الضوء المرئي- الأشعة تحت الحمراء وأشعة التيراهرتز
Visible Light - Infrared Radiation and Terahertz Radiation

1.3 الضوء المرئي Visible Light

الضوء المرئي جزء صغير من الطيف الكهرومغناطيسي يناظر الأطوال الموجية القريبة من قمة منحنى أشعة الشمس. فى التفاعل مع المادة يعمل الضوء المرئي على رفع الإلكترونات إلى مستويات طاقة أعلى. ويتحلل الضوء الأبيض إلى ألوانه الطيفية بالتفريق فى المنشور. يمتد الطول الموجي للضوء المرئي من 400 إلى 750 نانومتر بتردد $(4\text{-}7.57)10^{14}$ هرتز وطاقة من 1.65 إلى 3.1 إلكترون فولت.

الألوان الطيفية Spectral Colors

نرى فى قوس قزح أوفى حالة فصل الأطوال الموجية بالمنشور مدى مستمر من الألوان الطيفية (الطيف المرئي). ويتكون اللون الطيفي من طول موجي واحد ويمكن ربطه بالطول الموجي كما هو موضح فى الجدول (8). ويعطى ليزر الهليوم – نيون (لون أحمر 632 نانومتر)، لكن معظم الأجسام الملونة تعطى مدى من الأطوال الموجية.

من السائد عمليا أن اللون يعرف بدلالة الأطوال الموجية للضوء كما هو موضح. وهذا ينطبق جيدا على الألوان الطيفية، لكن قد وجد أن كثيرا من الامتزاجات المختلفة للأطوال الموجية للضوء قد تنتج نفس اللون المحسوس.

جدول (8) الألوان وأطوالها الموجية وترددها ومدى طاقاتها.

اللون	الطول الموجي نانومتر	التردد 10^{14}هرتز	الطاقة 10^{-19}جول
البنفسجي	460-400	6.5-7.5	4.3-5.0
النيلي	475-460	6.3-6.5	4.2-4.3
الأزرق	490-475	6.1-6.3	4.1-4.2
الأخضر	565-490	5.3-6.1	3.5-4.1
الأصفر	575-565	5.2-5.3	3.45-3.5
البرتقالي	600-575	5.0-5.2	3.3-3.45
الأحمر	800-600	3.7-5.0	2.5-3.3

الآلية الأولية فى امتصاص فوتونات الضوء المرئي هي رفع الإلكترونات إلى مستويات طاقة أعلى. ويوجد العديد من حالات الطاقة الممكنة، لذلك تمتص الذرات الضوء المرئي بشدة. فى حالة مصدر قوى للضوء المرئي يمكن أن ينفذ اللون الأحمر فى اليد أو فى طبقة من الجلد مبينة أن النهاية الحمراء لا تمتص بنفس شدة النهاية البنفسجية.

يسبب التعرض للضوء المرئي رفع حرارة أو تسخين الجسم ولا يسبب التأين الذي ينتج عنه مخاطر. يمكن أن تسخن وأنت داخل سيارتك بسبب أشعة الشمس النافذة من زجاج النوافذ ولن يحدث لك حروق شمس لأنها تنتج من الأشعة فوق البنفسجية التي يمتصها الزجاج ولا ينفذها داخل السيارة.

2.3 الأشعة تحت الحمراء Infrared Radiation

يرجع الفضل في اكتشاف الأشعة تحت الحمراء للعالم الإنجليزى وليم

هيرشل (سنة 1800م) الذي لاحظ أثناء قياسه درجة حرارة الألوان المتعاقبة لضوء الشمس الأبيض، النافذ من المنشور الزجاجي، ارتفاعاً طفيفاً في درجة حرارة الترمومتر كلما اقترب من نهاية اللون الأحمر ، كما لاحظ ارتفاعا واضحاً في درجة الحرارة عندما تعدى مستودع الترمومتر حدود اللون الأحمر.

أعزى هيرشل هذا الارتفاع في درجة الحرارة إلى وجود أشعة غير مرئية في المنطقة دون الحمراء وأطلق عليها في بادئ الأمر الأشعة الحرارية والتى تعرف الآن بالأشعة تحت الحمراء **Infrared Radiation**. التأثير الطبيعي الوحيد الملحوظ لهذه الأشعة حتى الآن هو التأثير الحراري.

