

الدليل في الفيزياء

# الجيوفيزياء البيئية والفيزياء الحيوية

الدكتور

ياسين محمد عبد السلام الحلواني

دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دار الجديد للنشر والتوزيع

ياسين محمد عبد السلام الحلواني ، .

الدليل في الفيزياء: الجيوفيزياء والفيزياء الحيوية / ياسين محمد عبد السلام  
الحلواني .- ط1.- دسوق: دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع، دار الجديد للنشر

والتوزيع

196 ص ؛ 17.5 × 24.5 سم .

تدمك : 7- 623 - 308 - 977 - 978

1. الفيزياء - أدلة

أ - العنوان .

رقم الإيداع : 28015.

الناشر : دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دسوق - شارع الشركات- ميدان المحطة - بجوار البنك الأهلي المركز

E- elelm\_aleman2016@hotmail.com & elelm\_aleman@yahoo.com

mail:

الناشر : دار الجديد للنشر والتوزيع

تجزئة عزوز عبد الله رقم 71 زرالدة الجزائر

E-mail: dar\_eldjadid@hotmail.com

حقوق الطبع والتوزيع محفوظة

تحذير:

يحظر النشر أو النسخ أو التصوير أو الاقتباس بأي شكل

من الأشكال إلا بإذن وموافقة خطية من الناشر

2018

# الفصل الأول الجيوفيزياء البيئية Environmental Geophysics

## الجيوفيزياء والمسح الجيولوجي

تشمل تقنيات التنقيب المسح الجيولوجي الطبقي Stratigraphic Survey، الذي تستخدم فيه أدوات الاستشعار عن بعد، كالصور الجوية الرادارية والتصوير بالأقمار الصناعية، إلى جانب الدراسات الميدانية بهدف تحديد العناصر الجيولوجية الرئيسية في مناطق معينة، وأنواع صخورها، وامتدادها السطحي وتراكيبها المتنوعة، ورسم خرائط جيولوجية لها، وتقدير احتمالات تكون البترول في طبقات رسوبية معينة، وترتيبها وأعماقها وسمك الطبقات الخازنة المحتملة، وبعض خصائص المصائد البترولية. ثم تأتي بعد ذلك مرحلة المسح الجيوفيزيائي باستخدام الطرق السيزمية والجاذبية والمغناطيسية والمقاومة الكهربائية، والاستقطاب المستحث، والجهد الذاتي والإشعاع الإلكتروني ومغناطيسي لتحديد أهم الخواص الطبيعية للصخور، مثل الكثافة والمسامية والمرونة والسعة الكهربائية والصفات المغناطيسية.

## المسح الجيولوجي الطبقي

في أوائل القرن العشرين كانت مناطق التنقيب عن البترول هي التي تظهر فيها شواهد بترولية مثل البقع البتيومينية، وتسربات الغازات، وبعض الصخور الأسفلتية التي تكشفها عوامل التعرية. ثم بدأ الاعتماد على أجهزة قياس المغناطيسية الأرضية لتحديد الاختلافات الصغيرة أو الطفيفة في المجالات المغناطيسية للتراكيب الصخرية، حتى يمكن الاستدلال على بنية الطبقات ومعرفة نوعيات التراكيب الجيولوجية للصخور الرسوبية، وإنشاء خطوط تساوى الأعماق تحت السطحية، وتحديد مناطق الطيات الصخرية المحدبة والمقعرة، وسمك بعض الطبقات الرسوبية فيها. وبتطور تكنولوجيات التنقيب عن البترول يجري حالياً قياس المغناطيسية الأرضية عن طريق المسح الجوي، الذي يتيح تغطية مساحات كبيرة، والوصول إلى مناطق صعبة طبوغرافياً، والتي لا يسهل استخدام طرق النقل الأخرى فيها.

## الجيوفيزياء (Geophysics):

يختص علم الجيوفيزياء بدراسة الخصائص الفيزيائية للطبقات الأرضية، ويهدف إلى تحديد المصائد والتراكيب بإجراء قياسات على السطح مباشرة أو بالقرب منه ويعتمد في ذلك على استخدام قوانين وخواص فيزيائية طبيعية مثل

الجاذبية الأرضية و المغناطيسية الأرضية والإشعاع الطبيعي و التيارات الكهربائية الطبيعية التي تتولد في الصخور نتيجة حركة السوائل في مسامات الصخور المختلفة و كذلك التيارات المتولدة نتيجة للشحنات المنتشرة في الفضاء، كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية تسجيل الموجات الزلزالية الاهتزازية الناتجة عن الزلازل الطبيعية او الناتجة بفعل العوامل الاصطناعية مثل استخدام المتفجرات أو أجهزة توليد الاهتزازات الأرضية المختلفة. كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية استخدام التقنية الرادارية و كذلك طرق تسجيلات الآبار.

يعتبر علم الجيوفيزياء - بطرقه المختلفة - من أهم علوم الأرض والتي تساعد في تحديد مكامن النفط والغاز والطبقات الحاملة للماء، وتحديد العروق المعدنية والخامات الاقتصادية، ودراسة التراكيب الجيولوجية المختلفة وفي مجال الدراسات الهندسية والدراسات البيئية. وقد ساهم التقدم الكبير الحاصل في طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية وتقنيات برامج التحليل في حل الكثير من المشاكل التي تواجه القطاعات المهتمة بالثروات الطبيعية سواء على مستوى القطاعات الحكومية أو القطاعات الخاصة أو حتى على مستوى الأفراد.

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين. وقد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل في معالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثروات البترولية والمعدنية .

ما هي الجيوفيزياء التطبيقية:

وتعني استخدام الطرق الجيوفيزيائية في تحديد هدف معين تحت سطح الأرض، مثل المياه الجوفية، والمعادن الاقتصادية، والأجسام المدفونة بأنواعها، والبترول والغاز ومعرفة التركيب الجيولوجي للطبقات تحت سطحية، وما تحتويه من كهوف أو صدوع أو فراغات و في مجال التطبيقات الهندسية.

وهذه الطرق تنقسم إلى الطرق الجاذبية والمغناطيسية والكهربية والكهرومغناطيسية والسيزمية والرادارية.

## المسح الجيوفيزيائي:

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين. وقد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل في معالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثروات البترولية والمعدنية .

ويختص علم الجيوفيزياء بدراسة الخصائص الفيزيائية للطبقات الأرضية، ويهدف إلى تحديد المصائد والتراكيب بإجراء قياسات على السطح مباشرة أو بالقرب منه، وهناك عدة طرق جيوفيزيائية مستخدمة للتنقيب عن النفط :

أ- المسح الثقلي : ويستخدم في المراحل الأولى للاستكشاف، ويمكن بواسطته تكوين فكرة عن شكل وامتداد الحوض الرسوبي والاتجاهات البنيوية ومواقع الفوالق، وبناء على نتائجه يتم تحديد المناطق الأكثر أملاً، وتعتمد هذه الطريقة على قياس الجاذبية الأرضية التي تختلف من مكان لآخر تبعاً لكثافة الصخور والتركيب الجيولوجي للمنطقة.

ب-المسح المغناطيسي : ويعتمد على قياس مغناطيسية الأرض التي تعتمد على التغيرات المغناطيسية في مكونات القشرة الأرضية .

ج-المسح السيزمي ( الاهتزازي) بنوعيه ( الانكساري والانعكاسي ): والذي يشكل 90% من الأعمال الجيوفيزيائية التي تنفذ بهدف التنقيب عن النفط، ويمر هذا العمل بعدة مراحل هي :

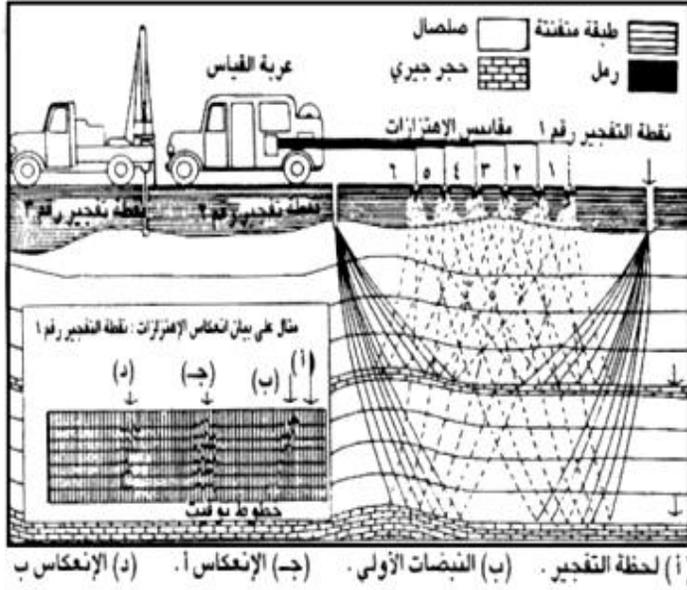
العمل الحقلية.

معالجة المعلومات .

تفسير المعطيات حيث يتم هنا تحويل المعلومات السيزمية الى معلومات جيولوجية، فيتم إنشاء خرائط زمنية لمنطقة المسح يتم تحويلها الى خرائط أعماق بعد إجراء قياسات للسرعة.

الشكل الرقم ١١

المسح الجيوفيزيائي  
بالطريقة السيزمية



ثم الطرق الأقل استخداما وهي قياس الإشعاع والحرارة عند أو بالقرب من سطح الأرض أو في الجو. وإذا كانت الطرق السيزمية والجاذبية هي، أساسا، أدوات للبحث عن البترول، فإن الطرق الكهربائية تستخدم، عادة، للكشف عن المعادن، وغير أن الروس والفرنسيين يستخدمون الطرق الكهربائية والمغناطيسية معاً في البحث عن البترول والمعادن .

أجهزة الاستكشاف الجيوفيزيائي:

المسح الجيوفيزيائي أحد أهم الطرق المستخدمة في الاستكشاف الجيولوجي والتنقيب عن الخامات المعدنية اعتماداً على الخصائص الفيزيائية للخامات أو الصخور الحاوية لها مثل قابليته التمعنط ، والتوصيل الكهربائي، والكثافة ، والإشعاع الطبيعي ، ودرجة الصلابة لتحديد مواقع تواجد الخامات، والتراكيب الجيولوجية ، وتكوين الطبقات تحت السطح لتحديد مكامن ترسب الثروات الطبيعية. وتسهم الدراسات الجيوفيزيائية في حل المشاكل الجيوتقنية، والهندسية ، وغيرها من المشاكل البيئية. ويمتلك المركز العديد من الأجهزة المختلفة التي تستعمل في إجراء الأنواع المختلفة من المسوحات الجيوفيزيائية منها على سبيل المثال :

أجهزة قياس إجمالي الكثافة المغناطيسية والمركبة العمودية والمركبة الأفقية وقابلية التمعنط

أجهزة قياس شدة الإشعاع الطبيعي الوميضي والطبقي وانبعث إشعاع غاز الرادون.  
أجهزة المسح الكهرومغناطيسي باستخدام التردد المنخفض جداً (VLF) والتورام (Turam).

## جهاز قياس الموجات الزلزالية الانكسارية

### جهاز قياس الجسات (السرود)

ويتطلب التنقيب عن البترول استثمارات مادية كبيرة، وخبرات تكنولوجية متطورة، وتمويلاً مستمراً لخطط الاستكشاف، وتكامل عناصر تعدين البترول وصناعته، ونقله وتسويقه. وهدف التنقيب الواضح هو البحث عن مكامن تجمع البترول باستخدام مختلف أنواع المسح، والكشف جويًا وأرضيًا وجوفيًا، ويعتبر الرشح البترولي مؤشرًا إيجابيًا لتحديد أغلب مناطق التنقيب، إلى جانب البحث عن البترول في مصائد بنائية معينة كالطيات المحدبة والقباب.

وباستكمال الدراسات الكيميائية للصخور، يمكن معرفة مدى احتوائها على المواد العضوية المولدة للبترول، وكذا تعرف مؤشرات وجود خزانات بترولية كبرى، مثل وجود صخور مسامية ترتفع بها نسبة الكربونات، وتتحلل موادها بسرعة تحت تأثير عوامل التجوية الكيميائية من رطوبة وجفاف وتجوية عضوية بصفة خاصة.

الجيولوجيا - إذًا - من خلال مشاهدات الصخور والآبار، والجيوفيزياء بطرقها العديدة تقدم اليوم وسائل عملية لدراسة تكوين باطن الأرض وتركيبه، ومع ذلك لا تستطيع جميع الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية والجيوكيميائية أن تحدد بدقة مواقع تجمعات البترول والغاز مهما كانت شمولية تلك الدراسات،

إذ لابد من الحفر، فهو العامل الحاسم في استكشاف البترول، ويرتبط النجاح فيه بالتحديد الدقيق لمواقع الآبار، وتقدير العمق المحتمل وجود البترول به في الطبقة أو الطبقات، وكفاءة برمجة الحفر ونظم معلوماته، للتعرف على الطبقات تحت السطحية في أثنائه وتقدير السمك والعمق لكل منهما.

المسح الجيولوجي الطبقي :

ويشمل المسح الجيولوجي الطبقي الأولى استخدام مقياس الجاذبية الأرضية Gravimeter لتعرف مواقع الصخور وكثافتها، واستنتاج بعض المعلومات عن التراكيب الجيولوجية للمكامن والمصائد البترولية .

المسح الجيوفيزيائي:

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين. وقد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل في معالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثروات البترولية والمعدنية .

وتشمل الطرق الجيوفيزيائية الشائعة الاستخدام المسح السيزمي الذي يسمى أحيانا بالزلزالي، والجاذبية، والمغناطيسية، والطرق الكهربائية، ثم الطرق الأقل استخداما وهي قياس الإشعاع والحرارة عند أو بالقرب من سطح الأرض أو في الجو. وإذا كانت الطرق السيزمية والجاذبية هي، أساسا، أدوات للبحث عن البترول، فإن الطرق الكهربائية تستخدم، عادة، للكشف عن المعادن، وغير أن الروس والفرنسيين يستخدمون الطرق الكهربائية والمغناطيسية معاً فيالبحث عن البترول والمعادن .

المسح السيزمي:

أداة عملية لتحديد التكوين الجيولوجي تحت سطح الأرض، ويعتمد على تفجير شحنة صغيرة من المتفجرات قريبة من السطح، تنتج عنها صدمة آلية أو هزة أو موجة سيزمية، من نوع ريلي Rayleigh أو لف Love ، وهذه الموجة تعود إلى السطح بعد انعكاسها من الأوجه الفاصلة بين الطبقات ذات الخواص الطبيعية المختلفة، وتسجل الانعكاسات بأجهزة حساسة سريعة الاستجابة لحركة الأرض & Geophones Detectors، توضع على أبعاد محددة من نقطة التفجير لتلقي الموجات الصوتية المنعكسة وقياس زمن ارتداد الموجة السيزمية

. ومن المعروف أن سرعة الموجات الصوتية تعتمد على كثافة الصخور التي تمر بها. ويمكن حساب أعماق الطبقات وسمكها واستنتاج أنواعها بقياس أزمنة الانعكاس ومقارنتها، وتعرف الظواهر التركيبية في الطبقات السفلى، وبيئة الترسيب، ومن ثم إنتاج خرائط تركيبية لأي مستوى جيولوجي يعطي انعكاسات للموجات الصوتية، وتحديد أماكن الطيات المحدبة والفوالق والقباب الملحية والشعب وخواصها .

ويجري المسح السيزمي أيضاً في البحار، باستبدال المتفجرات بشرارة كهربية ذات فولت عال، قد يصل إلى عشرة آلاف فولت، تفرغ تحت الماء لإحداث نبض سمعي Acoustic Pulse على فترات قصيرة متتابة لإجراء المسح السيزمي على أعماق بين 100، 400 متر. ويمكن إجراء هذا المسح على أعماق كبيرة قد تصل إلى 2- 2.5 كم باستخدام قاذف صغير لخليط متفجر من غازي البروبان والأكسجين يشعل بشرارة كهربية. وطريقة الانعكاس السيزمي أنجح الطرق السيزمية المستخدمة في معرفة الطبقات القريبة من سطح الأرض، وتحديد الظواهر التركيبية التي يشتمل أنها مكامن بترولية، وبخاصة الطيات المحدبة والفوالق والقباب الملحية وبعض البنيات الاختراقية الأخرى .

أما طريقة الانكسار السيزمي فتتيح تسجيلاً لإشارات السيزمية على مسافات كبيرة من نقطة التفجير، والحصول على معلومات عن السرعات والأعماق الخاصة بالطبقات تحت السطحية التي تنتقل خلالها. واستخدمت في الماضي في تحديد جوانب قباب الملح قبيل استخدام الطريقة الانعكاسية. ومع أن طريقة الانكسار لا تعطي معلومات دقيقة عن التراكيب الصخرية، وهي أقل استخداماً في استكشاف البترول حالياً، إلا أنها مصدر جيد للمعلومات عن سرعة انتشار الموجات في طبقات الانكسار، وبالتالي التحديد التقريبي لمواقع وأعماق طبقات صخرية أو تكوينات جيولوجية معينة. ومن المعروف أن سرعة انتشار الموجات السيزمية تبلغ نحو 5500 قدم/ثانية في الرواسب الفتاتية، وترتفع إلى أكثر من 23000 قدم/ ثانية في بعض الصخور النارية، وبذلك يسهل تحديد عمق الحوض الرسوبي وشكله برسم خريطة صخور القاعدة التي تتراكم عليها الصخور الرسوبية .

## التنقيب الزلزالي:

يعتبر المسح السيزمي من أهم تطبيقات علم الجيوفيزياء، لأنه يعطي صورة واضحة عن الطبقات الجيولوجية الواقعة تحت سطح الأرض وعن امتدادها واستمراريتها ووجود أية انحرافات أو انقطاعات فيها وذلك بهدف اختيار التركيب الأكثر ملاءمة واحتمالاً لتجمع المواد الهيدروكربونية. ويتم المسح الزلزالي باستخدام مصدر للطاقة لإرسال موجات صوتية إلى باطن الأرض وتعكس هذه الطبقات الجوفية تلك الموجات إلى السطح حيث يتم التقاطها بصورة إشارات كهربائية يجري تضخيمها ونقلها إلى مسجلات رقمية، وبعدها تحفظ هذه البيانات على أشرطة مسح زلزالي بواسطة الكومبيوتر للحصول على مقطع زلزالي وبواسطة أساليب معالجة متقدمة في التقنية، يمكن بواسطتها الحصول على تصوير مجسم ذي بعدين اثنين أو ذي ثلاثة أبعاد لملامح الطبقة الجوفية من أجل استخدامه في تحديد ملامح التشكيلات والطبقات وخصائص الصخور التي تهم الجيولوجيين العاملين في قطاع النفط.

## طريقة الجاذبية:

تعتمد طريقة البحث بالجاذبية - في حدود الأميال الأولى القليلة من سطح الأرض - على قياس التغيرات الصغيرة في جذب الصخور للأجسام والكتل فوق سطحها، إذ تختلف قوى الجذب من مكان لآخر طبقا لاختلاف كثافات الصخور تحت سطح الأرض، لأن الجاذبية تتناسب طرديا مع الكتل الجاذبة، وعكسيا مع مربع المسافة إليها. وإذا كانت الطبقات الأعلى كثافة مقوسة إلى أعلى في تركيب مرتفع مثل الطية المحدبة فإن مجال الجاذبية الأرضية يكون فوق محور الطية أكبر منه على طول أجنابها، كما أن القبة الملحية، الأقل كثافة من الصخور التي اخترقتها، يمكن كشفها من القيمة الصغيرة للجاذبية المقاسة فوقها بالمقارنة بقيمة الجاذبية على أي من الجانبين. ولا بد لقياس التغير الطفيف في قيمة الجاذبية من مكان لآخر من أجهزة ذات حساسية عالية، لدرجة أنها تسجل التغيرات في الجاذبية لجزء في المليون من عجلة الجاذبية الأرضية، وتسمى الجرافيمترات Gravimeters، وهي أداة رسم خريطة تغيرات الجاذبية في منطقة البحث عن البترول التي يمكن من خلالها ترجيح وجود تراكيب جيولوجية معينة مثل الفوالق والطيات، أو تداخل صخور القاعدة ذات الكثافة العالية في صخور رسوبية ذات كثافة أقل .

وبصفة عامة يستفاد من طريقة الجاذبية في تحديد الأحواض الرسوبية، وامتدادها وسمكها، باعتبار أن كثافة الصخور القاعدة أعلى من كثافة الطبقات المترسبة فوقها، وكذا في تحديد أماكن القباب الملحية، وشعاب الحجر الجيري Limestone Reefs ، والطيات المحدبة ، ثم في تعيين الحدود الفاصلة بين الكتل الصخرية ذات الكثافات المختلفة. ومع ذلك يجب أن نسلّم بأن الصخور الخازنة ليست متجانسة في خواصها مما يقتضي استخدام طرق أخرى للمسح الجيوفيزيائي لتكوين صورة متكاملة ودقيقة للخزان البترولي، تستكمل بالمسح السيزمي والحفر الاستكشافي. وقد استخدمت طريقة الجاذبية في تحديد أماكن القباب الملحية في ساحل خليج المكسيك بالولايات المتحدة، وفي الكشف عن التراكيب المحدبة في وسط القارة الأمريكية التي تعدّ مكامن محتملة للسوائل الهيدروكربونية .

#### الطريقة المغناطيسية:

يستخدم المسح المغناطيسي لقياس التغير في شدة المجال المغناطيسي للأرض من مكان لآخر، بسبب اختلاف التراكيب الجيولوجية، والتغيرات الطبوغرافية لأسطح الصخور

القاعدة، والتأثيرية المغناطيسية Magnetic Susceptibility

لهذه الصخور، أو الصخور النارية أو المتحولة التي تحتوي في العادة على نسب أعلى من معدن المجنيتيت Magnetite ذي الخواص المغناطيسية، أو الصخور القريبة من سطح الأرض. وتستخدم المغناطومتريات Magnetometers في المسح المغناطيسي على الأرض، ومن الطائرة أو السفن وبخاصة لتحديد سمك الطبقات الرسوبية الخازنة للبترو، أو المعادن المغناطيسية .

وحديثاً تستخدم الأقمار الصناعية في رسم الخرائط الكنتورية للتغيرات في شدة المجال المغناطيسي لتحديد التراكيب الجيولوجية في مناطق المسح المغناطيسي، وبخاصة أماكن الطيات والصدوع في القشرة الأرضية المرجح وجود تجمعات البترول بها، وحساب أعماق صخور القاعدة بما يساعد في تقدير سمك وامتداد الطبقات الرسوبية وامتدادها، وكذا تعرف تداخلات الصخور النارية بين هذه الطبقات الرسوبية. وقد ساعدت الطريقة المغناطيسية على اكتشاف حقول بترولية عديدة في المملكة العربية السعودية، ومنها حقول الحوطة والدلم عام 1989م، والرغيب والنعيم والحلوة والهزيمة والغينة في المنطقة الوسطى عام 1990م، ثم حقل مدين على الساحل الشمالي للبحر الأحمر عام 1993م .

## الطريقة الكهربية:

تعتمد هذه الطريقة على اختلاف قياسات المقاومة النوعية الكهربية بين شتى أنواع الصخور، وبخاصة بين الملح والرسوبيات، ويسهل باستخدامها تحديد عمق صخور القاعدة بفضل ارتفاع قيم المقاومة النوعية لها. وإذا كانت التباينات في الخواص الكهربية للصخور الرسوبية محدودة، فإن الصخور الجيرية الكتلية والأنهدريت تتميز بمقاوماتها النوعية العالية. كذلك تستخدم طريقة الجهد الذاتي لإجراء قياسات على السطح بالميللي فولت للجهود الكهروكيميائية الناشئة في الأرض بالتفاعل الكيميائي الكهربي بين بعض المعادن والمحاليل ذات الخصائص الكهربية المتلامسة معها .

## الحفر الاستكشافي Exploratory Drilling :

يلي المسح الجيوفيزيائي والدراسات الجيوكيميائية التي تقود إلى تحديد أنسب الأماكن التي يرجح أن تكون حقولا منتجة، ويبدأ بحفر أولي الآبار الاستطلاعية التي تسمى بئر القطعة البرية Wild Cat Well، طبقا لتقدير علمي دقيق لموقع الحفر والأعماق المطلوب الوصول إليها، وأنواع الأجهزة التي تستخدم في تجويف البئر، ثم تسجل النتائج في وثيقة التسجيل البئري Well Logging، والتي تشمل تحديد أنواع وسمك الطبقات وسمكها، وتقدير أعمار الصخور طبقا للحفريات الموجودة في كل طبقة إلى جانب قياسات المقاومة الكهربية والنشاط الإشعاعي

وانتشار الموجات الصوتية، والكثافة، وتستكمل بالصفات الطبيعية مثل المسامية والنفاذية، والخصائص الكيميائية. وتتم متابعة تحليل العينات الجوفية أولاً بأول خلال حفر البئر الاستكشافي بهدف معرفة وتحديد تتابع الطبقات للصخور الرسوبية في الحقول البترولية المنتظرة .

وعادة تحفر البئر الاستكشافية الأولى على قمة التركيب الجيولوجي المراد استكشافه، أو على الموقع المقدر نظرياً أن يحقق أكبر إنتاج ممكن. ويراعى ما أمكن ذلك أن يكون تجويف البئر رأسياً، واختبار زاوية ميله كلما تعمق الحفر لإجراء التصحيحات المطلوبة عند الضرورة. ومع أن حفر البئر الأولي يعطي الدليل على وجود البترول، وتركيب المكمن البترولي، وأعماق الطبقات الحاوية للزيت من سطح الأرض وخواصها، إلا أن تحديد الحقل البترولي، وحساب كميات البترول المنتظر إنتاجها، وتقدير الاحتياطي المرجح من البترول في الحقل يتطلب حفر آبار استكشافية أخرى حول البئر الأولي. ويجري في حالات عديدة حفر "الآبار القاعية" العميقة في الأماكن الملائمة لتجمع الزيت أو الغاز، لدراسة التركيب الجيولوجي والظروف الهيدرولوجية لتكوين الطبقات الرسوبية، وكذا "الآبار البارامترية" لتدقيق المعلومات عن التراكيب الجيولوجية للصخور في منطقة البحوث الاستكشافية .

## طريقة تسجيل الآبار Well Logging :

هي طريقة واسعة الاستخدام قبل حفر آبار البترول وفي أثناء الحفر وبعده، لتحديد الخواص الفيزيائية المختلفة للطبقات تحت سطح الأرض، من خلال إنزال أجهزة قياس متنوعة في الآبار لتحديد المقاومة النوعية الكهربائية، والجهد الذاتي والتأثيرية، والسرعة الصوتية، والكثافة، والخواص المغناطيسية، وإطلاق أشعة وفوتونات جاما الطبيعية، أو توليد أشعة جاما استجابة لقذف النيوترونات .

والتسجيلات الكهربائية تتيح قياس المقاومة النوعية للصخور، ورسم الحدود بين الطبقات، وتحديد مناطق تدفق السوائل ودراسة المياه الجوفية وتحديد ملوحتها، وبذلك يسهل تعيين الطبقات المنفذة للسوائل والأسطح والحواف التي تحدها. والطرق الكهرومغناطيسية تكشف اختلاف الخواص التأثيرية للصخور تحت سطح الأرض .

وقد استخدمت طرق المقاومة النوعية والكهرومغناطيسية الأرضية في روسيا لإعداد خرائط الطبقات الرسوبية في مراحل الاستكشاف البترولي المبكرة، وفي فرنسا استخدمت الطرق الكهربائية في البحث عن المعادن الصلبة، وتتبع الطاقة الحرارية الأرضية، أما تسجيل النشاط الإشعاعي الطبيعي للصخور فيجري باستخدام أجهزة كشف إشعاعي متنوعة على الأرض،

وفي الآبار، ومن خلال المسح الجوي الإشعاعي. كذلك يستخدم مصدر لإشعاع النيوترونات، مثل خليط من البريليوم والراديوم، ويستقبل الإشعاع المنطلق من الصخور، وقياس درجة امتصاص النيوترونات بواسطة أيونات الهيدروجين الموجودة في البترول أو الماء أو الغاز .

وتفيد دراسة النشاط الإشعاعي للصخور في تعرف التراكيب الصخرية، ومدى احتوائها على سوائل، وأنواع تلك السوائل، ووجود الغازات الطبيعية، ومسامية الصخور، كما تستخدم أشعة جاما في الكشف عن الطفلة الحجرية الزيتية Oil Shales. كذلك فإن المسح الإشعاعي من أفضل طرق تعيين وتقويم رواسب المعادن

المشعة تحت سطح الأرض، سواء التي تحتوي على اليورانيوم أو الثوريوم .

وتجري تسجيلات الانتشار الصوتي لقياس سرعة سريان الموجات الصوتية في كل

طبقة من الطبقات الصخرية على حدة، وتحديد الاختلاف بينها في المقاومة

الصوتية Acoustic Impedance، ما يساعد في معرفة مسامية الصخور تحت

السطحية .

س / كيف يستطيع الجيولوجيون استكشاف باطن الأرض والتغلغل في أعماقها..؟  
وكيف يستطيعون التعرف على مكامن النفط والخامات المعدنية ..؟ في هذا الموضوع  
سنتعرف على أحد فروع علوم الأرض والذي يختص بطرق استكشاف باطن الأرض  
والاستكشاف الجيوفيزيائي..

في الواقع يوجد لدينا أربعة طرق جيوفيزيائية لاستكشاف باطن الأرض وهي ..

الطريقة السيزمية Seismic

الطريقة الكهربية Resistivity

الطريقة الثقالية Gravity

الطريقة المغناطيسية. Magnetics

أولاً : الطريقة السيزمية :

وهي التي تعتمد على دراسة الموجات السيزمية وتنقسم إلى قسمين:

1-انكسارية: Refraction Seismology وهذه الطريقة تعتمد على دراسة زمن أولى  
الموجات وصولاً وربطها بالمسافات بين المستقبلات التي تستقبلها ، أما بقية البيانات  
فلا نحتاج إليها في الطريقة الانكسارية ، من هذه الطريقة أستطيع التعرف على التغير  
في الصخور مع العمق ، كما أستطيع معرفة سرعة الموجات خلال مرورها بالأوساط  
المختلفة حيث تعتمد على معاملات المرنة elastic parameters لهذه الأوساط.

2- انعكاسية: Reflection Seismology وهذه تعتمد على تحليل الطاقة التي تصل بعد الحركة الأرضية الأولى وبصفة عامة فهذا التحليل يركز على دراسة الموجات المنعكسة ، يشبه الأمر دراسة الموجات الصوتية المنعكسة في أجهزة السونار. أيضاً هذه الطريقة تعطينا معلومات عن نفس الطبقة الصخرية التي تمر بها في حين ان الطريقة الانكسارية تعطينا معلومات عن الحدود الفاصلة بين الطبقات ومعاملات المرونة للطبقات . وللطريقة السيزمية عيوب ومميزات مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى أيضاً نفس الطريقتين السيزميتين بهما مميزات وعيوب مقارنة مع بعضها البعض. مميزات الطريقة السيزمية وعيوبها مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى. من مميزات هذه الطريقة :

أنها تعطينا تصور عما هو موجود تحت سطح الأرض وبذلك نستطيع من خلالها تحديد العمود الطباقى للمنطقة

ولكونها تعتمد على انتشار الموجات في الصخور وحيث أن انتشار هذه الموجات يعتمد على معاملات المرونة للصخر فإننا نستطيع ومن حيث المبدأ تحديد هذه المعاملات . وأيضاً نستطيع الكشف عن الهيدروكربونات بواسطة هذه الطريقة.

ومن مساويء هذه الطريقة :

أنها مكلفة جداً مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى

يتطلب تحليل البيانات المستخلصة بهذه الطريقة وقتاً طويلاً بالإضافة إلى حاجة

المحللين إلى أجهزة حاسوبية متطورة تكلف مبالغ طائلة

أيضاً الأجهزة المستخدمة في تجميع البيانات مكلفة جداً وأغلى من الأجهزة المستخدمة

في طريق الجيوفيزيائية الأخرى

مقارنة سريعة بين الطريقتين السيزمية: الانعكاسية والانكسارية

من مميزات الطريقة الانكسارية:

أنا نحتاج لأقل عدد ممكن من المصادر والمستقبلات ولذلك فهي رخيصة نسبياً في

جمع البيانات فيحين أن الطريقة الانعكاسية تحتاج لعدد أكبر من المصادر

والمستقبلات لذلك فإن جمع البيانات بواسطة هذه الطريقة مكلف جداً .

وعند تحليل البيانات فإن تحليل البيانات الانكسارية أسهل من تحليل البيانات

الانعكاسية حيث أننا نعتمد في تحليل البيانات الانكسارية على زمن وصول أول موجة

في حين أن تحليل البيانات الانعكاسية يعتمد على الجزء المتبقي من الطاقة كما انها

تحتاج إلى أجهزة حاسوبية متطورة وعدد كبير من الخبراء لذلك فهي تكلف الكثير (

عالية التكلفة)

أما عن مساوية الطريقة الانكسارية

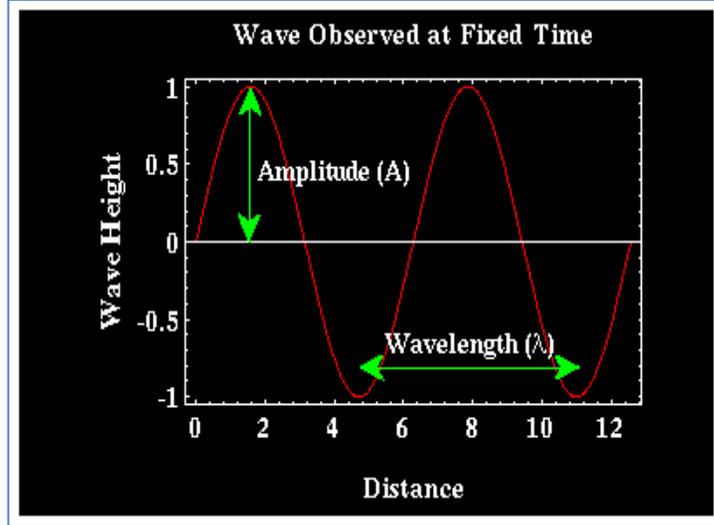
يجب أن تكون المسافة بين المصدر والمستقبلات كبيرة بعض الشيء حتى نتمكن من استقبال البيانات .. في حين أننا لانحتاج هذه المسافة عندما نجمع البيانات بواسطة الطريقة الانعكاسية .

أنها لا تعمل إلا إذا كانت السرعة تزداد مع العمق .. في حين أن الطريقة الانعكاسية تعمل في جميع الأحوال.

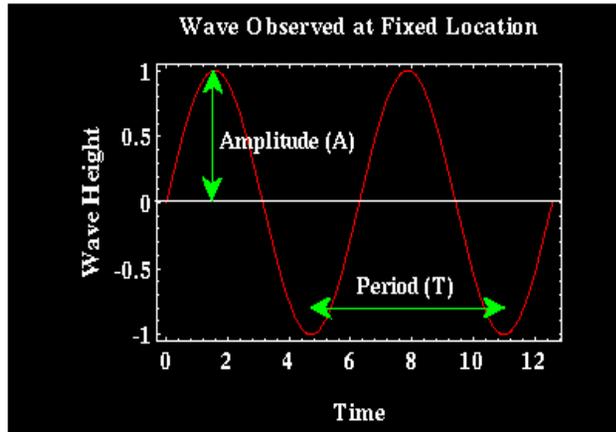
ونلاحظ أيضاً أن الطريقة الانكسارية تترجم لنا ماهية الطبقات الموجودة في الأسفل هذه الطبقات من الممكن أن تكون عميقة جداً وغير مستوية .. في حين أن البيانات الانعكاسية يمكن أن تكون مترجمة بسهولة أكثر من ناحية علم الطبقات ..

ماذا يحدث لو قذفنا بجر صغير في وسط بحيرة ..؟

ستبدأ الموجات بالانتشار على سطح البحيرة على شكل حلقات. لو أخذنا مقطع عرضي لهذه الحلقات وأوقفنا الزمن بالنسبة لها فأسمي المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين بالطول الموجي wavelength وتعرف المسافة بين خط انتشار الموجة وحتى قمة الموجة أو قاعها بسعة الموجة ( لاحظ الشكل التالي )



أما لو قمنا بتثبيت الموقع بالنسبة لحركة الموجات على سطح البحيرة فستعبر المسافة بين القمتين المتتاليتين أو القاعين المتتاليين عنالزمن الدوري.



وهناك علاقة بين سرعة هذه الموجات وطولها الموجي والزمن الدوري لها حيث أن:

$$C = \lambda \cdot T$$

$$C = \text{السرعة}$$

$$\lambda = \text{الطول الموجي}$$

$$T = \text{الزمن الدوري}$$

وأيضاً هناك علاقة بين التردد  $f$  والزمن الدوري  $T$  حيث أن التردد يساوي مقلوب الزمن

الدوري و وحدته 1\ثانية أو هيرتز (Hz)

أنواع الموجات السيزمية :

تنقسم الموجات السيزمية إلى قسمين وهي :

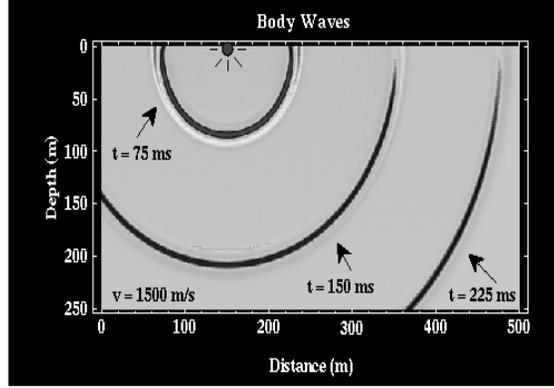
الموجات الجسمية : Body Waves وهذه هي الموجات التي تسري في باطن الأرض .

نحن نعلم أن الموجات تنطلق بسرعة ثابتة مالم تتغير معاملات المرونة للوسط الذي

تسري فيه كما أنها تنتشر في جميع الاتجاهات بعيداً عن المصدر .. من ذلك نستنتج

أن الموجات السيزمية وعند أي لحظة تعطي شكلاً كروياً عند انتشارها في وسط

متجانس homogeneous

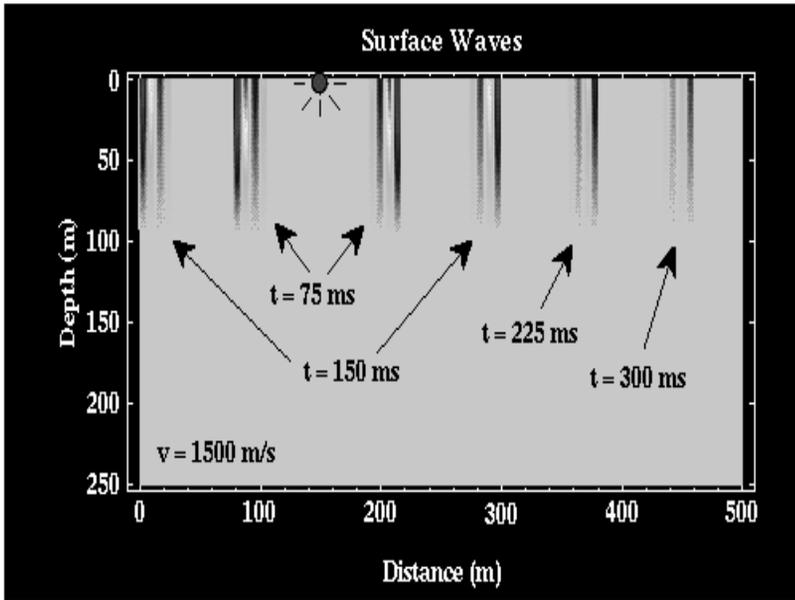


وتنقسم الـ Body waves إلى نوعين:

الموجات الأولية : primary waves وتعرف باسم P Waves وسميت بهذا الاسم لأنها لكونها الأسرع لذلك فهي أولى الموجات وصولاً ، ويعود سبب سرعتها إلى أنها تسلك سلوكاً بسيطاً حيث تتحرك فيها الجزيئات في نفس خط انتشار الموجة وتشبه هذه الموجات الموجات الصوتية حيث أنها تنتشر في الهواء وفي الماء أيضاً

الموجات الثانوية : secondary waves وتعرف باسم SWaves وهي أبطأ من الموجات الأولية حيث تتحرك فيها الجزيئات عمودياً على خط انتشار الموجة ولا تنتشر إلا في الأوساط الصلبة فقط .

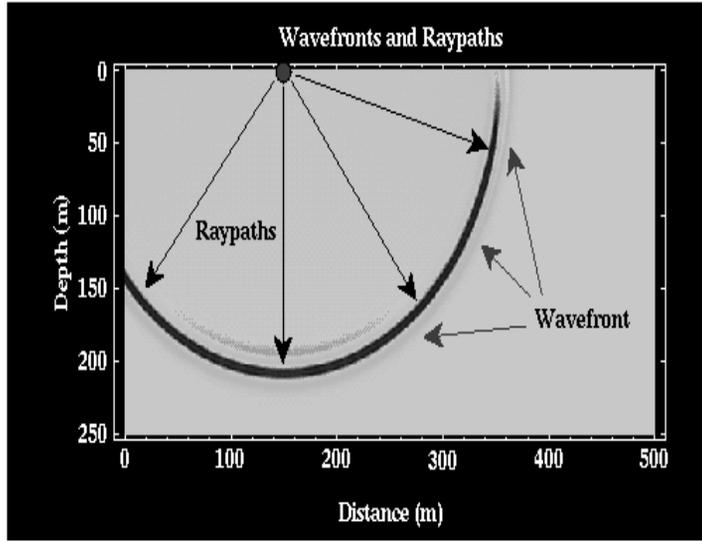
الموجات السطحية Surface waves: وهي الموجات التي تسري على سطح الأرض فقط .. ولو نلاحظ أن سعة الموجة amplitudes للموجات السطح يكون كبير جداً على السطح ويصغر كلما اتجهنا إلى العمق لذلك فإن هذه الموجات تضمحل أسياً مع العمق .. أيضاً تضمحل هذه الموجات كلما ابتعدنا عن المصدر .. وتعتبر هذه الموجات أقل سرعة من الموجات الثانوية ونستطيع التقليل من هذه الموجات بدفن المصادر في الأرض .. وتوضح الصورة التالية مقطع عرضي لانتشار الموجات السطحية



وكما هو الحال مع الموجات الجسمية فإننا نستطيع تصنيف الموجات السطحية إلى نوعين هما : موجات رالي Rayleigh waves وموجات لوف Love waves ويختلفان عن بعضهما في طريقة حركة الجزيئات... ولسنا هنا لتفصيل الاختلاف بينهما المهم في الأمر أن هذه الموجات تعتبر مصدر تشويش وإزعاج على الاستكشاف السيزمي لذلك فهي غير مرغوب فيها وكما ذكرنا سابقاً فإننا نستطيع التقليل منها بـدفن المصادر في الأرض

#### مسار الموجة و جهة الموجة Wavefronts and Raypaths

هذان المصطلحان يعبران عن عنصرين مهمين في عالم السيزمية حيث أن أي تغير في سلوكهما يدل على حدوث أمر ما أو تغير في الوسط الذي تنتقل فيه الموجات وتستطيعون مشاهدتهما من خلال الصورة التالية :



أولاً: Raypaths

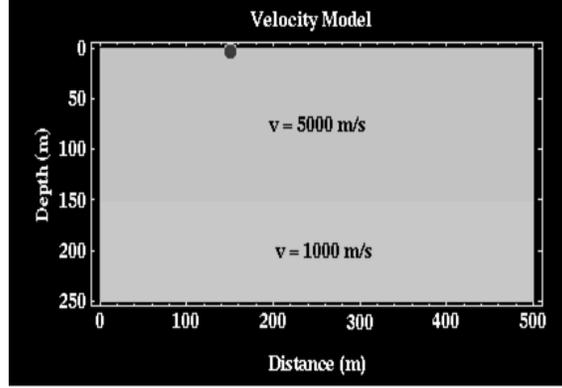
وهي عبارة عن عدد لانهاي من الخطوط الوهمية التي تمثل انتشار الموجات خلال الوسط وفي الصورة التيبالأعلى استخدمنا عدد بسيط من هذه الخطوط التي يمكن استخدامها جميعها .

