الهيئة
العربية
للطاقة
الذرية

الأشعة السينية
وبعض تطبيقاتها

تأليف
أ. د. محمود نصر الدين

الهيئة العربية للطاقة الذرية
تونس 2008

الذرة في
خدمة الإنسان

بسم الله الرحمن الرحيم

الأشعة السينية
وبعض تطبيقاتها

تأليف
أ. د. محمود نصر الدين

الهيئة العربية للطاقة الذرية
تونس 2008

بسم الله الرحمن الرحيم

يأتي هذا الكتاب من ضمن سلسلة الكتب المتخصصة التي تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية في عدد من التقنيات المهمة التي تستخدم في العديد من المجالات التي يهتم بها الباحثون العرب لاسيما في هيئات الطاقة الذرية وفي الجامعات ومؤسسات البحث العلمي. وبعد كتاب التقنيات النووية في التحليل، وكتاب مفاعلات البحوث، تصدر الهيئة العربية للطاقة الذرية هذا الكتاب حول الأشعة السينية وبعض تطبيقاتها. وقد أغفل الكتاب تطبيقات الأشعة السينية الصادرة عن مسرع الأيونات وعن السنكترون وذلك بسبب الإعداد لكتاب متخصص لكافة أنواع المسرعات الأيونية والإلكترونية وتطبيقاتها .

وتطمح الهيئة العربية للطاقة الذرية في أن يجد هذا الكتاب مكانه في المكتبة العربية نظراً لأهمية الأشعة السينية ولكثرة تطبيقاتها. فليس من الجائز أن نهمل هذه الأشعة المؤينة التي أدت خدمات جلّى للإنسانية وما زالت بسبب اهتمامنا اليوم بالطاقة النووية والمفاعلات وتوليد الكهرباء. ومن الضروري أن تستمر مؤسساتنا البحثية والجامعية بتنمية الموارد البشرية العاملة في مختلف تطبيقات الأشعة السينية .

والله ولي التوفيق .

المدير العام

أ. د. محمود نصر الدين

المحتويات

توطئة

لقد أحدث اكتشاف الأشعة السينية نهاية القرن التاسع عشر قفزة علمية كبيرة لم تحجبها ثورة اكتشاف المواد المشعة بداية القرن العشرين. فإلى جانب التطبيقات العملية أحدثت الأشعة السينية تأثيرات نظرية في مجمل العلوم الفيزيائية. لقد كان كبار الفيزيائيين يعتقدون في ذاك التاريخ أنهم عرفوا كل ما يمكن معرفته وأن مهمة الأجيال اللاحقة ستنحصر في تحسين دقة القياسات أو في إيجاد تطبيقات جديدة. إلاّ أن تراكم نتائج الأبحاث أدى إلى تداعي كثير من المفاهيم الفيزيائية لتبدأ في القرن العشرين فيزياء جديدة .

لقد صرح العالم الكبير لورنتز (*LORENTZ*) في أواخر القرن التاسع عشر : "لقد فقدت الثقة بأن عملي العلمي يؤدي إلى الحقيقة الموضوعية ولست أعرف لماذا عشت. وإني لآسف فقط لأني لم أمت منذ خمس سنوات عندما كان كل شيء يبدو لي واضحاً". والمعروف أن لورنتز هو صاحب المعادلات الشهيرة في ميدان الموجات الكهرمغناطيسية التي شكلت مع غيرها، المنطلق النظري لعمل إينشتاين حول قوانين النسبية .

لقد ساهمت الأشعة السينية سواء بالأبحاث التي جرت حولها أو بتلك التي جرت بواسطتها في دفع العلوم خطوات إلى الأمام. فأثناء دراسة الفلورة التي تحدثها الأشعة السينية في بعض مركبات اليورانيوم استطاع بكرال (*Becquerel*) بشيء من الصدفة، إكتشاف النشاط الإشعاعي في مركبات اليورانيوم ... فكان اكتشافه اللبنة الأولى في بناء صرح الفيزياء والكيمياء النووية. كما استطاع لاو (*Laue*) أن يبرهن على وجود تناظر معين في بعض الأجسام الصلبة وأن يخطو الخطوة الأولى في طريق إرساء قواعد فيزياء وكيمياء الأجسام الصلبة والبلوريات.

وتميز القرن العشرون بتوجه البحث العلمي نحو دراسة البنية الداخلية للمادة (البلوريات والأجسام الصلبة بشكل عام، السوائل، الخلايا الحية، الجزيئات والذرات الخ) وذلك من أجل التمكن من استخدام المادة في أغراض كبيرة يرمي إلى تحقيقها الإنسان. وبين التقنيات التي استعملت لهذا الغرض تحتل الأشعة السينية مركزاً ريادياً إذ دخلت أجهزة الأشعة السينية مختبرات ومعامل الفيزيائيين والكيميائيين والبيولوجيين والصناعيين والأطباء والمتاحف ... الخ) ولن يكون بوسع كتاب واحد أن يفي دراسة الأشعة السينية حقها .

سنحاول في هذا الكتاب أن نعرض بإيجاز كيفية استخدام الأشعة السينية في بعض الميادين التي ذكرناها أعلاه. وسنبذل قصارى جهدنا حتى لا يصبح الإيجاز عقبة أمام توضيح الفكرة الأساسية .

فالهدف الأساسي هو إيصال أكبر كمية من المعلومات إلى أكبر عدد ممكن من القراء. وهذا ما يستدعي، في بعض الأحيان، التذكير ببعض المبادئ والقوانين العلمية حتى يسهل على القارئ وضع الفكرة في سياقها الصحيح وحتى لا يتحول الكتاب إلى مجموعة معلومات مجتزأة لا تفي بالغرض المطلوب .

المدير العام

أ. د. محمود نصر الدين

الفصل الأول
طبيعة الأشعة السينية

1.1 ـ إكتشاف الأشعة السينية

في الثامن من شهر تشرين الثاني (نوفمبر) 1895 كان رونتغن (Röntgen) أستاذ الفيزياء في جامعة فورزبرغ (Würzburg) يصل إلى وشيعة التحريض قطبين معدنيين موجودين في زجاجة أفرغ الهواء منها. وكان من الممكن أن تجري هذه التجربة في أي مختبر آخر لأن فيزيائيي تلك الأيام كانوا شديدي الاهتمام بدراسة انتقال الكهرباء تحت توتر مرتفع وفي زجاجات سحب القسم الأكبر من هوائها. ففي عام 1785 استطاع مورغان (Morgan) الحصول على فراغ شبه تام بحيث أصبح انتقال الكهرباء في الوعاء الزجاجي شبه مستحيل: من الممكن أن يكون قد حصل يومها على أشعة سينية دون أن يدري ذلك .

في 1895 استطاع بلوكر (Plucker) كما استطاع هيتورف (Hittorf) في 1869 البرهان على أن انتقال الكهرباء داخل زجاجة شبه مفرغة (أي في الغاز تحت ضغط منخفض جداً) يقترن بظهور أشعة "مهبطية" يصدرها القطب السالب أو المهبط. هذه الأشعة تنساب بخط مستقيم. ولقد برهن وليم كروكس (W. Crookes) عام 1879، بعد تجارب دامت ست سنوات، أن هذه الأشعة تنحرف تحت تأثير حقل كهربائي أو حقل مغناطيسي مما يدل على أنها مؤلفة من حبيبات مشحونة كهربائياً، دعيت فيما بعد بالكهيربات .

هذا ما كان عليه حال العلم عندما قام رونتغن بتجربته التاريخية التي كان يسعى من ورائها إلى دراسة هذه الأشعة المهبطية ومعرفة طبيعتها. ولما كان مهتماً بالفلورة التي تحدثها هذه "الأشعة" عند التقائها بالجدران الزجاجية للأنبوبة فقد غطى الأنبوبة بالورق الأسود .

وفي الغرفة، غرفة المخبر، التي أصبحت مظلمة استطاعت عينا رونتغن، بشيء من الدهشة، رؤية لوحة معدنية معينة موجودة على مسافة غير بعيدة من

أنبوبة كروكس وقد أصبحت شديدة اللّمعان. وهذا ما حدا به للإستنتاج، وعن حق، بأن الأنبوبة تبعث إشعاعاً غير مرئي اخترق الأوراق السوداء وأحدث الفلورة في اللوحة المعدنية .

وبعد ستة أسابيع من الدراسة المعمقة، أعلن الفيزيائي غير المعروف كثيراً حتى ذلك الوقت، رونتغن، خلال شهر كانون الأول (ديسمبر) من العام نفسه وفي الجمعية الفيزيائية والطبية في مدينة فورزبرغ (Würzburg) أنه اكتشف إشعاعاً جديداً يمتاز بقدرة على اختراق الأجسام ويتيح الحصول على صور من خلالها. وقد سماها بالأشعة السينية (x rays) نظراً لأن حرف x يعني عادة المجهول في المعادلات الجبرية، والأشعة مجهولة الطبيعة ولذا سماها أشعة إكس .

وفي أقل من شهر أصبحت الأشعة السينية معروفة وعمد الكثيرون من العاملين في هذا الحقل إلى الحصول عليها لدراستها وتفسير ظاهرة توليدها .

ولكن اكتشاف رونتغن (Röntgen) لم يقابل دائماً بالاقتناع التام بل تعرض لكثير من الانتقادات والاحتجاجات النابعة في أكثر الأحيان عن حسد أو عن موقف سياسي من الفيزيائي رونتغن. فالبعض قال بأن الإكتشاف، وإن كان قد حصل فعلاً، فهو ثمرة الصدفة ولا يمكن بأي حال الدفاع عنه. وهكذا فإن عالماً مشهوراً مثل لنارد (Lenard) لم يلبث بعد أن كان مقتنعاً تمام الاقتناع بالاكتشاف أن انقلب على رونتغن وبدأ بمهاجمته ومهاجمة اكتشافه للأشعة السينية بقسوة وحدة وذلك، كما هو ثابت تاريخياً، بعد أن ألّبه هتلر ودفعه إلى اتخاذ هذا الموقف.

لم يكن هذا الاكتشاف أرفع وأجدى أعمال رونتغن العلمية فقط وإنما كان ثمرة قرنين من البحث العلمي قام خلالهما العديد من العلماء بالعديد من التجارب التي ساهمت في بناء القواعد الصحيحة لعلمنا الحاضر .

ولقد تطورت في ميادين مختلفة، وبشكل مستقل، تقنيات ونظريات جديدة : تقنية الفراغ شبه التام، الكهرباء، الموجات الكهرمغناطيسية، الضوء، البصريات، الفلورة، التصوير وغيرها من الظواهر الفيزيائية والكيميائية. كل هذه الاكتشافات قادت وجعلت من الممكن اكتشاف الأشعة السينية بالطريقة التي وصفنا آنفا .

وتجدر الملاحظة إلى أنه خلال الاجتماع التاريخي الذي عقدته الجمعية الفيزيائية والطبية في فورزبورغ والذي عرض خلاله رونتغن اكتشافه وأظهر

الفلورة على اللوحة المعدنية التي بحوزته، نوه المكتشف بأن الأشعة السينية قادرة على اختراق الأجسام، كما فعلت باختراقها الورقة السوداء المحيطة بالأنبوبة قبل الوصول للوحة المعدنية. وهذا ما جعل العالم الطبيب فان كوليكر (V. Kölliker) يطلب تصوير يده بالأشعة الجديدة فكان له ما أراد أثناء عقد الاجتماع. وقد تم تظهير الصورة بسرعة واستطاع الحضور مشاهدة النتيجة المذهلة إذ ظهرت عظام اليد فقط. وهكذا تمت أول عملية تصوير بالأشعة السينية والاكتشاف ما يزال في يومه الأول. ويستطيع القارئ تصور السرعة المذهلة التي سارت عليها الأمور فيما بعد وكيف تم تطور استعمال هذه العين الخارقة التي تستطيع اختراق جسم الإنسان وتصوير داخله .

وهكذا أمام روعة النتيجة التي حصل عليها، وقف فان كوليكر، في القاعة وطالب، بكثير من الحماس، بأن تسمى هذه الأشعة بعد ذلك اليوم بأشعة رونتغن وهذا ما هو معتمد في بعض البلدان كألمانيا مثلاً. ولكن اسم أشعة إكس (الأشعة السينية) هو الإسم الأكثر استعمالاً وبشكل خاص في المؤلفات الفرنسية والأنغلوسكسونية .

2.1 ـ ماهية الأشعة السينية

إستطاع الإنسان منذ القدم أن يثبت بأن الضوء ينساب بخط مستقيم داخل مكان معين وينعكس على المرآة حسب قوانين ثابتة وينكسر إذا ما انتقل من جسم إلى جسم، حسب قوانين ثابتة أيضاً. وقد ساعد اكتشاف هذه القوانين على إرساء قواعد علم مهم، ألا وهو علم البصريات الهندسية الذي ساهم مساهمة فعالة في دفع عجلة التقدم العلمي والتقني للإنسان، فتمت بفضله منذ قرون، صناعة العدسات والمرايا والميكروسكوب وأجهزة رصد النجوم..إلخ. وبقيت هذه القوانين وهذه الصناعة حتى اليوم؛ مما يعني أن ملاحظات الإنسان الآنفة الذكر تشكل تقريباً حسن الدقة للحقيقة المطلقة .

ولم يطرح الفيزيائيون السؤال الكبير عن طبيعة هذا الضوء إلاّ بعد أن بدأت بعض الملاحظات الجديدة تتناقض مع القوانين المذكورة أعلاه. فلما تبين للباحثين أن الضوء إذا مر عبر فتحة صغيرة ينتشر عند خروجه منها وكأن الفتحة

هي مصدر الضوء عرفوا أن قانون الانسياب بخط مستقيم هو قانون قد يكون صحيحاً وكافياً في بعض الميادين والتجارب ولكنه بالتأكيد قاصر عن تفسير كل الظواهر .

وبعد دراسة معمقة لكل خصائص الضوء، اضطر الباحثون للتعلق بفرضية جديدة تقضي بأن الضوء هو عبارة عن موجة تنساب في المكان دون أن يكون بالإمكان تحديدها بنقطة وأن طول هذه الموجة (أو ذبذبتها) يحدد لون الضوء. ولقد حال توزع الموجة في المكان وانتشارها دون حصر الطاقة بنقطة معينة مما جعل تفسير الظاهرة الضوكهربائية صعباً .

إذا أرسلنا ضوءاً إلى مادة صلبة فمن الممكن، في بعض الحالات، أن يحرر الضوء كهيرباً من الجسم الصلب. وهذا يعني أن الضوء حمل معه طاقة كافية لسلخ الكهيرب عن الذرة. ومن الضروري أن تكون هذه الطاقة محصورة في مكان صغير (هو حجم الكهيرب)، وهذا ما يتناقض مع الطبيعة الموجية للضوء .

وحدت هذه الظاهرة الفيزيائيين على طرح فرضية جديدة تقضي بأن الطاقة لا تنساب مع الضوء بشكل مستمر وغير متقطع وبأن الضوء مؤلف من حبيبات ضوء، يسمى واحدها فوتون (Photon)، تحمل الطاقة. وفي وسع هذه الفرضية تفسير ظاهرة الضوكهربائية، ولكنها لا تستطيع تفسير ظواهر أخرى كالحيود وتعجز عن تفسير ظاهرة (Compton) أو ظاهرة الضوكهربائية. وهذا يعني أن الفرضيتين هما وجهان لحقيقة واحدة وأنه يحسن استعمال هذا الوجه أو الآخر حسب ميدان العمل. وهذا ما حدا الفيزيائي الفرنسي دوبرويل (De Broglie) للقول : "الموجات والجسيمات متصلة إتصالاً وثيقاً في الطبيعة وعلى الأقل في حالة الضوء" .

للضوء إذن طبيعة موجبة وموجته كهرمغناطيسية يمكن تمييزها بطول الموجة λ أو بذبذبتها. تجدر الملاحظة إلى أن طول الموجة يساوي حاصل قسمة سرعة الضوء C بالذبذبة N :

$$\lambda = \frac{C}{N}$$

إن الجسم المضيء الذي يرسل ضوءاً ما ذا ذبذبة معينة يستطيع أن يمتص ضوءاً له نفس الذبذبة. وهذا ما دفع الفيزيائي بلانك (Planck) للقول بأن الطاقة المنبعثة مع الضوء أو الممتصة لا يمكن أن تتغير إلاّ بكميات متقطعة. وأصغر كمية طاقة أو حبيبة طاقة تساوي حاصل ضرب ذبذبة الموجة بثابت دائم ثابت بلانك .

$$E = hN$$

وللأشعة السينية نفس طبيعة الضوء. أي أنها موجة كهرمغناطيسية تختلف عن موجة الضوء المرئي بطول الموجة فقط، إذ أن ذبذبة أي أشعة سينية أعلى من ذبذبة الضوء المرئي، وبالتالي فإن الطاقة التي تحملها أكبر من تلك التي يحملها أي ضوء مرئي. وتجدر الملاحظة إلى أن كل ما قيل حول ازدواجية طبيعة الضوء (موجبة وجسيمية) يبقى صحيحاً في ميدان الأشعة السينية .

إن كل قوانين البصريات الهندسية والبصريات الفيزيائية تسري على الأشعة السينية مع بعض المميزات الخاصة والمتعلقة بتعامل الأشعة السينية مع المادة نظراً لقصر طول الموجة "وضخامة" كمية الطاقة التي يحملها الفوتون السيني نسبياً : فطول الموجة السينية يوازي تقريباً قطر الذرة من ناحية والمسافات بين الذرات المتواجدة في المادة الصلبة، من ناحية ثانية. والطاقة التي تحملها حبيبة س موازية للطاقة اللازمة لاستخراج كهيرب من الطبقات الداخلية في الذرة، بينما الطاقة التي تحملها حبيبة الضوء العادي (الفوتون) توازي الطاقة اللازمة لفصل كهيرب من الطبقات الخارجية .

وتجدر الملاحظة إلى أن مسار الأشعة السينية لا ينكسر عملياً عند مروره من مادة إلى مادة أخرى، كما هو الحال بالنسبة للضوء المرئي. وهذا يعني أنه لا يمكن صناعة عدسات خاصة بالأشعة السينية .

وبالرغم من الكثير من الصعوبات فقد استطاع العلماء صناعة مرايا عاكسة للأشعة السينية. وقد استخدمت هذه المرايا في ميادين عديدة خاصة في الميادين التي تحتاج لحصر كمية كبيرة من الضوء السيني في مساحة متناهية الصغر .

إن طول موجة الأشعة السينية أقصر بكثير من طول موجة أي اشعة مرئية. وسنرى، عند الحديث عن كيفية الحصول على الأشعة السينية، أن طول موجة الأشعة السينية يختلف حسب طبيعة معدن المهبط .

والصورة رقم (1 ـ 1) تبين لنا موقع هذه الأشعة من بقية الإشعاعات المعروفة حتى الآن (الضوء ـ موجات الراديو ـ الإشعاعات الذرية). وتجدر الإشارة إلى أن وحدة قياس الطول المستعملة في هذا الميدان هي الأنغستروم (Angstrom :Å) والتي تساوي جزءاً من مئة مليون من السنتيمتر .

إن التشابه، من حيث الطبيعة، بين الضوء وبين الأشعة السينية، والفارق بينهما من حيث طول الموجة، طرحا بسرعة إمكانية استعمال هذه الأشعة الجديدة لفحص ودراسة الأجسام المتناهية الصغر وخاصة الذرات والجزيئات حيث أن طول موجة الأشعة السينية يوازي تقريباً قطر الذرة، ولكن عند الشروع بدراسة تركيب الأجسام الصلبة بهذه الطريقة يجب أخذ كل الاحتياطات اللازمة لتفسير نتائج التجارب تفسيراً صحيحاً .

3.1 ـ خصائص الأشعة السينية

يستطيع القارئ أن يستنتج مما سبق بعض خصائص الأشعة السينية ولكن من أجل حصر أهم هذه الخصائص يمكننا ذكر تلك التي ساهمت في توضيح طبيعتها وفي تطور استعمالها في شتى الميادين .

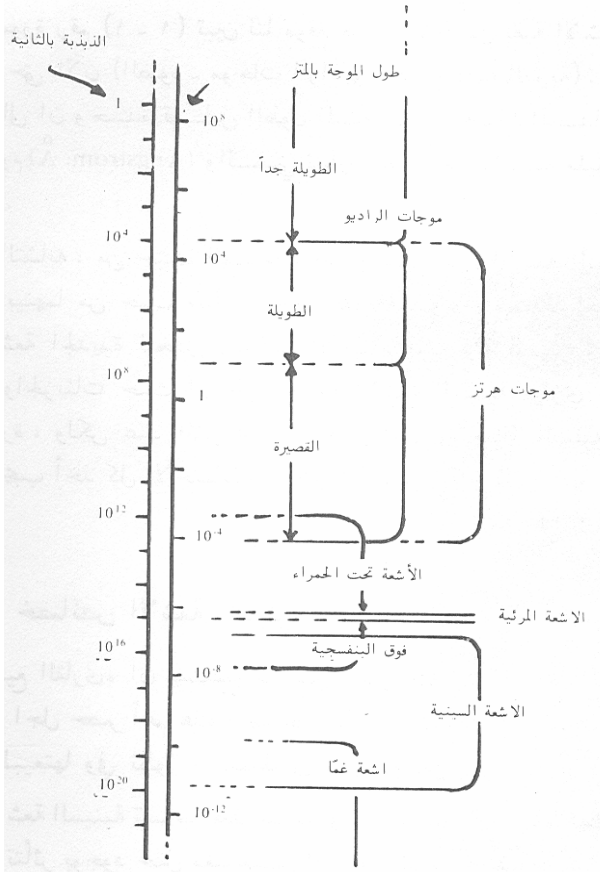
ـ الأشعة السينية تنساب بخط مستقيم وبسرعة مساوية لسرعة الضوء .

ـ لا تتأثر بوجود حقل مغناطيسي أو حقل كهربائي وهذا ما يدل على أنها لا تحمل أي شحنة كهربائية .

ـ يتغير طول موجة الأشعة السينية، بحسب طبيعة معدن المهبط، بين جزء من ألف من الأنغستروم Å وبين ألف انغستروم $0,001\ Å < \lambda < 1000\ Å$.

ـ تؤثر على أفلام التصوير .

ـ تسبب فلورة أو فسفرة بعض الأجسام .



الموجات الكهرمغناطيسية

صورة رقم 1 ـ 1

ـ لها تأثير ضوكيميائي .

ـ تستطيع جرح أو قتل الخلايا الحية وأحياناً إحداث تغيرات عضوية فيها.

ـ تتمتع، كالضوء، بازدواجية الطبيعة بحيث أنها تبدو، في بعض الميادين، كالموجة (الحيود مثلاً) وفي بعضها الآخر كمجموعة حبيبات طاقة قادرة على تحرير كهيرب أو أكثر في بعض الأجسام الصلبة محدثة بذلك تياراً كهربائياً .

إن تنوع هذه الخصائص، إلى جانب تلك التي لم تذكر هنا، أوجد العديد من التطبيقات المهمة. ويكفي أن نذكر على سبيل المثال الخدمات الجلى التي تقدمها الأشعة السينية في ميادين التصوير الطبي وفي ميدان دراسة تكوين الأجسام الصلبة وكيفية ترتيب الذرات داخلها. ونستطيع القول بأن عدداً من هذه التطبيقات يدخل في ميادين الفيزياء والكيمياء والهندسة والطب والصناعة. إن السير نحو توحيد النظرية العلمية عند الإنسان يلاحظ بشكل واضح من تطور الأبحاث الأساسية في ميدان الأشعة السينية. فالفيزيائي يستعمل الأشعة السينية في ميدان الأجسام الصلبة للإلمام بالكثير من النظريات الكيميائية خاصة فيما يتعلق بطبيعة الرباط بين الذرات داخل الجسم الصلب وبالتالي كمية الشحنة الكهربائية (أو عدد الكهيربات) المركزة في كل ذرة. وسنتطرق قبل البحث في أنواع الأشعة السينية وطرق الحصول عليها إلى دراسة التركيب الذري للأجسام .

4.1 ـ التركيب الذري للأجسام

في عالمنا أعداد هائلة من المواد المختلفة تركيباً، شكلاً وخواص. وإذا ما حصرنا نظرتنا بالمواد غير العضوية، كالغازات والسوائل والأجسام الصلبة، نرى أنه من الصعب ضغط الأجسام الصلبة والسائلة ولكن من السهل جداً ضغط أي غاز. وهذا يعني أن المادة التي تؤلف الغاز غير مكثفة وأنه قد توجد بعض الفراغات داخل الغاز كما قد توجد داخل أي مادة سائلة أو صلبة .

إذن ما هي الوحدة التي تؤلف المادة ؟

إنه لمن اليسير حالياً الإجابة على هذا السؤال الأساسي والمهم :

يوجد في كل مادة وحدة متناهية الصغر تسمى جزيء وهذا الجزيء يتألف من وحدات أصغر منها تسمى كل وحدة ذرة .

مم تتكون الذرة ؟

من المعروف جيداً اليوم أن الذرة مؤلفة من نواة تدور حولها مجموعة من الكهيربات المشحونة بالكهرباء السالبة. أما النواة فتتكون بشكل أساسي، من نترونات غير مشحونة بالكهرباء ومن بروتونات مشحونة بالكهرباء الموجبة. وتجدر الإشارة إلى أمرين :

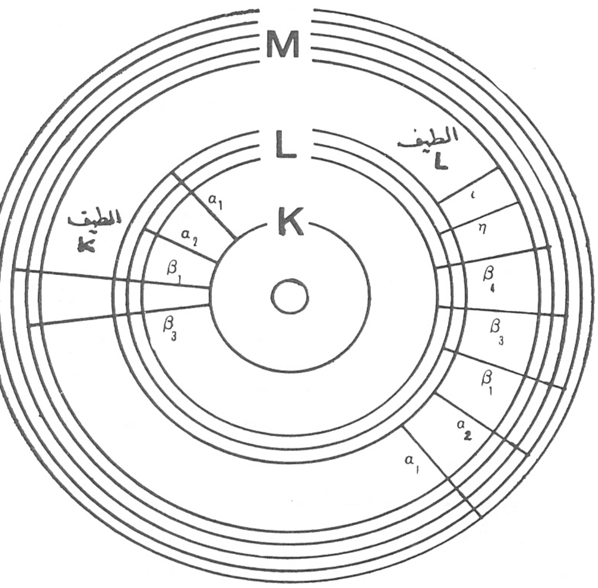
أولاً : أن كمية الكهرباء المشحونة في البروتون تساوي شحنة الكهيرب .

ثانياً : أن عدد بروتونات النواة يساوي عدد الكهيربات التي تدور حول النواة. وهذا يعني أن الذرة، إذا ما أخذت كوحدة متكاملة لا تحمل أي شحنة كهربائية .

ولكل كهيرب يدور حول النواة، مسار مستقل عن بقية الكهيربات وهذا المسار مميز ويحدده الفيزيائيون بأرقام خاصة يمكن للقارئ مراجعتها، للمزيد من المعلومات، في أي كتاب يدرس الفيزياء الذرية. ولتبسيط الصورة يمكن القول بأن الكهيربات موجودة في طبقات يشار إليها عادة بالأحرف اللاّتينية :

K L M...

الطبقة K هي الأقرب للنواة ثم تأتي بعدها L ثم M وهكذا دواليك أنظر الصورة رقم (1 ـ 2) .



صورة رقم 1 ـ 2
أطياف الأشعة السينية : K و L

وكل مسار مخصص لمستوى طاقة معين. أي أن المسار الأقرب للنواة له مستوى طاقة أقل من مستوى طاقة المسار الذي يليه. وهذا يعني أنه عند انتقال كهيرب من مسار إلى مسار آخر يجب أن تتغير طاقته خسارة أو ربحاً حسب موقع المسار الأساسي من المسار النهائي. وغالباً ما تتجلى هذه الخسارة في الطاقة بإطلاقها إلى خارج الذرة تحت شكل "حبيبة طاقة" أو "حبيبة ضوء" .

وهذا ما سنعود إليه لاحقاً .

إن وزن الكهيرب ضئيل جداً بالنسبة لوزن البروتون ولكن وزن النترون يساوي وزن البروتون .