يمتد الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء من 0.7 ميكرون إلى 1000 ميكرون وهى أشعة غير مرئية يبدأ طولها الموجي حيث تنتهي قدرة العين البشرية على الرؤية [أي عندما تنتهي حساسية العين للضوء المرئي] وينتهي حيث تنتهي الخواص المميزة لها وتبدأ خواص الموجات الميكرونية. مدى حساسية العين البشرية للضوء المرئي يمتد بين اللون البنفسجي وطوله الموجي 400 نانومتر واللون الأحمر وطوله الموجي 800 نانومتر.

تقسم الأشعة تحت الحمراء عادة إلى ثلاث مناطق كما يلي:

1- **IRA** أو الأشعة تحت الحمراء القريبة من 780 – 1400 نانومتر.

2- **IRB** أو الأشعة تحت الحمراء الوسطى من 1400 – 3000 نانومتر.

3- **IRC** أو الأشعة تحت الحمراء البعيدة من 3000 نانومتر – واحد ملليمتر.

معظم وحدات التحكم عن بعد لجهاز التلفاز تعمل بواسطة الأشعة تحت الحمراء لذلك فنحن لا نرى الشعاع المنبعث من هذه الوحدة إلى جهاز التلفاز عند تغيير القنوات. طاقة كم فوتونات تحت الحمراء تتراوح بين 0.001 إلى 1.7 إلكترون فولت وهى فى نفس مدى الطاقات الفاصلة للحالات الكمية للتذبذبات الجزيئية. وتمتص تحت الحمراء بشدة أكثر من الموجات الميكرونية وبشدة أقل كثيرا من الضوء المرئي. وينتج عن امتصاص تحت الحمراء تسخين الأنسجة نظرا

لأنها تزيد نشاط التذبذبات الجزيئية. وتنفذ الأشعة تحت الحمراء من الجلد أكثر من الضوء المرئي، وهكذا يمكن استخدامها فى التصوير الفوتوغرافي للأوعية الدموية تحت الجلد.

هل الأشعة تحت الحمراء خطيرة؟

على وجه العموم لا – على الأقل من العمليات الفيزيائية الموجودة طبيعيا. أي شكل من الإشعاع بما فى ذلك الضوء المرئي أو موجات الراديو يمكن أن يكون ضارا أو خطرا إذا كان شديد التركيز فى حزمة ضيقة (وهذا هو مبدأ الليزر) ذات قدرة عالية. نحن نتعرض للأشعة تحت الحمراء كل يوم فهي ليست أكثر من حرارة. وكل الأجسام التي ليست عند الصفر المطلق تبعث أشعة تحت الحمراء (عادة فوق $10^{o}K$). الصفر المطلق يحدد درجة الحرارة التي تتوقف عندها حركة الجزيئات وهو أبرد حرارة ممكنة ويساوى حوالي ناقص 273 درجة مئوية أو ناقص 460 درجة فهرنهيت. حتى مكعبات الثلج تشع أشعة حرارية. أجزاء صغيرة فقط من الطيف الكهرومغناطيسى تصل إلى الأرض فى حين يمتص الغلاف الجوى الجزء الأكبر منه. الضوء المرئي وموجات الراديو وأجزاء قليلة من الأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء تصل إلى سطح الأرض، لكن أشعة γ ومعظم الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء لاتصل إلى سطح الأرض. جزء كبير من ضوء تحت الحمراء يمتص ببخار الماء فى الغلاف الجوى. تحت الحمراء الحرارية التي تقابل الأطوال الموجية أعلى من 5 ميكرون هي مقياس مباشر لدرجة الحرارة. ويعتبر بليكسجلاس **Plexlaglins** واحد من أبسط المواد التي توقف مرور الأشعة تحت الحمراء، لذلك نستخدمها لتحقيق ظاهرة الصوبة. والماء ماص قوى للأشعة تحت الحمراء. ضوء تحت الحمراء ينعكس عند سطح أي مرآة جيدة وكلما كان مصدر الإشعاع أسخن كلما كان أكثر إشعاعا للأشعة تحت الحمراء. ونظرا لكونها أشعة حرارية، فالأشعة تحت الحمراء تحمل معلومات عن توزيع درجة حرارة الأجسام المنبعثة منها. وتحت الحمراء تستطيع اختراق الدخان الكثيف والسحب والغبار.