ثانياً Wavefront:

وهو الخط الذي يصل بين نقاط الموجات التي لها نفس السلوك وعند زمن محدد ... وفي الصورة التي بالأعلى نلاحظ أن الـ Wavefront اتخذ الشكل الكروي أو الدائري... ونلاحظ أيضاً أن خطوط الـ Raypaths تكون عمودية على خط الـ Wavefront في هذه المثل نلاحظ مدى بساطة الـ Raypaths حيث أنه ينتشر في وسط متجانس ...

لكن ماذا سيحدث لهذا الـ Raypaths لو بدأنا بتطبيقه على النماذج الأرضية المعقدة حيث تختلف الأوساط وسرعاتها ..؟  
عرفنا كيف تتصرف الـ Raypaths إذا كانت الموجات تسري في وسط متجانس موحد السرعة... لكن ماذا سيحدث لخطوط الـ Raypaths إذا أصبحت الموجات تسري ضمن الطبقات الأرضية باختلاف سرعاتها.

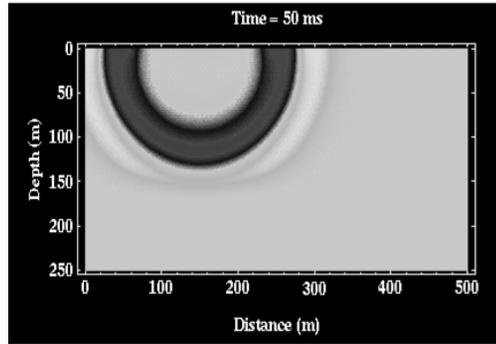
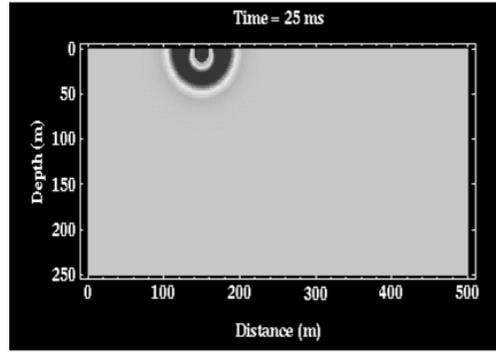
لاحظوا النموذج التالي:



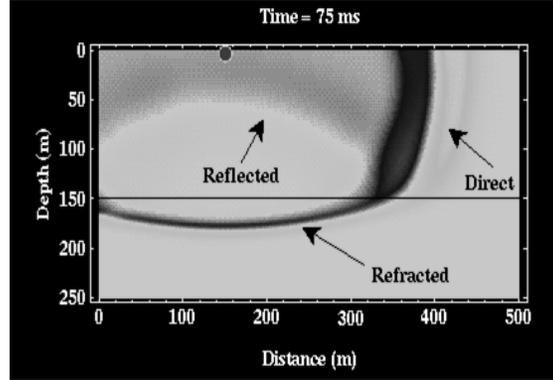
في هذا النموذج يتوضح لنا طبقتين صخريتين سرعة الطبقة الأولى 5000 متر\ثانية وسمكها 150 متر وسرعة الطبقة الثانية 1000 متر \ ثانية وسمكها 100 متر . فكيف ستتصرف خطوط الـ Raypaths عند سريان الموجات خلال هذه الطبقتين..؟ فتابعونا وكونوا معنا فهذا ماسنعرفه في هذا الرد.

عند انطلاق الموجات من المصدر ( النقطة الحمراء ) وانتشارها خلال الطبقة الأولى ستسلك خطوط الـ Raypaths نفس السلوك الذي سلكته في السابق حيث أنها لا زالت تسري في وسط متجانس ،، دعونا نرى كيف ستتصرف الموجات بعد مرور 25 ملي ثانية من انطلاقها من المصدر وبعد مرور 50 ملي ثانية وبعد مرور 75 ملي ثانية

..



الآن بدأ الموجات في الوصول إلى الحد الفاصل بين الطبقتين على عمق 150 متر لاحظ ما سيحدث .



أو بعد مرور 75 ملي ثانية بدأت الموجات بالتفاعل مع السطح الفاصل بين الطبقتين لكن ما نتيجة هذا التفاعل ..؟

جزء من الموجات استطاع اختراق السطح الفاصل منكسراً وهذا هو الجزء المستخدم في الدراسات الانكسارية، وجزء آخر انعكس مرتدداً عن السطح الفاصل وهذا هو الجزء المستخدم في الدراسات الانعكاسية والجزء الثالث استمر في سريانه خلال الطبقة الأولى دون أن يتفاعل مع السطح الفاصل بين الطبقتين ويعرف باسم الموجات المباشرة .. direct wave

ومما سبق نلاحظ التالي :

أن نصف قطر الـ Wavefront قد تغير عند وصولالموجات إلى الحد الفاصل بين الطبقتين .

أن الطول الموجي لأولى الموجاتالمنكسر أقصر من الطول الموجي للموجات المباشرة. لكن كيف عرفنا أن الطول الموجي قد تغير مع العمق وأصبح الطول الموجي للموجات المنكسرة أقصر من الطول الموجي للموجات المباشرة حتى نجيب على هذا التساؤل يجب علينا أن نعود ونسترجع العلاقة بين الطول الموجي والزمن الدوري وسرعة الموجات.

فقلنا أن :

$$C = \lambda \cdot T \text{ حيث أن}$$

$$C = \text{السرعة}$$

$$\lambda = \text{الطول الموجي}$$

$$T = \text{الزمن الدوري}$$

فإذا قمنا بتثبيت الزمن الدوري فإنهومن المؤكد ومع انخفاض لسرعة فإن الطول الموجي للموجة سوف يقصر .

الأمر الآخر هو تغير نصف قطر الـ Wavefront فهذا التغير يدل على وجود تغير في اتجاه خطوط الـ Raypaths ويصف لنا قانون سنل. Snell's Law. كيف وصف قانون سنل تغير اتجاه انتشار الموجات ...؟ ذكرنا أن القانون الذي يصف لنا تغير اتجاه خطوط الـ Raypaths هو قانون سنل. Snell's Law. فما هو هذا القانون ..؟

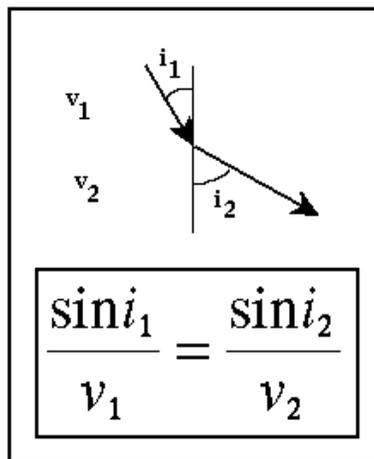
يوضح لنا قانون سنل العلاقة بين سرعات الموجات وزوايا سقوطها وانكسارها . في العادة تميل خطوط الـ Raypaths إلى الانتشار في خطوط مستقيمة مادامت تسري في وسط متجانس

لكن لو بدأت هذه الخطوط في التفاعل مع الحدود الفاصلة بين الطبقات فإنها ستبدأ بتغيير اتجاه مساراتها حسب قانون سنل .

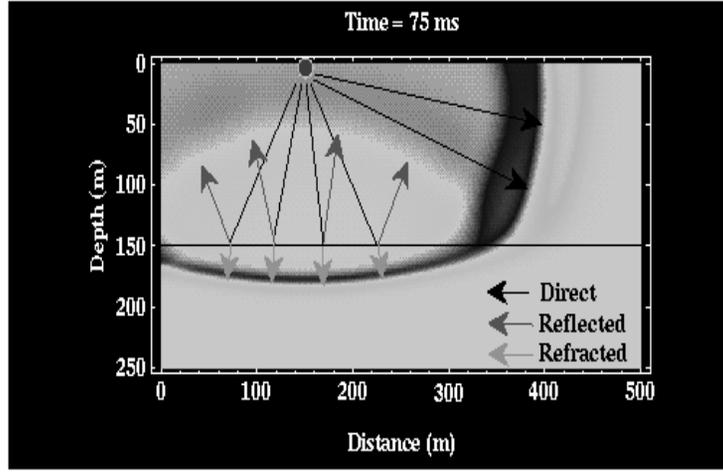
ويصف قانون سنل الطريق الذي تسلكه خطوط الـ Raypaths عند نقطتين ثابتتين وهي نقطة سقوط الموجات على السطح الفاصل ثم نقطة انكسارها بعد عبورها الوسط الفاصل .

في حالتنا هذه والتي ذكرناها في الرد السابق تسير خطوط الـ Raypaths في وسط عالي السرعة  $V_1$  منتقلة إلى وسط منخفض السرعة  $V_2$  ، الزاوية بين العمودي على الحد الفاصل للطبقة

وشعاع الـ Raypaths الساقط هي زاوية السقوط  $i_1$  والزاوية بين العمودي على الحد الفاصل بين الطبقتين وشعاع الـ Raypaths المنكسر هي زاوية الانكسار  $i_2$ . وهذا هو نص الرياضي للقانون سنل والذي يربط بين المعاملات السابقة ...



في المثال الموجود لدينا وبما أن السرعة تقل مع العمق فإن زوايا السقوط عادة تكون أكبر من زوايا الانكسار وهذا ما وضعه لنا خط الـ Wavefront كما في الصورة التالية



حيث أن تقوس الـ Wavefront في الطبقة الأولى أكبر من تقوسه في الطبقة الثانية ، ولكن ماذا سيحدث لو كانت السرعة تزداد مع العمق (  $V_2 > V_1$  ) كما سيأتي معنا لاحقاً .. ؟ يتوقع قانون سنل أن تكون زوايا السقوط أصغر من زوايا الانكسار حيث يظهر تقوس الـ Wavefront في الطبقة الثانية أكبر من تقوسه في الطبقة الأولى .

أيضاً يستطيع قانون سنل أن يتوقع لنا قيم زوايا الانعكاس وذلك بوضع  $V_2=V_1$  حيث أن شعاع الـ Raypaths سيكون في نفس الطبقة في هذه الحالة ستكون قيمة زاوية السقوط مساوية لقيمة زاوية الانعكاس وهذا ما وضعه لنا خط الـ Wavefront في الصورة التي بالأعلى.

ملاحظة أخيرة : توضح الصورة السابقة خطوطالموجات المنكسرة والمنعكسة والمباشرة وجميعها موجات جسمية Body waves ، ولو كنا نضع المستقبليات على سطح الأرض فإننا سنستقبل فقط الموجات المنعكسة والمباشرة أما الموجات المنكسرة فإنها قد تغلغت في العمق ولن نستطيع استقبالها على السطح .. لهذاالسبب ذكرنا سابقاً أن الطريقة الإنكسارية لا تعمل إذا كانت السرعة تقل مع العمق .

ومما سبق عرفنا كيف أن قانون سنل هو الذي يفسر لنا كيف تغير خطوط ال Raypaths اتجاهها وذلك بربط السرعات مع الزوايا .

لكن ما الذي يتحكم في سرعة انتشار الموجات عبر الأوساط المختلفة ،؟  
في الرد السابق لاحظنا كيف أن الموجات تنتشر بسرعات مختلفة في باطن الأرض ومن خلال الطبقات .

ونحن على السطح نقوم باستقبال هذه الموجات بسرعاتها المختلفة كما استقبلنا الموجات المنعكسة في الرد السابق.

لذلك وجب علينا أن نعرف ما علاقة سرعة الموجات بالمعاملات الفيزيائية للصخور والتربة التي تمر من خلالها لأننا أولاً وأخيراً سنستفيد من هذه الموجات في معرفة ما تحت سطح الأرض لو افترضنا أنه يوجد لدينا وسط متجانس, **homogeneous**, **isotropic** فإن سرعة الموجات الأولية P wave والموجات الثانوية S wave ستعطى بالعلاقات التالية:

$$V_p = \sqrt{\frac{(\frac{4}{3}\mu + k)}{\rho}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

حيث أن:

$V_p$  : سرعة الموجات الأولية

$V_s$  : سرعة الموجات الثانوية

$\rho$  : density of the medium كثافة الوسط

$\mu$  : Shear Modulus المعامل القص

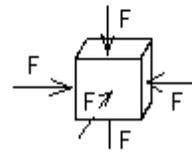
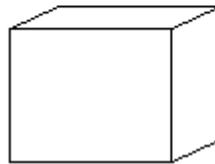
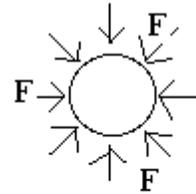
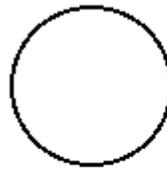
$K$  : Bulk Modulus المعامل الحجمي

ويعرف كلاً من معامل القص والمعامل الحجمي باسم معاملات المرنة elastic parameters .. فما هي هذه المعاملات ..؟ والتي كما لاحظنا من القانون السابق أن لها دور كبير في التحكم بسرعة الموجات .

أولاً : معامل الحجم Bulk Modulus والذي يعرف أيضاً باسم

the incompressibility of the medium ...

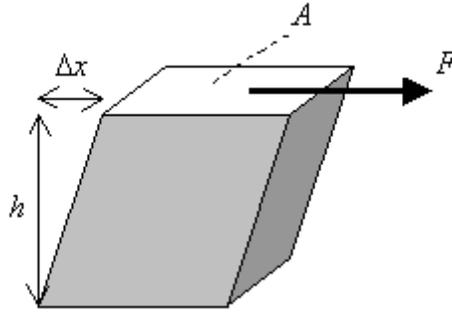
تخيل أنه يوجد بين يديك مكعب من مادة ما .. وقمت بالضغط على هذا المكعب وأثرت عليه بقوى من جميع الجهات .. كما في الشكل التالي :



فإذا انضغط المكعب بكل سهولة وتغير حجمه فإن المعامل الحجمي له صغير مقارنة بمكعب صلب لا ينضغط بسهولة حيث يكون المعامل الحجمي له كبير ..  
 مثال : المعامل الحجمي للغازات صغير جداً أما المعامل الحجمي للمواد الصلبة كبير جداً حيث أننا وسهولة يمكننا أن نضغط مكعب من الغاز إلا أنه ومن الصعوبة من الممكن أن تضغط على مكعب من الخشب وتصغر من حجمه .

ثانياً : معامل القص Shear Modulus

ويصف هذا المعامل مدى صعوبة تشويه المادة تحت تأثير قوة قصية.  
 مثال : أحضر مكعباً من مادة ما وليكن من الخشب مثلاً وضعه على سطح طاولة ما وقم بتثبيتته عليها .. ثم أثر على السطح العلوي للمكعب بقوة اتجاهها مواز لسطح الطاولة ، عندها سيتشوه المكعب ويظهر على شكل متوازي أضلاع كما في الشكل التالي:



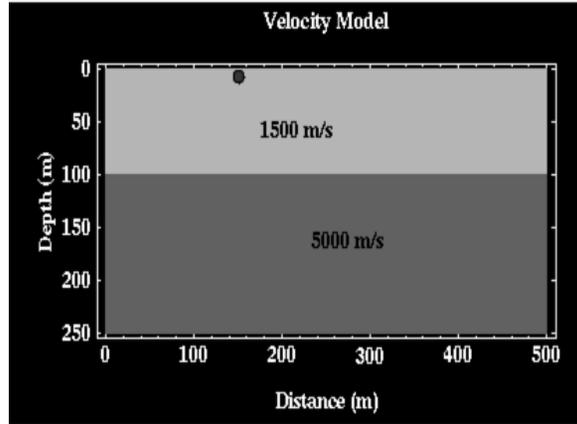
معامل القص يدل على مقدار القوة التي استعملتها لتشويه المكعب فلو كانت القوة كبيرة فإن معامل القص للمكعب كبير جداً وإذا كانت القوة بسيطة فإن معامل القص صغير جداً .

لاحظ أن معامل القص لا يدعم المواد السائل والغازية حيث انه من المستحيل التأثير عليها بقوة قص .

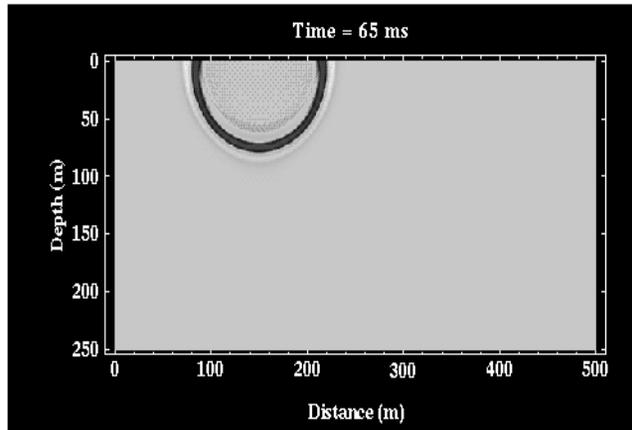
وبملاحظتنا للقانون الموضح في الأعلى فإن الموجات الثانوية لا تسري في الأوساط السائلة والغازية لأن قيم معاملات القص لها تساوي صفر وسرعة الموجات الثانوية تعتمد على معاملات القص فقط.

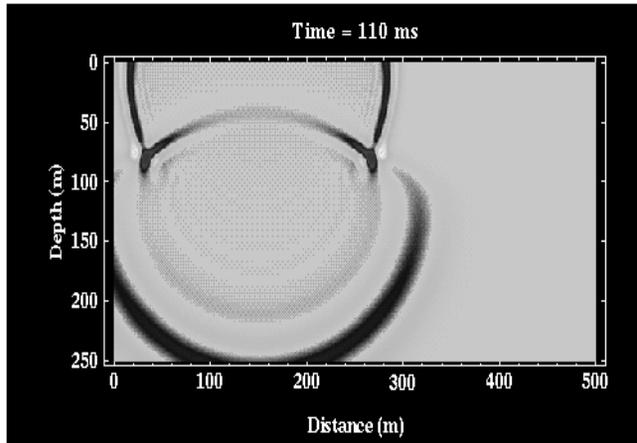
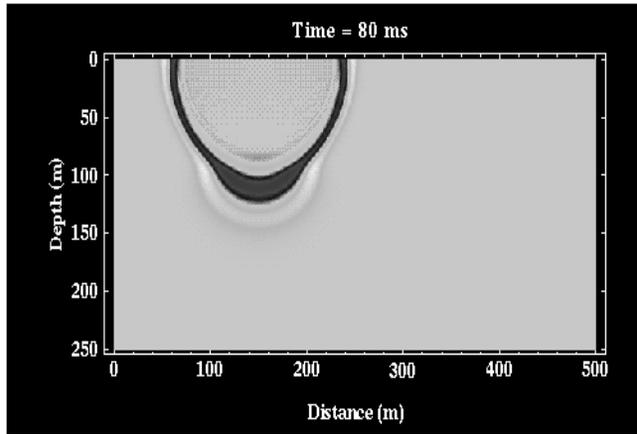
ومما سبق نعلم أن أي تغير في قيم المعاملات الفيزيائية للوسط ( معامل القص، المعامل الحجمي، والكثافة ) يؤدي إلى تغير سرعة الموجات المارة في الوسط..  
مثال : لو انتقلت الموجات من طبقة رملية غير مشبعة إلى طبقة أخرى مشبعة فإنه وبكل تأكيد ستتغير سرعة الموجات نتيجة لهذا الانتقال .. ويتحكم في ذلك كثافة الطبقة والمعاملات الحجمية لها .. حيث أن المسامات التي كانت مملوءة بالهواء أصبحت مملوءة بالماء ولو نلاحظ أن قيمة المعامل الحجمي للماء أكبر من قيمة المعامل الحجمي للهواء ..

وفي الواقع أن المعامل الحجمي هو العامل المتحكم في هذا المثال لذلك نجد أن التغير في سرعة الموجات الأولية يكون أكبر من التغير في سرعة الموجات الثانوية .  
خلال دراستنا السابقة كانت لدينا مجموعة من الأمثلة عن انتشار الموجات من المصدر إلى باطن الأرض حيث تكون الطبقات التي في الأعلى عالية السرعة في حين أن الطبقات التي في الأسفل منخفضة السرعة.  
وفي هذه الحالة كنا نستقبل على سطح الأرض الموجات المباشرة والمنعكسة فقط في حين أن التجربة كان يتولد عنها موجات منعكسة ومنكسرة ومباشرة.  
إذن ماذا سيحدث لو كانت الطبقات المنخفضة السرعة في الأعلى والطبقات العالية السرعة في الأسفل .. ؟ ( كما في الصورة التالية ) :



سنستعرض فيما يلي كيفية تصرف الموجات والسلوك الذي ستسلكه بعد 65 و 80 و 110 ملي ثانية.

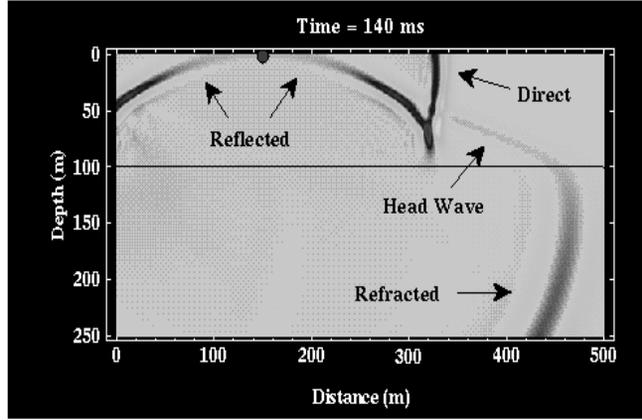




نلاحظ أن الصورة السابق تشبه تلك التي تحدثنا عنها عندما كانت الطبقات عالية السرعة فوق الطبقات المخفضة السرعة باستثناء تقوس الـ Wavefront حيث أن تقوس خط الـ Wavefront للموجات المنكسرة أشد من تقوس خط الـ Wavefront للموجات المباشرة في حين كان تقوسه في المرة السابقة أشد في الموجات المباشرة من الموجات المنكسرة ، من ذلك نستنتج أيضاً أن الطول الموجي للموجات قد اختلف عما أخذناه في السابق حيث أن الطول الموجي للموجات المنكسرة أصبح أكبر من الطول الموجي للموجات المباشرة .

لو دققنا النظر في الأشكال السابقة سنلاحظ أنه ومنذ 0 إلى 70 ملي ثانية كانت الموجات تسري في الطبقة العلوية وعند 80 ملي ثانية بدأت بالتفاعل مع الحد الفاصل بين الطبقتين حيث ارتد جزء من الموجات عن السطح الفاصل وهي الموجات المنعكسة والجزء الآخر اخترق الحد الفاصل وهي الموجات المنكسرة.

وإذا سمحنا للموجات بالانتشار أكثر داخل هاتين الطبقتين ستحدث لدينا ظاهرة مثيرة للغاية توضحها الصورة التالية .



في الصورة السابقة نلاحظ أن جزء من الموجات المنكسرة قد انتشر خلال الطبقة السفلية موازياً للحد الفاصل بين الطبقتين .. كذلك جزء من الموجات المباشرة انتشر ومن خلال الطبقة العلوية موازياً للحد الفاصل بين الطبقتين .. ومع مرور الوقت تبدأ الموجات المنكسرة في الظهور في الطبقة الأولى منتج موجد جديدة تعرف باسم الموجات الرأسية.

هذه الظاهرة لم تكن موجودة عندما كانت الطبقات العالية السرعة في الأعلى والسبب أن الموجات المنكسرة لم تكن لتنتشر بشكل موازي للحد الفاصل ولا كان لتظهر في الطبقة العلوية .. وقد ظهرت في حالتنا هذه بسبب التناسب بين انتشار الموجات المنكسرة والمنعكسة والمباشرة وتحركها بشكل أفقي في الطبقة العلوية .

وعند استقبالنا لهذه الموجات على سطح الأرض ستستقبل أجهزتنا الموجات المباشرة أولاً تليها الموجات المنعكسة .. هذا إذا كانت المسافات قصيرة بين المصدر والمستقبل . أما لو وضعنا المستقبلات على مسافات بعيدة عن المصدر فعند مسافة ما سوف تبدأ المستقبلات في استقبال الموجات المنكسرة (الرأسية) قبل الموجات المباشرة والمنعكسة .

إذن وفي حالة ما إذا كانت السرعة تزيد مع العمق فإن المستقبلات ستستقبل الموجات المباشرة أولاً إذا كانت المسافة بين المصدر والمستقبلات قصيرة أو لو كانت المسافة بين المصدر والمستقبلات كبيرة فإن الأجهزة ستستقبل الموجات الرأسية Head waves أولاً وهذا هو الأساس في المسح بالطريقة السيزمية الانكسارية

لكن ماهي الموجات الرأسية والتي تعتبر الأساس للطريقة السيزمية الانكسارية فكيف ظهرت وماهي مميزاتاها ..؟

في عمليات المسح السيزمي الانكسارية نهتم بدراسة زمن أولى الموجات وصولاً بالإضافة إلى المسافات بين المصادر والمستقبلات .

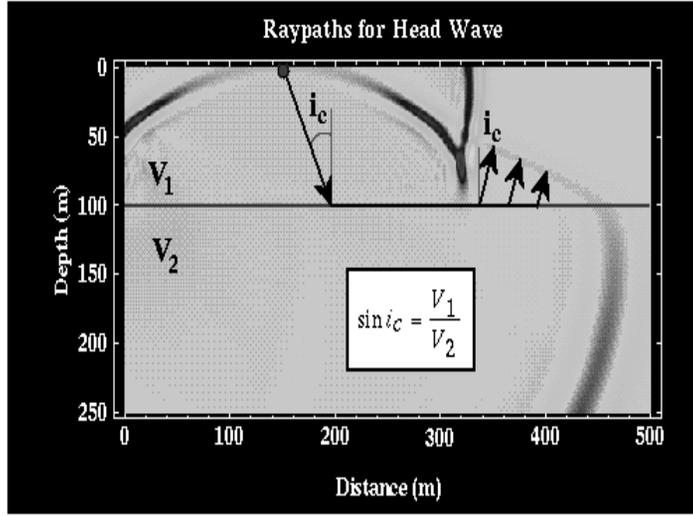
وفي الطريقة الإنكسارية تكون أولى الموجات وصولاً هي الموجات المباشرة أو الموجات الرأسية.

إذن سنهتم بدراسة زمن وصولها تين الموجتين .

إن حساب زمن وصول الموجات المباشرة بسيط نسبياً فهو عبارة عن المسافة الأفقية بين المصدر والمستقبل مقسومة على السرعة.

ولحساب زمن وصول الموجات الرأسية فإننا نحتاج أولاً إلى معرفة الطريق الذي تسلكه هذه الموجات .

ويمكن أن توضح لنا خطوط الـ raypath الطريق الذي تسلكه الموجات الرأسية بالتعاون مع قانون سنل ... نحن نعلم أن خطوط الـ Raypaths تكون عادة عمودية على الـ Wavefronts وفي الصورة التالية قمنا برسم ثلاثة من خطوط الـ Raypaths الخارجة من الطبقة السفلية إلى الطبقة العلوية مروراً بالحد الفاصل بين الطبقتين وسنرمز للزاوية بين هذه الخطوط والعمودي على الحد الفاصل بالرمز  $i$  .



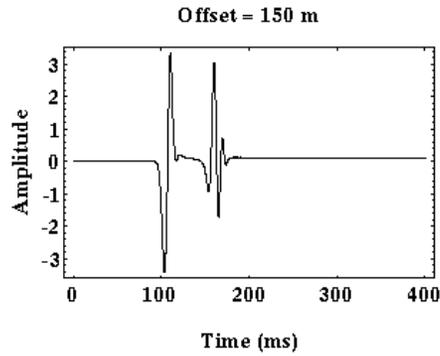
ولو قمنا باستبدال  $i_c$  مكان  $i_1$  في قانون سنل وبالطبع ستكون قيمة  $i_2$  تساوي 90 درجة .. سنستطيع عندها حساب زاوية السقوط التي تكون عندها زاوية الانكسار تساوي 90 درجة وتسمى زاوية السقوط هذه باسم الزاوية الحرجة **critical angle** وهذه هي زاوية سقوط الـ Raypaths الممثل للموجة الرأسية .. باختصار شديد فإن السلوك الذي تسلكه الموجات الرأسية والذي وضحته لنا خطوط الـ Raypaths يتمثل في الآتي انطلاق الموجات من المصدر و مرورها خلال الطبقة الأولى وبسرعة الطبقة الأولى ثم تسقط بزاوية حرجة على الحد الفاصل بين الطبقتين وتنكسر لتسري أفقياً في الطبقة الثانية وبسرعة الطبقة الثانية ثم تعود إلى الطبقة الأولى وتمر من خلالها بسرعتها لتستقبلها المستقبلات على السطح .

وبالرغم أن الموجات الرأسية تسافر عبرمسافة أطول من تلك التي تقطعها الموجات المباشرة direct arrival إلا أنها تصل قبلها في بعض المسافات والسبب في ذلك أنها تزيد من سرعتها خلال مرورها في الطبقة الثانية ولذلك فإننا نسجلها أحياناً قبل أن نسجل الموجات المباشرة... فكيف تتم عملية تسجيل البيانات ..؟ تسجيل الحركات الأرضية حتى الآن عرفنا كيف تنتشر الموجات في باطن الأرض وكيف تتفاعل مع الحدود الفاصلة بين الطبقات.

فالبعض منها ينطلق عبر الطبقة الأولى دون أن يتفاعل مع الحد الفاصل، والبعض الآخر ينعكس مرتداً عن الحد الفاصل والبعض الآخر يعبره منكسراً وعائداً إلينا على شكل موجات رأسية ... ولكم كيف نسجل هذه الموجات ...؟

من المعلوم لدينا أن الموجات تنتشر في جميع الاتجاهات ولكننا وللأسف الشديد لا نستطيع تسجيلها كلها .. ولذلك فإننا نكتفي بتسجيل تلك الموجات التي تصل إلينا على السطحوفي منطقة محددة ...وفي الواقع أن ما نسجله هو عبارة عن الحركات الأرضية الناشئة عن الموجات التي قمنا بإصدارها...ونستطيع أن نستقبل هذه الحركات بواسطة geophones أو as seismometers

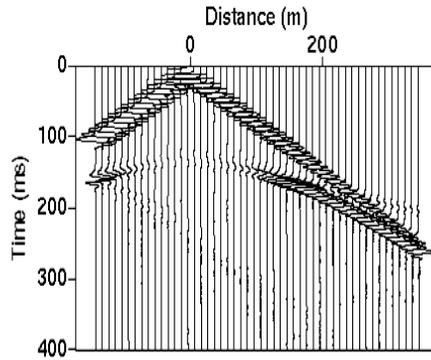
وستحدث عن هذه الآلات بالتفصيل لاحقاً و خلاصة القول اننا نستطيع تسجيل ودراسة الحركات الأرضية الناتجة عن مصادرنا الزلزالية ونستقبلها على الشكل التالي :



وفي هذا الشكل مثل المحور الأفقي التغير في الزمن مع انتشارالموجات ويمثل المحور القائم ( الصادي ) التغير في الطول الموجي للموجة أما الخط المتعرج فهو يمثل الحركة الأرضية ويطلق عليه اسم... seismogram في الشكل الموجود لدينا نلاحظ أن أول تغير في خط الـ seismogram تم عند 100 ملي ثانية تلاه تغير آخر حدث بعد 150 ملي ثانية هذه التغيرات تدل على بداية استقبال الموجات ..

ولكن ماهي هذه الموجات .. ؟ فنحن نعلم أن الموجات المباشرة هي أولى الموجات وصولاً إلا أنه وفي بعض الأحيان تكون الموجات الرأسية هي أولى الموجات وصولاً .. فكيف أستطيع تحديد نوع الموجة المُستقبلة ...؟

من المستحيل معرفة طبيعة الموجة المستقبلة من خلال قراءة واحدة فأنا أحتاج للعديد من القراءات لتحديد نوع هذه الموجات.. لذلك نقوم بعمل مجموعة من القراءات المختلفة وفي نفس الوقت ونقوم بوضعها على الصورة التالية ..

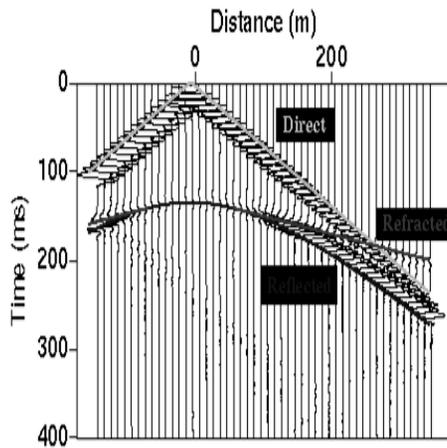


وفي هذا الشكل يمثل المحور الأفقي المسافة بين المصدر والمستقبلات.. ويمثل المحور الرأسي التغير في الزمن مع انتشار الموجات ... ويمثل كل خط من خطوط الseismogram الحركة الأرضية التي استقبلها المستقبل الموجود عند نفس الموقع .

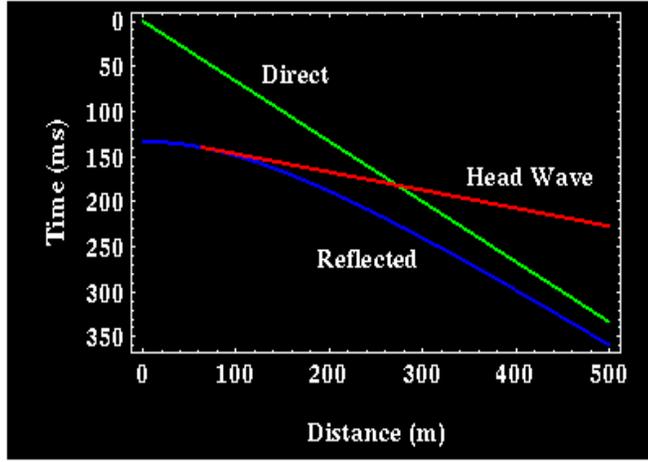
مثال : الخط الموجود على بعد 200 متر من المصدر يمثل الحركة الأرضية التي استقبلها المستقبل الموجود عند 200 متر ..

وهكذا .. بعد ذلك قمنا بجمع جميع البيانات التي استقبلناها ووضعناها على الشكل الذي ترونه بالأعلى والذي يعرف باسم.. shot records ومن مميزات وضع البيانات بهذا الشكل أنه ساعدنا على تحديد زمن أولى الموجات وصولاً بالإضافة إلى المسافات التي نستقبل عندها هذه الموجات.

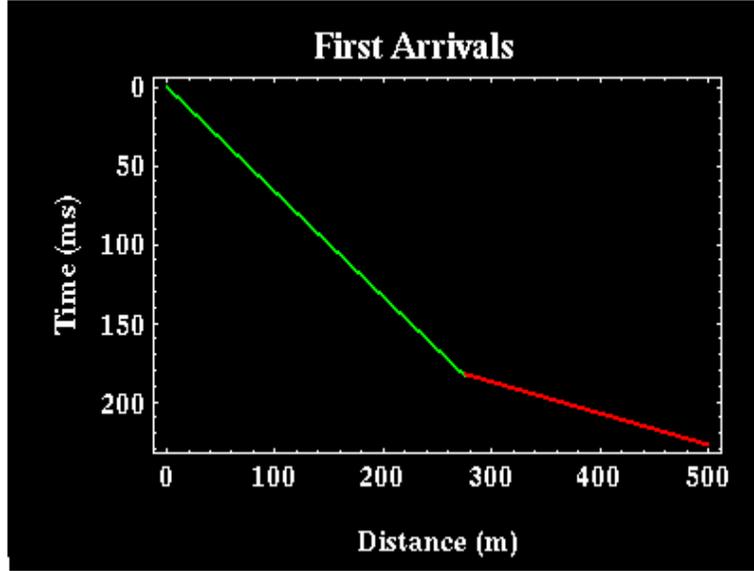
لو نلاحظ أنه كلما ابتعدت المسافة عن المصدر كلما تأخر زمن وصول الموجات .. هذا الاختلاف في الوقت مقابل المسافة يسمى moveout وإذا كان التغير في الـ moveout كبير فإنه سيظهر على الـ shot records على شكل خط شديد الميل في حين إذا كان التغير صغير فسيظهر على شكل خط بسيط الانحدار كيف نستطيع تحديد أنواع الموجات بواسطة الـ ... shot records ؟ لاحظ الشكل التالي .



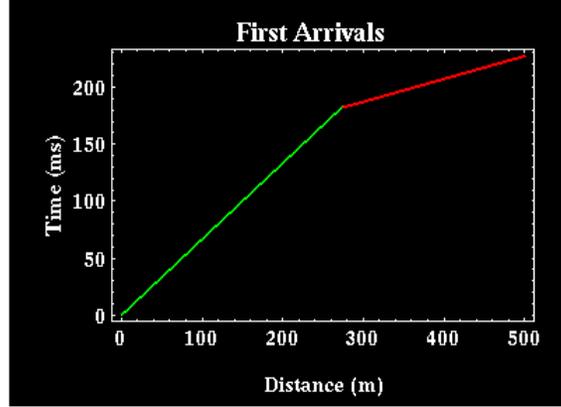
كما ذكرنا سابقاً أن الموجات المباشرة ستكون أولى الموجات وصولاً وبالذات عند المستقبلات القريبة من المصدر ... وتظهر هذه الموجات على shot records بطول موجي عالي ويكون الـ moveout لها كبير وثابت ... في المثال الموجود لدينا يمتد الخط المستقيم الممثل direct arrival حتى مسافة 275 متر من المصدر وبعد 275 متر يظهر لدينا خط ، الطول الموجي له قصير بعض الشيء والـ moveout صغير وثابت وميل هذا الخط أقل بكثير من ميل خط الـ direct arrival أيضاً يوضح لنا الـ shot records أن آخر الموجات وصولاً وعند جميع النقاط هي الموجات المنعكسة ... reflected arrival ونلاحظ ان الـ moveout للـ reflected arrival غير ثابت حيث يساوي صفر عند المصدر وتقترب قيمته من الـ direct arrival على بعد مسافات كبيرة من المصدر .. وعند رسم العلاقة بين زمن أولى الموجات وصولاً مع المسافات بين المصدر والمستقبلات يطلق على الشكل اسم-travel time curves ويظهر على الصورة التالية ..



ونستطيع من خلال الشكل السابق تحديد الـ first arrival عند كل نقطة استقبال ..  
 فلو نلاحظ أن الـ first arrival من المصدر وحتى مسافة 275 متر يمثل الـ direct  
 wave أما بعد الـ 275 متر فإن الـ first arrival يمثل الـ head wave .  
 سنأتي بالـ travel-time curve ونركز على أولى الموجات وصولاً ، بمعنى آخر نحدد  
 نوع أولى الموجات التي استقبلتها المستقبلات .. فهذا هو لب الطريقة الانكسارية  
 التركيز على زمن أولى الموجات وصولاً وربطها بالمسافة بين المستقبلات و المصدر  
 وسيظهر الـ Plotting كما في الشكل التالي ..

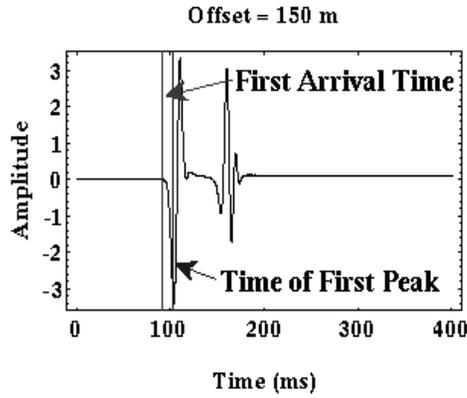


في الطريقة الانعكاسية نلاحظ ان الموجات تتغلغل إلى العمق لذلك فالزمن يتغير بتغلغل الموجات إلى أسفل ثم ارتدادها. أما في الطريقة الانكسارية فالموجات تنكسرتعود إلينا مرة أخرى فلذلك التغير في الزمن يكون مع صعود الموجات إلى أعلى وعلى هذا الافتراض قمنا بتغيير الشكل السابق على اعتبار ان الزمن يتغير كلما توجهنا إلى أعلى على الصورة التالية ...



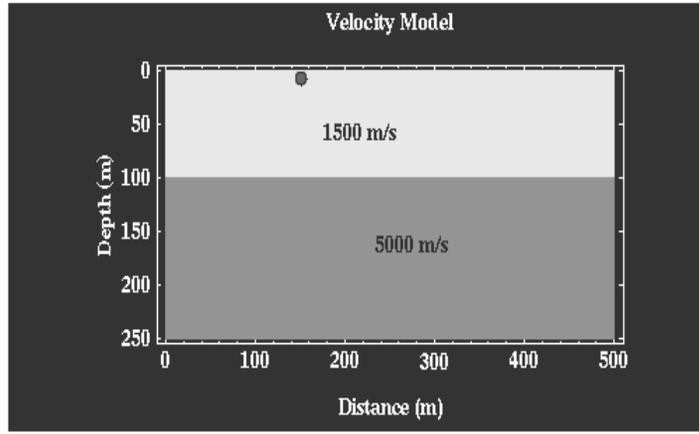
وفي الواقع انه لا يوجد فرق بين الشكلين السابقين إلا أننا سنستخدم النموذج الذي يتغير فيه الوقت كلما اتجهنا إلى أعلى .. وفي الشكل السابق نلاحظ أن ال-travel time curve وضح لنا زمن وصول أولى الموجات بخطين مستقيمين متقاطعين .. الخط الأخضر يمثل وصول الموجات المباشرة direct arrival والخط الأحمر يمثل وصول الموجات المنكسرة refracted arrival ونستطيع التمييز بين الخطين بواسطة اختلاف ميل كل منهما . وتسمى النقطة التي يتقاطع عندها الخطين باسم crossover distance وبعد هذه النقطة تبدأ الموجات المباشرة بالاختفاء لتكون الموجات المنكسرة هي أولى الموجات وصولاً ... كيف استطعنا تحديد ال-First Arrivals من ال-shot records ؟ كما ذكرنا في الردود السابقة أن ال-shot records عبارة عن مجموعة من ال-

seismograms التي تم تسجيلها من مسافات مختلفة من المصدر .. لذلك فنحن عندنا تحديدنا للـ First Arrivals من shot records يجب أن نحدد أولاً في الـ seismograms وذلك بتحديد الزمن الذي يحدث عنده أول تغير في حركة الـ seismograms لاحظ الشكل التالي حيث يحدد الخط الأحمر زمن أول تغير في خط .seismograms



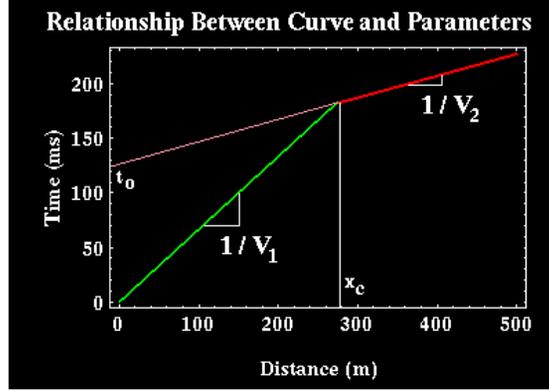
وفي الواقع ان تحديد زمن أول تغير على هذا الـ seismograms سهل جداً حيث لا يوجد أي تغير عليه قبل هذا الوقت المشار إليه بالخط الأحمر ... لكن ماذا لو وجد بعض المصادر المشوشة على الـ seismograms والتي سوف نتحدث عنها لاحقاً ..؟ سيؤدي ذلك إلى صعوبة في تحديد الـ First Arrival

وفي العادة نفضل نحن الجيوفيزيائيين اختيار أول قمة بعد التغير الأول كما هو موضح بالخط الأزرق في الشكل الموجود أعلاه .. الآن وبعد أن عرفنا كيفية رسم الـ **first arrival travel-time curves** ... فكيف يمكننا الاستفادة من هذا الـ **curve** في تحديد التركيب الموجود لدينا تحت سطح الأرض .. لو افترضنا أن شكل التركيب الموجود لدينا كالتالي:



عبارة عن طبقتين سرعة الطبقة الأولى أبطأ من الطبقة الثانية (single layer over halfspace) والسطح الفاصل بينهما عبارة عن خط أفقي.

