الفصل الأول

اكتشاف الأشعة السينية
THE DISCOVERY OF X-RAYS

إن استخدام الأشعة السينية منتشر في مجتمع اليوم إلى حد أنه من الصعب أن نتصور كيف يمكن لكثير من الصناعات، وبشكل خاص للمهن الطبية، أن تعمل دون استخدامها اليومي. وفي الحقيقة فقد كان لمعظم الناس بعض الاحتكاك مع الأشعة السينية في حياتهم وهم يدركون أهميتها. وعلى سبيل المثال، فإن الأطباء والمهندسين الهيكليين وعلماء الأبحاث وحتى موظفي الخطوط الجوية جميعهم يستخدمون الأشعة السينية بشكل روتيني في مهنهم. لا يكاد أحد يجادل في أن اكتشاف الأشعة السينية كان واحداً من أهم الاكتشافات في عصرنا، ولقد استفادت البشرية بالتأكيد من استخدامها.

ولأن استخدام الأشعة السينية منتشر على نطاق واسع، فإن من الصعب أن نتصور أنها اكتُشفت قبل قرن واحد فقط من الزمان. لقد كان أجداد بعض قراء هذا الكتاب يشبّون في الوقت الذي ظهرت فيه الأشعة السينية لأول مرة، وبالرغم من أنه كان هناك العديد من أوجه التقدم الذي تم إحرازه في تصميم أجهزة التصوير الشعاعي منذ ذلك الوقت، إلا أن معظم الأجهزة المستخدمة اليوم في غرفة التصوير الشعاعي العام تشبه بشكل وثيق جداً تلك الوحدات الأولى. يستطيع مهندس الخدمة الحصول على فهم أفضل بكثير لنظرية الأشعة السينية العامة فقط بتعلمه كيف تم اكتشاف الأشعة السينية أول مرة ومن ثم بتتبع تطور أنبوب الأشعة السينية ونظام التصوير الشعاعي.

وكما هو الحال مع العديد من الاكتشافات الهامة الأخرى، فقد حدث اكتشاف الأشعة السينية بالصدفة بينما كان العلماء يجرون التجارب على أنابيب الزجاج المفرَّغة من الهواء. لقد كانت الأنابيب المفرَّغة المستخدمة مصنوعة من زجاج رقيق الجدار وتحتوي على إلكترودين (قطبين) معدنيين. لقد كان يتم تفريغها جزئياً بواسطة مضخة زئبق ومن ثم ملؤها بغاز معين، وعندما كان يتم تطبيق انفراغ جهد عالٍ من ملف (وشيعة) تحريض على الأنبوب المفرَّغ، كان يتم إنتاج تيارات ضوء جميلة اللون بين إلكترودَي الأنبوب. لقد كانت هذه التيارات الضوئية في الغالب مصدراً للانبهار والفضول للعلماء في ذلك الوقت.

بدأ العلماء بعد تجارب أخرى بتصاميم محسَّنة للأنابيب المفرغة يعرفون المزيد عن تيارات الضوء، وقد قرروا أن تيار الضوء ينشأ عند الإلكترود السالب (المهبط (cathode)) داخل الأنبوب ويسري إلى الإلكترود الموجب

(المصعد (anode)). إضافة إلى ذلك، كانت التيارات تتغير في اللون والخاصية مع زيادة مستوى تفريغ الأنبوب إلى أن تصبح في النهاية غير مرئية.

سمّى William Crookes (وِلِيَم كروكس) في عام ١٨٧٨م هذه "الأشعة" **أشعة مهبطية**، وهو كان أول من راقب خصائصها الاتجاهية بينما كان يجري تجاربه على الأنابيب المفرغة[٣]. لاحظ Crookes خلال تجاربه التي أجراها في الظلام أن الأشعة المهبطية تظهر خارج الأنبوب الزجاجي كتوهج أزرق. عدّل Crookes في وقت لاحق الأنابيب الزجاجية عن طريق وضع نافذة من الألمنيوم في الأنبوب بحيث يمكن للأشعة المهبطية أن تعبر بسهولة أكثر. سُميت هذه الأنابيب المعدَّلة فيما بعد **أنابيب كروكس *(Crookes Tubes)*** وكانت تستخدم بشكل شائع للتجارب.