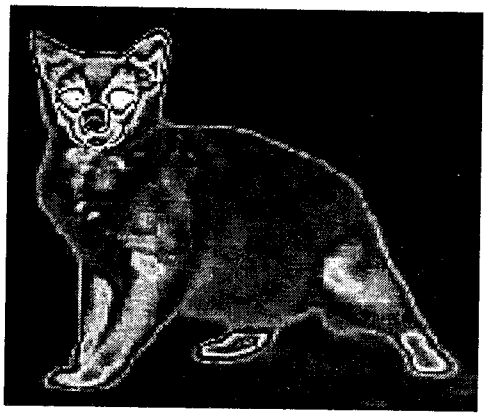
ومن هنا جاءت الفائدة الكبيرة لاستخدام آلية التصوير بالأشعة تحت الحمراء. وقد تم إنقاذ العديد من الأرواح بواسطة آلة التصوير بالأشعة تحت الحمراء الحرارية، فهي تستخدم للبحث عن الناس المفقودين فى الليل أو فى البحر وذلك عن طريق تشتت الحرارة الصادرة من أجسامهم، وأيضا الكشف عن الأشخاص داخل الأبنية المملوءة بالدخان الكثيف وتستخدم تحت الحمراء على نطاق واسع فى علوم الفلك والظواهر الجوية والآثار القديمة وأيضا علم وصف المحيطات. كما تستخدم تحت الحمراء للتفتيش عن الأنظمة الميكانيكية والكهربائية فى الدراسات الحيوانية وفى الطب، وفى الملاحة والنواحي العسكرية، والبحوث الجنائية.

الأشعة تحت الحمراء البعيدة لها خاصية حرارية ونحن نشعرها يوميا فى صورة حرارة. الحرارة التي تشعر بها من الشمس أو النار أو من أي جسم ساخن ما هي إلا أشعة تحت الحمراء. درجة حرارة الأطراف العصبية الحسية فى جلدنا يمكنها كشف الفرق فى درجة حرارة الأجزاء الداخلية من الجسم ودرجة حرارة الجلد الخارجي. تستخدم هذه الأشعة فى بعض الأحيان فى تسخين الطعام. تستخدم مصابيح خاصة تشع موجات تحت الحمراء الحرارية فى مطاعم الأغذية السريعة.

موجات تحت الحمراء الأقصر – تحت الحمراء القريبة ليست ساخنة على الإطلاق، فى الواقع، نحن لا نشعر بها. وتلك الأمواج القصيرة هي التي تستخدم فى وحدات التحكم عن بعد للتلفاز.

الإنسان عند درجة الحرارة الاعتيادية يبعث أشعة تحت الحمراء عند الطول الموجي حوالي 10ميكرون.

لالتقاط صور بالأشعة تحت الحمراء تستخدم آلات تصوير خاصة (كاميرات) وأفلام حساسة للفروق فى درجات الحرارة. هذا يعطى صورة تستطيع العين تفسيرها. فمثلا المساحات ذات اللون البرتقالي كما تظهر فى صورة



شكل (7) صورة قط بالأشعة تحت الحمراء تظهر ألوان مختلفة لعينيه وأظافره والفرو

القط تكون هي الأعظم سخونة أما المساحات ذات اللون الأبيض المائل للزرقة تكون هي الأقل سخونة شكل (7).

كل منا نحن البشر لا يستطيع رؤية الأشعة تحت الحمراء، لكن هل تعلم أن بعض أنواع الثعابين عندها بؤر حسية تستخدمها لتصوير ضوء تحت الحمراء؟. وهذه تساعد الثعابين على كشف الحيوانات ذات الدم الحار حتى فى الظلام.

علاوة على الإنسان والحيوان توجد أشياء كثيرة تشع أشعة تحت الحمراء وهذه تشمل الأرض، الشمس، المجرات والنجوم.

التصوير الفوتوغرافي بالأشعة تحت الحمراء يستهوى المصورين الهواة والمحترفين وأيضا العلماء والتقنيين، فهو وسيلة لالتقاط صور من غير الممكن الحصول عليها عن طريق أفلام التصوير التقليدية.