وعدد البروتونات (أو الكهيربات) ويشار إليه عادة بحرف Z الذي يحدد نوعية الذرة. وهذا العدد يسمى العدد الذري .

أما الوزن الذري A فهو حاصل مجموع البروتونات والنترونات. وذلك يعود إلى أن وزن الذرة مكون، إلى حد كبير، من وزن البروتونات والنترونات "الثقيلة" بالنسبة لوزن الكهيرب كما أشرنا أعلاه .

واختلاف عدد النترونات بين ذرة حديد وذرة حديد أخرى مثلاً هو السبب في وجود عدة نظائر للجسم الواحد وهو السبب في وجود النظائر المشعة بشكل خاص .

5.1 ـ أنواع الأشعة السينية

هناك نوعان من الأشعة السينية يمكن الحصول عليهما الآن. والتفريق بين هذين النوعين يعود، بشكل أساسي، إلى طريقة الحصول على كل منهما :

1 ـ الأشعة السينية "البيضاء" أو الطيف غير المتقطع. وكلمة بيضاء لا تعني هنا اللون الأبيض وإنما تعني احتواء هذا الطيف على أشعة سينية مختلفة الذبذبة وطول الموجة. أي أننا نجد في هذا الطيف كل الموجات الممكن تصورها ضمن حدين أدنى أو أعلى لطول الموجة :

$$\lambda_m \leq \lambda \leq \lambda_M$$

2 ـ الأشعة السينية الخاصة بكل معدن والمكونة من عدة أضواء، كل واحد منها أحادي طول الموجة، تجتمع في عدة مجموعات. وطول موجة كل ضوء منها يتعلق، حسب قانون سنراه فيما بعد، بالعدد الذري للعنصر المادي الذي ولّده .

يمكن الحصول على "الطيف الأبيض" بإخضاع أنبوبة الأشعة السينية لتوتر منخفض نسبياً. وإذا ما اتخذنا بعض الاحتياطات المبنية على دراسة قيمة التوتر وطبيعة المعدن الموجود في المصعد يمكن الحصول على هذا الطيف الأبيض دون أن يمزج بالأشعة السينية الخاصة بنوع المصعد (أي النوع الثاني من الأشعة السينية) .

ولهذه الأشعة البيضاء خاصة مهمة : فإذا عمدنا إلى إجراء رسم بياني لشدة الضوء بالنسبة لطول الموجة وجدنا أن الشدة تنعدم تحت طول موجة معين أسمياه λ_m. وطول وطول الموجة هذا لا يتعلق مطلقاً بنوع العنصر المادي المكون للمصعد (Anode) وإنما يتعلق بقيمة التوتر الكهربائي المسلّط على أنبوبة الأشعة السينية. وأول من طبق قانون علاقة λ_m بالتوتر الكهربائي هما العالمان ديان (Duane) وهونت (Hunt) وكان ذلك في سنة 1914 .

وكمثال على ذلك وبواسطة توتر كهربائي يساوي 000 300 فولت يمكن الحصول على أشعة سينية يساوي الطول الأدنى للموجة فيها خمسة أجزاء من ألف من الانغستروم :

$$\lambda = 0,005 \text{ Å}$$

والتوتر المشار إليه أعلاه يستعمل للحصول على أشعة سينية تستخدم في معالجة الأقسام الداخلية من جسم الإنسان لأن الأشعة ذات الموجة المتناهية القصر تملك قدرة كبيرة على الاختراق .

وبالرغم من أن الطول الأدنى للموجة السينية لا يتعلق بطبيعة المهبط فإن الشدة الإجمالية للطيف، الممكن الحصول عليها تحت توتر كهربائي ثابت، ترتكز على العدد الذري للعنصر المكون للمصعد .

وتجدر الإشارة إلى أن كيفية انطلاق هذه الأشعة العامة (أو البيضاء) لم تحظ حتى يومنا هذا بتفسير دقيق. ولكن يمكن القول بأن هذا الطيف ينتج عن تغير مسار الكهيربات المنطلقة من المهبط تحت تأثير الحقول المغناطيسية والكهربائية بالقرب من نواة الذرات في المصعد .

من المعروف جيداً أن الكهيرب المنطلق من المهبط يكتسب طاقة حركية تساوي حاصل ضرب قيمة التوتر بشحنة الكهيرب الكهربائية. والتوقف الكامل والسريع للكهيرب عند دخوله في مادة المصعد يحول هذه الطاقة الحركية إلى إشعاعات. وكلّما كان التوقف سريعاً كانت ذبذبة الأشعة المنبعثة مرتفعة. والتوقف الكلي للكهيرب عند أول اصطدام بذرة من ذرات المصعد يعطي الأشعة ذات الذبذبة الأكثر ارتفاعاً أو طول الموجة الأقصر وهي الموجة التي ذكرنا آنفاً والتي أسميناها λ_m .

وهذه الأشعة العامة ذات أهمية بالغة. فهي التي استعملت في الماضي لدراسة البلوريات في فيزياء وكيمياء الأجسام الصلبة بطريقة لاو (Laue). وهي التي تستعمل في الطب للمعالجة بالأشعة السينية وللتصوير بالأشعة .

أما النوع الثاني من الأشعة السينية فنحصل عليه، إلى جانب النوع الأول الذي وصفناه أعلاه. ولكن طول الموجة التي نحصل عليها لا يتغير بتغير قيمة التوتر العالي، وذلك لأنه خاص بالعنصر المادي المكون لمعدن المصعد. فإذا أجرينا رسماً بيانياً لتغير الشدة الضوئية بتغير طول الموجة، وجدنا، أنه تبرز إلى جانب الطيف الأبيض، حزمات أشعة أحادية اللون شديدة الضوء نسبياً. وهذه الحزم هي التي وصفنا بالأشعة السينية الخاصة بالعنصر المعدني .

ويمكن جمع هذه الحزم في مجموعات يطلق عليها اسم

K, L, M, N, O…

والمجموعة K هي التي تحوي الأشعة ذات الموجة الأقصر، أي الأكثر قدرة على اختراق المادة .

كيف يتم إصدار هذه الأشعة ؟

6.1 ـ قانون موزلي (Moseley's Law)

عندما ينطلق الكهيرب من المهبط، يكتسب، كما قلنا، طاقة حركية تخوله (في بعض الأحيان) قذف كهيرب من طبقة ما من طبقات إحدى الذرات المكونة للمصعد. وهذا يعني أن إحدى الطبقات الداخلية للذرة أصبحت غير متوازنة وفارغة جزئياً، مما يدفع كهيربا يحتل مساراً في طبقة أخرى، أبعد من الطبقة الناقصة بالنسبة للنواة، للنزول إلى الطبقة الأقرب للنواة لملء الفراغ. ويعني أيضاً أن كهيربا يترك مساراً ذا مستوى طاقة معين ليحتل مساراً ذا مستوى طاقة أدنى. والفرق بين طاقتي المستويين يتحول إلى أشعة سينية .

إن طول موجة الأشعة السينية المنبعثة بهذه الطريقة يتعلق بالفرق بين طاقتي المستوى الأساسي للكهيرب والمستوى النهائي له .

وإذا كان الكهيرب الذي قذف خارج الذرة منتميا للطبقة K سميت الأشعة المنبعثة بهذا الإسم. وإذا كان ينتمي للطبقة L سميت الأشعة أيضاً بهذا الاسم. وهذا يعني أن الحزمة K تحتوي على أشعة طول موجتها يتعلق بفرق الطاقة بين الطبقة M والطبقة K وعلى أشعة طول موجتها يتعلق بفرق الطاقة بين الطبقة L والطبقة K وهكذا دواليك. أنظر الصورة رقم (1 ـ 2) .

والفرق بين طاقة L وطاقة K يختلف بين ذرة معدن وذرة معدن آخر، بين عنصر وعنصر آخر، مما يعني أن الحزمة K تختلف من عنصر إلى عصر آخر وأنه من الممكن الاسترشاد لطبيعة معدن المصعد إذا ما استطعنا قياس طول موجة الأشعة السينية المنبعثة منه. فالموجة الأقصر هي K والتي تليها هي L ... الخ... ومجموع الحزم K و L و M ... الخ ترشدنا بسهولة إلى طبيعة العنصر. وتجدر الإشارة إلى أنه بهذه الطريقة استطاع بعض العلماء اكتشاف عناصر ومعادن جديدة .

لقد استطاع العالم الانكليزي موزلي، الذي قتل في الدردنيل عام 1915، أن يجد علاقة بسيطة بين أطوال الموجة في الأشعة السينية K وبين العدد الذري لعنصر المصعد. فقد برهن أنه إذا أجرينا رسماً بيانياً لتغير الجذر التربيعي لذبذبة أشعة سينية K بتغير العدد الذري حصلنا على خط مستقيم يمكن التدليل عليه بالمعادلة التالية المعروفة بقانون موزلي .

$$\sqrt{\frac{N}{R}} = \sqrt{\frac{3c}{4}\ (Z-1)}$$

حيث N ترمز إلى الذبذبة

R = ثابتة ريدبرغ

C = سرعة الضوء

Z = العدد الذري

وتجدر الإشارة لوجود معادلة أخرى خاصة بالأشعة السينية "L" مشابهة لما كان قد وجده العالم (Lyman) بالنسبة لطيف الهيدروجين في القسم فوق البنفسجي .

هذا القانون يعني وجود معادلة أساسية بين كل العناصر بدءاً بالهيدروجين وانتهاء بالعناصر الثقيلة : أي أنها مبنية بنفس الحبيبات وبنفس الطريقة. ومن ناحية ثانية فإن الرسم البياني الذي يعطي الجذر التربيعي للذبذبة الموازية لأي عدد ذري ساعد العلماء على اكتشاف عناصر جديدة لم تكن معروفة من قبل. فبهذه الطريقة استطاع كوستر (Coster) اكتشاف الهافنيوم (Hafnium) كما استطاع تاك ونوداك (Tacke et Noddak) اكتشاف المازيريوم (Masurium) والرينيوم (Rhénium) ... الخ .

وباختصار فإن الحصول على الأشعة السينية يستدعي التوصل إلى ما يلي:

ـ تحويل طاقة كهربائية إلى طاقة حركية تحملها الكهيربات. وهذه المرحلة تتم بتسليط توتر عال على قطبين معدنيين موجودين داخل أنبوب خاص سحب جزء كبير من هوائه .

ـ تحويل الطاقة الحركية إلى إشعاع عند اصطدام الكهيرب بالمصعد .

الفصل الثاني
طرق إنتاج الأشعة السينية وقياسها

لقد ذكرنا في الفصل السابق أن إنتاج الأشعة السينية يتم بتحويل طاقة حركية إلى طاقة ضوئية .

وذكرنا أن الكهيرب المنطلق من المهبط (أو من شريط معدني ذي حرارة مرتفعة) يكتسب طاقة حركية تساوي حاصل ضرب الشحنة الكهربائية للكهيرب بقيمة التوتر المسلط على أنبوب الأشعة السينية :

$$E_c = Ve$$

حيث E_c = طاقة حركية
V = قيمة التوتر الكهربائي
e = الشحنة الكهربائية لكهيرب

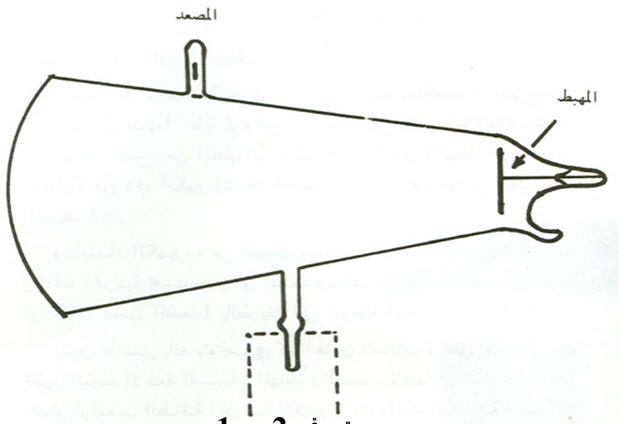
وعند التطرق لأساليب إنتاج الأشعة السينية يتوجب التطرق لدراسة التقنيات التالية :

- كيفية إطلاق حزمة من الكهيربات داخل الأنبوبة
- طرق الحصول على توتر كهربائي عال
- أنواع أنابيب الأشعة السينية المستعملة .

1.2 ـ إطلاق الكهيربات

لنعد قليلاً إلى الوراء، إلى تجربة رونتغن التي حصل خلالها على الأشعة السينية. لقد كان يدرس ظاهرة الفلورة التي تحدثها الأشعة المهبطية وكانت الأنبوبة المستعملة فارغة جزئياً من الهواء بحيث أصبح الضغط داخلها منخفضاً جداً (أنظر الصورة رقم 2 ـ 1) .

إذن من الممكن الحصول على أشعة سينية بواسطة أنبوب الأشعة المهبطية وبالتالي من الممكن إصدار حزمة كهيربات داخل الأنبوب. ولكن كيف يتم ذلك ؟



صورة رقم 2 ـ 1
أنبوب الأشعة المهبطية

عندما قلّت كثافة الغاز داخل الأنبوب تباعدت الجزيئات عن بعضها وتأينت أي انقسمت إلى أيونات موجبة وإلى كهيربات بفعل وجود حقل كهربائي بين قطبي أنبوب الأشعة المهبطية .

وعند انجذاب الأيونات الموجبة نحو المهبط تنجذب الكهيربات بقوة نحو المصعد لتنتج الأشعة السينية بالطريقة التي شرحنا آنفاً .

إن إصدار حزمة الكهيربات داخل الأنبوب يتم إذن عند تأيين الغاز المتبقي في الأنبوب بعد إفراغه جزئياً .

ولكن هناك طريقة أخرى لإصدار حزمة الكهيربات داخل أنبوب الأشعة السينية. وهذه الطريقة ترتكز على ظاهرة معروفة باسم ظاهرة إديسون (Edison) .

ويمكن إيجاز الظاهرة كما يلي :

من المعروف أن الذرات والكهيربات الحرة في المعادن دائمة الحركة وأن حركتها تزداد سرعة وبعداً عن مواضع الإتزان بارتفاع درجة الحرارة. وبازدياد هذه الحركة ترتفع قيمة الطاقة الحركية للكهيرب، مما يدفعه، في بعض الأحيان، للخروج من مادة الجسم الحار. ولكن بمجرد خروج الكهيرب من الجسم، يصبح

هذا الأخير مشحوناً بالكهرباء الموجبة مما يؤدي إلى جذب الكهيرب مجدداً إليه إلاّ إذا كانت الطاقة الحركية كبيرة نسبياً .

منذ حوالي ستين عاماً استعمل كولدج (Coolidge) نتائج هذه الظاهرة في مؤسسة جنرال إلكتريك (General electric Company) حيث صنع أنبوباً للأشعة السينية سمي، منذ ذلك الوقت، باسمه .

لقد تم سحب الهواء من أنبوب كولدج بشكل شبه تام بحيث أصبح من الصعب إشعال الكهرباء بين قطبي الأنبوب بواسطة تحويل الغاز النادر المتبقي في الأنبوب إلى أيونات .

ماذا يحدث إذن في أنبوب كولدج ؟

وضع كولدج في الأنبوب شريطاً يخترقه تيار كهربائي فيتحول قسم من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية تحت تأثير ظاهرة جول (Joule) مما يرفع درجة حرارة الشريط حتى ألفي درجة تقريباً. وعندها تندفع بعض الكهيربات إلى خارج الشريط .

ولكننا نعلم بوجود قطبين في الأنبوب : المهبط والمصعد مما يعني وجود حقل كهربائي بينهما. فإذا تم وضع الشريط الحار المشار إليه أعلاه بالقرب من المهبط أصبح من المحتم أن يساعد هذا الأخير (المهبط أي القطب السالب) على دفع الكهيربات نحو المصعد (الموجب) ومنها من العودة إلى الشريط الحار .

وبابتعاد الكهيرب عن المهبط وتوجهه نحو المصعد، تزداد سرعته وطاقته الحركية بحيث يصل إلى المصعد ويساهم بابتعاث أشعة سينية (عامة أو خاصة بمعدن المصعد) بالطريقة التي شرحنا آنفاً .

يتبين مما سبق بأنه يتوجب في كل الحالين السابقين، خلق توتر عال بين قطبي أنبوب الأشعة السينية : المهبط والمصعد. فكلّما ارتفعت قيمة هذا التوتر ارتفعت الطاقة الحركية للكهيرب وازدادت إمكانية اختراقه لإحدى ذرات المصعد ووصوله إلى كهيربات الطبقات الداخلية (مثلا K) وبالتالي ابتعاث أشعة سينية قصيرة طول الموجة .

2.2 ـ آلات التوتر العالي

لقد أشرنا سابقاً إلى ضرورة وجود مهبط مشحون بشكل دائم بالكهرباء السالبة، ومصعد مشحون أيضاً بالكهرباء الموجبة. فمن غير الممكن إذن استعمال التيار المتردد حيث تتغير طبيعة قطبي الأنبوب مرات عديدة بالثانية (50 مرة أو 60 مرة في الثانية) .

من ناحية أخرى يجب الحصول على توتر عال لا يمكن الحصول عليه بوصل قطبي الأنبوبة إلى بطارية أو عدد معقول من البطاريات، لذا فكر مستعملو الأشعة السينية في المرحلة التي تلت اكتشافها، في استعمال آلة أو وشيعة التحريض مع التيار المستمر بعد تزويدها بجهاز لقطع الكهرباء ووصلها مرات عديدة .

ولكن في أيامنا هذه وبعد تطور الكهرباء والإلكترونيات أصبح استعمال التيار المتردد أكثر سهولة وأهمية من استعمال التيار المستمر .

وقد أوجد الباحثون لكل مشكلة حلا مناسباً وبشكل خاص فأوجدوا أجهزة عديدة كل واحد منها قادر على إعطاء قيمة معينة من التوتر .

سنحاول فيما يلي، وبشكل موجز، وصف بعض هذه الأجهزة .

1.2.2 ـ المحولات

المحول جهاز يستعمل لتغيير فولطية التيار الكهربائي المتردد. ليس فيه أجزاء متحركة ويتكون في أبسط أشكاله من ملفين من الأسلاك، أولي وثانوي منعزلين عن بعضهما البعض. فالتيار المتردد في الملف الأولي يحدث بالتحريض (أو الحث) تياراً في الملف الثانوي. وعدد لفات الشريط الكهربائي في الملف الثانوي أكبر من عددها في الملف الأولي. وكلّما زادت لفات الملف الثانوي بالنسبة لعدد اللفات في الأولي، زادت قيمة فولطية التيار الممكن الحصول عليه من الملف الثانوي .

إن أكثر الأجهزة المستعملة حالياً بشكل واسع (الطب، الصناعة وبعض ميادين البحث العلمي) تتشابه فيما بينها من ناحية مبدأ التصميم، وتختلف في بعض التفاصيل العائدة لميدان التطبيقات والاستعمال. وهي تتألف عادة من :

ـ محول مغمور عادة بالزيت (من أجل العزل الكهربائي الجيد) يعمل لتحويل تيار ذي ذبذبة تساوي 50 أو 60 سيكل بالثانية. وفولطية (توتر) تساوي 110 أو 220 فولط إلى فولطية عالية قد تزيد في بعض الحالات عن 400 كيلوفولط .

ـ محول ثان لتزويـد الشريط المعد لإرسال الكهيربات عند اشتداد حرارته، بتيار لا تتعدى قوته 5 أمبير (Ampère) تحت توتر قيمته حوالي 12 فولط (12 volts) .

ـ جهاز لتثبيت قيمة فولطية وشدة التيار .

ـ جهاز لتقويم التيار المتردد (مقوم) أي جعله يمر باتجاه واحد حتى لا تتغير طبيعة المهبط أو المصعد الكهربائية بحيث يصبح التيار المتردد المقوم (Redressé) وكأنه تيار شبه مستمر .

وقد أدخلت بعض التحسينات مع مرور السنين ولكن المبدأ يبقى نفسه. فقد تم اكتشاف غاز (SF_6) ذي قدرة كبيرة على العزل الكهربائي فحل مكان الزيت الذي يغمر المحول ذا الفولطية العالية، مما جعل جهاز الأشعة السينية أخف وزناً.

وهذا الغاز (SF_6) أثقل من الهواء (5.1 مرة أكثر) مما يعني إمكانية وضعه في المحول فيطرد الهواء ويحل مكانه بسهولة .

وتجدر الملاحظة بأن الملف الأولي معزول عن الملف الثانوي والملفان ملفوفان حول نواة مركزية (Magnetic Core wound) لها في أكثر أجهزة الأشعة السينية، شكل دائري .

لا يمكن لأنبوب الأشعة السينية العمل بتيار متردد وذلك للأسباب التي ذكرنا سابقاً. لذا يتوجب الحصول على تيار مستمر يسير الدائرة الكهربائية في اتجاه واحد مما يحتم إضافة مقوم يسمح، كما قلنا أعلاه، بمرور التيار الكهربائي باتجاه واحد ويمنعه من المرور بالاتجاه المعاكس فيتيح بذلك الحصول على تيار شبه مستمر طيلة الوقت أو نصف الوقت حسب المقوم المستعمل. وعندما نقول نصف الوقت نعني الوقت الذي يمضي قبل أن يعود التيار المتردد بنفس الاتجاه ونفس الشدة .

هناك عدة أنواع من المقومات إلاّ أنه يمكن حصرها في مجموعتين اثنتين:

ـ المقوم الميكانيكي، وهو يسمح بمرور التيار باتجاه واحد طوال الوقت لا نصفه فحسب. أهم خصائص المقوم الميكانيكي متانته وأهم عيوبه تنحصر في الأصوات التي يحدثها وفي التأثيرات السلبية التي يخلقها على الدائرة الكهربائية بمجملها .

ـ المقوم الإلكتروني الذي يستخدم فيه، كما يدل اسمه، بعض تقنيات الإلكترونيك. يقوم التيار بحيث يمر باتجاه واحد خلال نصف الوقت (Demi-onde). ولقد أتاح التقدم العلمي الحصول على ما هو قادر على إعطاء تيار باتجاه واحد طوال الوقت (Onde entière) ويمكن إعطاء دارة غراتز (Graetz) كمثل على المقوم الإلكتروني .

2.2.2 ـ مولّدات فان دي غراف (Van de Graaff)

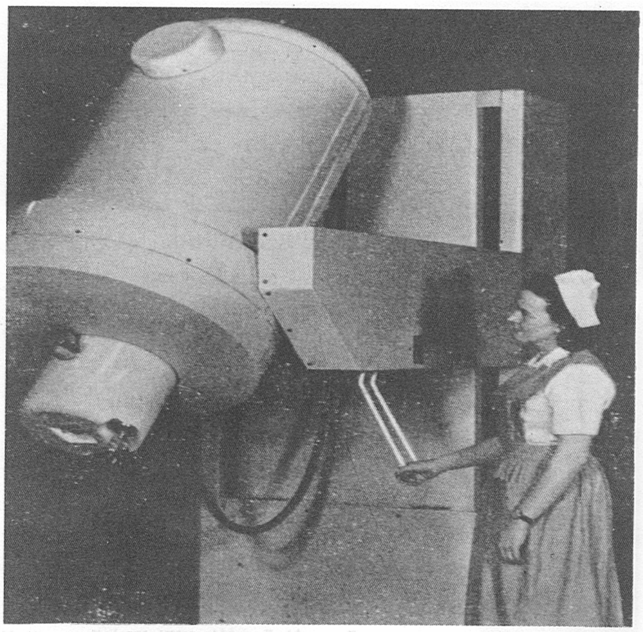
يعتمد هذا المولد على مبدأ كهرسكوني (كهراكدي) اعتقد العلماء لفترة طويلة بأن أهميته تنحصر ببعض التجارب المخبرية التي تجري أمام طلاب الثانويات والجامعات. ويمكن التدليل على هذا المبدأ بالملاحظة التي لاحظها أكثر الناس .

فعند الخروج من الحمام وبعد تجفيف الشعر النظيف جيداً، يسمع البعض، عند تمشيط الشعر بعض الأصوات الصغيرة تصدر عن المشط. وهذه الأصوات تصدر عن شرارات كهربائية صغيرة في المشط. وبكلام آخر بأن احتكاك المشط بالشعر يساهم في انتزاع بعض الكهيربات من الشعر (أو من المشط) وهكذا فإن احتكاك جسمين غير معدنيين ببعضهما يساهم في كهربتهما كليهما .

ولقد استعمل فان دوغراف هذه الظاهرة لبنـاء مولده المعروف حالياً باسمه.

والمولدات الحالية المبنية على هذا المبدأ تستطيع إعطاء تيار كهربائي ذي فولطية مرتفعة جداً تصل إلى أكثر من عشرة ملايين فولط. وهذه المولدات لا تستعمل فقط لتوليد الأشعة السينية وإنما تستعمل في ميداني الفيزياء الذرية والفيزياء النووية على السواء .

ونرى في الصورة رقم (2 ـ 2) مولد أشعة سينية يستعمل في المستشفيات وزنه حوالي الطن. وسبب صغر حجمه هو استعمال النتروجين (N_2) المضغوط من أجل العزل الكهربائي .



صورة رقم 2 ـ 2
مولّد أشعة سينية

وتجدر الإشارة إلى وجود آلات أخرى للتوتر العالي مبنية على مبادئ مختلفة عما ذكرنا سابقاً. فهناك مثلاً البتاترون (Betatron) الذي يعطي 340 مليون فولط. وهناك السنكروترون (Synchrotron) أو السنكروسيكلوترون (synchrocyclotron) الذي يعطي في بعض الأحيان أكثر من مليار فولط .

لن ندخل في تفاصيل عمل هذين النوعين من مولدات التوتر العالي. فبإمكان القارئ مراجعة الكتب المتخصصة (فيزياء الأشعة السينية، أو الفيزياء الذرية) من أجل المزيد من الإيضاح في هذه المواضيع .

3.2 ـ أنبوب الأشعة السينية

يتبين مما سبق أن الفرق بين مختلف أنابيب الأشعة السينية ينتج عن اختلاف طرق إصدار الكهيربات داخل الأنبوب. ويمكن حصر أنواع الأنابيب السينية بنوعين :

1 ـ الأنابيب التي تحتوي على غاز يصار إلى تأيينه بواسطة التوتر العالي المقوم .

2 ـ الأنابيب الإلكترونية وهي تستخدم مصدراً حاراً للإلكترونات، أي شريطاً يخترقه تيار كهربائي فترتفع درجة حرارته بسبب ظاهرة جول .

ففي السنوات العشرين التي تلت اكتشاف الأشعة السينية تم استخدامها في ميدان الطب. وكان الأنبوب المحتوي على غاز هو الوحيد المستعمل. وكان هذا الأنبوب مزوداً بجهاز يسمح بإدخال الغاز إليه. فاستعمال الأنبوب المتواصل يؤدي إلى نقصان في كمية الغاز وبالتالي إلى خفض ضغطه مما يستدعي استعمال توتر ذي فولطية أعلى من أجل تأيين الغاز .

وقد رأينا أنه كلّما زادت فولطية التوتر قصرت موجة الأشعة السينية. فللمحافظة على نوع معين من الأشعة السينية يتوجب المحافظة على ضغط شبه ثابت داخل الأنبوب .

ومع تقدم التقنية، وبعد إنتاج أول أنبوب إلكتروني أهمل الأنبوب الذي يحتوي على غاز لأسباب عديدة لن نحاول حصرها هنا. ولكن أهم هذه الأسباب ينحصر في محاولة تغيير شدة الطيف السيني دون تغيير فولطية التوتر، وبالتالي دون تغيير أطوال موجة الطيف السيني المنتج .

وقد ظهرت في بعض الميادين (كالطب وعلم البيولوجيا) ضرورة إيجاد أشعة سينية ذات طول موجة متناهية القصر مما حتّم إيجاد أنواع جديدة من أنابيب الأشعة السينية تعمل تحت توتر ذي فولطية مرتفعة جداً .

إن ارتفاع الطاقة المستعملة في أجهزة الأشعة السينية وفي أنبوب الأشعة السينية، ووصول حزمة كبيرة من الإلكترونات (ذات طاقة حركية كبيرة) إلى

المصعد يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة معدن هذا الأخير. ومن أجل الحؤول دون وصول إلى حالة الذوبان يصار عادة إلى تبريده بماء يجري في أنابيب خاصة مثبتة داخله .