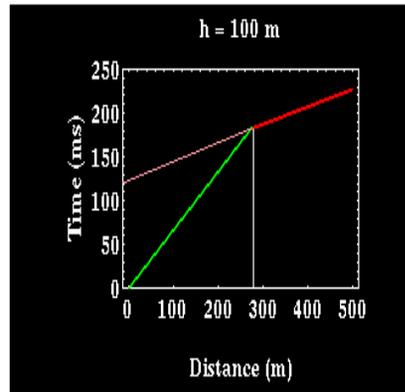
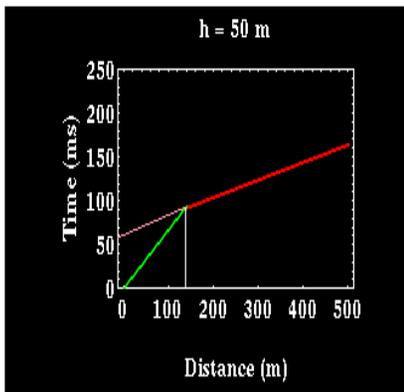
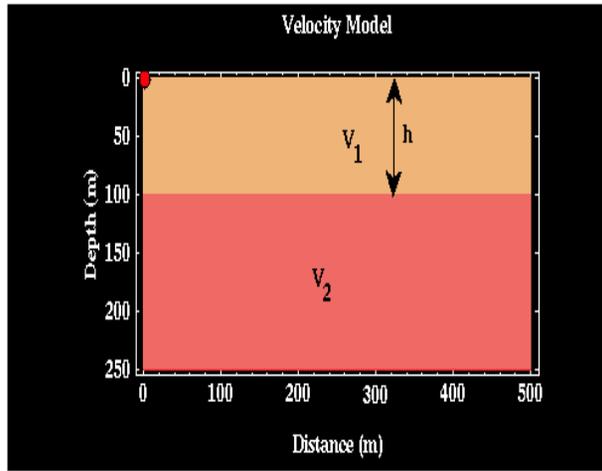
فكيف سيكون شكل الـ **first arrival travel-time curves** لهذا التركيب .. ؟  
سيكون على الصورة التالية :



دعونا نركز على دراسة الخط الأخضر الموجود في الـ curve ، يمثل هذا الخط أولى الموجات وصولاً إلى المستقبلات وهي في الواقع الموجات المباشرة وهي تلك التي عبرت من خلال الطبقة الأولى دون أن تتفاعل مع الحد الفاصل بين الطبقتين ... لو دققنا النظر فسنجد أن هذا الـ curve يوضح العلاقة بين المسافات والزمن .. لذلك فمن خلال الخط الأخضر نستطيع تحديد سرعة الموجات المباشرة وذلك بقسمة المسافة بين المستقبل والمصدر على زمن وصول الموجات .. وفي المقابل نستطيع تحديد سرعة وصول إلى أي مستقبل من المستقبلات بتحديد بعده عن المصدر وزمن وصول أولى الموجات إليه .

إذن من السهل جداً تحديد سرعة الموجات بواسطة هذه الخطوط وذلك بتحديد ميلها ثم إيجاد مقلوب أو معكوس الميل لإيجاد سرعة سريان الموجة خلال الطبقة .. وبنفس الطريقة بالنسبة للخط الأحمر حيث يمكننا ومن خلاله تحديد سرعة الطبقة الثانية فهو يمثل الموجات الرأسية head wave وهي تلك التي صعدت إلينا بعد مررها من خلال الطبقة الثانية حاملة سرعتها.

إذن ومن خلال الـ first arrival travel-time curves استطعنا تحديد عدد الطبقات الموجودة لدينا بالإضافة إلى سرعة انتشار الموجات في كل منها .



نستطيع أيضاً ومن خلال first arrival travel time curves تحديد سمك الطبقات  
..في المثل الموجود لدينا ، سمك الطبقة الأولى حوالي 100 متروسمك الطبقة الثانية  
150 متر فكيف نستطيع معرفة ذلك من خلال first arrival travel time curves.  
هل عن طريق دراسة ميل الخطوط الموجودة لدينا ..؟  
طبعاً لا ، لأن الميل يوضح لنا سرعة انتشار الموجات من خلال الطبقات.. لو كان عندنا  
models 2 ،، في ال model الأول كان سمك الطبقة الأولى 100 متر ... وفي ال model  
الثاني سمك الطبقة الأولى 50 متر .. هل تتوقع أن يظهر الخط الأحمر الممثل Head  
wave سريعاً أم أنه سيتأخر في الظهور أو أنه سيظهر في نفس الوقت ..؟  
نلاحظ في الشكل السابق أن الخط الأحمر ظهر سريعاً عندما كان سمك الطبقة 50 متر  
مما أثر على طول الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرة direct wave فيحين أنه  
ظهر متأخراً عندما كان سمك الطبقة 100 متر مما جعل الخط الأخضر أطول بعض  
الشيء . لكن لماذا ..؟  
فيما سبق ذكرنا أن الموجات الرأسية head wave تسري من المصدر وتهمر من خلال  
الطبقة الأولى حتى تصل إلى الحد الفاصل بين الطبقتين ثم تسري أفقياً خلال الطبقة  
الثانية وتعود إلى الطبقة الأولى .

لذلك فإنما يحكم زمن وصولها هو المسافة التي تقطعها حتى تصل إلى المستقبلات فإذا كانت المسافة قصيرة كما في الـ model الأول حيث كان سمك الطبقة 50 متر فوصلت الموجات الرأسية سريعاً وانعكس ذلك على طول الخط الأخضر الممثل للموجات الأولية direct wave حيث ظهر قصيراً في الحالة الأولى وازداد طوله في الـ model الثاني حيث زادت المسافة التي تقطعها الموجات الرأسية إلى 100 متر مما أدى إلى ظهورها متأخرة .

ونستطيع تحديد المكان الذي ستظهر فيه الموجة الرأسية بواسطة معاملين مهمين :  
المعامل الأول: هو (xc) cross-over distance وهو تقاطع الخط الأبيض مع محور المسافة تمثل تلك القيمة المسافة التي تكون عندها الموجات الرأسية Head wave أولى الموجات وصولاً first arrival

المعامل الثاني: هو (to) zero-offset time وهو تقاطع الخط الوردي مع المحور الرأسي الممثل للزمن والموضح في الـ plots الموجود بالأعلى ... وهذه هي قيمة الزمن الذي تكون عندها الموجات الرأسية Head wave هي أولى الموجات وصولاً ..

من حيث المبدأ يمكننا حساب كلاً من هذين المعاملين ، لكن عملياً فإن ال-zero offset time هو الأكثر شيوعاً في الاستخدام وذلك لسهولة قياسه .. وهكذا بقياس xc أو to فإننا نستطيع حساب سمك الطبقة h وذلك وفقاً للقوانين التالية ...

$$h = \frac{t_o V_2 V_1}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}$$

**or**

$$h = \frac{x_c}{2} \left( \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \right)^{1/2}$$

حيث أن :

h: سمك الطبقة

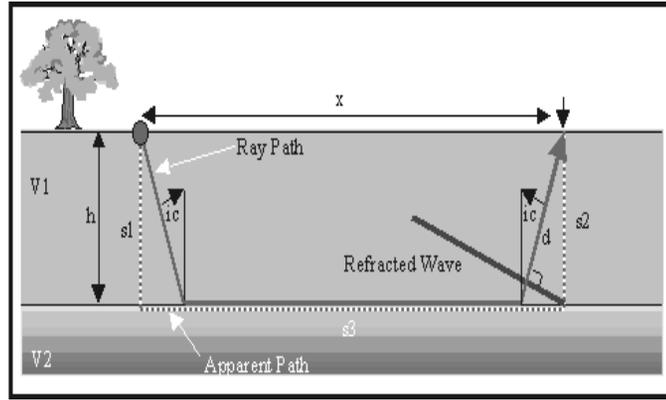
V1 : سرعة الطبقة الاولى

V2 : سرعة الطبقة الثانية

zero-offset time: t0

crossover distance : xc

وبتحديدنا لسمك الطبقة عرفنا تقريباً جزءاً من المسافة التي تقطعها  
الموجات الرأسية Head wave في رحلتها حتى تصل إلينا على السطح حاملة إلينا  
المعلومات عن التراكيب الموجودة تحت الأرض ... لكن ما هي تفاصيل هذه الرحلة  
..؟ وكم من الوقت تستغرقه هذه الموجات حتى تصل إلينا ..؟  
لاحظ الصورة التالية..



هذه الصورة توضح مسار ال raypath للموجات الرأسية head wave ابتداءً من  
المصدر وحتى المستقبل  
لو أردنا حساب الزمن الذي تستغرقه هذه الموجة حتى تصل إلى المستقبل فنستخدم  
المعادلة التالية:

$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2V_1}$$

نحن نعلم أن الزمن = المسافة ÷ السرعة ومن ذلك نستطيع حساب الزمن الذي تستغرقه الموجات منذ انطلاقها من المصدر وحتى وصولها إلى السطح الفاصل بين الطبقتين S1 ثم عبورها خلال الطبقة الثانية S3 ومن ثم عودتها إلى المستقبلات S2 وذلك على النحو التالي:

$$t_T = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{s_1}{V_1} + \frac{s_2}{V_2} + \frac{s_3}{V_1}$$

في الصورة السابقة يوجد خطأ في كتابة المعادلة حيث أن S2 يجب أن تحل محل .

S3

ومن الصورة الموجودة في بداية الرد فإن الزمن الذي تستغرقه الموجات من انطلاقها من المصدر وحتى وصولها إلى السطح الفاصل يساوي نفس الزمن الذي تستغرقه الموجات من عودتها من الطبقة الثانية وحتى تصل إلى المستقبل .

إذن

$$t_1 = t_3 = \frac{d}{V_1} = \frac{h \cos i_c}{V_1}$$

والزمن الذي تستغرقه الموجات أثناء مرورها في الطبقة الثانية يكون على الشكل

التالي:

$$t_2 = \frac{x}{V_2}$$

إذن يكون زمن الرحلة الكلي للموجات الرأسية head wave

$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h \cos i_c}{V_1}$$

ومن قانون سنل فإن :

$$\cos i_c = \frac{1}{V_2} \sqrt{V_2^2 - V_1^2}$$

وبذلك يصبح القانون على النحو التالي :

$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h \sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 V_1}$$

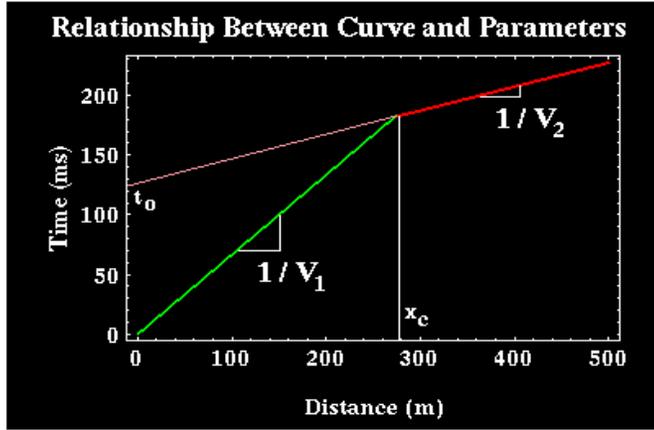
لو تلاحظوا أن المعادلة السابقة عبارة عن معادلة خط مستقيم

$$v = a + b$$

حيث أن  $a$  هي قيمة الميل وهي في المعادلة عبارة عن  $1/V_2$  وبتعبير عن الجزء

المقطوع من المحور  $v$  وهي عبارة عن  $t_0$  التي اتكلمنا عنها في الردود السابقة.

ولو لاحظنا الشكل التالي:



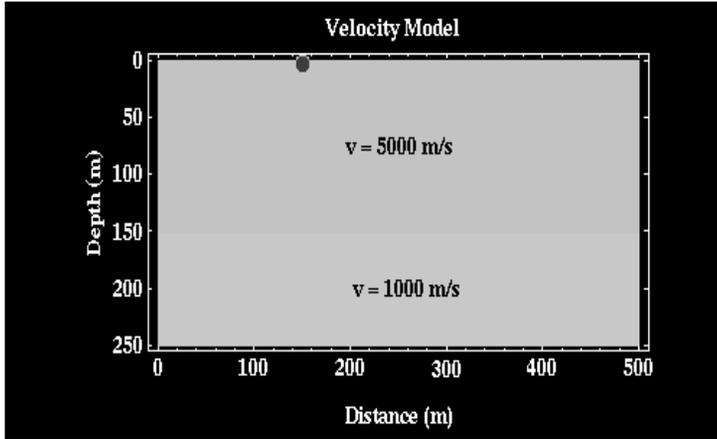
نلاحظ أن الخط الأحمر هو الذي يمثل الموجات الرأسية ومعادلة هذا الخط تعبر عن

زمن الرحلة للموجات الرأسية.

في النموذج السابق تعرفنا على نموذج بسيط يوضح كيفية تفاعل الموجات مع السطح

الفاصل بين طبقتين بحيث تزداد السرعة مع العمق .

وتعرفنا على الموجات الرأسية head wave وسبب ظهورها وكيفية الاستفادة منها .  
 وعرفنا كيفية تحليل البيانات بالطريقة الانكسارية وذلك بتحديد زمن وصول أولى  
 الموجات ومن ثم إيجاد عدد الطبقات وسرعة كل طبقة وسمكها  
 لكن ماذا لو كانت السرعة تقل مع العمق كم في الشكل التالي :



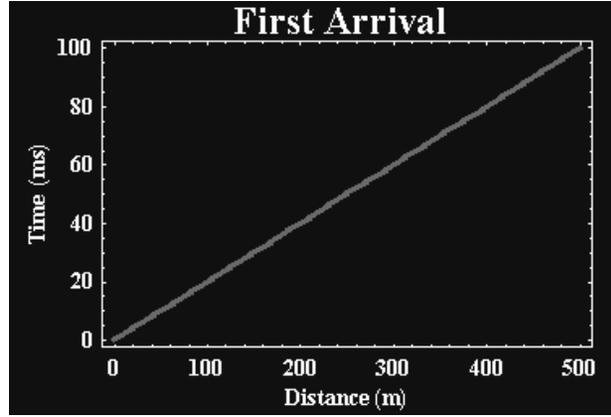
فكيف تتفاعل الموجات مع السطح الفاصل بين الطبقتين .  
 يكون التفاعل كما في الصورة التالية .

لاحظ أنه وفي هذه الحالة لم تظهر لدينا الموجات الرأسية .

إذن كيف سيكون شكل الـ travel-time curve ؟

سيظهر لنا الـ travel-time curve نوع واحد من الموجات لأنه لم يستقبل سواها كما

في الشكل التالي :



هذا الخط يمثل الطبقة الأولى فقط ويدل على الموجات المباشرة التي استقبلتها المستقبلات .

من هنا نعلم أنه لا يمكننا الاستفادة من الطريقة الانكسارية إذا كنت السرعة تقل مع العمق .. إذ أننا لا نحصل على أي معلومات عن الطبقة الثانية .

ومن أكثر المصادر استعمالاً :

1- Impact Sources: وتعتبر المطرقة الثقيلة من أكثر هذه المصادر استعمالاً حيث

يوضع قرص معدني على الأرض ويضرب بواسطة المطرقة توصل بنظام التسجيل

حيث يتم تسجيل الموجات الصادرة عنها عن طريق الجيوفون.

من مميزات هذا المصدر أنه بسيط وسهل الاستخدام من عيوبه أن العملية تتم

يدوياً ولاتنتج الكثير من الطاقة ويولد الكثير من الموجات السطحية.

2-Gun Sources: وهي عبارة عن طلقات تطلق على الأرض حيث تتحول الطاقة

الحركية إلى طاقة زلزالية .

وكما في المطرقة الثقيلة يكون هذا المصدر متصل بنظام التسجيل لتسجيل زمن انطلاق

الموجات واستقبالها بواسطة الجيوفون.

ومن مميزات هذا المصدر أنه لا يولد الكثير من الموجات السطحية وينتج الكثير من

الطاقة

ومن سلبياته أن تكاليف استخدامه مرتفعة مقارنة بالمطرقة الثقيلة إضافة إلى حاجتك

إلى تصريح لاستخدام هذا النوع من الأجهزة.

3- Explosive Sources وتنتج هذه المصادر المتفجرة كمية كبيرة من الطاقة وهي عبارة عن صندوق يحتوي على المادة المتفجرة ثم يقذف بطلقات تؤدي إلى تفجيره . وكما في المصادر السابقة يرتبط هذا المصدر بنظام التسجيل ليتم تسجيل زمن انطلاق الموجات واستقبالها بواسطة الجيوفونات..

ومن مميزات هذا المصدر أنها تنتج كمية كبيرة من الطاقة مقارنة بالمصادر السابقة ولا تنتج الكثير من الموجات السطحية ..

ومن مساؤها أنها خطيرة بعض الشيء وتستغرق البيانات الصادرة عن هذا المصدر وقتاً حتى تصل إلى نظام التسجيل مقارنة بالمصادر الأخرى

الجيوفونات Geophones



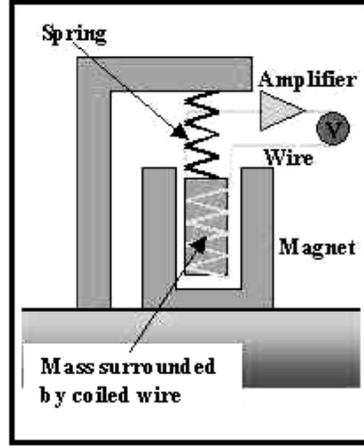
وتوضح الصورة السابقة أحد أنواع الجيوفونات وكما تلاحظون فهو مزود بمسمار صغير لتثبيت الجيوفون في الأرض.

وهذه أنواع أخرى من الجيوفونات:

ولو تلاحظوا أنه هناك نوع من غير مسمار التثبيت وهذا مخصص للأسطح الصلبة.

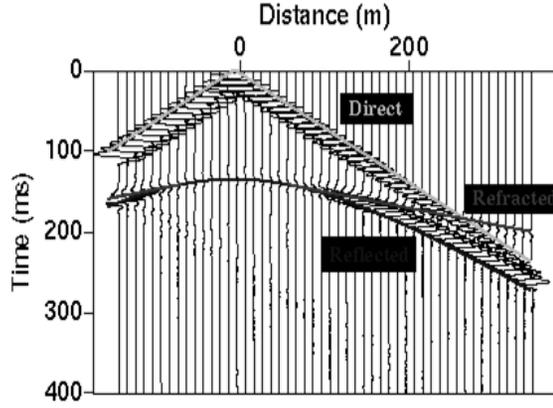
لكن ماهو مبدأ عمل هذه الجيوفونات .. ؟

في الواقع إن فكرة عمل الجيوفون جداً بسيطة .. ( لاحظوا الصورة التالية )



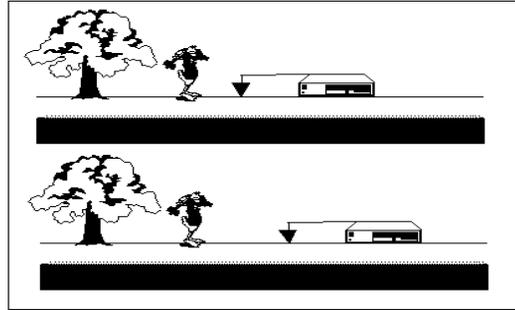
وبتدقيق النظر في الشكل السابق سنجد أن الجيوفون يتكون من كتلة مرنة قابلة للإهتزاز مع حركة الأرض واهتزازها .. ويحيط بهذه الكتلة سلك معدني. ويحيط بالكتلة والسلك مغناطيس صغير مولد للمجال المغناطيسي. وعند اهتزاز الكتلة يبدأ السلك بتقطيع خطوط المجال فيتولد فيه تيار كهربائي يسجله نظام التسجيل .. شكل البيانات اللي كنا بنستقبلها بواسطة الجيوفونات ..؟

كانت تظهر على الشكل التالي :

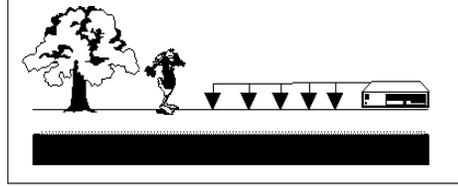


كل خط من هذه الخطوط الموجودة في الصورة السابقة يتم استقباله بواسطة جيوفون .

لكن هل يتم زرع الجيوفونات على النحو التالي :



لاحظوا أنه ثبت المصدر .. وغير مكان الجيوفونات في كل مرة ..  
في الواقع يمكننا عمل التجربة السابقة على الصورة التالية ..



بدون الحاجة إلى استخدام جيوفون واحد وتغيير موقعه في كل مرة.  
بل نستخدم مجموعة من الجيوفونات ونزرعها في نفس الوقت فتعطينا نفس البيانات  
.

نظام تسجيل البيانات السيزمية

Seismic Recording Systems

هذا النظام يقوم بتسجيل الإشارات الكهربائية التي تطلقها الجيوفونات ويتصل معها  
بواسطة أسلاك كهربائية كما في الصورة التالية :



ونلاحظ في الصورة السابقة أن الأسلاك تربط الجيوفونات بعضها ثم تتجه إلى سيارة الأبحاث التي تحمل نظام التسجيل .

ومن الممكن أن يتراوح عدد الجيوفونات بين 10 إلى 110 في المرة الواحدة وتكون المسافات بينها ثابتة.

مصادر التشويش:

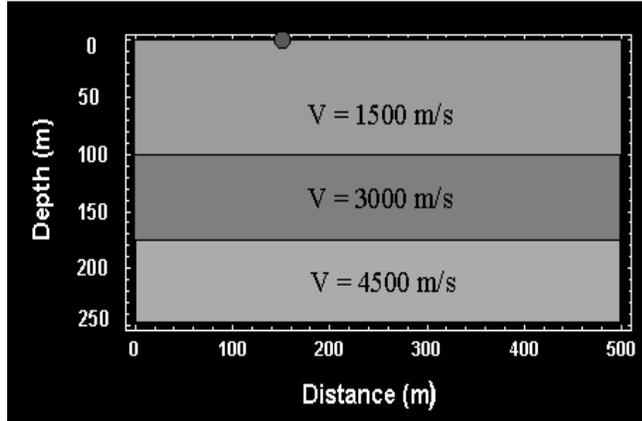
وكما هو الحال مع جميع الطرق الجيوفيزيائية فإن هناك مصادر للتشويش تؤدي إلى تشويش البيانات السيزمية .

من هذه المصادر :

الحركات الأرضية الخارجة عن سيطرتنا مثل حركة النقل البري حتى تحريك الرياح لفروع الأشجار يؤدي إلى تشويش البيانات السيزمية .

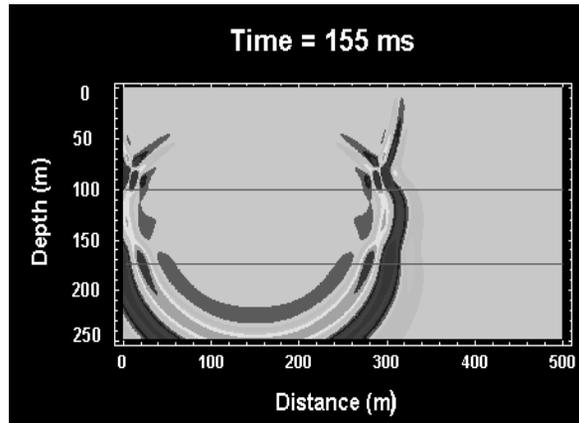
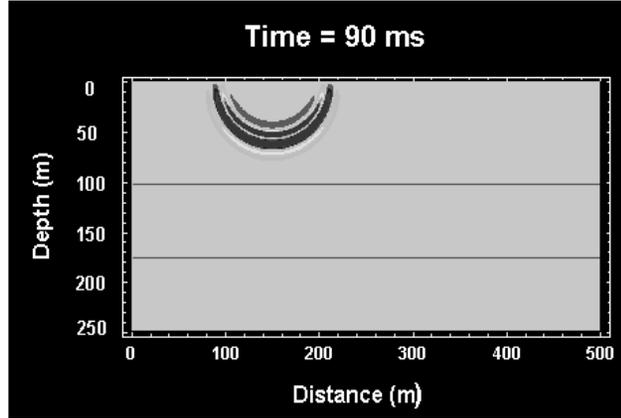
التشويش الكهربائي : فكما نعلم أن الجيوفونات تستقبل الحركة الأرضية وتحولها إلى إشارات كهربائية فأى تشويش على هذه الإشارات الكهربائية يؤدي إلى التشويش على البيانات السيزمية.

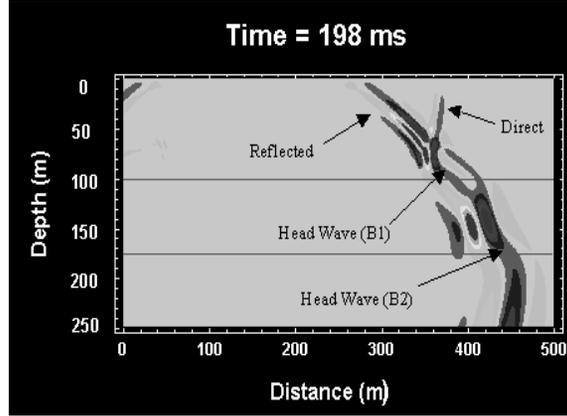
التشويش الجيولوجي : حيث أن التغير في طبوغرافية الطبقات يؤدي إلى التشويش على البيانات السيزمية مما يزيد من صعوبة تحليلها لو كان لدينا ثلاث طبقات كما هو موضح في الصورة التالية ..



لاحظوا أن السرعة تزداد مع العمق.. فكيف ستتفاعل الموجات مع الأسطح الفاصلة بين الطبقات .. ؟

لاحظ في هذا العرض كيف ستتشر الموجات من خلال هذه الطبقات:





نلاحظ مما سبق كيف ظهرت الموجات المباشرة Direct wave وانطلقت موازية لسطح الأرض ، و بذلك فهي ستستقبل أولاً وعلى مسافات قريبة من المصدر ..

أيضاً نلاحظ ظهور الموجات الرأسية عند الحد الفاصل بين الطبقة الأولى والثانية B1 وصعودها على السطح لتستقبلها المستقبلات التي تقع على بعد متوسط من المصدر .

أما الموجات الرأسية التي نتجت عن تفاعل الموجات مع السطح الفاصلين الطبقتين الثانية والثالثة B2 فإن المستقبلات الأبعد عن المصدر ستستقبلها...

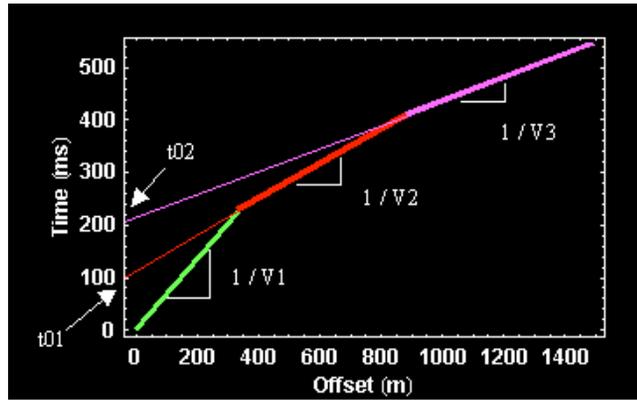
إذن استطعنا تحديد الـ first arrivals وحصره خلال الموجات الثلاث السابقة .

كيف سيكون شكل الـ Travel Time Curves لهذه الطبقات.. ؟

نأتي الآن لنعرف شكل الـ Travel Time Curves للنموذج الذي وضعناه في الرد

السابق، لثلاثة طبقات أفقية، وفيها تزداد السرعة مع العمق.

وس يظهر الـ curve كما في الشكل التالي ..



وفيه يمثل الخط الأخضر وصول الموجات المباشر direct arrival والخط الأحمر يمثل

الموجات الرأسية للطبقة الثانية .. والخط الوردي وصول الموجات الرأسية للطبقة

الثالثة.

لاحظ أن الطبقة الثالثة تقع عند عمق 175 متر عن سطح الأرض .. لذلك فإننا سنستقبل أولى الموجات المنكسرة عن سطح هذه الطبقة على بعد 900 متر عن المصدر .. بمعنى أن المستقبليات الموجودة على بعد 900 متر من المصدر هي التي ستستقبل الموجات الرأسية للطبقة الثالثة.

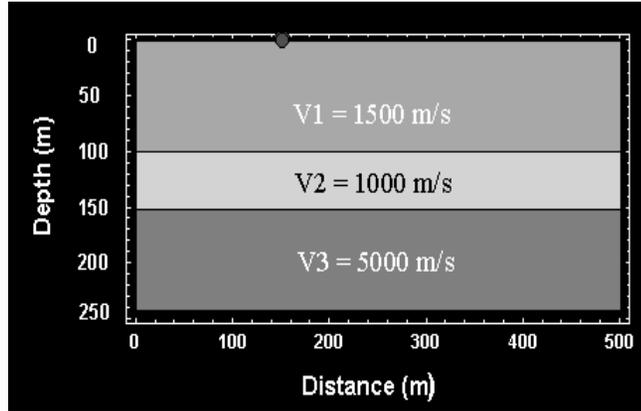
وبصفة عامة ولكي تستقبل الموجات المنكسرة عن سطح طبقة ما موجودة عند عمق معين . فإنك ستستقبل الموجات المنكسرة عن هذا السطح عند مسافة تبعد عن المصدر بحوالي 3 - 5 أضعاف هذا العمق .

أيضاً ومن الشكل السابق ،، يمكننا حساب سرعة انتشار الموجات في كل طبقة من هذه الطبقات وذلك بحساب معكوس ميل كل خط من الخطوط الموضحة في الشكل . كذلك يمكننا حساب عمق كلاً من سطحي الانكسار بإيجاد كلاً من  $t_{01}$  و  $t_{02}$  وسرعة جميع انتشار الموجات في جميع الطبقات.. وذلك بواسطة القوانين التالية

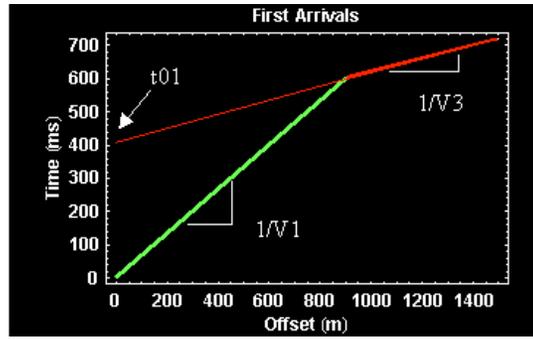
$$D_1 = \frac{t_{01}V_2V_1}{2\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

$$D_2 = \left[ t_{02} - \frac{2D_1\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_3V_1} \right] * \frac{V_3V_2}{2\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} + D_1$$

حيث أن D1 عمق سطح الانكسار الأول و D2 عمق سطح الانكسار الثاني.  
لا حظ أنه كلما زاد عدد الخطوط في **observed travel time curve** كلما دل ذلك على زيادة عدد الطبقات ونستطيع إيجاد سرعة انتشار الموجات في الطبقات بواسطة إيجاد ميول الخطوط بالإضافة إلى عمق أسطح الطبقات بإيجاد  $t_0$  .  
سؤال : هل يمكن أن تكن هناك مجموعة من الطبقات تحت سطح الأرض ولا نستطيع كشفها بواسطة المسح السيزمي ؟..  
من الممكن أن توجد مجموعة من الطبقات تحت سطح الأرض ولا نستطيع كشفها بواسطة المسح السيزمي ويطلق عليها اسم **Hidden Layers** وهناك احتمالين لجعل هذه الطبقات مخفية.  
الاحتمال الأول : وجود طبقة منخفضة السرعة ضمن طبقتين أعلى منها في السرعة  
كما في الشكل التالي ..



وبسبب وجود هذه الطبقة المنخفضة السرعة فإن السطح الفاصل بين الطبقة الأولى والثانية لا تنتج عنه موجات رأسية Head wave لنستقبلها على السطح .. فتتابع الموجات انتشارها حتى تصل إلى الحد الفاصل بين الطبقتين الثانية والثالثة .. وبما أن سرعة الطبقة الثالثة أعلى من سرعة الطبقة الأولى فعندها ستظهر لدينا الموجات الرأسية صاعدة إلينا على السطح كاشفة عن وجود الطبقة الثالثة.. وسيظهر الـ first arrival travel-time curve كما في الشكل التالي .



لاحظ أنه يوجد لدينا ثلاثة طبقات .. والـ curve أوجد لدينا طبقتين .. وإذا استخدمنا ما تعلمناه سابقاً سنوجد سرعة الطبقة الأولى 1500 م / ثانية وذلك بحساب ميل الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرة direct arrival وسنجد أيضاً أن سرعة الطبقة الثانية 5000 م / ثانية بإيجاد ميل الخط الأحمر .. وإيجاد قيمة  $t_{01}$  من الـ curve وبحساب سمك الطبقة الأولى بواسطة القوانين التالية كما تعلمنا سابقاً.

$$h = \frac{t_o V_2 V_1}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}$$

**or**

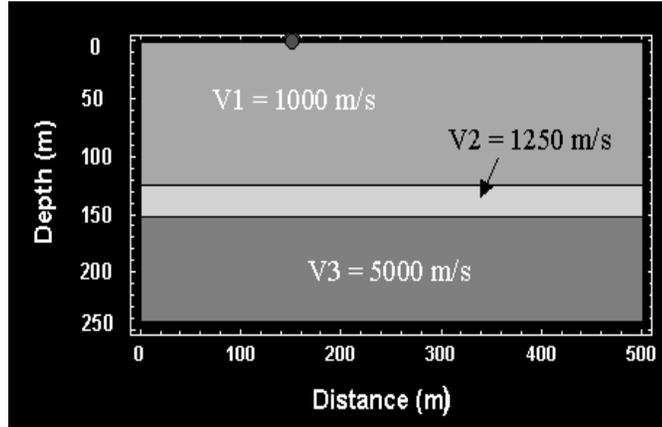
$$h = \frac{x_c}{2} \left( \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \right)^{1/2}$$

فسنجد أن سمك الطبقة الأولى 314 متر .

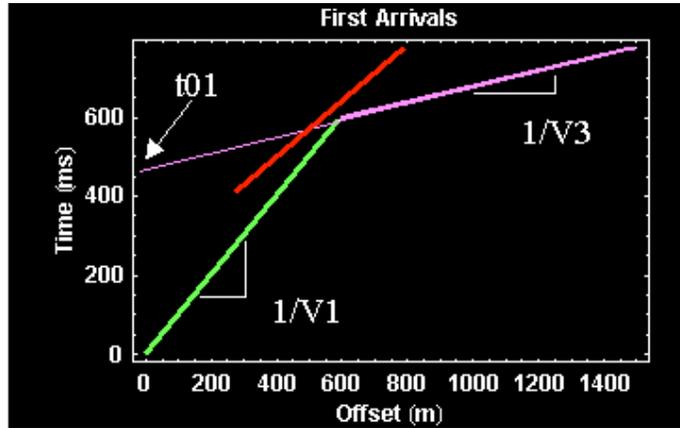
الاحتمال الثاني: لاختفاء طبقات موجودة تحت سطح الأرض .

وجود طبقة عالية السرعة إلا أنها رقيقة جداً ( ذات سمك بسيط ) كما في الشكل

التالي .

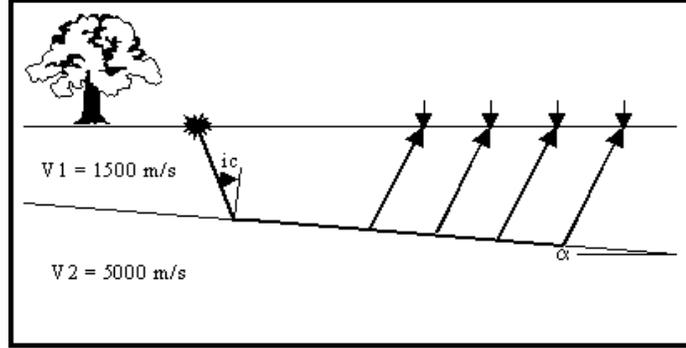


في هذا الشكل نلاحظ وجود طبقة رقيقة تحتلي الـ halfspace (الطبقة الثالثة ) وسرعة هذه الطبقة أعلى من جميع الطبقات التي تحتليها ... وبعكس المثال السابق فإن الموجات الرأسية Head wave ستظهر عند كلاً من السطحين الفاصلين بين الطبقات .. لكن الموجات الرأسية الصادرة عن الطبقة الأقل سمكاً لن تصل إلينا إلى السطح أولاً وذلك لبساطة سمك الطبقة وانخفا سرعتها نسبة إلى الطبقة الثالثة .. فحتى تصل الموجات الرأسية الصادرة عن السطح الفاصل بين الطبقتين الأولى والثانية تكون الموجات الرأسية الصادرة عن السطح الفاصل بين الطبقتين الثانية والثالثة قد انطلقت وتجاوزت الموجات الرأسية الصادرة عن السطح الأول بسرعتها العالية لنستقبلها على السطح أولاً وبذلك سيظهر الـ first arrival travel-time curve كما في الشكل التالي ..

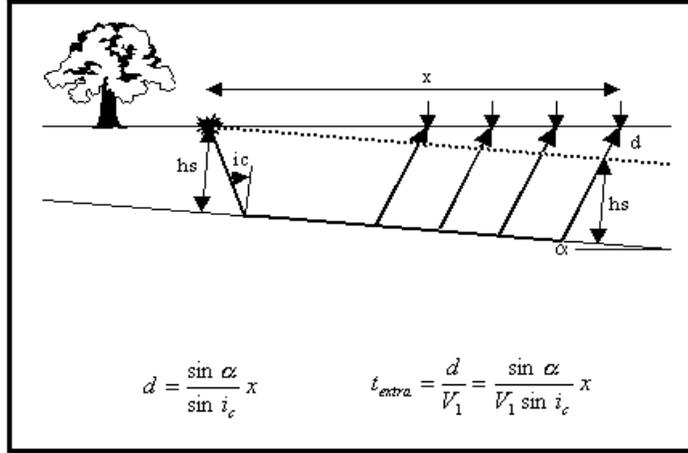


ويمثل الخط الأحمر في الشكل السابق الموجات الرأسية الصادرة عن السطح الفاصل بين الطبقتين الأولى والثانية .. وكما نلاحظ فإنه لا يمكن اعتباره من أولى الموجات وصولاً لذلك لا يمكننا حسابه .. وبحساب سرعة الطبقات الظاهرة لدينا بحساب ميول الخطوط الممثلة للوصول الأول للموجات وبحساب سمك الطبقة الأولى أو بالأصح عمق السطح الفاصل بين الطبقتين الأولى والثانية سنصل إلى نتيجة غير صحيحة بسبب اختفاء الطبقة الثانية عن ملاحظتنا .. لا حظ أنه وفي كلتا الحالتين السابقتين لا يمكننا معرفة وجود الطبقات المخفية حيث أنها لا تظهر لدينا في الـ **travel-time curve** ، ولا نستطيع الوصول إليها إلا بواسطة عمليات الحفر..

ماذا لو كان السطح الفاصل بين الطبقات سطح مائل ...؟ فنحن نعلم أن هناك احتمالية بأن تكون الطبقات مائلة وبالتالي تكون الأسطح الفاصلة بين الطبقات عبارة عن اسطح ماثلة ... فكيف ستؤثر هذه الأسطح على ملاحظتنا الانكسارية **refraction observations**؟ لاحظ الشكل التالي :



هنا يوجد لدينا halfspace عالي السرعة تحت طبقة منخفضة السرعة ... والسطح الفاصل بين الـ halfspace والطبقة عبارة عن سطح مائل ، واتجاه الميل من اليسار إلى اليمين .. لاحظ أنه وفي هذا المثال وضعنا المصدر على يسار الشكل أي فوق الجزء الأعلى من الميل .. وكما أخذنا في الأمثلة السابقة ، فإنه ومع زيادة السرعة مع العمق ستتولد لدينا الموجات الرأسية عند الحد الفاصل بين الطبقتين يمرورها من خلال الطبقة الثانية ثم عودتها إلى الطبقة الأولى واستقبالها على السطح... في الشكل التالي وضحنا خطوط الـ Raypaths الممثلة للموجات الرأسية Head wave بأربعة خطوط حمراء



تخيل لو أننا زرعنا الجيوفونات تحت سطح الأرض من المصدر بموازاة السطح المائل ( كما هو موضح بالخط الأسود المتقطع ) فإن البيانات التي سنستقبلها من هذه الجيوفونات ستظهر كما لو كان السطح الفاصل أفقي أو مستوي غير مائل flat boundary لذلك فإن أوقات الوصول للموجات الرأسية من المصدر وحتى الخط الأسود المتقطع سيمثل وقت وصول الموجات الرأسية كما لو كان boundary أفقياً .. وبما أننا لا نستطيع وضع الجيوفونات في باطن الأرض عند الخط المتقطع فإنها ستضطر لقطع مسافة زائدة ( ممثلة بالخط الأزرق ) حتى تصل إلينا على السطح .

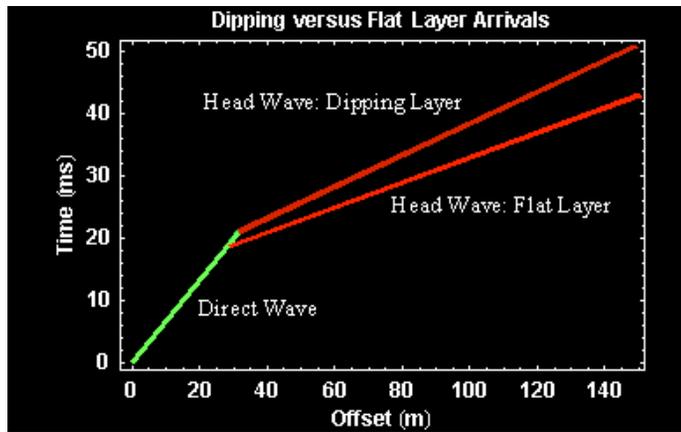
لاحظ أيضاً أن المسافة ( بين المصدر والجيوفون) التي نستقبل عندها الموجات الرأسية على سطح الأرض ستختلف

إذا كان السطح الفاصل بين الطبقات عبارة عن سطح مائل عنه مما إذا كان السطح أفقي. لذلك وعند مقارنتنا بين زمن وصول الموجات الرأسية عندما يكون الـ boundary أفقياً بزمن وصول الموجات الرأسية عندما يكون boundary مائل فإننا سنجد أن الموجات الرأسية الصادرة عن الـ boundary ستصل متأخرة بعض الشيء بالإضافة إلى كونها أبعد في الـ offset

إذن هناك فرق في الزمن بين وصول الموجات الرأسية من الـ boundary المائل إلى سطح الأرض والـ boundary الأفقي إلى السطح .. ويمكننا حساب هذا الفرق \* في الزمن عند كل جيوفون بمعرفة عمق الطبقة  $\alpha$  ، والمسافة بين الجيوفون والمصدر  $x$  ، ومقدار الزيادة في الـ raypath ورمزنا له بالرمز  $d$  وبقسمة هذه المسافة على السرعة  $V1$  ستعطينا مقدار الزيادة في مدة رحلة الموجات الرأسية .. والمعادلة موجودة في الشكل الموضح بالأعلى .. لاحظ أن الفرق في مدة الرحلة يزداد مع زيادة المسافة بين الجيوفون والمصدر ..