مصادر الأشعة تحت الحمراء Sources of IR Radiation's

كل العمليات التي تتضمن حرارة عالية (مثل الأفران) تشع الأشعة تحت الحمراء. وتعتبر مصابيح الأشعة تحت الحمراء من أهم المصادر الصناعية لهذه الأشعة. وتستخدم هذه المصابيح فى المعامل لتبخير المذيبات وللتجفيف وتستخدم

فى المستشفيات لتخفيف شد العضلات. الإنسان أيضا يشع أشعة تحت حمراء نظرا لأن درجة حرارة جسده تكون دائما أعلى من درجة حرارة الجو المحيط به.

3.3 مخاطر الأشعة تحت الحمراء Hazards of IR Radiation's

الجلد والعين هما أكثر أعضاء جسم الإنسان تعرضا للأشعة تحت الحمراء. امتصاص عدسة العين للأشعة تحت الحمراء القريبة يساهم فى تطور المياه البيضاء. نافخ الزجاج يكون على وجه الخصوص عرضة إلى تطور المياه البيضاء بسبب تعرض عينيه للأشعة تحت الحمراء من الزجاج لفترات طويلة. امتصاص الماء عند الأطوال الموجية 1430 نانومتر و1959 نانومتر يتسبب فى زيادة امتصاص القرنية عند هذه الأطوال الموجية من منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة. وتمتص القرنية بشدة فى منطقة الأشعة تحت الحمراء البعيدة. بالنسبة للأشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة الجرعة الممتصة تكون ذات قيمة عظمى فى صبغة طلاء الشبكية وهذه طبقة رقيقة خلف الشبكية تحتوى على حبيبات الميلانين. الأنواع المختلفة من آليات التلف تقدر اعتمادا على زمن التعرض.

تلف العين يمكن أن ينتج من التعرض للضوء المرئي وتكون العين أكثر تعرضا للتلف إذا كانت فى حالة مرضية. يعتمد مقدار التلف على سطوع المصدر والفترة الزمنية للتعرض. واللون الأزرق يعرض العين للتلف أكثر من الأطوال الموجية الأخرى.

الأشعة تحت الحمراء ذات الأطوال الموجية أعلى من 2500 نانومتر لا تخترق العين والقرنية تمتصها كلها. أجزاء صغيرة من الأشعة تحت الحمراء بين 1500 نانومتر و 2500 نانومتر تنفذ بنسب حسب الطول الموجي أي أنه عند 2200 (نفاذية 4%) وعند 1700 نانومتر (40% نفاذية). 50% من أشعة تحت الحمراء بأطوال موجية بين 780 و1500نانومتر تصل الشبكية بعد التركيز بالعدسة. الأشعة تحت الحمراء يمكن أن تسبب المياه البيضاء حتى 10 إلى 15 سنة

بعد التعرض. هذا النوع من الكاتاراكت يعرف باسم عتامة نافخ الزجاج. الأشعة تحت الحمراء يمكن أن تحرق الشبكية وتصيب العدسة (عتامة العدسة) والحدقة.

الحرارة الزائدة للأشعة تحت الحمراء يمكن أن تسبب صدمة حرارية خصوصا فى البيئة الرطبة عندما تمنع ملابس الفخذ تبخر العرق. التأثيرات المتأخرة التي تسببها الأشعة تحت الحمراء تشمل التهاب الجلد والشبكية.

الأشعة تحت الحمراء حتى 20 إلى 30 Kj على متر مربع لكل دقيقة لها تأثير مفيد فإنها تحسن النظام الدفاعي للجسم. من 50 إلى 100 Kj على متر مربع لكل دقيقة يكون التأثير عكسيا. الأشعة تحت الحمراء ذات الأطوال الأعلى من 3000 نانومتر تستنفذ (تبدد) فى البشرة (طبقة الجلد الخارجية). طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء له قيمة عظمى تحت هذا الطول الموجي.

بالإضافة إلى الاعتماد على الطول الموجي، امتصاص تحت الحمراء بالجلد يتحدد أيضا بواسطة كمية الصبغة الموجودة وأيضا بكمية الكاروتين والأكسجين فى الدم. الأشعة تحت الحمراء تزيد درجة حرارة الجسم موضعيا. تحت $45^{o}C$ يكون التأثير انعكاسيا وأقصى فيض مسموح هو فى حدود $1300J/m^2$. فوق $50^{o}C$ تبدأ البروتونات تتخثر وفوق $70^{o}C$ تتحطم الأنزيمات. الجلد يتفقفق (يتنقط) بعد تحوله للاحمرار. التعرض الشديد ولفترة طويلة يسبب حروقاً من الدرجة الأولى والثانية للأنسجة تحت الجلد.