وتبقى الطريقة التي تقضي بوضع الأنبوب كاملاً في الزيت الوسيلة الفضلى، إذ أنها، إضافة إلى تبريده، تساهم في الحفاظ عليه من الصدمات الخارجية .

وتجدر الإشارة إلى وجود أنواع كثيرة من الأنابيب تختلف بعضها عن بعض، إضافة إلى ما سبق، بشكل المصعد أو بإمكان تغييره بين تجربة وأخرى. كما تختلف بدرجة الحرارة التي يمكن أن يتحملها الشريط الحار المجاور للمهبط والمعد لإطلاق الكهيربات .

4.2 ـ قياس شدة الأشعة السينية

يمكن تحديد حزمة معينة من الأشعة السينية بعاملين اثنين :

- الأول كمي وهو شدة الحزمة .
- والثاني نوعي ويتعلق بالتوزيع الطيفي لشدة الأشعة أي للطاقة. والشدة هي كمية الطاقة التي يحملها إشعاع معين بالثانية ومن خلال وحدة قياس مساحة موجودة في مسطح عامودي على مسار الأشعة المستقيم. وسنحدد وحدة القياس فيما بعد .

وقد يصعب في بعض الحالات قياس هذه الشدة مباشرة، لذا يعمد العلماء، كما هو العادة في أكثر القياسات، لقياسها بشكل غير مباشرة، أي بقياس نتائج اختراق الأشعة السينية للمادة. وهكذا وبعد ربط شدة الحزمة بالتأثيرات الفيزيائية، الكيميائية أو البيولوجية يصار إلى تحديد طرق القياس .

وتأثيرات الأشعة السينية كثيرة كما سنرى فيما بعد. ونكتفي هنا بعرض بعض طرق قياس الأشعة السينية المتعلقة ببعض هذه التأثيرات الأكثر استعمالاً .

1.4.2 ـ الطريقة الحرارية

عندما تصطدم حزمة أشعة سينية بقطعة معدنية ذات أبعاد تسمح بامتصاص الحزمة بشكل شبه كلي (97% فما فوق) تتحول الطاقة الممتصة إلى

طاقة حرارية. وهذا يعني أن كل الإشعاعات الثانوية والكهيربات التي تحررها الأشعة السينية من المعدن، يمتصها الجسم المعدني من جديد. وتكون النتيجة ارتفاع حرارة المعدن .

هذا المبدأ استعمل بدقة في الكثير من القياسات المتعلقة بالأشعة السينية، نذكر منها :

- قياس كمية الطاقة (الشدة) الموجودة في حزمة الأشعة السينية .
- قياس توزيع الطاقة في طيف الأشعة السينية .
- قياس تغير شدة الحزمة مع تغير فولطية التوتر المسلط على أنبوب الأشعة السينية .
- قياس علاقة الطاقة التي يطلقها أنبوب الأشعة السينية بالطاقة الكهربائية التي تعطى له .
- قياس علاقة الطاقة بطول الموجة وبالتأيين الذي تحدثه حزمة الأشعة السينية في غاز أو جسم معين .
- قياس علاقة شدة الأشعة السينية والتأثيرات الفوتوغرافية التي تحدثها على لوحات التصوير .

والأجهزة التي تستعمل عادة في هذا المجال تتألف من قسمين متساويين : قسم يسخن بواسطة الأشعة السينية والثاني بواسطة الكهرباء. ويتم وضع القسمين بشكل متلاصق بحيث يسهل مقابلة درجتي حرارتيهما. وتتعدد الطرق التي يمكن بها الوصول إلى درجة الحرارة نفسها في كلا القسمين، مما يسمح بالقول بأن كمية الطاقة التي تنقلها الأشعة السينية بالثانية تساوي كمية الطاقة الكهربائية التي يحصل عليها القسم الثاني في الثانية .

ويتم قياس الطاقة الكهربائية بواسطة أجهزة خارجية تسمح بقياس فولطية التيار وشدته بشكل دقيق .

وطرق القياس الحرارية، تعتمد إذن على قياس مقادير صغيرة مما يستوجب أخذ احتياطات كبيرة عند العمل. وبالتالي فإن هذه الطريقة لا تستعمل في التجارب العادية .

وتجدر الإشارة إلى أن التقدم التقني وإيجاد مواد تتغير مقاومتها بشكل كبير عند أي تغير طفيف لحرارتها (مثلا Thermistor) ساهم مساهمة فعالة في قياس تغير حرارة المعدن بشكل دقيق جداً .

2.4.2 ـ التأين

عندما تخترق الأشعة السينية غازاً معيناً، تحرر من بعض جزيئاته كهيربات (Photo-électrons) محملة بطاقة حركية كبيرة مما يجعل امتصاص الجزيئات لها من جديد صعباً. واختراق هذه الإلكترونات للغاز يؤدي إلى تحطيم بعض الجزيئات وقسمتها إلى أيونات سالبة وأخرى موجبة والطاقة اللازمة لتحطيم الجزيء تؤخذ من الطاقة الحركية للكهيرب مما يؤدي إلى خفض قيمة هذه الأخيرة وبالتالي إلى إمكانية إعادة امتصاص الكهيرب من قبل أحد الأيونات المتواجدة في الغاز .

وإذا وضعنا في طرفي الأنبوب الذي يحوي هذا الغاز، قطبين موصولين بجهاز توتر عال انجذبت الأيونات السالبة نحو القطب الموجب (المصعد) والأيونات الموجبة نحو المهبط. وهذا ما يعادل مرور تيار كهربائي في الأنبوب يمكن قياس شدته بالوسائل المعروفة .

ومن الضروري أن تكون فولطية التوتر العالي مرتفعة وكافية لجذب كل الأيونات التي توجدها الأشعة السينية في الغاز .

ومن الضروري أيضاً أخذ الاحتياطات الكافية لمنع وصول الأشعة السينية إلى معادن القطبين إذ أن وصول حزمة من الأشعة السينية إلى معدن القطب سيحرر كهيربات لها طاقة حركية قد تساهم بدورها بتأيين الغاز مما يدخل بعض الخطأ في القياسات .

ومنذ اكتشاف قدرة الأشعة السينية على تأيين الغاز بدأ العلماء بصنع عدادات للقياس ذات أشكال مختلفة. وقد توصلوا إلى صنع أنابيب مملوءة بالغاز، مزودة بمهبط ومصعد. المهبط اسطواني الشكل والمصعد عبارة عن شريط معدني موجود في محور الاسطوانة. وحسب فولطية التوتر المسلط على القطبين يمكن الحصول على أنواع ثلاثة :

أ ـ أنبوب تأيين وهو عداد يعمل تحت فولطية خفيفة (أقل من 200 فولط).
ب ـ عداد نسبي وهو عداد يعمل تحت توتر متوسط الفولطية (أقل من ألف فولط) .
ج ـ عداد جايجر (Geiger) ويعمل بفولطية عالية .

وتجدر الإشارة إلى أن كمية الكهرباء التي تنجذب نحو المهبط (أو المصعد) تساوي، في العداد الأول، تلك التي حررت خلال عملية التأيين بالأشعة السينية. أما في العداد النسبي فهي تساوي أكثر بكثير (عشرة آلاف مرة أكثر في بعض العدادات) من كهرباء الأيونات بسبب وجود تأيين ثانوي. وعداد جايجر يعطي حتى عشرة مليارات مرة أكثر من الكهرباء المحررة في عملية التأيين الأولية .

ولن ندخل هنا في شرح عملية مضاعفة شدة الكهرباء المقيسة، خارج العداد. ويمكن للقارئ، مراجعة الكتب المتخصصة في قياسات الأشعة للتزود بإيضاحات وافية. ولكن تجدر الإشارة إلى أنه كلّما زادت كمية الكهرباء التي تنجذب داخل العداد إلى المهبط والمصعد، زادت شدة التيار الكهربائي وقلّت بالتالي نسبة الخطأ في القياس .

فإذا كانت كمية الكهرباء هذه تساوي مثلاً مليون مرة كمية الكهرباء المحررة بالأشعة السينية كان الخطأ المرتكب في قياس شدة الأشعة السينية يساوي جزءاً من مليون من قيمة الخطأ المرتكب في قياس شدة التيار الكهربائي. ومن هنا تأتي أهمية العداد النسبي وعداد جايجر .

3.4.2 ـ طرق أخرى للقياس

في العام 1946 اكتشف العالم فريريك أن لبلوريات كبريت الكادميوم (CdS) توصيلية ضوئية كبيرة نسبياً (30.10^{-6}Ampere) يمكن قياسها بواسطة أجهزة حساسة وذلك عند تلقيها حزمة من الأشعة السينية. وهذا ما دفع العلماء لاستعماله في أجهزة قياس الأشعة السينية .

وبعد هذا التاريخ تتابعت الأبحاث الأساسية في ميدان فيزياء الأجسام الصلبة وميدان علم البلوريات حيث تم تحضير أجسام صافية حتى درجة كبيرة.

وبشكل خاص فقد تم تحضير أجسام نصف موصلة، كالسيليسيوم (Si) والجرمانيوم (Ge) وغيرهما، ذات توصيلية ضوئية لا بأس بها. وهذه الأجسام تستعمل حالياً في العدادات الدقيقـة، ليس في ميدان الأشعة السينية فقط بل في ميدان الفيزياء النووية حيث تستعمل في أجهزة قيـاس شدة حزمة النترونات مثلاً.

وتجدر الإشارة إلى أن التوصيلية الضوئية في أنصاف الموصلات هذه تزداد بازدياد صفاء الجسم مما يحتم أخذ الاحتياطات الدائمة لأبعاد الجسم نصف الموصل عن كل من يمكن أن يزوده بشوائب. لذا يتوجب وضع السيليسيوم أو الجرمانيوم في وعاء مفرغ من الهواء ومبرد دائماً بواسطة الهواء السائل : 77 درجة كلفن (حوالي مئتي درجة تحت الصفر) .

وقد رأينا من ناحية ثانية آنفاً كم لعبت الفلورة دوراً في تسهيل اكتشاف الأشعة السينية. وفي السنوات العشرين الأخيرة عاد العلماء للاهتمام بظاهرتي الفلورة والفسفرة اللتين تحدثهما الأشعة السينية من أجل إيجاد عدادات لقياس شدة الأشعة .

وبالفعل توصل العلماء إلى صنع لوحـات مغطّاة بمواد خاصة مثل سيليكات التوتيا تحدث نوعاً من الفلورة عند وصول حزمة الأشعة السينية إليها. وهذا، ما أعطى لهذه اللوحات بعض التطبيقات في التصوير المرئي. وسنرى ذلك فيما بعد.

والذي يهمنا في أمر الفسفرة والفلورة هنا هو استعمال الظاهرة من أجل صنع عدادات لشدة الأشعة السينية. وبالفعل فقد توصل العلماء إلى استعمال هذه الظاهرة عندما فكروا بإيجاد خلية ضوكهربائية قادرة على قياس شدة الفسفرة وبالتالي شدة الأشعة السينية التي تحدث الفسفرة .

وقبل أن ننهي كلامنا عن الطرق المستعملة لقياس شدة الأشعة السينية نشير إلى وجود طرق أخرى كثيرة لهذا الغرض وخاصة الطرق الفوتوغرافية التي تتعلق بالعملية الكيميائية التي تحدثها الأشعة السينية على اللوحة الحساسة. وقد صنع الباحثون جهازاً أسموه ميكروفوتومتر يستخدم لقياس شدة الأشعة السينية وهو يستعمل بشكل مستمر في كل مجالات العمل بالأشعة السينية .

بعد تعرض الفيلم (اللوحة الحساسة) لطيف الأشعة السينية وحصول التأثيرات الكيمياضوئية، التي تعتمد على الأشعة السينية عليه، تتم دراسته بواسطة الميكروفوتومتر بالطريقة التالية :

تخترق حزمة من الأشعة العادية ذات شدة ثابتة الفيلم الذي يتحرك ببطء باتجاه مستقيم وبسرعة ثابتة. وتختلف شدة الأشعة المخترقة للفيلم، باختلاف شفافية الفيلم. فكلما قلّت هذه الشفافية (بوجود بقع سوداء بسبب التأثيرات الكيمياضوئية) نقصت شدة الأشعة .

فإذا ما أخذنا هذه الأشعة، بعد اختراق الفيلم استطعنا قياس شدتها بواسطة أجهزة خاصة (ظاهرة الضوكهربائية مثلاً) وبالتالي أصبح بالإمكان معرفة تغير شفافية (أو كثافة، ومن هنا أتت تسمية الجهاز) الفيلم وتغير شدة الأشعة السينية المستعملة .

تتجلى أهمية هذا الجهاز في ميادين الأبحاث التالية :

- قياس طول موجة الأشعة السينية والشدة النسبية لموجات الطيف
- التحليل الكمي في الكيمياء
- الدراسة الكمية للصور بالأشعة السينية
- دراسة الصور في تجارب الحيود من أجل معرفة التركيب البلوري للأجسام الصلبة .

إن وحدة قياس شدة الأشعة السينية تسمى رونتغن (Roentgen) وتحدد كما يلي :

الرونتغن تساوي كمية الأشعة السينية (أو أشعة غاما) التي تحرر من 0.001293 غرام هواء كمية كهرباء موجبة معادلة لوحدة كهرسكونية (U.E.S)، (ومثلها من الكهرباء السالبة) .

ومن ناحية ثانية فقط لاحظ علماء البيولوجيا تأثير الأشعة السينية على الخلايا الحية وخاصة على خلايا الجلد. فجميع الذين عملوا بالأشعة السينية يعلمون كيف يصبح لون الجلد أحمراً إذا ما تعرض لفترة قصيرة للأشعة السينية .

وتعرض الخلايا الحية للأشعة السينية لفترة طويلة يميتها. وهذا ما دعا العلماء إلى تحديد الجرعة التي يمكن للإنسان أن يتعرض لها دون حدوث خطر على حياته. ولكن وحدة قياس الجرعة لم يتفق عليها بسبب تغير شروط احتمال الأشعة السينية بين إنسان وإنسان. ولكن يبدو أن هناك شبه اتفاق على استعمال وحدة تسمى رب (rep) أو (röentgen – equivalent – physical) أي وحدة فيزيائية معادلة للرونتغن. وهذه الوحدة تساوي امتصاص 93 إرغ (93 ergs) بواسطة غرام واحد من الخلايا .

تجدر الإشارة إلى أن كل وحدة حرارية : سعر تساوي $4,18 \times 10^7$ إرغ (1 cal=$4,18 \times 10^7$ergs) .

ونظراً لإمكانية قتل الخلايا الحية بواسطة الأشعة السينية (كما سنرى ذلك فيما بعد) اقترح بعض العلماء إيجاد أنبوب تأيين بيولوجي (تسمية مجازية) لقياس شدة الأشعة السينية. وقد لوحظ أن علبة مليئة ببيض الهمجة، أي ذبابة الفواكه والخل (Drosophile) تفي بالغرض المطلوب جيداً. إذ أن 180 رونتغن تقتل 50% من البيض و500 رونتغن تقتل 90%...الخ. وهذه النتائج ثابتة بين تجربة وأخرى .

وعند قياس شدة حزمة سينية معينة، يصار إلى عد البيضات التي تفقس وتلك التي تعطلت فنعرف نسبة الأولى على العدد الإجمالي للبيض وبالتالي نعرف كمية الأشعة السينية المسلّطة .

5.2 ـ قياس طول الموجة

من المعلوم أن الطاقة المشحونة في الفوتون تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك بذبذبة الأشعة

$$E = h N$$

ولكن الذبذبة N تساوي حاصل قسمة سرعة الضوء بطول موجة الأشعة

$$N = \frac{C}{\lambda}$$

وإذا أردنا ربط الطاقة بطول الموجة نجد :

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

فمعرفة طول الموجة يؤدي لمعرفة الطاقة وهذا شيء مهم بالنسبة للعاملين في ميدان فيزياء الأشعة السينية .

ومن ناحية ثانية فإن قدرة الأشعة السينية على اختراق المادة تزداد كلما قصر طول الموجة وذلك لسببين :

1 ـ لزيادة الطاقة التي تحملها الفوتونات

2 ـ لأن الموجة القصيرة تصبح أصغر أو مساوية للمسافة بين الذرات المكونة للمادة .

ومن هنا أتت الأهمية التي يعلّقها العلماء على الحصول على أشعة سينية (قاسية) ذات طول موجة قصير من أجل علاج المناطق الداخلية في الإنسان أو من أجل بعض الدراسات الفيزيائية .

ولكن هذا لا يعني أن العلم لا يعلّق أهمية على الأشعة الطرية ذات طول الموجة الطويل. فالدراسات لسطح المواد أو للتفاعلات الفيزيائية التي تجري على سطح المادة تجري بواسطة أشعة سينية لها قدرة خفيفة على الاختراق أي تلك التي تبقى عملياً على سطح المادة بحيث لا تتفاعل إلاّ مع الذرات الموجودة على سطح المادة .

ويمكن إعطاء مثل على ذلك، دراسة امتزاز الغاز على سطح الوعاء الذي يحويه. ودراسة احتلال الغاز لبعض الفراغات في الأجسام الصلبة المسامية (Porosity) .

أما في ميدان دراسة تركيب البلّوريات (حيث يصار إلى توجه حزمة من الأشعة السينية إلى البلور ثم دراسة التوزيع الطيفي، من حيث الشدة، للحزمة المحيدة تبقى معرفة طول موجة الأشعة السينية المستعملة أمراً بالغ الضرورة لحساب أطوال الخلية الأساسية للبلور ووضع الذرات داخلها .

إن هذه الأهمية لمعرفة طول الموجة دفعت العلماء لاستنباط طرق قياس لطول الموجة هذا. وهذه الطرق تعتمد على المبادئ التالية :

1 ـ الحيود بواسطة شبكة بالمعنى المتعارف عليه في علم البصريات الفيزيائية .

2 ـ الحيود بواسطة البلورات. وسنتوسع في دراسة هذا الموضوع في فصل لاحق .

3 ـ الإنكسار عند اختراق حزمة الأشعة السينية لمنشور .

4 ـ دراسة ظاهرة امتصاص بعض المواد المعروفة للأشعة السينية .

لقد رأينا أن انكسار حزمة من الأشعة السينية، عند مرورها من مادة إلى مادة، يبقى ضئيلاً مما يجعل الخطأ في القياسات كبيراً نسبياً .

إن الطريقة الأكثر استعمالاً هي حيود الأشعة السينية بواسطة بلور معروف أي أن الذرات التي تتوزع فيه معروفة وتركيبه البلوري معروف. وكما سنرى في فصل لاحق أن معرفة بلور معين تستدعي معرفة :

أ ـ طبيعة العنصر أو المركّب (حديد ـ ذهب ـ ملح طعام ...إلخ) وصيغته الكيميائية .

ب ـ شكل الخلية البلورية : مكعب، مستقيم المعين ... إلخ .

ج ـ الأطوال (الأبعاد) والزوايا التي تحدد الخلية البلورية : طول الضلع بالنسبة للمكعب؛ والطول والعرض والارتفاع بالنسبة لمستقيم المعين ... إلخ .

د ـ توزيع الذرات في الخلية البلورية .

إن أي بلّور، مهما صغرت أطواله، هو مؤلف من آلاف لا بل ملايين الخلايا البلورية مما يعني أنه من الممكن تخيل مسطحات متوازية تحتوي على بعض الذرات الموجودة في البلور. ولو اعتبرنا أن المسافة بين كل مسطحين متجاورين تساوي d وأن حزمة الأشعة السينية المسلّطة على البلور تشكل مع كل سطح زاوية تساوي θ، يصبح من الممكن إيجاد معادلة تسمى بمعادلة براغ (Bragg) وهي :

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

حيث أن λ هي طول موجة الأشعة المستعملة و n هي عدد صحيح :

$$n = 1,\ 2,\ 3\ldots$$

وسنرى في فصل لاحق كيف يمكن قياس θ. وبما أن البلور معروف التركيب يصبح من الممكن معرفة d وبالتالي معرفة كل أطوال الموجات λ التي تحقق معادلة براغ الآنفة الذكر .

هذه الطريقة تستعمل، ليس فقط لقياس طول موجة أشعة سينية أحادية طول الموجة وإنما من أجل اختيار حزمة أشعة سينية أحادية طول الموجة من بين حزمة أشعة سينية متعددة طول الموجة. واختيار مثل هذه الحزمة الأحادية طول الموجة مهم جداً في عدة ميادين للبحث العلمي وخاصة في ميدان علم البلوريات .

الفصل الثالث
الأشعة السينية والمادة

عندما تلتقي أو تخترق أشعة سينية مادة معينة يحدث عدد من التفاعلات المعقدة. من بين هذه التفاعلات يمكن ذكر :

أ ـ امتصاص المادة للأشعة السينية .
ب ـ انتشار الأشعة السينية أو تشتتها .
ج ـ الحيود وهو حالة خاصة من الانتشار .

وتعود هذه التفاعلات في أكثر الأحيان إلى قصر طول الموجة السينية ـ وهذا ما يستتبع نتيجتين أساسيتين :

أ ـ طول الموجة يصبح قريباً جداً من المسافة بين ذرتين متجاورتين في المادة وهذا ما يجعل قدرة اختراق المادة أكبر .
ب ـ مقدار الذبذبة يصبح مرتفعاً وكذلك كمية الطاقة المشحونة في الفوتون كما رأينا سابقاً. وارتفاع كمية الطاقة يسمح للفوتون باختراق الذرة والوصول إلى كهيربات الطبقات الداخلية من أجل التفاعل معها.

وسنتطرق فيما يلي إلى دراسة الظواهر الفيزيائية التي تحدث بعد "امتصاص" المادة للاشعة السينية .

1.3 ـ الإمتصاص

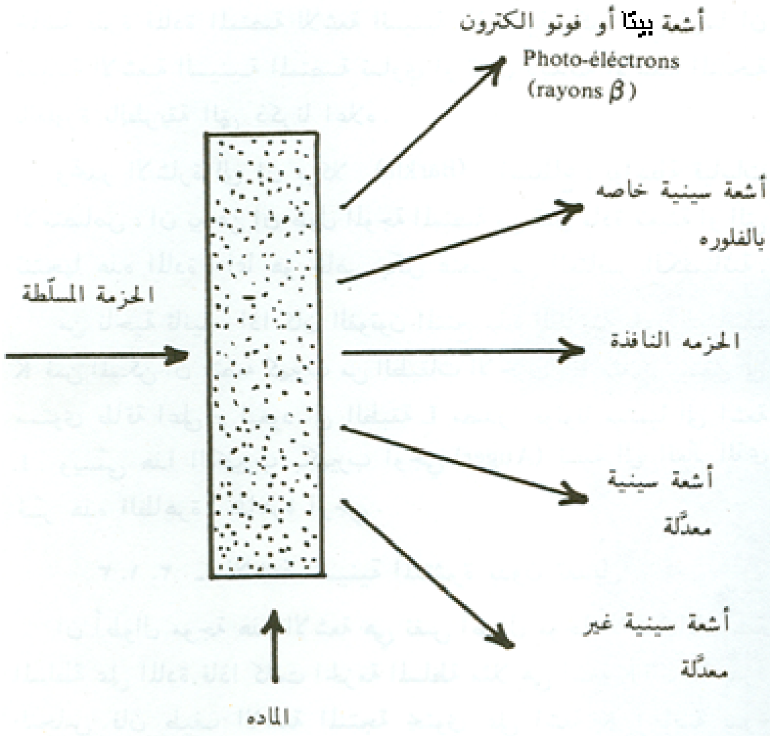
إن امتصاص المادة للأشعة السينية حسب قوانين محددة يرتدي أهمية قصوى في الفيزياء التطبيقية. واختلاف الامتصاص بين نقطة وأخرى، في مادة غير متجانسة وذات ثقل نوعي غير ثابت، هو أساس مبدأ التصوير بالأشعة السينية في الطب والصناعة كما هو أساس تطبيقات أخرى لا مجال لذكرها الآن .

ولقد استطاعت علوم الأشعة السينية أن تتطور بفضل قياسات الامتصاص التي كانت تعطي معلومات هامة عن التركيب الذري للمواد وعن تغير الثقل

النوعي بين نقطة وأخرى. لذا نرى أنه منذ أن اكتشف رونتغن الأشعـة السينية حتى العام 1913 (حين استطاع لاو (Laue) وبراغ (Braggs) إدخال ظاهرة الحيود بواسطة البلورات) تطورت الميادين التي تعتمد على ظاهرة الامتصاص .

ماذا يحدث عن امتصاص المادة لحزمة من الأشعة السينية ؟

عندما تلتقي الحزمة السينية المادة تحدث عدة تفاعلات أوجزناها في الصورة رقم (3 ـ 1) على الرغم من أن التجربة تدل على وجود تفاعلات أخرى إضافة إلى ما هو مبين في الصورة رقم (3 ـ 1). وكمثال على ذلك يمكن ذكر تحول الطاقة المشحونة بالفوتونات إلى طاقة حرارية مما يرفع حرارة المادة الممتصة للأشعة السينية .



صورة رقم 3 ـ 1
تفاعلات الأشعة السينية مع المادة

وسنشرح فيما يلي بعض هذه التفاعلات :

1.1.3 ـ أشعة الفلورة السينية

يتم إصدار هذه الأشعة السينية بنفس الطريقة التي يتم فيها إصدار الأشعة السينية عند التقاء الأشعة المهبطية بالمصعد (راجع الفصل الأول) .

ويمتص أحد الكهيربات في إحدى ذرات المادة الفوتون السيني فترتفع طاقته وينتقل من مستوى طاقة معينة في الذرة إلى مستوى طاقة أعلى، ولكنه يعود ثانية إلى طبقته الأولى مصدراً فوتوناً ذا طاقة تساوي الفرق بين طاقتي المستويين. فإذا كان مستوى الطاقة الأدنى ينتمي إلى الطبقة k أسميت الأشعة الصادرة أشعة K وهي نفس الأشعة التي تصدر عن نفس المادة إذا ما صنع مصعد أنبوب الأشعة السينية منها .

وهذا يعني أن الأشعة السينية المنتجة بهذه الطريقة، أي بالفلورة، هي خاصة بذرة المادة الممتصة للاشعة السينية الأساسية. كما يعني أيضاً أن ذبذبة الأشعة السينية الممتصة تساوي أو تفوق ذبذبة الأشعة المنتجة بالفلورة بالطريقة التي ذكرنا أعلاه .

وتجدر الإشارة إلى أن بركلا (Barkla) استطاع، بواسطة قياسات الامتصاص، أن يبرهن أن طول الموجة الممتصة من قبل مادة معينة أو التي تنتجها هذه المادة، إنما هو خاص بكل عنصر من العناصر الكيميائية .

من ناحية ثانية، إذا كان الفوتون المنتج بهذه الطريقة يعود إلى أشعة K فمن الممكن أن يمتصه كهيرب من الطبقات الأخرى، L مثلا، لينتقل إلى مستوى طاقة أعلى ثم ليعود إلى الطبقة L مصدراً فوتوناً منتمياً إلى أشعة L. ويسمى هذا الكهيرب بكهيرب أوجي (Auger) نسبة إلى العالم الذي فسر هذه الظاهرة : أوجي .

2.1.3 ـ الأشعة السينية المنتشرة بدون تعديل

إن أطوال موجة هذه الأشعة هي نفس أطوال موجة الأشعة الأساسية المسلطة على المادة فإذا كانت الحزمة المسلطة مثلاً هي أشعة K الخاصة بذرة

النحاس فإن طيف الأشعة المنتجة يحتوي على أشعة K الخاصة بذرة النحاس. وهذا يعني أنه تم انتشار الأشعة السينية بدون تعديل في طول الموجة. ولكن لا يمكن أن نفصل هذا الانتشار أو التشتت عن باقي التفاعلات .

والتشتت أو الانتشار هو الانعكاس غير المنتظم أو الانكسار غير المنتظم، أو كلاهما، لحزمة من الأشعة. وهو أيضاً التأثير الناتج عن وجود مادة جامدة في طريق حزمة ضوئية أو صوت أو جسيمات ذرية. إن انعكاس أو حيود الأشعة السينية بواسطة البلورات هو حالة خاصة من حالة الانتشار بدون تعديل .