كانت الأشعة المهبطية تمر بسهولة من خلال نافذة الألومنيوم في الأنبوب وتنتج آثاراً تألقية على مواد فوسفورية، كما كانت أيضاً تؤثر على لوحات الصور الفوتوغرافية، إلا أن هذه الأشعة كانت ذات طاقة منخفضة للغاية وبالتالي كان يتم امتصاصها في سنتيمترات قليلة فقط من الهواء، ولسوء الحظ لم يعرف Crookes في حينها أن ما كان يشاهده لم يكن إلا أشعة سينية منخفضة الطاقة.

وبعد سبعة عشر عاماً كان العلماء لا يزالون يجرون التجارب على أنابيب كروكس (Crookes Tubes)، أوضح Philip Lenard أن الأشعة المهبطية تتبعثر في كل الاتجاهات عند النقطة التي تخرج منها من نافذة الألومنيوم، كما قام Lenard بعمل صور ظل يُطلق عليها اسم "صور سياغرافية" ("sciagraphs") على لوحات صور فوتوغرافية. وبعد العديد من التجارب خلص Lenard إلى أن هناك مكوّناً آخر مجهولاً للأشعة المهبطية.

كان الشخص الذي يرجع إليه الفضل في اكتشاف "الأشعة السينية" عالم فيزياء ألماني اسمه "فيلهلم كونراد رونتجن" (Wilhelm Conrad Roentgen)، ولد رونتجن في مدينة Lennep في ألمانيا في عام ١٨٤٥م، وفي سن الرابعة والعشرين كان قد نشر العديد من الأوراق العلمية حول خصائص الغازات، نشر رونتجن خلال مسيرته المهنية كأستاذ وباحث أكثر من أربعين ورقة عن ظواهر علمية، وكان يحظى باحترام كبير من قبل زملائه العلماء.

إلا أن رونتجن لم يبدأ تجاربه على الأنابيب المفرغة حتى حزيران (يونيو) من عام ١٨٩٤م عندما كان في التاسعة والأربعين من عمره. بدأ رونتجن تجاربه الخاصة على أنابيب كروكس وقدَّم ملاحظات هامة عديدة. لاحظ رونتجن أنه كان يحصل على نتائج أفضل عندما كان يتم تفريغ الأنابيب بشكل مرتفع، وغالباً ما كان يقضي أياماً وهو يقوم بتفريغ أنبوب لتجاربه، وقد شعر أيضاً أنه إذا ما طُبِّق تيار أكبر على الأنابيب فإن إنتاج الأشعة من المهبط كان يزداد. وبالمناسبة فقد أفسد رونتجن العديد من الأنابيب خلال تجاربه، ولذلك بدأ باستخدام أنابيب ذات جدران أسمك.

---

(٣) تستخدم ظاهرة الأشعة المهبطية اليوم بشكل شائع في شاشات (مونيتورات) الفيديو التي تستخدم الـ CRT (اختصار لعبارة أنبوب أشعة مهبطية).

لاحظ رونتجن عندما كان يجري تجاربه على الأنابيب المعدَّلة في خريف عام ١٨٩٤م توهجاً خافتاً في الغرفة كان يتزامن تماماً مع تفريغ شحنة أنبوب كروكس، ولكي يكون على يقين من أن الضوء لم يكن قادماً من الأنبوب أو من ملف (وشيعة) التحريض، فقد قام بتغطية أنبوب كروكس بالكامل بورق مقوى بحيث لا يستطيع أي ضوء أن يتسرب، كما أنه غطى ملف (وشيعة) التحريض أيضاً بالكامل للقضاء على أي ضوء ناجم عن الأقواس الكهربائية داخل الجهاز. ولدهشته، فقد بقي التوهج يظهر في الغرفة المظلمة.