فمثلاً لو حسبنا الفرق عند الجيوفون الأول فكانت القيمة س مثلاً فإن هذه القيمة ستزداد عند انتقالنا للجيوفون الثاني الأبعد عن الجيوفون الأول من المصدر .. لذلك يمكننا أن نتوقع أن الـ travel-time curve للسطح المائل سيكون عبارة عن خط مستقيم .

وسيتظهر كما في الشكل التالي ..



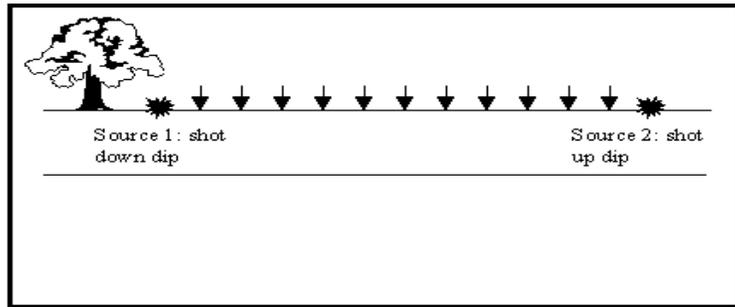
نلاحظ أن الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرة لم يتأثر بميل السطح الفاصل ..  
ويمثل الخط الأحمر الداكن الموجات الرأسية الصادرة عن السطح المائل ، ويمثل الخط  
الأحمر الفاتح الموجات الرأسية التي ستصل إلى الخط المتقطع.. وكما ذكرنا سابقاً  
لاحظ زيادة المسافة offset مع زيادة الزمن أو بالأصح الفرق في الزمن بين الموجتين  
.. ومما سبق نلاحظ التالي.

أننا لا نستطيع أن نلاحظ ميل السطح الفاصل بين الطبقات من خلال شكل ال-travel  
time curve حيث لاحظنا مدى شبهه بشكل ال-curve ما إذا كان السطح أفقي  
أنه يمكننا حساب سرعة الطبقة الأولى بحساب ميل الخط الأخضر الممثل للموجات  
المباشرة.

وإذا أردنا حساب سرعة الطبقة الثانية بحساب ميل الخط الممثل للموجات الرأسية  
فستجد أن السرعة منخفضة بعض الشيء ، بالإضافة إلى ذلك إذا استخدمنا هذه  
السرعة لحساب عمق السطح الفاصل فإننا سنحسب العمق تحت المستقبلات في حين  
أنه يختلف عن العمق تحت المصدر..

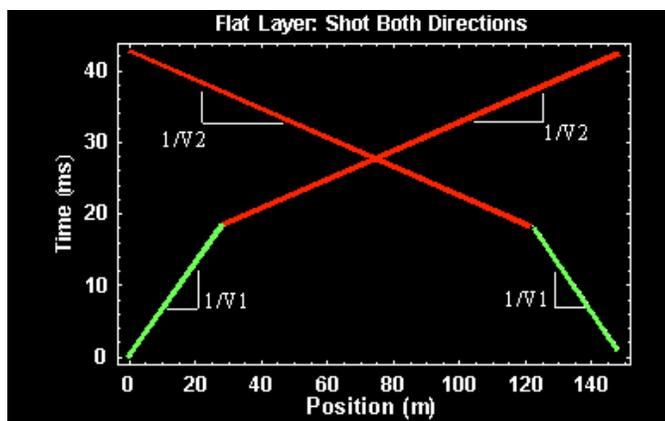
شاهدنا في الردود السابقة كيف أن الملاحظات الانكسارية لا تعطينا فكرة عن  
كونا الطبقات مائلة أو مستوية .. فكيف يمكننا حل هذه المشكلة حتى نستطيع  
الكشف عن وجود الطبقات المائلة .. ؟

تخيل لو كانت الطبقات أفقية كما في الشكل التالي ..

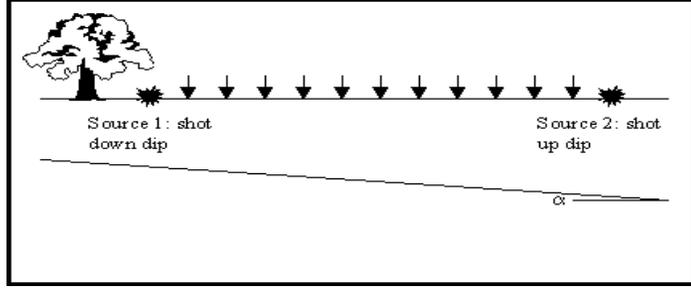


ووضعنا مجموعة من الجيوفونات في خط مستقيم كما هو موضح في الرسم بالأشهر  
السوداء ... بعد ذلك وضعنا المصدر على يسار الجيوفونات وقمنا بأخذ البيانات .. ثم  
نقلنا المصدر إلى يمين الجيوفونات وسجلنا البيانات.. وعند مقارنة البيانات المسجلة  
عن يمين ويسار المستقبلات ، فكيف تتوقع أن يكون شكلها.. ؟

بما أن الطبقة أفقية .. والمسافات بين المصدرين والجيوفونات متساوية .. فنتوقع أن يكون شكل البيانات كالتالي ..



لاحظ كيف ظهرت البيانات متشابهة لكون الطبقة أفقية وبالتالي فإن عمق السطح الفاصل بين الطبقتين ثابت في جميع النقاط .. ماذا لو قمنا بتطبيق التجربة السابقة على أسطح مائلة كما في الشكل التالي ..

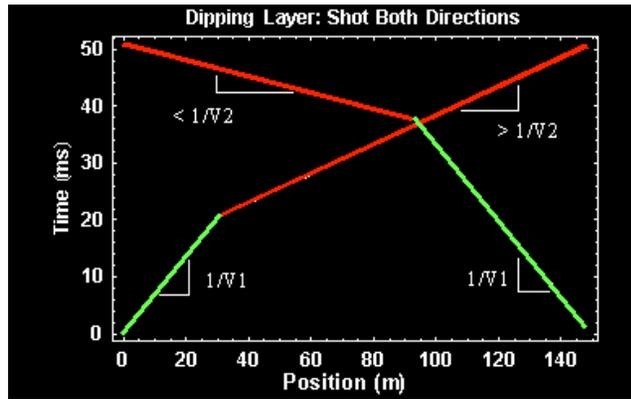


تذكر أنه وعندما يكون المصدر على يمين المستقبلات فإنه وإذا أردنا حساب سرعة الطبقة الثانية بحساب ميل الخط الممثل للموجات الرأسية فسنجد أن السرعة منخفضة بعض الشيء ، بالإضافة إلى ذلك إذا استخدمنا هذه السرعة لحساب عمق السطح الفاصل فإننا سنحسب العمق تحت المستقبلات فيحين أنه يختلف عن العمق تحت المصدر ..

وعندما يكون المصدر على يمين المستقبلات فإنه وإذا أردنا حساب سرعة الطبقة الثانية بحساب ميل الخط الممثل للموجات الرأسية فسنجد أن السرعة too large ، بالإضافة إلى ذلك إذا استخدمنا هذه السرعة لحساب عمق السطح الفاصل

فإننا سنحسب العمق تحت المستقبلات في حين أنه يختلف عن العمق تحت المصدر ..  
وبذلك سيكون العمق أصغر من العمق الحقيقي... hr

وس يظهر شكل البيانات كما في يلي ..



بذلك يمكننا معرفة ما إذا كانت الحدود الفاصلة بين الطبقات مائلة أو مستوية بوضع المصادر في اتجاهين فإذا ظهرت البيانات متماثلة فهذا يدل على أن الأسطح مستوية أما لو ظهرت مختلفة عن بعضها فهذا يدل على أن الحدود الفاصلة غير مستوية..

## الفصل الثاني الاشعاعات الكهريطيسية و النووية

### بنية الذرة:

تتميز ذرة أي عنصر بعددها الذري  $Z$  ، و الذي يساوي عدد الالكترونات أو البروتونات ، و بعددها الكتلي  $A$  ، و الذي يساوي عدد النيكليونات في النواة ( بروتونات + نوترونات ) و الذي يقدر بالغرامات . و تعتبر الشحنة الإجمالية للذرة معدومة نتيجة لتساوي عدد الشحنات الموجبة و السالبة . و كما تشغل الذرة حيزاً صغيراً من مرتبة الأنغستروم (  $10^{-10} \text{ m}$  ) ، في حين تشغل النواة حيزاً أصغر بكثير من مرتبة  $10^{-15} \text{ m}$  (  $1 \text{ Fermi} = 10^{-15} \text{ m}$  ) .

هذا و قد اعتبر طومسون في بداية القرن العشرين بأن الذرة عبارة عن كتلة مصممة تسبح فيها الالكترونات السالبة و البروتونات الموجبة بحيث تكون الذرة متعادلة كهربائياً .

و قد تم فشل هذا النموذج لعدم كفاءته في تفسير نتائج تشتت جسيمات  $\alpha$  عن الذرة لريزرفورد و زملائه .

وعلى الرغم من نجاح نظرية ريزرفورد في إعطاء تفسيراً للتبعثر العكسي و استنتاج أبعاد الذرة و النواة ، إلا أنها لم تستطع تفسير استقرارية الذرة و كيفية ترتيب الالكترونات داخل الذرة ، وكما عجزت عن تفسير الطيف الذري .

و حسب نظرية رذرفورد فإن الالكترون الذي يتحرك على مداره يخضع لحركة متسارعة مما يؤدي لإشعاعه للطاقة و بالتالي يفقد الالكترون طاقته الحركية بشكل مستمر و بالنتيجة تناقص في الطاقة الحركية للالكترون مما يؤدي بالنتيجة لاقتربه من النواة ،

و يصبح مداره حلزونياً و بالنهاية يسقط الالكترون على النواة . و هذا ما يناقض الحقيقة التجريبية ، فالذرة تبقى مستقرة و تعطي طيفاً متقطعاً بدلاً من الطيف المستمر .

نظرية بور لذرة الهيدروجين :

صاغ بور في عام 1913 نظرية تمكنت من تفسير استقرارية الذرة ، و نجحت هذه النظرية بالتنبؤ الصحيح عن الطيوف الذرية المتقطعة . و تعتبر هذه النظرية مزيجاً من الفيزياء الكلاسيكية و فرضية بلانك الكمومية ، لذلك تسمى النظرية النصف كلاسيكية . و قد نجحت هذه النظرية في تفسير طيف ذرة الهيدروجين ، لأنها بنيت على المسلمات الأساسية الثلاث التالية :

المسلمة الأولى :

يمكن أن يتحرك إلكترون في ذرة حول النواة على مدارات دائرية محددة دون أن يشع طاقة ، و تدعى هذه المدارات بالحالات المستقرة المتقطعة للذرة .

المسلمة الثانية :

إن الحالات المستقرة المسموحة توافق :

$$L = m V .r = n \hbar \quad (7-1)$$

L : عزم كمية الحركة الزاوي .

$$\frac{h}{2\pi} = \eta$$

h : ثابت بلانك

n = 1 ، 2 ، 3 ، 4 ، ... و يدعى بالعدد الكمي الرئيسي .

المسلمة الثالثة :

عندما يقفز ( ينتقل ) الكترون من حالة ابتدائية طاقتها  $E_f$  إلى حالة نهائية طاقتها  $E_i$

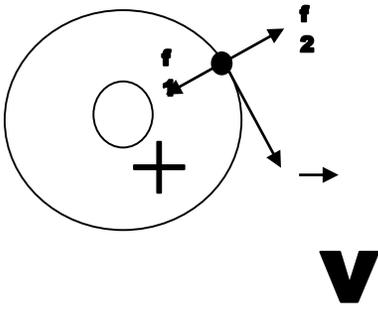
فإنه يصدر إشعاعاً كهطيسياً ( فوتوناً ) ، و يمكن أن نكتب :

$$E_i - E_f = h \nu \quad (7-2)$$

مستويات الطاقة في نموذج بور الذري :

بفرض أن الكترون مستقر في مدار دائري نصف قطره  $r_n$  و يمتلك سرعة  $V_n$  فتكون

قوة الجذب الكهربية تساوي قوة الجذب المركزية النابذة، و يكون :



$$f_2 = m \frac{V^2}{r} = k \frac{e^2}{r_n^2} = f_1$$

لاحظ الشكل (7-1) .

و لكن من المسلمة الثانية لدينا :

$$m V_n r_n = n \hbar \quad (7-3)$$

و بالتالي : الشكل (7-1)

$$V_n = \frac{n}{m r_n} \quad (7-4)$$

وباستخدام العلاقتين الأخيرتين :

$$r_n = n^2 \frac{\eta}{kme^2} = n^2 r_1 \quad (7-5)$$

$$r_1 = \frac{\eta}{kme^2} \quad , \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad \text{حيث}$$

نصف قطر مدار بور الأول لذرة الهيدروجين .

و لو حسبنا قيمة نصف قطر بور الأول بتبديل قيمة الثوابت  $k, m, e, h$  لوجدنا أن :

$r_1 = 0,528 \text{ \AA}$  و هي توافق القيمة التجريبية .

و عليه فإن الالكترون حسب نظرية بور يوجد في المدارات التالية :

$$r_n = r_1, 4r_1, 9r_1, \dots$$

وباستخدام العلاقتين (7-5) و (7-4) نجد أن :

$$V_n = \frac{1}{n} \frac{ke^2}{\eta} = \frac{V_1}{n} \quad (7-6)$$

حيث :

$$V_1 = \frac{ke^2}{\eta}$$

سرعة الإلكترون في مدار بور الأول.

$V_n$  : سرعة الألكترون في المدار  $n$

إن الطاقة الكلية  $E_n$  للإلكترون في المدار ( $n$ )، تساوي مجموع الطاقة الحركية و

الطاقة الكامنة ، أي أن :

$$E_n = \frac{1}{2} m V_n^2 + \left( -k \frac{e^2}{r_n} \right) \quad (7-7)$$

و بتعويض ( 2 ) ، ( 3 ) في ( 5 ) فنجد :

$$E_n = \frac{-k^2 e^4 m}{2n^2 \eta^2} \quad (7-8)$$

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \left( \frac{k^2 e^4 m}{2\eta^2} \right) \quad (7-9)$$

أو:

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad (7-10) \quad \text{حيث :}$$

$$E_1 = \left( -\frac{k^2 e^4 m}{2\eta^2} \right) = 13.58 \text{ eV} \quad \text{حيث :}$$

إن  $E_1$  تمثل طاقة الالكترين في مدار بور الأول لذرة الهيدروجين وهي تمثل طاقة الارتباط .

فمن أجل  $n = 1$  فإن  $E_1 = - 13,58 \text{ eV}$

و هكذا يمكن أن نكتب سويات الطاقة المسموحة لذرة الهيدروجين بالعلاقة التالية

$$E_n = - E_1 , \dots, -E_1/4:$$

طيف ذرة الهيدروجين :

باستخدامنا المسلمة III يمكن أن نحسب طاقات و ترددات الإنتقالات المحتملة ، فإذا

كان إلكترون في الحالة الابتدائية ذات سوية الطاقة المثارة  $E_i$  و انتقل إلى حالة نهائية

ذات سوية طاقة  $E_f$  فإن طاقة الفوتون الصادر تعطى بالعلاقة التالية :

$$(7-11) h \nu = E_i - E_f$$

و من المعادلة (7-9) لدينا :

$$E_i = -\frac{E_1}{n_i^2}, E_f = -\frac{E_1}{n_f^2} \quad (7-12)$$

$$E_1 = \left( -\frac{k^2 e^4 m}{2\eta^2} \right) \text{ حيث :}$$

و بالتبديل بالمعادلة (7-11) نجد أن :

$$\bar{\nu} = \frac{E_i}{h} - \frac{E_f}{h} = \frac{E_1}{h} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (7-13)$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad ( ) \text{ و باستخدام العلاقة}$$

فإن العدد الموجي يعطى بالعلاقة التالية :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (7-14)$$

حيث R ثابت رايدبرغ و يساوي :

$$R = \frac{E_1}{hc} = 109740 \text{ cm}^{-1} = 1.0974 \times 10^{-3} \text{ \AA}^{-1} \quad (7-15)$$

بينما القيمة التجريبية تساوي :  $R_{exp} = (109677,576 + 0,012) \text{ cm}^{-1}$   
 أي أنه يوجد تطابق بين التنبؤات النظرية و القياسات التجريبية ، كذلك المعادلة ( 3.2.1 ) تطابق معادلة رايدبرغ التجريبية من أجل سلسلة بالمر و الموضحة بالمعادلة

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (7-16)$$

وذلك بعد تعويض  $n_f = 2$  و  $n_i = n$  و كذلك بتعويض  $n_i = 3,4,5,6, \dots$  نحصل على خطوط سلسلة بالمر الطيفية عندما يقفز الإلكترون إلى الحالة النهائية الموافقة لـ  $n_f = 2$ .

ومن ناحية أخرى فيمكن إثارة الذرة بعدد من الطرائق ، منها I الإثارة الحرارية أو الإنفراغ الكهربائي للغاز حيث ينتقل الإلكترون إلى الحالات المثارة العليا .  
 و لأن فترة دوام الحالات المثارة قصيرة جداً من مرتبة  $10^{-8}$  sec ، فإنه عند عودة الإلكترون إلى حالات الطاقة الدنيا يصدر إشعاعاً كهرومغناطيسياً أو فوتونات بترددات متقطعة .

لقد تنبأت نظرية بور بالإضافة إلى سلسلة بالمر بعدد من السلاسل الطيفية الموافقة لقيم مختلفة ل:  $nf$  ، و هذه السلاسل قد سميت بأسماء العلماء الذين اكتشفوها كما هو موضح بالشكل

( 3-7 ) ، والذي يبين أن خطوط سلسلة بالمر فقط تقع في المجال المرئي .

و يبين الجدول (7-1) السلاسل الطيفية في مجالات الأشعة فوق بنفسجية و تحت الحمراء .

مما سبق نجد أن نظرية بور قد فسرت بنجاح طيف ذرة الهيدروجين

السلسلة	المجال الطيفي	معادلة السلسلة	حد السلسلة
ليمان	فوق بنفسجي	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ , $n = 2,3,4,\dots$	$911.27 \text{ \AA}$
بالمر	مرئي	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ , $n = 3,4,5,6,\dots$	$3645.1 \text{ \AA}$
باتش	تحت حمراء	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ , $n = 4,5,6,7,\dots$	$8201.4 \text{ \AA}$
براكيت	تحت حمراء	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ , $n = 5,6,7,\dots$	$14580 \text{ \AA}$
بفوند	تحت حمراء	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ , $n = 6,7,8,\dots$	$22782 \text{ \AA}$

الجدول ( 7-1 ) : السلاسل الطيفية لذرة الهيدروجين

التفسير الفيزيائي للأعداد الكوانتية :

يوضح حل مسألة ذرة الهيدروجين و وصفها حسب قوانين ميكانيك الكم بأن حركة

الإلكترون تحدد بثلاثة أعداد كوانتية

العدد الكمي الرئيسي  $n$  :

يحدد العدد الكمي الرئيسي  $n$  طاقة الالكتران في الذرة ، بينما يحدد العدد الكمي

المداري  $\ell$  قيمة عزم كمية الحركة الزاوي ، و يعين كل من  $\ell$  و  $m\ell$  ( العدد الكمي

المغناطيسي) طولية والاتجاه الفراغي لمتجهة عزم كمية الحركة الزاوي للإلكترون  $L$  في

الذرة .

وتوافق كل مجموعة من القيم (  $n , \ell , m\ell$  ) حالة كوانتية معينة . وبالتالي تحدد

التابع الموجي والتوزيع الاحتمالي للإلكترون حول النواة .

يوضح الجدول ( 7-2 ) الحالات الممكنة لـ (  $n , \ell , m\ell$  ) لذرة الهيدروجين ، حيث

يوجد من أجل قيمة معينة لـ  $n$  ،  $2n$  تابع خاص وكافة هذه الحلول لها الطاقة نفسها

و ذلك لأن طاقة الحالة الكمومية تحدد بالعدد الكمي  $n$  في النظرية الكمية و نظرية

بور .

و تعطى بالعلاقة التالية :

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \left( \frac{\mu k^2 e^4}{2h^2} \right) = -\frac{E_1}{n^2} \quad (7-17)$$

و نقول إن الطاقة متفسخة إذا وجد أكثر من تابع له الطاقة نفسها .  
فمن أجل  $n = 2$  يوجد أربع حالات و أربعة توابع موجية خاصة مختلفة، وتملك جميعها سوية الطاقة نفسها، كما في العلاقة (7-17)، ولذلك فمن أجل قيمة معينة لـ  $n$  فإن قيماً مختلفة لـ  $\ell$  ،  $m\ell$  لها حالة الطاقة نفسها ، وتدعى هذه الحالات بالحالات المتفسخة .

و يمكن تفادي ظاهرة التفسخ عند تطبيق حقل مغناطيسي خارجي على الذرة، وهكذا فإن كل حالة كوانتية (  $n$  ,  $\ell$  ,  $m\ell$  ) سوف تملك طاقة مختلفة .

n	ℓ	mℓ	عدد الحلول (n , ℓ , mℓ) من أجل قيمة معينة لـ n يساوي ( n <sup>2</sup> ) كل حل يدل عليه بالعداد الكوانتية ( n , ℓ , mℓ )
1	0	0	( 1,0,0 ) 1
2	0	0	( 2,0,0 ) 4
	1	-1 , 0 , +1	( 2,1,-1 ) , ( 2,1,0 ) , ( 2,1,+1 )

الجدول ( 7-2 ): يعطي عدد الحالات الممكنة لذرة الهيدروجين والذرات الهيدروجينية العدد الكمي المداري ℓ :

حسب نظرية ميكانيك الكم نستنتج طويلة عزم كمية الحركة الزاوي للإلكترون في الذرة من معادلة شرودنغر القطرية ( نظرية ميكانيك الكم ) :

$$L = \sqrt{\ell(\ell + 1)} h$$

وتختلف هذه القيمة عن القيمة المعطاة في نظرية بور  $L = nh$  .

فحسب نظرية ميكانيك الكم : تحدد قيمة  $L$  بالعدد الكمي  $\ell$  و ليس بدلالة  $n$  ، ففي نظرية بور توجد قيمة وحيدة لـ  $L$  من أجل كل قيمة لـ  $n$  ، بينما يوجد في نظرية ميكانيك الكم  $n$  قيمة لـ  $L$  من أجل كل قيمة لـ  $n$  ، و توافق القيمة العظمى لـ  $L$  العدد الكمي المداري ( $\ell = n - 1$ ) و الموافقة لمدار بور الدائري .  
 تتم تسمية للحالات المختلفة لـ  $\ell$  هي كما يلي :

$\ell$	0	1	2	3	4
تسمية حالة الإلكترون	s	p	d	f	g
تسمية الحالة الذرية	S	P	D	F	G

فالحالة 1s تعني :  $n = 1$  و  $\ell = 0$  ، و الحالة 2p تعني  $n = 2$  و  $\ell = 1$  و كذلك الحالة 2s تعني  $n = 2$  و  $\ell = 0$  ، و الحالة 3d تعني :  $n = 3$  و  $\ell = 2$  ، توافق الحالة 1s :  $0\ell = 0$  و بالتالي  $L = 0$  ولا تتفق هذه النتيجة مع نظرية بور حيث لا يوجد مدار عزم كمية حركته الزاوي يساوي الصفر ( $L = 0$ ) ، لأن هذا يعني أن مسار الإلكترون على شكل مستقيم يمر بالنواة ،

و لكن حسب ميكانيك الكم فالحالة الموافقة لـ  $0L$  تعني أن توزع احتمال إيجاد الإلكترون في النواة يساوي الصفر .  
العدد الكمي المغناطيسي  $m_l$  :

تعطي مركبة  $Z$  لعزم كمية الحركة الزاوي للإلكترون في الذرة بالعلاقة التالية :  $L_z = m_l \hbar$  (7-19)

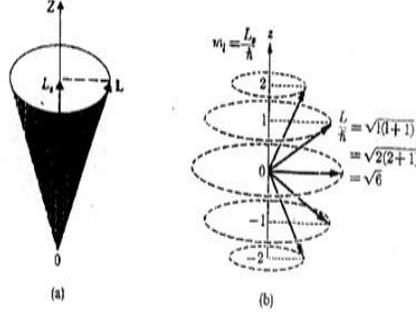
حيث تحدد توجه متجهة العزم الزاوي  $L$  في الفراغ ، أي تحدد التكميم الفراغي لعزم كمية الحركة الزاوي  $L$

و تعطى الزاوية  $\theta$  بين الشعاع  $L$  و المحور ( منحى الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق على الذرة ) بالعلاقة التالية :

$$\cos \theta = \frac{m_l \hbar}{\sqrt{l(l+1)} \hbar} = \frac{m_l}{\sqrt{l(l+1)}} \quad (7 - 20)$$

و لأن  $m_l$  يمكن أن تأخذ (  $2l + 1$  ) قيمة فإن شعاع العزم الزاوي  $L$  يأخذ (  $2l + 1$  ) زاوية دوران في الفراغ. أنظر الشكل ( 4-7 ).

أما حسب النظرية الكلاسيكية فيمكن أن تأخذ الزاوية  $\theta$  أية قيمة في الفراغ.



الشكل ( 4-7 )

و حسب نظرية بور ، لا يوجد أي قيد على الانتقالات من سويات طاقة مثارة إلى أخرى أدنى منها ، بينما في نظرية ميكانيك الكم فالانتقالات المسموحة هي فقط التي تحقق قانون الاختيار(الانتقاء) من أجل  $l$  :  $(l_i - l_f = \Delta l = \pm 1)$  ، بينما الانتقالات التي لا تحقق هذا القانون تكون محظورة ( ممنوعة ) .

النموذج الشعاعي للذرة :

وجدنا أثناء دراسة الطيف الذرية أن الأعداد الكوانتية  $(n , l , m_l)$  غير كافية لتوضيح كافة الظواهر التجريبية الناتجة عن الانتقالات التي تشكل الطيف الذري و تفسيرها ، فمثلاً تم الاعتقاد أن عدد من الانتقالات المسموحة هي أحادية - مثل الإنتقال من  $2p$  إلى  $1s$  ،

و لكن في الحقيقة ، بينت التجربة عن طريقة مشاهدة هذه الخطوط الطيفية بمطياف ذي قدرة تمييز عالية أنها مضاعفة ، أو بتعبير آخر ، هناك بنية ناعمة ، بالإضافة إلى ذلك لا يمكن إحصاء عدد الانتقالات التي يمكن مشاهدتها عندما توضع الذرات تحت تأثير حقل مغناطيسي خارجي Bext . قادت هذه الحقائق التجريبية كلاً من العلماء إهلبك و غودسميث و بشكل مستقبل بتشوسكي وأوري إلى إعطاء الإلكترون عزمًا زاوياً إضافياً ، ووفقاً لهذه النظرية يدور الإلكترون في أية حالة حول نفسه كما هو موضح بالشكل ( 7 - 5 - a ) ويملك عزمًا زاوياً ذاتياً يدعى بعزم اللف الذاتي و يرمز له بـ S ، يضاف لعزم كمية الحركة الزاوي له L الناتج عن حركته حول النواة ، و شابه هذه الحركة تماماً حركة الأرض حول محورها و حول الشمس .

عزم اللف الذاتي للإلكترون S :

و لتفسير النتائج التجريبية للطيف الذري فإن طويلة شعاع عزم اللف الذاتي للإلكترون S تأخذ القيمة التالية :

$$S = \sqrt{s(s+1)}\eta = \frac{\sqrt{3}}{2}\eta \quad (7-21) \quad \text{حيث : } S = 1/2$$

العدد الكمي لللف الذاتي .

و بشكل مشابه لمتجهة العزم الزاوي L تكون متجهة عزم اللف الذاتي S مكممة في الفراغ و تأخذ مركبتها وفق المحور Oz القيم التالية :

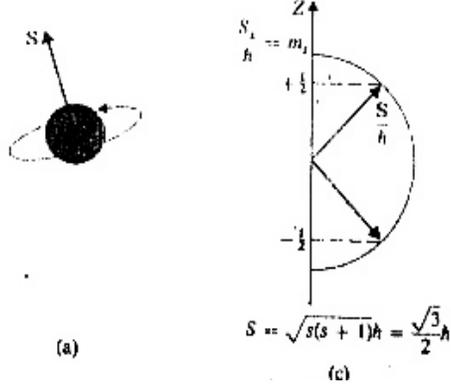
$$(7-22)SZ = ms \hbar$$

حيث :  $ms = \pm 1/2$  العدد الكمي لللف المغناطيسي .

و يوضح الشكل ( 6-7 ) حسب الميكانيك الكوانتي تكميم المتجهة S الفراغي ، و من العلاقة المعرفة لـ S .

$$\text{حيث } S = s(s+1)\hbar$$

لا يمكن للشعاع S أن ينطبق على المحور Oz ( منحى الحقل المغناطيسي الخارجي ) ، و إن تجربة ستيرن - غيرلاش برهان تجريبي لوجود عزم اللف الذاتي للإلكترون .



الشكل ( 5-7 ) : عزم اللف الذاتي للإلكترون

يلتف الإلكترون في الذرة حول نفسه و يملك عزم لف ذاتي S .

شعاع عزم اللف الذاتي S المكتم فراغياً وفق اتجاهين متناظرين مكتمين بالنسبة لمنحنى الحقل المغناطيسي .

العزم الزاوي الكلي J :

يعرف العزم الزاوي الكلي للإلكترون J بأنه مجموع العزم الزاوي المداري L و عزم

اللف الذاتي للإلكترون و يساوي :

$$J^2 = L^2 + S^2 \quad (7-23)$$

و تعطى طويلته بالعلاقة التالية :

$$|J| = \sqrt{J(J+1)}h \quad (7-24)$$

حيث : J : العدد الكمي للعزم الزاوي الكلي ( العدد الكمي الكلي ) .

و لأن كلاً من L و S مكمان في الفراغ ، فمن الطبيعي أن يكون الشعاع J مكماً في الفراغ أيضاً و يأخذ قيمةً محددة و مكمة .

و يضاف الشعاع S إلى الشعاع L إما بشكل موازٍ و مسيراً أو معاكس له ، و هكذا نحصل على قيمتين لـ J :

$j = \ell +$	1
	2
$j = \ell -$	1
	2

وعند وضع الذرة تحت تأثير حقل مغناطيسي خارجي ، يدور الشعاع J حول المحور Oz ( منحى الحقل المغناطيسي الخارجي ) .

و تتطلب قوانين تكميم الفراغ دوران الشعاع J حول المحور ( Oz ) وفق زوايا مكممة كما هو موضح بالشكل ( 7-7 ) .

و تعطى قيم JZ وفق المحور Oz بالعلاقة التالية :

$$JZ = mj \hbar \quad (7-25)$$

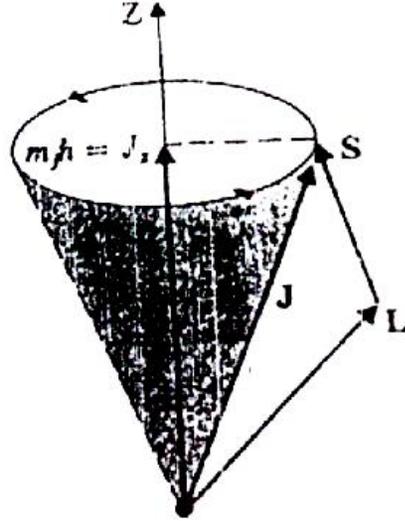
حيث :

JZ : مسقط على المحور و تأخذ mj ( 2j + 1 ) قيمة تعطى بالعلاقة التالية :

$m_j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm (j - 1), \pm j$  و تعطى التوجهات الفراغية للشعاع J

التي هي الزوايا الممكنة بين JZ و J بالعلاقة التالية :

$$\cos\varphi = \frac{j_z}{j} = \frac{m_j \hbar}{\sqrt{j(j+1)}\hbar} = \frac{m_j}{\sqrt{j(j+1)}} \quad (7-26)$$



الشكل ( 7-7 ) :

يمثل التكميم الفراغي للشعاع  $J$  و التوجهات الممكنة لـ  $J$  التي تحقق العلاقة :

$$JZ = mj \hbar$$

البنية الدقيقة ( الناعمة ) لذرة الهيدروجين :

توصف الحالة الأرضية لذرة الهيدروجين بدلالة الأعداد الكوانتية التالية :

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (n = 1, \ell = 0, s =, j =$$

و يعبر عن هذه الحالة حسب التسمية الطيفية بالشكل التالي  $1S_{1/2}$  حيث يشير

العدد على يسار الحرف إلى قيمة العدد الكمي الرئيسي  $n$  ، ويعبر الحرف عن قيمة  $\ell$ ،

بينما يدل العدد الواقع يمين الحرف على قيمة  $j$  .

و فيما يلي نعرض قوانين الاختيار التي وفقها تم الانتقالات المسموحة :

يجب أن تتغير  $l$  بمقدار واحد فقط ، أي أن :

$$l_i - l_f = \Delta l = \pm 1$$

لا يوجد أي تغيير في قيمة  $s$  ، أي أن :

$$s_i - s_f = \Delta s = 0$$

يجب أن تتغير  $z$  بالمقدار 0 أو 1 ، أي أن :

$$z_i - z_f = \Delta z = 0, \pm 1$$

( الانتقال  $z_i = 0$   $z_f = 0$  غير مسموح ) .

ولا يوجد أي قيد في  $n$  .

مبدأ الاستبعاد لباولي والترتيب الالكتروني :

لقد نجحت معادلة شرودنغر الموجية في إعطاء حلول صحيحة لذرتي الهيدروجين (  $Z = 1$  ) و الهيليوم (  $Z = 2$  ) ، غير أن حلها بالنسبة للذرات الأخرى غير ممكن بسبب الصعوبات الرياضية ، لذلك استخدمت الطرق التقريبية لحلها و التنبؤ بشكل تقريبي بالطيوف الذرية .

لم يضع الميكانيك الكوانتي أي قيد على عدد الإلكترونات التي تشغل حالة كوانتية محددة .

إلا أن العالم باولي قد تناول هذا الموضوع بالاستناد على المشاهدات التجريبية ، مبيناً أن كل حالة كوانتية لا يمكن أن تشغل بأكثر من إلكترون وحيد و صاغ مبدأه في الاستبعاد كما يلي :

في أية ذرة لا يمكن لإلكترونين أن يوجدوا في الحالة الكوانتية نفسها ، و هذا يعني : في أية ذرة لا يمكن لإلكترونين أن يملكا نفس قيم مجموعة الأعداد الكوانتية (  $n, \ell, m, j$  ) أو (  $n, \ell, m, j$  ) .

و بناءً عليه ، تملك الإلكترونات في الذرة حالات كوانتية مختلفة ، و تشكل الإلكترونات ذات العدد الكمي الرئيسي  $n$  طبقة رئيسية يرتبط اسمها بـ  $n$  كما يلي :

1 : العدد الكمي الرئيسي $n$	2	3	4
K : اسم الطبقة	L	M	N

و من أجل قيمة معينة لـ  $n$  يساوي العدد الكلي للحالات الكوانتية  $N_t = 2n^2$  و تمتلئ الطبقات كما يلي :

1S2 2S2 2P6 3S2 3P6 4S2 3d10 4P6 5S2 4d10 ...

تصنيف الإشعاعات :

يمكن تصنيف الإشعاعات :

حسب طبيعتها : و عندئذ يمكن أن نفرق بين :

الإشعاعات الكهرومغناطيسية ( الكهرومغناطيسية ) والإشعاعات الجسيمية

حسب تأثيرها على المادة ، وخاصة على الأنسجة الحيوية .

وهنا نميز نوعين من الإشعاعات هما: الإشعاعات المؤيونة و الإشعاعات اللامؤيونة

الإشعاعات الكهرومغناطيسية ( المظهر الموجي ) :

و هي تصدر عن المادة نتيجة اهتزاز الألكترونات الذرية الداخلية في تركيبها .

و المظهر الموجي يمثل الإشعاع بموجة كهرومغناطيسية تنتشر في الخلاء وفق خط مستقيم

و بسرعة  $C = 3.108 \text{ m / sec}$  ( أي ثلاثمائة ألف كيلو متر في الثانية ) .

و تتميز هذه الموجة المولفة من اهتزازين ( أحدهما يمثل الحقل المغناطيسي و الآخر

تمثل الحقل الكهربائي ) ، وذلك بطول موجي  $\lambda$  و بتواتر  $V$  ( و هو يمثل مقلوب الدور

( T ) بحيث :

$$\lambda = \frac{C}{\nu} \quad (7-28)$$

و كذلك بعدد موجي K و هو يمثل  $\frac{1}{\lambda}$  و كذلك بنبض  $\Omega = 2\pi\nu$  ( التواتر الزاوي ) . وكما يتميز هذا الإشعاع بشدته التي تتناسب مع مربع السعة الاهتزازية .  
 و يسمح هذا التمثيل بتفسير ظواهر الانتشار دون حدوث تبادل للطاقة بين الإشعاع  
 و المادة ( كالانعكاس أو الإنكسار أو التداخل أو الإنعراج ) .

المظهر الجسيمي للأمواج الكهرومغناطيسية :

افترض العالم بلانك Planck في عام 1900 ، كي يفسر أطيف إشعاع الجسم الأسود ،  
 بأن الضوء ظاهرة كمومية. أي أن الإشعاع الكهرومغناطيسي يتألف من حبيبات ضوئية  
 تدعى الفوتونات photons ، يحمل كل منهما رزمة من الطاقة تمثل بجسم يدعى  
 الكم quantum .

و من أجل إشعاع تواتره (  $\nu$  sec<sup>-1</sup> ) ، تعطى طاقة الكم الواحد بالعلاقة :

$$E = h \nu \text{ (Joul)}$$

h : يمثل ثابت بلانك و قيمته في الجملة الدولية

$$6,625 \times 10^{-34} \text{ J.S}$$

و يمكن أن نكتب أيضاً أن :

$$E = h \frac{C}{\lambda} \quad (7 - 29)$$

و إذا عبرنا عن طاقة الفوتون بالالكترن فولط ev ، حيث :

$$1 \text{ ev} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Joul}$$

$$E(eV) = \frac{12400}{\lambda \text{ (A)}} \quad \text{فنكتب :}$$

ندعو العلاقة الأخيرة بعلاقة دُوان وهنت .

و في عام 1905 اكتشف اينشتاين Einstein المفعل الكهروضوئي photoelectric ، و الذي لا يمكن أن يتم فهمه إلا إذا سلمنا بالمظهر الجسيمي للضوء ، أي أن الضوء يسلك سلوك جسيم محمل بالطاقة ، فيحرر الإلكترون المحتجز في المعدن . و يحمل قذف الإلكترونات للمصعد في أنبوب مهبطي ، البرهان على عكسية هذا المفعل (مبدأ توليد رونتجن Rontgen للأشعة السينية عام 1895) .  
الطبيعة المثنوية للجسيمات المادية ( الطابع الموجي الجسيمي) و فرضية دي بروي:  
لقد قام كل من العالمين شادويك Chadwick و ريزرفورد Rutherford بإثبات المظهر الجسيمي لمكونات الذرة ( الكترن ، بروتون، نترن ) .

يمكن أن يرافق هذه الجسيمات المادية ، التي تتميز بكتلة سكونية مختلفة عن الصفر ، تمثيل موجي تطور مع ظهور ميكانيك الكم لكل من شرودينغر و هايزمبيرغ ( Heisenberg + Schrodinger ) .

و يعطى الاندفاع P أو كمية الحركة ( impulsion ) المرافق لجسيم نسبي كتلته

$$P = mV \quad \text{السكونية } m_0 \text{ بالعلاقة :}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} \quad (31-7)$$

حيث:

$m_0$ : الكتلة السكونية

V: سرعة الجسيم

C : سرعة الضوء

و تعطى الطاقة الكلية لجسيم حسب علاقة اينشتاين :

$$E = mc^2$$

و من العلاقة السابقة نجد :

$$m^2 c^2 - m^2 V^2 = m_0^2 c^2$$

و بشكل آخر :

$$E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$$

و في حالة فوتون تواتره ( $\gamma$ ) تصبح الكتلة السكونية معدومة و منه نكتب :

$$E = PC$$

ومنه نجد :

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad (7-32)$$

و هذه العلاقة تدعى بعلاقة دي بروي .

و يمكن تطبيق العلاقة الأخيرة على كل جسيم كتلته النسبية  $m$  و يتحرك بسرعة

و يتميز بطول موجي  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{h}{m V}$$

هذا و قد تم إثبات إمكانية انعراج حزمة من الالكترونات المسرعة لدى صدمها لصفحة معدنية كما تنعرج أي موجة ضوئية في البلورات ، حيث يمكن من خلال هذه الدراسة معرفة الأبعاد الشبكية للبلورة المدروسة .

وحدة الطاقة الإشعاعية الالكترن فولت ( eV ) :

يستخدم الالكترن فولت كوحدة لقياس طاقة الجسيم في الفيزياء الذرية والنوية،

حيث يبدو من الصعب التعبير عنها بالجول أو الارغة .erg.

ففي مكثفة مستوية البعد بين لبوسيتها و تخضع لفرق في الكمون V ( فولت ) ،

يكون الحقل الكهربائي الناشئ بين لبوسيتها :

$$E = \frac{V}{d} \quad (7-33)$$

فبفرض أن الكترناً ( e- ) على تماس مع أحد اللبوسين ، فإنه يجذب إلى اللبوس الآخر

$$F = e.E = e \frac{V}{d} \quad (7-34) \text{ بقوة قيمتها F}$$

و عندما يصل الالكترن لللبوس الآخر فيكون قد اكتسب طاقة حركية تساوي إلى

العمل الكهربائي المنجز W :

$$W = f d = e \frac{V}{d} d = eV = \frac{1}{2} mV^2$$

$$eV = \frac{1}{2} mV^2 \quad (7-35) \quad \text{و منه :}$$

فالإلكترون فولط هو الطاقة الحركية التي يكتسبها إلكترون مسرّع في حقل كهربائي يولده فرق الكمون قدره فولط واحد. و يستخدم الإلكترون فولت ( eV ) للتعبير عن الطاقة التي يحملها الإشعاع الكهروضوئي رغم تجرده من الكتلة و الشحنة .

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

و نجد بسهولة من العلاقة :

أن الفوتونات ذات الطاقات 1 eV و 1 keV و 1 MeV لها الأطوال الموجية التالية على الترتيب 1,24 μm ( منطقة الشععة تحت الحمراء ) ، 12,4 Å ( منطقة أشعة X ) و 0.0124Å ( منطقة أشعة γ ) .

الإشعاعات المؤينة و اللامؤينة :

تختلف الإشعاعات من حيث تأثيرها على المادة ، و هذا أمر يهم البيولوجي ، فهناك إشعاعات مؤينة تكون طاقتها كافية لانتزاع إلكترون من بنية جزيئة بيولوجية . و تعطى طاقة التأين بالعلاقة :

$$U = E_{\infty} - E_i \quad (7-36)$$

حيث:

U : طاقة التأين

E i : طاقة الإلكترون في مداره .

$E_{\infty}$  : طاقة الالكترن في اللانهاية .

أما الإشعاعات التي لا تستطيع أن تفعل ذلك فتسمى لا مؤينة .

إن طاقة التأين الخاصة بأهم الذرات بيولوجياً هي :

N : 14,24 eV ، O : 13,57 eV ، H : 13,58 eV ، C : 11,24 eV

و نلاحظ أن هذه الطاقات لها مرتبة طاقة تأين الهيدروجين نفسها .