3.1.3 ـ الأشعة السينية المنتشرة والمعدلة بظاهرة كومتون (Compton)

أثناء دراسة طيف الأشعة السينية الناتجة عن امتصاص مادة محددة لحزمة سينية أساسية، اكتشف كومتون (Compton) ودبي (Debye) ظاهرة ساهمت مساهمة كبيرة في تطوير العلوم الفيزيائية. لقد اكتشفا أن طيف الأشعة السينية المنتشرة والخاصة بالحزمة الأساسية الممتصة (وليس بالمادة) يحتوي ليس فقط على أشعة سينية طول موجتها يساوي طول موجة الأشعة الممتصة (راجع المقطع ب) بل يحتوي أيضاً على أشعة ذات أطوال موجة أكبر من طول الأشعة الممتصة (الذبذبة إذن أقل وبالتالي شحنة الطاقة في الفوتون أصغر). وهذا يعني أنه حصل خلال الانتشار تغير أو تعديل ما .

وهذا التغير ينتج عما يسمى اليوم بظاهرة كومتون التي تلاحظ في عدة ميادين في الفيزياء الذرية والنووية. ويمكن تلخيص هذه الظاهرة بما يلي :

عندما يلتقي فوتون مشحون بطاقة E_0 كهيرباً، يحدث له تراجع. ولهذا التراجع اتجاه يستدعي تغيراً أو تعديلاً في اتجاه الفوتون وطاقته التي تصبح E وهي أصغر حتما من E_0. وبكلام آخر فإن طول موجة الأشعة بعد التقاء الكهيرب أكبر من طول الموجة قبل الالتقاء .

وتجدر الإشارة إلى أن ظاهرة كومتون هذه لا تعتمد مطلقاً على العدد الذري للجسم الذي ينشر أو يشتت الأشعة السينية، وإنما تعتمد فقط على الزاوية بين اتجاه الحزمة الأساسية واتجاه الحزمة المنتشرة .

وتجدر الإشارة إلى أن النسبة بين الأشعة السينية المعدلة وتلك التي لم تعدل، تتغير بتغير العدد الذري للجسم الذي يتلقى الحزمة الأساسية .

4.1.3 ـ أشعة بيتا (β rays)

إضافة إلى ما سبق فإنه بإمكان الأشعة السينية عند وصولها إلى سطح المادة، ان تخرج كهيربات من المادة نفسها. فإذا كانت الأشعة السينية المستخدمة أحادية طول الموجة أصبحت الطاقة الحركية لبعض الكهيربات المحررة تساوي طاقة الفوتون الممتص مهما كانت طبيعة المادة الكيميائية .

وهذه الكهيربات هي التي يمكن اعتبارها غير مرتبطة كثيراً بالمادة، أو هي بكلام آخر، تلك التي تستدعي طاقة ضئيلة جداً لفصلها عن المادة .

وحزمة الكهيربات المحررة هذه تسمى أشعة بيتا المشتتة لأن طاقتها مستمدة من ذبذبة الأشعة السينية المستخدمة .

وإلى جانب هذه الكهيربات، يتم تحرير كهيربات أخرى ذات طاقة حركية تختلف باختلاف طبيعة الذرة المكونة أو الموجودة في المادة، وهي دائماً أقل من طاقة الكهيرب. أما الفرق فيساوي قيمة الطاقة الضرورية لسلخ كهيرب من إحدى طبقات الذرة .

ولقد برهن العالم الفرنسي دوبرويل (De Broglie) أن الطاقة الضرورية لسلخ كهيرب إنما هي تلك الطاقة التي تحدد أي مستوى من مستويات الذرة K,L,M… التي تضم الكهيرب المنوي تحريره .

وتشكل دراسة هذه الكهيربات طريقة مهمة لمعرفة مستويات الطاقة في ذرة محددة. وبعد تطوير تقنية صناعة عدادات جايجر (Geiger) تم استحداث جهاز يستعمل للتحليل الكيميائي، وذلك بدراسة طيف الكهيربات المنطلقة من المادة المنوي تحليلها بعد امتصاصها لحزمة من الأشعة السينية .

وتجدر الإشارة إلى أن طاقة الأشعة السينية المنتجة بتوتر أقل من 70 ألف فولط تنتقل عند اختراق جسم الإنسان مثلاً، إلى الكهيربات التي تعود فتخسر

طاقتها عند تأيين جزيئات الجسم. وهذا التأيين هو أساس التأثيرات البيولوجية للأشعة السينية والتي سنتحدث عنها في فصل لاحق .

وعندما نرفع فولطية التوتر، يقل إنتاج الكهيربات حتى ينعدم تقريباً وتصبح ظاهرة انتشار الأشعة السينية هي الظاهرة الأهم. وعندما تصبح هذه الفولطية أكبر من مليون فولط، تحدث تفاعلات أكثر تعقيداً من تلك التي ذكرنا حتى الآن .

5.1.3 ـ حيود الأشعة السينية بواسطة البلورات

لقد كان لاكتشاف لاو ظاهرة حيود الأشعة السينية بواسطة البلورات، الأثر المهم في حقلين :

1 ـ علوم الأشعة السينية، إذ ساهمت بالبرهان على الطبيعة الموجية للأشعة السينية .

2 ـ علم البلوريات إذ برهن حيود الأشعة السينية بواسطة البلوريات على وجود تناظر (تناسق) في البلور لم يكن بالإمكان إثباته قبل ذلك (عام 1912) .

ويتم حيود الأشعة السينية عند انعكاسها على مسطّحات شبكية تحتوي على عدد من الذرات المكونة للبلور. ويحصل الانعكاس، حسب نظرية براغ، حسب قوانين الانعكاس العادية، والفرق بين المرايا المسطّحة وهذه المسطّحات يكمن في أن هذه الأخيرة شبه شفافة، مما يعني أن قسماً من حزمة الأشعة السينية ينعكس والقسم الباقي يكمل طريقه لينعكس على مسطّحات أخرى .

وبالتقاء الشعاعات المنعكسة تحدث ظاهرة التداخل المعروفة في حقل البصريات الفيزيائية والتي أثبتت في تجربة لاو عام 1912 أن طبيعة الأشعة السينية هي نفس طبيعة الضوء العادي مع فارق طول الموجة .

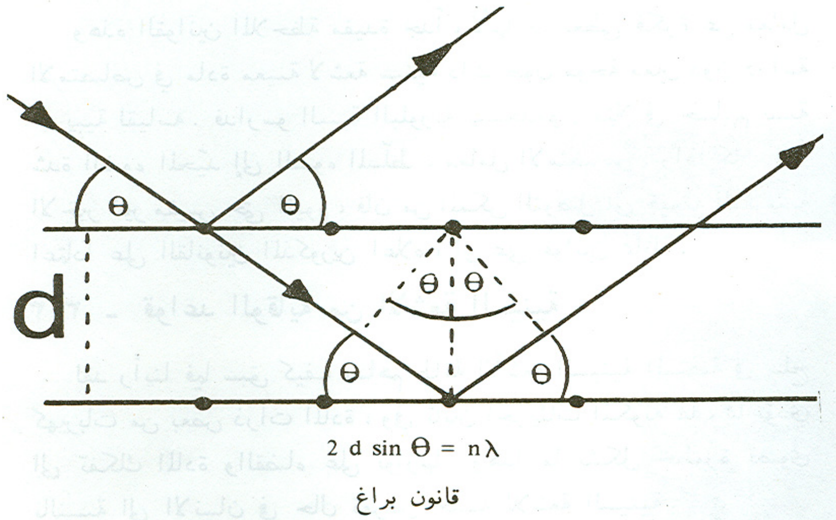
وظاهرة التداخل تعني وجود نقاط أو أماكن تكون شدة الضوء فيها قصوى وأماكن أخرى تكون شدة الضوء فيها ضئيلة أو معدومة في حال استعمال أشعة سينية أحادية طول الموجة .

ولقد برهن براغ في قانونه المعروف أن الأماكن الشديدة الضوء يمكن تحديد اتجاهها بزاوية بحيث نحصل على المعادلة التي ذكرنا في فصل سابق وهي:

$$2d \sin \theta = n \lambda$$

d = المسافة بين مسطحين متوازيين من مسطحات البلورة
λ = طول موجة الأشعة
n = عدد صحيح

أنظر الصورة رقم 3 ـ 2 .



صورة رقم 3 ـ 2

وسنعود، في فصل لاحق لدراسة أكثر وضوحاً لهذا القانون. ونكتفي هنا بالإشارة إلى أن الانعكاس الذي تكلمنا عنه سابقاً هو صورة تبسيطية لحقيقة التفاعل بين البلور والأشعة السينية المسلّطة. ولكن تبقى النتائج العملية، بالنسبة للتطبيقات، صحيحة، إذ أن طول موجة الأشعة المحيدة مساو لطول موجة الأشعة المسلّطة. وهذا ما دفعنا سابقاً للقول بأن الحيود هو حالة خاصة من حالات الانتشار أو التشتت .

2.3 ـ قانون الامتصاص

عندما تخترق الأشعة السينية مادة معينة يتم امتصاصها حسب القانون الأسي المعروف

$$I_x = I_0 e^{\mu}$$

حيث

I_x = شدة الأشعة السينية بعد اختراقها لمادة متجانسة .
X = سماكة المادة المخترقة .
μ = معامل الامتصاص .

وإذا اعتبرنا أن مساحة مقطع الحزمة السينية تساوي 1 سنتيمتراً مربعاً أمكن القول بأن معامل الامتصاص هو جزء الطاقة الممتص داخل سنتيمتر مكعب من المادة التي تمتص الأشعة السينية .

وهناك من يفضل تحديد معامل الامتصاص بالنسبة لوحدة الكتلة لا بالنسبة لوحدة الحجم. وهكذا يصبح هناك معامل جديد هو (μ/ρ) حيث أن ρ تساوي الثقل النوعي للمادة. وتوجد علاقة بسيطة بين هذا المعامل وبين العدد الذري لذرات المادة. فهو لا يتغير بتغير الحرارة أو بتغير الحالة الفيزيائية للمادة ولكن بتغير طول موجة الأشعة المستعملة. ويبدو هذا الشيء بديهياً عندما نرجع إلى ما قلنا سابقاً حول طول موجة الأشعة السينية والمسافات بين الذرات .

ولقد أوجد دارسو ظواهر الامتصاص بعض القواعد والقوانين المفيدة من الناحية العملية. فقد لاحظوا أن معامل الامتصاص يتغير بشكل يتناسب مع مكعب طول الموجة إذا كانت المادة نفسها هي التي تمتص الأشعة السينية. وأما إذا ما تغيرت طبيعة المادة التي تمتص الأشعة فيصبح المعامل متناسباً مع مكعب العدد الذري .

وهذه القوانين الملاحظة مفيدة جداً، لأنها قد تعطي فكرة عن معامل الامتصاص في مادة معينة لأشعة سينية ذات طول موجة معين دون دراسة تجريبية لقياسه. فدارسو البنية البلورية يستخدمون مثلاً في حسابهم نسبة شدة الضوء المحيد إلى الضوء المسلّط، معامل الامتصاص. وإذا كان هذا الأخير غير

مقيس حتى اليوم، فإن من الممكن التوصل إلى قيمته التقريبية اعتماداً على القانونين المذكورين أعلاه، أو على قوانين مماثلة .

3.3 ـ قواعد الوقاية من الأشعة السينية

لقد رأينا فيما سبق كيف تساهم طاقة الأشعة السينية الممتصة في سلخ كهيربات من بعض ذرات المادة، وفي تأين الجزيئات المكونة لها، مما يؤدي إلى تفكك المادة والقضاء على توازنها. وهذا ما يشكل خطورة قصوى بالنسبة إلى الإنسان في حال تعرض جسمه للأشعة السينية .

وقد دفع هذا الخطر الباحثين إلى إيجاد طرق وقاية من خطر الأشعة على أجسام العاملين في حقل من الحقول التي تحتاج لمولّد للأشعة السينية، فقوانين امتصاص الأشعة السينية بواسطة المادة تسمح بمعرفة سماكة المادة التي يحتاج جسم الإنسان إليها لحمايته من خطر الأشعة السينية وتأثيراتها الفيزيولوجية المميتة في بعض الأحيان كفقر الدم أو الحروق. ومن أجل الحصول على حماية جيدة يظهر الرصاص كأفضل مادة ممتصة للأشعة السينية .

إن الحماية الجيدة من الأشعة السينية عامل مهم يجب أخذه بعين الاعتبار عند شراء أو تركيب جهاز للأشعة السينية. ومن المستحسن، إن لم يكن من الضروري، أن يعمد الباحث أو مستعمل الجهاز إلى عدم البقاء طويلاً في القاعة التي يعمل داخلها جهاز الأشعة السينية، لأن اختراق حزمة من الأشعة السينية للهواء يساهم في تأيينه وإحداث تفاعلات ثانوية قد تكون ضئيلة التأثير على جسم الإنسان ولكنها تبقى، على الأقل، غير مفيدة له .

ومن ناحية ثانية فإن تعرض جسم الإنسان، مدة طويلة نسبياً، للأشعة السينية يؤدي في بعض الأحيان لنقص في عدد الكريات الحمراء والكريات البيضاء وقد يؤدي أيضاً إلى حروق جلدية كانت مميتة ورهيبة النتائج بالنسبة لبعض الباحثين .

وعلى العاملين في حقل الأشعة السينية أن يفحصوا باستمرار أجهزة الأشعة السينية بواسطة عداد جايجر أو يضعوا أفلاماً خاصة على أجسامهم طوال

النهار لمعرفة ما إذا كان هناك تسرب للأشعة من الجهاز من غير النافذة المعدة له أو لمعرفة ما إذا كان الباحث نفسه قد تعرض للأشعة السينية أثناء عمله .

إن الجرعة التي يمكن لجسم الإنسان تحملها دون مضاعفات هي حوالي 0,5 رونتغن في الأسبوع. أما إذا كانت الأطراف (اليدان والرجلان) هي المعرضة فقط فيمكن تحمل 1,5 رونتغن في الأسبوع. ويبقى أن نشير إلى أن الباحثين في ميدان صحة الأجهزة التناسلية يعتبرون أن عشر هذه الكمية فقط يمكن تحمله دون مضاعفات .

وسنعود إلى معالجة هذه الأمور في فصل لاحق عند بحث التأثيرات البيولوجية للأشعة السينية .

الفصل الرابع
الأشعة السينية وعلم البلوريات

1.4 ـ مقدمة

سنتطرق في هذا الفصل إلى علم مهم تطور وتشعب وترك بصماته في ميداني فيزياء وكيمياء الأجسام الصلبة وهو علم البلوريات. وهذه الأهمية تتجلّى في عدم وجود أي مخبر في العالم متخصص في دراسة الأجسام الصلبة إلاّ ويملك على الأقل جهازاً مولداً للأشعة السينية وأجهزة قياس خاصة بدراسة البنية البلورية.

فكما أن لكل إنسان بصماته التي لا تتغير والتي تعتبر خاصة به ويستند إليها في ميادين عديدة لتحديد هوية الإنسان، كذلك يملك كل بلور تركيبه البلوري الذي يعتبر خاصاً به. وهذا ما جعل العلماء يسمون مخطط البلور الذي نحصل عليه بواسطة حيود الأشعة السينية بصمة البلور التي لا تتغير .

وسنحاول فيما يلي تقديم أكثر الطرق استعمالاً للحصول على هذه "البصمات" وشرح علاقتها بالتركيب البلوري للأجسام الصلبة. فالأشعة السينية التي تستعمل في هذا الميدان هي عين متناهية الصغر تدخل المادة وتزودنا بالمعلومات حول ما ترى دون أن تؤثر فيها. إذ أنه من الممكن، كما رأينا، أن تؤثر الأشعة على المادة فتحدث تغيراً بالخصائص الفيزيائية أو الكيميائية كما يحدث عند تأثر ملح الفضة، الموجود في "فيلم" التصوير، بالضوء أو الأشعة السينية .

إن العلم المسمى بعلم البلوريات واستعمال الأشعة السينية لا يؤديان فقط إلى معرفة البنية البلورية لجسم جامد معين بل يساهمان كذلك في كثير من الحالات بمعرفة طبيعة الذرات الموجودة في البلور أي بالتحليل الكيميائي للجسم، وهذا ما سنراه في الفصل التالي. كما أن معرفة البنية البلورية للأجسام الصلبة تساهم مساهمة إيجابية في فهم الخصائص الفيزيائية للأجسام الجامدة كالخصائص المغناطيسية والكهربائية والحرارية .

2.4 ـ الأجسام الصلبة

من المعروف أن المادة موجودة، بشكل رئيسي، في حالات ثلاث : الغاز والسائل والجماد، ففي الغاز تبتعد الذرات أو الجزيئات (molécules) بعضها عن بعض مسافات كبيرة نسبياً (نسبياً تعني أن المسافة هي كبيرة بالنسبة لأبعاد الذرة) وتتحرك وتتصادم وتصدم جدران الوعاء الذي يحتويها. فالغاز يملك إذن ثقلاً نوعياً صغيراً وقدرة هائلة على ملء أي وعاء مهما كبر حجمه .

وأما في السائل، فتقترب الجزيئات بعضها من بعض ولكن التهيج الحراري يبقي الذرات والجزيئات بشكل غير منظم فالسائل إذن غير قابل للضغط تقريباً ولكنه لا يملك شكلاً خاصاً به إذ أنه قادر على أخذ شكل الوعاء الذي يحتويه .

ويختلف ما يحدث في الجماد عما رأينا في الحالتين السابقتين، إذ أن قوى الجذب بين الذرات هي الغالبة فتربط بينها وتجعلها تحتل أمكنة معينة. ولكن هذا لا يعني أن الذرة في الجماد ثابتة في مكانها بل تتحرك وتهتز حول نقطة معينة (سنسميها فيما بعد عقدة) هي موقع الإتزان الخاص بكل ذرة .

ويمكن القول أن مفهوم الجزيء يختفي عند التكلم عن الجماد، إذ يبدو هذا الأخير وكأنه كومة من الذرات لها شكل خارجي محدد وثابت لا يتغير. وأمكنة هذه الذرات محددة بشكل عام إذ أن أي قطعة من الجماد، مهما صغر حجمها، تملك نفس الخصائص الفيزيائية لقطعة كبيرة. وهذا الجماد بلّور لأن توزع الذرات داخله منظم ومحدد .

قد تبقى الذرات أثناء تجميد سائل معين بصورة سريعة في الأمكنة التي كانت تحتلها في حالة السيولة وهي أمكنة غير منظمة مما يعني الحصول على جماد ذراته غير منظمة : يقال عندها بأن الجماد موجود في حالة زجاجية. والزجاج هو خير مثال على هذا النوع من الجماد .

وهناك أنواع أخرى من الأجسام الجامدة لن نتطرق إليها، إذ أن اهتمامنا سينحصر بدراسة الأجسام الجامدة البلورية بواسطة الأشعة السينية لأنها أكثر شيوعاً في مراكز البحث بالرغم من وجود عدة فرق بالعالم تستعمل الأشعة السينية لدراسة جوامد غير بلورية بطرق تختلف عن تلك التي سنعرضها في هذا الكتاب .

وقد كان ما نعرف حول الحالة البلورية للأجسام الصلبة جد ضئيل قبل أن يكتشف لاو وبراغ إمكانية حيود الأشعة السينية بواسطة البلوريات. فالعلم الذي يسمى اليوم بعلم البلوريات تكون بفضل تراكمات لمعلومات وملاحظات تجمعت بمرور الزمن. ولقد تم الحصول على هذه المعلومات بدراسة الشكل الخارجي بالعين المجردة أو بالمجهر أو بواسطة مقياس الزوايا المستعمل في البصريات الهندسية .

وبالرغم من أن دراسة الشكل الخارجي قد تعطي معلومات عما إذا كان الجسم الجامد بلوراً أم لا، وعن الزوايا التي تشكّلها فيما بينها المسطّحات الخارجية، بالرغم من ذلك فإن هذه الدراسة تبقى بعيدة كل البعد عن المعنى الدقيق لعلم البلوريات الحديث الذي يعطي وصفاً للبلور وللخلية الأساسية التي تكونه ويحدد الأمكنة التي تكون فيها ذراته .

وقبل إرساء دعائم علم البلوريات الحديث، أي قبل تجارب لاو وبراغ، كان الفيزيائيون والكيميائيون قليلي الاهتمام بدراسة الجوامد ليس لقلة أهميتها وإنما لتكاثر المشاكل المفروض حلّها عند الشروع بدراسة أي جسم صلب. ففي الغاز والسائل تتحرك الذرات أو الجزيئات بحرية شبه كاملة وبكل الاتجاهات لتكافئها فيما بينها. وأما في الجسم الجامد فالذرات شبه ثابتة، والاتجاهات متمايزة فيما بينها، مما يعقد محاولات تفسير الظواهر الفيزيائية والكيميائية .

ولهذا عمل الكيميائيون بشكل أساسي في ميدان الغازات والسوائل، لأن حرية حركة الجزيئات تسمح، بسهولة نسبية، بحدوث التفاعلات الكيميائية. أما في الجامد فالموضوع يتعقد للترابط القوي القائم بين الذرات المؤلفة للبلور. وهذا الترابط بين الذرات يؤدي لقيام توزيع متناسق ومنظم للذرات داخل البلور وهذا ما أثبتته التجارب بواسطة حيود الأشعة السينية .

إن أهمية معرفة البنية البلورية للجسم الصلب تتجلّى إذا ما قلنا بأن كل الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأجسام الجامدة تتصل اتصالاً وثيقاً بتوزع الذرات داخل البلور. فلقد برهن براغ بأن الخصائص التي لا تتصل بالبنية البلورية للجامد قليلة وأنها تتصل حتماً بنوع الذرة الموجودة في الجسم الصلب. ويمكننا إعطاء الوزن كمثل على هذه الخواص .

لقد كتب وليم براغ ما يلي :

"إن أبسط مادة يمكن عزلها هي ذرة الهليوم الموجودة بحالة الغاز. فتصرف أي ذرة هليوم هو نفسه مهما كان مكانها في الغاز. ويأتي بعد ذرة الهليوم الجزيء وهي أصغر كمية من السائل أو الغاز تتمتع بخواص المجموع. وبعد ذلك تأتي الوحدة البلورية وهي أصغر كمية تتمتع بخواص البلور. فهناك ذرات سليكون وذرات أكسجين وهناك جزيئات سليكا (S_iO_2) وهناك وحدة بلورية: المرو (كوارتز) (Quartz) التي تحتوي على ثلاث جزيئات سليكا فذرات السليكون والأكسجين ليست جزيء السليكا كما أن جزيئات السليكا ليست المرو : فالوحدة البلورية المكونة من ثلاث جزيئات سليكا منظمة بشكل معين هي التي تمثل المرو" .

من هذا المثل الذي أورده براغ يمكننا تصور القطيعة التي نشأت بين الكيمياء القديمة وبين كيمياء الأجسام الجامدة. فدراسة الكيميائيين المكثفة للغازات والسوائل أعطت للجزيء دوراً مهماً وأساسياً في الكيمياء. فإذا كان من الممكن عزل جزيء واحد من غاز أو سائل معين فإنه من غير الضروري أن يبقى ذلك صحيحاً : لا يمكن تصور عزل جزيء واحد جامد إلاّ إذا كانت الوحدة البلورية تحتوي على جزيء واحد .

من المعروف كيميائياً منذ زمن طويل، أن الماس مؤلف من ذرات كربون (C) وكذلك حال الغرافيت. ولكن الكثير من خصائص الجسمين يختلف إذ أننا لم نر يوماً أن الغرافيت يباع بسعر الماس. وهذا الاختلاف في الخواص يعود إلى أن توزع ذرات الكربون في الماس يتم بشكل منظم، أما في الغرافيت فالتنظيم مفقود بين قسم وآخر أي أنه يتم بين الذرات المتقاربة وليس على مدى الجسم الجامد بأكمله .

إن الهدف الأساسي لدراسة البلورات بواسطة الأشعة السينية هو تحديد أمكنة الذرات في الوحدة البلورية ليصار فيما بعد إلى تفسير الخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة .

3.4 ـ المبادئ الأساسية لعلم البلوريات

في الفصل المتعلق بطرق قياس طول موجة الأشعة السينية قلنا أنه من الممكن استعمال بلور معين ذي بنية بلورية معروفة لقياس طول الموجة اعتماداً على قانون براغ المنوه به أعلاه. في هذا الفصل سنعتبر أن طول الموجة معروف من أجل استعمالـه، حسب قانون براغ، لدراسة البنيـة البلوريـة للأجسام الجامدة .

وتجدر الملاحظة أن الأشعة السينية المسلّطة على جسم جامد لا تعطي صورة مباشرة له، يستطيع أي شخص أن يستنتج منها طبيعة تركيبه البلوري. وأن ما نحصل عليه، بعد تحييد الجسم الجامد لحزمة الأشعة السينية، هو عبارة عن طيف يجب دراسته وتحليله من أجل استنتاج البنية البلورية. وهذه الدراسة تتم اعتماداً على قوانين علمية ثابتة تسمى اليوم بعلم البلوريات. وهو علم هندسة تطبيقي له أهمية قصوى في ميادين فيزياء وكيمياء الأجسام الصلبة. وفيما يلي سنحاول إعطاء موجز لقوانين علم البلوريات .

تقول الفرضية الأولى أن كل بلور، مهما صغرت أبعاده، مؤلف من عدد كبير من الوحدات البلورية. والوحدة البلورية هي أصغر جزء من البلور يحتوي على كل خصائص البلور بأكمله ما عدا فارقاً أساسياً هو أن الوحدة البلورية تحتوي على تناسق (تناظر) صورة صغيرة بينما البلور يحتوي، إضافة إلى تناظر الوحدة، تناظراً إضافياً يعود لكون البلورة صورة كبيرة (لا متناهية الأبعاد بالنسبة لأبعاد الوحدة البلورية) .

ويمكننا إعطاء مثل بسيط لإيضاح ما سبق مكتفين بصورة مرسومة على مسطح أي بصورة ذات بعدين لا ثلاثة كما هي الحال بالنسبة لأي جسم له طول وعرض وارتفاع (كالبلور مثلاً). وسنستمد مثلنا من ورق الجدران الذي يصبح معه الجدار المغطى به ـ كما هو معلوم ـ عبارة عن رسم أساسي يتردد كلما نقلنا نظرنا أفقياً أو عامودياً. فإذا كان هذا الرسم يتردد كل 40 سم أفقياً وكل 60 سم عامودياً أمكننا القول أن ورق الجدران هو ترديد لمستطيل طوله 60 سم وعرضه 40 سم يوجد في كل زاوية من زواياه الأربع الرسم الأساسي الذي يحدد

ورق الجدران المستعمل. وهذا المستطيل أصغر وحدة يمكن أن يؤدي، بتتابعها أفقياً وعامودياً إلى تكوين كل الحائط : وهي تقابل الوحدة البلورية بالنسبة للجسم الصلب .

وقد يكون هذا الرسم الأساسي مربعاً أو دائرة أو زهرة لها نوع معين من التناسق (التناظر) يعطي للحائط إضافة إلى تناسق الرسم الأساسي (Motif) تناسقاً إضافياً يعود لأبعاد المستطيل المنوه به أعلاه. والحائط يقابل الجسم الجامد في علم البلوريات .

من المعروف، في علم البلوريات، أن هناك سبعة أشكال فقط للوحدات البلورية القادرة، بتتابعها في اتجاهات ثلاثة، على تكوين بلور موجود فعلياً. وهذه الأشكال السبعة هي عبارة عن متوازيات مسطحات مبنية، في اتجاهات ثلاث، حسب ثلاث كميات متجهة (Vecteurs) لها طولها واتجاهها وتقيم فيما بينها زوايا محددة. وحسب أطوال هذه الكميات المتجهة فيما بينها وحسب قيمة الزوايا يمكن تحديد الأشكال السبعة للوحدة البلورية .