الوقاية من الأشعة تحت الحمراء Protection From IR Radiation

من الضروري على وجه الخصوص وقاية العيون من أشعة تحت الحمراء. نوع النظارة المناسبة التي يجب استخدامها يحددها طبيعة وشدة المصدر.

4.3 أشعة تيراهيرتز Terahertz Radiation

أشعة تيراهيرتز، 10^{12} هيرتز أي أن ترددها يساوى 10^{12} دورة فى الثانية

ويطلق عليها فجوة تيراهيرتز- وأيضا أشعة تي - هي أشعة كهرومغناطيسية تقع فى المدى من 10^{12} x 3- 10^{11} هيرتز من الطيف الكهرومغناطيسى، يقع الحد الأول لها فوق منطقة الموجات الميكرونية تماما حيث تعمل أطباق الأقمار الصناعية والتليفونات المحمولة، ويقع الحد الأعلى بجوار ترددات تحت الحمراء التي تستخدم فى بعض الأجهزة مثل أجهزة التحكم عن بعد للتليفزيون، أشعة تي لا ترى بالعين المجردة، ولم ينتبه الباحثون لفجوة تيراهيرتز أو أشعة تي إلا منذ فترة قصيرة جدا وذلك بسبب ضعف شدتها ولعدم وجود وسائل حساسة للكشف عنها. وتتولد أشعة تي من التذبذبات الجزيئية لأي جسم (مالم يكن عند درجة الصفر المطلق) فى أي بيئة. معدل انتشارها يجعلها تعمل مثل هجين من الانبعاثات الراديوية والضوئية، اعتمادا على مكانها - عند النهاية المنخفضة من الطيف يطلق على أشعة تي، الموجات المليمترية ويكون سلوكها مشابها لسلوك موجات الراديو. وعندما تثار عند ترددات أعلى فإنها تتميز بانبعاثات شبه ضوئية، مما يعنى أنها تعمل كاتحاد طاقة موجية (راديو - ضوئية)، موضحة خواصا معينة لكليهما. على سبيل المثال، تشبه موجات الراديو فى كونها تنبعث فى نبضات ويمكنها الانتشار بسهولة خلال معظم المواد الصلبة، وعلى الجانب الآخر يمكن تركيزها أيضا بنفس الطرق المستخدمة لتركيز الضوء.

تشبه أشعة تي الأشعة السينية فى خصائص الاختراق - فهي تمتلك القدرة على اختراق معظم المواد - ماعدا الماء والفلزات. ويمكن تركيزها مثل الضوء لتكوين صورة للجسم الذي تتخلله. وتستخدم لتكوين صور طبيعية فريدة للأنماط التذبذبية والدورانية للجزيئات التي تصطدم بها، لذلك فهي تميز بكفاءة مكونات عدد كبير من المواد المتجانسة ظاهريا عند المرور خلالها. هذه الأشعة المكتشفة حديثا غير مؤينة وتنبعث من الأجسام الحية وغير الحية. موجات تيراهيرتز - على خلاف الضوء - قادرة على الانتشار خلال السحب والدخان وتعطيها هذه الخاصية ميزة فعالة فى قياسات معينة فى الاستشعار عن بعد. من وجهة النظر العملية هي قادرة أيضا على المرور خلال النوافذ والورق والملابس

وحتى فى بعض الظروف الحوائط.

أهم مميزاتها التي جعلتها تستخدم فى المجالات الطبية هي:

1- ذات طاقة فوتونية منخفضة (4 mev) عند واحد تيراهيرتز، هذه الطاقة المنخفضة لا تسبب تأينًا فوتونيًا ضارًا للأنسجة البيولوجية.

2- عند ترددات تيراهيرتز، يظهر العديد من الجزيئات العضوية امتصاصا قويا نتيجة الانتقالات التذبذبية والدورانية. هذه الانتقالات هي صفة خاصة بالجزيئات وتعتبر بصمة مميزة لها.

ترجع أهمية أشعة تى عامة للأسباب التالية:

1 – تخترق كثير من المواد بما فى ذلك الخلايا الحية دون حدوث أي تلف بها.