و لأن فوتونات الإشعاع فوق البنفسجي الأكثر فعالية (  $\lambda = 0,1 \mu m$  ) ذات طاقة

تساوي :

$$12.4 \text{ eV} = h\nu$$

أي من مرتبة طاقة تأين الهيدروجين نفسها . لذا فإننا نسمي إشعاعاً لا مؤين ، كل

إشعاع كهربي تفل طاقته عن 13,6 eV أي الأشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي

و الأشعة تحت الحمراء و الأمواج الراديوية جميعها أشعة لا مؤينة .

أما الإشعاعات ( X و  $\gamma$  ) فهي بالطبع مؤينة .

الإشعاعات غير المؤينة:

تحتل الإشعاعات غير المؤينة مجالاً واسعاً من الأطوال الموجية في طيف الأشعة الكهرطيسية، وهي لا تقوم بتأيين المادة إلا في بعض الحالات الخاصة .  
و هنا لا بد من الإشارة إلى الأثر الكهروضوئي ، إذ يمكن للأشعة فوق البنفسجية أو المرئية انتزاع الكترون من بعض البللورات المعدنية أو لللورات أنصاف النواقل ، و يستعمل هذا الأثر الكهروضوئي مبدأ لعمل الخلايا الكهروضوئية للكشف عن هذه الإشعاعات .

و يعتبر الإشعاع الليزري الذي ينجم عن تضخيم الإشعاع ذا أثر مؤين جيد عندما يكون قوياً .

منشأ الإشعاعات غير المؤينة :

ينجم عن تهيج الكترونات المادة المشعة التي تبث نتيجة لذلك بشكل مستمر(أشعة تحت الحمراء: ومجال أطوالها الموجية من 800 وحتى 1 ملم ) .  
و يبث كل جسم إشعاعات تقابل درجة حرارته ، و عند تسخين الجسم فيصدر تبعاً :

إشعاعاً غير مرئي ( أشعة تحت حمراء ) .

إشعاعاً مرئياً (  $400 \div 800$  نانو متر ( nm ) ) .

إشعاعاً مرئياً أزرق في حال عدم تبخر الجسم و وصوله لدرجة حرارة كافية ( كالنجوم ) .

إشعاعاً فوق بنفسجي غير مرئي ( كالشمس ) .

و يصدر جسم الإنسان أشعة تحت حمراء تمت دراستها بطرائق التصوير الحراري ( دراسة المخططات الحرارية ) و يختلف طيف هذه الإشعاعات تبعاً لدرجة حرارة الجسم .

ونتيجة لإعادة توازن مستويات طاقة الالكترونات في الذرات والجزيئات المحرزة .  
يمكن أن ينتج التحريض بدرجة حرارة منخفضة عن طريق التألق الضوئي ( كالفسفرة أو الفلورة ) .

و يمكن الحصول على الإشعاعات غير المؤينة المستعملة في الأغراض الطبية باستخدام مصابيح الانفراغ الكهربائي أو مصابيح الزئبق .  
خواص الأشعة غير المؤينة ز تأثيراتها الحيوية :

يمكن لهذه الأشعة أن تولد ثلاث ظواهر لدى اصطدامها بالمادة ، فإما أن تمتص هذه الأشعة أو تعكسها أو تنفذ من خلالها .  
تهتم هذه الدراسة بالنتائج الخطرة الناجمة عن التعرض لكمية ضعيفة من هذه الإشعاعات .

وعلى مستوى الجزيئات ، فتمتص بعض المواد كالبروتينات والأحماض النووية بعض الإشعاعات فوق البنفسجية ، و ينتج عن ذلك انخفاض الأثر الإنزيمي للبروتينات و تتوقف عملية انفصال السلاسل في تناسخ الحمض الريبي النووي منقوص الأوكسجين ( DNA ) مما يؤدي إلى حدوث الطفرات Motation .

و على المستوى الخلوي، يعتبر اختراق الأشعة سطحياً جداً ، ويحدث في الجلد والقرنية والعضويات الدقيقة ، وأوراق النباتات ، ولا يمتص الماء الإشعاعات التي يزيد طول موجاتها على 185 nm .

كما يُظهر طيف نشاط الأشعة فوق البنفسجية ذروتين عند الموجة 245 نانومتر و الموجة 295 نانومتر ، و تعد هاتان الموجتان الأخيرتان اللتان تمتصان من قبل الأدمة هما الأكثر خطورة على الإنسان و هما تسببان الطفح الجلدي ، و ضربة الشمس و آثارها في الجلد ، و لا يكون أثرها مباشراً ، بل قد يحدث بعد فترة مما يزيد من خطورة الحالة .

و من ناحية أخرى ، تتيح الأشعة فوق البنفسجية إمكانية تركيب فيتاميني D3 و D2 ،

و كما لهذه الأشعة أيضاً تأثير فعال في عملية استقلاب الكالسيوم والفوسفور و الكبريت عند الإنسان مما يمنحها دوراً علاجياً ضد الكساح .

الأشعة  $\lambda = 265 \text{ nm}$  تتمتع بفعالية شديدة ضد البكتيريا وفي تعقيم الهواء .

الأشعة  $\lambda = 300 \text{ nm}$  لها آثار مسرطنة للأنسجة الحية .

يمكن أن يسبب الضوء أو النور الساطع فقدان الرؤية الآنية على الأقل، فضلاً عما تسببه من التهابات للقرنية و احتراقها و بخاصة لدى تعرضها للأشعة فوق البنفسجية .

تزيد بعض المركبات الدوائية كالأنسولين و الديرينالين من حساسية الجسم تجاه هذه الشعبة و خاصة موجاتها الأقصر من  $320 \text{ nm}$  .

لذا يجب على الأشخاص الذين يستخدمون هذه الأدوية عدم التعرض للأشعة فوق البنفسجية .

تستخدم أشعة UV لعلاج الأمراض الجلدية : حب الشباب - الصدف - التقرحات الجلدية و الجروح .

و الضوء المرئي ذو مجال ضيق يضم الأشعة الكهرطيسية التي تتراوح أطوال أمواجها

بين

( 380 - 780 nm ) و التي تستقبلها عيون الأحياء لتعطي بدورها الإحساس بالإبصار

نتيجة لاحتواء مستقبلات شبكية العين على بروتينات صباغية ( كالرودبسين )

الحساسة للضوء ، و تتفكك هذه البروتينات الصباغية عند تعرضها للضوء إلى مركباتها

المكونة فتطلق سلسلة العمليات المؤدية للإبصار .

ومن المعلوم أن للضوء المرئي أثراً فعالاً في اليخضور الموجود في الكلوروبلاستات

الموجودة في الأوراق الخضراء ، حيث يقدم الضوء الممتص من قبل المراكز الضوئية

الخاصة الطاقة اللازمة لتكوين السكريات في النباتات الخضراء. و يمتص النسيج الحي

الأشعة تحت الحمراء فتولد حرارة بعد امتصاصها وتنتقل هذه الحرارة من السطح

إلى العمق و إلى محيط النسيج المعرضة لها ، و يسبب انتشار الحرارة عن طريق

السوائل الحيوية إلى تسريع المبادلات الخلوية . وكما تظهر من جراء التعرض للأشعة

التحت الحمراء لطفح جلدي، وإذا كانت الجرعة كافية فتتكون تصبغات لا تلبث أن

تزول فيما بعد، و إن تكرر التعرض للأشعة يثبت التصبغ أنف الذكر، وإذا كانت

جرعة الأشعة كبيرة تسببت في حروق المنطقة المعرضة لها .

يشعر المريض بالألم حين ترتفع الحرارة إلى ما بين 42- 43 درجة مئوية و يزداد الدوران الموضوعي لتوسع الشعيرات الدموية ، و يستفاد من ذلك للعلاج في حالات التشنج العضلي أو الاحتقان ، و تزيد هذه الأشعة من قدرة الكريات البيض الدفاعية، كما تتمتع الأشعة تحت الحمراء كذلك بفعل مسكن .

التطبيقات في مجال التشخيص :

إن دراسة الأشعة تحت الحمراء التي يبعثها الجسم تتطلب أولاً تحديد حرارته و تغيراتها ، و تؤدي دراسة توزع حرارة سطوح الجسم إلى وضع مخطط حراري له يتضمن طاقة الأشعة تحت الحمراء التي يبعثها الجسم

يعد ارتفاع الحرارة ( سواء أكان موضعياً أم عاماً ) بمقدار 1,5 - 2 درجة مئوية ، عاملاً تشخيصياً هاماً ، و يعود ارتفاع درجة الحرارة إلى نشاط الأوعية أو الخلايا أو الالتهاب ( منطقة نمو أو ترميم أو ورمأو اضطرابات مفصلية التهابية أو انتانات أو غيرها ) .

الليزر كإشعاع غير مؤين وتأثيراته :

إن الليزر ، هو بلا شك ، من أهم ابتكارات هذا القرن ، و كلمة الليزر LASER مشتقة من الحروف الأولى للعبارة الانكليزية :

**Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation**

و التي تعني (( تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للإشعاع )) .و أينشتين Einstein هو أول من وصف الإصدار المحثوث على أسس نظرية في عام 1917 . و قد حصل T.H.Matman على أول ليزر (ياقوتي) في الولايات المتحدة و بدأ بتشغيله في تموز 1960

المبادئ الأساسية لعمل الليزر :

الامتصاص و الإصدار التلقائي :

الامتصاص :

يمكن للالكترونات التي تدور حول نواة ذرة معينة أن تشغل مدارات مختلفة ، مواقعها محددة تماماً ، كما أن انتقال الإلكترون من مدار إلى آخر أكثر بعداً عن النواة يتوافق بازدياد للطاقة الداخلية للذرة . يطلق اسم الحالة الأساسية على الحالة التي توافق النهاية الصغرى للطاقة ، أما الحالات الأخرى ذات الطاقات التي تزيد عن الحالة الأساسية فيطلق عليها اسم (( الحالات المثارة )) ، والانتقال من الحالة الأساسية إلى الحالة المثارة (أو من حالة مثارة إلى أخرى طاقتها أعلى ) يترجم بامتصاص للطاقة من خارج الذرة ، يمكن أن تكون طاقة الإثارة هذه حركية

( صدمات الجسيمات أو الذرات أو الجزيئات ... ) أو كهريطيسية ، في هذه الحالة الأخيرة ، تمتص الذرة الإشعاع الساقط عليها جزئياً أو كلياً .  
و من المعروف أن الطاقة التي يحملها فوتون معين تعطى بالعلاقة :

$$E = h \nu$$

حيث : (  $\nu$  ) : تواتر الإشعاع الكهريطيسي المرافق للفوتون .

(  $h$  ) : ثابت بلانك و يساوي  $6,62 \times 10^{-34}$  Joule . sec

يخضع امتصاص الذرة ( أو الأيون أو الجزيء ) للطاقة الكهريطيسية للعلاقة :

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

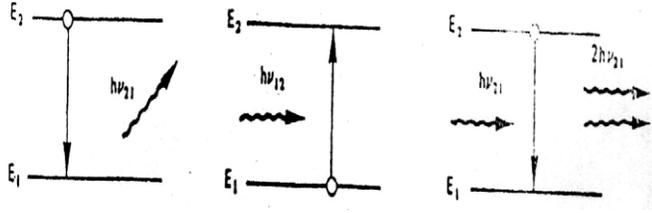
حيث :  $E_1$  : مستوى الطاقة الابتدائي في الذرة

و  $E_1 > E_2$  : هو مستوى الطاقة الذي تُنقل إليه بعد امتصاص الفوتون ذي التواتر (  $\nu$  ) .

.(

الإصدار التلقائي :

يمكن للذرة المثارة أن تفقد تلقائياً الطاقة المكتسبة و ذلك بالسقوط إلى مستوى أخفض و تتحول إلى طاقة حركية مثلاً من خلال الاصطدامات و بالتالي تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة .



الشكل رقم (7-8)

كما يمكن أن يؤدي فقدان الطاقة إلى إصدار إشعاع كهربي يخضع لعلاقة الامتصاص نفسها :  $\Delta E = h\nu$

حيث :

$(\Delta E)$  - يمثل الطاقة التي تفقدها الذرة ،  $(\nu)$  - تواتر الإشعاع الصادر .

و هذا الإصدار التلقائي للإشعاع أو الفلورة لا يحدث في آن واحد في سائر المراكز المثارة ، و يتناسب عدد الذرات التي تظل مثارة بعد مرور مدة معينة  $t$  طردياً مع  $e^{-t/\tau}$

$\tau$ ، حيث

(  $\tau$  ) ثابت يتعلق بالذرة المثارة و بالموجة الصادرة و يطلق عليه اسم ( عمر الحالة المثارة ) ، و يمكن أن يتغير من الثانية إلى جزء من النانو ثانية .  
والإصدار التلقائي غير مترابط ، فكل ذرة تصدر بشكل مستقل عن الذرات الأخرى ، في أية لحظة و خلال مدة قصيرة جداً ، و ليس ثمة علاقة بين هذه الإصدارات من حيث الطور أو الاتجاه أو الاستقطاب ، والإشعاع يصدر في جميع الاتجاهات ، بتواتر ثابت يتحدد بالفاصل بين مستويي الطاقة اللذين يحدث الهبوط فيما بينهما. و تتغير قيمته قليلاً بمفعول دبلر ، نتيجة للحركة العشوائية لمراكز الإصدار و التي ترتبط بالتهيج الحراري ، فيخضع الخط الطيفي في هذه الحالة إلى توسع ( عرض دبلر ) يرتبط بشروط الحرارة و الضغط .

الإصدار المحثوث للإشعاع :

إن ظاهرة الإصدار المحثوث آينشتين نظرياً في عام 1917 توافق كما في حالة الإصدار التلقائي ، تحرير فوتون من ذرة معينة مثارة عند هبوطها إلى مستوى طاقي أخفض .  
يُعطى تواتر الإشعاع أيضاً بالعلاقة :

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

غير أن هذا الإشعاع لم يعد تلقائياً، و إنما يتعرض بوصول فوتون طاقته تساوي الطاقة التي يمكن أن تتحرر من الذرة بعد هبوطها إلى المستوى الأخفض. و بتعبير آخر: يجب على الفوتون المحرّض أن يكون له تواتر الفوتون الذي يحرض إصداره ( الشكل 7-8 ).

يتمتع هذا الإصدار بخواص مهمة أهمها أن الإشعاعات المحرّضة والمتحرّضة لها الطور نفسه و الاتجاه نفسه و الاستقطاب نفسه ، و ليس ثمة فرق فيزيائي ممكن بين الفوتون المحرّض و الفوتون المتحرّض و ما يحدث كما لو أن الضوء قد تضخم فعلاً بالإصدار المحثوث للإشعاع و هذا هو تفسير المصطلح " ليزر " .

لنفحص الآن الشروط التي يمكن أن يحدث ضمنها الإصدار المحثوث:

لنفترض N ذرة ذات مستويين ممكنين للطاقة ، N1 ذرة في الحالة الأساسية E1 ، و N2 في الحالة المثارة E2 ( E1 > E2 ) ، و عند التوازن الحراري يخضع توزيع هذه

الذرات لقانون بولتزمان Boltzman .

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp - \left[ \frac{E_2 - E_1}{KT} \right] \quad (7 - 37)$$

( k ) ثابت بولتزمان  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Joule / deg

و( T ) درجة الحرارة المطلقة للوسط المعبر 273,15 + t = T

لنحسب مرتبة هذا التوزع :

لنفرض أن  $T = 300^\circ K$  و أن  $E_2 - E_1 = h\nu$  يوافق الطول الموجي  $1 \mu m$  ( في الإصدار أو الامتصاص ) .

أي :  $\nu = 3 \times 10^{14} \text{ Hz}$  .

ف نجد بسهولة أن :  $N_2 / N_1 - \# e^{-48} = 1,4 \times 10^{-21}$

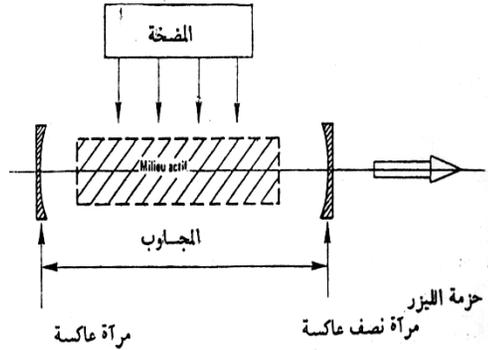
أي لا يوجد عملياً ذرات في الحالة المثارة في جسم في حالة توازن حراري عند الدرجة العادية من الحرارة للوسط المحيط ، وإن أي إشعاع وارد احتمال تحريضه للإصدار المحثوث قريب جداً من الصفر واحتمال امتصاصه قريب جداً .

من الواحد، و لكي يكون احتمال حدوث أي من الأمرين مساوياً  $1/2$ ، فإنه يجب أن يكون  $N_2 = N_1$  و بالتالي يجب أن تكون درجة الحرارة لا نهائية، وللحصول على إصدار محثوث كبير يجب أن يكون  $N_1 > N_2$  وهذا ما يمكن تحقيقه خارج مجال التوازن الحراري ، في حالة إثارة خارجية يطلق عليها اسم " الضخ " pumping .

العناصر التي يتكون منها الليزر :

الليزر منبع للطاقة يلجأ فيه الفوتون الصادر عن ذرة مثارة إلى استخراج الطاقة من الذرات المثارة الأخرى مولداً بذلك فوتونات أخرى ، فيتزايد بذلك اتساع الحقل الكهرطيسي الأصلي ، و لذلك يجب توافر عدد كبير من الذرات المثارة تكون قادرة على الإصدار بالحث ، و هذا يتطلب، كما في حالة أي متذبذب oscillator ، ثلاثة عناصر في آن واحد ( الشكل 9-7 ) :

الوسط الفعال actif medium - المضخة التي تؤدي إلى قلب التوزيع الإسكاني - حجرة التجاوب perot-fabry أو المجاوب resonator .



الشكل رقم (9-7) الرسم التخطيطي لمبدأ الليزر

الوسط الفعال ( القاعدة الذرية للجملة ) :

وهو وسط يملك بنية ملائمة ذات مستويات طاقة منفصلة تثار بسهولة و تملك القدرة على تخزين الطاقة المستقبلية من الخارج .

يحدث إصدار الليزر عند طول موجي محدد عن طريق حالتين للطاقة في هذه البنية ، عقب انتقال للجملة تبدي فيه إصداراً تلقائياً يوافق عمراً طويلاً نسبياً للمستوى الأعلى ( حالة شبه مستقرة ) .

يمكن للمادة الفعالة أن تكون جسماً صلباً، كما في حالة الياقوت وهو بلورة من الألومين تحوي أيونات الكروم الثلاثية التكافؤ بنسبة من مرتبة 0,05 % ، وهي الأيونات الفعالة في اتجاه الإصدار المحثوث ، يستخدم كذلك كمادة فعالة الزجاج المشوب بأيونات النيوديوم ، أيضاً يشيع استخدام مادة فعالة ثالثة في الليزر الصلبة و هي الياغ

YAG ( Yttrium Aluminium Garnet ) أي عقيق الإتريوم و الألمنيوم المشوب بالنيوديوم .

يمكن للمادة الفعالة أن تكون كذلك سائلاً أو غازاً ، و في هذه الحالة توضع في وعاء يكون جداران متقابلان فيه شفافين و مستويين ، والليزر السائلة ما تزال حالياً في مجال مختبر البحث ، أما الليزر الغازية فهي ، على العكس ، كثيرة الانتشار، يمكن أن نذكر أساسياً ليزر الهليوم - النيون ( مزيج من الهليوم و النيون ) وغاز ثاني أكسيد الكربون و الرغون المؤيّن، و الكربتون المؤيّن .

المضخة ( وسيلة الضخ ) :

و هي مصباح متوهج ، في حالة الليزر النبضية التي تُضخ ضوئياً، يمكن أن يكون المصباح المتوهج خطياً كما في حالة ( الشكل 7-10 ) أو حلزونياً يحيط بجسم الليزر .

تملك بعض الليزرز عدة مصابيح متوهجة خطية حول جسم الليزر .

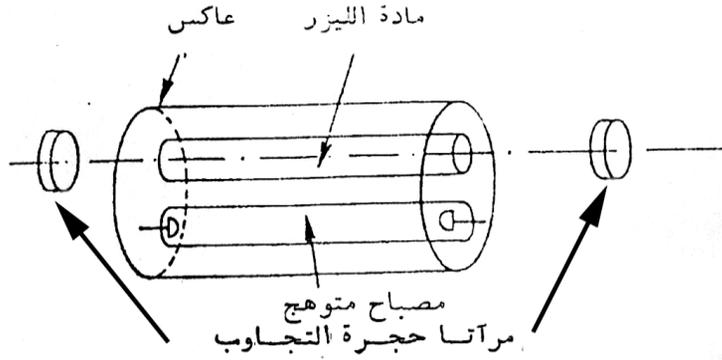
تتكيف بعض المواد الليزرية ( ياغ مثلاً ) مع استطاعة ضخ لحظية أضعف من استطاعة

المصباح المتوهج ، و يمكن أن تضخ بصمامات إصدار مستمر ( كالكوسالكزينونية مثلاً

(

و أن تعطي إصداراً ليزرياً مستمراً ، أخيراً تحاط جملة المضخة وجسم الليزر بعاكس

شكله مناسب .



## الشكل رقم ( 7-10 )

يستخدم في الليزر الغازية الانفراغ الكهربائي في الغاز نفسه كوسيلة ضاخة ، و في هذه الحالة تختلف بنية الليزر .

المجاوب - الاستجابة الضوئية:

كنا حتى الآن نفترض وسطاً فعالاً يتمتع بإمكان تضخيم إشعاع تواتره مناسب لدى دخوله فيه ، إن مثل هذا الوسط لا يمكن أن يصبح مقر تذبذب كهربي مستقر ، و لكن إذا وضع مثل هذا الوسط المضخم في حجرة تجاوب ضوئي و متكيفة مع التواتر ( V ) فإن حلقة الاستجابة الضوئية تحرض ظهور تذبذب بالتواتر نفسه طالما أن الربح الضوئي للوسط يتجاوز ما تفقده هذه الحجرة ، و هذه الظاهرة تماثل حلقات الاستجابة أو التغذية الراجعة في المتذبذبات الإلكترونية .

يحصل على هذه الاستجابة بصنع مجاوب ضوئي مكون من مرآتين عاليتي الانعكاسية متوازيتين و موضوعتين وجهاً لوجه : إن هاتين المرآتين تدفعان الموجة الكهربية في دورات عديدة من الذهاب و الإياب في الوسط الفعال ، فتضخمان بذلك الحقل الكهربي في الحجرة ،

و يتم اقتران الليزر ضوئياً بالخارج بجعل إحدى المرأتين نصف شفافة أو بإحداث فتحة في إحدى المرأتين ، وهذا الاقتران يشكل فقداً مفيداً لا بد منه .  
و من شروط التجاوب أن يكون البعد بين المرأتين مضاعفاً صحيحاً لنصف الطول الموجي .

خواص إشعاع الليزر :

إن إشعاع الليزر يتميز بترابط coherence أواجه نتيجة للإصدار المحدث ولوجود حجرة التجاوب، كما يتصف بشدته وتوجيهيته directivity و وحدانية لونه monochromaticity ، و هو يصنف كمنبع للإشعاع الضوئي ضمن الإطار العام لطيف الإشعاعات الكهرطيسية ، ولفهم الفارق الكبير بين إشعاع الليزر و إشعاع أي منبع ضوئي تقليدي لا بد من المقارنة بين خواصهما الموافقة .

و يبين الجدول ( 3-7 ) مقارنة بين الخواص الطيفية لمصباح الزئبق و الخواص الطيفية لليزر الأكثر شيوعاً و هو ليزر الهليوم - النيون .

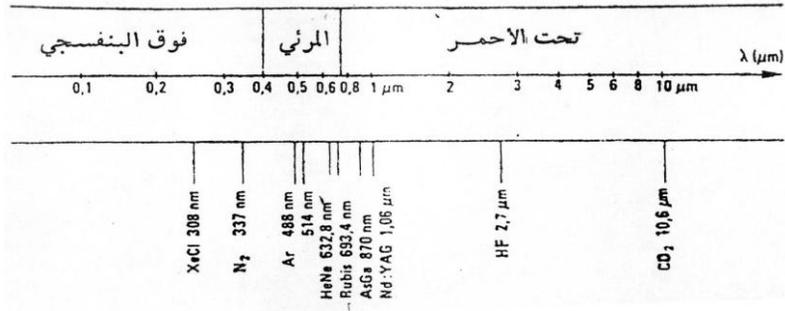
و ليس لهذه المقارنة أي دلالة إلا إذا أخذنا في الحسبان كلاً من الزاوية الصلبة التي يجري ضمنها الإصدار و العرض الطيفي للإشعاع الصادر و لهذا فإن المقدار الطاقوي التمثيلي في هذه الحالة هو التآلق الطيفي أو السطوع ،

فيؤكد حينئذ أن سطوع ليزر الهليوم - النيون الذي تقل استطاعته بمئة ألف مرة عن استطاعة مصباح الزئبق أكبر بمقدار 10 7 منه في حالة الزئبق .

ليزر الهليوم - النيون	مصباح بخار الزئبق التقليدي	
632,8 nm	5460 nm	الطول الموجي $\lambda$
1 m W	100 W	الاستطاعة $\rho$
$2 \times 10^{-3}$ nm	$\approx 10$ nm	الشريط الطيفي $\Delta\lambda$
$\delta\Omega \cong 10^{-6}$	$\delta\Omega = 4 \pi$	زاوية الإصدار الصلبة (ستراديان)
$5 \times 10^7$ W/cm <sup>2</sup> .Sr.nm	1 W/cm <sup>2</sup> . Sr . nm	التألق الطيفي $I \lambda$

الجدول (3-7) يوضح مقارنة بين الخواص الضوئية لمُنبع ضوئي تقليدي و ليزر معروف يرجع هذا الأمر إلى حقيقة أن الإصدار الليزري يحدث وفق شريط تواتري ضيق جداً وإن أهمية الليزرات كافة تتركز في الواقع، حول شدة هذه النقاوة الطيفية

يضاف إليها خاصية مكانية أساسية تميز توجيهية الإشعاع ، فتباعد حزمة الليزر ضعيف جداً، إذ أن الزاوية الصلبة التي يحدث ضمنها الإصدار صغيرة جداً، و تقدر بالميكروستراديان microsteradians . إن المجال المفيد من طيف الإشعاعات الكهرطيسية والذي يصدر ضمنه معظم الليزرات يمتد من المجال تحت الأحمر المتوسط ( 10  $\mu$  m ) إلى فوق البنفسجي القريب 200 nm ، ثمة أجهزة تعمل خارج حدود هذا المجال ولكنها أجهزة مختبرية ، يبدي ( الشكل 7-11 ) في هذا الجزء من الطيف المواقع الموافقة لأطوال أمواج إصدار أكثر الليزرات المتوافرة في السوق شيوعاً و نخص منها :



الشكل رقم ( 7-11 )

أنواع الليزر :

الليزر الكربوني CO<sub>2</sub> (  $\lambda = 10,6 \mu m$  ) : و هو ليزر جزيئي ، يصدر وفق النظام المستمر أو النبضي .

ليزر فلور الهيدروجين HF (  $\lambda = 2,7 \mu m$  ) : و هو ليزر كيميائي يعمل وفق النظام المستمر أو النبضي ، يعتمد على تفاعلات كيميائية من شأنها تشكيل جزيئات موجودة في حالتها المثارة مباشرة .

ليزر النيوديوم ( Nd ) الواقع عند تحت الأحمر القريب (  $\lambda = 1,06 \mu m$  ) : و هو ليزر مكون من عازل مشوب يعمل أساسياً وفق النظام النبضي ، يمكن أن يكون القالب بلورياً

( YAG ) أو زجاجياً ( الزجاج المشوب ) .

ليزر زرنينخ الغاليوم As Ga : و هو ليزر نصف ناقل يصدر عند تحت الأحمر القريب بين 850 و 900 nm وفق النظام المستمر .

ليزر الياقوت (  $\lambda = 694,3 nm$  ) : و هو ليزر عازل مشوب يعمل وفق النظام النبضي في المجال المرئي ( الأحمر ) .

ليزر الهليوم - النيون ( He - Ne ) : و هو ليزر غازي يصدر باستمرار في المجال الأحمر عند الطول الموجي  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  .

الليزر الصباغي: وهو ليزر يمكن تكييفه تواترياً في كامل المجال المرئي ( 400 nm \_ 700 nm ) و يصدر باستمرار أو بشكل نبضي .

ليزر الأرجون : و هو ليزر مؤين يعمل وفق النظام المستمر وفق عدة خطوط مرئية ، يقع الخطان الأكثر شدة عند  $\lambda = 442 \text{ nm}$  ( الأزرق ) و  $\lambda = 514 \text{ nm}$  ( الأخضر ) .

ليزر الهليوم - الكاديوم ( He - Cd ) : و هو ليزر بخار معدني ، يصدر في منطقة الأزرق ، عند الطول الموجي  $\lambda = 442 \text{ nm}$  ( الأزرق )

ليزر الآزوت N<sub>2</sub> : و هو ليزر فوق بنفسجي نبضي يصدر عند الطول الموجي 337 nm .

ليزرات الإكسايمر Excimer ( excited dimer ) و يعني معقداً ثنائياً مثاراً ، و هي طائفة جديدة من الليزرات الجزيئية النبضية فوق البنفسجية، و أكثر ما يمثلها ليزر المعقد المثار المكون من كلور الزينون ( Xe Cl ) و يصدر عند الطول الموجي  $\lambda =$

. 308 nm

التفاعل بين ضوء الليزر و النسيج الحيوية ( الامتصاص الانعكاس ، الانتثارو النفوذية ):

عندما يسقط ضوء الليزر على المادة الحية فإما أن يُمتص فيها أو ينعكس عنها أو ينتثر فيها أو ينفذ منها .

و في الحالة التي يحدث فيها امتصاص للضوء فإما أن يعقب ذلك إشعاع للفلورة أو أن تتدخل آليات أخرى من شأنها إتلاف الخلايا كالمفعول الحراري أو الفوتوكيميائي أو القطع الضوئي أو الكهربائي أو الميكانيكي أو الكمومي ، و بقدر ما يكون امتصاص النسيج للضوء شديداً يكون عمق اختراقه أضعف و آثاره أكثر سطحية .

هذا و إن مكونات المادة الحية تختلف في امتصاصها للضوء بحسب الطول الموجي ، فالماء الذي يدخل في تركيب الجسم بنسبة كبيرة يمتص بشدة في المجال فوق البنفسجي البعيد ( أقل من 200 nm ) و في تحت الأحمر البعيد ( بدءاً من 1,3 m أي 1300 nm ) . كما تتميز الجزيئات العطرية الحلقية في البروتينات و الحموض النووية بامتصاص أعظمي في المجال الواقع بين 260 و 280 nm و لهذا فإن عمق اختراق أضواء الليزر فوق البنفسجي و تحت الأحمر في النسيج ضئيل جداً .

تعود حمرة الدم إلى شدة امتصاص الهيموغلوبين في مجالات الأزرق والأخضر والأصفر .  
أما فيما يتعلق بالميلانين ، وهو الصباغ السائد في البشرة ، فهو يمتص في مجال واسع  
يميد من فوق البنفسجي إلى تحت الأحمر القريب .  
أما الضوء الواقع بين 600 nm و1300 فتخامده في النسيج الحيوية ضئيل جداً ، و  
تكون شفافية الجسم أكبر ما يمكن عند الطول الموجي 1000 nm .  
إن تفاعل الضوء مع النسيج لا يقتصر على الامتصاص ، فالضوء يمكن أن ينعكس عن  
النسيج ، أو ينتثر في جميع الاتجاهات ، فعندما تسقط حزمة ليزرية على نسيج حيوي  
، ينعكس عنه جزء صغير من الضوء يقدر بنحو 5 % .  
إن معظم حزمة الليزر يخترق النسيج حيث يمتص جزئياً و ينتثر جزئياً ، وإن امتصاص  
الضوء في المجالين فوق البنفسجي و تحت الأحمر، كما رأينا شديد و عمق اختراقه  
ضعيف جداً .  
و إن انتشار الضوء بشدة في النسيج و في الاتجاه كافة بين الطولين الموجيين 600 nm و  
1300 nm هو السبب الذي يضعف امتصاصها له كما يؤدي إلى عتامتها بحيث لا  
يتجاوز عمق اختراقه لها بضعة ملمترات ، و في حالة الضوء المرئي الذي يقل طوله  
الموجي عن 600 nm يتضافر الامتصاص مع الانتثار ليعطي عمق اختراق أقل من  
الملمتر .

يسبب امتصاص الجزيئات الحيوية للفوتونات الضوئية تغيرات شديدة فيها و من هذه التفاعلات :

التفاعل الحراري :

إن هذا المفعول يتعلق بامتصاص النسيج المعرض للإشعاع بشكل إجمالي للطاقة الضوئية ، وهو التفاعل الأكثر شيوعاً وفائدة بين طرائق العلاج الليزرية ، فالجزيئات المثارة بفوتونات حزمة ليزرية تفقد إثارته بعمليات لا إشعاعية تتحول فيها الطاقة الضوئية إلى حرارة ترفع درجة حرارتها موضعياً ، وعندما يشع نسيج معين بحزمة ليزرية مبراة يشرع الماء فيه بالغيان ثم يتفحم ( عند نحو 200 م° ) ، في حين يتخثر الدم في المنطقة المجاورة ، و قد استخدمت عدة ليزرات في هذا النوع من طرائق العلاج الحرارية .

إن ليزر غاز الكربون الذي يصدر عن الطول الموجي تحت الأحمر البعيد  $10,6 \mu m$  يعد من أكثر الليزرات فعالية في الجراحة نظراً لأنه يمتص بسهولة من قبل النسيج، فهو يسهم في نزع بعض الناميات (الزوائد ) في الأنف والحنجرة أو الكبد أو المناطق النسائية بفقدان للدم أقل بكثير منه في حالة التداخل الجراحي التقليدي بفضل قدرته التخثيرية ،

فضلاً عن أن المنطقة المتخثرة رقيقة نظراً لأن الحزمة لا تخترق النسيج المشع إلا سطحياً .

تستخدم الليزر المرئية، كالليزر الأروغونية ( الأزرق - الأخضر ) و الكربتونية ( الأحمر ) كثيراً في الطب ، فالأزرق بخاصة يُمتص بشدة من قبل الهيموغلوبين و هذا ما يعطي ليزر الأروغون خواص التخثير المهمة .

يستخدم ليزر الأروغون في العينية في إيقاف نمو الأوعية في قعر العين لدى المرضى السكريين ، و في كبح انفصالات الشبكية .

أما في معالجة الأورام الوعائية والنمش taches devin فيفضل نوع آخر من الليزر و هو الليزر الصباغي ، بهذا الليزر الذي يكيف بحسب الرغبة وفق مجال عريض من الأطوال الموجية يسمح بتشجيع المناطق المصابة بالطول الموجي 580nm و هو الطول الموجي الموافق لنهاية امتصاص الهيموغلوبين الأخيرة، والذي يمتاز بعدم التأثير في المناطق الأخرى المجاورة على عكس الضوء الأزرق .

## المفعولات الفوتوكيميائية :

وهي المفعولات المرتبطة بالامتصاص الاصطفاي للضوء ، الذي تقوم به في معظم الأحيان إحدى الركائز المكونة للخلية، وتتجلى إما بإتلاف الخلايا الخبيثة مباشرة أو على مراحل متعددة و في هذه الحالة يطلق على هذا التأثير اسم التأثير الفوتودينميكي، وتعتمد على حقن متحسس ضوئي يمتاز بتفضيله التثبيت على الورم: وجزئاته قادرة على امتصاص ضوء الليزر بفعالية كبيرة، وهذا ما يحملها إلى حالات مثارة ، ثم تعود بسرعة كبيرة نحو حالات طاقاتها أخفض مع تشكيل نواتج سامة تقتل الخلايا الخبيثة وهنا تكمن الفائدة الرئيسة من العملية .

للمواد المتحسسة بالضوء تاريخ طويل في الطب، وقد اكتشف قدماء المصريين علاجاً يربط بين تناول النباتات التي تحوي الصداقولين psoriasis والتعرض لضوء الشمس في حالة البهق vitiligo ، وهو يستخدم حالياً في معالجة الصدف . ويوجد العديد من المتحسسات الضوئية التي تتمركز في النسيج المريضة : كالأكريدين والأبوزين و الفلوروسئين و التتراسكلين و الكبريتات و البربرين berberine و أهم هذه المواد البرفيرينات التي تتمركز في النسيج المريضة أكثر من النسيج السليمة .

ثمة مركب للبرفرين وهو مشتق الهيماتوبرفرين ( HPD ) يمتاز بالثبوت على الورم و الكشف عن وجوده بالفلورة الحمراء و بتحريض التمثول بعملية فوتودينمكية ، و يستخدم حالياً في معالجة مختلف الأورام الخبيثة ( في الرئة أو المثانة أو المري ) .  
ولفهم آليات المعالجة الفوتودينمكية بالاعتماد على ( HPD ) في حالة السرطانات ، يجب فحص الخواص البارزة للجزيئات ، فهي قادرة على امتصاص الضوء في مجال واسع من الأطوال الموجية .  
تقع أول نهاية عظمى للامتصاص عند 400 nm ، و لكن هذا الموقع يوافق نهاية امتصاص لهموغلوبين الدم و غير ملائمة جداً لمعالجة الأورام .  
كما يوجد نهايات عظمى عديدة أخرى يقع آخرها عند 630 nm وهو طول موجي ينخفض عنده امتصاص الهموغلوبين بشدة ، و يختار ليزر عند هذا الطول الموجي لتشجيع الـ ( HPD ) المتمركز في الورم لأن هذا الطول الموجي هو الذي يضمن أكبر عمق للاختراق .

إن امتصاص جزيئات الـ ( HPD ) للفوتونات ينقلها إلى حالات مثارة ، حيث يمكنها أن تفقد طاقة الإثارة إما بإصدار إشعاعات فلورة مميزة حمراء تحوي خطين طيفيين ، و هذا الضوء دليل على الخلايا التي قامت بتثبيت جزيئات الـ ( HPD ) أي على الخلايا الورمية .

إذا كان هذا الشكل لزوال الإثارة يضمن تشخيصاً شديداً التأثير بالأورام ، فإن الطريق الآخر الذي تسلكه كذلك من وقت إلى آخر لتسقط ثانية على الحالة الأساسية هو الذي يحرض التمثوت .

إن إتلاف الخلايا الخبيثة بالأكسجين الذري الناتج في داخل الورم نفسه هو أساس المعالجة الفوتودينميكية والتي تستخدم في مراكز عديدة في العالم لمعالجة سرطانات الجلد .

إن المعالجة الفوتودينميكية يمكن أن تكون مفيدة أيضاً في إكمال طرائق العلاج الأخرى بتطبيقها في تنظيف مكان الورم بعد العملية لإزالة آخر الخلايا الخبيثة .

الفلورة ( الكشف عن الأورام عن طريق الفلورة المحرصة بالليزر ) :

يجري التشعيع عملياً بليزرات يتكون وسطها الفعال من صبغ منحل في محل يمكن تكيف طوله الموجي مع القيمة المطلوبة، واستطاعتها تقدر بنحو 2 Watt .

يستمر التعرض لليزر بضع عشرات الدقائق ، و في العرف التجريبي تقارن المناطق المشععة بالليزر بمناطق أخرى غير مشععة مما يظهر فعالية العلاج .

إلى جانب النتائج الواعدة للمعالجة الفوتوديناميكية التي تقوم بها المواد المتحسسة بالضوء كالهيماتوبرفرين ، فإن هذه المواد تمتاز بإصدار إشعاع الفلورة الذي يمكن إظهار وجود أورام صغيرة في وقت مبكر جداً مقارنة بالطرائق التقليدية ، كما يمكن للفلورة داخلية المنشأ ( الذاتية ) المتحسسة بالليزر في مختلف الأصبغة الطبيعية للنسج أن تسهم في تعيين هوية هذه النسج ، وهي تمتد في مجال عريض من الأطوال الموجية، وتقع نهايتها العظمى عند الأزرق المخضر في الحالة التي يصدر فيها الليزر في المنطقة البنفسجية أو فوق البنفسجية .

إن الفلورة الذاتية في الخلايا الورمية أضعف منها بكثير في حالة الخلايا السليمة ، وهي تهبط إلى النصف في أورام القصبات، وأضعف بعشرين مرة أو أكثر في حالة أورام المثانة .

أما بوجود مستحضر للفوتونات فيمكن الاعتماد على زيادة الفلورة النوعية العائدة لهذا المتحسس بالنسبة إلى الفلورة الذاتية لتحسين التباين بين الخلايا الورمية والسوية .  
ولهذا يكفي تقسيم شدة الخطوط العائدة للمتحسس وحده على شدة الفلورة الذاتية .

ونظراً لأن كلاً من شدتي الفلورة يتناسب طردياً مع الإضاءة الليزرية فإن هذه التقانة تمتاز بإعطاء إشارة مستقلة عن الشدة الضوئية وعن طريقة إضاءة الورم وعن حالته السطحية ... الخ ، و بذلك يصبح التشخيص مستقلاً عن العوامل التي يصعب التحكم فيها سريرياً .

القطع الضوئي ( الليزري ) photoablation :

وهو التأثير الفوتوكيميائي اللاحراري، وينتج بخاصة عند الليزر فوق البنفسجية النبضية (الإكسامر)، وتفيد هذه المعالجة بخاصة في حالة الشرايين التاجية نظراً لأن الليزر التي تؤثر في المفعول الحراري تحرض توذماً شريانياً، لا يحصل في حالة القطع الليزري فوق البنفسجي، وقد جرت معالجة المئات من المرضى بهذه الطريقة من أمراض الشرايين التاجية.

المفعولات الكهربائية :

ثمة آلية أخرى لتفاعل ضوء الليزر مع المادة الحية تكمن في الحقل الكهربائي الذي يرافق حزمة الليزر. إن كل فوتون في هذه الحزمة يترافق في الواقع بموجة كهرومغناطيسية جيئية مكونة من حقلين كهربائي وآخر مغناطيسي. ونظراً للترباط المكاني لكافة الفوتونات المكونة لحزمة الليزر ،

فإن الحقل الكهربائي أو المغنطيسي في كل نقطة منها هو مجموع الحقول الكهربائية أو المغنطيسية لكافة الفوتونات، الأمر الذي ينجم عنه إمكانية بلوغ الحقل الكهربائي المرتبط بالحزمة قيماً كبيرة من مرتبة  $10^7 \text{ vm}^{-1}$  إلى  $10^{12} \text{ vm}^{-1}$ .  
و لما كانت الحقول الكهربائية التي تتحكم في الذرات و تربط بين الإلكترونات والنوى تقع بين  $10^8$  و  $10^{12} \text{vm}^{-1}$  ، فإننا ندرك سهولة أنه يمكن لنبضات الليزر أن تتلف التعضيات الجزيئية و تؤدي لتأيينها و تحطم روابطها و ظهور الجذور الحرة . يمكن أن نفهم من ذلك أيضاً أن النبضات الليزرية يمكن أن تؤثر على الثوابت الفيزيائية للأوساط التي تعبرها ، كناقلية النسج و ثوابت كهرنفوذيتها أو الاستقطاب الغشائي للخلايا مما يحدث اضطرابات في التبادلات الأيونية عبر الغشاء .  
عند استخدام الليزرات النبضية ( نانو أو بيكو ثانية ) فإن هذه الظواهر الكهربائية تكون شديدة جداً وتعرض في نقطة تأثيرها توليد كرة من الغاز المتأين أو البلازما ، تؤثر في الإشعاع الذي يولدها بقدر تأثيرها على الوسط البيولوجي الذي تتولد فيه .  
المفعولات الميكانيكية :

إن المفعلات الميكانيكية في حالة الليزرات النبضية ، حيث تساق الطاقة إلى الهدف البيولوجي في مدد قصيرة جداً ( تقع بين 100 ms و 10-12 s ) تعود إلى تفاعل طاقة إشعاعية كبيرة جداً مع الوسط البيولوجي بشكل يكاد يكون لحظياً .  
إن هذا التفاعل يضم :

توليد الأمواج الصوتية وأمواج الصدم نتيجة لتولد تدرج حراري موضعياً في النسيج يتطور بسرعة بدلالة الزمن .