تبيَّن أن مصدر التوهج هو شاشة مصنوعة من مادة تصوير فوتوغرافي (بلاتينوسيانيد الباريوم (barium platinocyanide)) كانت تقع على بعد عدة أقدام من الأنبوب. كان هناك بالتالي طاقة غير مرئية وغير معروفة قبل ذلك الوقت تنبعث من الأنبوب المفرَّغ وتنتقل عبر الغرفة مهيِّجة شاشة التصوير الفوتوغرافي. لقد كانت هذه ملاحظة بالغة الأهمية نظراً لأنه لم يكن معروفاً من قبل أن الأشعة المهبطية تنتقل لأكثر من بضع بوصات (إنشات) بعيداً عن الأنبوب!

أجرى رونتجن تجارب على "النوع الجديد من الأشعة" لمدة عام تقريباً قبل أن ينشر نتائجه. قدَّم رونتجن في الثامن من تشرين الثاني (نوفمبر) من عام ١٨٩٥م، وكان عمره حينها خمسين عاماً، ورقته بعنوان "الاتصال الأول" ("The First Communication") معلناً اكتشافه[٤]. سمّى رونتجن الأشعة الغامضة بـ "الأشعة السينية" -"x" ("x-rays") مستخدماً الحرف "س" ("x") (مستعيراً رمز الرياضيات) ليمثِّل الطاقة "غير المعروفة". ضمَّن رونتجن جنباً إلى جنب مع ورقته صوراً عديدة رائعة حصل عليها باستخدام الأشعة السينية، تضمنت صور الأشعة السينية هذه بوصلة معدنية وصندوقاً يحتوي على أوزان علمية وبندقية مزدوجة الماسورة وأنواعاً مختلفة من المعادن.

إلا أن الصورة التي لفتت انتباه وسائل الإعلام والجمهور على الفور من بين جميع الصور الفوتوغرافية التي نُشرت كانت صورة الأشعة السينية ليد زوجته بيرتا رونتجن (Bertha Roentgen). لقد كان مكتوباً لهذه الصورة الشهيرة التي أظهرت جميع العظام في يدها بما في ذلك خاتمين في إصبعها أن تغير مسار الطب إلى الأبد.

وفي الواقع فقد أثبتت أشعة رونتجن السينية أنها الاكتشاف الأسرع انتشاراً في كل العصور، ففي غضون أشهر من الاكتشاف كانت الأشعة السينية تُستخدم بشكل شائع من قبل الأطباء لتشخيص كسور العظام و لتحديد مكان الرصاصات في الجروح الناتجة من الطلقات النارية، لقد استُخدمت الأشعة السينية بنجاح إلى حد أن كثيراً من العلماء المبالغين في حماستهم توقعوا أن استخدام الأشعة السينية سيقضي على الحاجة إلى تشريح الأحياء تماماً. ظهرت في أيار (مايو) عام ١٨٩٦م أولى المجلات المكرَّسة بالكامل لصور الأشعة السينية في الولايات المتحدة. وبحلول كانون الثاني (يناير) من عام ١٨٩٧م كان لدى العديد من المستشفيات أقسام للأشعة السينية.

---

(٤) لقد تمت كتابة هذا الكتاب في الثامن من تشرين الثاني (نوفمبر) عام ١٩٩٥م متوافقاً مع الذكرى المئوية لهذا الاكتشاف العظيم.

جرى في ألمانيا تصنيع أول آلات الأشعة السينية في شباط (فبراير) من عام ١٨٩٦م، تطلبت هذه الآلات الأولى أزمنة تعرض طويلة (أي من ٤- ٢٠ دقيقة حسب المنطقة التي يتم تشعيعها)، وبالتالي كان هناك حاجة ماسة جداً لتحسينها. لقد اكتُشف بعد ذلك أنه إذا ما وُضعت شاشة فلوريسانتية على جانبي الفيلم فإن زمن التعريض سينخفض بشكل كبير. أدت هذه النتيجة إلى الاستخدام المنتشر اليوم لشاشات التكثيف (intensifying screens) في كاسيتات الأفلام.