2 – فى نفس الوقت تعطى طيفا عالى الحساسية لمكونات المواد.

3- التطبيقات الممكنة لأشعة تى تمتد من البحوث الأساسية مثل دراسة خواص الوصلات فائقة التوصيل إلى التصوير الطبي حتى الأمن. وتستخدم أشعة تى لتصوير سرطان الجلد.

5.3 التصوير بأشعة تى (موجات تيراهرتز)

Imaging with Terahertz Waves

توصل علماء معامل بل Bell Labs إلى اختراع نظام تصوير سريع ومتطور يستخدم البصريات والإلكترونيات لرؤية مكونات الأشياء – تماما مثل أشعة إكس – تخترق المواد لتوضيح العناصر الأكثر كثافة فى الداخل. وهذه الأشعة يمكن أن تبين – على سبيل المثال – كم الدهن فى شريحة من لحم الخنزير، كم الماء فى ورقة شجر – وتبين أيضا ما تحتويه الطرود، هل هي فاكهة كالموز أم أنها قنابل دون مسها، هذه التقنية تستخدم نبضات أشعة تى

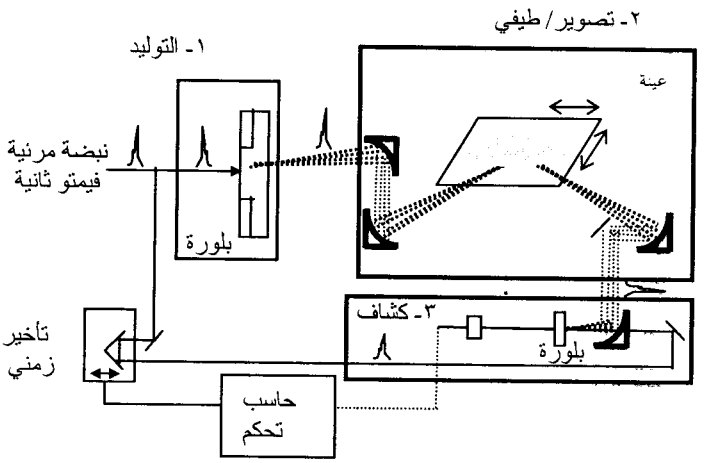
الكهرومغناطيسية (تيراهرتز Terahertz THz تريليون دورة فى الثانية) للتفريق بين المواد المختلفة والمكونات الكيميائية أو البيئية. كما أن هذه التقنية لها العديد من التطبيقات المهمة فى تصوير الأنسجة الحيوية وتحليل التفاعل الكيميائي والتحكم البيئي والملوثات – معاينة أو مراقبة المواد ومراقبة الطرود – كشف التصدع وكشف العيوب فى أشباه الموصلات.

مرر العلماء أشعة تى خلال أشياء متنوعة بواسطة نظام تصوير يتكون من عدسات ومرايا لتركيب الإشارات وتحليل التغيرات التي تطرأ على أشعة تى نتيجة مرورها خلال هذه الأشياء. ميز الباحثون المواد بقياس كمية التشوه الناتج عن امتصاص أو تفريق وانعكاس أشعة تى المارة خلال الكاشف. تلك الأشعة التي تذهب إلى أجزاء شريحة من لحم الخنزير خالية من الدهن، سوف تشوه – على سبيل المثال – إلى أطوال موجية تختلف عن تشوه الأطوال الموجية التى تمر خلال الأجزاء الدهنية.

نظام التصوير مزود بوحدة وظيفتها معالجة الإشارة الرقمية لمعالجة البيانات وتحويلها إلى صور تظهر على شاشة الكمبيوتر. تظهر صورة شريحة لحم الخنزير مستويات مختلفة من نفاذية أشعة تى للمساحات الدهنية وغير الدهنية. (اللحم الخالص بدون دهن)، ولأن الدهون فى الغالب لا تمتص أشعة تى فهي تظهر بيضاء بينما اللحوم تمتص أشعة تى أكثر منها بمقدار 25 مرة لذا فهي تظهر معتمة.

بعدئذ يبرمج معالج الإشارة الرقمية للتعرف على الأشكال المميزة للموجات النافذة وتحديد مادة معينة عند بقعة مضاءة بحزمة أشعة تى . ويتم الحصول على هذه المعلومة لكل نقطة على كل جسم.