يشار عادة إلى هذه الكميات المتجهة بـ $\vec{a}$ و $\vec{b}$ و $\vec{c}$ وإلى الزوايا بالأحرف α و β و γ. وسنوجز فيما يلي وصف الأشكال السبعة الآنفة الذكر :

أ ـ المكعب :

ويمكن تحديد هذا الشكل بالمعطيات التالية :

$$a = b = c$$

و $\alpha = \beta = \gamma = 90$ درجة (زاوية قائمة)

ب ـ النظام الرباعي :

$a = b \neq c$ ($\neq$ تعني يختلف عن)

$\alpha = \beta = \gamma = 90$ درجة

ج ـ مستقيم المعين :

$$a \neq b \neq c$$

$\alpha = \beta = \gamma = 90$ درجة

د ـ النظام الثلاثي :

$$a = b = c$$

و $\alpha = \beta = \gamma \neq 90$ درجة

ويمكن تصور الوحدة البلورية ذات النظام الثلاثي مكعباً ضغط بين قوتين متعاكستين مركّزتين على زاويتين متقابلتين بحيث اختلفت الزوايا عن الزاوية القائمة وبقيت متساوية فيما بينها .

هـ ـ النظام السداسي :

$$a = b \neq c$$

$\alpha = \beta = 90$ درجة

$\gamma = 120$ درجة

و ـ النظام أحادي الميل :

$$a \neq b \neq c$$

$\alpha = \gamma = 90$ درجة

$\beta \neq 90$ درجة

ز ـ النظام ثلاثي الميل :

$$a \neq b \neq c$$

$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90$ درجة

مما سبق يمكن الاستنتاج، دون التعمق في دراسات نظرية، بأن المكعب يحتوي على تناظر أكثر بكثير من النظام ثلاثي الميل، مثلاً، وهذا التناظر يجب أن يعطي بعض المواصفات لتوزع طيف الضوء السيني المحيد بواسطة بلور ذي تناظر مكعب .

وعند محاولة تحديد البنية البلورية لجامد معين لا يمكن التوقف عن معرفة الشكل (الخارجي) للوحدة البلورية، بل يجب تعديها لمعرفة توزع الذرات داخل هذه الوحدة البلورية .

ولقد برهن العالم برافي (Bravais)، بطرق رياضية بحتة تحافظ على قيمة التناظر في البلور، أنه إذا أخذنا كل التوزيعات الممكنة داخل الوحدة البلورية أمكن التوصل إلى 14 شبكة أسميت باسمه. ولن نستعرض هنا هذه الشبكات ويمكن للقارئ المتعطش لمزيد من المعلومات حول هذا الموضوع أن يراجع أي كتاب يناقش علم البلوريات .

ونكتفي بتقديم بعض الأمثلة :

فبالنسبة للنظام المكعب يوجد ثلاث شبكات فقط هي :

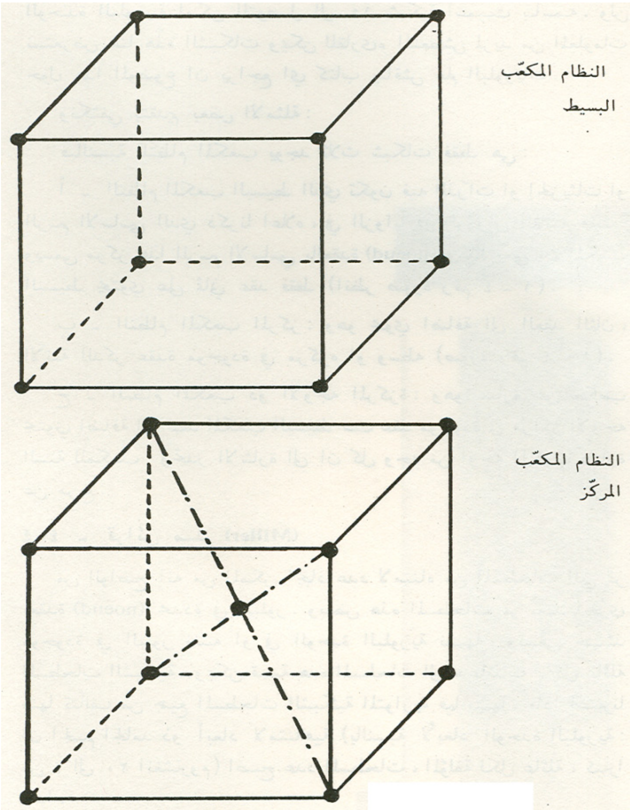
أ ـ النظام المكعب البسيط الذي تكون فيه الذرات أو الجزيئات أو الرسم الأساسي الذي ذكرنا أعلاه، في الزوايا أو الرؤوس الثمانية فقط. ويسمى مركز هذا الرسم الأساسي بالعقدة (noeud) وهذا يعني أن المكعب البسيط يحتوي على ثماني عقد فقط (انظر صورة رقم 4 ـ 1) .

ب ـ النظام المكعب المركز : وهو يحوي إضافة إلى العقد الثمان، الآنفة الذكر عقدة موجودة في مركزه أو وسطه (صورة رقم 4 ـ 1) .

ج ـ النظام المكعب ذو الأوجه المركزة : وهو عبارة عن مكعب يحتوي إضافة إلى عقد المكعب البسيط ست عقد موجودة في مراكز الأوجه الستة للمكعب. وتجدر الإشارة إلى أن كل وجه من أوجه المكعب عبارة عن مربع .

4.4 ـ قرائن ميلر (Miller)

من الواضح أنه من الممكن إيجاد عدد لا متناه من المسطحات التي تمر بعقدة (noeud) محددة في البلور. وبعض هذه المسطحات يمر بعقد أخرى موجودة في البلور نفسه أو في الوحدة البلورية نفسها، وتسمى حينئذ المسطحات الشبكية. ويمكن قسمة هذه المسطحات إلى "عائلات" كل عائلة منها تتألف من جميع المسطحات الشبكية المتوازية فيما بينها. فإذا اعتبرنا أن الجسم الجامد ذو أبعاد لامتناهية (بالنسبة لأبعاد الوحدة البلورية : من 4 إلى 20 أنغستروم) أصبح عدد المسطحات، المؤلفة لكل عائلة، كبيراً جداً .



صورة رقم 4 ـ 1

ولقد أوجد ميلر طريقة سهلة لتحديد كل واحدة من هذه العائلات تنطلق من اعتبارات هندسية ويمكن إيجازها فيما يلي :

يتم لصق ثلاثة محاور احداثيات (ox, oy et oz) بالكميات المتجهة الثلاثة ($\vec{a}, \vec{b}$ et $\vec{c}$) التي تحدد الوحدة البلورية المذكورة أعلاه ثم تحدد نقاط التقاء مسطح شبكي معين بهذه المحاور. وهذه النقاط هي :

(x,o,o) على محور ox
(o,y,o) على محور oy
(o,o,z) على محور oz

بعد ذلك يصـار إلى استخراج عكس قيمة x وعكس قيمة y وعكس قيمة z فنحصل على القيم : $(\frac{1}{x}, \frac{1}{y} \text{ et } \frac{1}{z})$ ثم يتم إيجـاد أصغر ثلاثة أعداد صحيحة (h, k, l) متناسبة مع $\frac{1}{x}$ و $\frac{1}{y}$ و $\frac{1}{z}$. وتسمى هذه الأعداد الصحيحة بمعامل ميلر .

وكمثل على ذلك سنأخذ المسطح الذي يقطع ox في النقطة (1,0,0) و oy في النقطة (0,3,0) و oz في النقطة (0,0,2) .

نعكس قيمة 1 = $\frac{1}{1}$ = 1

وعكس قيمة 3 هو $\frac{1}{3}$

وعكس قيمة 2 هو $\frac{1}{2}$

والأعداد الصحيحة هي : 6 و 2 و 3 .

ويشار للمسطح بالأرقام (3 2 6) وهي تشير لكل عائلة المسطحات الشبكية الموازية للمسطح المذكور أعلاه وهنا تقع أهمية قرائن ميلر لأنها تشير بنفس الأرقام الثلاثة (hkl) لكل المسطحات المنتمية لعائلة واحدة حسب التحديد الذي أعطيناه فيما سبق لمفهوم العائلة الشبكية .

ومن السهل أن نلاحظ أن المسطح الذي يقطـع ox في النقطـة (2,00) و oy في النقطة (0,6,0) و oz في النقطة (0,0,4) موازٍ للمسطح الذي ذكر أعلاه .

2 تعطي $\frac{1}{2}$

6 تعطي $\frac{1}{6}$

4 تعطي $\frac{1}{4}$

وأصغر ثلاثة أعداد صحيحة متناسبة مع هذه الأرقام هي 6 و 2 و3 وهذا يعطي نفس قرائن ميلر ويؤيد بالتالي ما أشرنا إليه أعلاه .

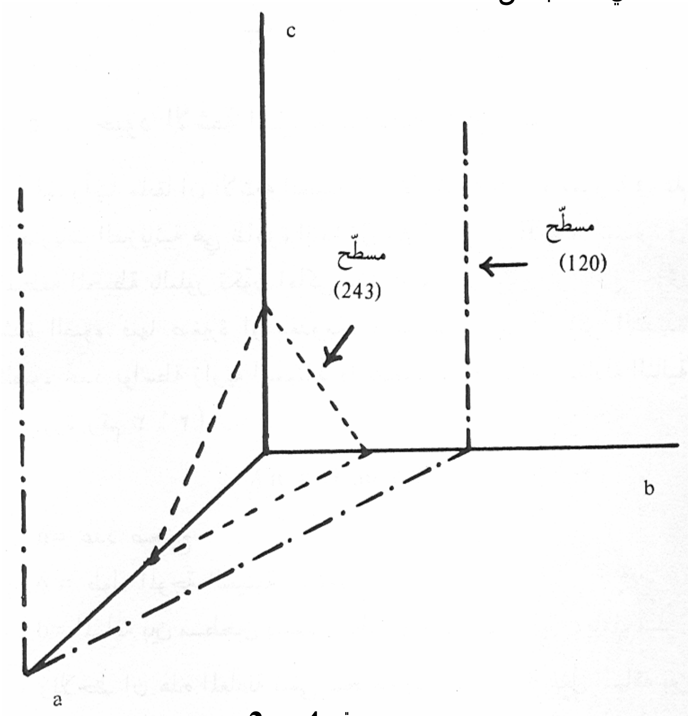
وتجدر الملاحظة إلى أنه عندما نقول بأن المسطح يلتقي المحور ox في النقطة (3,00) فهذا يعني أن النقطة تبعد مقدار ثلاثة أضعاف طول القيمة المتجهة $\vec{a}$ عن مركز الاحداثيات أي أن وحدة القياس على طول ox هو طول القيمة

المتجهة $\vec{a}$. ويمكن قول الشيء نفسه بالنسبة للمحور oy والقيمة المتجهة $\vec{b}$ والمحور oz والقيمة المتجهة $\vec{c}$.

وقد أوضحنا في الصورة رقم 4 ـ 2 مسطّحين شبكيين في وحدة بلورية محددة بالقيم المتجهة $\vec{a}$، $\vec{b}$ و $\vec{c}$.

إن المسافة d بين مسطحين شبكيين متتاليين ينتميان لعائلة واحدة (أي يشار إليهما بنفس قرائن ميلر الثلاثة (hkl) هي ثابتة وتعتمد على أبعاد وزوايا الوحدة البلورية وعلى معاملات ميلر الثلاثة. ولن نبرهن هنا على علاقة هذه المسافة بما ذكرنا أعلاه لأن ذلك يتطلب إدخال مفاهيم جديدة لم نتطرق إليها في هذا الفصل ولا يتسع المجال لذكرها (مفهوم الشبكة العكسية) .

سنعطي فقط بعض الأمثلة :



صورة رقم 4 ـ 2

مسطّحان شبكيان

في النظام المكعب :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

في النظام الرباعي :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

في النظام مستقيم المعين :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + + \frac{l^2}{c^2}$$

5.4 ـ حيود الأشعة السينية بواسطة البلوريات

لقد رأينا سابقاً أن الأشعة المحيدة تتداخل محدثة ظاهرة معروفة في علم البصريات الفيزيائية هي ظاهرة التداخل وهذا يعني أن الأشعة المنتشرة في المنطقة المحيطة بالبلور تكون أماكن شدة الضوء فيها كبيرة وأماكن أخرى شدة الضوء فيها صغيرة أو معدومة. وقلنا سابقاً أن الأماكن الشديدة الضوء تحدد بواسطة زاوية أسميناها θ يعطيها قانون براغ بالمعادلة التالية (الصورة رقم 3 ـ 2) .

$$2\, d \sin \theta = n\, \lambda$$

n = عدد صحيح

λ = طول الموجة السينية المستعملة

d = المسافة بين مسطحين ينتميان لعائلة واحدة يشار إليها بمعامل ميلر .

ونلاحظ أن هذه المعادلة تبقى صحيحة إذا أصبحت d تمثل المسافة بين مسطحين غير متجاورين (d' = 2d مثلاً) :

$$2\, d \sin \theta = n\, \lambda$$

$$2 \frac{d'}{2} \sin \theta = n\, \lambda$$

$$2\, d' \sin \theta = 2n\lambda = n'\lambda$$

حيث تبقى n' عدداً صحيحاً وهذا هو الشرط الوحيد الذي يتطلبه قانون براغ وأما إذا أخذنا (n =1) فإن المسافة الوحيدة التي يعطيها قانون براغ هي تلك التي تفصل مسطحين متجاورين، أي أقصر مسافة بين المسطحات المنتمية للعائلة (h,k,l). وهذه النتيجة لها أهميتها في الدراسات الهادفة لتحديد التركيب البلوري لجسم جامد معين .

إن تحديد الزوايا θ يعطينا المسافات بين بعض المسطّحات الشبكية في نظام بلوري معين، وهذا يعني بقاء الدراسة في حيز الهندسة التي لا تأخذ بعين الاعتبار طبيعة الذرات المكونة للجسم الجامد وأماكن تواجد الذرات أو الجزيئات في الوحدة البلورية. فهذه الخصائص المميزة للمادة ولبنيتها البلورية تؤثر على شدة الضوء في النقاط أو الاتجاهات المحددة بالزوايا. وبكلام آخر فإن شدة الضوء بين اتجاه وآخر تتفاوت فيما بينها بسبب اختلاف توزع الجزيئات والذرات في الوحدة البلورية .

ويتبين مما سبق أن دراسة البنية البلورية تستدعي :

أ ـ قياس الزوايا θ التي تساعدنا على إمكان معرفة المسافات بين المسطحات الشبكية، وبالتالي الاقتراب من فهم هندسة الوحدة البلورية وخاصة معرفة أبعاد وزوايا الوحدة البلورية المذكورة .

ب ـ قياس شدة الأشعة المحيدة في كل الاتجاهات المحددة بالزوايا θ ومحاولة معرفة أماكن تواجد الذرات انطلاقاً من هذه القياسات ومقابلتها بالشدة النظرية المفروض الحصول عليها .

ولكن كيف يتم حساب شدة الأشعة السينية المحيدة بواسطة عائلة مسطحات متوازية ؟

ولكل نوع من أنواع الذرات قدرة على نشر الأشعة تسمى معامل النشر الذري ويشار إليها بحرف f. وهذا المعامل يعتمد على العدد الذري للذرة، وعلى قيمة الزاوية θ وطول الموجة السينية المستعملة. وأما إذا كانت قيمة الزاوية θ صغيرة جداً فإن قيمة f تصبح مساوية للعدد الذري z الخاص بالذرة الناشرة للأشعة السينية .

إن شدة الأشعة المحيدة في الإتجاه θ أو بالأحرى إن شدة حز التحييد بواسطة عائلة مسطّحات (h,k,l) تعتمد على حاصل ضرب عامل البنية F بنفسه. وعامل البنية هذا يعتمد على توزيع الذرات في الوحدة البلورية وعلى معامل النشر الذري f : (F = facteur de structure) .

$$F = \sum_{J)} \quad f_j \exp \; [- 2 \pi i (hx_j + k y_j + l z_j)]$$

حيث

h,k,l = قرائن ميلر الثلاث

j = تحدد الذرة

x_j, y_j et z_j = تحدد مكان الذرة j. فلو اعتبرنا أن الذرة موجودة في مركز المكعب فإن x_j = 1/2 و z_j = 1/2 أي أنها أعداد صافية (Nombres purs) لا تقاس بالمتر أو أي وحدة قياس أخرى .

وتتمثل شدة حز التحييد بالمعادلة التالية :

$$I = Lp \, F^2$$

حيث أن

L = معامل لورنتز (Coefficient de Lorentz)

وهو يعتمد على هندسة الجهاز المستعمل للحصول على أشعة سينية محيدة.

P = عدد عائلات المسطحات التي تملك نفس المسافة d بين مسطحين متجاورين ينتميان لنفس العائلة .

مما سبق يمكننا أن نستنتج أن أماكن تواجد الذرات داخل الوحدة البلورية يؤثر تأثيراً واضحاً على شدة حز التحييد. وبالتالي فإن محاولة معرفة كيفية توزع الذرات داخل الوحدة البلورية يجب أن يمر مبدئياً بدراسة شدة مختلف حزوز التحييد .

لنأخذ مثلاً شدة الأشعة في نظام المكعب المركّز :

في هذا النظام عقدتان أساسيتان : عقدة في رأس المكعب، أي في النقطة (0,0,0) وعقدة في النقطة $(\frac{1}{2},\frac{1}{2},\frac{1}{2})$. فإذا افترضنا وجود ذرة في كل عقدة (كما هو حال الصوديوم *(Na)*) أصبح بإمكاننا كتابة عامل التركيب *F* على الشكل التالي:

$$F = f\,[\exp - e\pi i\,(0+0+0) + \exp - 2\pi i(h/2+k/2+1/2)]$$

$$F = f\,[1 + \exp - \pi i\,(h+k+l)]$$

ومن السهل أن نلاحظ أن

F = صفر إذا كان (h+k+l) عدداً مفرداً (1 أو 3 أو 5 أو 7...)

F = 2f إذا كان (h+k+l) عدداً مزدوجاً (2 أو 4 أو 6 أو 8...)

فإذا ما أجرينا تجربة على مادة نعرف أن وحدتها البلورية مكعبة الشكل، وحصلنا على كل الأشعة السينية في كل الاتجاهات، ووجدنا أن الأشعة المحيدة بواسطة المسطحات التي يساوي h+k+l عدداً مفرداً هي ذات شدة معدومة وأن تلك المحيدة بمسطحات تساوي فيها h+k+l عدداً مزدوجاً وهي ذات شدة غير معدومة أصبح بإمكاننا القول أن النظام الموجود في المادة هو نظام المكعب المركّز :

ومن هذا المثل البسيط تتجلى أهمية قياس شدة الأشعة السينية المحيدة وقياس الزوايا θ : وقد استنبط العاملون في هذا الحقل، منذ تجربة لاو التاريخية وحتى اليوم، طرقاً عديدة ترتكز على تقنيات مختلفة من أجل إجراء القياسات الآنفة الذكر. ولكن يبقى من الممكن جمع كل هذه الطرق في مجموعتين أساسيتين:

- الطرق الفوتوغرافية التي تعتمد تأثر لوحة تصويرية حساسة بشدة الأشعة السينية المحيدة .
- طرق القياس الكهربائية والإلكترونية التي تعتمد على استعمال عدادات كعداد جايجر مثلاً .

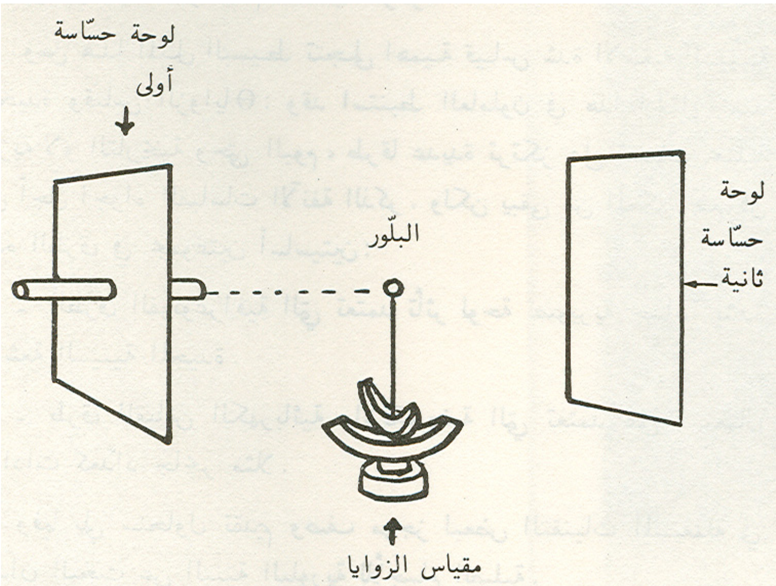
وفيما يلي سنحاول تقديم وصف موجز لبعض التقنيات المستعملة في ميدان البحث عن البنية البلورية للأجسام الصلبة .

1.5.4 ـ طريقة لاو (Laue)

إنها الطريقة التي استعملها العالم لاو أو هي بالحري الطريقة التي سمحت له أن يبرهن على موجية الأشعة السينية، وعلى وجود شبكة في الأجسام الجامدة قادرة على تحييد الأشعة السينية .

وفي هذه الطريقة لا يمكن استعمال أي جامد مهما كان شكله وإنما يجب استعمال بلور أحادي أي بلور يتكون من تراكم الوحدات البلورية بعضها فوق البعض الآخر بطريقة خاصة تجعل كل القيم المتجهة a في جميع الوحدات البلورية متوازية فيما بينها. وكذلك حال القيم المتجهة b والقيم المتجهة c .

ويصار إلى تثبيت البلور الأحادي بحيث يتلقى حزمة أشعة سينية متعددة طول الموجة فيتم تحييد الموجات التي تستجيب لقانون براغ الذي ذكرنا سابقاً. بكلام آخر يتم تحييد الموجة ذات الطول λ بواسطة مسطحات شبكية منفصلة بمسافة d وتشكل مع الحزمة المسلطة زاوية تعادل قيمة θ المعطاة بقانون براغ .



صورة رقم 4 ـ 3
طريقة لاو

ويثبت البلور على مقياس زوايا ويسلط عليه أشعة سينية (أنظر الصورة رقم 4 ـ 3) يتم تحييدها بكل الاتجاهات ويصار إلى وضع لوحة حساسة بعد البلور أو قبله للحصول على أماكن شدة الضوء، فيتم الحصول على صورة مليئة بالبقع حيث وصلت الأشعة الشديدة وأثرت على اللوحة. ومن توزع هذه البقع على الصورة يتم استنباط تناظر (تناسق) البلور والتعرف على شكل وحدته البلورية. وهذه الطريقة كثيرة الاستعمال في ميدان فيزياء الأجسام الصلبة التي تحتاج لتوجيه البلور بحيث تكون القيمة المتجهة a مثلاً موازية لاتجاه معين .

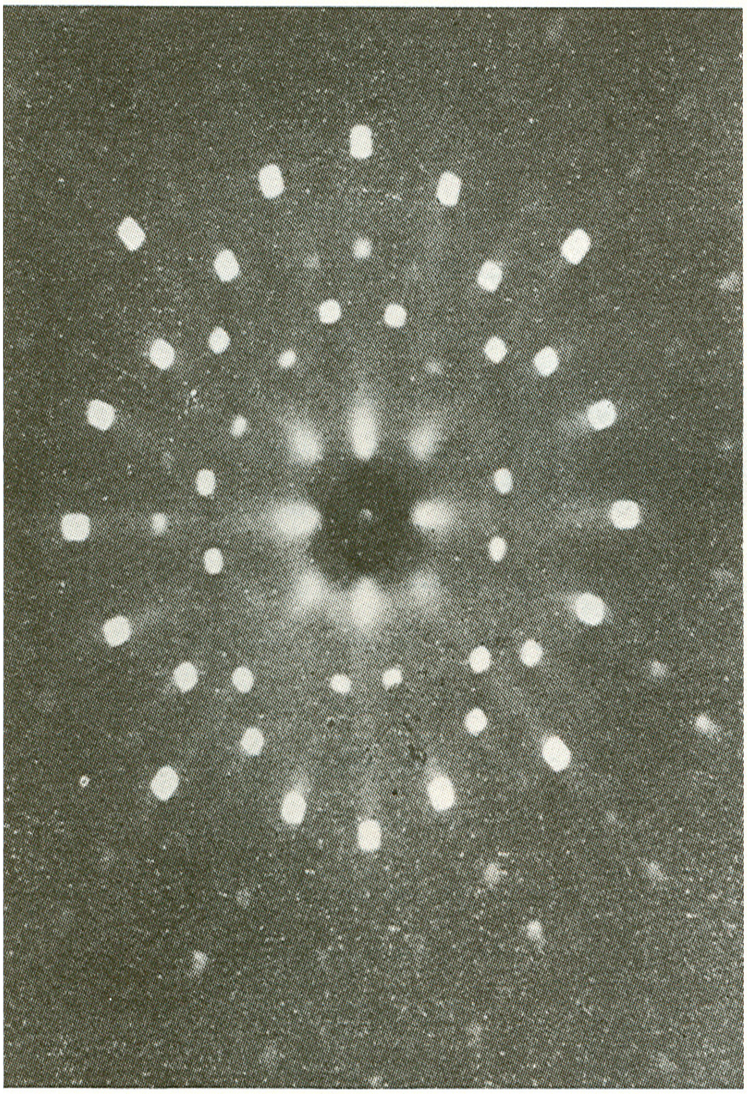
الصورة رقم 4 ـ 4 تبين نموذجاً للمخطط الذي نحصل عليه بطريقة لاو. وهي تظهر محور تناظر من الدرجة الرابعة. وبكلام آخر نلاحظ أنه من الممكن أن ندير الصورة حول محور عامودي على مسطحها ربع دورة كاملة (أي زاوية $\frac{2\pi}{4}$) دون أن يتغير الشكل النهائي للصورة من ناحية توزع البقع عليها. (البلور المستعمل هو ملح الطعام) .

ولنضرب مثلاً : لو أردنا مربعاً حول محور عامودي على مسطحه حتى تشكيل زاوية $\frac{2\pi}{4}$ فإن المربع يبقى نفسه لأن أضلاع المربع متساوية. عندما يقال بأن المربع يملك تناظراً أو محور دوران من الدرجة الرابعة .

ويعني وجود مثل هذا المحور في صورة لاو أن في البلور محوراً من نفس الطبيعة. ومن أجل استقصاء كل محاور الدوران أو التناسق (التناظر) في البلور يجب تغيير اتجاه البلور بالنسبة للأشعة السينية المسلطة. وتتم هذه العملية بواسطة مقياس الزوايا (أنظر الصورة رقم 4 ـ 3). ومن الطبيعي القول بأن معرفة (تناظر) تناسق البلور تؤدي إلى معرفة شكل ونظام الوحدة البلورية. وقد تكون المعرفة غير كاملة ولكن تبقى المعلومات مهمة جداً في دراسة البنية البلورية لجسم جامد معين .

إن المعرفة الكاملة للوحدة البلورية تستدعي، إلى جانب معرفة النظام، معرفة أطوال القيم المتجهة والزوايا التي تشكلها فيما بينها. وهذا ما يتم فعلاً بواسطة تقنيات أخرى وضعت موضع التنفيذ بعد اكتشاف لاو الآنف الذكر. وأهم

الطرق المستعملة في هذا المجال هي تلك التي تستخدم البلور الدائر والبلور المسحوق .