ونظراً للطلب الكبير على أجهزة الأشعة السينية، فقد بدأت الشركات المصنِّعة في جميع أنحاء العالم بإنتاجها. لم يتقدم رونتجن أبداً بطلب للحصول على براءة اختراع لجهاز الأشعة السينية خاصته؛ لأنه شعر أن اكتشافه كان للمصلحة العامة وليس من أجل ربحه الخاص. ونتيجة لذلك فقد كان يمكن شراء غرفة أشعة سينية كاملة بأقل من مئة وخمسين دولاراً. وكان يمكن شراء جهاز أشعة سينية محمول كاملاً مع الملف (الوشيعة) والمكثف ومجموعتين من الأنابيب وبطارية وحقيبة حمل جميلة بسعر يقارب خمسة عشر دولاراً. وكان يمكن شراء أنابيب أشعة سينية بأقل من أربعة دولارات للقطعة.

لقد كان انبهار الجمهور بالأشعة السينية وآثارها هائلاً. لقد أراد الجميع أن يروا بأنفسهم الآثار التي تنتجها الأشعة السينية ويشاهدوا عظامهم. وفي المعرض الكهربائي في نيويورك في أيار (مايو) من عام ١٨٩٦م عرض توماس إديسون للعالم المنظار التألقي الأول. يمكن بواسطة المنظار التألقي رؤية البنية الداخلية للجسم مباشرة على شاشة فلوريسانتية في الوقت الحقيقي، مما يقضي على الانتظار المعتاد ذي الصلة بتحميض لوحات الصور الفوتوغرافية. يضع الشخص ببساطة يده (أو جسمه!) مباشرة في حزمة الأشعة السينية ويرى المُشاهد حركة حية. لقد ساهمت الشعبية الهائلة للمنظار التألقي في استخدام الجمهور للأشعة السينية على نطاق واسع.

لم يوافق رونتجن على هذا الاستخدام السطحي لاختراعه؛ لأنه عرف أن آثار إشعاع الأشعة السينية لم يتم فحصها بالكامل. لقد كان في الواقع يحمي نفسه بحاجز رصاصي من التعرض المباشر للأشعة كإجراء احترازي كلما كان يعمل مع الأشعة السينية. وأكيدة بما فيه الكفاية، فقد بدأت أنباء بعد وقت قصير من اكتشافه تطفو على السطح عن إصابات ذات صلة بإشعاع الأشعة السينية. كان من بين الإصابات المبلَّغ عنها: حروق وفقدان شعر وتورُّم الأنسجة المشعَّة (المتعرضة للأشعة). حدثت معظم الإصابات للأطباء وعارضي أجهزة الأشعة السينية.

كان Clarence Madison Dally نافخ زجاج ومساعد Edison لوقت طويل يعرض المنظار التألقي بانتظام للجمهور، وقد توفي في وقت لاحق من حروق ناتجة عن التعرُّض المستمر للأشعة السينية، ليصبح موته أول حادثة مميتة نتيجة التعرُّض للإشعاع. نُسبت حتى تشرين الأول (أكتوبر) عام ١٩٥٩م ٣٥٩ حالة وفاة إلى التعرض الزائد للإشعاع.

لقد كان العلماء الأوائل الذين فحصوا الأشعة السينية مدركين لتأثر الأنسجة أو تغيرها بالإشعاع، وحذروا الجمهور من الأخطار المحتملة على الأنسجة. لقد كانت هذه الخاصية الثانوية للإشعاع التي يمكن أن تدمر الأنسجة هي ما قاد العلماء في نهاية المطاف لاستكشاف مجال **العلاج الإشعاعي**.

كان استخدام أجهزة الأشعة السينية شائعاً في زمن الحرب، لقد خفّض استخدامها عدد الوفيات الناجمة عن إصابات المعارك بشكل كبير. إضافة إلى ذلك، فقد تم عمل العديد من التحسينات في تقنيات الأشعة السينية نتيجة للنتائج العسكرية. لاحظ الجراحون أنه كلما كان أنبوب الأشعة السينية أقرب إلى المريض كلما كان الاحتمال أكبر أن يعاني المريض من حروق إشعاعية. وبسبب هذه النتيجة فقد تم تثبيت مسافة معيارية لا تقل عن ١٠ بوصات (إنشات) كفاصل (بين أنبوب الأشعة السينية والمريض). كما تم أيضاً تثبيت حد أقصى لزمن التعريض قدره ٣٠ دقيقة لجميع المرضى.

تم عمل تغييرات جوهرية كثيرة في تصميم أنبوب الأشعة السينية بشكل متتابع. صمم رونتجن أنبوب الأشعة السينية الأول ذا المحرق في شباط (فبراير) من عام ١٨٩٦م. وجد Thomas Edison أنه يمكن إنتاج أشعة سينية ذات اختراق أفضل عندما يتم تبريد أنبوب الأشعة السينية بغمره في الزيت، كما أنه يمكن أيضاً استخدام جهود كهربائية أعلى عندما تكون الأنابيب مغمورة في الزيت. وقد ساعد الكثير من اختراعات العالم Nikola Tesla بما فيها ملفاته (وشائعه) التحريضية ذات الجهد العالي في إنتاج أشعة سينية ذات جودة أفضل.

بدأت أنابيب الأشعة السينية بحلول أوائل العقد الأول من القرن العشرين تشبه أنابيب يومنا هذا. طوّر W. D. Coolidge من شركة General Electric في عام ١٩١٣م أنبوب المهبط الساخن (hot cathode tube) (الأنبوب الأيوني الحراري (thermionic tube)) للسماح بالتحكم في مقدار تيار الأنبوب (أو الميلي أمبير (mA)). استخدم Coolidge أيضاً التنغستن في بناء الهدف من أجل توفير قدر أكبر من الاستقرار للأنبوب. اخترع Ludwig Zehnder الذي كان مساعد رونتجن لسنوات عديدة أنبوب أشعة سينية محمي بمعدن لحماية الأطباء والفنيين من الإشعاع التبعثري (stray radiation). قامت شركة فيليبس في هولندا في نهاية المطاف بتحسين هذا التصميم وطوّرت ما سُمِّي بالـ "Metalix-Tube" الذي يستخدم بيتاً معدنياً لتطويق الأنبوب الزجاجي المفرَّغ.

استلم رونتجن في العاشر من شهر كانون الأول (ديسمبر) عام ١٩٠١م جائزة نوبل في الفيزياء لعمله على إشعاع الأشعة السينية، وقضى بقية حياته في استكشاف الخصائص الفيزيائية للمادة وواصل تجارب علمية على البلورات (الكريستالات) حتى بعد تقاعده في تشرين الأول (أكتوبر) من عام ١٩١٩م في سن الخامسة والسبعين، توفي رونتجن في العاشر من شباط (فبراير) عام ١٩٢٣م.

اعتبرت الفترة من حوالي ١٩١٠- ١٩٥٠م "العصر الذهبي للأشعة"، تطوّرت خلال هذه الفترة أنابيب الأشعة السينية وغيرها من أدوات الأشعة السينية في التصميم إلى وضعها الحالي، تضمنت التطورات الرئيسية:

(١) الأنبوب المهبطي الساخن (١٩١٣م) للتحكم في تيار الأنبوب.

(٢) وحدة الأشعة السينية المحمولة الأولى المضادة للصدمات (١٩١٩م) التي استخدمت كابلات الجهد العالي الأولى المضادة للصدمات.

(٣) البوكي (bucky) المهتز (١٩٢٣م) الذي قلّص إلى حد كبير الإشعاع المتبعثر.

(٤) مفتاح الجهد العالي المقوِّم (١٩١٠م) التي طبق كلا النصفين (السالب والموجب) من جهد التغذية المتناوب على أنبوب الأشعة السينية مما ضاعف فعالية ناتج الإشعاع.

(٥) الأنبوب ذو المصعد الدوار المغمور بالزيت (١٩٣٩م) الذي زاد بشكل كبير من ناتج أنبوب الأشعة السينية.

(٦) الطاولة القابلة للإمالة (١٩٤٣م) التي سمحت لطبيب الأشعة بالحصول على تلك المشاهدات التشريحية المختلفة اللازمة للتشخيص السليم.

(٧) شاشات التكثيف (١٩١٢م) التي خفضت مدة التعريض المطلوبة بشكل كبير مما أدى إلى حياة أطول لأنبوب الأشعة السينية وجرعة أقل للمريض.

(٨) نسخ الفيلم (duplicating film) (١٩١٤م) الذي قلّص إلى حد كبير أيضاً مرات التعريض.

إن معظم البنود المذكورة أعلاه مستخدَمة في غرف التصوير الشعاعي اليوم دون تغيير كبير في التصميم الأصلي.

لقد كانت غرفة التصوير الشعاعي العام موجودة منذُ مَا يقرب من مئة سنة خلت وستستمر في كونها النمط المهيمن للتصوير التشخيصي في المستقبل. وعلى الرغم من أن التطورات في أنماط التصوير الطبي الأخرى(أي التصوير المقطعي المحوسب (CT) أو الرنين المغناطيسي (المرنان) (MRI)) قد وفرت للأطباء طرائق بديلة لمشاهدة البنى الداخلية للجسم الإنساني، إلا أن دراسات التصوير الشعاعي العام ستبقى الأداة التشخيصية الأولى!

openkanal.com

الفصل الثاني

أساسيات إنتاج الأشعة السينية
THE FUNDAMENTALS OF X-RAYS PRODUCTION

يفترض المؤلف لدى كتابة هذا الكتاب أن مهندس الخدمة العامل في المجال لديه بعض المعرفة بنظرية الأشعة السينية. إن الهدف هنا هو إعطاء لمحة موجزة عن إنتاج الأشعة السينية لضمان وجود نقطة ابتداء مشتركة قبل مناقشة خدمة أجهزة الأشعة السينية. وإذا ما أريد مناقشة أكثر تفصيلاً لنظرية الأشعة السينية، فهناك كتب متوفرة تتناول الموضوع على وجه التحديد (انظر المراجع).

إذا ما تم في أنبوب مفرَّغ تسريع إلكترونات بقوة ما ومن ثم جعلها تصطدم بجسم ثابت فإنه سيتم تحرير طاقة، إن الطاقة المتحررة هي نتيجة للتباطؤ المفاجئ للإلكترونات الناتج عن الاصطدام مع الجسم. وإذا كانت القوة المطبقة على الأنبوب كبيرة بما يكفي لتسريع الإلكترونات إلى سرعة عالية بشكل كافٍ، وإذا كان الجسم مصنوعاً من مادة مناسبة، فإن الطاقة المتحررة ستكون في معظمها على شكل طاقة حرارية ولكن مع كمية صغيرة جداً من إشعاع كهرومغناطيسي عالي التردد. إن تردد هذا الإشعاع أعلى بكثير من تردد الضوء المرئي (10^{18} هرتز) ويسمى إشعاع الأشعة السينية (الشكل رقم ١).

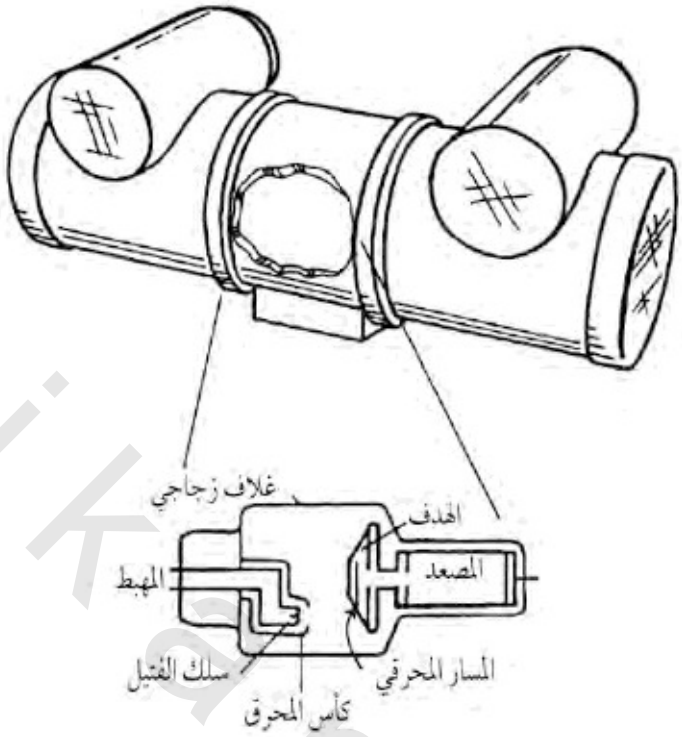
هنا واحد من المفاهيم الأكثر أهمية في إنتاج الأشعة السينية، وهي حقيقة ينبغي أن تكون محفورة في ذاكرة مهندس الخدمة دائماً. وعلى وجه التحديد، وخلال إنتاج الأشعة السينية، **فإن ٩٩٪ من الطاقة المتحررة تُعطى كحرارة و ١٪ على شكل إشعاع مفيد.** تساعد هذه الحقيقة في تفسير لماذا تتعطل أنابيب الأشعة السينية، وسوف يتم مناقشتها بالتفصيل لاحقاً في فصل تحديد الأعطال في هذا الكتاب.

يتم إنتاج الأشعة السينية في أنبوب مفرَّغ أيوني حراري يُسمى أنبوب الأشعة السينية. تتكون أنابيب الأشعة السينية الأيونية الحرارية (therrnionic) من إلكترود (قطب) سالب (أو مهبط) و إلكترود (قطب) موجب (أو مصعد) موجودين داخل غلاف زجاجي (الشكل رقم ٢). الغلاف الزجاجي محاط بزيت عازل ومحاط بالكامل بغلاف خارجي (بيت) معدني مبطَّن بالرصاص يحتوي على منفذ أو نافذة.

الشكل رقم (١). الطيف الكهرومغناطيسي.

يمكن في الشكل رقم (٢) رؤية أن المهبط يتكون من سلك رفيع يسمى **الفتيل *(filament)***. يشبه هذا الفتيل فتيل مصباح الضوء إلا أنه محاط **بكأس تركيز *(focusing cup)*** يقوم بتركيز حزمة الإلكترونات أو تجميعها في بؤرة. يحرر الفتيل عند تسخينه إلكترونات حرة تصطدم في نهاية المطاف بالمصعد. يشار إلى تحرير الإلكترونات من خلال استخدام الحرارة على النحو المبين أعلاه على أنه **انبعاث أيوني حراري**. إن مقدار تسخين الفتيل هو ما يحدد عدد الإلكترونات التي سيتم تحريرها ، وبالتالي مقدار تيار أنبوب الأشعة السينية (أو الميلي أمبير (mA)). يشار إلى التحكم في تسخين الفتيل على أنه **التحكم بالفتيل *(filament control)***.

obeikandi.com



الشكل رقم (٢). أنبوب الأشعة السينية. الغلاف الزجاجي للأنبوب محاط بالكامل بزيت عازل داخل بيت الأنبوب.

يحتوي المصعد أو الإلكترود (القطب) الموجب على الهدف وهو مصنوع من مادة خاصة (مثل التنغستن)، تتمتع بنقطة انصهار عالية وعدد ذري مرتفع، تُستخدم الأعداد الذرية المرتفعة لضمان أن تحتوي حزمة الأشعة السينية على فوتونات ذات مستوى طاقة مرتفع. تنبعث الأشعة السينية في كل الاتجاهات من الهدف عندما تصطدم الإلكترونات بالهدف، ولضمان أن يخرج الإشعاع فقط من خلال منفذ الأنبوب فإنه يتم تبطين البيت المعدني لأنبوب الأشعة السينية بالرصاص بالكامل.

إن القوة التي تسبب انتقال الإلكترونات بمعدل سرعة عالٍ عبارة عن **كمون جهد عالٍ** يتم تطبيقه ما بين مصعد ومهبط أنبوب الأشعة السينية. لا يؤثر مقدار الجهد العالي على كمية الإشعاع فقط ولكنه يؤثر أيضاً على جودة الأشعة السينية أو قدرتها على الاختراق (انظر الفصل الثامن). يُطلق على تنظيم الجهد العالي اسم **التحكم بالكيلوفولت *(kVp)***.

وباختصار، يجب لكي يتم إنتاج أشعة سينية في أنبوب حراري أيوني أن يكون هناك: (١) تغذية بجهد كهربائي يتم تطبيقه على سلك الفتيل في الأنبوب، و (٢) كمون جهد كهربائي عالٍ يتم تطبيقه عبر الأنبوب. لا يمكن إنتاج أشعة سينية عند فقدان أي من هاتين التغذيتين.