عديد من المركبات غيرت أشعة تى بطرق مميزة نتيجة الامتصاص أو الانعكاس. الجزيئات والمركبات الكيمائية وخصوصا فى الحالة الغازية تظهر خطوط امتصاص قوية تعتبر بمثابة بصمة للجزيئات. الفلزات والمواد عالية الموصلية الكهربائية معتمة تماما لأشعة تيراهرتز.



شكل (8) يبين مكونات جهاز التصوير بأشعة تى.

تقنية تصوير أشعة تى تستحق الاهتمام لأنها يمكن أن تفرق بين المكونات الكيميائية المختلفة داخل المادة حتى عندما يكون الجسم متجانسا فى الضوء المرئي. وأيضا معظم اللدائن تنفذ أشعة تى لذا يمكن رؤية الأشياء داخل الطرود البلاستيكية.

شكل (8) يوضح مكونات جهاز التصوير بأشعة تى. تتولد نبضات تيراهيرتز بواسطة إضاءة بلورة شبه موصلة (تصمم خصيصا) بواسطة نبضات فائقة السرعة من الضوء المرئي. هذا التصادم يولد نبضات تيراهيرتز ذات سرعة كبيرة جدا – تستغرق فقط فى حدود 100 فيمتوثانية (واحد فيمتوثانية = 10^{-15} x 1 ثانية) وعرض نطاقها كبير جدا (أكبر من 10 THz). عند استخدامه لتصوير البنية الداخلية يعمل نظام TPI تماما مثل نظام الرادار بالرغم أن TPI يمكن أن يستخدم النبضات النافذة وأيضا النبضات المنعكسة. تضيء نبضة التيراهيرتز الهدف، وتنعكس أجزاء من هذه النبضة من الطبقات الداخلية. تأخير أو تعوق النبضة عند مرورها خلال الجسم يعطى قياسا دقيقا للمسافة إلى الأسطح المختلفة داخل الجسم.

هكذا بمسح الحزمة عبر الهدف يمكن بناء صورة كاملة ثلاثية الأبعاد

للتركيب الداخلي. يتم الكشف المترابط لنبضات تيراهيرتز هذه بإضاءة بلورة ثانية بالحزمة المرئية. يقاس المجال الكهربائي لمجال التيراهيرتز كدالة للزمن بقوة تحليل فيمتوثانية للحصول على معلومات عن العمق. بعدئذ يمكن تحويل هذا الشكل الموجي رياضيا للحصول على طيف امتصاص العينة **TPI**. هذا يعنى أن **TPI** عبارة عن طريقة تصوير طيفية يمكن استخدامها لتعيين المكونات الكيميائية وأيضا الملامح التركيبية للمواد. نظرا لأن أنواع عديدة من المواد الشائعة مثل الأنسجة الحية واللدائن، الملابس وأشباه الموصلات شبه منفذة عند هذه الترددات، فإن نبضات التيراهيرتز تكون ذات أهمية كبيرة فى تطبيقات التشخيص والاكتشاف. **TPI** ليست مؤينة وهى أقل خطورة فى استخدامها عن أشعة **X** ، مستويات القدرة المستخدمة تكون عادة أقل فى المتوسط عن خلفية تيراهيرتز التي نتعرض لها فى حياتنا اليومية.

6.3 مطيافية تيراهيرتز (TPS)

مطيافية تيراهيرتز النبضية يمكن استخدامها أيضا للحصول على طيف الجسم أو المادة لإعطاء معلومات عن المكونات الكيميائية والفيزيائية وأيضا التركيبية للمواد. وهذا يتم بسهولة بطريقة تحويل فورير الرياضية. ويستخدم ضوء التيراهيرتز فى المجالات التالية:

1- التصوير والتشخيص الطبي

2- فى تطبيقات العلوم الصيدلية

3- الأمن

4- الاختبارات غير الهدمية

فى السنوات الأخيرة استخدم العلماء ليزرات الفيمتوثانية وأشباه الموصلات أوالبللورات اللا خطية لتوليد نبضات بيكوثانية مترابطة لأشعة تى عند قدرة

حوالي واحد من عشرة من الألف من الواط. واستطاع الباحثون تدعيم حزم أشعة تى المترابطة عند متوسط قدرة 20 واط بعرض نطاق من ترددات تحت الحمراء البعيدة.