صورة رقم 4 ـ 4

صورة تم الحصول عليها بطريقة لاو

2.5.4 ـ طريقة البلور الدائر

في هذه الطريقة يدور بلور أحادي حول محور موجود على مسار الأشعة السينية الأحادية طول الموجة. إن تغير الزاوية θ بين المسطحات الشبكية وحزمة الأشعة المساطة يجعل من الممكن وجود بعض القيم للزاوية بحيث يحصل حيود للأشعة السينية حسب قانون براغ :

$$2d \sin \theta = n \lambda$$

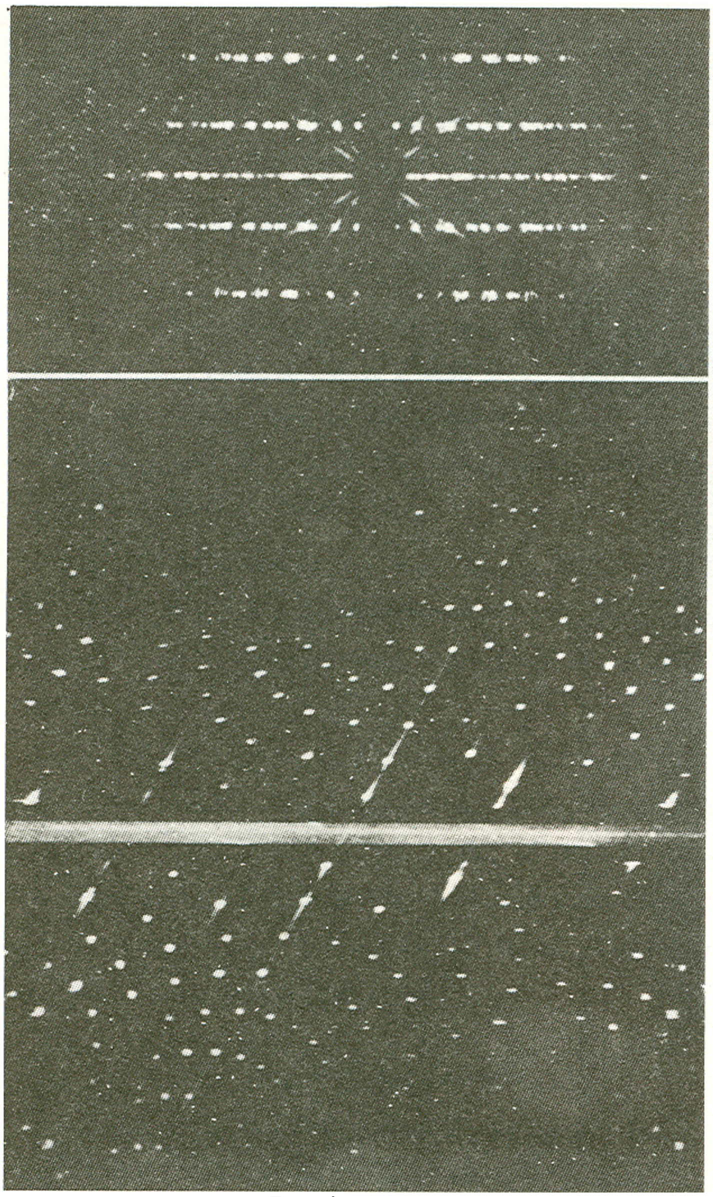
ولقد أوجد العلمـاء عـدة أنواع من هذه الطريقـة تختلف فيما بينها بطريقة دوران البلور الأحادي وطرق قياس شدة الأشعة المحيدة. فمنها ما يستعمل الطرق الفوتوغرافيـة ومنها ما يستعمل العدادات والأجهزة الإلكترونية. ولا شك أن الأنـواع الثانية تعطي نتائج أكثر دقة من تلك التي تستعمل الطرق الفوتوغرافية .

أما بالنسبة للاختلاف من حيث دوران البلور فيوجد بعض الطرق كتلك المسماة طريقة فايزنبرغ (weisenberg) وهي تجعل البلور يتأرجح بين زاويتين معينتين عوض أن يدور دورة كاملة أي ما يعادل زاوية 360 درجة .

وفي الصورة رقم (4 ـ 5) نماذج لما نحصل عليه بطريقة فايزنبرغ. ودراسة هذه الصورة تعطي معلومات عن تناظر الوحدة البلورية وخاصة وجود محور تناظر أو محور دوران من الدرجة الثانية. وتجدر الملاحظة أن الغرفة المظلمة التي توضع فيها اللوحة الحساسة صممت قياساتها بحيث تسهل دراسة مخطط فايزنبرغ إذ أن البقع تتواجد على خطوط مستقيمة تتشكّل مع الخط الوسطي زاوية 45 درجة .

3.5.4 ـ طريقة البلور المسحوق

كما يدل عليها اسمها فإن هذه الطريقة تستعمل البلور بشكل مسحوق أي أن القيم المتجهة (a مثلاً) ليست متوازية فيما بينها بل موزعة في كل الاتجاهات، وهذا ما يجعل استعمال القوانين الإحصائية ضرورية لدراسة النتائج .



صورة رقم 4 ـ 5
طريقة فايزنبرغ

وهناك، كما في الطريقة الآنفة الذكر، عدة أنواع من الطرق التي تستعمل البلور المسحوق تختلف فيما بينها بطرق قياس الأشعة المحيدة. فهناك الطرق الفوتوغرافية والطرق التي تستعمل العدادات والأجهزة الإلكترونية .

والطريقة الأكثر شهرة هي تلك المسماة دبي شرر (Debye-Scherrer) وتستعمل فيها اللوحات الحساسة أو العدادات والأجهزة الالكترونية. وهي سهلة الدراسة نسبياً إذ أنها تسمح بقياس أبعاد وزوايا الوحدة البلورية وبمعرفة طبيعة النظام البلوري فيها. وتستعمل هذه الطريقة بكثرة خاصة في البلورات ذات الأنظمة البلورية العالية التناظر كالمكعب والنظام الرباعي وغيرهما .

وفي الصورة رقم (4 ـ 6) نموذج لما نحصل عليه بطريقة دبي شرر وبالطريقة الفوتوغرافية .

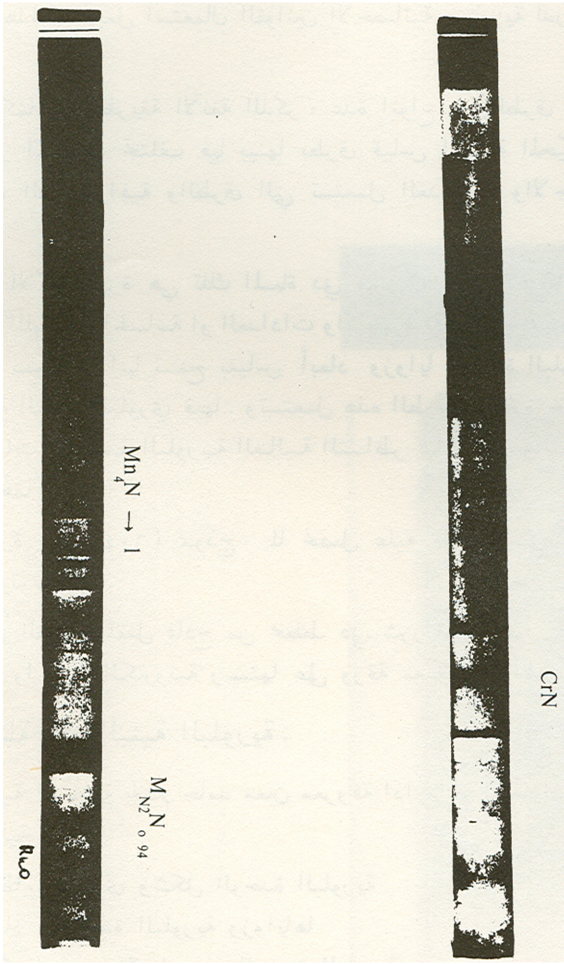
وسنجد في الفصل المقبل نماذج من مخطط دبي شرر تم الحصول عليها بواسطة عداد وأجهزة الكترونية رسمتها على ورقة معدة لهذا الهدف .

6.4 ـ أمثلة على البنية البلورية

تعتبر البنية البلورية لجسم جامد معين معروفة إذا ما تم الحصول على المعلومات التالية :

أولاً : النظام البلوري وشكل الوحدة البلورية
ثانياً : أبعاد الوحدة البلورية وزواياها
ثالثاً : أمكنة وجود الذرات في الوحدة البلورية .

ويمكن الحصول على المعلومات الأولى والثانية من أي مخطط دبي شرر استعمل فيها البلور مسحوقاً، أو من دراسة بلور أحادي بواسطة الأجهزة التي أشرنا إليها أعلاه، أو بواسطة أجهزة معقدة تستعمل التقنيات الإلكترونية والمعلوماتية. وكمثل على ذلك يمكن ذكر مقياس الزوايا ذا الدوائر الأربع وهو يسير بواسطة حاسب إلكتروني (كمبيوتر) يعمد، أيضاً، إلى جمع النتائج وفرزها. وتجدر الإشارة إلى أن أكثر المخابر المتخصصة في الأبحاث عن البنى البلورية للأجسام الصلبة تملك على الأقل جهازاً من هذا النوع .



صورة رقم 4 ـ 6

طريقة دبي ـ شرر

ويستنتج النظام البلوري وأبعاد وزوايا الوحدة البلورية من قيم الزوايا θ التي تم الحصول عليها على المخططات إذ أن قانون براغ يعطينا بعملية حسابية بسيطة قيم المسافات الشبكية d. وتحليل هذه المسافات يؤدي إلى معرفة المسطّحات التي حيدت الأشعة السينية والانتقال إلى النظام البلوري وأبعاد وزوايا الوحدة البلورية .

وأما المعلومات الثالثة فلا يمكن الحصول عليها إلاّ بقياس شدة الأشعة السينية المحيدة في كل الاتجاهات. ومثل هذا القياس كان يتم في بداية عصر استعمال الأشعة السينية بالطرق الفوتوغرافية. وبالرغم من قلة الدقة في مثل هذه الطرق فقد توصل العلماء إلى الكثير من النتائج القيمة التي مازالت تعتبر صحيحة حتى يومنا هذا. أما اليوم فالقياس يتم بواسطة عدادات دقيقة تسجل وتجمع وتفرز بواسطة أجهزة الكترونية أو بواسطة الجهاز المسير بواسطة الكمبيوتر الذي أشرنا إليه أعلاه .

كيف يتم وصف بنية بلورية معينة ؟

يتم هذا الوصف بإعطاء المعلومات التالية

- النظام البلوري : مكعب، نظام رباعي ... إلخ
- نوع الشبكة البلورية : مكعب بسيط، مكعب مركّز ... إلخ
- أبعاد وزوايا الوحدة البلورية : ضلع المكعب مثلاً ...
- توزع الذرات داخل الوحدة البلورية .

وفيما يلي سنعطي مثلين عن البنية البلورية : ملح الطعام والماس .

1.6.4 ـ ملح الطعام

من المعروف أن جزيء ملح الطعام مؤلف من ذرة صوديوم Na ومن ذرة كلور Cl ولكل ذرة من الذرتين معامل نشر ذري خاص بها، وهذا ما يجعل من الممكن تحديد مكان كل منهما في الوحدة البلورية انطلاقاً من قياس شدة الأشعة السينية المحيدة ومن المعادلة التي رأينا سابقاً أنها تمثل قيمة هذه الشدة .

ولن نتطرق للمراحل التي يمر بها البحث عن البنية البلورية لملح الطعام بل سنكتفي بإعطاء النتائج :

- النظام هو المكعب
- والشبكة هي المكعب ذو الأوجه المركزة
- الزوايا التي تشكلها القيم المتجهة المكونة للوحدة البلورية $(\vec{a}, \vec{b}$ et $\vec{c})$ جميعها قائمة أي تساوي 90 درجة .

ـ ضلع المكعب يساوي 5,63 أنغستروم (5,63°)

ـ الذرات موزعة كما يلي (أنظر الصورة رقم 4 ـ 7) : الصوديوم موجود في النقاط :

$$(0,0,0)\ (\tfrac{1}{2},\tfrac{1}{2},0)\ \left(\tfrac{1}{2},0,\tfrac{1}{2}\right)\ (0,\tfrac{1}{2},\tfrac{1}{2})$$

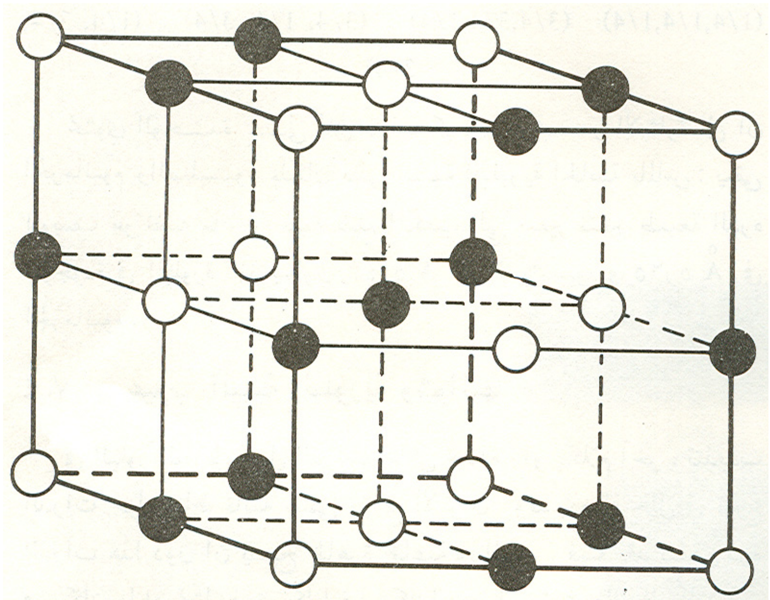
والكلور موجود في النقاط :

$$(\tfrac{1}{2},\tfrac{1}{2},\tfrac{1}{2})\ \left(0,0,\tfrac{1}{2}\right)\left(\tfrac{1}{2},0{,}0\right)(0,\tfrac{1}{2},0)$$

وكل ذرة صوديوم محاطة بست ذرات كلور والعكس بالعكس، وكل وحدة بلورية تحتوي على أربع جزيئات ملح طعام .

2.6.4 ـ الماس

يتألف الماس، كما قلنا سابقاً من ذرات كربون فقط. وسنقدم النتائج بنفس الطريقة التي قدمنا بها آنفاً :



صورة رقم 4 ـ 7

بنية ملح الطعام

- النظام هو المكعب
- الشبكة هي أيضاً المكعب ذو الأوجه المركزة
- الزوايا قائمة
- ضلع المكعب يساوي 3,56 °A (3,56°A)
- ذرات الكربون موجودة في النقاط :

$$(0,0,0)\ (\tfrac{1}{2},\tfrac{1}{2},0)\ \left(\tfrac{1}{2},0,\tfrac{1}{2}\right)\ (0,\tfrac{1}{2},\tfrac{1}{2})$$

(1/4,1/4 ,1/4) (3/4,3/4,1/4) (3/4, 1/4, 3/4) (1/4, 3/4, 3/4)

تحتوي الوحدة على ثماني ذرات كربون. وتجدر الإشارة إلى أن الجرمانيوم والسليسيوم يملكان نفس البنية البلورية الخاصة بالماس : يبقى الوصف هو نفسه ما عدا قيمة ضلع المكعب التي تتغير بتغير طبيعة الذرة الموجودة في البلورة فهو يساوي 5,43 °A في السليسيوم و 5,65 °A في الجرمانيوم .

7.4 ـ عيوب البنية البلورية وشوائبها

في البلور الكامل تحتل الذرات أماكن محددة، أو بكلام آخر، تتذبذب الذرات حول نقاط ثابتة تسمى مواقع الاتزان. وقد يحصل خلل في توزع الذرات هذا دون أن يصبح ظاهرة جماعية في البلور. فمثلاً قد تنقص ذرة في مكان ما أو تحتل ذرة مكاناً غير مكانها دون أن يؤدي ذلك إلى القضاء، على النظام البلوري السائد في البلور .

ودراسة هذه الشوائب والعيوب تعتبر ذات أهمية قصوى. فإذا كانت هذه الشوائب كثيرة نسبياً وتتوزع بانتظام في البلور أصبح بالإمكان، بواسطة حيود الأشعة السينية (وحيود النترونات في بعض الأحيان) تحديد أماكنها وذلك انطلاقاً من قياس شدة الأشعة السينية المحيدة .

وفي الكثير من المركبات الأيونية تعود القدرة على نقل الكهرباء إلى حركة الأيونات وبكلام آخر، فإن قدرة بعض المركبات (Oxides, sulfides…) على نقل الكهرباء تعود إلى الشوائب في البنية البلورية التي قد تزيد أو تخفض من قدرة الأيونات على الحركة .

وتغير نسبة الشوائب قد يغير النظام البلوري السائد والكثير من الخصائص الفيزيائية للأجسام. ويمكننا إعطاء المثل التالي الذي تمت فيه الدراسة بواسطة حيود الأشعة السينية وحيود الفوتونات :

بعد إحداث نقص في عدد ذرات النتروجين (Azote) في المركب Mn_2N والحصول على المركب $Mn_2N_{0,92}$ يتبين أن هذا المركب يملك النظام البلوري المسمى بمستقيم المعين. وبعد زيادة عدد الذرات الناقصة يتبين أن المركب $Mn_2N_{0,86}$ لم يعد يملك النظام المذكور أعلاه بل النظام السداسي دون أن يؤدي ذلك إلى تغيير في طبيعة الرباط القائم بين المنغنيز (Mn) والنتروجين (N). ويبقى مفيداً أن نشير بسرعة إلى أن البنية المغناطيسية في كل من هذين المركبين تختلف اختلافاً جوهرياً عن الأخرى دون تغير في قيمة العزم المغناطيسي لكل ذرة منغنيز .

وأخيراً يستحين أن نشير إلى أن الكمال ليس دائماً هو الأجمل والأغلى فالكل يعلم تعلّق النساء ببريق الماس وبعدد ألوانه الزاهية والجميلة. وتعود هذه الألوان إلى وجود بعض العيوب في بنية الماس البلورية مما يغير خصائصه البصرية ويعطي هذا الاختلاف بالألوان .

ولقد استطاع العاملون في حقل البلوريات صناعة الكثير من الماس تحت ضغط مرتفع، ولكنه لم يطرح في الأسواق لارتفاع تكاليف صناعته أولاً ولأنه لن يرضي النساء ثانياً بالدرجة التي يرضي بها الماس الطبيعي، حتى وإن أرضى الكيميائيين والفيزيائيين بخصائصه الكيميائية والفيزيائية .

الفصل الخامس
الأشعة السينية والكيمياء

1.5 ـ مقدمة

سنتطرق في هذا الفصل إلى بعض استعمالات الأشعة السينية في ميادين الكيمياء. فمن المعروف أن هناك ميدانين مهمين في الكيمياء : الكيمياء المعدنية وتتعرض للخصائص الكيميائية للمعادن ومشتقاتها، والكيمياء العضوية التي تتعرض لدراسة المركبات غير المعدنية كالخلايا الحية وغيرها. ولن نفصل استعمال الأشعة السينية في الكيمياء حسب هذين المبدأين، بل سنختار تفصيلاً آخر نراه يساعدنا على تقديم عرض أفضل لما نريد طرحه في هذا الفصل دون أن يعني ذلك أننا سنتطرق إلى كل استعمالات الأشعة السينية في الكيمياء لأن الموضوع أولاً كثير الاتساع والتشعب وثانياً لأن بعض هذه الاستعمالات ما يزال في نطاق البحث العلمي حيث يصعب حصر كل ما يجري في العالم حول هذا الموضوع .

ولكن يبقى من الممكن حصر استعمال الأشعة السينية في الكيمياء بقسمين :

أ ـ إستعمال الأشعة السينية كوسيلة فحص لتركيب المادة دون أن تؤثر فيها، أي كوسيلة تحليل كيميائي من حيث الهدف دون أن تغير طبيعة المادة بإحداث تفاعلات كيميائية .

ب ـ تعامل الأشعة السينية مع المادة والتأثير عليها باتجاه تغيير تركيبها الكيميائي كما يحصل عند تأثر ملح الفضة في اللوحة الحساسة المعدة للتصوير عند تلقيها حزمة الأشعة السينية .

2.5 ـ معرفة طبيعة المادة بواسطة حيود الأشعة السينية

في الفصل الرابع أوجزنا بعض المعلومات حول الأنظمة البلورية وحول استعمال الأشعة السينية في تحديد النظام البلوري السائد في مادة معينة .

وهناك ميدان قائم بذاته في الكيمياء يسمى بالكيمياء البنيوية وهي تهدف لمعرفة البنية البلورية لخليط جديد أو لمادة جديدة تم تركيبها كيميائياً. وتسير الأمور بالطريقة التي شرحنا في الفصل السابق أي بالبحث عما يلي :

أ ـ النظام البلوري وشكل الوحدة البلورية
ب ـ أبعاد وزوايا الوحدة البلورية
ج ـ توزع الذرات داخل الوحدة البلورية .

وهذا العمل يفترض معرفة طبيعة الذرات المكونة للمادة المدروسة وبالتالي معرفة معامل النشر الذري الذي يدخل في حساب شدة الأشعة السينية المحيدة (راجع الفصل الرابع). ولكن يواجه الكيميائيون حالات عديدة لا يعرفون فيها، بما يستوجب الأمر من دقة، طبيعة الجزيء المكون للمادة وإن كانوا يعرفون طبيعة الذرات الموجودة .

ولنضرب مثلاً على ذلك .

عند محاولة تحضير المركب (Mn_2N) يواجه الكيميائيون صعوبات عديدة لتجنب الحصول على المركب (Mn_4N) وعلى أكسيد المنغنيز (MnO). والمركب الأخير يتكون بسهولة لتقارب قيمة قطر ذرة الأكسجين وقطر ذرة النتروجين. لذا وإن انطلق الكيميائي من مواد أولية تؤكد له وجود ذرتين منغنيز (Mn) مقابل كل ذرة نتروجين فإنه من الصعب تجنّب الحصول على المركبين الآنفي الذكر بشكل كميات قليلة. وبالرغم من ضآلة هذه الكميات فإنها تساهم في حيود الأشعة السينية مدخلة بذلك بعض الخطأ في القياسات إن لم ينتبه الكيميائي لذلك .

ولقد قلنا في الفصل الماضي أن لكل مركب بصمته بمعنى أن لكل مركب صورة حيود خاصة به. فعند وجو مركب (Mn_4N) مختلطاً بالمركب (Mn_2N) تصبح صورة الحيود عبارة عن مجموع صورتي حيود : واحدة خاصة بالمركب (Mn_4N) وثانية خاصة بالمركب (Mn_2N) .

ويوجد اليوم في أكثر مختبرات العالم العاملة في حقل حيود الأشعة السينية كتب وجداول وبطاقات تعطي معلومات كافية عن البنى البلورية لمختلف المركبات

المعروفة، ووصفاً دقيقاً "للبصمات" الخاصة بكل بلور. ونذكر على سبيل المثال كتب ويكوف (Wyckoff) وبطاقات (A.S.T.M.) .

وهكذا يستطيع الكيميائي عند مقابلة أي مخطط حيود بالمعلومات المعروفة عن الأجسام الصلبة أن يعزل مختلف البصمات المتواجدة في آن معاً على صورة الحيود نفسها وأن يعرف بالتالي المركب الذي تم تركيبه بعد التفاعلات الكيميائية التي حدثت .

ولقد أشرنا في الفصل الرابع إلى عدم كمال البنية البلورية أي إلى احتمال وجود شوائب وعيوب في هذه البنية تتجلّى في بعض الأحيان بنقص في بعض ذرات من طبيعة معينة أو عدم وجودها في مكانها الطبيعي. وأعطينا مثلاً عن تغير البنية البلورية للمادة عند اختلاف قيمة هذا النقص في الذرات ($Mn_2N_{0.86}$ et $Mn_2N_{0.92}$). ولكن كيف يستطيع الكيميائي معرفة كمية النتروجين الموجود في البلور ؟

لدى الكيميائيين طرق عديدة للتحليل الكيميائي تختلف باختلاف ميدان عملهم وطبيعة المادة المنوي تحليلها. ومن هذه الطرق ما يستعمل معطيات ذرية كالطريقة التي تستعمل التنشيط. ولن نتطرق إلى هذه الوسائل بل سنشير إلى مدى إمكانية استعمال حيود الأشعة السينية في هذا المجال .

لقد رأينا أن شدة حز الحيود تعطى بحاصل ضرب كمية F بنفسها، وهذه الكمية تحتوي على معامل النشر الذري f الخاص بكل ذرة موجودة في المادة. فإذا كان هناك نقص في عدد ذرات النتروجين مثلاً في المركب Mn_2N بالنسبة لعدد ذرات المنغنيز أصبح من الممكن القول أن هناك أقل من ذرة نتروجين مقابل كل ذرتي منغنيز .

إن هذا القول لا يعني مطلقاً وجود جزء من ذرة في جزيء المركب. فالكل يعلم استحالة ذلك. فلنأخذ مثلاً لتوضيح الصورة : لو اعتبرنا أن هناك تسع ذرات نتروجين مقابل كل عشرين ذرة منغنيز لأصبح من الممكن القول بوجود، مقابل كل ذرتين منغنير، 0,9 ذرة نتروجين وهذا ما يفسر ما قلناه آنفاً .

وعند حساب شدة حز الحيود يصار إلى إدخال (0,9f) عوضاً عن f وبشكل عام إذا كان النقص (x) غير معروفة يصار إلى كتابة (l-x)f ومقابلة الشدة المحسوبة بالشدة المقاسة لأكثر من حز حيود لاستنتاج قيمة x .

وهذا ما تم القياس به عند دراسة المركب Mn_2N. فقد أجرينا تجارب حيود أشعة سينية (وحيود نترونات) على مركبين تم تحضيرهما بطريقتين مختلفتين، وتبين لنا أن المركب الأول كان $Mn_2M_{0.86}$ والمركب الثاني هو ($Mn_2N_{0.92}$). وتجدر الإشارة إلى أن تجارب حيود النترونات (التي تستعمل نفس مبادئ حيود الأشعة السينية) أعطت نتائج أفضل من حيود الأشعة السينية نظراً لصغر قيمة معامل النشر الذري f لذرة النتروجين في تجارب الأشعة السينية. ويمكن القول أن قيمة النتروجين قد حددت بدقة تقارب 1% .

3.5 ـ دراسة الخلائط المعدنية

يعمد بعض الكيميائيين والفيزيائيين (لأغراض تطبيقية وصناعية في أكثر الأحيان) إلى خلط معدنين أو أكثر والحصول على ما يسمى بالخلائط المعدنية. والمشاكل التي تواجههم تكمن في كثير من الأحيان في تحديد كمية كل معدن بالنسبة للمعادن الأخرى الموجودة في الخليط وأماكن توجد الذرات. وهناك بالطبع مشاكل أخرى حرية بالدراسة سنأتي على ذكر بعضها عند التطرق لاستعمال الأشعة السينية في ميدان الفيزياء .

ما يهمنا تبيانه هنا هو حل بعض مشاكل كيمياء الخلائط بواسطة الأشعة السينية. وسنركز عرضنا على خليط مؤلف من معدنين فقط وذلك طلباً للسهولة ومزيد من الوضوح. وتعميم هذا العرض على خليط مؤلف من أكثر من معدنين لا يخلق مصاعب جديدة بالنسبة للقارئ .

قبل كل شيء سنتطرق لمبدأ بسيط وأساسي في علم الاحتمالات. فلو وضعنا في علبة كبيرة 25 كلة (كرية) حمراء و75 كلة زرقاء متساوية الحجم وخلطناها فيما بينها ثم حاولنا دون أن ننظر، أن نأخذ كلة (كرية) لكان الاحتمال في أن تكون حمراء يساوي 25% والاحتمال في أن تكون زرقاء يساوي75%، وهذا يعني أن مجموع الاحتمالات يساوي دائماً واحداً .

سنطبق هذا المثل على الخلائط المعدنية حيث تختلط، مبدئياً، ذرات معدنين مختلفين. فإذا نظرنا إلى عقدة (Nœud) في الوحدة البلورية (راجع الفصل الرابع) لكان احتمال أن نجد ذرة من المعدن الأول تساوي x مثلاً واحتمال أن تكون من المعدن الثاني (1-x). فلو كان الخليط حديداً ونحاساً لكتب بالشكل التالي :

$$Fe_xCu_{(1-x)}$$

فيما يلي سنشير إلى المعدن الأول بالحرف A وللمعدن الثاني بالحرف B فيكون الخليط (A_xB_{l-x}). وسنحاول عرض كيفية حساب الكمية x انطلاقاً من حيود الأشعة السينية ومن اعتبار ذرات A و B مختلطة فيما بينها .

في هذه الحال يتم استعمال نفس المبادئ التي تحدثنا عنها في المقطع السابق. فإذا كان معامل النشر الذري الخاص بالمعدن A هو f_A ومعامل النشر الخاص بالمعدن B هو f_B أصبح معامل النشر الذري في أي عقدة من عقد الشبكة البلورية مساوياً f .

$$f = xf_A + (l-x)f_B$$

ويتم حساب شدة الأشعة المحيدة انطلاقاً من قيمة f ومقابلتها بالشدة المقيسة مما يؤدي إلى إمكانية معرفة x .