المفعول الكهترتقليصي electrostrictif المرتبط بالحقل الكهربائي للموجة .  
ضغط الإشعاع الذي يحدث عند مستوى السطح البيني لامتصاص الإشعاع .  
إن الأمواج الميكانيكية المتولدة بهذه الطريقة تدفع الخلايا مشكلة في بعض الحالات فوهة حقيقية و يمكنها توجيه بعض الجزيئات في اتجاهات مفضلة .  
إلى جانب ذلك يمكن لموجات الصدم هذه أن تولد ظواهر فوق صوتية عالية التواتر جداً تنتقل في الأوساط المحيطة و إن هذه الظواهر الميكانيكية عندما تطلق نبضة الليزر على حجرة صلبة شبه مغلقة كالحجاج ( orbite ) أو الحفرة السنية تكون ذات أهمية خاصة نظراً لأن جودة ناقليتها العظمية يمكن أن تحرض إصابات عن بعد .

الإشعاعات المؤينة - الأشعة السينية ( X-ray ) :

مبدأ عمل أنبوب توليد الأشعة السينية

(أنبوب كولبيج Coolidge):

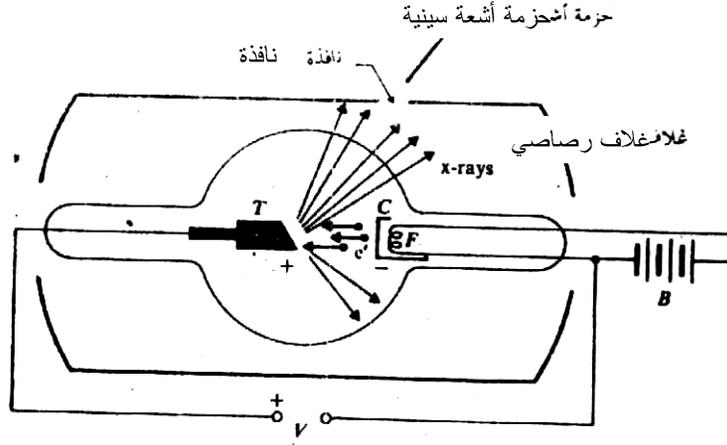
يتكون المهبط من سلك تنغستين (F) كما في الشكل (7-12). تُسرّع الإلكترونات الصادرة عن المهبط (C) نحو المصعد (T) المقابل للمهبط بواسطة كمون تسريع  $V$  يصل لعدة آلاف فولط مطبق بين المهبط والمصعد، وعندما يصطدم الإلكترون بالمصعد (الهدف) تكون طاقته الحركية:  $K = eV$ .

فالإلكترونات التي تصطدم بالهدف تفقد 98% من طاقتها الحركية على شكل حرارة، أما الجزء الباقي من الطاقة الحركية فإنه يولد الأشعة السينية في عملية إشعاع التباطؤ، وتكون الأشعة السينية الصادرة متناحية. وهذا ما يستدعي وجود نظام تبريد لتبريد الحرارة. فعندما يصطدم الإلكترون المسرع ذو الطاقة الحركية  $K$  بهدف معدني، تتولد قوة جذب بين هذا الإلكترون ذي الشحنة السالبة ونوى ذرات المعدن ذات الشحنة السالبة، مما يؤدي إلى تغير مسار الإلكترون، وينتج عن ذلك تباطؤ الإلكترون يرافقه إصدار أشعة كهرومغناطيسية طاقتها  $h\nu$  تساوي مقدار الطاقة الحركية للإلكترون  $(K_1-K_2)$ ، ويدعى هذا الإشعاع بالأشعة السينية.

يكون المسريان (المصعد والمهبط) متوضعين في أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء تحت ضغط جوي منخفض. ويحقق التصفيح الخارجي للأنبوب الحماية والوقاية وتوجيه الحزمة المفيدة الأغراض عبر النافذة الموجودة في هذا التصفح الرصاصي. وتتراوح قيمة فرق الكمون الضروري لتوليد الأشعة السينية من 50-150 كيلو فولط في الاستخدامات الطبية. ويحدد فرق الكمون المستخدم إلى إمكانية اختراق الأشعة السينية للأجسام. ويكون الطول الموجي الوسطي الحاصل من مرتبة 10 بيكومتر ( $A^{0.1}$ ). وتتعلق شدة الأشعة السينية التي تعبر النافذة، بعدد الإلكترونات الصادرة عن السلك خلال واحدة الزمن، و بدرجة حرارة السلك التي تحدد مقدار تدفق تيار الفوتونات الصادرة عن المصعد في واحدة الزمن.

ومن المفيد أن ننوه إلى أن إصدار X-ray، تتوقف فجأة فور إيقاف تغذية الأنبوب بالتوتر العالي.

يسبب تحسين مردود الأشعة السينية عن طريق زيادة التوتر العالي، انزياحاً في طيف الأشعة السينية نحو أمواج أشعة ذات أطوال موجية أقصر كما سنرى لاحقاً.



شكل (12-7) مخطط أنبوب الأشعة السينية لتوليد الأشعة السينية

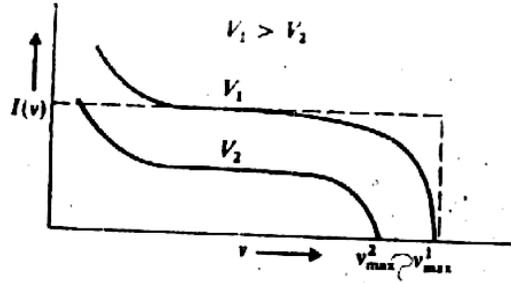
طيف الأشعة السينية:

يوضح الشكل (13-7) الطيف المستمر للأشعة السينية، وهو يبين تغيرات شدة

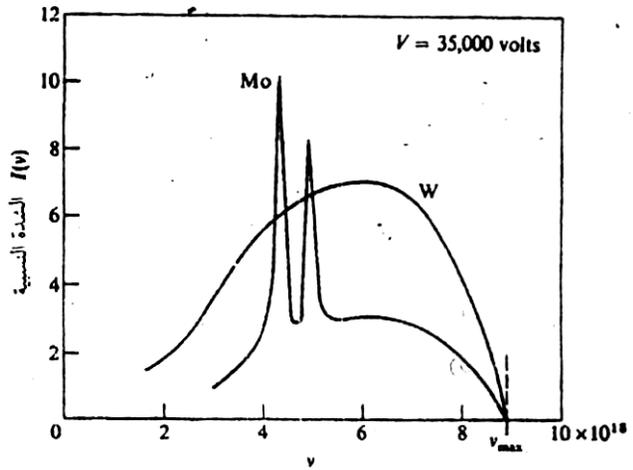
الإشعاع  $I(V)$  بدلالة التواتر ( $\nu$ ) من أجل جهدي تشغيل  $V_1$ ،  $V_2$ .

أما الشكل (14-7) فيبين تغيرات  $I(V)$  بدلالة  $\nu$  من أجل معدنين مختلفين هما

التنجستين  $w$  والمولبيديوم  $Mo$ ، وذلك من أجل نفس جهد التشغيل.



شكل (13-7)



شكل (14-7)

ومن أهم الخصائص المميزة لطيف الأشعة السينية:

1- يملك طيف الأشعة السينية توزيعاً مستمراً للإشعاع على كافة الترددات حتى تردد أعظمي معين  $V_{max}$ ، بحيث تكون قيمة  $V_{max}$  مستقلة عن مادة الهدف كما هو مبين في الشكل (7-14)، ولكنها تتعلق بجهد تسريع الأنبوب  $v$  كما هو مبين في الشكل (7-13) ويتناسب  $V_{max}$  طرداً مع كمون التشغيل  $V$  وفق العلاقة:

$$\frac{V_{max}}{V} = const \quad (7-38)$$

2- يبين الشكل (7-14)، وجود خطوط مميزة مركبة على طيف الأشعة السينية المستمر بالنسبة لهدف الموليبيديوم، وإن موضع هذه الخطوط لا يتأثر بتغير جهد التسريع  $V$ ، وبالمقابل فإن موضع هذه الخطوط تظهر عند مواضع مختلفة بالنسبة لمواد مختلفة. هذه الخطوط هي خطوط الأشعة السينية المميزة التي تتعلق بطبيعة مادة الهدف.

لو عدنا إلى العلاقة (1-6) والتي تربط بين التردد الأعظمي  $V_{max}$  وعلاقته بكمون التسريع، فإنه لا يوجد تفسير في النظرية الكهروضوئية الكلاسيكية، ولكن نظرية الفوتون (كم الطاقة المتحرك بسرعة الضوء)، فإنها تقدم تفسيراً لعلاقة  $V_{max}$  بـ  $V$

بحيث:

يمكن للإلكترون الوارد أن ينتج عدد من الفوتونات، ولكن إذا فقد الإلكترون كل طاقته دفعة واحدة فيعطي فوتوناً واحداً طاقته  $h\nu_{\max}$  ويحقق العلاقة التالية:

$$h\nu_{\max} = e V$$

ومنه يمكن كتابة العلاقة التالية:

$$\frac{\nu_{\max}}{V} = \frac{e}{h} \text{const} \quad (7-39)$$

$$\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\max}}$$

ولكن:

$$\frac{c}{\lambda_{\min} V} = \frac{e}{h} \quad (7-40)$$

ولذلك:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} \quad (7-41)$$

ومنه نجد:

ولو عوضنا قيمة كل من  $c$  ،  $h$  ،  $e$  فنحصل على العلاقة:

$$\lambda_{\min} = \frac{1.24 \times 10^{-4}}{V} \quad (cm) \quad (7-42)$$

حيث تقدر  $V$  بالفولت.

خواص الأشعة السينية:

نظراً للتطبيقات المتعددة للإشعاعات المؤينة، سواء في مجالي التشخيص أو المعالجة أو في مجالات البحث العلمي تدفعنا إلى تناول هذه الإشعاعات ودراستها بشيء من التفصيل.

اكتشف العالم روننتجن (Roentgen) الأشعة السينية في عام 1895 وذلك عندما كان يجري تجاربه على مصابيح الأشعة المهبطية وتعليله لهذه الظاهرة وقد منح جائزة نوبل الأولى للفيزياء تقديراً لاكتشافه وتفسيره.

للأشعة السينية طبيعة الضوء المرئي نفسها، فهي أشعة كهرومغناطيسية. وتحتل الأشعة السينية موقعاً متوسطاً بين الأشعة غاما والأشعة فوق البنفسجية.

وتتلخص خصائص الأشعة السينية بما يلي:

لا تنحرف حزمة الأشعة السينية بتأثير الحقول الكهربائية والمغناطيسية، مما يؤكد أن فوتونات الأشعة السينية لا تحمل أية شحنة كهربائية.

تنتشر الأشعة السينية عبر المادة في كل اتجاهات الفراغ، ويترافق ذلك بتغيرات متفاوتة في أطوال موجتها.

تمتص المواد الأشعة السينية بمقادير أدنى بالمقارنة مع الضوء المرئي، وتتفاوت قيم الامتصاص تبعاً لطبيعة المادة المُخرقة وثنائتها، وتُعد هذه الخاصية بالتحديد أساساً لتصوير الشعاعي التشخيصي الطبي والسني باستخدام الأشعة السينية.

تحدث الأشعة السينية تفاعلات كيميائية وحيوية في الأنسجة الحية، إذ يؤدي هذا الفعل الكهروضوئي إلى التأين ويأخذ الاستقلاب الخلوي مسارات غير طبيعية، وقد ينتهي ذلك أحياناً بموت الخلايا. وتؤثر الأشعة السينية في مستحلبات التصوير الشعاعي فنحصل بذلك على الصور المستقرة.

تعرض الأشعة السينية عدداً من المواد على التألق، إذ تبث بلورات كبريتات التوتياء مثلاً ضوءاً أخضر مرئياً إذا أُثرت ذراتها بالأشعة السينية، وينجم ذلك عن تحول فوري لأطوال أمواج الأشعة السينية القصيرة إلى أمواج ضوئية مرئية أطول. ويعدُّ التنظير الشعاعي Radioscopy تطبيقاً عملياً لهذه الخاصية، وكذلك التصوير الشعاعي الذي يتم باستخدام كاسيتات مع شاشات إضافية.

تمتلك الأشعة السينية القدرة على تأيين الغازات التي تخترقها. وتؤين كذلك الهواء الجوي، ويزول هذا التأين فور توقف تدفق الأشعة لأن الشوارد لا تلبث أن تتحد ثانية فيما بينها.

تنتشر الأشعة السينية بخط مستقيم في الفراغ - كما في الأشعة الضوئية - وفي المسافات الأولى من الهواء القريبة من منبعها وينجم عن ذلك ما يلي:  
يكون عدد الفوتونات ثابتاً ضمن زاوية مجسمة صلبة محددة، يمثل منبع الأشعة السينية قمة لها.

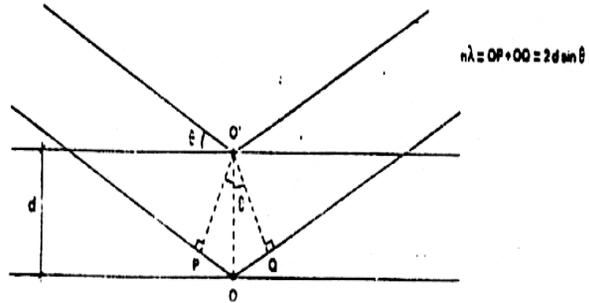
يقل عدد الفوتونات الواصلة إلى واحدة السطح كلما ابتعدنا عن قمة الزاوية المشار إليها سابقاً بحيث يتناسب ذلك عكساً مع مربع بعد السطح عن القمة الزاوية.  
تغير الأشعة السينية اتجاهها داخل البلورات ضمن بعض الشروط أي أن هذه الأشعة تعاني كذلك ظاهرة الانكسار المعروفة.  
يمكن للأشعة السينية أن تولد ظواهر التداخل الموجية المعروفة أيضاً في الأشعة الضوئية.

الأشعة السينية نفوذة عبر البلورات: فعندما نسقط حزمة عمودية وموجهة من الأشعة السينية على سطح بلورة ما، فنلاحظ ارتسام صورة لانعراج الأشعة المارة على مستوي عمودي تصطم به الأشعة خلف البلورة. وتتكون هذه الصورة بفعل ذرات مختلف السطوح الشبكية للبلورة التي تنشر الأشعة في كل اتجاهات الفراغ.

أما انعكاس الأشعة السينية على سطوح فرمي في البلورات فتحصل وفقاً للآلية التالية: تنعكس الأشعة السينية الواردة نحو سطح البلورة باتجاه غير ناظمي على سطوح التراص المختلفة (فرمي). فقسم من هذا الانعكاس يحصل على السطح بينما يحصل بعضه الآخر في العمق داخل البلورة. لهذا فإن جزء الحزمة المنعكس على السطح الداخلي (الذي يبعد عن السطح الخارجي بمسافة  $d$ ) يسير مسافة أطول ومقدارها  $2d \sin \theta$  حيث  $\theta$  هي الزاوية المحصورة بين الشعاع والسطح، الشكل (7-15)، ويتطلب المحافظة على التوافق في الطور الأساسي المحافظة على علاقة براغ (Bragg).

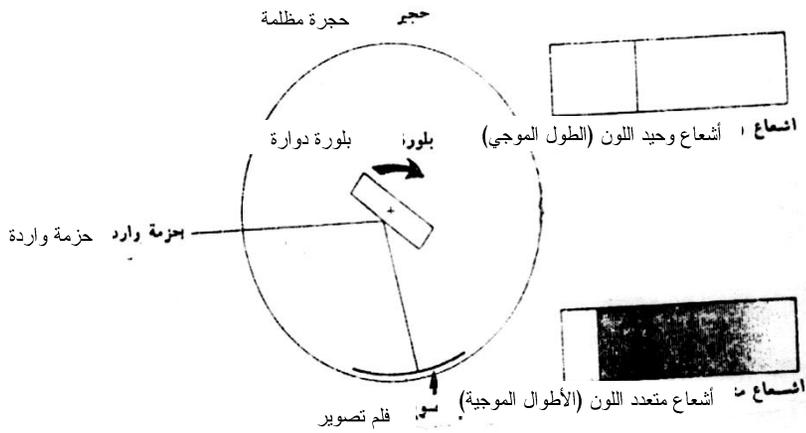
$$(7-43) \quad \dots n\lambda = 2d \sin \theta$$

(حيث  $n$  عدد صحيح)



شكل (7-15) انعكاس براغ

وهذا يسمح لنا بحساب البعد الشبكي (d) من حساب طول موجة الشعاع المستخدم. وهذا هو أساس إحدى طرائق التصوير الطيفي الهامة باستخدام الأشعة السينية. أما عن التصوير الطيفي بطريقة البلورة الدوّارة، فتقوم هذه الطريقة على وضع البلورة المشار إليها في الشكل السابق (7-15) على محور دوران في غرفة مظلمة بشكل يسمح بانعكاس الأشعة السينية على لوحة تصوير حساسة. فنحصل بنتيجة ذلك على مخططات طيف ذات خطوط سوداء تدل على الأوضاع التي يتحقق فيها توافق الطور. ففي حالة شعاع مكوّن من طول موجي واحد نحصل على خط أسود واحد، أما في حالة شعاع متعدد الأطوال الموجية المتتالية نحصل على خطوط متعددة على الفم، وكل وضع جديد للبلورة يحدد زاوية جديدة  $\theta$  ويختار طولاً موجياً يسمح بتوافق الطور، الشكل (7-16).



شكل (7-16) الصورة الطيفية للأشعة السينية بطريقة البلورة الدوارة

أما تطبيقات الأشعة السينية فتتلخص بما يلي:

إنها وسيلة مراقبة في الصناعة للتحقق من بعض البنى في الصناعات الثقيلة (كبنية أجنحة الطائرات، و .. الخ)، وهذا ما يدعى بالتصوير الشعاعي المعدني. إن دراسة انحراف الأشعة السينية في الأجسام البلورية والحيوية يعطي صورة مميزة لهذه البلورات والأجسام الأمر الذي يساعد كثيراً على فهم تركيبها الداخلي المعقد، واعتماداً على صور الانحراف هذه تمكن العلماء من إعادة بناء هياكل جزيئية معقدة مثل تركيب الدنا (DNA) وتركيب العظام وغيرها.

تستخدم الأشعة السينية بشدة في المجالات الطبية المختلفة من أجل إجراء التنظير الشعاعي، أو التصوير الشعاعي، وفي المعالجة الشعاعية، إضافة لاستخداماتها الطبية السنية في تصوير الأسنان.

وحدات الإشعاع:

التعرض - الرونتجن:

يعبر التعرض عن مقدار كمية التأين الذي تحدثه الأشعة السينية x أو الأشعة الغاماوية  $\gamma$  في الهواء ويقدر بالرونتجن (ورمزه R)، الذي يقابل إحداث  $1.61 \times 10^{15}$  زوجاً من الأيونات في كل كيلو غرام من الهواء الجاف في الشرطين النظاميين التي تحمل شحنة كهربائية قدرها  $2.58 \times 10^{-4}$  كولوناً. أي إن الرونتجن يسبب تأين %  $4 \times 10^{-9}$  فقط من ذرات الهواء.

إن الطاقة الوسطية اللازمة لإحداث زوج أيوني في الهواء هي:  $5.4 \times 10^{-18}$  جولاً، ولهذا فإن امتصاص الطاقة في الهواء المقابل لتعرض قدره (1 R) هو:  $1.61 \times$

$$1015 \times 5.4 \times 10^{-18} = 8.68 \times 10^{-3} \text{ J/kg}$$

لا يجوز استخدام الرونتجن إلا علاأشعة السينية والغاموية وآثارها في الهواء. والنسج البشرية هي الوسط الهام عادة، وتوضّع الطاقة فيها أعلى غالباً منها في الهواء. ففي حالة أشعة غاما ذات الطاقات التي تصادف عادة (0.1 - 2 MeV) يساوي توضع الطاقة في النسيج المرافق لتعرض قدره  $9.6 \times 10^{-3}$  (1 R) جول في كل كيلو غرام. ولقد أدخل مفهوم الجرعة الممتصة من الإشعاع للتغلب على هذه الصعوبات. جرعة الإشعاع الممتصة - الغري والراد:

الجرعة الممتصة Absorbed Dose هي مقياس لتوضع الطاقة في أي وسط. وكان يعبر عن الجرعة الممتصة بالراد Radiation Absorbed Dose ويعرّف بأنه توضع الطاقة بمعدل  $0.01 \text{ J/kg}$  ولكن منذ عام 1975 أدخلت وحدة جديدة للجرعة الممتصة وهي الغري (GY) Gray لتكون من وحدات الجملة الدولية للوحدات وتعريفها:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$$

نستنتج مما سبق أن (1 R) يعطي جرعة ممتصة مقدارها في الهواء:

$$8.69 \times 10^{-3} / 0.01 = 0.869 \text{ rad}$$

ومقدارها في النسج البشرية:  $9.6 \times 10^{-3} / 0.01 = 0.96 \text{ rad}$

ولهذا يكون للتعرض، مقدراً بـ R، والجرعة الممتصة، مقدرة بالراد في كثير من الحالات القيمة نفسها تقريباً، ولنلاحظ أنه ينبغي دائماً ذكر الوسط الماص.

ومن الواضح أن تعرضاً قدره (1 R) يكافئ جرعة ممتصة في الهواء قدرها 8.69 m Gy (ميلي غري).

أما المعدل الزمني للجرعة (أو معدل الجرعة اختصاراً) فيساوي خارج قسمة الجرعة الممتصة على زمن امتصاصها. ويقدر هذا المعدل بـ غري/سنة ميلي غري /أسبوع، راد /ساعة ، راد/سنة.

الجرعة المكافئة - السيفرت والريم:

على الرغم من أن الغري (أو الراد) وحدة فيزيائية كبيرة الفائدة، فقد تبين أن جرعة ممتصة معينة من أنواع الإشعاع المختلفة لا تحدث بالضرورة الدرجة نفسها من الضرر في الجمل البيولوجية. فقد وجد مثلاً أن راد واحد من إشعاع ألفا يمكن أن يحدث الضرر البيولوجي الذي يحدثه 20 راداً من إشعاع غاما. فهذا الفرق في الفعالية البيولوجية الإشعاعية مختلفة للحصول على الجرعة الفعالة البيولوجية الكلية. ويكفي لهذا أن نضرب الجرعة الممتصة، من كل نوع من الإشعاع، بعامل النوعية Q الذي يعكس قدرة نوع معين من الإشعاع على إحداث الضرر والأذى. ويسمى الجداء المذكور الجرعة المكافئة وكان يعبر عنها بالريم (Rad Equivalent for Man (Rem

حيث:

الجرعة المكافئة (ريم) = الجرعة الممتصة (الراد) × عامل النوعية (Q)

وقد أدخلت وحدة جديدة للجرعة المكافئة وهي Sievert (Sv) عام 1979، لتكون من وحدات الجملة الدولية (SI) وتعريفها:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \times Q = 100 \text{ rad} \times Q = 100 \text{ rem}$$

وقد تبين أن قيمة عامل النوعية تتوقف على كثافة التأين الذي يسببه الإشعاع، فمثلاً يولد جسيم ألفا نحو عشرة ملايين زوج من الأيونات في كل سنتيمتر من الأنسجة، بينما يولد جسيم بيتا نحو خمسمئة ألف زوج في السنتيمتر. ويسبب إشعاع غاما تأيناً كثافته مماثلة لتلك الناجمة عن إشعاع بيتا. ولأن أنواع الإشعاع الأخرى كافة تقارن بأشعة غاما، فقد اتخذ عامل النوعية Q لإشعاع غاما مساوياً الواحد ومثل ذلك لأشعة بيتا. وعلى هذا يكون عامل النوعية لأشعة ألفا مساوياً 20. أما Q للنترونات فيتوقف على طاقتها وتتخذ عادة القيمة 2.3 في حالة النترونات فيتوقف على طاقتها وتتخذ عادة القيمة 2.3 في حالة النترونات الحرارية (أي التي تقع طاقتها في المجال  $0 \leq E_n \leq 0.4 \text{ MeV}$ ). وتتخذ القيمة 10 للنترونات السريعة

$$En \approx 1 \text{ (MeV)}$$

الأخطار البيولوجية للإشعاع:

تخرب الطاقة الممتصة من الإشعاع المؤين، لدى مروره عبر المادة، الوسط بإحداث تغيرات جزيئية أو تغيير في البنية البلورية. ويتعلق مقدار التخريب الناتج بطبيعة المادة الماصة وطاقة الجسيم وشدة الإشعاع. وتكون الآثار عظيمة في الجزيئات العضوية المعقدة. ويتوقف مقدار التخريب الحادث فيها على الجرعة ومعدل الجرعة. ويجب عند النظر في أخطار الإشعاع على العضوية الحية التمييز بين نوعين من الأضرار:

الأضرار المرضية: وهي تؤدي إلى الموت إذا كانت شدتها كافية.

الأضرار الوراثية: فالضرر الذي يصيب الأعضاء التناسلية قد لا يؤثر في الجسم نفسه، لكنه يضر الأجيال القادمة. فالتشعيع المتواصل لسائر السكان، ولو كان ضعيفاً، يمكن أن يؤدي إلى انقراضهم في المستقبل ويمكن لجرعة قدرها  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$  أن تحدث آثاراً مميتة فيما بعد، إذا شملت الجسم كله وذلك عن طريق إحداث فقر الدم والسرطان.

هذا وإن آثار الإشعاع في الأعضاء التناسلية أخطر بكثير لأن هذه الآثار تجميعية، بمعنى أن جرعة معينة تحدث الضرر نفسه سواء أخذت دفعة واحدة أو موزعة على عدة سنين. عندما يمر الإشعاع عبر الخلايا الجنسية فإن يؤثر في صبغيات (كروموزومات) نواة الخلية محدثاً تغيرات يمكن أن تتجلى على شكل طفرات (تغيرات فجائية) في النسل. وتكاد تكون هذه الطفرات كلها مؤذية.

إننا جميعاً نتعرض في الأحوال العادية إلى طفرات طبيعية تعود إلى حد كبير إلى الحركة الاهتزازية لجزيئات أجسامنا وإلى النشاط الإشعاعي وإلى الأشعة الكونية. وتعدّ الجرعة الإجمالية من الإشعاع التي يتلقاها الإنسان منذ ولادته حتى سن الأربعين مساوية

$44 \text{ m Sv} = 4.4 \text{ rem}$ . ويتضاعف هذا الرقم تقريباً إذا أضيفت إليه الجرعات الإضافية التي يتلقاها المرء عند طبيب الأسنان أو طبيب الأشعة. فالصورة الشعاعية تعادل جرعة موضعية تساوي  $2 \text{ m Sv} - 0.5 \text{ rem}$  (0.05 - 0.2) والصورة الشعاعية السنوية  $40 - 50 \text{ m Sv}$  (4 - 5 rem).

ومع ذلك يسمح في حالات الطوارئ بأخذ جرعة لا تتجاوز  $10 \text{ rem} = 100 \text{ m Sv}$  لإنقاذ تجهيزات ثمينة، وجرعات لا تتجاوز  $10 \text{ rem} = 1 \text{ m Sv}$  لإنقاذ حياة إنسان. ويقصد بهذين الرقمين تشعيع الجسم بكامله. أما إذا كانت الجرعة موضعية جداً لتخريب الورم الخبيث فتقع قيمتها في المجال  $5 - 100 \text{ Sv}$ .

لنذكر بهذه المناسبة أن الميناء المشع لساعة اليد يعطي وحده 380 ميلي سيفرت/سنة (38 ريم/سنة) ولكن هذه الجرعة موضعية جداً.

ولنذكر أن دفاع الجسم البشري ضد إشعاع المواد النشيطة إشعاعياً أضعف من دفاعه ضد الإشعاعات الأخرى . فمثلاً 600 ميكرو سيفت/أسبوعياً (60 ميلي ريم/أسبوعياً) من الأشعة السينية تحدث ضرراً للجسم الذي يتعرض لها برغم أنها تكافئ استطاعة قدرها (8-10) واطاً، بينما يستطيع الإنسان أن يتلقى دون خطر، بكامل جسم وطول حياته، واطاً كاملاً من الإشعاع الشمسي.

ويبين الجدول الآتي مدى الإشعاعات النووية في الهواء والأنسجة الحية:

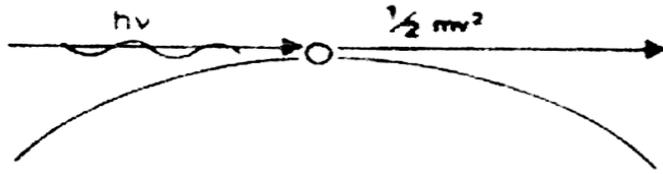
الإشعاع	المدى في الهواء	المدة في الأنسجة
ألفا	3 cm	0.04 mm
بيتا	300 cm	5 mm
السينية وغاما	كبير جداً	تعبر الجسم
نترونات بطيئة	كبير جداً	15 cm
نترونات سريعة	كبير جداً	تعبر الجسم

يتبين من هذا الجدول أن أشعة ألفا تمتص بسهولة كبيرة. ويكفي عادة لإيقافها قطعة رقيقة من الورق، ولهذا فإن الوقاية من أشعة ألفا ليست مشكلة. أما أشعة بيتا فهي أشد نفوذاً من ألفا وتتطلب الوقاية منها (فيما يخص الطاقات 10 MeV - 1) استخدام صفائح من اللدائن تصل ثخانتها إلى (1cm) كي تمتصها امتصاصاً تاماً. إن سهولة الوقاية من أشعة بيتا تعطي انطباعاً بأنها ليست خطيرة خطورة أشعة غاما أو النيوترونات، ولهذا كثيراً ما تحمل منابع بيتا، الكبيرة والمكشوفة، باليد مباشرة، وهذا عمل خطر جداً؛ فمعدل الجرعة الممتصة على مسافة 3 mm من منبع بيتا نموذجي شدته 37 ميغا بكرل (البكرل Becquerel هي واحدة التفكك الإشعاعي وتعبّر عن تفكك واحدة/ثانية) = 1 ميلي كوري (1m Ci = 37 MBq) هو تقريباً 30 غري/ساعة (300 راد/ساعة).

أما الأشعة السينية وغاما فالوقاية التامة منها غير ممكنة عملياً، ومع ذلك يمكن تخفيض الجرعات الناجمة عنها باستعمال صفائح رصاصية ثخينة، فالكوبالت - 30 المشع يصدر أشعة طاقتها 1.17 MeV وكذلك 1.33 MeV وتهبط شدة هذه الأشعة إلى النصف بعد اختراقها صفيحة من الرصاص ثخنها 1.25 سنتمتراً.

امتصاص الأشعة السينية وتخامدها:

يحدث الامتصاص Absorption عند التحويل الكامل للطاقة الإشعاعية ( $h\nu$ ) إلى طاقة حركية ( $1/2 mv^2$ ) ويمكن أن تكون نتائجه تأيين الجزيئات التي وقع عليها التأثير الكهروضوئي، الشكل (17-7).



شكل (17-7)

بغض النظر عما يجري من نقصان متناسب مع مربع مساحة، فإن فرق الشدة (عدد الفوتونات العابرة في واحدة السطح خلال ثانية واحدة) بين حزمة الأشعة السينية الواردة والقسم النافذ نحو المستقبل (الصورة)، لا يعود لامتصاص الأشعة عبر الجسم المتعرض فحسب بل يتعداه إلى خسارة قسم آخر لا يعبر العينة ولا يُمتص وإنما ينتشر بسببه وهذا ما يدعى بتخميد Attenuation (أو تخفيف) حزمة الأشعة بالانتشار. وبناءً على ذلك يمكننا القول:

الامتصاص = الامتصاص الحقيقي (فعل كهروضوئي) + التخميد بالانتشار (التخفيف)  
 حالة إشعاع أحادي اللون (أحادي الطول الموجي):  
 بغض النظر عن تناقص شدة الإشعاع مع المسافة، فإننا نلاحظ تجريبياً أن شدة حزمة  
 الأشعة السينية التي تجتاز مرشحات متماثلة تنقص، وبالنسبة نفسها بعد مرورها  
 عبر كل مرشح.

ويعطى التناقص الأسي على النحو التالي:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (7-44)$$

حيث:

I - شدة الحزمة وقد قيست بعد امتصاص جزئي.

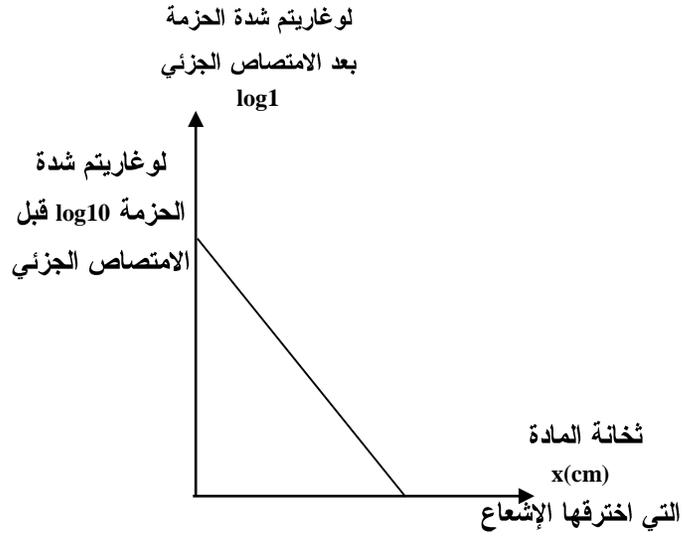
I<sub>0</sub> - شدة الحزمة قبل الامتصاص.

x - ثخن المادة التي اجتازها الإشعاع (مقدراً بالسنتيمتر).

μ - عامل الامتصاص الخطي الكلي من أجل المادة المعطاة.

ويحدد العوامل μ ، x درجة الامتصاص. ويظهر الشكل (7-18) تغيّر الامتصاص

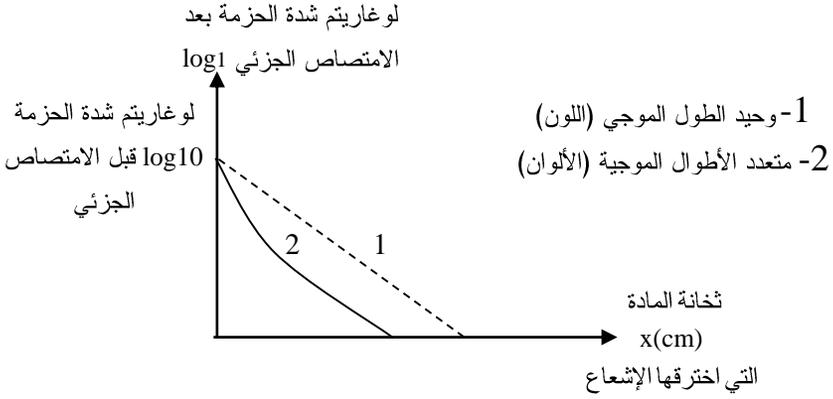
بدلالة ثخن المادة التي اجتازها الإشعاع.



الشكل (7-18)

حالة إشعاع متعدد اللون (متعدد الطول الموجي):

يتغير المنحني في حالة الإشعاع متعدد اللون، الشكل (7-19). ويزداد هذا التغير كلما زادت المسافة المخترقة، إذ تتوافق الأمواج الأكثر طولاً والأضعف طاقة الأمر الذي يؤدي إلى اختفاء هذه الأمواج أولاً وبذلك تتبدل مواصفات الطيف.



الشكل (7-19)

ثخانة امتصاص نصف الإشعاع:

وهي عبارة عن ثخانة المادة التي تُنقص شدة الإشعاع الوارد عليها إلى النصف (أو بمعنى آخر ثخن المادة التي يمتص نصف الإشعاع الوارد عليه).

$$I_1 = \frac{I_0}{2}$$

ويكون هذا الثخن مميزاً للشعاع المحلل.

معادل الامتصاص الخطي الكلي، ( $\mu$ ):

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \text{من العلاقة:}$$

$$\mu(\text{cm}^{-1}) = \frac{\text{Log } I_0 - \text{Log } I}{x(\text{cm})} \quad (7-45)$$

نجد:

وهذا المعامل الخطي الكلي للامتصاص يبدي سيئات تعود إلى ارتباطه بشكل خاص

بالشروط الفيزيائية السائدة من حرارة وضغط.

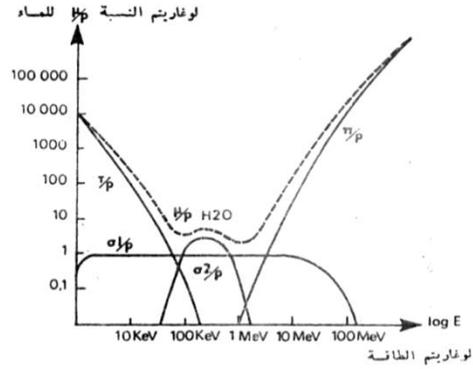
تبدل معامل الامتصاص الكتلي الكلي بدلالة طاقة الإشعاع:

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$$

لتوضيح ذلك نأخذ معامل الامتصاص الكتلي الكلي  $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$  للماء، وذلك لأن الماء يؤلف

قاربة 70% من مكونات الأنسجة الحيّة، و الامتصاص عبر هذه الأنسجة مشابهاً

للامتصاص من خلال الماء، الشكل (7-20).



الشكل (7-20) تغير معامل الامتصاص الكتلي بدلالة طاقة الإشعاع الوارد.

يكون التخماد بفعل تومسون  $\left(\frac{\sigma_1}{\rho}\right)$  مستمراً بمعدل ضعيف في كل مجالات الطيف ويختفي في الطاقات الأعلى من 100 ميغا إلكترون فولط.

لا يلاحظ التخماد بفعل كومبتون  $\left(\frac{\sigma_2}{\rho}\right)$  إلا في مجالات الطاقة المحصورة ما بين 100 كيلو إلكترون فولت و 1 ميغا إلكترون فولتاً.

ويكون الامتصاص بالفلورة  $\left(\frac{\tau}{\rho}\right)$  أكبر ما يمكن في الطاقات الدنيا، لكنه يتناقص بسرعة حتى يختفي تماماً عند القيمة 100 كيلو المترين فولط.

أما بالنسبة إلى الامتصاص بالتحول المادي  $\left(\frac{\pi}{\rho}\right)$  فإنه يظهر ابتداءً من 1.02 ميغا إلكترونات فولتاً ليصبح مسطيراً عند الطاقات المتزايدة. هذا وتظهر دراسة المنحني السابق أنه في مجال الطاقة المستعملة في التشخيص الشعاعي

(1-100 كيلو إلكترون فولت) يعزى الامتصاص بقسمه الأعظمي إلى التأثير الضوكمهري

$$\left(\frac{\tau}{\rho}\right) \quad \left(\frac{\sigma_1}{\rho}\right) \quad \text{تومسون} \quad \text{و} \quad \left(\frac{\sigma_2}{\rho}\right) \quad \text{كومبتون.}$$

النظائر المشعة :

مقدمة :

لقد ساهم استخدام النظائر المشعة مساهمة فعالة جداً في تقدم العلوم التجريبية ويعود الفضل للباحث C . de hevesy الذي استعمل لأول مرة النظير المشع الطبيعي 212pb لاثبات دخول الرصاص الى العضوية النباتية، ولقد توالى بعد هذه التجربة تطبيقات لا يمكن حصرها لهذه النظائر الطبيعية كانت ام اصطناعية في مخابر البحث الحيوي والطبي الدوائي .

أن الجزيئات الحاوية عنصراً مشعاً تصدر اشعاعات يمكن بملاحظتها وكشفها تتبع حركة هذه الجزيئات ومسيرها داخل البدن الحي ومعرفة كل ما يطرأ عليها من تحولات ، بالإضافة الى معرفة آلية امتصاصها وإطراحها . ومن ذلك كله يفهم كيف أن استعمال العناصر المشعة يشكل طريقة مثلى لدراسة استقلاب لمواد الغذائية والدوائية ومعرفة آلية الظواهر الحيوية المعقدة . كما تستخدم بعض هذه العناصر عناصر تشخيصية لبعض الامراض أو عوامل دوائية تعالج بعضها الاخر .

أما الطرق التحليلية فلقد استفادت هي الأخرى فائدة كبيرة من النظائر باستخدامها في مراقبة الطرق التحليلية القديمة وبداخلها طرق تحليلية جديدة تمتاز بدقتها الكبيرة وحساسيتها الخارقة ، ومن هذه الطرق نذكر طريقة التمهيد النظائري وطريقة التنشيط.

نشير الى أن العمل بهذه العناصر يستلزم اتباع قوانين خاصة وأصول معينة تحقق أخذ كل الاحتياطات الضرورية لحماية العاملين بها وعدم تعرضهم لضرر الاشعاعات . تتألف العناصر والذرات من نواة مشحونة بشحنة إيجابية وتتمركز فيها تقريباً كتلة العناصر ، وهذه النواة محاطة بغيمة إلكترونية تعادل بشحنتها الكهربائية ( حالة الذرات المعتدلة ) شحنة النواة .

إن خصائص الذرة الكيميائية تتعلق بالألكترونات المحيطة في حين أن تفاعلاتها وخصائصها النووية تعود أن النواة المركزية .

تتألف النواة من نوعين من الدقائق هي البروتونات والنترونات تقرب كتلة كل منها من الأخرى . تحمل البروتونات شحنة كهربائية موجبة بينما لا تحمل النترونات اية شحنة كهربائية .

يتميز كل عنصر بثلاثة أعداد هي :

العدد الذري ويرمز له بـ  $Z$  وهو يمثل عدد البروتونات أو شحنة النواة وهو مميز لكل عنصر .

العدد الكتلي ويرمز له بـ  $A$  ويمثل عدد الدقائق الكلي للنواة وهو يوافق تقريباً الوزن الذري للعنصر .

عدد النترونات ويرمز له بـ  $Hélium$  كما يلي :  $42H$

يدعيان العنصرين الحاملين العدد الذري نفسه ( أي الخصائص الكيماوية نفسها ) ، وعدد كتلي مختلف بالنظائر فمثلاً يوجد للكلور نظيران هما ( 17 بروتوناً + 20 نتروناً  $3717CI$  و ( 17 بروتوناً + 18 نتروناً )  $3517 CI$  .

ترتبط النوترونات والبروتونات داخل النواة بقوى ارتباط نووية توازي قوى التدافع الكهربي ما بين البروتونات ( قوى كولون ) فاذا لم تكن هذه الرابطة متوازنة تحاول النواة تغيير وضعها بشكل تصل فيه الى الثبات وذلك باصدارها اشعاعات مختلفة ( الفا  $\alpha$  ، بيتا  $\beta$  ، وغاما  $\gamma$  ) وتدعى هذه الحادثة بالنشاط الاشعاعي Radioactivité ، ويترافق هذا التحول بتولد قدرة وبشكل ذرة جديدة ذات كتلة أصغر من الاولى وصفات فيزيائية وكيميائية مختلفة ، كما يمكن لهذه الذرات المتولدة الجديدة ان تتفكك مجدداً حتى يتم الحصول على مركب او عنصر ثابت غير مشع .

أن كل العناصر الطبيعية ذوات العدد الذري الاكبر من 83 والكتلة الذرية الأكبر من 209 هي عناصر غير ثابتة ومشعة وتصنف جميعها بثلاث فصائل او عائلات :

عائلة اليورانيوم ( 238 ) ، عائلة اليورانيوم ( 235 ) ، ( الاكتينيوم Actinium ) ، عائلة التوريوم ( 232 ) Thorium وجميعها تعطي في ختام تفكيكها نظائر ثابتة للرصاص هي 206 ، 207 ، 208 .

من الممكن الحصول على نظائر مشعة اصطناعية وذلك بحقن أو إدخال بروتون أو نوترون واحد او اكثر داخل النواة الثابتة لاحد العناصر فيتكون بذلك عنصر غير ثابت له العدد الذري Z نفسه للعنصر الاصلي ولكنه يختلف عنه بكتلته ويبدأ هو الآخر بإصدار كمية من الإشعاعات حتى يعود إلى تركيبه الثابت الاول .

ولا بد من الإشارة الى ان العناصر المشعة اهم ما يميزها هو قدرة اشعاعها وسرعة تفككها .

قوانين التفكك الاشعاعي ووحداته

إن التفكك الاشعاعي ظاهرة مرتبطة بالاحصاء حيث تعطي لكل نواة مشعة احتمالية تفككات معينة بوحدة الزمن وتميز العنصر المشع المرينط بها، إن هذه الاحتمالية او بالاحرى سرعة تفكك العنصر المشع مستقلة تماماً عن العوامل الخارجية كالحرارة والضغط وغير ذلك .... إن عدد النوات او النوى المتفككة بوحدة الزمن يتناسب مع عدد النوى أو الذرات N الموجود باللمحة t .

$$\frac{dn}{dt} = - \lambda N \quad (46-7)$$

حيث  $\lambda$  هي ثابتة التفكك الاشعاعي، وهي مميزة لكل عنصر . ومن العلاقة السابقة

$$\frac{dN}{N} = - \lambda dt$$

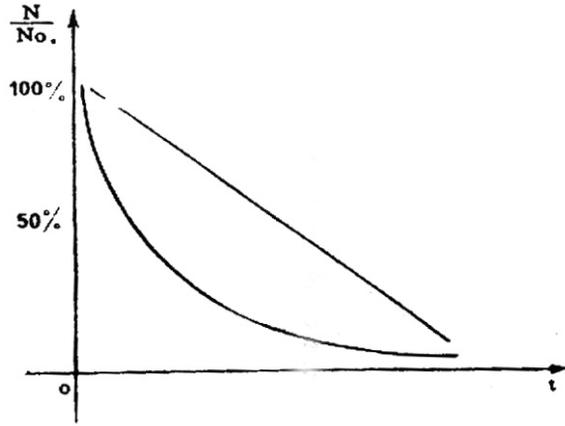
نتوصل إلى :

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

وتكامل هذه القيمة يقودنا إلى :

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (47-7) \text{ أو}$$

حيث  $N_0$  هو عدد النوى أو الذرات باللحظة  $t=0$  عددها باللحظة  $t$  إذا رسمنا الخط البياني الممثل لتحويلات النشاط الإشعاعي ( عدد التفككات في الدقيقة ) بالنسبة إلى الزمن حصلنا على منحنى في حين أننا عندما رسمنا هذا الخط بأخذنا على محور العينات لوغاريتم النشاط الإشعاعي وعلى محور السينات الزمن حصلنا على خط مستقيم انظر الشكل (21-7) .



الشكل (21-7)

يستعمل تعبير زمن نصف العمر أو الدور وهو الزمن اللازم لكي تنقص عدد الذرات الموجودة في الاصل الى النصف . وإن هذا الزمن او الدور يتراوح ما بين أجزاء الثانية ومليارات السنين وهو مميز للعنصر المشع . ولحساب هذه القيمة نبدل في المعادلة

$$\frac{1}{2} \frac{N}{N_0} \text{ بـ وذلك في اللحظة } t = T \text{ فنجد :}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$$

$$\log 2 = \lambda T$$

$$0,693 = \lambda T \quad \text{ومننه}$$

$$T = \frac{0,693}{\lambda}$$

وتكون ثابتة التفكك في هذه الحالة معادلة لـ :

$$\lambda = \frac{0,693}{T}$$

وبإبدال قيمتها في المعادلة الأصلية نصل الى الدستور العام لتناقص الاشعاع :

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{0,693}{T} (48-7)t}$$

أما العمر المتوسط للعنصر المشع او يرمز له بـ  $T_m$  فهو بالتعريف :

$$T_m = \frac{I}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{0,693}{T} \quad \text{ولأن} :$$

إن وحدة النشاط الاشعاعي او الفعالة النووية هي الكوري Curie ويرمز له بـ c  
ولقد كان تعريفه في الماضي يتلخص بكونها كمية الرادون Radon الموجودة في حالة  
توازن مع غرام واحد من الراديوم Radium أما اليوم فتعرف كما يلي :  
الكوري هي كمية المادة المشعة التي تتفكك بنظم قدره  $3.7 \times 10^{10}$  تفكك بالثانية  
. وبذلك أمكن تطبيق هذه الوحدة على كل العناصر المشعة . لهذه الوحدة اجزاء هي  
:

الميللي كوري ويرمز له بـ Millicurie Mc

والميكرو كوري ويرمز له بـ (  $\mu C$  ) Microcurie

والميللي ميكروكوري ويرمز له بـ  $m\mu C$  Millimicrocurie

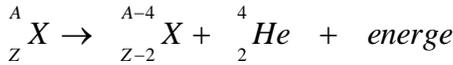
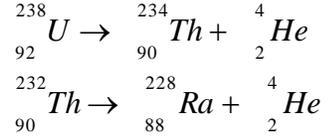
وهناك وحدة أخرى مستعملة في هذا المجال هي الرزرفورد Rutherford وتقابل  
كمية المادة المشعة التي تتفكك بنظم قدره  $6 \times 10^6$  تفكك بالثانية ومن اجزائها نذكر  
الميللي رزرفورد والميكرو رزرفورد .

طبيعة الإشعاعات وصفاتها :

إن القدرة التي تصدر بفعلها الإشعاعات تقاس بما يدعى الإلكترون- فولت  
Electron- Volt (eV) والالكترون- فولت بالتعريف هو القدرة التي يكتسبها  
إلكترون واحد عندما يتحرك بحرية داخل حقل كهربائي ناتج عن فرق بالطاقة قدرة  
فولت واحد أو بمعنى آخر هو القدرة الحركية التي يكتسبها إلكترون واحد في حالة  
الراحة بفعل فرق بالطاقة قدره فولت واحد. ولأن القدرة المتمثلة بالإلكترون- فولت  
صغيرة نسبياً فيستعمل أضعافها مثل الكيلو إلكترون- فولت Kilo electron- Volt  
KeV (310 eV) والمغا إلكترون- فولت MeV وتعادل 106 eV.

الإشعاعات من نوع ألفا  $\alpha$  :

وهي أثقل الدقائق الصادرة عن نواة العنصر، ويتم خلال إصدارها انخفاض  
بالعدد الذري بمقدار 2 وبالعدد الكلي بمقدار 4 (إصدار نواة الهيلوم) فمثلاً:



وبصورة عامة:

إن للدقائق ألفا قدرة كبيرة نسبياً ما بين 2 إلى 9 ميغا إلكترون- فولت MeV مما يكسبها سرعة شديدة وهي تستطيع أن تقطع في الهواء بدرجة 15 م وتحت ضغط جوي واحد مسافة تصل إلى 9 سم.

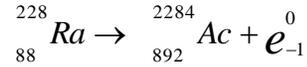
الإشعاعات من نوع بتا  $\beta$ :

يجتمع تحت هذا الاسم ثلاثة أنواع من التفككات تصدر كل منها إشعاعات خاصة بها وهي إشعاعات بتا السالبة  $\beta^-$  ، أو ما يدعى بالنيغاتون Negaton ، وإشعاعات بتا الموجبة  $\beta^+$  أو ما يدعى بالبوزيتون Positon، وأخيراً ما يوافق التقاط الكترون مداري K. وسوف نخص بالذكر الأولى والثانية فقط.

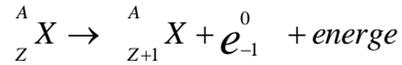
إصدار إشعاعات بتا السالبة  $\beta^-$  :

يتم في هذه الحالة ازدياد بالعدد الجوهري للعنصر بمقدار (1) ولا يتأثر عدده

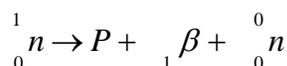
الكتلي، ومثال ذلك:



أو بصورة عامة:



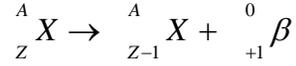
إن الإشعاعات بتا السالبة هي في حقيقتها الكترون مزوّد بسرعة كبيرة جداً ينطلق من النواة عندما يتحول فيها نترون إلى بروتون، وبدراسة هذا الإصدار بدقة لوحظ، يترافق بضياء قدروي اقترح W. Pouli لتعليه أن يقبل بأن إصدار حقائى بتا السالبة يترافق بإصدار دقائى جديدة تدعى نوترينو Neutrino معتدلة كهربائياً ولا كتلة لها تقريباً، ولذلك يمثل تحول النترون إلى بروتون مع إصدار الدقائى بتا السالبة بمايلي:



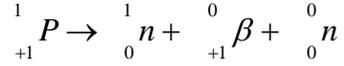
ومن خصائص الدقائى بتا السالبة أو النغاتون نذكر اجتيازها لمسافة تبلغ عدة أمتار في الهواء.

إصدار إشعاعات بتا الموجبة  $\beta^+$  :

إن إصدار الإشعاعات بتا الموجبة أو البوزيتون Positon يحصل خاصة في حالة كون عدد البروتونات في النواة أكبر بكثير من عدد النترونات مما يخلق عدم ثبات تسعى النواة للتخلص منه بتحويلها البروتون إلى نترون وذلك باطلاق شحنة موجبة هي إشعاعات بتا الموجبة أو البوزيتون، كما يترافق هذا الإصدار بإصدار نوتروينو ومن ذلك يتضح أن العدد الكتلي يبقى ثابتاً وتنقص شحنة النواة الكهربائية بمقدار شحنة واحدة:



ويمثل تحول البروتون إلى نوترون بما يلي:



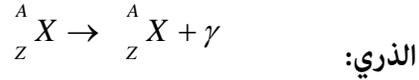
إن الفرق ما بين النغتون، والبوزيتون هو اختلافهما بالشحنة فقط ويترجم ذلك باختلاف جهة انحراف كل منهما داخل حقل كهرومغناطيسي خارجي.

إذا اجتمعت هذه الدقائق (بتا السالبة والموجبة) فإنها تتحد مع بعضها

بسرعة وتتعدل شحناتها مما يؤدي إلى إصدار إشعاعات غاما  $\gamma$ .

الإشعاعات من نوع غاما  $\gamma$ :

إن الإشعاعات من نوع غاما ذات طبيعة كهرومغناطيسية وطول موجة صغير يقربها كثيراً من الأشعة السينية X وعند إصدارها لا يحصل عموماً أي تغير في العدد الكتلي أو



ولأن هذه الإشعاعات لاتحمل شحنة كهربائية فهي لاتغير من اتجاهها عند

تعرضها لحقل كهرومغناطيسي، ومن صفاتها نذكر قدرتها النفوذية الكبيرة جداً.

إن إصدار الإشعاعات غما يتم عموماً عند كل التحولات المترافقة بتصعد نووي وفي التحولات المترافقة باكتساب نترون أو إصدار إشعاعات بيتا السالبة أو بيتا الموجبة أو حتى إصدار الإشعاعات ألفا. فمثلاً عند إصدار الإشعاعات بيتا المختلفة تكون النواة بحالة تنشيط معينة ففي أثناء عودتها إلى حالتها الأساسية تنطلق إشعاعات غاما.

العناصر المشعة الاصطناعية - التفاعلات النووية :

إن تفاعلات إصدار الإشعاعات التي ذكرناها آنفاً هي أمثلة على الإشعاع الطبيعي توجد بجانبها تفاعلات أخرى نستطيع بوساطتها الحصول على عناصر اشعاعية اصطناعية، وتدعى هذه التفاعلات بتفاعلات الرجم.

إن التفاعلات النووية لا تتدخل فيها إلا نواة العنصر وذلك بعكس التفاعلات الكيميائية والتي تتدخل فيها الإلكترونات المحيطة فيها فقط، ومن الممكن أن يتم تفاعل نووي عند رجم النواة بدقة أو جزيئة نووية وبكأن النواة تكون مشحونة بشحنة إيجابية تعود إلى بروتوناتها لذلك فإن الدقائق الراجمة تلاقى صعوبة في اختراق الحاجز الكهربي المحيط بالنواة والذي يعاكس طبعاً اقتراب الدقائق ذوات الشحنة الموجبة (البروتونات)

ولهذا وفي مثل هذه الأحوال لابد من تزويد الدقائق الراجعة بقدره حركية كافية تمكنها من التغلب على هذا الحاجز ودخول النواة، هذا من ناحية ومن ناحية أخرى نجد أنه (بسبب صغر حجم النواة بالنسبة إلى حجم الذرة كلها) هناك حاجة ماسة لاستعمال عدد كبير من الدقائق الراجعة بغية إكثار صدف التصادم بينها وبين النواة المعرضة للرجم. وتجدد الإشارة هنا إلى أن النوترونات المستعملة بصفاتها عوامل رجم لاتلاقي أية صعوبة في اقترابها من النواة وذلك لاعتدال شحنتها الكهربائية وهذه الخاصة تجعل من النوترونات عوامل رجم ذات أهمية خاصة في هذا المجال.

قد تكون الدقائق الراجعة ذات شحنة كهربائية مثل الإلكترونات والبروتونات والدوترونات Deuterons وإشعاعات ألفا وقد تكون عدیمة أو معتدلة الشحنة مثل النوترونات وإشعاعات غاما.

تستخدم لزيادة سرعة الدقائق الراجعة ثلاثة أنواع من المسرعات: السيكلوترون Cyclotron وهو يزيد من سرعة الدقائق الثقيلة مثل النوترونات والبروتونات ودقائق ألفا.

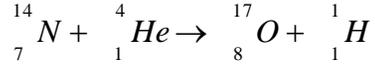
البيتابترون Betatron ويزيد سرعة إلكترونات.

السينكروتون Synchoroton ويزيد سرعة الدقائق كبيرة القدرة مثل الدقائق غما.

لقد اكتشف أول تفاعل نووي من قبل رذرفورد Rutherford عام 1919

وذلك عند رجم الآزوت بدقائق ألفا الصادرة عن الراديوم مما أدى إلى إصدار بروتون

وتشكل ذرة أوكسجين كتلتها 17:



بعد هذا تواتت اكتشافات تفاعلات الرجم وكشفت خواصها وشروط القيام

بها ومدى فوائدها في إعطاء النظائر.

تفاعلات الرجم:

الرجم بالنترونات:

تمثل النترونات كما مرّ معنا عوامل رجم جيدة وذلك لخلوها من الشحنة

الكهربائية وبالتالي عدم تأثيرها بشحنات العنصر (الالكترونات المحيط وبروتونات

النواة) مما يسمح لها بالاقتراب من النواة واختراقها.

يتم هذا الرجم بصور عدة نذكر منها:

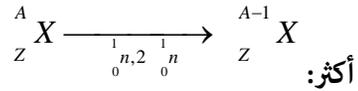
تفاعل نترون- غما ( $n, \gamma$ ):

ويتم فيه تثبيت نوترون من قبل النواة المعرضة للرجم وبذلك يزداد عددها

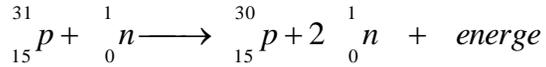


تفاعلات نوترون- نوترون (n, n) ونوترون- مضاعف نوترون (n, 2n):

حيث يتم بعد التقاط نوترون الرجم من قبل النواة إصدار نوترون واحد أو



وكمثال على ذلك نذكر:



تفاعل نوترون- بروتون (n, p)، نوترون- ألفا (n, α) ... الخ:

حيث يتم فيها بعد التقاط نوترون الرجم من قبل النواة إصدار واحدة أو عدة

دقائق مشحونة.

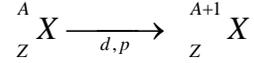
الرجم بالبروتونات:

ونذكر منها تفاعلات البروتون- نوترون (p, n) وتفاعلات البروتون- ألفا (p, α) وليس

لها قيمة كبيرة في إعطاء النظائر.

الرجم بالدوترونات Deuterons:

نذكر منها تفاعلات الدوترون- ألفا (d, α) وتفاعلات الدوترون- نوترون (d,n) وهي أهمها لقدرتها على إعطاء النظائر:



وكمثال نذكر تشكل النحاس النظير  ${}^{64}_{29}Cu$  من النحاس  ${}^{63}_{29}Cu$ .

الرجم بالدقائق ألفا:

نذكر منها تفاعلات ألفا- بروتون (α, P) وتفاعلات ألفا نوترون (α, n)

وتفاعلات ألفا- مضاعف النوترون (α, 2n) وليس لها أية أهمية في تكوين النظائر. ونشير إلى أن أهم التفاعلات السابقة في توليد النظائر التفاعلات الثلاثة التالية:  
نوترون- غاما (n, γ) ونوترون- مضاعف النوترون (n, 2n) ودوترون- بروتون (d, p).  
أجهزة قياس النشاط الإشعاعي:

تمتد أجهزة قياس النشاط الإشعاعي إلى تحري خصائص هذه الأشعة سواء منها المشرد للغازات أو المحدث للفلورة أو التألق.

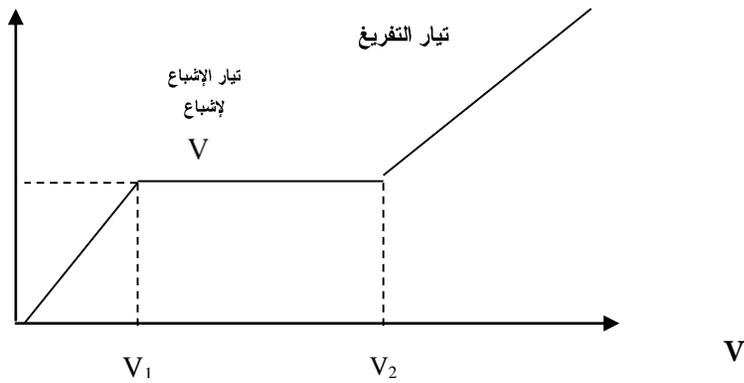
لدقائق ألفا وبنا قدرة مشردة للغازات كبيرة حتى عن بعد وذلك بسبب قوى التجاذب أو التنافر ما بين هذه الدقائق والإلكترونات المحيطة بالنواة مما يؤدي إلى خروج الكترون من مدار محيطي وحدوث التشرذ وبالتالي تكوّن شارجبات وشارسبات أما فعل الأشعة غما المشرد فلا يفسر إلا باصطدامها بالذرات مباشرة اصطداماً يتولد عنه حدوث التشرذ.

#### تشرذ الغازات:

إن قياس شدة تشرذ غاز ما بفعل الإشعاعات يمكنه أن يخبرنا بطريق غير مباشر عن مدى قوة هذه الإشعاعات التي أحدثته، فإذا كان لدينا قطبان مناسبان وطبقنا عليهما فرقاً في الطاقة معيناً ووضعنا بينهما غازاً قابلاً للتشرذ نجد أنه عند حدوث التشرذ الغازي تتجه الشوارد المتكونة نحو الأقطاب ويتولد نتيجة لحركة الشوارد هذه تيار كهربائي يدعى بتيار التشرذ *Courant d'ionisation* يمكن قياس شدته ومعرفتها. لنفرض الآن أنه لا يوجد أي فرق بالتوتر ما بين القطبين ولنفرض أيضاً إن الإشعاعات المشردة موجودة فبمثل هذه الأحوال لا يمكن أن يزداد التشرذ إلى ما لانهاية وذلك بسبب حدوث اتحاد جديد ما بين الشوارد المتولدة إلى أن يتم الحصول على حالة توازن يكون فيها عدد الشوارد المتولدة معادلاً عدد الشوارد المتحددة.

لنتصور الآن أننا طبقنا فرق توتر متزايداً على القطبين وبأن الإشعاعات المشردة موجودة فيتم ارتحال الشوارد ومرور التيار الكهربائي ونصل بزيادة فرق التوتر أو الكمون المطبق إلى درجة يقف معها أي اتحاد ما بين الشوارد المتشكلة وتصل جميعها إلى الأقطاب ولاتؤدي زيادة فرق التوتر المطبق لحد معين بعدها أي زيادة في التيار المقيس، وهذه اللحظة يصل فيها التيار إلى حالة الإشباع ويدعى حينها بتيار الإشباع **Courant de Saturation**.

فإذا زدنا فرق التوتر إلى فوق الحد الأول وأعطيناها قيمة كبيرة فإن الشوارد الحاصلة نفسها وخصوصاً منها السالبة وبسبب اكتسابها لسرعة عظيمة جداً تصبح قادرة على إحداث تشرد عن طريق التصادم فيحدث تفريغ كهربائي جديد مولد لتيار كهربائي مختلف عن التيار الأول يدعى بتيار التفريغ.



شكل رقم (7-22)

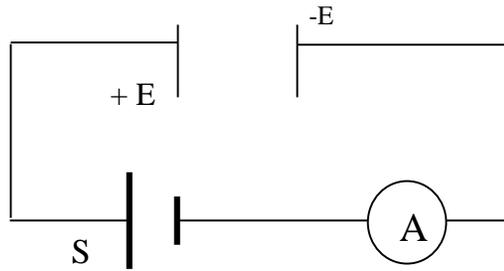
إن قياس تيار الإشباع هو مبدأ غرف التشرّد في حين أن قياس تيار التفريغ هو عداد غيفر- موللر.

قياس الإشعاعات بالاستناد إلى تشرّد الغازات:

غرف التشرّد: تتألف غرف التشرّد من حجيرة مملوءة بأحد الغازات وحاوية قطبين يطبق عليهما فرق توتر يقرب 100- 200 فولت.

توضع المادة المشعة إما داخل الحجيرة أو خارجها وفي هذه الحالة الأخيرة يكون للحجيرة نافذة رقيقة الجدار جداً من الألمنيوم أو من أي مادة أخرى مناسبة تستطيع الدقائق اجتيازها بسهولة.

فعند تعرض الغاز الموجود داخل الحجيرة للإشعاعات فإنه يتشرّد ويمرّ تيار كهربائي متناسب شدته مع الإشعاع، يقاس هذا التيار عادة بعد تكبيرة بوسيلة مناسبة.



شكل رقم (7-23)

مخطط غرفة تشرّد: E, E - الأقطاب

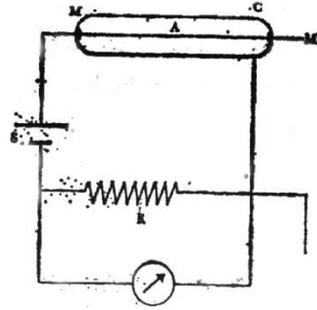
A-مقياس شدة التيار.S- منبع للتيار الكهربائي

عداد غير- موللر:

يتألف هذا العداد من قطبين المهبط منهما بشكل أنبوب معدني طوله 5 سم قطره-2-3 سم والمصعد منهما يتمثل بخيط معدني (غالباً من التنغستين) معلق بقطر الأنبوب المهبطي وداخل الأنبوب غاز نقي (هيدروجين، أرغون أو نيون ...) تحت ضغط خفيف. يطبق على القطبين فرق توتر مستمر يصل إلى 1500-2000 فولت.

عندما تصل إلى العدادات إشعاعات مشرقة يتم حدوث أزواج من الشوارد ونظراً لتجاوز فرق التوتر المطبق لحد معين يبدأ تيار التفريغ بالتكوين وذلك بالاصطدامات المتكررة بين الشوارد مما يوّلد عدداً كبيراً من الإلكترونات يتم بوصولها إلى المصعد حدوث انفراغ كهربائي يمكن قياسه بإدخال مقاومة مناسبة ما بين المنبع الكهربائي والعداد وتتم هذه الانفراغات على شكل نبضات Impulsions كهربائية يتراوح تواترها ما بين 1-100 فولت وهي تكبر وتقاس إما بتعدادها (إضاءة مصباح مثلاً وعدّ عدد إنارته في الدقيقة) وأما بتسجيل عددها بواسطة مسجل إلكتروني، وهو الأفضل.

إن العداد الجيد يسجل نبضة عندما تجتازه دقيقة من الدقائق ومع ذلك لابد له من زمن يتم فيه دورته لأن الشوارد الموجبة ولكونها ثقيلة جداً بالنسبة إلى الإلكترونات تستهلك زمناً قدره 4-10 ثانية حتى تصل إلى المهبط، وهذا الزمن لا يبدي فيه العداد أي تفاعل ويبقى متوقفاً ولذلك يدعى هذا الزمن بزمن التوقف أو الموت أو بالأحرى الزمن الميت بالنسبة للعداد Temps mort وفيه لا يستطيع العداد أن يجيب إذا تعرض لدقيقة جديدة، ولا يسجل أي انقراض ولهذا يحاول إنقاص هذا الزمن بقدر الإمكان بإضافة بعض الجزئيات العضوية كالغول.



شكل رقم (7-24)

مخطط عداد غير- مولر

S: منبع للتيار 1500 - 2000 فولت. R: مقاومة

A: المصعد.

C : المهبط ويحوي غاز تحت ضغط 5- 20 سم زئبق

M, M: مواد عازلة

في حالة كون عدد النبضات التي يسجلها العداد أقل من مئة بالدقيقة فإن الأمر بغاية السهولة أما عندما تكون هذه النبضات أكثر من ذلك فلا بد من اللجوء إلى العدادات الألكترونية.

قياس الإشعاعات بالاستناد إلى حوادث الفلورة أو التألق:

يستند هذا القياس إلى أن اصطدام الدقائق المختلفة بلوحة من كبريت التوتياء يؤدي إلى حصول تألق أو فلورة يمكن قياس شدة إضاءتها بعد تكبيرها بمكثف مناسب Photomultiplicateur بخلية كهروضوئية. ثم تسجيلها.

إن مثل هذه الأجهزة مستعمل بكثرة في قياس الإشعاعات من نوع غاما وذلك لشدة قدرتها.

تطبيقات النشاط الإشعاعي التحليلية:

المعايرة بالتمديد النظائري :

تقوم هذه المعايرة على الفرضية القائلة إن العنصر المتكون من نظائر عدة يحتفظ بالشروط نفسها الفيزيائية والكيميائية على التركيب نفسه وذلك خلال التحولات الكيميائية الجارية عليه. فإذا احتوى محلول من المحاليل n غ من عنصر غير مشع x يراد معايرته (بشكل ملح معين مثلاً) فإننا نضيف إليه S غ من العنصر x نفسه على شكل الملح نفسه ولكنه موسوماً، بعد ذلك نستخلص جزءاً من هذا المركب بوسيلة مناسبة ونقيس نشاطه النوعي، ومن معرفة النشاط النوعي للمركب المعزول والنشاط النوعي للمركب الموسوم المضاف في بداية التفاعل يمكن استنباط عيار المحلول بسهولة.

إن الفعالية النوعية للمركب المعزول a تصبح معادلة :-

$$a = \frac{AxS}{S + n}$$

حيث A هي فعالية المركب الموسوم المضاف. إن قياس الفعالية النوعية يتم بعدد غيجر- مولر وذلك بمعرفة عدد الدقات المعادلة لغرام واحد من المادة بدقة واحدة.

$$n = S \left( \frac{A}{a} - 1 \right)$$

ومن المعادلة السابقة نستنتج:

طريقة التحليل بالتنشيط:

يمكن بفضل هذه الطريقة التخلص من صعوبة معايرة الأجسام الموجودة بشكل آثار زهيدة والتي يصعب حساب تراكيزها حتى بطرق التحليل الدقيق Microanalyse، وطرق التنشيط هذه تُعابير بنجاح ودقة كبيرين كميات تصل حتى 10-6 غ من العنصر.

يقوم مبدأ هذه الطريقة على تعريض المادة المراد تحليلها بشروط محددة لسيالة من الدقائق السريعة مثل النيوترونات فيحدث تحت تأثيرها تحويل في بعض العناصر الموجودة في الوسط إلى عناصر مشعة، بعد ذلك يقاس نشاط هذه العناصر الإشعاعي وتتم المعايرة بالمقارنة مع شاهد في الشروط نفسها.

قد يمكن لهذه المعايير أن تتم دون فصل للعنصر المشع المتكون عن غيره في الوسط وخاصة إذا كانت أدوارها مختلفة تماماً عن دوره، أما في الحالة المعاكسة فلا بد من عملية الفصل.

الوقاية ضد الإشعاعات:

إن التعرض للإشعاعات خطيرة أكيدة تحتم على العاملين بها اتخاذ كل الاحتياطات الضرورية لحماية أنفسهم من ضررها، وهذه الإشعاعات مهما كانت طبيعتها وحجومها وشحناتها فإن خواصها الضارة تقوم على صفاتها المشردة.

إن مصدر خطر الإشعاعات قد يكون خارجياً وذلك عند التعرض لمُنبع مشع خارجي، وقد يكون داخلياً ناجماً عن التعرض لإشعاعات دواء أدخل إلى البدن الحي. ولذلك كان لابد قبل التكلم على سبل الوقاية من أن تحدد بصورة تقريبية المقادير التي يمكن احتمالها من هذه الإشعاعات، وهو ما يستدعي التعرض لتعريف مختلف الوحدات الإشعاعية المستعملة في هذا المجال وتحديدها.

أكثر الوحدات استعمالاً في المجال الحيوي لتعيين مقادير الإشعاعات هي الرونتجن Rontgen ويرمز لها بـ R وتعبر عن كمية الإشعاعات x أو غما التي تولد في 1.293 مع من الهواء (أي 1 سم<sup>3</sup> من الهواء في الشروط النظامية) كمية من الشوارد تحمل وحدة كهربائية ساكنة. ولأن كل زوج من الشوارد يحمل شحنة قدرها  $4.08 \times 10^{-10}$  كولوناً فإن عدد الأزواج المتشكلة بتأثير رونتجن واحد يعادل إلى  $2.08 \times 10^{-10}$  زوجاً بالسم<sup>3</sup> من الهواء في الشروط النظامية.

إن كل رونتجن واحد يوافق امتصاص  $5.24 \times 10^{-7}$  Me V من قبل غرام واحد من الهواء ولقد اصطلح على عد المعادل الفيزيائي للرونتجن Roentgen- equivalent- Physical أو ما يدعى اختصاراً الريب REP معادلاً كمية الإشعاع المادي الذي يترك لغرام واحد من النسيج القدرة نفس التي يتركها رونتجن واحد إلى غرام واحد من الهواء أي  $5.24 \times 10^{-7}$  Me V.

إن الرونتجن والريب يمكن تطبيقهما على النسيج الرخوة ولا يمكن تطبيقهما على العظام والنسج الشحمية ولهذا وضعت وحدة جديدة لاتتعلق بطبيعة المادة هي الراد RAD وتعادل كمية الإشعاع الذي يوافق إلى امتصاص قدرة تصل إلى 100 أرغه من قبل غرام واحد من المادة المعرضة للإشعاع.

لتطبيق الوحدات على إنسان أوجدت وحدة الريم -Roentgen REM Equivalent Man وتعادل كمية الإشعاع مهما كانت طبيعته والتي إذا امتصها قبل جسم الإنسان أدت إلى نتيجة حيوية معادلة إلى امتصاص رونتجن واحد من الأشعة السينية أو أشعة غما.

إن المقدار الذي يمكن للإنسان احتماله دون أي ضرر من أشعة X أو أشعة غما يعادل 0.3 رونتجن أسبوعياً ومن الأشعة بتا يصل إلى 0.3 ريب أسبوعياً في حالة إشعاعات ألفا.

إن دخول هذه النظائر إلى البدن الحي عن الطريق الهضمي أو التنفسي أو الجلدي يحدث تسمماً مزمناً وتراكماً خاصاً عند الأشخاص المشتغلين بها وفي هذه الحالة إن وجودها الدائم في البدن يؤدي إلى تعرض دائم لضررها.

أما في حالة التعرض للإشعاعات من منبع خارجي فإن الفعل الضار يزول بمجرد الابتعاد عن المنبع (مكان العمل).

لابد إذن من أخذ الاحتياطات الشديدة الكفيلة بمنع كل تسرب لهذه المواد إلى الطريق الهضمي أو التنفسي أو الجلدي وذلك باستخدام كل ما يحقق ذلك من آلات ووسائل واقية وأمتعة مناسبة، كما يجب العمل بأمكنة جيدة ومجهزة بالوسائل الواقية لمنع تلوث الطاومات والصنابير والملابس. كما نشير إلى وجوب توجيه عناية طبية خاصة للعمال المشتغلين بمثل هذه الأمكنة وبفحصهم فحوصاً طبية دورية وإجبارية وتغذيتهم بموجب نظام غذائي معين غني بعنصر الكالسيوم. ونشير أخيراً إلى أن الأثر المؤذي للعناصر الإشعاعية الداخلة إلى البدن الحي من الطريق التنفسي يتعلق بدور لعنصر المشع (كلما زاد دور العنصر كبراً زاد فعله الضار) ومدة انطراحه وخروجه من البدن.

## الفصل الثالث الفيزياء الحيوية

الفيزياء كعموم هي العلم الذي يعنى بدراسة الخواص والصفات الطبيعية للأشياء غير الحية وتفسيرها واستنباط القوانين التى تحكم وجودها وحركتها وتفاعلاتها مع الأوساط المحيطة بها ومن أهم ما أظهره ذلك العلم هو الفارق بين المادة والطاقة وخواص وقوانين كل منهما.

أما الفيزياء الحيوية فقد استحدثت لدراسة نفس المجالات ولكن بالنسبة للكائنات الحية.

يمكننا القول بأن الفيزياء الحيوية هي الدراسة الفيزيائية للحياة على كل مستوياتها من الذرة حتى البيئة الكونية ككل

كما يمكن تعريف الفيزياء الحيوية على أنها أحد الاختصاصات (المتداخلة) التي تعمل على دراسة وتطبيق نظريات و مناهج الفيزياء على علم الأحياء.

كلمة متداخلة تعنى أنها ليست علما واحدا بل هي تداخل العديد من العلوم كالفيزياء والكيمياء والأحياء والرياضيات لتحقيق تلك الدراسة وتطبيقاتها.

قد لا يمكن تحديد جميع أفرع الفيزياء الحيوية بسهولة فهذا العلم يتدخل في دراسة مجالات في غاية التشتت تنمو يوماً بعد يوم ويضاف إليها كل فترة فرع جديد فمثلاً تبدأ تخصصات هذا العلم بدراسة الكائنات الحية على المستوى الدقيق جداً للجزيئ المكون للمادة الحية (فيزياء حيوية جزيئية) وتنتهي بدراسة البيئة ككل (ف حيوية بيئية)

الفيزياء الحيوية هي علم حديث نوعاً ما قد لم يكن معروفاً قبل 125 عاماً من الآن فقد استخدم المصطلح لأول مرة بواسطة كارل بييرسون سنة 1892 في كتابه قواعد العلوم The Grammar of Science حينما اقترح أن تكون هناك دراسات علمية تربط الفيزياء بالبيولوجي.

في عام 1943 بدأ Erwin Schrodinger مجموعة محاضرات له باسم (ماهى الحياة) جمعها بعد ذلك في كتاب بنفس الاسم وأضاف له جملة (الجوانب الفيزيائية للخلية الحية) وقد تكون هذه أولى الخطوات الفعلية لبداية تلك النوعية من الدراسات. في سنة 1946 انشئ في جامعة كينج بلندن وحدة تحت اسم وحدة الدراسات البيوفيزيائية.

## Biophysics Research Unit of King's College.

من أهم من انضموا لتلك الوحدة كانت روزاليند فرانكلين مع موريس ويلكنس الذان استخدموا أشعة اكس لدراسة الحامض النووى ووضعوا تخيلا لشكله المعروف فيما بعد لماذا تعتبر الفيزياء الحيوية مهمة؟

ساهمت اكتشافات الفيزياء الحيوية بشكل عظيم جدا في تحسين حياة الانسان في خلال العقود الأخيرة فمنذ اكتشاف تركيب وشكل الحامض النووى بدأت تتوالى المعلومات عن البروتين والجينات.

البروتين من أهم مكونات الحياة فهو ما يقوم بكل التفاعلات الكيميائية في الجسد- عمل العضلات- وحركة الكائن الحى- ومكون أساسى في اعضاء الحس كالعين والاذن والانف- نقل الاشارات العصبية من الى المخ وداخله-عمل عضلة القلب-تحول الطعام لطاقة والضوء لرؤية- مكون رئيسى في جهاز المناعة وبناء ما يتلف من الانسجة والكثير الكثير.

الفيزياء الحيوية بينت لنا كل هذه المعلومات التى كانت مبهمة في علم الطب من قبل فالان نحن لدينا معلومات دقيقة جدا عن أكثر من 50 ألف بروتين نستخدمها لمعرفة الامراض وأيضا في علاجها مثل علاج الامراض الوراثية.

في خلال العقد ونصف الماضى اكتشف البيوفيزيائيون التركيب الجينى الكامل للانسان ووضعا خريطة له.

بعض التطبيقات التى نعيشها من انجازات الفيزياء الحيوية.  
وصف لعملية نسخ الحامض النووى.

تصميم وزراعة اجهزة تنظيم ضربات القلب ومعالجات فشل عضلة القلب.

اكتشاف الخرائط الجينية وتصميم أجهزة المقارنة بين الجينات.  
تحويل الكائنات الدقيقة لانتاج الوقود الحيوى.

الدورة البيولوجية للماء والضوء والحرارة والكربون والنيتروجين على كوكب الأرض.

دراسة عمليات البناء الضوئى وتكوين الطاقة فى النباتات.

تطبيقات التصوير الطبى التى أنتجت ثورة فى عام التشخيص الدقيق لما لم يكن معلوما من قبل.

أفرع الفيزياء الحيوية :

يمكن تقسيم تخصصات الفيزياء الحيوية حسب حجم المادة أو المجال المدروس الى 3

أفرع رئيسية كالتالى:

- الفيزياء الحيوية الجزيئية و التحت خلوية

- الفيزياء الحيوية الفسيولوجية والتشريحية

- الفيزياء الحيوية البيئية

سنقوم باختصار بعرض بعض مجالات كل تخصص والتعرض لأحد المجالات بالشرح

الفيزياء الحيوية الجزيئية و التحت خلوية

تحت هذا الفرع يمكن دراسة الموضوعات التالية:

هيكل وتشكل الجزيئات البيولوجية

الفيزياء الحيوية للبروتين

العلاقات الوظيفية الهيكلية

خواص الإنتشار والنقل الجزيئي

بيوفيزياء الأغشية

بيوفيزياء الأحماض النووية

تدفق الطاقة والطاقة الحيوية

الديناميكا الحرارية

الميكانيكا الإحصائية

الألات الجزيئية

الفيزياء الحيوية الفسيولوجية والتشريحية

تحت هذا الفرع يمكن دراسة الموضوعات التالية:

الميكانيكا الحيوية

الكهروفسيولوجي

بيوفيزياء الأعضاء الحسية

الفيزياء الحيوية البيئية

تحت هذا الفرع يمكن دراسة الموضوعات التالية:

بيوفيزياء الحرارة والتأثيرات الحرارية البيئية

بيوفيزياء الموارد البيئية

الفيزياء الحيوية الإشعاعية

الهندسة الحيوية البيئية

البروتينات واحدة من الجزيئات الضخمة الحيوية إلى جانب عديدات السكريات

والدهون والأحماض النووية، وهذه الجزيئات الضخمة الحيوية تشكل مجموعها

مكونات المادة الحية الأساسية.

الأحماض الأمينية المكونة للبروتين هي مواد تحتوي على مجموعة كربوكسيل  $\text{COOH}$ -حمضية ومجموعة أمين  $\text{NH}_2$ -قاعدية لذا فإن لها تأثير متعادل - ترتبط تلك الأحماض مع بعضها بروابط كيميائية (الروابط الببتيدية) ثم تتشكل من هذا الشكل الأولي إلى أشكال ثانوية وثالثية ورابعة طبقا لروابط أخرى - هيدروجينية وأيونية - تحافظ على شكل البروتين إما كروي  $\text{globular}$  أو خيطي  $\text{fibrous}$ .

يتميز كل بروتين ببنية مختلفة عن البروتينات الأخرى، تدعى هذه البنية بالحالة الأصلية للبروتين وتتحدد حسب ترتيب الأحماض الأمينية في عملية الترابط التي تشكل السلاسل البروتينية.

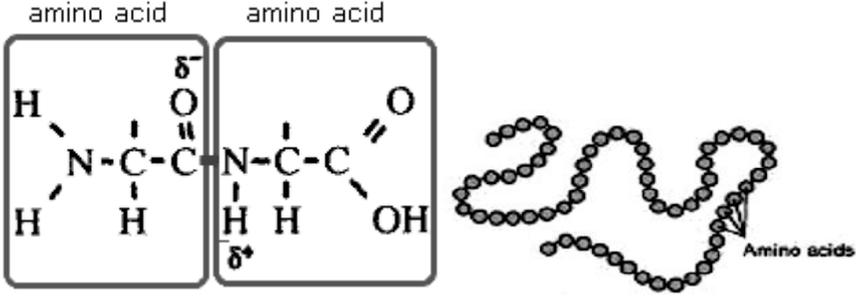
يمكن للبروتينات أن ترتبط بها جزيئات كيميائية متنوعة وشوارد معدنية ضمن تجويفات خاصة في بنيتها تدعى: مواقع الارتباط  $\text{bindingsites}$  ومع ذلك تتميز البروتينات باصطفائية كيميائية عالية تجاه المركبات التي ترتبط بها. تدعى المركبات التي ترتبط بالبروتينات لجينات  $\text{ligand}$ ، أما شدة الارتباط بين اللجين و البروتين فهي إحدى خصائص موقع الارتباط وتدعى الألفة  $\text{affinity}$ .

بما أن البروتينات تتدخل في كل عملية تتم ضمن الخلايا الحية، لذلك فإن التحكم في العمليات الحيوية يمكن أن يتم عن طريق التحكم بفعالية هذه البروتينات. هذا التنظيم لعمل البروتينات يمكن أن يتم عن طريق شكل البروتينات أو تركيزها :

تحويل تفارغي Allosteric modulation

تحويل تساهمي Covalent modulation.

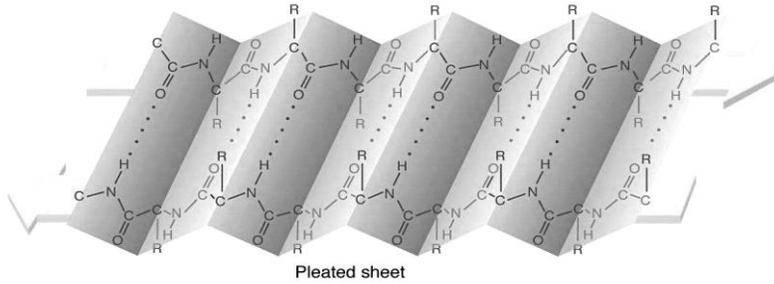
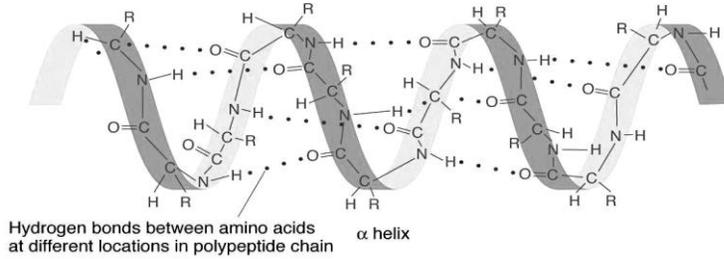
البنية الأولية: وفيها وصف لترتيب الأحماض الأمينية كمتتابعة متصلة في الجزيء فقط



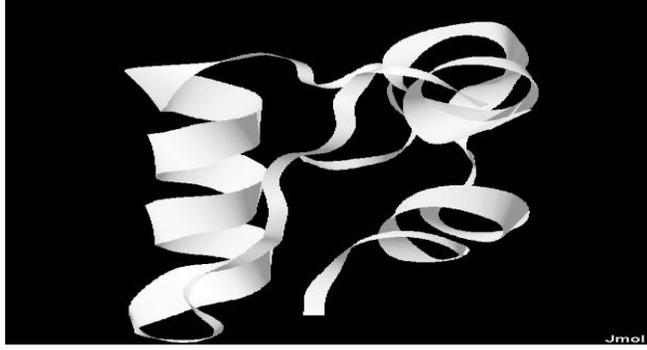
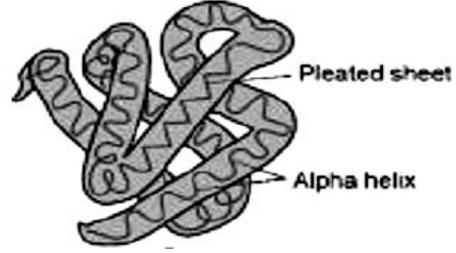
هنا تركيب الحمض الأميني وفيه توجد سلسلة جانبية هي التي تختلف من حمض الى حمض لتعطى كل واحد من الاحماض صفاته المميزة.