أمكن توليد حزم أشعة تى عالية القدرة فى معامل بيركيلي، فى هذه التجربة استخدم الباحثون معجل خطى لإنتاج حزم أشعة بتردد تيراهيرتز **Tera Hertz Frequency Radiation** بقدرة عالية جدا. كما سبق وذكرنا، تمكن الباحثون من تصميم حلقة تيراهيرتز من أجل الحصول على مصدر ضوئي متطور **(ALS)**.

7.3 حلقة سينكروترون لتوليد أشعة تى
Synchrotron Ring to Generate T-Rays

استخدم الباحثون فى معامل جيفرسون **Jefferson Lab** نوعًا من المعجلات لإنتاج أشعة تى. فى هذه التجربة عجلت حزم صغيرة جدا من الإلكترونات – طول فترة النبضة حوالي 500 فيمتو ثانية – إلى طاقات حوالي 40 مليون إلكترون فولت.تمرر نبضات الفيمتو ثانية هذه ذات الطاقة 40 مليون إلكترون فولت بعدئذ خلال مجال مغناطيسي قوى لمغناطيس منحنى نصف قطره متر واحد. وهذا الإجراء يجعل الإلكترونات تنحرف عن مسارها، ويجعل الإلكترونات تعطى طاقة فى شكل أشعة تى عالية القدرة.

يتكون سينكروترون بيركلي **Berkeley** من ثلاثة أجزاء رئيسية :

1- معجل خطى **Linac** يرفع طاقة الإلكترونات إلى **50Mev**.

2- حلقة سينكروترون ذات محرك كهربائي إضافي ، **Booster Synchrotron Ring** لرفع طاقة هذه الإلكترونات إلى تقريبا **2** بليون إلكترون فولت .

3- حلقة تخزين **Storage Ring** محيطها حوالي 200 مترا (600قدم) لتدوير الإلكترونات فى حزمة سمكها لا يزيد عن سمك شعرة الإنسان.

عند مصدر أشعة السينكروترون، تبعث الإلكترونات أشعة عند توجيهها بالمغناطيسات حول حلقة التخزين، ويبعث السينكروترون أشعة إكس قوية والتي لها عديد من الاستعمالات فى البحوث العلمية. ولكنها تبعث أيضا أشعة تى ضعيفة. ضعف أشعة تى يرجع إلى أن الإلكترونات التي تتسابق حول حلقة التخزين تسير فى حزم منفصلة طولها حوالي 5 ملليمترات. ونظرا لأن طول موجة أشعة التيراهيرتز يكون أقل من واحد ملليمتر فإن مليون إلكترون أو ما يقارب ذلك فى كل حزمة تبعث أشعة خارج الطور **Out-of Phase** والموجات تلاشى بعضها البعض فى الخارج، وتكون قدرة أشعة تى منخفضة.

فى دراسة حديثة أثبت فريق من الباحثين أنه بواسطة ضبط شدة بعض المغناطيسات فى حلقة التخزين يمكن تقليل طول الحزمة إلى حوالي واحد ملليمتر. عندئذ تعمل الحزمة كجسيم واحد عملاق **Giant Macro Particle** ويبعث أشعة تى مترابطة، وهى حزمة من أشعة تحت الحمراء البعيدة تشبه حزمة الليزر.

8.3 السينكروترون كمصدر للأشعة تحت الحمراء الوسطى
Synchrotron as an Ideal Source of Mid IR

ضوء تحت الحمراء فى المنطقة الوسطى مفيد بدرجة عظيمة للدراسات البيولوجية لأنه يقدم مسحًا شاملاً ومباشرًا لكل الأنماط التذبذبية للروابط الكيميائية التي تربط الذرات معا. فى حين أن المصادر القوية للأشعة تحت الحمراء فى المنطقة الوسطى تحسن قوة التحليل إلا أنها تنتج كميات كبيرة من الحرارة والتي تقتل الخلايا الحية. قد بين الباحثون أن الأشعة تحت الحمراء الوسطى الصادرة من السينكروترون لا تنتج تسخينًا زائدًا للعينات البيولوجية، وقد فتح ذلك بابًا لاستخدام السينكروترون كمصدر للأشعة تحت الحمراء الوسطى فى المطيافية ، مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورير.