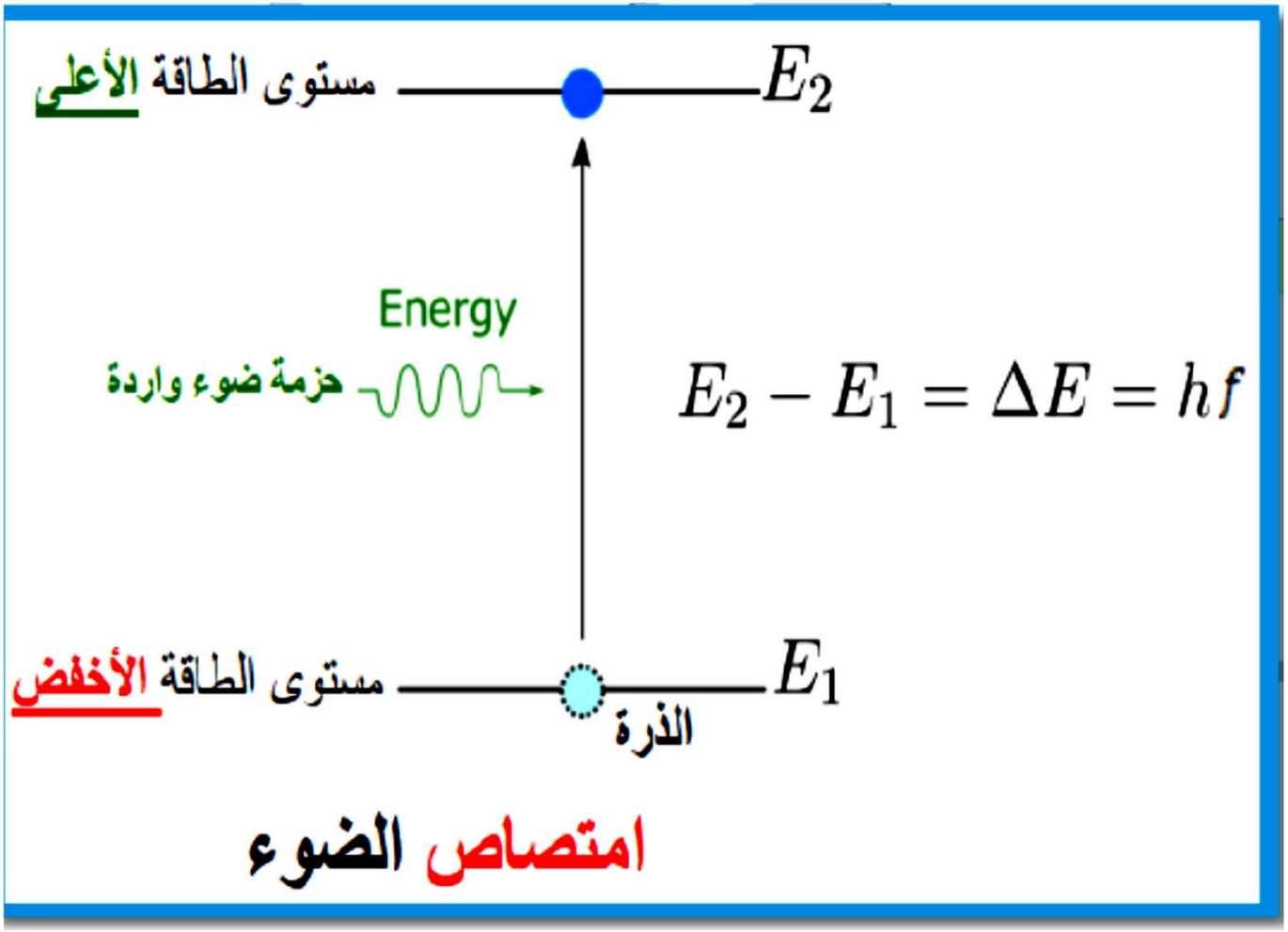
بداية بالليزر يوجد ثلاث مصطلحات أساسية يجب التعرف عليها :

1- امتصاص الضوء

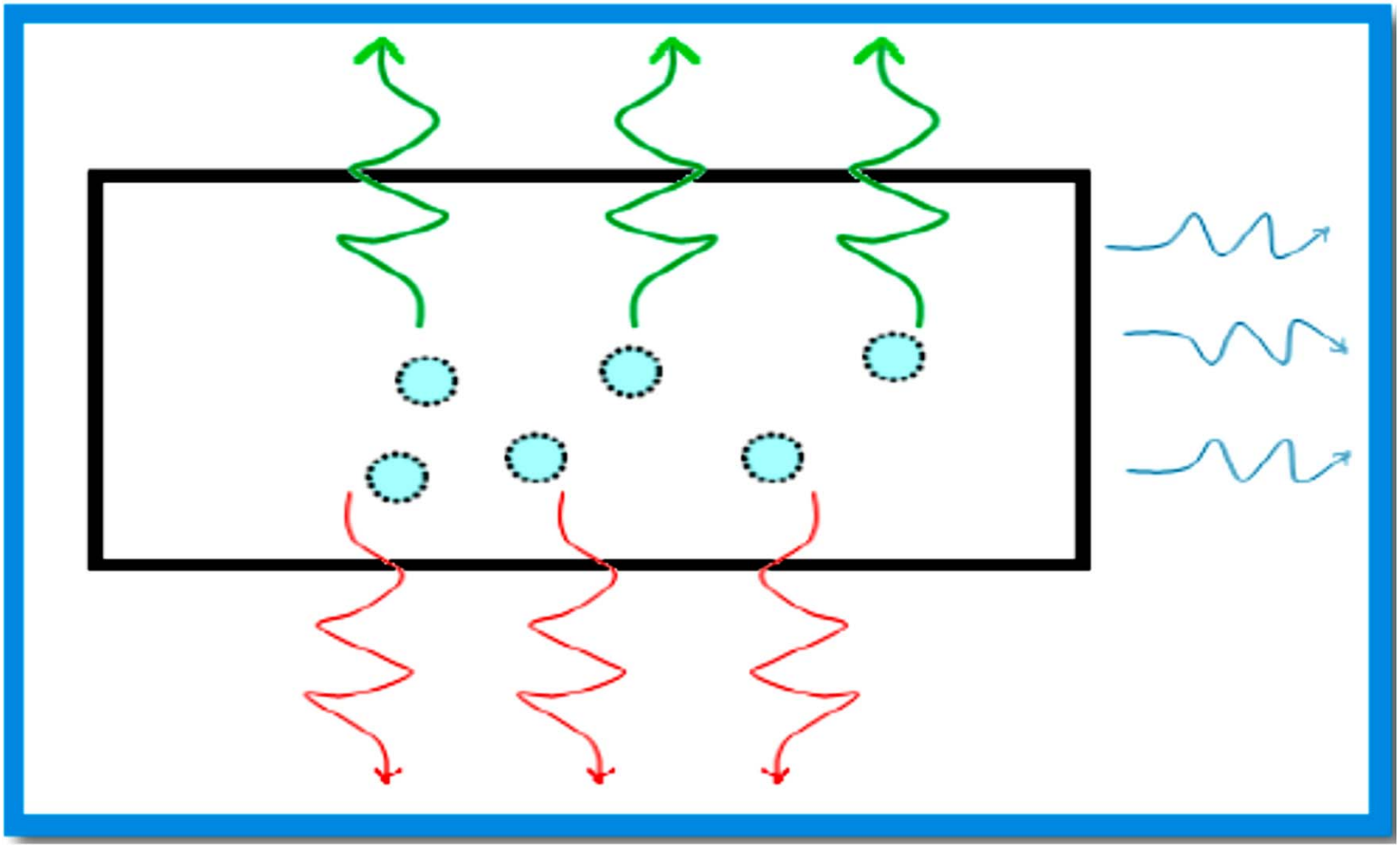
2- الإصدار **التلقائي**

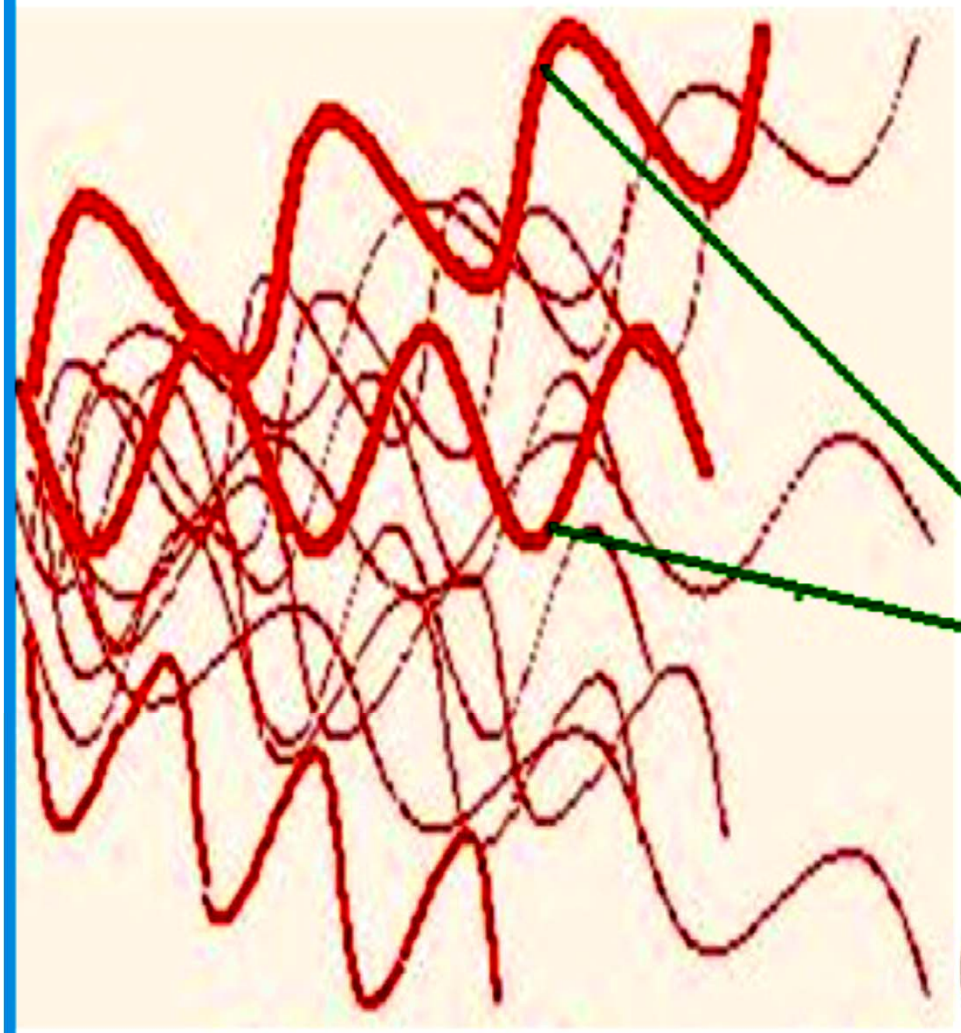
3- الإصدار المحثوث

1- امتصاص الضوء :



2- الإصدار التلقائي :





لاحظ الفوتونات الصادرة عن الإصدار التلقائي:
كيف كل فوتون عم ياخد اتجاه مستقل عن الآخر
(شي لفوق شي لتحت)

لاحظ كيف هالموجتين (هالفوتونين) :
مختلفين بالطور (فوتون ذروته لفوق وفوتون ذروته لتحت)

بماذا يتميز الإصدار التلقائي ؟

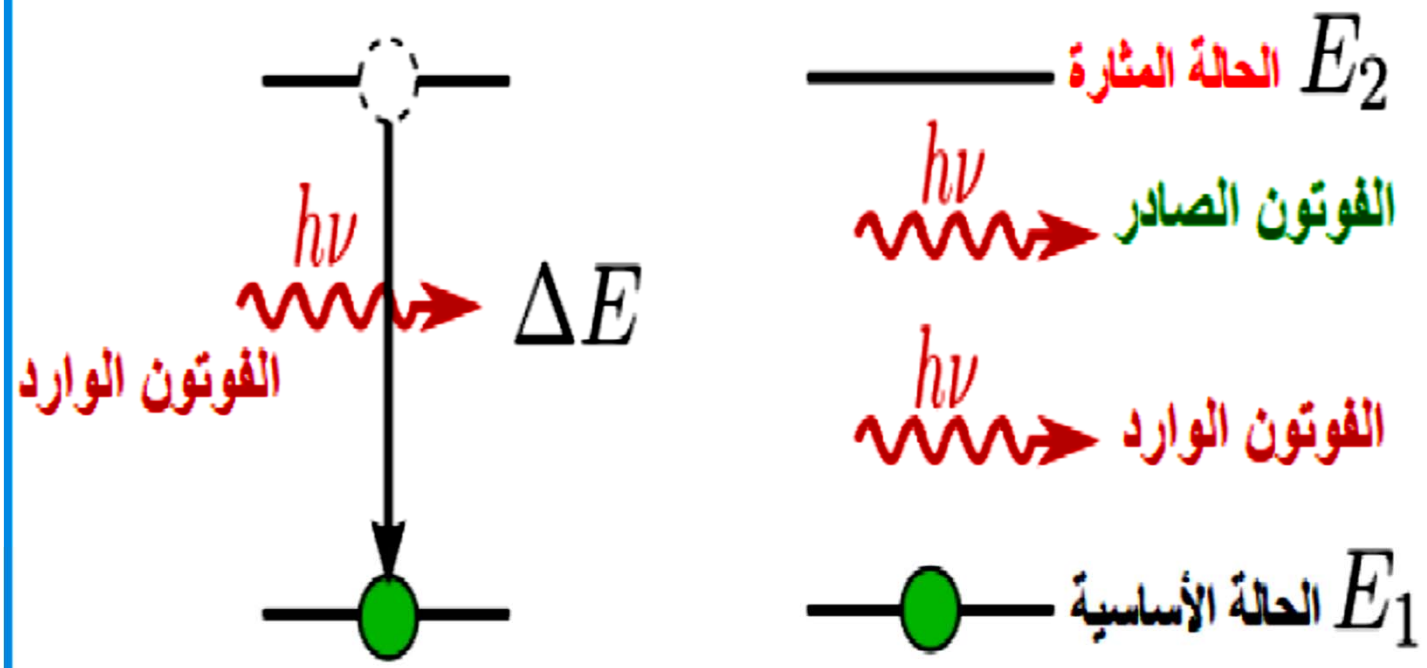
١) يكون اتجاه الإصدار التلقائي عشوائياً ، يحدث في جميع الاتجاهات (لاحظ الصورة)

٢) لأن الذرات الموجودة في الوسط المدروس
تصدر فوتونات بشكل مستقل عن الذرات الأخرى

٣) كما أن فرق الطور غير ثابت بين الموجتين

٤) (خلاصة : فرق طور غير ثابت = فوتونات غير مترابطة)

3- الإصدار المحثوث



$$E_2 - E_1 = \Delta E = hf$$

ما هي خواص فوتون الإصدار المحثوث ؟

١) طاقته تساوي طاقة الفوتون الوارد ، وبالتالي له تو اتر الفوتون الوارد (متماثل زمانياً)

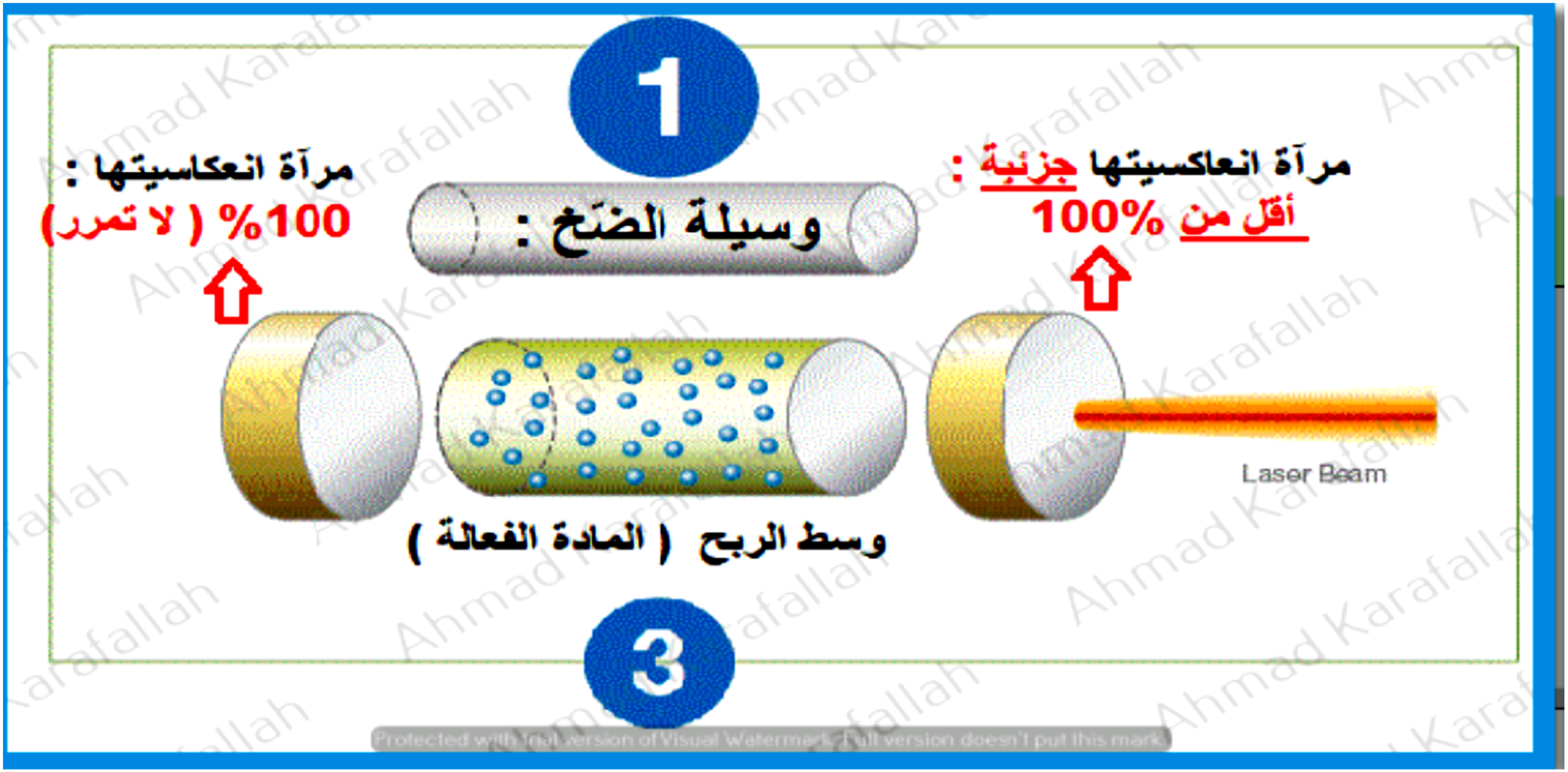
٢) جهة حركته محدَّدة تنطبق على جهة حركة الفوتون الوارد

٣) يتمتع بطور يطابق طور الفوتون الوارد أي الفوتونات متر ابطة (متر ابطة مكانياً)

مقارنة بين الإصدار المحثوث و الإصدار التلقائي للضوء

	الإصدار التلقائي	الإصدار المحثوث
حدوثه :	يحدث سواء أكان هناك حزمة ضوئية واردة على الذرات المثارة أم لم يكن هناك حزمة	لا يحدث إلا بوجود حزمة ضوئية يحقق تو اترها العلاقة : $\Delta E = hf$ ΔE : هي فرق الطاقة بين السوية المثارة والسوية الأساسية
جهة الفوتون الصادر:	يحدث في جميع الاتجاهات ، يكون اتجاه الإصدار التلقائي عشو ائياً	جهة الفوتون الصادر محدَّدة بجهة الفوتون المسببة للإصدار.
طور الفوتون الصادر:	طور الفوتون الصادر يمكن أن يأخذ أي قيمة. كما أن فرق الطور غير ثابت	طور الفوتون الصادر يطابق طور الفوتون المسبب للإصدار.

ما الأقسام الأساسية في آلية عمل الليزر :



الوسط المُضَخَّم (المادة الفعّالة)

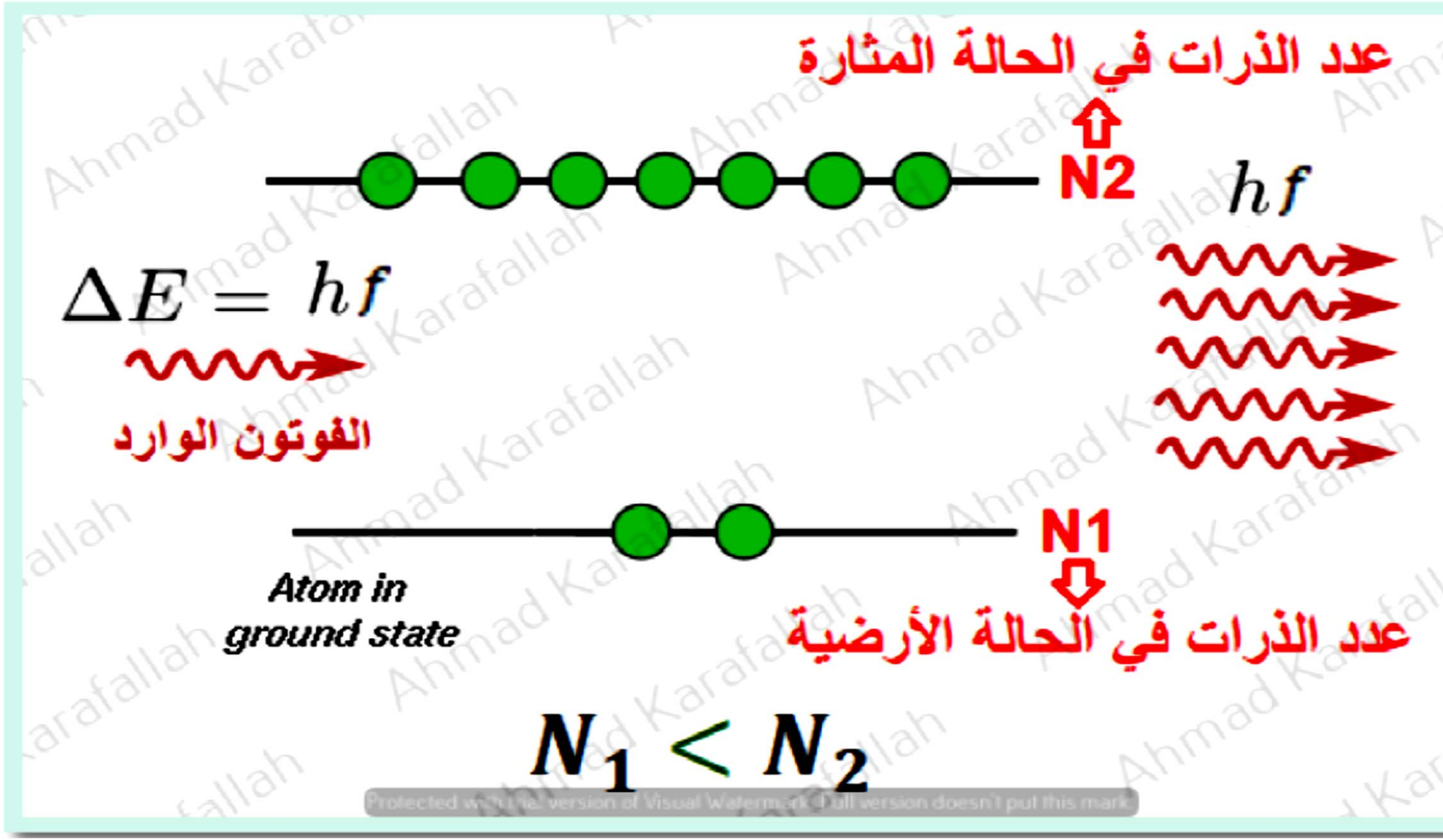
- سوف نهتم بحالة بسيطة:

تكون للذرة فيها سوية أساسية وسوية مثارة ، فرق الطور بينهما ΔE ونتجاهل بقية السويات

- تكون بعض هذه الذرات في السوية الأساسية وبعضها الآخر في السوية المثارة .
- إذا عبرت حزمة ضوئية بتواتر f بحيث $\Delta E = h f$ وسط يحتوي عدد من الذرات :

١) فإن امتصاص الفوتونات يتناسب طرداً مع عدد الذرات في الحالة الأرضية N_1

٢) وإن إصدار الفوتونات بالإصدار المحثوث يتناسب طرداً مع عدد الذرات في الحالة المثارة N_2



Protected with free version of Visual Watermark. Full version doesn't put this mark.

- فإن عدد الفوتونات الناتجة عن طريق **الإصدار المحثوث** سيكون **أكبر** من عدد الفوتونات التي جرى **امتصاصها**
- ومن ثم سوف **تزداد شدة الحزمة الواردة** بعد عبورها الوسط
- ونقول عن الوسط عندها أنه وسط مُضَخَّم **وهو يصلح لتوليد الليزر** .
- في حالة $N_2 > N_1$ تتضخم الحزمة (الفوتون الوارد) كلما توغلت في الوسط **لتخرج وقد تضاعفت شدتها** .

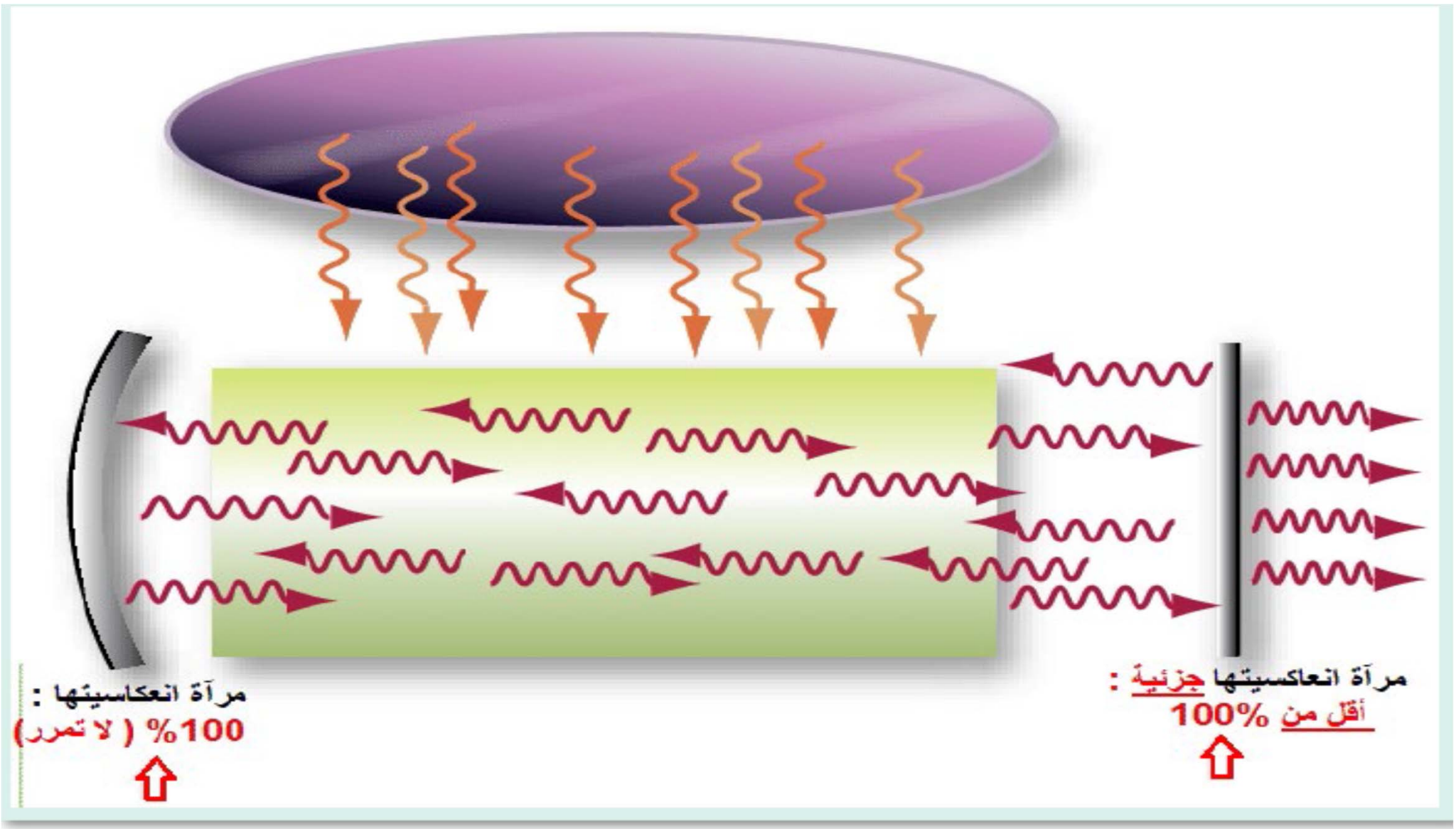
خواص حزمة الليزر

١) يصدر في حزمة ضيقة **ضعيفة التباعد**

٢) حزمة الليزر **مترابطة مكانياً**

٣) حزمة الليزر يمكن تداولها بعدسات

٤) إن ضوء الليزر عموماً **هو أحادي اللون**


مرآة انعكاسيتها :
100% (لا تمرر)
مرآة انعكاسيتها جزئية :
أقل من 100%

الضخ *Pumping* توجد طرائق عديدة للضخ منها :

1- إما على **شكل تيار كهربائي**

(الانفراغ الكهربائي)

2- الحالة النموذجية **الضخ الضوئي** :

أي استخدام **منبع ضوئي**

يمكن **تزويد هذا الضوء باستخدام** :

a- مصباح وميضي

(مصباح الكزينون)

(فلاش *flash lamp*)

b- أو

ليزر آخر

أنواع الليزر

١. ليزر الغاز(CO2 laser, Excimer LASER)
٢. ليزر السائل
٣. ليزر أشباه الموصلات(Semi-conductor LASER)
٤. ليزر الحالة الصلبة
٥. نيوديميوم ياغ (Neodymium-YAG LASER)

➢ ليزر الحالة الغازية(Gas lasers)

*ليزر ثاني أكسيد الكربون (CO2)

**و ليزر الهيليوم – نيون (Helium- Neon laser)

١- ليزر ثاني أكسيد الكربون(CO2 – laser) :

يعتبر ليزر ثاني أكسيد الكربون من أهم أنواع الليزر، بسبب كفاءته العالية والقدرة العالية الناتجة عنه، و أن هذا الليزر يصدر إشعاعاً في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة من أشعة الميكروويف .

وبسبب الحرارة العالية الصادرة عن هذا الليزر فإنه يصهر كل شيء يعترضه.

٢- ليزر الهيليوم – نيون:

ويتكون وسط الليزر هنا من خليط من غاز النيون وغاز الهيليوم ١ : ١٠ .

ويوضع الخليط في أنبوبة مغلقة مفرغة تتم عملية الضخ باستخدام عملية تفريغ كهربائي (فرق جهد عال يسلط بين الكاثود والأنود).

وتقوم الإلكترونات الناتجة عن مرور التيار بوساطة التفريغ الكهربائي بالتصادم مع ذرات الهيليوم حيث تنقلها إلى مستويات الطاقة العليا ، ثم بتصادم ذرات الهيليوم مع ذرات النيون يمكن أن تنتقل الطاقة إلى ذرات النيون والتي تنتقل بدورها من مستوى الطاقة الأول (ط١) إلى مستوى طاقة أعلى (ط٣). وبهذا يتم تحقيق التوزيع المعكوس لذرات النيون . وعندئذ يحدث الانبعاث المستثار إلى مستوى الطاقة (ط٣) لذرة النيون لتنتقل الذرة إلى المستوى (ط٢) باعثة حزمة الليزر ذات اللون الأحمر بطول موجي ٦٣٣ نانومتر .

وتعتبر كفاءة هذا الليزر منخفضة جداً ، ولا تتعدى أعلى قدرة له (٥٠ ملي واط) . لكن استخداماته واسعة جداً بسبب طوله الموجي المرئي وانفراجيته الصغيرة

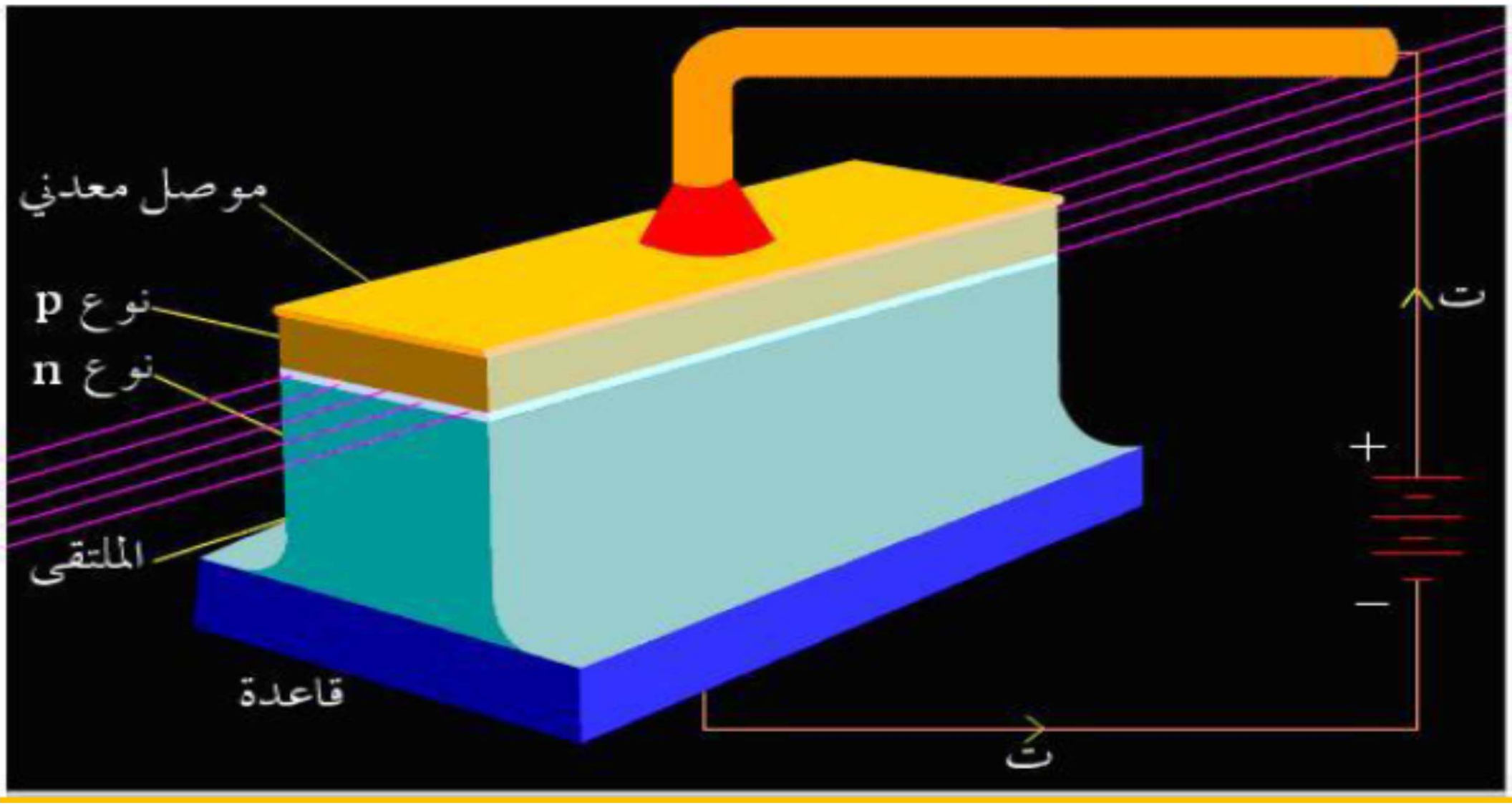
- ليزر الحالة السائلة(Dye – lasers)

وتستخدم لاستثار هذا النوع من أشعة الليزر بعض الصبغات العضوية المعقدة ، مثل استخدام الرودمين ٦ ج (Rhodamine G6)في محلول سائل كوسط لليزر.

وتتميز هذه الليزر بأننا يمكن الحصول منها على مدى واسع من الأطوال الموجية.

- **الليزر شبه الموصل(Semiconductor or diode – lasers)**

إن ليزر شبه الموصل عبارة عن وصلة ثنائية (P-N junction) وأكثر أنواعه شيوعاً هو ازرنخيد الجاليوم (Ga As) وشعاع الليزر الذي يبعثه يقع في منطقة تحت الحمراء وهو ضوء غير مرئي.


موصل معدني
نوع p
نوع n
الملتقى
قاعدة
+
−
ت
ت

❑ ليزر النيوديميوم – ياج

يعد هذا الليزر من أهم أنواع الليزر الموجودة حالياً ، ويتفوق على ليزر الياقوت بكثير من المزايا ، وكلمة الياج هي مختصر لمادة بلورية هي (Y3 AL5 Q2) (Yttrium Aluminum Qarnet)وتطعم هذه البلورة بأيونات النيوديميوم (Nd3+) بنسبة ٢.٥% حيث محل أيونات الاتريوم الموجودة في الياج.

➢ ليزر الحالة الصلبة(Solid-state laser)

وفي هذه الحالة تتوزع مادة الليزر في مصفوفة صلبة مثل ليزر الياقوت (Ruby laser):

صُنع أول جهاز ليزر بنجاح في عام ١٩٦٠ و كان ليزر الياقوت .

والياقوت بلورة لونها أحمر تتكون من أوكسيد الألومينوم (Al_2O_3) المطعمة بأيونات الكروم الثلاثية (Cr^{3+}) وتكون أيونات الكروم هي المسئولة عن توليد مستويات طاقة جديدة داخل التركيب البلوري وتكون مؤثرة أيضاً في عمليات الانتقال المصحوبة بتوليد الليزر.

ويتم في أنبوب توليد الليزر استخدام بلورة بشكل اسطوانة وتقطع نهايتيها المتقابلتين وتُطليان بالفضة ليتكون مرآتان من نفس المادة وتشكل هاتين النهايتين مرآتين إحداهما عاكسة كلياً والأخرى عاكسة جزيئاً.

ويستخدم مصباح ومضي لولبي ليحيط بالياقوت ، وعندما يبعث المصباح وميضاً عالي الشدة فإن أيونات الكروم تمتص الضوء الصادر ويرتفع عدد كبير من هذه الأيونات إلى مستويات الطاقة العليا . وعند هبوطها إلى مستوى الحالة شبه المستقرة يتحقق شرط التوزيع المعكوس ويتولد شعاع الليزر عند هبوطها إلى مستوى الطاقة الأول (Ground state) وتكون أشعة الليزر الناتجة هنا ذات لون أحمر طولها الموجي ٦٩٤ ناتومتر.

نوع الليزر	منطقة الإشعاع	الطول الموجي (نانومتر)
آرجون - فلور	فوق البنفسجي	193
كربتون - فلور	فوق البنفسجي	248
النيتروجين	فوق البنفسجي	337
الآرجون	الأزرق	448
الآرجون	الأخضر	514
الهيليوم - نيون	الأخضر	543
الهيليوم - نيون	الأحمر	733
الرودمين ج 6	متغير	650 - 570
نيوديميوم - ياج	تحت الحمراء القريبة	1064
ثاني أكسيد الكربون	تحت الحمراء البعيدة	10600

مقدمة عامة:

لم يعد استخدام الليزر مقتصراً على عمليات تصحيح النظر وإزالة الشعر بل تعداه إلى العمليات الجراحية **كأداة قطع**، ويعد الليزر أحد المواضيع الطبية الساخنة في هذه الأيام.

كما ثبت بإحصائيات علمية فوائد الليزر في تخفيف الألم أثناء العمل الجراحي وبعده والتقليل من النزف، وكذلك في عيادات طب الأسنان وعلاج الأمراض الجلدية مثل حب الشباب والأكزيما وإزالة الندبات والثآليل ومعالجة آثار الحروق وغيرها، وحتى أنه أصبح حديثاً يستخدم في مجال استعادة السمع وما تزال الدراسات العلمية قائمة في كافة الحقول الطبية من استكشاف مجالات أخرى يمكن الاستفادة فيها من استخدام أشعة الليزر.

الاستطبابات الجلدية

يستخدم أطباء الجلدية الليزر في العديد من المجالات الهامة التي **منها ما هو تجميلي** كما هو في الحالات التالية:

- إزالة آثار حب الشباب.
- إزالة الشعر غير المرغوب فيه.
- إزالة التجاعيد وصنفرة الجلد.
- إزالة الوحمات والبقع الجلدية.
- إزالة البقع الزرقاء والسوداء حول العينين.
- تجديد البشرة السطحية.
- علاج الحالات الجلدية المستعصية وتجميلها.
- علاج حالات إزالة الشامات والوشم والنمش والكلف.

ومنها ما هو علاجي.... مثل علاج مرض البهاق، وعلاج دوالي الساقين الظاهرة على الجلد.

* وسواء كان الهدف من استخدام الليزر تجميليا أو علاجيا لا بد أن يستخدم تحت إشراف طبيب أمراض جلدية أو جراح تجميل مؤهل لذلك، حيث يحدث الليزر أحياناً آثاراً جانبية غير مرغوب بها مثل اسمرار أو ترقق الجلد في حالة استخدامه من أحد الأشخاص غير المؤهلين لاستخدامه، أما بالنسبة لبعض الآثار الجانبية المؤقتة مثل احمرار الجلد أو ظهور بعض البقع أو الانتفاخ فهو أمر طبيعي وتزول جميع هذه الأعراض بعد فترة قصيرة من الزمن.

امراض العين

*حالات اعتلال الشبكية الناتجة عن مرض السكري.

- تمزقات الشبكية.Retinal Tears
- الانسداد أو التخثر في الوريد الشبكي.(Central retinal Vein)
- علاج الجلوكوما (ارتفاع ضغط العين).Glaucoma
- علاج عيوب النظر المختلفة الناتجة عن خلل في الانكسار الضوئي في العين (طول أو قصر النظر واللابؤرية).
- علاج انسداد القنوات الدمعية.
- علاج بعض الأورام داخل العين.
- عمليات التجميل حول العين.
- حالات اندثار البقعة الصفراء.(Macular Degeneration)

أمراض القلب

* إن استخدام الليزر في علاج أمراض القلب ما يزال أمراً قيد الدراسات العلمية، حيث يطور العلماء في الولايات المتحدة الأميركية جهاز ليزر يستعمل عادة لتذويب الدهن لكن يمكن الاعتماد عليه في معالجة التهاب النسيج الخلوي (Cellulitis)وأمراض القلب.

** وإن الليزر قادر، للمرة الأولى في تاريخ الطب، على تسخين الدهن في الجسم بدون إيذاء الغشاء الجلدي أو إحداث أي مفعول جانبي، وذلك باستخدام تقنية التحلل بواسطة الطاقة الضوئية والحرارية (photothermolysis) الانتقائية، لمعالجة الأمراض التي سبق ذكرها بواسطة أشعة الضوء والتي تستهدف بالتحديد تدفئة أنسجة الجسم الداخلية بالضوء، ومن شأن هذه التقنية أن تفتح الأبواب أمام العديد من التطبيقات الطبية في المستقبل.

استخدام الليزر فى طب الأسنان



على النقيض من طب العيون، فإن استخدام الليزر في مجال طب الأسنان يعتبر أمرا حديثا وغير واسع الانتشار، إلا أن علم استخدام الليزر في طب الأسنان أصبح في تطور مستمر وقد بدأت العديد من عيادات طب الأسنان في الأردن باستقدام واستخدام الأجهزة المتقدمة لعلاج الأسنان بالليزر، حيث يقوم طبيب الأسنان المعالج بالليزر بتوجيه طاقة ضوئية على الأسنان أو اللثة التي يرغب في علاجها، ويعمل الليزر كأداة قاطعة أو مذيبة للأنسجة التي يمر عليها

ومن الاستطبابات الهامة لليزر في مجال طب الأسنان ما يلي:

١- تسوس الأسنان: يستخدم الليزر لإزالة تسوس الأسنان وتهيئة الأسنان للحشوة.

٢-أمراض اللثة: يمكن استخدام الليزر كأداة قاطعة لإزالة وتعديل مظهر اللثة.

٣- تبييض الأسنان: يعمل الليزر على توفير الوقت في عملية تبييض الأسنان.

٤- إزالة الأورام: يمكن استخدام الليزر لإزالة الأورام الحميدة والخبيثة في حال وقوعها داخل الفم.

٥- تعقيم القنوات الجذرية(معالجات العصب).

٦- الجراحات البسيطة، إذ تتميز بعض أنواع الليزر بالقدرة على إجراء شق جراحي والقدرة على إحداث التخثير في الأوعية الدموية النازفة.

أما عن عيوب استخدام الليزر في طب الأسنان في وقتنا الحالي فهي:

- لا يمكن استخدام الليزر على الأسنان التي بها حشوات قديمة.
- لا يمكن استخدام الليزر على الأسنان المتسوسة كليا.
- لا يمكن استخدام الليزر لتحضير الأسنان لاستلام تاج أو جسر.
- العلاج بالليزر لا يغني كليا عن التخدير.
- تكلفة العلاج بالليزر غالبا ما تكون أعلى.

استخدامات الليزر في الصناعة

عندما يجري تحفيز جهاز الليزر بوساطة الكهرباء ترتفع طاقة ذراتها من المستوى الأدنى إلى المستوى الأعلى ، وتعاود الانخفاض إلى مستوى الطاقة الأدنى مروراً بالمستوى الأوسط نتيجة عدم استقرار الجسيمات الواقعة في مسار الطاقة ، عندها تنبعث الفوتونات التي تعطي رنينا في جهاز الليزر وتخرج من الجهاز بطاقة كبيرة وصلت أقصى ما وصلت إليه ١٧٠٠ مليون ميجاواط وضغطها مليون وخمسين الف كيلو جرام على السنتيمتر المربع ودرجة الحرارة بين ١٠٠-٢٠٠ ألف درجة. ويأمل العلماء باستعمال تلك الطريقة في التوصل إلى الاندماج النووي للعناصر الخفيفة مثل الهيدروجين الثقيل والتريتيوم والليثيوم بغرض إنتاج الطاقة الكهربائية

*وتستخدم أنواع من أجهزة الليزر كالتي تم ذكرها ولكن تعمل بطاقات أقل ، تصل حرارتها إلى بين ١٠٠٠ و ١٨٠٠ درجة مئوية في الصناعة في **قطع ألواح الصلب** ، قد يصل سمك اللوح منها ٣ سنتيمتر. وميزتها أنها تقطع بدقة متناهية حيث يُوجه جهاز الليزر بوساطة الحاسوب



**ومن استخدامات الليزر ، لحام المواد الصلبة والنشطة والمواد التي تتمتع بدرجة انصهار عالية مع امتيازها بدقة التصنيع بسبب إطلاقها لحزمة كثيفة ضيقة مركزة ، كما تستطيع أشعة الليزر فتح ثقب قطره ٥ ميكرومتر خلال ٢٠٠ ميكروثانية في أشد المواد صلابة (الماس والياقوت الأحمر والتيتانيوم) وبفضل قصر مدة التصنيع لا يحدث أي تغير في طبيعة المادة

مخاطر أشعة الليزر هل مجرد وهم أم حقيقة؟

من مخاطر أشعة الليزر في العمليات التجميلية أن الجلد يكون معرض للإصابة بحروق تكون تارة بسيطة وأحيانًا شديدة ولكنها تترك آثارًا فيما بعد، تتميز البشرة الداكنة بإستطاعتها لامتصاص أكبر قدر ممكن من أشعة الليزر وكلما كان لون البشرة داكنًا كلما ازداد أثر الحروق فيها وذلك لأن أشعة الليزر تقوم بالتأثير على الخلايا الصبغية التي تتواجد في الجلد وتحفزها على زيادة إنتاج مادة الميلانين

*ومن الآثار الجانبية السيئة لتوجيه أشعة الليزر إلى أجزاء من الجسم،،،، أن المناطق المعرضة إليها تُصاب بالتورم والاحمرار والشعور بالحكة والإصابة بالتنميل مع الوخز والألم، وهذه الآثار يمكن أن تستمر لأكثر من ثلاثة أيام ومن مخاطر أشعة الليزر أنه قد يحدث قصور أو فرط في التصبغ الجلدي، وهو من أكثر الأعراض خطورة، وقد يظهر حب الشباب وتصبح عرضة للإصابة بالعدوى بسبب إهمال تنظيف الجلد بعد الحصول على الشكل المناسب عقب إنتهاء عملية الليزر

وأما مخاطر أشعة الليزر على العين،،،،، فهناك خطورة كبيرة في تعرض العين إليها لفترات طويلة مما يجعل خطورتها تصل إلى إصابة العين بفقدان البصر والعمى التام، كما أنه بإمكانها أيضًا **حرق الشبكية اذا تعرضت إليها مباشرة إلا إذا كانت تحت عناية الطبيب كعمليات تصحيح الإبصار على سبيل المثال

توصيات عند اللجوء طبيًا لأشعة الليزر

حتى يتم تفادي مخاطر أشعة الليزر والألم الناتج عنها، يُوصى **بعدم استخدام كريمات تخدير شديدة الأثر** على أجزاء كبيرة من الجسم في آن واحد، كما يُوصى أيضًا **باستخدام قطعة ثلجية** في تبريد الجزء الذي قد تعرض للأشعة مما يساهم في تهدئة الآثار الجانبية وتخفيفها، أيضًا ضرورة **إنتقاء نوع الليزر الملائم** الذي يتناسب مع البشرة ونوعها وحسب الجزء المطلوب علاجه أيضًا في الجسم يكون الانتقاء



الحرارة وتطبيقاتها

Heat and applications

1- تعاريف ومبادئ

2- درجة الحرارة

3- كمية الحرارة

4- السعة الحرارية لجسم C

5- الحرارة النوعية (السعة الحرارية النوعية) C_s

6- قياس درجة الحرارة

7- سلالم درجة الحرارة

7-1 السلم المئوي (سلم سلزيوس)

7-2 سلم فهرنهايت

7-3 سلم كلفن (السلم المطلق)

8- طرق انتقال الحرارة

8 -1 التوصيل

8-2 الحمل

8-3 الإشعاع

8-3-1 الأشعة تحت الحمراء

8-3-2 الأشعة فوق البنفسجية : UV

8-3-3 الأشعة المرئية وتطبيقاتها في الطب

مما لا شك فيه أن درجة حرارة الكائن تكون ثابتة في حالة العافية، وبالتالي فإن تغيير درجة حرارة الجسم دليل مباشر على وجود عامل ممرض.

1- تعاريف ومبادئ:

إن الحرارة هي أحد أشكال الطاقة مثلها مثل الطاقات الحركية والكامنة، والكيميائية، والكهربائية، والصوتية، والضوئية...الخ.

يمكن للطاقة أن تتحول من شكل لآخر، مثل تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية عند إمرار تيار كهربائي في سلك. وكذلك تدفق المياه من فوهات السدود التي تعمل على تحريك المضخات المائية ومن ثم تتحول طاقة الحركة الناتجة إلى طاقة كهربائية في المولدات الكهربائية وهذه الأخيرة تتحول إلى طاقات مختلفة بحسب مجال استخدامها. ومثل تحول الطاقة الكامنة نتيجة التفاعلات الكيميائية في جسم الكائن الحي إلى حرارة،...الخ.

2- درجة الحرارة:

يختلف معنى كمية الحرارة عن معنى درجة الحرارة.

فدرجة الحرارة: هي مقدار فيزيائي يعبر عن حالة الجسم الحرارية من حيث السخونة والبرودة، ويمكن بواسطتها تعيين اتجاه انتقال الطاقة الحرارية المتبادلة بين الجسم وما يحيط به. وقد تعبر هذه الصفة عن أبعاد الجسم، أو ضغط الغاز، أو المقاومة الكهربائية لسلك أو غير ذلك، التي سنطلق عليها اسم المتحولات الحرارية للمادة المتأثرة بالحرارة، ولتحديد درجة الحرارة لجسم ما، يجري قياسها بشكل غير مباشر وذلك اعتماداً على تعيين المتحولات الحرارية لهذا الجسم.

3- كمية الحرارة:

كمية الطاقة هي مقدار الطاقة الحرارية التي يكتسبها الجسم من منبع حراري -أو يخسرها- وتتراكم فيه فيؤدي ذلك إما إلى رفع درجة حرارته أو إلى تغيير حالته (من صلب إلى سائل - إلى غاز)، أو بتعبير آخر هي كمية الطاقة التي تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم الأقل سخونة.

يرمز لكمية الحرارة بالرمز Q وتقدر بالجملة الدولية بالجول (J)، تقدر أيضاً كمية الحرارة بوحدة أخرى هي الحريرة (cal) حيث

$$1cal = 4.18\ J.$$

الحريرة بالتعريف هي: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء المقطر درجة مئوية واحدة، من الدرجة 14.5°C إلى الدرجة 15.5°C.

الكيلو حريرة $1Kcal=1000\ cal$

4- السعة الحرارية لجسم C:

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة، ونرمز لها بالرز C، وتقدر بواحدة أما في الجملة الدولية فتقدر بواحدة $J.°C^{-1}$.

5- الحرارة النوعية (السعة الحرارية النوعية) C_s:

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحدة الكتل من الماء درجة مئوية واحدة، ووحدتها في الجملة الدولية $J.Kg^{-1}.°C^{-1}$ أو $J.Kg^{-1}.K^{-1}$، وتقدر أيضاً بـ $cal.g^{-1}.°C^{-1}$.

أي أن الحرارة النوعية لجسم ما، هي سعته الحرارية من أجل واحدة الكتل.

—

تعطى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جسم كتلته m من الدرجة t_1 إلى الدرجة t_2 بالعلاقة:

حيث C_s هي الحرارة النوعية للجسم.

كما يمكن أن تعطى بالعلاقة:

حيث C هي السعة الحرارية للجسم.

إذا كانت $t_2 - t_1 > 0$ ، فإن $Q > 0$ والجسم يكتسب حرارة.

وفي حال $t_2 - t_1 < 0$ ، فإن $Q < 0$ والجسم يخسر حرارة.

6- قياس درجة الحرارة:

أغلب المقادير الفيزيائية قابلة للجمع والطرح والتساوي (مثل الطول والكتلة و....). إن درجة الحرارة تحقق مفهوم التساوي ولكنها لا تحقق مفهوم الجمع، وذلك لو جمعنا عدة أجسام ذات درجات حرارة مختلفة فإن درجة الحرارة النهائية للمزيج لا تساوي مجموع درجات حرارة الأجسام الأخرى المختلفة، أي أننا لا نستطيع أن نضيف درجات حرارة جسمين أو ثلاثة، ولكن يمكن أن نجمع طولين إلى بعضهما أو إضافة عدة كتل إلى بعضها.

يمكن القول إن درجة الحرارة تمثل بعدد ما، لا نحصل عليه إلا بطريقة الترقيم وذلك بواسطة سلم يصطلح عليه، وكل درجة حرارة يعبر عنها بعدد معين من درجات هذا السلم الاصطلاحي وتحسب اعتباراً من مبدأ يصطلح عليه.

يعتمد مبدأ قياس درجة الحرارة على تغير بعض الخواص الفيزيائية للمادة المستخدمة في المقياس نتيجة لتبادل الطاقة الحرارية (كالحجم، الضغط، المقاومة الكهربائية،...الخ) ويمكن أن تكون تلك المادة غازية (هيدروجين، أوكسجين،...الخ) أو سائلة (كحول، زئبق،...الخ) أو صلبة كالمعادن. وعند اختيار المادة المستخدمة في صناعة ميزان الحرارة يجب أن تحقق ما يلي:

1- أن تكون سريعة التأثر لدى ملامستها الجسم المراد قياس درجة حرارته (حساسة).

2- أن تكون العلاقة بين إحدى خواص المادة ودرجة الحرارة هي علاقة خطية.

7- سلالم درجة الحرارة:

عند صناعة موازين (سلالم أو مقاييس) درجة حرارة يراعى دوماً اختيار نقطتين ثابتتين تقسم المسافة بينهما إلى أقسام متساوية، تسمى كل منها درجة الحرارة. تشير النقطة الثابتة الأولى إلى درجة انصهار الجليد تحت الضغط الجوي النظامي، وفي أغلب الأحيان تؤخذ النقطة الثلاثية للماء (حالة توازن الأطوار الثلاثة للماء). وتشير النقطة الثانية إلى درجة حرارة بخار الماء المقطر عند الغليان تحت الضغط الجوي النظامي ($P_o = 760\ mmHg$). يختلف عدد التقسيمات بين هاتين النقطتين الثابتتين باختلاف السلم (المقياس) ومن أهم سلالم درجة الحرارة نذكر ما يلي:

7-1 السلم المئوي (سلم سلزيوس):

ابتكر هذا السلم العالم السويدي سلزيوس حوالي 1742. تقدر درجة الحرارة وفق هذا السلم بالدرجة المئوية ويرمز لها بـ °C. وفق هذا السلم تقسم المسافة بين النقطتين الثابتتين إلى مئة تدريجة، توافق النقطة الثابتة الأولى درجة تجمد الماء المقطر تحت الضغط الجوي النظامي أي 0°C بينما توافق النقطة الثابتة الثانية درجة غليان الماء المقطر أي 100°C.

7-2 سلم فهرنهايت:

وضع هذا السلم العالم الألماني فهرنهايت عام 1709 ويستعمل في انكلترا والولايات المتحدة الأمريكية.

تقدر درجة الحرارة وفقاً لهذا السلم بالفهرنهايت ويرمز لها بالرمز °F، وتقسم المسافة بين النقطتين الثابتتين إلى 180 قسماً متساوياً وتسمى النقطة الأولى نقطة تجمد الماء 32°F وتوافق النقطة الثانية درجة حرارة بخار الماء تحت الضغط الجوي النظامي 212°F يرتبط هذا السلم بالسلم المئوي بالعلاقة التالية:

(°F) -

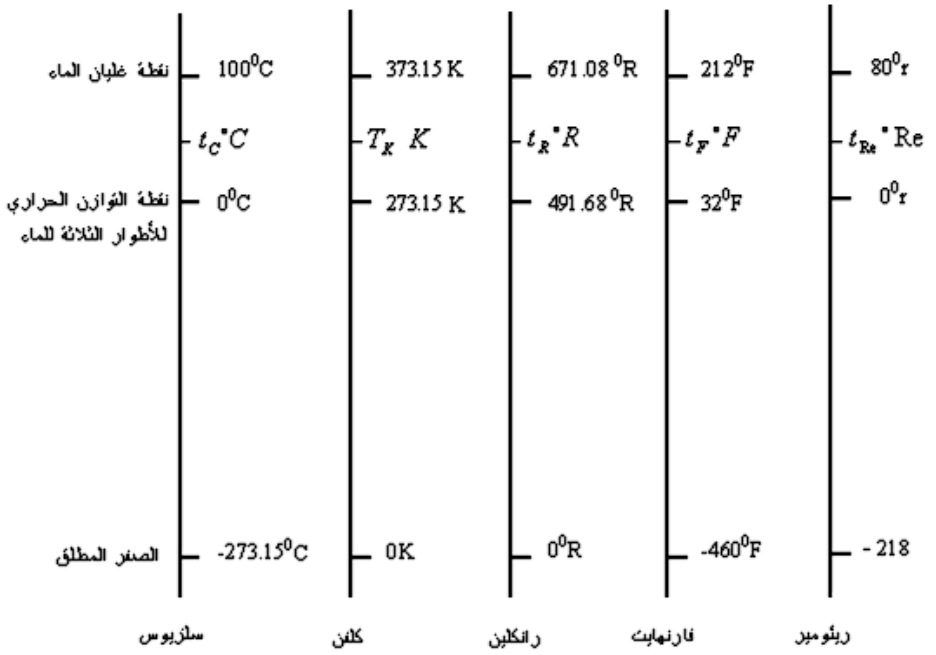
7-3 <u>سلم كلفن (السلم المطلق):</u>

في هذا السلم تقسم المسافة بين النقطتين الثابتتين إلى مئة قسمٍ متساوٍ والنقطة الأولى هي ° درجة مطلقة والثانية هي $373.15°K$ والصفر المطلق $0°K$ يقابل الدرجة

.

العلاقة بين السلم المئوي والسلم المطلق:

°



الشكل (٠.١): تدريج مقاييس درجات الحرارة الأشهر في العالم.

8- <u>طرق انتقال الحرارة:</u>

تنتقل الحرارة من جسم إلى آخر ساخن إلى جسم بارد وفق الطرق التالية:

<u>1- 8 التوصيل:</u>

بموجب هذه الطريقة تنتقل الحرارة في جسم ما عن طريق اهتزاز جزيئاته حول مواضعها الأصلية، دون حدوث أي انتقالات لهذه الجزئيات من أماكنها. فعند تسخين قطعة معدنية نلاحظ أن الحرارة تنتقل إلى الطرف الآخر خلال فترة زمنية قصيرة. ويعود السبب في ذلك إلى أن جزئيات الطرف المسخن تكتسب طاقة حركية تؤدي إلى زيادة سعة وسرعة الحركة الاهتزازية لتلك الجزئيات وباصطدام هذه الجزئيات بالجزيئات المجاورة لها فإن الجزيئات الثانية تهتز بدورها لكن بسرعة أقل؛ أي جزءاً من طاقتها الحركية

للجزيئات الصادمة قد انتقل إليها، وهكذا تنتقل الطاقة بالتوالي من جزيء إلى آخر مجاور. وهذا يحدث في الأجسام الصلبة والسائلة والغازية.

تتميز السوائل بناقلية حرارية أقل مما هي عليه من المعادن، والغازات تتميز بناقلية حرارية أقل مما هي عليه في السوائل.

تختلف الناقلية الحرارية بالنسبة للكائن الحي (الإنسان مثلاً) باختلاف أنسجة جسمه ، فهي قريبة من ناقلية الماء في الأجزاء السائلة من الجسم وتقل عن ذلك كثيراً في الأنسجة الدهنية والطبقات الخارجية للجلد، لذلك تلعب هذه الأنسجة دوراً عازلاً للحرارة إلى حد ما، ولهذا تكون درجة حرارة جوف الإنسان أعلى من درجة حرارة سطح جلده. وكلما كانت الطبقة الدهنية أسمك كان العزل أفضل.

8-2 الحمل :

يحدث انتقال الحرارة بالحمل وفق هذه الطريقة بفضل حركة جزئيات المادة الحاملة للطاقة الحرارية وهنا يمكن أن نميز حالتين:

أ- الحمل الطبيعي: ويتم عندما تنتقل جزيئات المادة نتيجة اختلاف الكثافة، كحركة بخار الماء.

ب- الحمل القسري : ويتم عندما تتحرك جزيئات المادة المسخنة تحت تأثير عامل خارجي كالرياح.

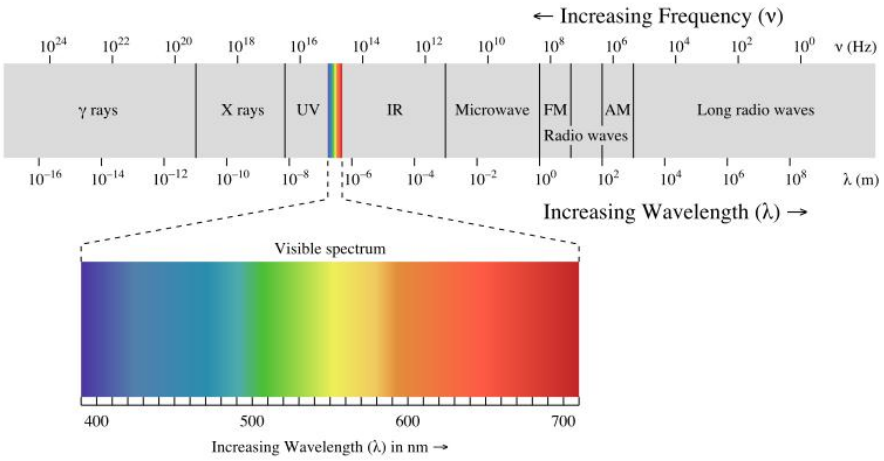
عندما تسخن طبقة من مائع (سائل أو غاز) فإن المسافة بين جزيئاته تزداد، وبالتالي تقل كثافته فيصعد إلى أعلى ليحل محلها جزيئات المائع الباردة (الأكثر كثافة) مكونة بذالك تيارات صاعدة وأخرى هابطة. لا يحدث انتقال الحرارة بالحمل إلا في الموائع لأن الجزيئات تكون حرة الحركة.

8-3 الإشعاع :

تصدر بعض الأجسام الساخنة من سطحها نوعاً من الطاقة على شكل أشعة مرئية أو غير مرئية، كما أن بعض الأجسام تمتص الأشعة الواردة إليها وتحولها إلى حرارة، فالطاقة الإشعاعية (المشعة) من جسم ما تتعلق بدرجة الحرارة وبطبيعته وبشكل سطحه الخارجي للجسم ويعتبر انتقال الحرارة في الفراغ أفضل من انتقاله في وسط ماص، كما ويمكن تسمية الطاقة التي يصدرها الجسم الساخن بالإشعاع الحراري .

ومن الجدير بالذكر أن انتقال الحرارة بالتوصيل أو الحمل بطيء بالنسبة لانتقال الحرارة بالإشعاع لأن سرعة الإشعاع الحراري هي سرعة الضوء، وبصورة عامة قد تؤثر هذه الطرق الثلاث في انتقال الحرارة، وحسب الحالات تكون إحداهما مهمة والأخريان ثانويتين، فالأجسام الموجودة في الهواء تؤثر في نقل الحرارة حادثة الحمل بينما في الدرجات المرتفعة للحرارة يأخذ الإشعاع الدور الأساسي. وفي داخل الأجسام الصلبة تنتقل الحرارة بالتوصيل بشكل أساسي والإشعاع بشكل ثانوي.

موقع الإشعاع تحت الأحمر في الطيف الكهرطيسي



يمتد مجال الـ IRمن نحو 300 GHz إلى (1 mm - 750 nm) 400 THz. ويمكن تقسيمه إلى ثلاثة أجزاء:

نوع الأشعة	طول الموجة
موجات الراديو	
موجات هرتزية	
موجات تحت حمراء	
موجات مرئية	
موجات فوق بنفسجية	○
أشعة X	○ ○
أشعة γ	○ ○
أمواج كونية (أشعة كونية)	○ ○

تتميز الإشعاعات الحرارية بالخواص التالية :

1- تنتقل موجات الإشعاع الحراري في الفراغ بنفس السرعة التي ينتقل بها الضوء.

2- إذا سقطت الإشعاعات الحرارية على جسم تحولت إلى طاقة حرارية يمتصها الجسم.

3- تنحرف الإشعاعات الحرارية وتنعكس بنفس قوانين الضوء.

8-3-1 الأشعة تحت الحمراء :

هي عبارة عن أمواج كهرطيسية غير مرئية تقع ضمن المجال 0.8-300 µm تتميز هذه الأشعة بتأثيرها الحراري الكبير على جسم الإنسان والكائنات الحية إذ تولد بعد امتصاصها حرارة تنتقل من السطح إلى العمق وإلى محيط النسيج المتعرض لها، ويتسبب هذا الانتشار بتسريع عمليات التبادل الخلوي. أما طريقة تأثيرها متوسط في الجلد فتكون على شكل طفح جلدي، وإذا كانت الجرعة صغيرة فإن أثرها يكون احمرار لا يلبث أن يزول، وإذا كانت الجرعة كبيرة فإنها تسبب الحروق. كما تسبب تلف لشبكية العين إذا ما تعرضت لها بشكل مباشر ولفترة طويلة.

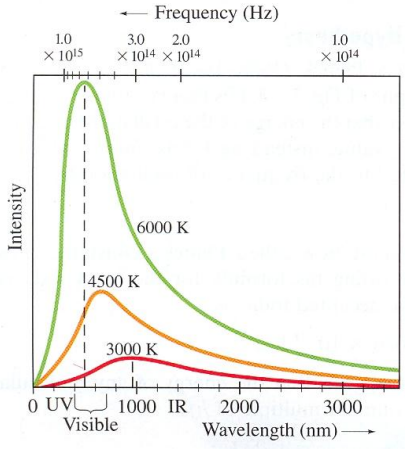
يستفاد من الأشعة التحت الحمراء I R في تحديد درجة حرارة الجسم وتغيراته. إذ يعد ارتفاع درجة الحرارة موضعياً كان أم عاماً بمقدار 1.5-2 °C عاملاً تشخيصياً هاماً، ويعود السبب في ذلك إما إلى نشاط الأوعية الخلايا أو إلى الالتهابات.

طيف المجال تحت الأحمر

- تحت الأحمر البعيد Far-infrared من 300 GHz إلى 30 THz (1mm - 10µm)
- تحت الأحمر المتوسط Mid-infrared من 30 إلى 120THz (10 – 2.5 µm)
- تحت الأحمر القريب Near-infrared من 120THz إلى 400 THz (2,500 - 750 nm).

4

تابع إشعاع الجسم الأسود



تابع إشعاع الجسم الأسود عند ثلاث درجات حرارة مختلفة.

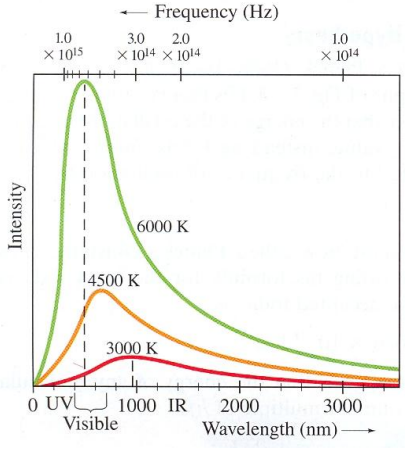
قانون استفان وبولتزمان:

$$W(Watt/m^2) = \sigma T^4$$

ثابت استفان وبولتزمان

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\ Watt\, m^{-2} K^{-4}$$

تابع إشعاع الجسم الأسود



تابع إشعاع الجسم الأسود عند ثلاث درجات حرارة مختلفة.

علاقة فين:

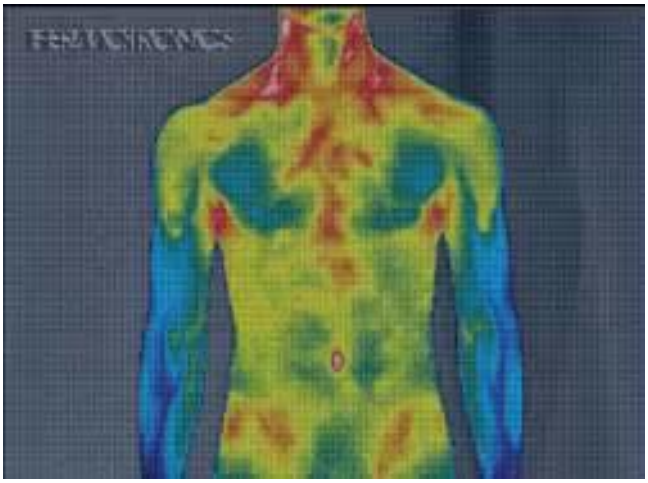
$$\lambda_{max} \cdot T = 2.9 \times 10^{-3} m^{o} K$$

$$T = \frac{2.9 \times 10^{-3} m^{o} K}{\lambda_{max}}$$

الإشعاع الحراري الذي يصدر من الجسم نتيجة للعمليات الاستقلابية التي تجري في كل خلية من خلايا الجسم – اللون الأحمر يدل على درجات الحرارة الأعلى



الإشعاع الحراري الذي يصدر من الجسم – اللون الأزرق يدل على درجة الحرارة الأبرد



8-3-2 الأشعة فوق البنفسجية : UV

هي عبارة عن أمواج كهرطيسية غير مرئية يمكن تقسيمها تبعاً لتأثيراتها البيولوجية إلى ثلاث أنواع.

1- UVA يقع ضمن nm (350-400): يتميز هذا النوع بفعل مُمص ومُقوّي للكائنات الحية إذ يساعد في تركيب الفيتامينات (D_2, D_3)، وكذلك في عملية استقلاب الكالسيوم والفوسفور والكبريت، مما يمنحها دوراً علاجياً ضد الكساح وهشاشة العظام.

2- UVB nm (270-350): إن هذا النوع هو الأكثر خطورة على الإنسان، فهو يسبب الطفح الجلدي، وضربة الشمس. ومن الممكن أن تكون آثاره غير فورية مما يزيد من خطورة الحالة. يستخدم أثناء إجراء العمليات الجراحية من أجل زيادة التخثر وخاصة عند مرضى السكري.

3- UVC nm (200-270) يتميز الطول الموجي 265nm بفعالية شديدة ضد البكتيريا والجراثيم حيث يستعل لتعقيم الهواء في غرف العمليات الجراحية.

4- يؤدي التعرض للأشعة فوق البنفسجية إلى ارتفاع نسبة الميلامين الموجودة في الجلد لهذا يصطبغ الجلد باللون الداكن. حيث يعتبر الميلامين مادة واقية من هذه الأشعة.

يسبب تعرض العين لهذه الأشعة لتلف الشبكية، وإذا كان الضوء ساطعاً يمكن أن تلتهب القرنية أو تحترق.

للأشعة فوق البنفسجية تطبيقات كثيرة في الطب منها التشخيصية (الكشف عن اللويحات السنية، تشخيص أمراض اللثة، فحص اللعاب باستخدام ضوء ود، تألق الأسنان باستخدام ضوء ود) ومنها علاجية (العلاج بأشعة الشمس، علاج بعض الأمراض الجلدية، علاج الأنسجة الداعمة للسن، تبيض الأسنان)

لا يلاحظ أي تأثير بيولوجي مباشر للأشعة فوق البنفسجية، وذلك لأن الماء لا يمتص الأطوال الموجية الأكبر من 185n.m إلا أن أهمية هذه الأشعة تكمن في الأثر الذي تتركه هذه الأشعة على الحموض الأمينية، والأسس البيرميدنية والبورينية (الحموض النووية).

8-3-3 الأشعة المرئية وتطبيقاتها في الطب :

إشعاع كهرطيسي تتراوح أطوال أمواجه ضمن nm (400- 800)

تؤثر في العين وتتيح لنا عملية الإبصار (الرؤية) ونذكر من تطبيقاتها:

1- تتيح لنا الرؤية المباشرة وهذا يمكننا من التفريق بين المظهر العادي والمريض.

2- الشفافية السنية: السن الحي يكون شفافاً جزئياً بينما السن المستأصل لبه يكون كامداً.

3- شفافية الجيب الفكي: الجيب الفكي الطبيعي يكون نيراً أما المتقيح فيكون كامداً.

ديناميكا الدم Dynamics of blood

1- مقدمة introduction:

2- تعاريف أساسية Fundamental definition :

2-1- المائعthe fluid:

2 -2 - المائع المثالي The stationary fluid:

3 3- المائع المستقر The stationary fluid:

2-4- الضغط The pressure:

2-5- اللزوجة The viscosity:

3 - أنظمة(التدفق) الجريان لمائع لزج The flux system for viscous fluid:

4- عدد رينولدز Reynold's number:

5- لزوجة الدم Viscosity of blood:

6- لزوجة البلاسما Viscsity of plasma:

ملاحظات Remarks:

7- ضغط الدم The blood pressure:

8 – أهمية ضغط الدم Importance of the blood pressure:

9 – الضغط الشرياني The arterial pressure:

1- 9 - الضغط الأعظمي أو الانقباضي (السيستوليك) The systolic arterial pressure

2-9- الضغط الأصغري أو الانبساطي (الدياستوليك) The diastolic arterial pressure:

3- 9- الضغط التفاضلي (النبضي) The differential (pulse)pressure:

4- 9-الضغط الشرياني الوسطي The mean arterial pressure:

10-الضغط الوريدي The vein pressure:

11- ضغط العين الداخلي The internal eye pressure:

12- العوامل المؤثرة باضغط الشرياني The affecting factors at arterial pressure:

المقاومة(المعاوقة) الوعائية The vascular resistance (impedance):

14 – المقاومة الوعائية المحيطية الإجمالية للدورة الدموية الكبرى:
The total peripheral vascular resistance for the reat sanguine-cycle:
15 – عمل القلب البشري Work of human heart:
16- قياس ضغط الدم Blood pressure measuring:
17- تقانة قياس الضغط بمقياس ضغط الدم الشرياني:
1 -17 – الطريقة الجسية:
2- 17 – الطريقة التسميعية وأصوات (إيقاعات) كورتكوف :
18 – النبض The pulse:

ديناميكا الدم Dynamics of blood

1- مقدمة introduction:

الدم هو الحياة، يجري داخل الأوعية ليحمل الأوكسجين والماد الغذائية الحيوية إلى أعضاء الجسم فالنسج تعطي المعرفة الجيدة للدورة الدموية لأي كائن حي معلومات قيمة عن الوظائف الأساسية لعمل وبقاء هذا الكائن على قيد الحياة. والمشاكل التي تطرح من خلال ديناميكا الدم معقدة، وذلك بسبب هندية الشجرة الوعائية من جهة، ولكون التدفق القلبي هو نبض وليس مستمر من جهة أخرى.

2- تعاريف أساسية Fundamental definition :

2-1- المائع the fluid:

هو عبارة عن سائل أو غاز لا يمكن لأجزائه الحركة بالنسبة لبعضها بسهولة، بسبب وجود قوى احتكاك صغيرة نسبياً ُ بين جزيئاته والتي سنعرفها فيما بعد بالزوجة . يتصف لمائع السائل بالسيولة والمرونة، ويأخذ شكل الوعاء الذي يحويه، وهو غير قابل للانضغاط عملياً، إلا أنه قابل للتمدد بشكل طفيف جداً. في حين يتصف المائع الغاز بأنه يشغل بشكل دائم كل حجم الوعاء الذي يحتجزه ، وهو قابل للانضغاط والتمدد حيث يتغير حجمه بحسب الضغط المطبق عليه.

2 -2 – المائع المثالي The stationary fluid:

يعتبر المائع مثالياً إذا كانت قوي الاحتكاك بين جزيئاته معدومة وبالتالي تكون لزوجته معدومة أيضاً

3 3- المائع المستقر The stationary fluid: -

يطلق اسم المائع المستقر على المائع الذي لا تتغير فيه سرعة جسيماته في كل نقطة منه بتغير الزمن.

2-4- الضغط The pressure:

الضغط في نقطة ما من مائع محدد بمستوٍ متماثل المناحي مساحته S هو عبارة عن حاصل قسمة القوة الناظمية F المطبقة على هذا المستوي حول تلك النقطة على المساحة S يرمز له بالرمز P ويعبر عن ذلك بالعلاقة التالية:

–

تقدر S بال m^2 و F بال N بالجملة الدولية، أما في الجملة السغثية فتقدر S بال cm^2 و بال dyne أما الضغط فيقدر

N أو $kg \times m^{-1} \times s^{-2}$ وتكافئ هاتين الواحدتين بواحد ال Pa حيث:

حسب الجملة الدولية بإحدى الوحدات التالية:

أما في الجملة السغثية فيدر بإحدى الواحدات التالية:

أو

وتكافئ هاتين الواحدتين بواحدة ال $barye$ حيث:

هنالك وحدات أخرى يقدر بها الضغط من أهمها نذكر: ال $mmHg$ وتستخدم في قياس الضغط الشرياني. كما يوجد أيضاً واحدة. ال $cmHg$ وتستخدم هذه الوهحد في الضغط الوريدي.

توجد علاقة تربط بين هذه الواحدات جميعها وهي من الشكل التالي:

تجدر الإشارة إلى أن الضغط يمتلك نفس القيمة في جميع النقاط الواقعة في نفس المستوي، إلاأن هذا الضغط يتغير بحسب الارتفاع ويعطى بحسب قانةن باسكال $Pascal$ بالعلاقة التالية:

يمكن التعبير عن قانون باسكال بصيغة ثايتة تعطى على شكل فرق في الضغط بين نقطتين (مستويين) $\Delta P = P_2 - P_1$ فرق الارتفاع بينهما هو $\Delta Z = Z_2 - Z_1$ ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\times (Z_2 - Z_1) =$$

على اعتبار أن g و ρ هما مقداران موجبان ، فإن ΔP من الممكن أن يكون موجباً أو سالباً وذلك بحسب ΔZ حيث نجد أنه في حال كانت $\Delta Z > 0$ يكون $\Delta P < 0$ أما في حالة يكون $\Delta P > 0$. وهنا لابد من الإشارة إلى أن جميع الكائنات الحية في الطبيعة

تخضع للضغط الجوي ، لذلك فإنه في معظم الحالات تقريباً يطلق اسم الضغط P لمائع موجود داخل جملة على فرق الضغط مابين نقطة تقع داخل الجملة ونقطة تقع خارجها أي أن ويسمى هذاالفرق بالضغط التفاضلي، أما في الفيزيولوجيا فيسمى بالضغط الانتقالي (فرق الضغط بين طرفي الغشاء) . كما تجدر الإشارة أيضاً إلى أن جسم الإنسان المثال عند التنفس وفي مرحلة الشهيق فإن الضغط في الرئتين يجب أن يكون أقل بقليل من الضغط لجوي وإلا فإن الهواء لا يدخل إلى الرئتين . وكذلك عندما يشر الشخص من خلال مصة (قشة) فإن الضغط في الفم يجب أن يكون سلبياً بمقدار ارتفاع الفم فوق مستوى السائل المشروب.

2-5- اللزوجة The viscosity:

تنشأ اللزوجة من احتكاك طبقات المائع بعضها ببعض، ومن احتكاك المائع أيضاً بجدار الأنبوب الذي يتحرك فيه. لقد بين نيوتن أن القوة الداخلية F_{int} بين طبقتين متوازيتين تتحركان بسرعتين مختلفتين تعطى بالعلاقة التالية

$$\eta \quad —$$

حيث $\frac{dv}{dx}$ يمثل تدرج السرعة و S تمثل سطح التماس بين الطبقتين و η تمثل معامل اللزوجة للمائع حيث يرتبط هذا المعامل بدرجة الحرارة، وكذلك بطبيع المائع.

تتميز القوة $\mathrm{F_{int}}$ بكونها موازية لتغير السرعة dv وتتجه بنفس الجهة.

يمكن حساب η بطريقة الكرة الساقطة (طريقة ستوكس) وذلك من خلال العلاقة الرياضية التالية:

$$\eta \quad - \quad \text{———} \quad (\rho - \rho)^{\circ}$$

حيث ρ° و ρ تمثلان الكتل الحجمية لكل من الكرة الساقطة والمائع على التوالي،r يمثل نصف قطر الكرة الساقطة و $\mathrm{v_c}$ تمثل السرعة الحدية الساقطة ضمن المائع.

تقدر η حسب الجملة الدولية بإحدى الوحدات التالية:

أو $N \times m^{-2} \times s$ أو

وتكافئ هذه الواحدت بواحدة ال Pl أما حسب الجملة السغثية فتقدر بإحدى الواحدات التالية:

أو

وتكافئ هاتين الواحدتين بواحدة ال Po حيث: $1Pl = 10 \times Po$ يمكن أن نعرف أيضاً معامل اللزوجة النسبي η_r وهو عبارة عن حاصل قسمة اللزوجة المطلقة للمائع المعني η إلى معامل لزوجة المحل وذلك عند نفس درجة الحرارة ويعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة التالية:

$$\overline{\eta_{\text{محل}}}$$

كما يمكن أن نعرف معامل اللزوجة النوعي η_{specif} ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\eta \qquad \frac{\eta \ \eta_{\text{محل}}}{\eta_{\text{محل}}}$$

ملاحظات *Remarks*:

١- من الممكن أن نميز بين نوعين من الموائع وذلك تبعاً لطبيعة η وهما:

المائع النيوتروني: يعتبر المائع النيوتروني عندما تكون η مستقلة عن التدرج في السرعة مثال ذلك) الماء (

المائع الغير نيوتروني: يكون المائع غير نيوتروني عندما تكون η مرتبطة بالتدرج في السرعة مثال ذلك) المحاليل ذات الجزئيات الضخمة ومن أهمها الدم (.

٢- تجدر الإشارة إلى أن طبقة المائع التي تكون على تماس مع جدار الأنبوب (القناة) تكون ملتصقة به، وبذلك تكون السرعة معدومة على طول جدار الأنبوب، هذه السرعة أعظمية على طول المحور الاسطواني للأنبوب.

٣- يتناقص معامل اللزوجة η لمائع ما عندما تزداد درجة حرارته.

3 - أنظمة(التدفق) الجريان لمائع لزج The flux system for viscous fluid:

يوجد نوعان من أنظمة التدفق (الجريان) بالنسبة لمائع لزج هما نظام التدفق (الجريان) الصفائحي ونظام التدفق (الجريان) المضطرب. وفق نظام التدفق الصفائحي تتحرك جسيمات المائع في أنبوب ما بسرعة جريان ضعيفة موازية للجهة العامة للتدفق وفق شرائح ينزلق بعضها فوق البعض الآخر بحيث تكون سرعتها في المركز أعلى مما هي عليه عند الجدار، وبذلك تتغير سرعة تدفق المائع وفق هذا النظام على شكل قطع مكافئ. تجدر الإشارة إلى أنه وفق هذا النظام، لا تختلط جسيمات الجزء المحوري للمائع مع جسيمات الجزء المحيطي. أما وفق نظام التدفق المضطرب فسوف تتحرك جسيمات المائع في النبوب بسرعة جريان كبيرة يظهر بنتيجة ذلكاضطرابات (دوارات)، بحيث تمتلك جسيمات المائع ضمن هذه الدوارات وفي لحظة محددة سرعة يكون شعاعها غير موازٍ للجهة العامة للتدفق. في هذه الحالة

يتوجب على الجسيمات المُكونة للمائع أن تسير مسافة أطول من المسافة الإجمالية للمائع، وبالتالي فإن تغير سرعة المائع وفق هذا النظام يأخذ شكل مسطح. وفق هذا النظام، سوف تختلط جسيمات الجزء المحوري للمائع مع جزيئات الجسم المحيطي وبالتالي فالجسيمات سوف تدور بصورة غير منتظمة.

يبدي نظام التدفق المضطرب بالمقارنة مع نظام التدفق الصفائحي سلسلة من الاختلافات الهامة هي:

أ- نظام الجريان المضطرب يكون أكثر غنى بالطاقة من نظام الجريان الصفائحي. لذلك يجب تجنبه إلى أقصى درجة ممكنة، وهذا ما تفعله الطبيعة من أجل جريان الدم.

ب- نظام الجريان المضطرب يكون ضاجاً، في حسن أن نظام الجريان الصفائحي يكون صامتاً. سمكن إدراك ذلك الضجيج لدى الكائن الحي بالإصغاء للأوعية عن طريق الصدر.

4- عدد رينولدز *Reynold's number*:

هو عبارة عن عدد أوجده العالم الانكليزي كي يتمكن اعتماداً على قيمته من تحديد نظام الجريان (التدفق) من خلال قناة (وعاء)، رمز له بالرمز Re وحدد قيمته بالعلاقة التجريبية التالية:

——— حيث d تمثل قطر الأنبوبة.

اعتماداً على قيمة هذا العدد ميّز رينولدز بين ثلاث حالات للتدفق (الجريان) هي التالية:

أ- إذا كان $Re \leq 2400$ يكون نظام التدفق بشكل دائم منتظماً (صفائحياً).

ب- إذا كان $Re \geq 10000$ يكون نظام الجريان مضطرباً.

ج- إذا كان $2400 < Re < 10000$ يكون نظام الجريان غير مستقر ويرتبط بالشروط التجريبية.

ملاحظة *Remark*:

من خلال علاقة رينولدز التجريبية نلاحظ أنه في مستوى الاختناق يتناقص d لكن يجب ألا نستنتج بأن العدد Re سوف يتناقص، بل على العكس من ذلك سوف يزداد العدد Re وذلك بسبب أن سرعة المائع سوف تزداد في مستوى الاختناق، وبذلك يصبح نظام الجريان (التدفق) مضطرباً.

5- لزوجة الدم *Viscosity of blood*:

لا يعتبر الدم بحكم تكوينه محلولاً بسيطاً وإنما هو عبارة عن معلق معقد من الخلايا (بشكل خاص الكريات الحمراء) في البلازما، وهذه الأخيرة تشبه محلول غروي من البروتينات في الماء المالحة. ترتبط لزوجة الدم بدرجة محتواه من الكريات الحمراء (أي بالهيماتوكريت). يلعب البلاسما في الدم دور المحل، ويتميز بمعامل لزوجة η_{plasma}. تحدد لزوجة الدم اعتماداً على قانون إينشتاين بالعلاقة التالية:

$$\times (1 + 2.6 \times \emptyset)$$

حيث: $\emptyset = \frac{V_{GR}}{\mathrm{V}}$ تمثل الحجم النسبي للكريات الحمراء في الدم، و V_{GR} تمثل حجم الكريات الحمراء و يمثل حجم الدم. وعلى اعتبار أن كريات الدم الحمراء متناظرة تقريباً، لذلك فإن الحجم النسبي للكريات يُمثل في هذه الحالة الهيماتوكريت.

6- لزوجة البلاسما *Viscsity of plasma*:

البلاسما (مصل الدم) عبارة عن محلول مكون من جزيئات بروتينية كبيرة (غلوبين، ألبومين، فيبرينوجين وليبوبروتين) ومحل يتميز بمعامل لزوجة قريب جداً من معامل لزوجة الماء، بالإضافة إلى وجود جزيئات وشوارد صغيرة. فإذا رمزنا بـ $\emptyset_2, \emptyset_1 \ldots$، للحجوم النسبية لمكونات البلاسما وبـ $k_2, \mathrm{k}_1 \ldots$، لمعاملات كل نوع من الجزيئات والجسيمات المكونة للبلاسما، عندئذ يمكن كتابة معامل لزوجة البلاسما اعتماداً على قانون إينشتاين بالشكل التالي:

$$(1 + k_1 \times \emptyset_1 + k_2 \times \emptyset_2 + \cdots)$$

يتغير المعامل k بشدة مع شكل البروتينات، وأن الجداء $k \times \emptyset$ الخاص بالجزيئات المتناظرة صغير جداً يمكن إهماله حتى ولو كانت $\emptyset$ كبيرة بالمقارنة مع الجداء $k \times \emptyset$ الخاص بالجزيئات الخطية الكبيرة. لذلك فإن لزوج البلاسما ترجع بشكل أساسي إلى الجزيئات الخطية الكبيرة (مثل مولد الليفين) (الفيبرينوجين).

ملاحظات *Remarks*:

1- تزداد لزوجة الدم بزيادة لزوجة البلاسما والهيماتوكريت.

2- اللزوجة المرتفعة للدم هي المسؤولة عن حوادث الانسداد التجلطي (انصمام خثري).

3- يتميز الأشخاص المصابين بفقر دم أن سرعة التثفل لديهم تكون كبيرة، وذلك بسبب قلة محتوى الدم لديهم من الكريات الحمر.

4- في حال فقر الدم تتناقص η وكذلك ρ لكن تأثيرهما على العدد Re يكون معاكساً لذلك يزداد تدفق الدم عند الكائن الحي وبالتالي تزداد سرعة جريانه، ونتيجةً لذلك تزداد قيمة العدد Re وهذا ما يجعل الدم يميل بشكلٍ كبير ليكون مضطرباً لدى شخص يعاني من فقر بالدم.

7- ضغط الدم *The blood pressure*:

يعبر المصطلح "ضغط الدم" عن الضغط داخل الشرايين، ويساوي القوة الجانبية التي يطبقها الدم على الجدار الشرياني، ينتج في الجملة الدورانية عن قوة تقلص البطينات حيث يُقذف الدم نحو الشرايين التي يمكن لمقطعها أن يتعدل إما بالتقلص (انقباض) وإما بالتمدد (انبساط). وبذلك يبدو ضغط الدم إذاً كمحصلة لقوة القلب ولمقطع لشرايين.

8 – أهمية ضغط الدم *Importance of the blood pressure*:

ترتبط حياة مريض أوموته من خلال صدمة نزفية ناجمة عن جرح بالمحافظة على ضغط دموي وتروية دماغية كافيين. تولد المضخة القلبية ضغطاً يجعل الدم يجري من القلب نحو الشرايين، وإذا ما وجدت معوقات لجريانه نحو الأعضاء النبيلة، يمكن أن تحد من وظائف هذه الأجهزة بشكل حاسم وعندما يتوقف التدفق الدموي في شريان ما تماماً بسبب وجود خثرة ، يتمت النسيج الذي يُروّى بهذا الوعاء، ويتسبب وجود مثل هذا المعوق في شريان دماغي في عارض وعائي دماغي، كما يمكن أن يؤدي انسداد شريان تاجي أو شريان يرُوي العضلة القلبية إلى احتشائها

كما يتسبي وجود إنصمام في الرشتين باحتشاء رئوي، وفي الواقع نجد أن عواقب معظم هذه الظواهر وخيمة وغالباً ما تكون مميتة لذلك كان لابد من

تحديد العوامل التي تتحكم في دوران الدم وبخاصة الضغط الشؤياني لدى بعض المرضى، وهذا يجعل اللجوء إلى مراقبة ضغط الدم ولاسيما لدى المرضى في حالة الصدمة أو المصابين باضطرابات وعائية قلبية أمراض أساسياً.

9 – الضغط الشرياني *The arterial pressure*:

الضغط الشرياني بالتعريف هو عبارة عن الضغط الزائد المطور من قيل البطين الأيسر بالنسبة للضغط الجوي. ويرمز له بالرمز P_A يمكن أن نميز بالنسبة للضغط الشرياني الضغوط التالية:

***9 -1* – الضغط الأعظمي أو الانقباضي (السيستوليك) The systolic arterial pressure**

يؤخذ أثناء انقباض القلب (توافق حالة أكبر تقلص للعضلة القلبية) يرمز له بالرمز $(P_A)_S$ ويقدر بالنسبة لشخص بالغ سليم بحوالي:

9-2- الضغط الأصغري أو الانبساطي (الدياستوليك) The diastolic arterial pressure:

يؤخذ أثناء انبساط القلب (توافق حالة الاسترخاء التام للعضلة القلبية) يرمز له بالرمز $(P_A)_D$ ويقدر بالنسبة لشخص سليم بحوالي:

9- 3– الضغط التفاضلي (النبضي) The differential (pulse)pressure:

هو عبارة عن الفرق الحسابي بين الضغط الأعظمي و الضغط الأصغري يرمز له بالرمز P_{diff}.يعبر هذا الضغط عن مدى مرونة الشرايين ولاسيما الأبهر، إذا أنه في حالات تصلب الشرايين الشديد تتسع الهوة بين قيمتي الضغط الانقباضي والانبساطي للقلب.

9- 4–الضغط الشرياني الوسطي The mean arterial pressure:

هو عبارة عن الضغط الوسطي للضغطين الانقباضي والانبساطي يرمز له بالرمز $(P_A)_m$ وتقدر قيمته بشكل تقريبي وفق المعادلة التالية:

$$(P_A) \quad \frac{\times(P_A)_D+(P_A)_S}{} \quad \text{——} \quad (P_A)$$

يعتبر الضغط الشياني الوسطي مفيداً جداً في بعض الحالات السريرية، إلا أنه غير مجدٍ في حالة المرضى المخدرين المصابين بالتوتر الوعائي.

يقدر الضغط الشؤياني الوسطي بانسبة لشخص بالغ سليم بحوالي:

10-الضغط الوريدي The vein pressure:

يؤخذ دائماً بوضعية الاستلقاء ويقدر بالنسبة لشخص سليم بحوالي

نشير إلى أن الضغط الوريدي في الاذين الأيمن يكون معدوماً، بينما يكون سالب القيمة عند مستوى الرأس($-5KPa$) وموجب القيمة عند مستوى الأقدام($+13KPa$)

11- ضغط العين الداخلي The internal eye pressure:

تتواجد السوائل العينية الداخلية بشكل عام تحت ضغط أقل من $20mmHg \cong 2.6KPa$. ويزداد الضغط في بعض الحالات المرضية كما في حالة الغلوكوما (زرق العين) الحادة وخاصة المترافقة بآلام مبرحة ليصل إلى مابين

***ملاحظات* Remarks :**

1- يعبر عن الضغط الشرياني عادةً بالصيغة التالية: ——

2- يؤخذ الضغط الشرياني بشكل أن نجعل المريض في وضعية ايتلقاء عند مستوى القلب ويعود السبب في ذلك إلى تجني إدخال الثقالة الأرضية. نشير إلى أنه إذا كان التزايد في الثقالة الارضية الموجه نحو الأقدام مهماً فإن ذلك يؤدي بالنتيجة إلى انسداد الشرايين مؤدياً بذلك إلى حدوث حالة فقر دم دماغية تتجلى إشارتها الأولى بفقدان الرؤية. أما إذا كان هذا التزايد في الثقالة الأرضية مجوهاً نحو الرأس فإن ذلك يؤدي إلى حالة فرط تروية دموسة دماغية تتجلى إشارتها الأولى بحدوث اضطراب في الرؤية مترافق مع حقل بصري أحمر.

3- في حالة التغير المفاجئ لوضعية الشخص (انتقال مفاجئ من وضعية الاستلقاء إلى وضعية الوقوف) فإن ذلك يؤدي إلى ازدياد مفاجئ في الضغط على الأطراف السفلية، لهذا تكون الأوردة في الأطراف السفلية مرنة وقابلة للتمدد، ولكن بغياب الإرتكاس (رد الفعل) المناسب _حالة شخص منفعل أو مستسلم أو تحت تخدير فقاري أو قطني موضوع على طاولة قلابة) فإن ذلك سيؤدي إلى تراكم الدم

الوريدي في الاطراف السفلية وهذا يتسبب بتمدد هذه الأوردة وعند عودة الدم الوريدي إلى القلب فإن ذلك يتسبب بآلام، حيث ينتج عن ذلك توقف مضخة القلب (تصيح غير قادرة على قذف الدم) وهذا يتسبب بنقص التروية الدمغية (نقص الأكسجة) مما يؤدي إلى حالة الغشيان (الإغماء) . في الطب الفضائي تؤيد العطالة (القصور الذاتي) الكبيرة ($5g$مثلاً)

المطبقة من الرأس باتجاه الأرجل إلى الإغماء أيضاً وذيلك بسبب انفراغ الشرايين الدماغية (رؤية مصحوبة، بظهور نقاط سوداء) يهذا يتوجب على رواد الفضلء منعاً لحدوث ذلك أن يأخذون وضعية الاستلقاء، ويستلزم أيضاً ارتداء لباس مضاد للقصور الذاتي والذي يهدف إلى حصر البطن والاطراف السفلية

12- العوامل المؤثرة باضغط الشرياني The affecting factors at arterial pressure:

يعتبر الضغط الشرياني دليل سريري عملي على كفاءة عمل القلب وعلى حالة معاوقة الجملة الشريانية وفي الواقع ثمة عوامل تؤثر فب الضغط الشرياني يمكن إيجازها على الشكل التالي:

أ – الانفعالات

ب- العمر: حيث يرتعع الضغط مع التقدم في العمر. يقدر الضغط الانقباضي عند حديثي الولادة $40mmHg$ ويرتفع سريعاً ليبلغ حوالي $80mmHg$ في نهاية الشهر الشاول ومن ثم يرتفع تدريجياً خلال العشر السنوات الأولى ليصبح حوالي $100mmHg$ وعند البلوغ يصبح $130mmHg$ وفي الستين قد يصل إلى $140mmHg$ وفي الثمانين قد يصل إلى $180mmHg$.

ج- الجنس: عند الإناث وقبل سن اليأس يكون أقل بحوالي $10mmHg$ مما هو عليه عند الرجال، وبعد سن اليأس يزول هذا الفار تدريجياً. أما بعد الستين من العمر يكون الضغط الشرياني عند النساء أعلى مما هو عليه عند الرجال.

د- الرياضة تؤدي إلى ارتفاع الضغط الشرياني وذلك بسبب زيادة عدد ضربات القلب.

هـ- الحرارة: يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى توسع الأوعية المحيطة وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض الضغط، وعند انخفاض درجة الحرارة يحدث العكس.

و- وزن الجسم: تترافق السمنة غالباً بارتفاع الضغط الشرياني.

الطعام والنوم: تتسبب الوجبات الدسمة بزيادة الضغط، أماالنوم العميق فيتسبب بانخفاضه. في حين أن النوم الغير مريح والمصحوب بأحلام مزعجة فيتسبب بارتفاع الضغط قليلاً ، أما الكوابيس فتؤدي إلى ارتفاعه بشكل واضح.

العرق والوضع الاجتماعي والاقتصادي: يكون الضغط الشرياني عند العرق الاسود أعلى من بقية الأعراق ويكون عند الفقراء والمضطهدين والمهمشين أعلى مما هو عليه عند المنعمين السعداء.

ط – تصلب الشرايين: يؤدي إلى زيادة الضغط الشرياني.

وهناك عوامل أخرى تؤثر في التوازن الديناميكي يتحكم فيها الدماغ وتؤثر في الضغط الشرياني وهي:

أ – تواتر القلب.

ب – المعاوقة الوعائية ومرونة الجدر الشريانية.

ج – حجم الدم في الجملة الشريانية.

د – لزوجة الدم

هـ – حجم القذف الانقباضي (الحصيل القلبي): وهو بالتعريف يمثل حجم الدم الذي يضخه بطين واحد من بطيني القلب في واحدة الزمن ويعبر عنه عادةً بال $l \times min^{-1}$ لذلك يطلق عليه أحياناً حجم الدفقة ويتم الحصول عليه بضرب معدل خفقان القلب بحجم الدم المقذوف في نهاية الانقباضة المفردة للبطين الواحد. والحصيل القلبي في البطينين متساوٍ وذلك تحت الظروف الطبيعية لعمل جهاز الدوران عند شخص سليم الجسم. تجدر الإشارة إلى أن الحصيل القلبي يتأثر بدوره بمجموعة من العوامل هي: معدل نظم القلب، حجم الانقباضة، المقاومة المحيطية، لزوجة الدم، التمارين الرياضية، الحمل، الاستقلاب، الظروف البيئية، وضعية الجسم، وكذلك حرارة الجسم.

ملاحظات *Remarks*:

1-يرتبط جولان ادم بضغط الدم وبعاوقة الأوعية، إذ يمكن للمعاوقة وللضغط في الشعريات والشرينات أن يتغير كثيراً، فعندما يتعرض الجسم مثلاً لدرجات حرارة منخفضة أو عند تناول العقاقير(كالنيكوتين) يقل تدفق الدم في الجلد بالتقلص الوعائي (التضيق) للشرينات. كما يمكن أن يتسبب بعض الحرارة المرتفعة أو التنبيه أو المخدرات أو الالتهاب الموضعي في التمدد الوعائي(التوسع) للشرينات مما يزيد من الجريان موضعياً، وإضافةً لذلك تزداد المعاوقة الوعائية للشرايين بمقدار بعدها عن القلب ويعود السبب في ذلك غلى الشكل الهندسي للأوعية وغلى الخواص الميكانيكية لجدرها.

2– لا تتعلق حركة الدم في الأوعية وبشكل خاص توزيعه بين مختلف اجزاء هذه الأوعية فقط بعمل القلب، بل ترتبط أيضاً بأنصاف أقطار الأوعية وبنشاط جدرانها وبكمية الدم ولزوجته.

3 – يتمتع الدم أثناء جريانه في الجملة الوعائية وفق الشروط الاعتيادية بخواص صفائحية، ويصبح هذا الجريان دواراً (مضطراباً) عند عدم توافر تلك الشروط، كما في حالة انضغاط فتحة في وعاء دموي بشكل

حاد. يمكن أتحدث ظواهر مماثلة عند عدم الغغلاق الكامل أو الانفتاح الكامل للدمسامات القلبية أو الدسام الأبهر، عندئذٍ تظهر أصوات معينة تسمى النفخة القلبية، حيث تعتبر هذه النفخة علامة مميزة لذهذ الظاهرة.

المقاومة(المعاوقة) الوعائية*The vascular resistance (impedance)*:

المقاومة(المعاوقة) الوعائية R_{mcc} هي عبارة عن النسبة بين تغير الضغط والتدفق أي أن:

$$R_{\mathrm{mcc}} = \frac{\Delta \mathrm{P}}{\mathrm{D}}$$

من الملاحظ انه عندما تكون المعاوقة كبيرة فهذا يعني بأنه إذا حدث تغيراً طفيفاً في تدفق الدم سوف يترافق بيغير كبير في الضغط.

وفق نظام التدفق(الجريان) الصفائحي تحددُ المقاومة(المعاوقة) الوعائية R_{mcc} اعتماداً على قانون بوازوي بالعلاقة التالية: $\mathrm{R_{mcc}} = \frac{8 \times \eta \times L}{\pi \times \mathrm{r}^2}$

حيث: L يمثل طول الوعاء الدموي، r يثل نصف قطر الوعاء الدموي، و η تمثل معامل لزوجة الدم.

ملاحظات Remarks:

1 – يلاحظ بأن العلاقة

$$R_{\mathrm{mcc}} = \frac{\Delta \mathrm{P}}{\mathrm{D}}$$

تشبه قانون أوم في الكهرباء حيث:

$$R_{\mathrm{elec}} = \frac{U}{\mathrm{I}}$$

وانطلاقاً من هذا التشابه يمكن أن نتوصل النتائج التالية:

أ – تعطى الاستطاعة المستهلكة من خلال التدفق بالعلاقة التالية:

$$P = \Delta \mathrm{P} \times \mathrm{D} = \mathrm{R_{mec}} \times D^2$$

ب – تعطى المقاومة الوعائية المكافئة لمجموعة من الاوعية الدموية الموصولة على التسلسل بالعلاقة التالية:

$$R_{\mathrm{T(mec)}} = R_{1(mec)} + R_{2(mec)} + R_{n(mec)}$$

ج – تعطى المقاومة الوعائية المكافئة لمجموعة من الأوعية الموصولة على بشكل متوازٍ (تفرعي) بالعلاقة التالية:

$$\frac{1}{R_{\mathrm{T(mec)}}} = \frac{1}{R_{1(mec)}} + \frac{1}{R_{2(mec)}} + \cdots + \frac{1}{R_{n(mec)}}$$

2 – تاعب لزوجة المائع η دوراً مماثلاً لدور المقاومة النوعية للناقل.

14 – المقاومة الوعائية المحيطية الإجمالية للدورة الدموية الكبرى:

The total peripheral vascular resistance for the reat sanguine-cycle:

تعرف المقاومة الوعائية المحيطية الإجمالية والتي يرمز لها بالرمز $R_{\mathrm{P.T}}$ بالعلاقة التالية:

$$\mathrm{R_{P.T}} = \frac{P_{V.L} - P_{A.R}}{D_c}$$

حيث $P_{V.L}$ يمثل ضغط البطين الأيسر، $P_{A.R}$ يمثل ضغط البطين الأيمن و D_c تمثل التدفق(الحصيل) القلبي. تقدر $\mathrm{R_{P.T}}$ بواحدات المقاومة المحيطية $U.R.P$ وذلك إذا عبرنا عن $P_{V.L}$ و $P_{A.R}$ بواحدة $mmHg$ و D_c بواحدة $ml \times s^{-1}$.

15 – عمل القلب البشري Work of human heart:

القلب البشري هو عبارة عن تجمع لمضختين (البطينات)، كل منها مرتبط بخزان(الأذينات). يدفع البطين الأيمن الدم باتجاه الرئتين عن طريق الشريان الرئو باستطاعة وسطية قدرها $0.2watt$ وهذا ماندعوه بالدورة الصغرى. يتميز البطين الأيسر بكونه أكثر طاقية ويدفع الدم في الدورة الدموية الكبرى عن طريق الأبهر باستطاعة وسطية قدرها $1.1watt$. تعتبر الاستطاعة الميكانيكية الإجمالية للقلب في حالة الراحة صغيرة جداً وهي تساوي $1.3watt$ بينما ترتفع في حالة الجهد المكثف لتبلغ $7-8watt$.

والعمل الكلي للقلب النشط بالتعريف هو عبارة عن العمل الناجم عن تقلص البطينين وبشكل رئيسي تقلص البطينش لأيسر(يقوم البطي الايمن بعمل يتراوح في قيمته بين $0.15 - 0.2$ من عمل البطين الأيسر)، ويستهلك هذا العمل عند كل تقلص للبطين الايسر على شكل طاقة تعتبر ضرورية لتحرك الدم المقذوف في الجملة الوعائية، وتتألف هذه الطاقة من طاقة كامنة للضغط والتي يجب أن تكون موجودة منذ البداية كي يتمكن الدم المتدفق من التغلب على المقاومة في كل الجملة الوعائية، ومن طاقة حركية لإعطاء كتلة الدم السرعة الضرورية للحركة. يعبر عن العمل الكلي للقلب بالصيغة الرياضية التالية:

$$W = P \times V + \frac{m \times v^2}{2} = (\ P + \frac{\rho \times v^2}{2}) \times V$$

حيث P يمثل الضغط الوسطي الذي يتم عنده دفع الدم في الابهر، ρ تمثل الكتلة الحجمية للدم، v تمثل سرعة جريان الدم في الأبهر في حالة السكون، أما V فتمثل حجم الدفقة من الدم في الحالة السكونية.

16- قياس ضغط الدم Blood pressure measuring:

يمكن إجراء قياس ضغط الدم في الأوعية الحاملة له بطرقتين:

أ – مباشرة وذلك عن طريق غدخال إبرة جوفاء في هذه الاوعية.

ب – غير مباشرة باستخدام مقياس الضغط الشرياني ويتكون هذا المقياس من ثلاثة أجزاء هي :

الكم وهو عبارة عن حجرة مسطحة مرنة لها غطاء مصنوع من القماش يلف حول الساعد، الضاغط وهو عبارة عن منفاخ ضغط صغير مملوء بكمية من الهواء كافية لإحداث الضغط المطلوب، ومقياس ضغط وهو على نوعان: زئبقي وهوائي.

17- تقانة قياس الضغط بمقياس ضغط الدم الشرياني:

ينصح قياس الضغط بمقياس ضغط الدم الشرياني مرتين، تستخدم في المرة الأولى طريقة جسية وفي الأخرى طريقة تسميعية ونادراً ما تستخدم الطريقة الثانية لدى الرضع إذ تكون الأصوات التسميعية أضعف جداص من أن يكشف عنها. يكون المريض جالساً أومستلقياً ومسترخياً بشكل جيد، ذراعه مكشوفي ومثنية قليلاً وقد أبعدت عن الجسم وتستند إلى سطح أملس بحيث يجعل الشريان الذي سيأُخذ ضغطه عند مستوى القلب ولا حاجة إلى أن يكون مقياس الضغط عند السوية نفسها. يلف الحزام حول الذراع بحيث يكون طرفه السفلي اعلى من ثنية المرفق بمقدار $2 - 5cm$ إذا كانت أوردة الذراع متمددة يوضع الحزام في مكانه على ذراع مرتفعة. يجب أن يكون عمد الزئبق شاقولياً والقبة عند سوية عين المراقب.

1 -17 – الطريقة الجسية (الجس):

تسمح بإعطاء قيمة للضغط الانقباضي فقط. يؤخذ النبض الكعبري للمريض برفع ضغط الهواء نحو $30mmHg$. أعلى من السوية التي يختفي عنها النبض ثم خفضه ببطء وباستمرار وبسرعة $2 - 3mm \times s^{-1}$ وذلك عن طريق صمام المضخة الهوائية، وعندما يصبح الضغط داخل الحزام أخفض من الضغط الانقباضي بقليل، يبدأ الدم بالجريان عبر المنفذ المفتوح جزئياً، معيداً ظهور النبض. يعطي الضغط الذي يشير إليه المقياس في اللحظة التي يصبح عندها النيض قابلاً للجس من جديد، تقديراً غير مباشر للضغط الانقباضي.

2- 17 – الطريقة التسميعية وأصوات (إيقاعات)كورتكوف :

تعتبر طريقة ن. ن. كورتكوف $Korotkotf$ من أكثر الطرق استخدماً لقياس الضغط الشرياني الانقباضي الانبساطي، وتعتمد هذه الطريقة على الظواهر الصوتية الناتجة عن مرور الدم خلال الشرايين المضغوطة بواسطة الكم. يلف الكم على الساعد الذي يراد حساب الضغط في شريانه بإحكام ويوضع رأس السماعة عند ثنية المرفق على الشريان العضدي . يجب أن يكون ضغط السماعة على الشريان

أخف ما يمكن، إذ يؤدي ضغط السماعة الشديد إلى تشويه الشريان ويعطي قيمة خاطئة للضغط الانبساطي. وتوضع الأجهزة المرافقة في مكان يسهل مراقبتها ويجس نبض شريان الساعد فوق اليد بقليل. يغلق صمام المنفاخ الضاغط ويضغط على إجاصة المنفاخ بشكل منتظم (إيقاعي)، ويستمر ذلك حتى يصبح الضغط في الكم أعلى بمقدار $30mmHg$. من السوية التي يختفي عندها نبض الشريان الكعبري. وبعدئذٍ نخفف ضغط الحزام (الكم) ببطء وبالتدريج ونستمع بدقة إلى الصوت الذي يظهر عبر السماعة. في البداية لايسمع اي صوت وذلك لأن الشريان يكون مضغوطاً بشكل كامل، وعندما يأخذ الضغط في الكم بالتناقص عن القيمة السابصة نبدأ بسماع صوت ذات نبرة واضحة، يسمى عادةً بالإيقاع الصوتي البدائي ويظهر عندئذٍ نبض الشريان. تنتج هذه الإيقاعات الصوتية من جراء ارتجاج جدران الشرايين الواقعة تحت التأثير المباشر للحزام من جهة ولدفقات الدم التي شقت طريقها لحظة الضغط الأعظمي عبر الشريان المضغوط بالحزام من جهة أخرى. ويشير مقياس الضغط عند حدوث الإيقاع الصوتي البدائي إلى قراءة عظمى تسمى عادةً ضغط التقلص(الانقباض). بمتابعة إنقاص الضغط في الكم تدريجياً نلاحظ بأن الإيقاعات الصوتية تتكامل مؤلفةً ضجيج يدعى بضجيج كورتكوف. ينتج هذا الضجيج عن الجريان الدوار(المضطرب) للدم خلال أجزاء الشريان التي لاتزال تحت تأثير ضغط الكم. بعدئذٍ ينقط هذا الضجيج ولايسمع عبر السماعة سوى إيقاعات صوتية، تسمى بالإيقاعات الصوتية المتتابعة، لكن هذه الإيقاعات تضعف بسرعة حتى تنقطع، ولتعود بعدها فتحة الشريان إلى قيمتها البدائية ويعود بالتالي جريان الدم صفائحياً. مقياس الضغط في لحظة الهبوط الحاد في شدة الإيقاعات الصوتية إلى النهاية الصغرى لقيمة الانضغاط أو كما يقال لضغط الاسترخاء

18 – النبض The pulse:

يختلف النبض باختلاف منطقته ومراقبته وهو بصور عامة من البطين الأيسر إلى المحيط فالقلب الأيمن فالدراة الرئوية ثو يعود إلى الأذينة اليسرى. وقد تبين انسرعة انتشار النبض مرتبة $3-14m\times s^{-1}$ وهي اكبر بمقدار من $15-100$ مرة من سرعة جريان الدم. تتعلق سرعة النبض بسرعة تغير الضغط وكذلك بتغير المعاوقة الوعائية.