ترتبط الأحماض الامينية بعضها ببعض عن طريق رابطة ببتيدية وهكذا حتى يتكون الشكل الكامل لجزيئ البروتين على شكل سلسلة

البنية الثانوية: وفيها وصف للشكل ثلاثي الأبعاد لجزيئ البروتين بشكل مبسط لاحتمالية وجود الجزيئ أو بعض منه إما على شكل حلزوني (ألفا) أو شريط منثنى (بيتا) كما بالرسم



البنية الثالثة: وفيها وصف للحالة التي يكون عليها الجزيء النهائي حينما ينتهي الشريط أو الحلزون حول نفسه مرات ومرات حتى يكون شكلا كرويا تقريبا ولكن لنفس السلسلة من الأحماض الأمينية فقط



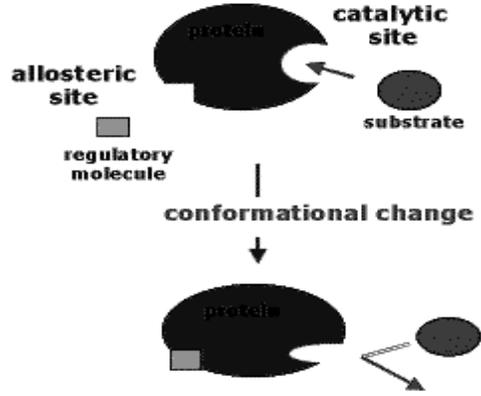
البنية الرباعية: وفيها يتم وضع التصور لشكل الجزيء في حال تكونه من أكثر من سلسلة أحماض أمينية ملتفة كل حول نفسها ثم حول الأخرى



بعض الجزيئات البيولوجية قد تتواجد على صورة البنية الأولية والثانوية فقط مثال لذلك السكريات البسيطة والاحماض الامينية أما معظم الجزيئات البيولوجية ففتواجد في صورة البنية الثالثة وأحيانا بعضها مثل البروتينات المعقدة على صورة البنية الرابعة .

مثلا نموذج لجزيئ بروتينالميوجلوبين يتواجد على الصورة الرابعة متكونا من عدة سلاسل متداخلة وكذلك جزيئ الانسولين  
الدراسة البيوفيزيائية للجزيئات تضع هذه التصورات الدقيقة بناء على حسابات القوى المتواجدة بين المكونات والطاقة اللازمة لتكون و تماسك هذا الجزيئ الحيوى.  
العلاقات الوظيفية الهيكلية:

يتم دراسة تأثير الشكل المستنتج للجزيئ على قيامه بوظائفه ودراسة التغيرات التى تطرأ عليه فى التفاعل مع جزيئات آخرىمعظم البروتينات من الممكن أن تتواجد فى صورة نشطة مختلفة عن صورتها غير النشطة وذلك عن طريق وجود عناصر محفزة للتحويل بين الوضعين.



البنية الأولية والثانوية والثالثية عادةً ماتتعلق بالبروتينات ذات التراكيب المطوية. أما بالنسبة للبنية الرابعة فهي عادةً ماتتعلق بالبروتينات أو الدهون ذات التجمع الذاتي. self-assembly.

البنية البروتينية غير ثابتة إطلاقاً بل تتغير لتأدية وظائفها المختلفة ولتحقيق هذا التغيير البنيوي يحدث تغير في ارتباطات البنية الثالثية والرابعة، لذلك تسمى البنية الثالثية والرابعة بالتشكيلات الكيميائية وما يحدث لها من تغيرات بالتغيرات التشكيلية conformational changes وهي أحد جوانب الدراسات البيوفيزيائية الهامة التي توضح هوية البروتين أثناء قيامه بوظائفه الطبيعية وأيضا في الحالات الغير طبيعية كالأمراض مثلا.

## الماكينات الحيوية الجزيئية

تعتبر الخلية الحية بمثابة مصنع حيوى متكامل للغاية بتنسيق معمارى متعدد الوحدات لديه مركز تحكّم يخبره ماذا يعمل، و مولّد لتوليد الطّاقة والآلات لعمل المنتجات.

لدى جسم الإنسان أكثر من 10 تريليون من الخلايا ذات الأشكال المختلفة وتصنّف الخلايا البكتيريّة بين الأصغر، بينما الأكبرهي بيضة الطائر .

( يمكن أن تكون خلايا العصب الحركيّ طويلة جدًا -أكثر من 1م )

يمكن اطلاق لفظ الماكينة الحيوية الجزيئية على أى من الوحدات الموجودة داخل الخلية التى يمكنها أن تقوم بحركة شبه ميكانيكية عند تعرضها لمؤثر معين موجه لها. هذه الماكينات تجمع عددا كبيرا من البروتينات والاحماض النووية ولها وظائف محددة للغاية وتتراوح احجامها من 10 الى 150 نانومتر وفيها تتوفر البيئة المحددة لحدوث تفاعل كيميائى معين بدقة شديدة لانتاج منتج نهائى أو تحويل الطاقة الكيميائية الى طاقة ميكانيكية لازمة لوظائف الخلية.

تعمل هذه الماكينات بشكل دورى وقادرة على اعادة ضبط نفسها تلقائيا.

## تركيب الخلية

تختلف الخلايا من حيث شكلها وبنيتها تبعاً لأماكن تواجدتها في الجسم ووظائفها الحيوية وتشكل بأشكال مختلفة ، البعض له شكل ثابت ، مثل الخلايا المنوية والخلايا البويضية والخلية العصبية . والبعض الآخر أشكاله مختلفة مثل خلايا الدم وتختلف الخلايا في الحجم حيث يتراوح حجم الخلايا في الإنسان ما بين 200 و 1500 ميكرون.

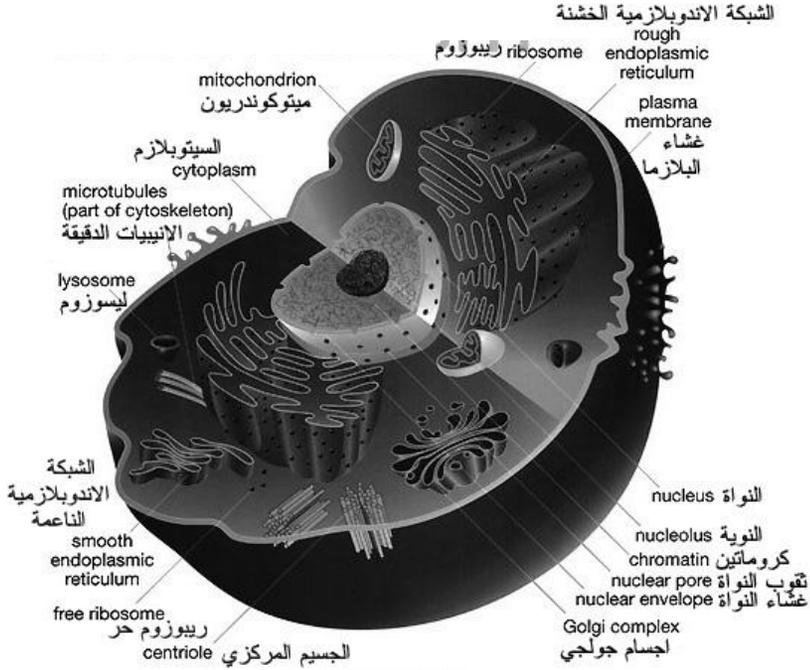
تتميز الكتلة البروتوبلازمية للخلية إلى جزئين رئيسين ، جزء في النواة يسمى

النيوكليوبلازم Nucleoplasm، والآخر يحيط بالنواة ويسمى السيتوبلازم

Cytoplasm، وتحاط النواة بغشاء رقيق ، هو الغشاء النووي Nuclear

membrane تحاط الخلية بأكملها بغشاء آخر يسمى غشاء الخلية

Plasmalemma or cell membrane .



ويحتوى السيتوبلازم على عدة تراكيب حية تسمى العضيات السيتوبلازمية  
 Cytoplasmic organelles كما يحتوى على عدة مواد غير حية تسمى الميتابلازم أو  
 Metaplasm or deutoplasm ومن العضيات الحية الميتوكوندريا  
 وجهاز جولجي والبلاستيدات في الخلايا النباتية .

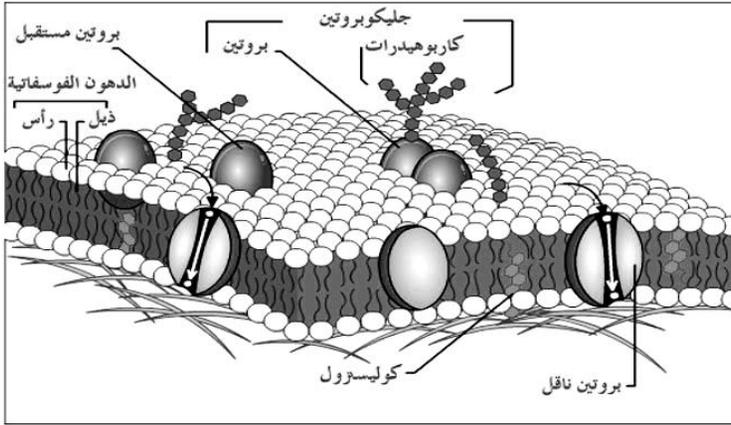
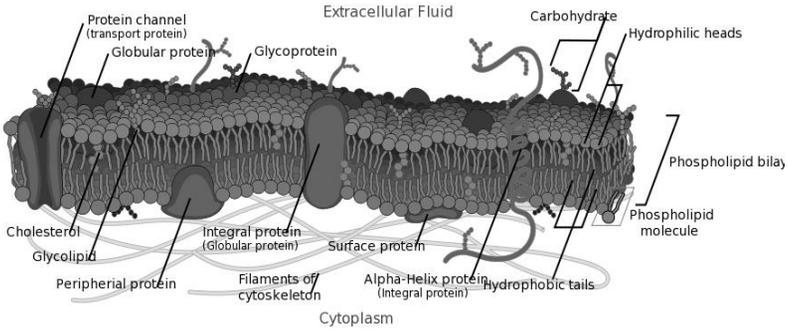
أما الميتابلازم فيتضمن الجليكوجين والنشا والحببيات الدهنية والقطرات الزيتية وبعض المواد الأخرى كالصبغيات والمواد الإفرازية والنواتج الإخراجية وغيرها .

#### غشاء الخلية Cell Membrane

كل خلية محاطة بغشاء رقيق جداً (سمكه حوالى 100 انجستروم) يتركب من بعض الدهون والبروتينات وتبعاً لذلك فإنه كلما كانت المواد أكثر قابلية للذوبان في الدهون كلما كان معدل انتشارها أسرع خلال الأغشية الخلوية.

يقوم غشاء الخلية بدور أساسى في تنظيم مرور المواد الذائبة بين الخلية والوسط المحيط بها ، ويطلق على هذه الخاصية بصفة عامة النفاذية Permeability وهى الوسيلة التى تعمل على تنظيم دخول مواد معينة ذات أهمية أساسية في بناء المادة الحية للخلية .

كذلك يقوم غشاء الخلية بتنظيم خروج النواتج التالفة والمواد الإفرازية، وكذلك الماء الزائد عن حاجة الخلية.



تعتمد نفاذية الخلية على الحالة الفسيولوجية للخلية ، ودرجة تركيز الأملاح في الوسط المحيط بالخلية ، ودرجة الحرارة وتلعب نفاذية غشاء الخلية دوراً هاماً في التحكم في خروج نواتج أنشطة التمثيل الغذائي المختلفة من الخلية .

ويتأثر غشاء الخلية بصورة واضحة بعوامل معينة تتسبب في تحلله وتفككه ، مثل  
الأجسام المضادة والمعادن الثقيلة والأشعة السينية ومذيبات الدهون .

ويتكون الغشاء الخلوي من:

أولا:الدهون ولها أربعة أنواع :

الدهون الفوسفاتية . Phospholipids.

الكولسترول . Hydrophobic.

الدهون السكرية . Glycolipids.

الدهون البروتينية . Lipoproteins.

ثانيا :البروتينات ولها أربعة أنواع:

بروتينات حاملة .(Carrier proteins)

بروتينات مستقبلة .(Receptor proteins)

بروتينات تعريف الخلية .(Cell recognition)

بروتينات أنزيمية .(Enzymatic proteins)

التركيب الجزيئي Molecular Organization

توجد الدهون على هيئة صف مزدوج من الجزيئات محصورة بين طبقتين من جزيئات البروتين إحداهما للخارج والأخرى للداخل منها.

يوجد ثقبوب دقيقة في غشاء الخلية بعض هذه الثقبوب يحمل شحنات كهربائية موجبة والبعض الآخر يحمل شحنة سالبة، مما يجعلها تلعب دوراً هاماً في ضبط وتنظيم مرور شوارد المواد الذائبة المختلفة إلى الداخل وإلى الخارج من الخلايا.

تلعب البروتينات المكونة للغشاء أدواراً مهمة، فبعضها يعمل عمل الأنزيمات والنواقل كما أن لبعضها دوراً في استقبال المعلومات الكيميائية مثل الهرمونات.

يعود الاختلاف بين خلية وأخرى إلى التنوع في أنواع الكاربوهيدرات المرتبطة بجزيئات بروتينات غشاء الخلية مثل فصائل الدم A,B,AB,O.

هناك نوعان من الشبكة الإندوبلازمية :-

الشبكة الإندوبلازمية الخشنة أو المحببة Granular rough endoplasmic reticulum يتميز هذا النوع بوجود عدد كبير من الحبيبات الدقيقة على سطح الخارجى للشبكة هذه الحبيبات غنية بحامض الريبونيوكلريك والبروتينات والريبوسومات ribosomes وتمثل الريبوسومات مواقع تخليق البروتينات في الخلية ، ولذا فهي تتوفر بكثرة في الخلايا التي تتميز بنشاطها في بناء البروتينات كالكبد والبنكرياس

الشبكة الإندوبلازمية الملساء أو غير المحببة **Agranular or Smooth endoplasmic reticulum** ويتميز هذا النوع بخلوه من الريبوسومات، ويقتصر وجوده على أنواع قليلة من الخلايا مثل الخلايا الصبغية الطلائية لشبكية العين والخلايا العضلية الإرادية ، ويبدو أن الشبكة تقوم بدور حسي في مثل هذه الخلايا . تتكون أغشية الشبكة الإندوبلازمية من مواد دهنية وبروتينية متحدة مع بعضها البعض فيما يسمى بالمركبات الليبوبروتينية وتلعب الشبكة الإندوبلازمية ، وبخاصة النوع الحبيبي ، دوراً في عملية تخليق البروتينات وتكوين الإفرازات في الخلية ، وهناك وظيفة أخرى محتملة للشبكة الإندوبلازمية ، وهي أن تجاوبها قد تعمل كممرات يتخللها نقل مختلف المواد بين الأجزاء السيتوبلازمية المختلفة ، ومن النواة إلى خارجها.

## الريبوسومات Ribosomes

الريبوسومات عبارة عن حبيبات صغيرة كروية الشكل توجد أما على أغشية الشبكة الإندوبلازمية أو معلقة حرة في السيتوبلازم وتتركب من حوالي 60% Ribosomal RNA و40% بروتين والريبوسومات ترتبط بنوع معين من الـ RNA وهو (MRNA الرسول (Messenger RNA والناقل (Transfer RNA) TRNA يتكون في نواة الخلية كنتيجة للشفرة الوراثية Genetic Code

حيث يقوم بنقل المعلومات اللازمة لتخليق البروتين حيث ينقل MRNA المعلومات الوراثية اللازمة لبناء نوعين من البروتينات هما البروتين الوظيفي والبروتين التركيبي وفي السيتوبلازم يوجد العديد من الريبوسومات التي ترتبط بنسبة من MRNA وتكون تركيب يسمى Ploysome / Polyribosome ويقوم MRNA والريبوسوم المتصل به بتخليق البروتين.

لو كان هذه البروتين مخططا له أن يكون داخل في تركيب الريبوسومات أو جدار الخلية أو هرمونات أو إنزيمات هاضمة في هذه الحالة تتصل الـ Protein Complex- Ribosome MRNA بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة RER وينتقل البروتين بعد ذلك إلى خارج الخلية

إما إذا كان هذا البروتين للإستخدام داخل الخلايا مثل البروتينات الخاصة  
Cytoskeleton or cytoplasmic enzymes فيبقال Polysome حرا في هذه  
الحالة في السيتوبلازم .

### الميتوكوندريا Mitochondria

الميتوكوندريا عضيات خلوية حيه توجد في جميع أنواع الكائنات على هيئة حبيبات  
دقيقة أو عصى قصيرة أو خيوط وبترواح طولها ما بين نصف الى 1 ميكرون ويصل  
طول الأنواع الخيطية منها إلى 10-12 ميكرون وقد توجد في الخلية نوع أو أكثر من  
هذه الأشكال .

وعدد الميتوكوندريا ثابت بالنسبة للنوع الواحد من الخلايا فمثلا يوجد 500000  
ميتوكوندريون في الأميبا وتكثر الميتوكوندريا بصفة عامة في الخلايا الأكثر تخصصا مثل  
خلايا الكبد وخلايا الكلية وتوجد الميتوكوندريا في معظم الحالات موزعة توزيعاً منتظماً  
متجانساً في السيتوبلازما .

تظهر الميتوكوندريا في صور الميكروسكوب الإلكتروني على هيئة أكياس يحيط بكل منها  
غشاءان رقيقان الخارجى منها مستوى أما الداخلى فمتعرج .

وتتكون الميتوكوندريا أساسا من الدهون والبروتينات بالإضافة إلى بعض المواد العضوية الأخرى والأملاح والفيتامينات كما تعتبر الميتوكوندريا المستودع الرئيسى للإنزيمات التنفسية في الخلية وتسمى الميتوكوندريا أحياناََ بالبطاريات الإنزيمية " ويطلق على الميتوكوندريا أيضاََ اسم " مولدات الطاقة " في الخلايا وذلك لأن الكثير من التفاعلات الكيميائية التى تتضمن أكسدة المواد الغذائية واستخلاص الطاقة منها تتم داخل الميتوكوندريا بتأثير الإنزيمات الموجودة بها .

التقنيات البيوفيزيائية:

هناك العديد من التقنيات التى تستخدمها البيوفيزياء لاجراء الأبحاث وتطبيقها في المجالات المختلفة نذكر منها هنا:

الطرد المركزى:

وهو يستخدم في فصل المركبات الذائبة والعالقة في السوائل عن طريق الدوران بسرعات كبيرة حول محور الجهاز.

وهذه الطريقة تعتمد على تطبيق قوة على العينة تشبه قوة الجاذبية ولكن أكبر منها بكثير جدا (قد تصل في بعض الأجهزة مليون مرة قدر الجاذبية الأرضية) في شكل دورانى لاستغلال ظاهرة الترسيب التى تحدث في الموائع تحت تأثير الجاذبية.



يعتمد معدل الترسيب على:

القوة المؤثرة - كثافة الوسط - حجم وتركيز المادة المذابة أو العالقة.

حينما نطبق القوة الناتجة عن الطرد المركزي بقيم مختلفة فيمكننا فصل مكونات كل

منها يترسب عند سرعات (مقدار قوى) مختلفة.

يمكن استخدام الطرد المركزي في فصل عينات الحمض النووي

بمعرفة معدل الترسيب يمكن استخدام المعادلات الفيزيائية في حساب الحجم والشكل

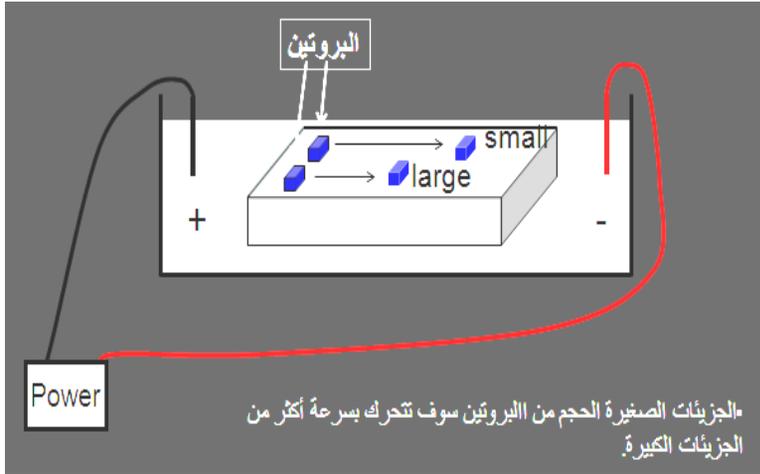
التقريبى للجزيئات المفصولة وحتى عدد الوحدات المكونة لكل جزيئ .

الفصل الكهربائي بواسطة جل اكريلاميد Electrophoresis

من أهم طرق التحليل الشائعة - يعتمد على فصل جزيئات البروتينات والأحماض النووية تبعاً للحجم ( أو طول شريط الحمض).

فيها يستخدم مصدر تيار كهربائي ذو قطبين سالب وموجب للتأثير على جزيئات المركبات بعد وضعها في وسط من الجل المرطب بمحلول فتتحرك داخل مسام الجل تبعاً لشحنتها بينما تتفاوت المسافة التي تقطعها حسب حجم الجزيء فالأصغر يتحرك أسرع والأكبر يتحرك أبطأ بسبب مقاومة الوسط الذي يتحرك فيه (هنا هو الجل) وبالتالي تنفصل الجزيئات عن بعضها على الجل وتظهر بعد عملية تثبيت تشبه تحميض الأفلام باستخدام تقنية خاصة لصبغ البروتين فتظهر على شكل أشرطة

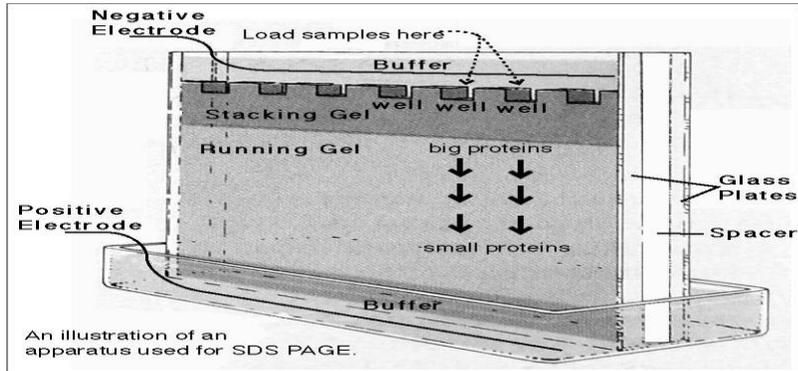
bands



ثم تفصل بعدها بواسطة الغربلة الجزيئية molecular sieving تبعاً للحجم (الوزن الجزيئي).

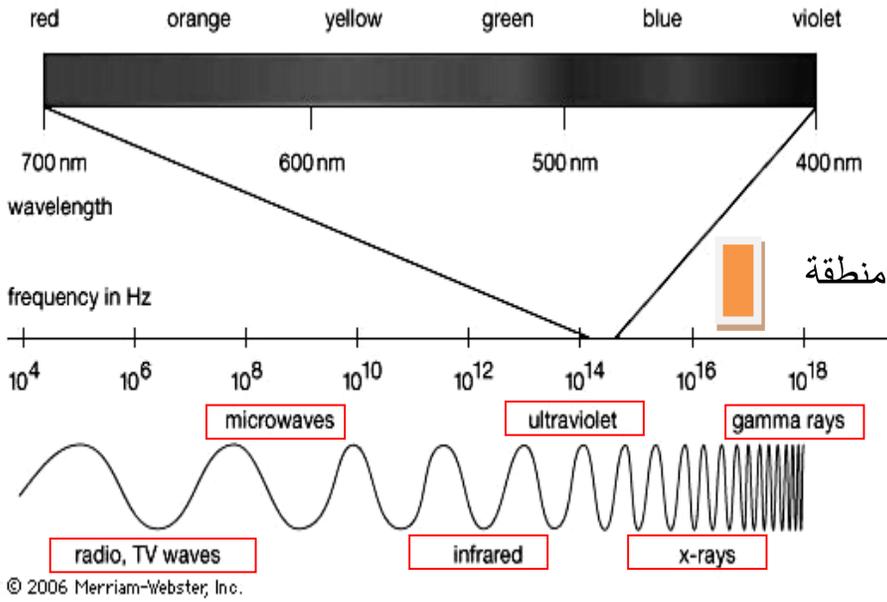
ويمكن معرفة حجم البروتين بمقارنة المسافة التي يقطعها الجزيء على جل الفصل مع أشرطة من الجزيئات البروتينية معلومة الوزن الجزيئي.

البروتين يحمل شحنة موجبه لوجود مجموعته أمين  $NH_3$ ، عندما نضع البروتين في مجال كهربائي. فإنه سوف يهاجر أو (يرحل) للقطب السالب ولكن يمكن أن نستخدم مادة سالبة الشحنة (sodium dodecyl sulfate (SDS) لترتبط بمجموعة الامين فتتغطي جزيئات البروتين بشحنة سالبة مما يتسبب في فك تكور الجزيء حول نفسه ثم تهاجر تجاه القطب (الموجب) بشكل أسهل داخل الجل وهي مفرودة وهذه الطريقة متميزة أكثر وهي الأكثر شيوعاً في التطبيق العملي.



الأطياف:

علم يهتم بدراسة التداخل interaction بين المادة matter والشعاع الكهرومغناطيسي electromagnetic radiation والذي يمتد من أشعة جاما عالية الطاقة highly energetic إلى موجات الراديو المنخفضة الطاقة جدا very low energetic مروراً بالأشعة السينية وأشعة المايكروويف والأشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء.



أما القياسات المطيافية Spectrometry فإنها تعني: قياس هذه التداخلات بين المادة والشعاع وصفيا عن طريق التعرف على التراكيب الكيميائية لهذه المواد أو كميًا عن طريق قياس تراكيز هذه المواد.

وأما الأجهزة التي تقوم بهذه القياسات تدعى بالمطيافيات أو أجهزة مقياس الطيف Spectrometers أو راسم طيفي . Spectrograph . ويشار إلى مخطط التداخل بين

المادة والشعاع بمخطط طيفي spectrogram أو طيف spectrum تستخدم المطيافيات للتمييز والتعرف على المواد عن طريق التعرف على التراكيب الكيميائية لها وقياس كمياتها من خلال الطيف المنبعث من هذه المواد بعد إثارتها ، أو من خلال الطيف الممتص بواسطة هذه المواد نتيجة إثارتها أيضا.

الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum

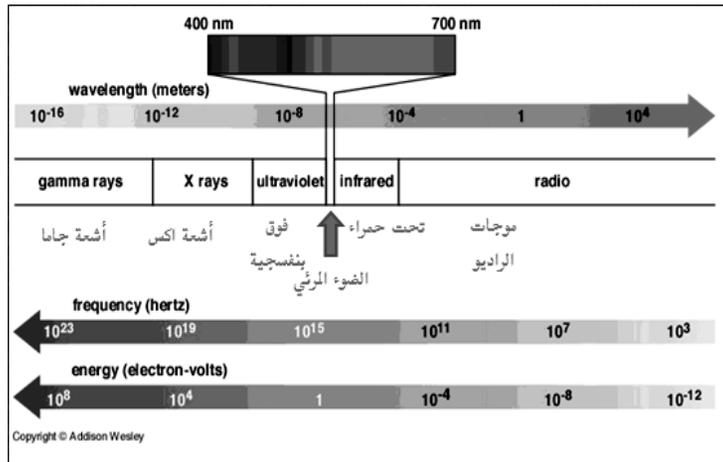
الطيف الكهرومغناطيسي ، أو الأشعة الكهرومغناطيسية ، أو الأمواج الكهرومغناطيسية كلها تحمل نفس المعنى الفيزيائي. وإذا تكلمنا عن الضوء المرئي، أو المايكروويف، أو الأشعة السينية، أو أشعة جاما، أو موجات التلفزيون والراديو فهي كلها عبارة عن أشعة تعرف باسم الأشعة الكهرومغناطيسية

Electromagnetic Radiation

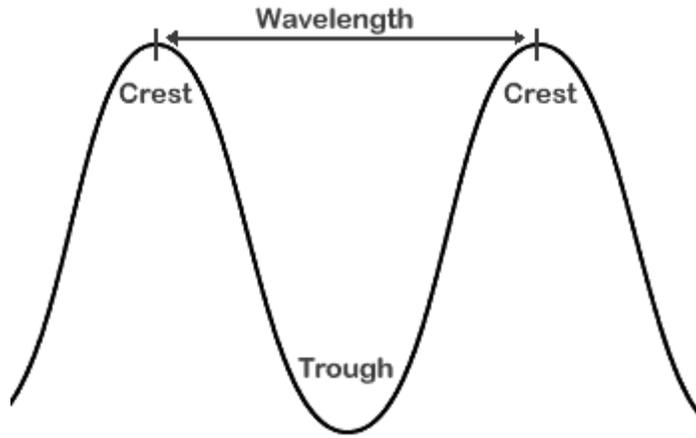
وكلها لها نفس الخصائص. ولكنها تختلف في الطول الموجي Wavelength، و التردد

Energy، والطاقة . Frequency

المناطق المختلفة للإشعاعات الكهرومغناطيسية:



ويتقدم الشعاع الكهرومغناطيسي في صورة حركة موجية wave motion أي حركة تدفع الشعاع نحو الأعلى upward direction ثم تدفعه نحو الأسفل downward direction مثل الموجة التي لها قمة crest وقاع trough



التداخل بين الشعاع الكهرومغناطيسي والمادة:  
عند تسليط طيف أو شعاع كهرومغناطيسي على المادة ، فإن هذا الشعاع يحدث تغيرات عديدة بالمادة تتوقف على كل من طاقة هذا الشعاع الضوئي ، وطبيعة المادة نفسها.

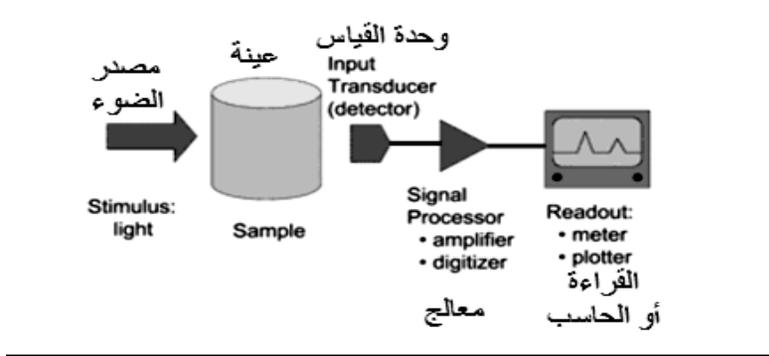
وتعتمد كل أجهزة التحليل الطيفي spectroscopic instruments على التداخل بين المادة والشعاع الكهرومغناطيسي ، وعلى هذا الأساس تم تصميم العديد من الأجهزة التي يمكن استخدامها في الكشف عن تلك المواد على أساس التغيرات التي تحدث بها نتيجة تداخلها مع الشعاع الكهرومغناطيس عند أطوال موجية معينة ، ثم يتم رصد هذه التغيرات التي تحدث بالمادة

عند مرور الأشعة الكهرومغناطيسية على المادة ، فإن جزيئات المادة تمتص الشعاع الساقط عليها عندما تضاهي طاقة فوتونات هذا الشعاع كمية الطاقة المطلوبة لحدوث انتقالات بين مستويات الطاقة داخل الجزيء المختلفة ويحدث اما انتقالات إلكترونية Electronic transition ، أو تغيرات تذبذبية Vibrational changes ، أو تغيرات دورانية Rotational changes ، أو اثنين منها معا ، أو جميعها معا. وتعود الجزيئات والذرات المثارة الى حالة الاستقرار بسرعة جدا ، اما عن طريق فقد الطاقة في صورة حرارة ، أو عن طريق انبعاث اشعاع كهرومغناطيسي منها.

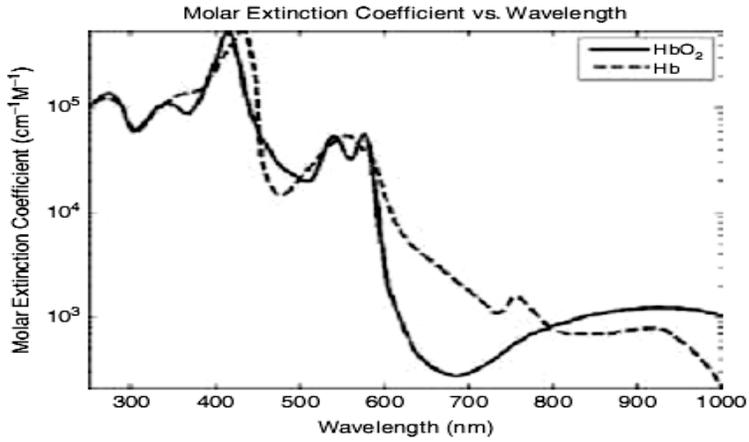
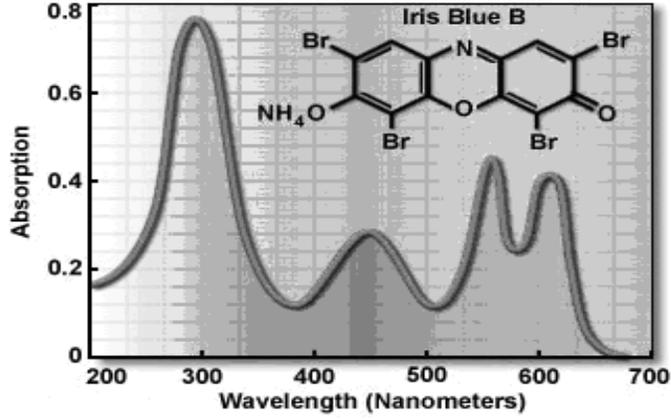
ينتج عن امتصاص الجزيئات للأشعة الكهرومغناطيسية في منطقتي الضوء المرئي وال فوق بنفسجي انتقال واحد أو أكثر من الأليكترونات الموجودة في مدارات ذات طاقة منخفضة (مدارات الرابطة) الى مدارات ذات طاقة أعلى. كثافة الامتصاص تتناسب طرديا مع عدد الجزيئات في مسار الأشعة،

لذلك يستخدم هذا التحليل في مجالات عديدة من التحليل الكمي .

مخطط لتكوين جهاز المطياف



### Ultraviolet - Visible Absorption Spectrum



**FIGURE 3-1** • Absorption spectra of hemoglobin with oxygen bound to the hemoglobin (solid line) and without oxygen bound to the hemoglobin (dashed line). (Courtesy of Wikimedia Commons.)

أشكال الأطياف الناتجة بعد رسمها من البيانات

## الرنين النووي المغناطيسي (NMR) Nuclear Magnetic Resonance

تعتمد على الخواص المغناطيسية الميكانيكية الكمية لنواة الذرة. ويستخدم الرنين النووي المغناطيسي للدلالة على مجموعة منهجيات وتقنيات علمية. وتستخدم هذه الظاهرة لدراسة الجزيئات من حيث البنية والتشكيل الفراغي.

جميع الأنوية الذرية التي تملك عددا فرديا من البروتونات أو النيوترونات يكون لها عزم مغناطيسي أصلي intrinsic وعزم زاوي angular momentum، وأكثر الأنوية التي تستخدم في هذه التقنيات هي نواة ذرة الهيدروجين  $H1$  وهي أكثر نظائر الهيدروجين توافرا في الطبيعة، وكذلك نواة ذرة الكربون-13. وهناك نظائر عناصر أخرى يمكن أن تستخدم لكن استخداماتها تبقى أقل.

وينتج عن الدوران المغزلي *spining motion* لأنوية هذه العناصر حول محورها عزم مغناطيسي  $(M)$  magnetic moment، وعند وضع هذه الأنوية بين قطبي مجال مغناطيسي خارجي، فإنه يحدث تأثير على مستويات الطاقة الخاصة بالحركة المغزلية *spin energy level* لهذه الأنوية، مما يؤدي إلى انفصال *splitting* طاقة الحركة المغزلية إلى مستويين طاقيين مختلفين على أساس اتجاه العزم المغناطيسي الناشئ عن الحركة المغزلية وهما:-

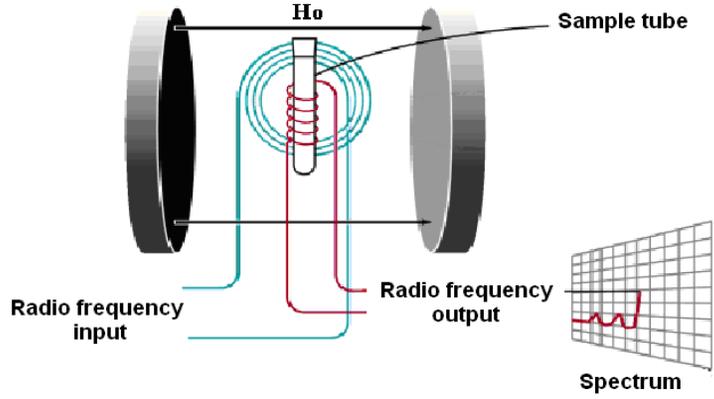
مستوى طاقي منخفض Low energy level وهنا يكون العزم المغناطيسي في إتجاه المجال المغناطيسي الخارجي.

مستوى طاقي مرتفع High energy level وهنا يكون العزم المغناطيسي في إتجاه مضاد للمجال المغناطيسي الخارجي.

ويمكن زيادة الفرق في الطاقة بين هذين المستويين بزيادة شدة المجال المغناطيسي الخارجي.

عند تسليط أشعة الراديو Radiowave، علي هذه الأنوية فإنها تمتص طاقة أشعة الراديو وتنتقل إلى مستوى الطاقة الأعلى ، وينتج عن ذلك تغير في إتجاه الحركة المغزلية للنواة ، ثم ترجع الأنوية من المستوى العالي في الطاقة الى المستوى المنخفض مرة أخرى وهكذا ، ويطلق على هذه الظاهرة ظاهرة الرنين النووي المغناطيسي. وإمتصاص الطاقة يمكن الكشف عنه وتكبيره كطيف خطى ويطلق عليه إشارة الرنين المغناطيسي resonance signal.

مطياف الرنين النووي المغناطيسي



رسم تخطيطي لمطياف الرنين النووي المغناطيسي

التعرف على التركيب الجزيئي

أهم المعلومات التي نحصل عليها من طيف الرنين المغناطيسي NMR spectrum ما يلي:-

1- الانتقال الكيميائي للإمتصاصات ( $\delta$ ) chemical shift

الانتقال الكيميائي يحدد نوع البروتونات في الجزيء حيث أن عدد الإمتصاصات يدل على أنواع البروتونات (الهيدروجين) الموجودة في الجزيء.

ف نجد مثلاً أن مركب  $C_6H_5-CH_2-CH_3$  يعطى ثلاثة إمتصاصات عند ثلاثة قيم مما يوضح أن هناك ثلاثة أنواع من البروتونات تختلف عن بعضها من ناحية الظروف الأليكترونية ،

بينما نجد مركب CH<sub>3</sub>-OH يعطى إمتصاصين فقط عند قيمتين مختلفتين من الانتقال الكيميائي ليذل بذلك على وجود نوعين من البروتونات. والطريقة النموذجية للتعرف على التركيب الجزيئي للمركب هى البدء بالرمز الجزيئي molecular formula وذلك لتحديد درجة عدم التشبع unsaturation أو عدد الحلقات العطرية ويفيد فحص الانتقال الكيميائي chemical shift فى التفرقة بين عدم التشبع والحلقات العطرية ، فإذا كانت هناك إمتصاصات فى المنطقة ما بين 7 : 8.5 d فهذا يدل على وجود حلقة عطرية أما إذا ظهر إمتصاص فى المنطقة 4.5 : 6 δ فيمكن إفتراض وجود رابطة زوجية.

2- عدد الانقسامات الداخلية فى كل إمتصاص رئيسى Spin Spin Coupling إن فحص عدد الانقسامات فى كل إمتصاص رئيسى يفيد فى تحديد الوضع النسبى لهذه البروتونات ، فالانقسام الثلاثى يشير إلى وجود مجموعة CH<sub>2</sub> مجاورة أو مجموعة CH على كل جانب .

أما الانقسام الرباعي يشير إلى وجود مجموعة  $CH_3$  مجاورة أو مجموعتين إحداهما  $CH_2$  على جانب ،  $CH$  على الجانب الأخر ، أما الانقسام الثنائي يشير إلى وجود مجموعة  $CH$  مجاورة وهكذا.

وإذا كان الجزء يحتوى على ذرة أكسجين أو نتروجين فإنه يجب أن نبحث عن إمتصاص فردى عريض للبروتون لمجموعة  $OH$  أو  $NH$  وفي حالة عدم وجود هذا الإمتصاص فإن هناك احتمالاً لأن تكون المادة مركب كربونيل  $C=O$  أو  $R-O-R$

### 3- كثافة الإمتصاصات integration

يوضح نسبة ذرات الهيدروجين إلى بعضها في الجزء وكذلك عدد البروتونات في كل مجموعة امتصاص حيث أن كثافة كل امتصاص يتناسب طردياً مع عدد ذرات الهيدروجين.

## الفهرس

1.....	Environmental Geophysics	الفصل الأول الجيوفيزياء البيئية
100.....		الفصل الثاني الاشعاعات الكهرطيسية و النووية
219.....		الفصل الثالث الفيزياء الحيوية
257.....		الفهرس
258.....		قائمة المحتويات

## قائمة المحتويات

م	الموضوع
	الفصل الأول: الجيوفيزياء البيئية Environmental Geophysics
	الجيوفيزياء والمسح الجيولوجي
	المسح الجيولوجي الطبقي
	الجيوفيزياء (Geophysics):
	ما هي الجيوفيزياء التطبيقية:
	المسح الجيوفيزيائي:
	أجهزة الاستكشاف الجيوفيزيائي:
	المسح الجيولوجي الطبقي :
	المسح الجيوفيزيائي:
	المسح السيزمي:
	التنقيب الزلزالي:
	طريقة الجاذبية:

الطريقة المغناطيسية:	
الطريقة الكهربية:	
الحفر الاستكشافي Exploratory Drilling	
طريقة تسجيل الآبار Well Logging	
أنواع الموجات السيزمية :	
الجيوفونات Geophones	
نظام تسجيل البيانات السيزمية	
مصادر التشويش:	
الفصل الثاني: الاشعاعات الكهرومغناطيسية و النووية	
الفصل الثالث: الفيزياء الحيوية	
أفرع الفيزياء الحيوية	