وأما في حال كون الذرات A و B غير مختلطة بحيث تحتل ذرات A عقداً معينة وذرات B عقداً تختلف عن تلك التي يحتلها A فإنه يكون بالإمكان أيضاً معرفة عقد A وعقد B. وسنأخذ مثلاً على ذلك خليطاً يملك النظام المكعب المركز الذي يحوي نوعين وحيدين من العقد : العقد الموجود على رؤوس المكعب والعقد الموجودة في مراكز المكعبات .

فلو افترضنا أن A موجودة في رأس المكعب أي في النقطة (0,0,0) والمعدن B في مركز المكعب أي في النقطة (1/2 , 1/2 , 1/2) لأصبحت المعادلة التي تعطي F تختلف عن تلك التي نحصل عليها لو كان A في (1/2, 1/2 ,1/2) و B في (0,0,0). وإن اختلاف قيمة F بين التركيبين يؤدي إلى اختلاف القيمة المحسوبة لشدة الأشعة المحيدة في كلا الاعتبارين. يتم الاختيار بينهما بعد مقابلة القيمتين المحسوبتين والقيمة المقيسة .

4.5 ـ دراسة تجانس الأجسام الصلبة

إن تحضير خليط معين يستدعي المراقبة الدائمة والعمل المتواصل للحصول على تجانس في كل أقسامه. فتحضير خليط من النحاس والذهب بنسبة 50% ذهباً و50% نحاساً يستوجب وجود النسبة نفسها في أي قسم أو جزء صغير من أجزاء الخليط. ولكن عوامل كثيرة، كالثقل النوعي وأبعاد الذرات، تجعل الوصول إلى مثل هذا التجانس صعباً بعض الشيء .

وقد لا تؤدي التحاليل الكيميائية العادية لمعرفة ما إذا كان الخليط متجانساً أم لا، وذلك لأنه من غير الممكن تحليل أقسام متناهية الصغر لمعرفة ما إذا كانت تحتوي على 45% ذهباً مثلاً عوضاً عن 50%. ولكن الأشعة السينية يمكنها أن "ترى" كل العينة المنتقاة من الخليط وأن تجمع المعلومات عن مختلف الأقسام المرئية من أجل إعطائها فيما بعد من خلال الحزمة المحيدة .

كيف يتم ذلك ؟

لقد قلنا في الفصل السابق أن قياس الزوايا θ يؤدي، انطلاقاً من قانون براغ إلى حساب المسافات الشبكية d. وهذا يعني أن تغير المسافة d يؤدي إلى تغير قيمة الزوايا θ وإلى تغير أماكن حزوز الحيود الموجودة في أي مخطط حيود. والجسم غير المتجانس عبارة عن عدة أجسام. وصورة الحيود عبارة عن عدة صور مطبوعة على نفس الورقة. ويمكن للدارس، بشيء من الخبرة، التفريق بين الصورة الواحدة والصور العديدة المجتمعة على الورقة الواحدة. وهذا التفريق يؤدي إلى معرفة ما إذا كان الجسم متجانساً أم لا .

ومن المعلوم أن المركبين $NaCl$ و KCl يملكان نفس البنية البلورية أي النظام المكعب ذا الأوجه المركزة، ويختلفان فقط في قيمة ضلع المكعب : 5,63 أنغستروم بالنسبة للأول و6,29 أنغستروم للثاني. فلو أخذنا عينة مؤلفة من $NaCl$ و KCl لحصلنا على صورة تحوي حزوز الحيود العائدة للأول، وتلك العائدة للثاني .

وأما إذا حضرنا مركباً جديداً $(Na_xK_{1-x}Cl)$ تختلط فيه ذرات الصوديوم والبوتاسيوم وأجرينا تجربة حيود الأشعة السينية لحصلنا على صورة مشابهة لتلك

التي تحصل عليها لو كان المركب هو NaCl فقط أو KCl فقط. ولكنها تختلف عنها بقيمة الزوايا θ أي بالمسافات الشبكية d .

وإنه لمن الواضح أن تكون المسافة d بين مسطحين [(211) مثلاً] متجاورين في الوحدة البلورية العائدة للمركب NaCl والمسافة بين نفس المسطحين في KCl مختلفتين، وذلك لاختلاف قيمـة ضلع المكعب. وهذا يعني أن اختلاف قيمة المسافات d يعبر عن اختلاف قيمة ضلع المكعب بين مركب وآخر .

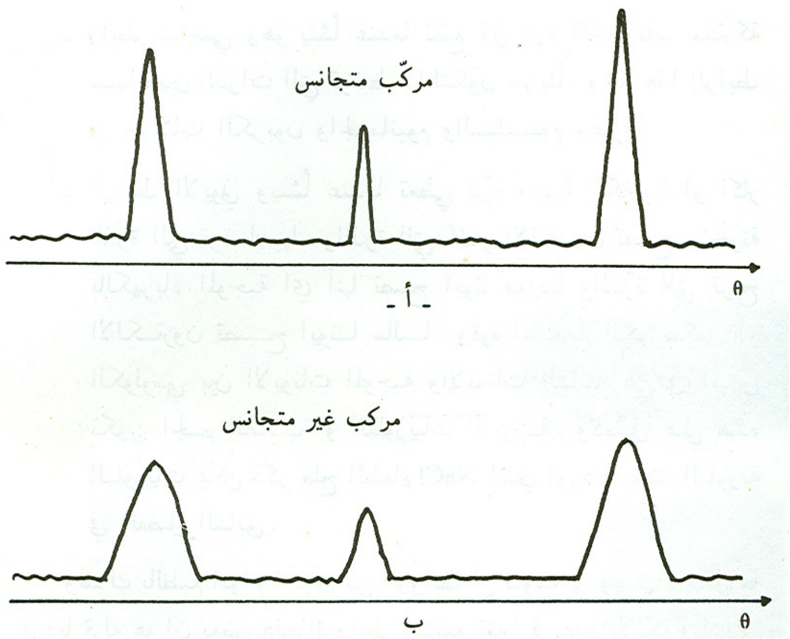
ولكن قد يكون الاختلاف زهيداً بين المسافات d. وعندئذ يكون الاختلاف ضئيلاً أيضاً بين الزوايا θ وبالتالي بين أماكن حزوز الحيود. وهذا يؤدي، عوضاً عن الحصول على حزين منفصلين ومتجاورين، إلى الحصول على حز حيود عريض نسبياً .

وكمثل على ذلك، أجرينا التجربة على الخلائط $Cr_{1-x}V_xN$ التي تملك نفس التركيب البلوري الخاص بالمركب NaCl. ولقد دلّت التجارب بواسطة الأشعة السينية على أن هذه المركبات غير متجانسة بالمعنى الدقيق للكلمة بالرغم من تأكيد الطرق الكلاسيكية المستعملة من قبل الكيميائيين بأن المركبات متجانسة .

وتجدر الإشارة إلى أننا عمدنا خلال هذه التجارب إلى خفض حرارة المركبات للتأكد من النتيجة التي ذكرناها أعلاه .

ويعمد حالياً أكثر الكيميائيين العاملين في حقل الكيمياء المعدنية إلى استعمال حيود الأشعة السينية من أجل معرفة نوع المركبات التي تم الحصول عليها، وبالتالي معرفة ما أدت إليه التفاعلات الكيميائية التي حدثت. وتتم عادة هذه الدراسة بالطرق الفوتوغرافية أو تلك التي تستعمل أجهزة إلكترونية وعدادات. وتعطي النتائج بوقت قصير نسبياً : من ساعة إلى بضع ساعات .

في الصورة رقم (5 ـ 1) أوردنا صورة حيود عائدة لمركب متجانس (الصورة أ) وصورة حيود عائدة لنفس المركب عندما لا يكون متجانساً (الصورة ب). ولقد أدى عدم التجانس في المركب إلى زيادة في عرض حزوز الحيود ونقص في ارتفاعها .



صورة رقم 5 ـ 1

5.5 ـ قياس درجة تأين الذرة في المادة الصلبة

إن ما يميز الجسم الصلب عن الغاز والسائل هو قوة الارتباط بين الذرات المكونة للجسم الصلب. وطبيعة هذا الرباط تختلف من جسم إلى آخر، ولكنها في جميع الحالات ذات طابع كهرسكوني. من بين هذه الروابط يمكن ذكر ما يلي :

- رابط فان درفالز ـ لندن (Van der waals – London) ونجده غالباً في بلورات الغازات النادرة أو الخاملة كالنيون (Ne) والأرغون (Ar). ويتميز هذا الرابط بعدم وجود كهيربات مشتركة بين ذرتين متجاورتين أو أكثر .
- رابط تساهمي وهو ينشأ عندما تضع كل ذرة إلكترونات مشتركة بينها وبين الذرات التي ترتبط بها لتكون جزيئاً. ونجد هذا الرابط في جزيئات الكربون والجرمانيوم والسليسيوم وغيرها .

ـ الرابط الأيوني وينشأ عندما تعطي ذرة معينة إلكتروناً أو أكثر للذرة التي ترتبط بها. والذرة التي تخسر الإلكترون تصبح مشحونة بالكهرباء الموجبة أي أنها تصبح أيوناً موجباً والذرة التي تربح الالكترون تصبح أيوناً سالباً. وقوة الجذب الكهرسكوني أو الكولومبي بين الأيونات الموجبة والأيونات السالبة هي في أساس تكوين الجسم الصلب أو البلوريات الأيونية. وكمثل على هذه البلوريات يمكن ذكر ملح الطعام (NaCl) الذي أوردنا بنيته البلورية في الفصل السابق .

وهناك بالطبع أنواع أخرى من الروابط لن نتوسع في وصفها. فكل ما أردنا قوله هو أن بعض هذه الروابط تستتبع تغيراً في تعدد الإلكترونات في كل ذرة أو أيون. ومن المهم جداً سواء بالنسبة للكيميائي أو الفيزيائي أن يعرف كيف تتوزع الإلكترونات في البلور : هل هي مجتمعة في مختلف الذرات أو الأيونات الموجودة في البلور أم أن هناك إلكترونات حرة كما هو الحال في المعادن ؟

إن حيود الأشعة السينية يقدم بعض المعلومات حول درجة تأيين الذرات داخل البلور. وكما في الفصل السابق، فإن معامل النشر الذري يتصل اتصالاً وثيقاً بالعدد الذري أي بعدد الإلكترونات الموجودة في الذرة. فإذا تغير هذا العدد تغير معامل النشر الذري وتغيرت بالتالي شدة الأشعة السينية المحيدة في الاتجاهات θ التي تكلمنا عنها سابقاً .

إن قياس شدة حز الحيود التي نحصل عليها بواسطة مادة معينة موضوعة للدرس وتلك التي نحصل عليها بواسطة مادة معروفة يمكّننا من معرفة معامل النشر الذري، وبالتالي معرفة درجة تأيين الذرات في الجزيئات المكونة للجسم الصلب .

وتجدر الإشارة إلى أن الأشعة السينية لا تصل حتى نواة الذرة التي تلتقيها، بل تتعامل فقط مع الإلكترونات الموجودة في البلور لتنتشر فيما بعد في كل الاتجاهات وحسب قانون براغ. إن قياس شدة الأشعة السينية المحيدة في كل الاتجاهات يعني "خريطة" لتوزع الإلكترونات في البلور، ويحدد أماكن تواجد الإلكترونات بشكل كثيف، أي أماكن الذرات أو الأيونات .

6.5 ـ دراسة هندسة الجزيئات

أشرنا في مقدمة الفصل للدور المهم الذي لعبه الجزيء في كيمياء الغازات والسوائل وقلنا بأن التركيب البلوري حاز على اهتمام كبير من قبل الكيميائيين العاملين في حقل الأجسام الصلبة. ولكن هذا لا يعني وجود قطيعة بين الجزيء وبين التركيب البلوري. ويبقى في غاية الأهمية معرفة هندسة الجزيء وكيف تتصل الذرات فيما بينها. ويرتدي الموضوع أهميته القصوى عندما يتكون الجزيء من أكثر من ذرة (الماء مثلاً) .

لذا فكّر الكيميائيون بأن أقصر طريق لمعرفة هذه الهندسة هي دراسة التركيب البلوري للمادة المكونة من هذه الجزيئات واستنتاج شكل الجزيء من البلور نفسه. وتتم الدراسة بالطريقة التي شرحناها في الفصل الماضي ويصار فيما بعد إلى تحليل الوحدة البلورية ومعرفة الروابط بين مختلف الذرات .

في ملح الطعام نجد أن كل ذرة كلور محاطة بست ذرات صوديوم. وهذا لا يعني مطلقاً أن ملح الطعام هو Na_6Cl. ولتفسير هذا الأمر سنأخذ ذرة كلور محددة، وهي الذرة الموجودة في النقطة (1/2 , 1/2 , 1/2) أي في مركز المكعب (أنظر الصورة رقم 4 ـ 7) وذرات الصوديوم القريبة منها هي تلك الموجودة في مراكز الأوجه الستة للمكعب .

وعند حساب عدد الذرات في الوحدة البلورية يجب الاسترشاد بالقوانين التالية :

- الذرة الموجودة داخل الوحدة البلورية تحسب ذرة كاملة .
- الذرة الموجودة على وجه من أوجه الوحدة البلورية تحسب نصف ذرة لأنها موجودة في وحدتين بلوريتين تملكان هذا الوجه في آن معاً .
- الذرة الموجودة على ضلع تحسب ربع ذرة لأنها مشتركة بين أربع وحدات بلورية .
- الذرة الموجودة في زاوية أو رأس الوحدة البلورية تحسب (1/8) ثمن ذرة لأنها مشتركة بين ثماني وحدات بلورية .

بالنسبة لملح الطعام فإن عدد ذرات الكلور هو :

$$4 = (1/4 \times 12) + 1$$

وعدد ذرات الصوديوم هو :

$$4 = (1/8 \times 8) + (1/2 \times 6)$$

وهذا يعني أنه مقابل كل ذرة صوديوم يوجد ذرة كلور، وهذا ما يتماشى مع الصيغة الكيميائية لملح الطعام : NaCl .

وهناك ناحية أخرى نود الإشارة إليها ولو بسرعة وهي تتعلق بقياس أبعاد الذرات والأيونات في البلور. فقد عمد الباحثون إلى استنتاج هذه الأبعاد من قياس المسافات بين مختلف الذرات الموجودة في الوحدة البلورية. وقد تبين من هذه الدراسات أنه لا يمكن جمع شعاع ذرة إلى شعاع ذرة ثانية للحصول على المسافة بينهما، إذ أن عوامل عديدة تساهم في تحديد هذه المسافة. من هذه العوامل يمكن ذكر :

- عدد الذرات المحيطة بذرة معينة
- طبيعة الرباط بين ذرتين متجاورتين .

ولذا يتوجب إدخال تأثيرات هذه العوامل في أي معادلة تهدف لإعطاء المسافة بين ذرتين أو أيونين بالنسبة لشعاعيهما .

7.5 ـ التحليل الكيميائي بواسطة طيف الأشعة السينية الصادرة عن المادة

رأينا في الفصلين الأول والثالث أن طول موجة الأشعة السينية الصادرة عن مادة معينة أو التي تمتصها هذه المادة إنما هي خاصة بالعناصر الكيميائية المؤلفة للمادة. وهذا يعني إمكانية استعمال هذه النتائج في ميادين التحليل الكيميائي الكمي أو النوعي. ويقدم قانون موزلي (Moseley) في هذا المجال خدمة هائلة خاصة في اكتشاف عناصر جديدة في خليط أو مزيج لأنه من الممكن، وبكثير من الدقة، معرفة طول موجة الأشعة السينية الخاصة بكل عنصر (راجع الفصل الأول) .

ويتم هذا التحليل بالطرق التالية :

أ ـ يصنع من المادة المراد تحليلها مصعداً لأنبوب الأشعة السينية ثم يصار إلى قياس أطياف الأشعة السينية (K,L ou M) من أجل معرفة العنصر الكيميائي الذي أصدرها. كما يمكن الاستعاضة عن أنبوب الأشعة السينية باستعمال أشعة بيتا (إلكترونات) الصادرة عن نظير مشع عوضاً عن الكهيربات المنبعثة من المهبط (أشعة مهبطية) أو من شريط حار مجاور للمهبط في أنبوب الأشعة السينية.

ب ـ يوضع جزء من المادة المراد تحليلها داخل أنبوب الأشعة السينية بعد أخذ الاحتياطات اللازمة من أجل عدم وصول أشعة مهبطية إليه. وتتلقى المادة حزمة الأشعة السينية الصادرة من المصعد فتمتصها ثم تصدر بدورها، بطريقة الفلورة، أشعة سينية خاصة بها يعمد الكيميائي لقياس طول موجتها من أجل التعرف لطبيعة العنصر الموجود فيها .

ج ـ تتم هذه العملية كما في المقطع ب، ولكن عوضاً عن وضع المادة داخل الأنبوب، فإنها توضع خارجه مما يسهل بالطبع عملية التحليل. وثمن هذه السهولة يدفعه الكيميائي بنقصان شدة حزمة الأشعة السينية والزيادة في الوقت الذي تتطلبه التجربة. ولقد أوجد العاملون في هذه الحقول بعض الحلول لهذه الصعوبة ومنها صنع أنابيب أشعة سينية قادرة على إصدار أشعة سينية كبيرة الشدة. ويتم قياس الأشعة التي تصدرها المادة المراد تحليلها بواسطة عداد جايجر.

وإلى جانب هذه الطرق الثلاث يوجد طرق أخرى تعتمد على نفس المبادئ النظرية ولكنها تختلف فيما بينها بطريقة تحريض المادة المراد تحليلها وطريقة قياس الأشعة السينية الصادرة عن المادة .

وتعطي هذه الطرق في التحليل الكيميائي نتائج أكثر دقة من تلك التي تعطيها الطرق التي تستعمل الحيود، خاصة بالنسبة للمواد صغيرة العدد الذري نسبياً، أي المواد الصغيرة معامل النشر الذري f. فالطرق التي تستعمل قياس الأشعة السينية الصادرة عن المادة قادرة على اكتشاف عناصر لا تتعدى كتلتها جزئين من عشرة ملايين جزء من الغرام .

ثم أنه من الممكن استعمال المادة مهما كان شكلها ومهما كانت نوعية تركيبها الكيميائي، فالفلورة لا تحدث أي تلف أو تغيير في تكوين المادة موضوع الدراسة. وهذا ما يجعل طريقة القياس مستعملة في تحليل المعادن الثمينة والمجوهرات .

ومع ذلك تبقى هناك صعوبات جمة تقلّل من إمكانية الاستعمال الدائم لهذه الطرق في التحليل الكيميائي. فطول الموجة الخاص بالعناصر ذات العدد الذري الصغير، يعد كبيراً نسبياً، وهذا ما يحصر استعمالها في تحليل العناصر ذات العدد الذري الذي يساوي أو يزيد عن 20 .

وتجلى هذه الصعوبات، مضافة إلى غيرها، في ميدان التحليل الكمي، أي عندما يراد معرفة وزن عنصر معين في المادة. وأما في ميدان التحليل النوعي فتفقد هذه الصعوبات كثيراً من أهميتها. فالتحليل النوعي يهدف لمعرفة ما إذا كان عنصر معين موجوداً في المادة أم لا دون البحث عن نسبة وزنه بالنسبة للوزن الإجمالي .

إن أهمية طرق التحليل بواسطة الفلورة تظهر عند تحليل جسم غير متجانس لأنه من الممكن تحليل أجزاء بسيطة من المادة حتى أن غينيه (Guinier) الفرنسي استطاع في العام 1953 أن يصنع جهازاً قادراً على تحليل المادة نقطة نقطة ومعرفة ما إذا كان الجسم متجانساً أم لا .

8.5 ـ التحليل الكيميائي بواسطة الامتصاص

رأينا في الفصل الثالث أن العناصر تتباين فيما بينها بقدرتها على الامتصاص، وهذا التباين يجعل من الممكن البحث عن هذه العناصر بواسطة قياس قدرتها على الامتصاص. وبكلام آخر، يبدو من الممكن القياس بتحليل كيميائي انطلاقاً من قياس الامتصاص. فمنذ السنوات 1920 بدأ العلماء باستعمال هذه الطريقة للبحث عن بعض العناصر وخاصة قياس كمية الرصاص الموجود في البنزين. والجدير بالذكر أن دقة القياس كانت تصل حتى 1 من 14000. والطريقة تستعمل الفارق الكبير بين معامل الامتصاص في الكربون والهيدروجين وبين معامل الامتصاص الخاص بالرصاص .

ومن أجل المزيد من الدقة يستعمل الباحثون عنصراً معروفاً بقدرته على الامتصاص من أجل مقابلة القياسات التي تجري عليه بالقياسات التي تجري على المادة المراد تحليلها. وقد تم الوصول لقوانين تربط كمية الأشعة السينية غير الممتصة بكتلة المادة الممتصة للأشعة السينية .

وتستعمل هذه الطريقة بالتحليل الكيميائي في الأجسام الصلبة، السوائل والغازات، ويمكن، على سبيل المثال، ذكر العمليات التالية :

- دراسة المواد البلاستيكية وقياس كمية الكلور والفلور فيها .
- قياس كمية الكبريت في الزيت الخام والزيت المكرر المستعمل في مختلف الآليات كمحرك السيارة أو الطيارة إلخ ...
- قياس كمية الرصاص في البنزين
- البحث عن الصيغة الكيميائية للمواد العضوية
- قياس كمية المعادن الثقيلة في الزجاج
- تحليل الخلائط المعدنية، خاصة إذا كان الثقل النوعي للعنصر الدخيل أكبر بكثير من الثقل النوعي للمعدن الأساسي
- قياس الثقل النوعي للغاز وراء طائرة تسير بسرعة تفوق سرعة الصوت. ولا يتم القياس بالطبع وراء طائرة حقيقية وإنما يصار إلى إيجاد نفس الشروط داخل مخبر تجري فيه القياسات .

9.5 ـ التأثيرات الكيميائية للأشعة السينية

لدراسة التأثيرات الكيميائية أهمية مثلثة الجوانب تتجلّى فيما يلي :

أ ـ ميدان كيمياء الإشعاعات، وخاصة ما يتعلق بسرعة التفاعلات الكيميائية من جهة، وثبات (الروابط) الصلات الكيميائية .

ب ـ المعلومات التي تقدمها دراسة التحولات الكيميائية تفيد إفادة عظيمة دارسي التأثيرات البيولوجية للأشعة السينية .

ج ـ إن معرفة التأثير الكيميائي للأشعة السينية على جسم معين يؤدي في بعض الحالات لاستعمال هذا الجسم من أجل قياس شدة الأشعة السينية أو تحديد الجرعة المراد تسليطها على جسم أو إنسان معين .

ولقد أشرنا في الفصول السابقة إلى قدرة الأشعة السينية الكبيرة على اختراق المواد الصلبة وإلى العظم النسبي للطاقة التي يحملها الفوتون السيني. وهذا ما دفع الدارسين للاعتقاد بوجود تأثيرات كيميائية هامة وكثيرة. ولكن الواقع يدل على أن الحالات التي يحدث فيها تحول كيميائي هام قليلة العدد : فلقد دلّت بعض التجارب على أن بعض الأجسام التي تتحول تحت تأثير الإشعاعات فوق البنفسجية لا تظهر أي تغير تحت تأثير الأشعة السينية .

من بين هذه التحولات الكيميائية يمكن أن نذكر على سبيل المثال :

أ ـ الظاهرة الفوتوغرافية

ب ـ تفكك بعض المواد العضوية .

لقد برزت أهمية دراسة التأثيرات الكيميائية بعد إلقاء القنابل الذرية على اليابان في العام 1945 أواخر الحرب العالمية الثانية بعد ظهور التأثيرات البيولوجية المميتة للإشعاعات الذرية. ومعرفة هذه التأثيرات هامة بالنسبة لكل إنسان على وجه الأرض. ومنذ ذلك الوقت بدأت بعض الحكومات بتوجيه الأبحاث العلمية في هذا الاتجاه من أجل تزويد كل مواطن بجهاز صغير الحجم وسهل الاستعمال قادر على إعطاء المعلومات عن شدة الإشعاعات في مكان معين .

وتجدر الإشارة إلى اختلاف التفاعلات الكيميائية التي تحدثها الأشعة العادية عن تلك التي تحدثها الأشعة السينية نظراً لكون الطاقة التي يحملها الفوتون السيني كبيرة نسبياً. فعند وصول الفوتون إلى المادة تعمد هذه إلى امتصاصه كما شرحنا ذلك في السابق. ويسبق امتصاص الفوتون إذن أي ظاهرة فيزيويائية أو كيميائية في المادة. وكما رأينا أن امتصاص طاقة الفوتون يؤدي في بعض الأحيان إلى استخراج كهيرب (إلكترون) من إحدى الذرات أي إلى تأيين هذه الذرة .

وتمتص الطاقة التي يحملها فوتون أشعة عادية دفعة واحدة مما يضع الجزيء في مستوى طاقة أعلى بينما تمتص طاقة فوتون الأشعة السينية (الكبيرة)

تدريجياً. فاستعمال أشعة عادية أحادية طول الموجة يؤدي إلى إيجاد عدد كبير من الجزيئات في نفس مستوى الطاقة العالي، بينما يؤدي استعمال الأشعة السينية لإيجاد عدة مستويات طاقة عالية نظراً لتفاوت كمية الطاقة الممتصة بين جزيء وجزيء .

إن وجود بعض الجزيئات المثارة يؤدي، في بعض الأحيان، لتفاعلات كيميائية لا تحدث عادة بين جزيئات طبيعية غير مثارة. والإثارة لا تحدثها دائماً حزمة الأشعة السينية المسلطة وإنما الإشعاعات الثانوية التي تنبعث من المادة أو الكهيربات المنطلقة من بعض الذرات .

والتفاعلات التي تحدث بين الجزيئات المثارة تكون بشكل تفاعلات متعاقبة ومتسلسلة كما يحدث مثلاً في الكلوروفورم الذي يعطي حامض الكلوريدريك .

وتبقى التفاعلات التي تحدثها الأشعة السينية في الماء في غاية الأهمية نظراً للإنعكاسات الكبيرة على فهم التأثيرات البيولوجية للأشعة السينية. فتسليط حزمة من الأشعة السينية على ماء يحتوي على غاز الأكسجين يؤدي للحصول على الماء المؤكسج. ومنذ اكتشاف هذه الخصائص بدأت الدراسات لتحديد ما إذا كانت التأثيرات البيولوجية للأشعة السينية ذات علاقة، ولو ضئيلة، بهذا النوع من الماء المؤكسج .

ويؤدي تسليط الأشعة السينية على محلول مادة عضوية، إلى الحصول، في كل الحالات، على الهيدروجين، وفي حال وجود جزيئات تحتوي على الكثير من الأكسجين فإنه يؤدي إلى الحصول على غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2). وكمية الجزيئات المفكّكة تزيد بازدياد كمية المادة العضوية في الماء وهذا يعني وجود تفاعلات ثانوية أي تفاعلات لا تنتج مباشرة عن الأشعة السينية وإنما عما ينتج بعد امتصاص الأشعة السينية (إلكترونات ـ أيونات إلخ ...) ويمكن ذكر مثل حامض الفورميك. فهذا الحامض يتحلّل إلى هيدروجين وثاني أكسيد الكربون معاً.

$$HCOOH = H_2 + CO_2$$

ولكن إذا ما قدر وجود الأوكسجين فلا يتم الحصول على هيدروجين وإنما على ماء (H_2O). وتجدر الإشارة إلى أن الكحول والبولينا (Urée) والدكستروز (dextrose) تعطي الهيدروجين دائماً .

إن تفكك المواد العضوية وتحولها إلى غازات مهما ضؤلت كميتها يجعل من الممكن الحصول على مياه صافية جداً. فلقد تبين أن الماء المغلي الذي وصلت درجة حرارة بخاره إلى 900 درجة مئوية كان مازال يحتوي على مواد عضوية. أما تعريض المياه للأشعة السينية فكفيل بالقضاء على كل مركب عضوي موجود في الماء. ولا ضرورة هنا لذكر الأهمية القصوى التي يعطيها العلم للقياسات التي يمكن إجراؤها على المياه الصافية .

10.5 ـ دراسة البنية الجزيئية والبلورية للبلمر

تحت عنوان البلمر يمكن كتابة كتاب كامل نظراً لأهمية الموضوع في عصرنا هذا. فنحن نعيش عصر البلمر والنايلون وغيرها من المواد التي تستعمل لصناعة اللدائن المتعددة الاستعمال. فالكثير من ثياب الإنسان وأدوات منزله مصنوعة من هذه المواد التي حاول فيها الإنسان أن يتبع مثل الطبيعة في خلق المطاط والبروتيين والخلايا الحية .

ولكن ما هو البلمر ؟

يتألف البلمر من جزيئات عملاقة (Molécules géantes ou macromolécules) يتألف كل واحد منها من مونومر (monomère) أو أكثر والمونومر مركب كيميائي عادي وبسيط ذو وزن جزيئي ضئيل والعملية التي يتم فيها الحصول على البلمر أي البلمرة (Polymérisation) لا تنحصر في المركبات العضوية للكربون وإنما تتعداها لبعض المركبات المعدنية .

وتركيب بلمر معين ليس بالضرورة نفس تركيب الجزيء أو المونومر الذي كون البلمر. ومن الممكن أن يتألف البلمر من جزيئات مختلفة كما يحصل في صنع المواد التي يمكن أن تحل مكان الحرير الطبيعي .

ولمعرفة، ولو بشكل جزئي، تركيب بلمر معين وهندسة بنائه تم إيجاد طرق ووسائل تستخدم حيود الأشعة السينية. وهذه الطرق تشكل أداة مهمة وناجحة أعطت وستبقى تعطي نتائج تتعدى كل ما يمكن الحصول عليه بالتحليل الكيميائي بالدراسة المجهرية أو بالوسائل الأخرى التي تستعمل في مجال دراسة البلمر .

ومن بين البلمرات العضوية يمكن ذكر البوليتين والبوليستر والبوليميد وغيرها من المواد التي تستعمل في الكثير من الألبسة والتجهيزات المنزلية. ولابد من التذكير بأهمية تطور هذا العلم في تطور صناعة البتروكيميائيات .

ولقد تبين أن للكثير من الأجسام الصلبة المتبلورة بعض خصائص البلمر. من بين هذه الأجسام يمكن ذكر الماس والسليسيوم والزجاج. ولقد رأينا أهمية حيود الأشعة السينية في معرفة التركيب البلوري للأجسام الصلبة. ولكن لابد من الإشارة إلى أن دراسة البلمر العضوية بالأشعة السينية قد تستدعي طرقاً تختلف بعض الشيء عن تلك التي تستعمل في ميدان دراسة البلورات، ولكن الأساس النظري للحيود يبقى نفسه .

الفصل السادس
الأشعة السينية والفيزياء

1.6 ـ مقدمة

لقد تم اكتشاف الأشعة السينية على يد رونتغن أثناء دراسة بعض الخصائص الفيزيائية للأشعة المهبطية. ومنذ ذلك اليوم بدأ فصل جديد في عالم الفيزياء هو فيزياء الأشعة السينية. ويكفي أن نذكر الجهود والتجارب التي بذلت من أجل التوصل لمعرفة طبيعة الأشعة السينية وبشكل خاص يكفي أن نذكر تجارب لاو (Laue) التي دلت على موجية الأشعة السينية وعلى تناظر البنية البلورية للأجسام الصلبة. ولقد أرست هذه التجارب قواعد علم جديد هو علم البلوريات (راجع الفصل الرابع) الذي أدى خدمات جلّى في ميادين الكيمياء والفيزياء والبيولوجيا والجيولوجيا وغيرها .

ولن نتطرق في هذا الفصل لكل أوجه استعمال الأشعة السينية في ميادين الفيزياء بل سنكتفي بدراسة أكثر هذه الأوجه استعمالاً. لقد رأينا فيما سبق أن قياس طول موجة الأشعة السينية الخاصة الصادرة عن عنصر معدني معين يعطي معلومات دقيقة عن مختلف مستويات الطاقة في الذرة المستعملة. وهذه النتيجة تسمح باستعمال الأشعة السينية في ميدان الفيزياء الذرية .

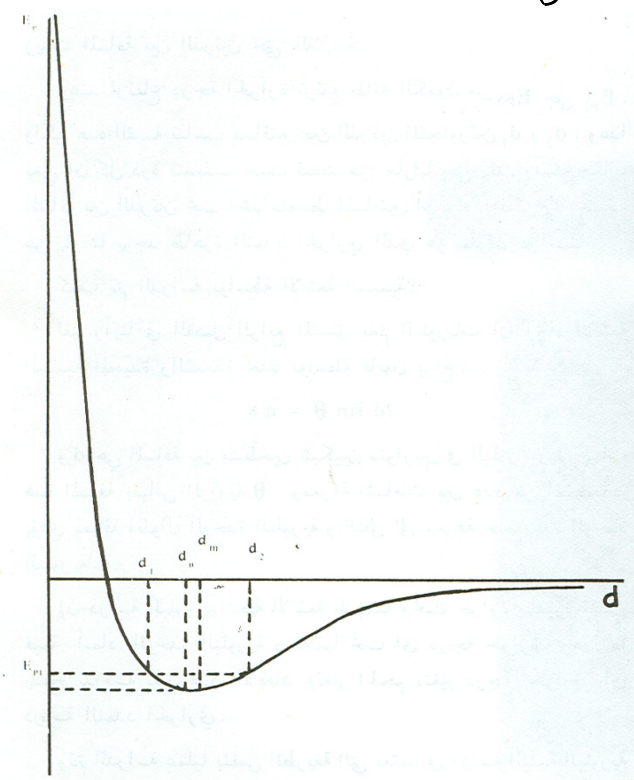
وقد يصعب حالياً وجود مخبر يهتم بدراسة المادة الصلبة يخلو من جهاز للأشعة السينية وتجهيزات لقياس الأشعة السينية المحيدة. ولذا سنقصر عرضنا في هذا الفصل على بعض أوجه استعمال هذه الأشعة في ميدان فيزياء الأجسام الصلبة كدراسة التمدد الحراري ودراسة تغير الخصائص المغناطيسية والكهربائية والبلورية للأجسام الصلبة .

2.6 ـ دراسة التمدد الحراري

من المعروف أن ارتفاع درجة حرارة جسم ما يؤدي لزيادة حجمه وهذا ما يدعى بظاهرة التمدد الحراري. وهناك بالطبع بعض الحالات التي تناقض هذه الملاحظة كما هو الحال في الماء بالقرب من درجة الحرارة 4 مئوية .

وازدياد الحجم مع ارتفاع درجة الحرارة يعود لازدياد في حجم الوحدة البلورية (في حال الأجسام الجامدة البلورية) وفي طول المسافة بين ذرتين معينتين. وهذا يعني أن فهم ظاهرة التمدد الحراري يستدعي معرفة هندسة تكوين المادة : هندسة الجزيء وهندسة الوحدة البلورية ... الخ .

وسنحاول أن نعرض تبسيطاً لهذه الظاهرة قبل التطرق لاستعمال الأشعة السينية في هذا الميدان. فمن المعروف أن الذرات، في مادة معينة، ليست مجمدة في مكانها وإنما تتذبذب، وباتجاهات عديدة، حول بعض النقاط أي مواضع الاتزان وشدة الذبذبة تنخفض بانخفاض درجة الحرارة حتى الصفر المطلق (273 درجة مئوية تحت الصفر) .



صورة رقم 6 ـ 1
طاقة الكمون

في الصورة رقم (6 ـ 1) نبين تغير طاقة الجهد أو طاقة الكمون مع تغير المسافة بين ذرتين متجاورتين. وتمر طاقة الكمون بنقطة دنيا عندما تكون المسافة بين الذرتين تساوي القيمة "d_0"، ولكنها ترتفع بارتفاع درجة الحرارة. وينقسم الرسم البياني لتغير هذه الطاقة مع تغير المسافة بين الذرتين إلى قسمين : القسم المتعلّق بالمسافات التي تصغر قيمة d_0، والقسم المتعلق بتلك التي تكبرها. والقسمان غير متشابهين إذ أن الأول يدل على أن الطاقة تزيد حتى اللاّنهاية إذا ما نقصت المسافة بين الذرتين حتى الانعدام. وأما القسم الثاني فيدل على أن طاقة الكمون تنقص حتى الانعدام إذا ما زيدت المسافة بين الذرتين حتى اللاّنهاية .

وعند ارتفاع درجة الحرارة ترتفع طاقة الكمون من E_{po} حتى E_{pl} ولكن هذه القيمة تناسب مسافتين بين الذرتين المتجاورتين d_1 و d_2. وهذا يعني أن كل ذرة تتذبذب بحيث تبتعد عن جارتها حتى d_2. وعند حساب المسافة بين الذرتين يجب أخذ متوسط المسافتين أي d_m. ولكن d_m تختلف عن d_0 مما يوجد ظاهرة التمدد الحراري الذي هو عنوان دراستنا .

كيف تتم الدراسة بواسطة الأشعة السينية ؟

لقد رأينا في الفصل الرابع المتعلق بعلم البلوريات أن اتجاه الأشعة السينية المحيدة والشديدة يحدد بواسطة قانون براغ :

$$2d \sin \theta = n \lambda$$

و d هي المسافة بين مسطّحين شبكيين متوازيين في البلور. ويتم حساب هذه المسافة بقياس الزاوية θ. ومعرفة المسافات بين عدد من المسطّحات يؤدي لمعرفة أطوال الوحدة البلورية وبالتالي إلى معرفة حجم هذه الوحدة البلورية .

إن دراسة البلور بواسطة الأشعة السينية وتحت حرارة متغيرة تعطي قيمة أبعاد الوحدة البلورية وحجمها تحت أي درجة حرارة. وهذا ما يسمح بدراسة تغير هذه الأبعاد وتغير الحجم بتغير درجة الحرارة : أي دراسة التمدد الحراري .

وتتم الدراسة عملياً بنفس الطريقة التي تعتمد في دراسة البنية البلورية لجسم معين أي بواسطة الأشعة السينية. والفرق الوحيد يعود لطبيعة الأجهزة المستعملة لتغيير درجة الحرارة وقياسها .

وتجدر الإشارة إلى أن دراسة التمدد الحراري فوق درجة الحرارة العادية تؤدي إلى معلومات كثيرة الأهمية في ميادين عديدة من الفيزياء التطبيقية. ولكنها ترتدي أهمية خاصة تحت الدرجة العادية أي تحت حرارة منخفضة. ويتم الحصول على هذه الحرارة المنخفضة عادة بواسطة غازات مسيلة كالنيتروجين السائل (الذي تصل حرارته حتى 196 درجة مئوية تحت الصفر) والهيليوم (Helium) السائل الذي تصل درجة حرارته حتى 269 درجة مئوية تحت الصفر. وهناك طرق أخرى لا مجال لذكرها هنا للوصول إلى درجات حرارة أكثر انخفاضاً تزيد على الصفر المطلق بقليل أي بجزء من مئة من الدرجة. (الصفر المطلق يعادل 273 درجة تحت الصفر تقريباً) .

ويمكن تحديد معامل التمدد الحراري بالمعادلة التالية :

$$\alpha = \frac{l}{\text{v}} \left(\frac{d\text{v}}{dT}\right)$$

حيث

V = الحجم

T = درجة الحرارة المطلقة .

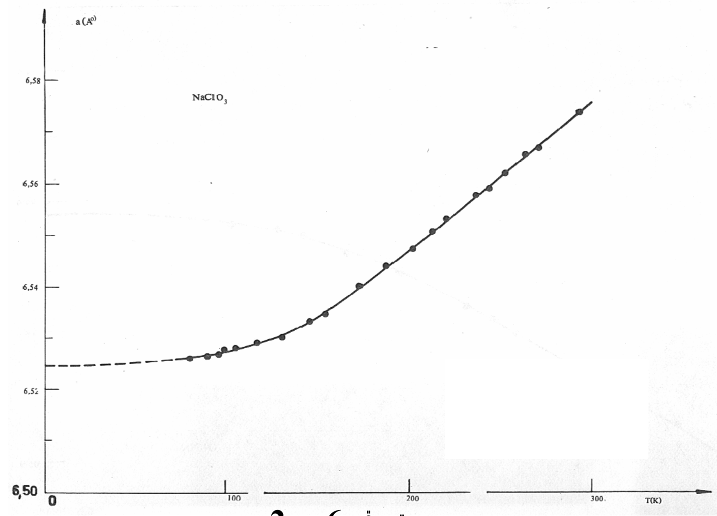
وتدل الدراسات النظرية والتجريبية على أن معامل التمدد الحراري ثابت وموجب تحت درجة حرارة عالية، ولكنه يصغر بانخفاض درجة الحرارة ليساوي صفراً عندما تلامس درجة الحرارة الصفر المطلق. ولكن هذه الملاحظة العامة تجد، في بعض الحالات ما يناقضها، إذ دلّت بعض التجارب على وجود معامل حرارة سالب. وبكلام آخر فإن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى تقلّص حجم الجسم عوضاً عن تمدده. ولكن هذه الحالات تبقى نادرة بحيث أنها لا تلغي الملاحظة العامة التي ذكرنا أعلاه. وهذا التغيير في طبيعة معامل التمدد الحراري يعود إلى تغير طارئ في "طيف الفونونات" (جمع فونون)، والفونون هو حبيبة الطاقة المرتبطة بذبذبة الذرات في البلور حول مواضع اتزانها .

ومن المعروف أن أي تغير في خاصة من الخصائص الفيزيائية لجسم معين يؤدي في أكثر الأحيان لتغير في قيمة معامل التمدد الحراري. ومن المهم جداً معرفة هذه التغييرات وربطها فيما بينها لاستخراج نتيجة عامة يمكن أن تكون في غاية الأهمية في ميدان الأجسام الصلبة .

ويمكن القول من هذا المنطلق أن الأجسام التي يكون معامل التمدد الحراري فيها ثابتاً وموجباً تحت حرارة مرتفعة ويتناقص تدريجياً بانخفاض درجة الحرارة، هي أجسام عادية لا يحدث انخفاض الحرارة أي تغير في خصائصها الفيزيائية .

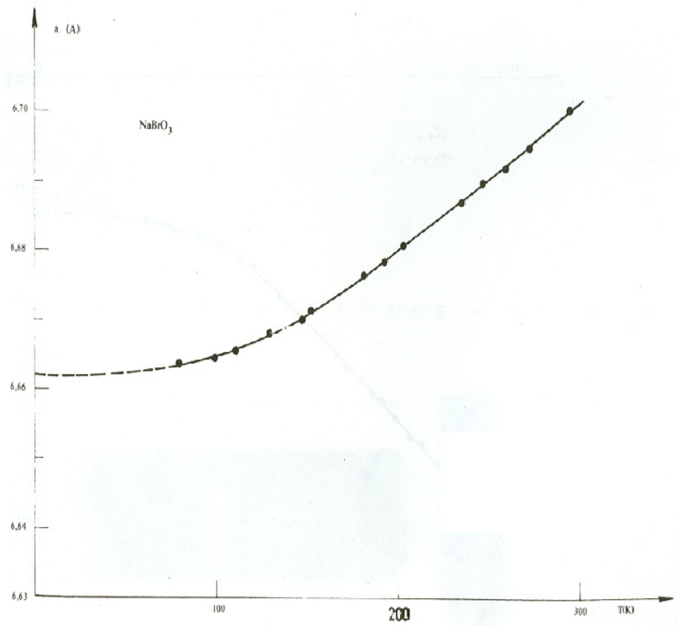
أما إذا حدث للمعامل أي تغير مفاجئ فيمكن القول أن بعض خصائص الجسم الفيزيائية قد تغيرت. من هذه الخصائص يمكن ذكر الخصائص المغناطيسية والكهربائية .

وكمثل على التغير الطبيعي لمعامل التمدد الحراري نورد الصورتين (6 ـ 2) و (6 ـ 3) حيث رسمنا تغير طول الوحدة البلورية مع تغير درجة الحرارة، وذلك للمركبين $NaClO_3$ و $NaBrO_3$. والتركيب البلوري لهذين المركبين مكعب بحيث أن قياس ضلع المكعب تحت درجات حرارة مختلفة يكفي للحصول على رسم بياني يوضح ظاهرة التمدد الحراري. وقد تم الحصول على الرسم المذكور أعلاه بواسطة حيود الأشعة السينية تحت درجة حرارة منخفضة ومتغيرة بين درجة حرارة النيتروجين السائل (77 درجة مطلقة أي 196 درجة مئوية تحت الصفر) ودرجة الحرارة العادية (أي 20 درجة مئوية فوق الصفر) .



صورة رقم 6 ـ 2

التمدد الحراري لمركب $NaClO_3$



صورة رقم 6 ـ 3
التمدد الحراري لمركب $NaBrO_3$

3.6 ـ درجات الانتقال من حالة فيزيائية إلى حالة فيزيائية أخرى

لقد قلنا فيما سبق أن المادة موجودة بأشكال ثلاثة : الجامد والسائل والغاز. وهذه الأشكال هي حالات فيزيائية يمكن تحديدها ببعض المقادير كالضغط والحجم والحرارة والثقل النوعي الخ ... وانتقال الماء مثلاً من حالة السائل إلى حالة الغاز (بخار الماء) هو انتقال من حالة فيزيائية إلى حالة أخرى. ويتم هذا الانتقال تحت درجة حرارة معينة وثابتة إذا ما كان الضغط المسلّط على المادة ثابتاً. فالماء يصبح بخاراً عندما تبلغ درجة حرارته مائة درجة مئوية وذلك تحت الضغط الجوي العادي. وتغير قيمة الضغط يؤدي إلى تغير درجة حرارة تبخر الماء .

وما يهمنا الإشارة إليه في هذا المجال هو أن انتقال الماء من الحالة السائلة إلى حالة الغاز يصاحبه ازدياد واضح في الحجم. فحجم كمية محددة من السائل

(الماء هنا) يبقى أصغر بكثير من حجم نفس كمية المادة بعد تحولها إلى غاز (بخار). والانتقال الذي يتم مع تحول في الحجم يسمى انتقالاً من الدرجة الأولى .

والانتقال الذي أشرنا إليه أعلاه مثل من أمثلة عديدة عن الانتقال من حالة فيزيائية إلى حالة فيزيائية أخرى. وسنتحدث عن بعض هذه الانتقالات فيما بعد .

ويمكن تصنيف الانتقالات حسب تقسيم أورده اهرنفست (Ehrenfest) منذ فترة طويلة. ويمكن إيجاز هذا التصنيف كما يلي :

أ ـ الانتقالات من الدرجة الأولى وهي تلك التي تحدث تغيراً مفاجئاً في الحجم .

ب ـ الانتقالات من الدرجة الثانية وهي تلك التي تبقي على الحجم نفسه محدثة تغيراً مفاجئاً وجذرياً في قيمة معامل التمدد الحراري .

ويتم التمييز بين هذين النوعين بتجارب عديدة منها ما يعتمد الطرق الحرارية والثرموديناميه ومنها ما يعتمد قياس التمدد الحراري. وهذا ما يعطي للأشعة السينية دوراً مهماً في هذا المجال .

4.6 ـ الخصائص المغناطيسية للأجسام الصلبة

من المعروف أن مرور تيار كهربائي في سلك معدني يخلق، خارج السلك حقلاً مغناطيسياً تتغير شدته بتغير شدة التيار الكهربائي. ومرور التيار الكهربائي في السلم المعدني هو عبارة عن اختراق عدد كبير من الكهيربات لهذا السلك في الاتجاه المغاير لاتجاه التيار الكهربائي .

وإذا ما كان السلك ملفوفاً بشكل حلقة أو حلقات لها نفس المحور (axe) أصبح من الممكن اعتبار هذه الحلقات كمغنط يحدد قطبه الشمالي وقطبه الجنوبي اتجاه مرور التيار الكهربائي داخل السلك المكون للحلقات. وكما هو الحال بالنسبة للمغنط يمكن تحديد عزم مغناطيسي هو حاصل ضرب الكتلة المغناطيسية الموجودة في القطب الشمالي بالمسافة بين القطبين، كذلك يمكن تحديد الحلقات بواسطة عزم مغناطيسي يعتمد على شدة التيار الكهربائي وعلى الشكل الهندسي لمجموعة الحلقات وعددها .

بعد هذه المقدمة الصغيرة، سنحاول التطرق لما يحدث داخل الذرة .

لقد قلنا سابقاً بأن الذرة تتكون من نواة مشحونة بالكهرباء الموجبة ومن كهيربات (إلكترونات) تدور حول النواة. ودوران الكهيربات هذه يعني مرور تيار كهربائي في أسلاك وهمية ووجود حقل مغناطيسي. وإذا اعتبرنا أن مسار الكهيرب هو، إلى حد ما، دائري وجدنا وجه الشبه بين ما قلنا في البدء وبين ما يجري داخل الذرة .

وتكمن النتيجة النظرية لهذا التقريب في وجود عزم مغناطيسي يمكن حسابه بواسطة قواعد مضبوطة تسمى قواعد هوند (Hund)، ويشار لهذا العزم عادة بالحرف L أي العزم المداري .

وبالإضافة للدوران حول النواة، يدور الكهيرب حول نفسه. وبالرغم من صغر حجم الكهيرب، يؤدي هذا الدوران حول نفسه لإيجاد عزم مغناطيسي جديد لكل إلكترون يدعى سبن (Spin) .

ويمكن، بواسطة قواعد هوند المشار إليها أعلاه، حساب العزم المغناطيسي الخاص بمجموعة الكهيربات، ويشار إليه بالحرف S، وحساب العزم المغناطيسي الإجمالي لكل ذرة. وهذا العزم المغناطيسي هو قيمة متجهة تحدد بشدتها واتجاهها. (وكذلك هو حال L و S) .

وفي الجسم الصلب البلوري أعداد هائلة من الذرات التي قد تكون متشابهة أو مختلفة حسب طبيعة الجسم الصلب. واتجاه الأعزام (جمع عزم) المغناطيسية فيما بينها يحدد بعض الخصائص المغناطيسية لهذا الجسم. وبالرغم من عدم تخصيص هذا الفصل للدراسة المغناطيسية للأجسام الصلبة يمكن، وبالكثير من الإيجاز، سرد بعض الحالات المغناطيسية في الأجسام الصلبة .

1.4.6 ـ الديامغنيطية أو المغناطيسية المغايرة

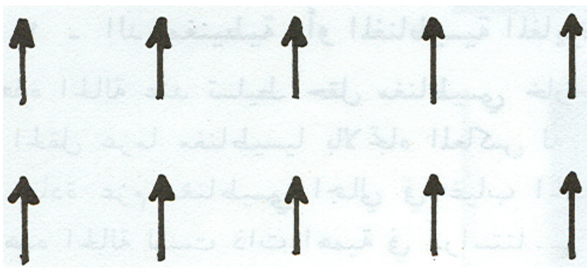
وتظهر هذه الحالة عند تسليط حقل مغناطيسي خارجي على الجسم فيوجد هذا الحقل عزماً مغناطيسياً بالاتجاه المعاكس له. وليس للجسم الديامغنيطي عادة عزم مغناطيسي إجمالي في غياب الحقل المغناطيسي الخارجي. وهذه الحالة ليست ذات أهمية في دراستنا .

2.4.6 ـ البارامغنيطية أو المغناطيسية المسايرة

يتم الحصول على هذه الحالة المغناطيسية عندما تكون الأعزام المغناطيسية الذرية مختلفة الاتجاهات بحيث يساوي مجموعها في أي لحظة صفراً. واختلاف الاتجاه بين عزم مغنيطي وآخر يعود للتهيج الحراري. والفرق بين هذه الحالة وتلك المذكورة في الفقرة (أ) هو أن عزم كل ذرة يساوي صفراً في الديامغنيطية، بينما هو مختلف عن الصفر في البارامغنيطية، ولكن مجموع الأعزام يساوي صفراً بفضل التحريض الحراري .

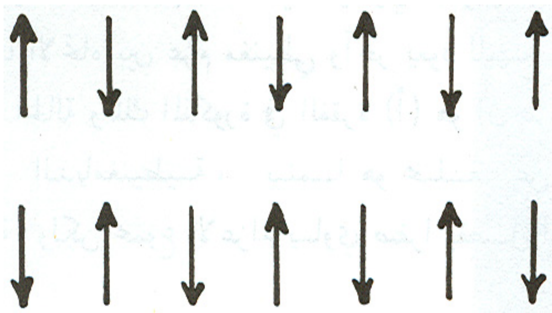
3.4.6 ـ المغناطيسية الحديدية

عند انخفاض درجة الحرارة يخف تأثير التحريض الحراري وتقصر المسافة بين عزم مغنيطي وآخر مما يزيد قوة الانجذاب المغنيطية بين عزمين متجاورين. وقد يؤدي ضعف التحريض الحراري وازدياد الجذب المغنيطي إلى وضع تكون فيه مجموعة الأعزام متجهة باتجاه واحد. أنظر الصورة (6 ـ 4 أ). ويتم هذا الانتقال من حالة البارامغنيطية إلى حالة المغناطيسية الحديدية تحت درجة حرارة خاصة لكل مركّب وتسمى بدرجة حرارة كوري : (Curie : Tc) . وتجدر الإشارة إلى عدم وجود هذه الحالة المغنيطية في كل الأجسام، ولكن من الممكن إيجادها في بعض مركبات الحديد ومعادن مجموعة الحديد كالمنغنيز (Mn) والكروميوم (Cr) والتيتانيوم (Ti) ... وكذلك مركبات عناصر الأرض النادرة كالغادولينيوم (Gd) والنيوبيوم (Nb) والتربيوم : (Tb) والساماريوم (Sm) ... إلخ .



مغناطيسية حديدية

صورة رقم 6 ـ 4 أ



مغناطيسية حديدية مضادة

صورة رقم 6 ـ 4 ب

4.4.6 ـ المغناطيسية الحديدية المضادة

وكما في حال المغناطيسية الحديدية يؤدي انخفاض درجة الحرارة إلى إضعاف التحريض الحراري وازدياد قوة الجذب المغناطيسي بين الأعزام المغناطيسية بسبب تقلص المسافات بين الذرات. وهذا الجذب المغناطيسي يؤدي إلى وجود نظام مغناطيسي في اتجاهات الأعزام. وفي الحالة التي نحن بصددها يأخذ كل عزم، كما في المغناطيسية الحديدية، اتجاهاً معيناً لا يتغير ولكن بفارق وحيد وهام هو أن مجموع الأعزام يساوي صفراً .

والفرق بين البارامغنيطية والمغناطيسية الحديدية المضادة هو أن اتجاه كل عزم ثابت في الحالة الثانية ولكنه يتغير في الحالة الأولى وإن كان مجموع الأعزام هو صفر في كلتي الحالتين .

ويتم الحصول على النظام المغناطيسي الحديدي المضاد تحت درجة حرارة تدعى درجة حرارة نييل (Néel : T_N). وتصادف هذه الحالة في بعض مركبات المعادن التي ذكرناها عند التطرق للمغناطيسية الحديدية .

ونجد في الصورة (6 ـ 4 ب) نوعاً من النظام المغناطيسي الحديدي المضاد تصبح فيه جميع الأعزام موازية لخط مستقيم واحد. ويتخذ نصفها اتجاهاً معيناً والنصف الآخر الاتجاه المعاكس مما يجعل قيمة المجموع تساوي صفراً .

5.6 ـ دراسة تأثير الخصائص المغناطيسية على الشبكة البلورية

إن كلا من الحالتين : المغناطيسية الحديدية والمغناطيسية الحديدية المضادة تمثل حالة مغناطيسية منظمة بينما تمثل الديامغنيطية والبارامغنيطية حالتين مغناطيسيتين غير منظّمتين. والانتقال من حالة البارامغنيطية إلى حالة مغناطيسية منظمة يؤدي إلى تغير في قيمة معامل التمدد الحراري وفي بعض الأحيان، في قيمة حجم الوحدة البلورية. وكذلك بالنسبة إلى الانتقال من حالة مغناطيسية منظمة إلى حالة أخرى منظمة أيضاً .

وتجدر الإشارة إلى أن الحالات المغناطيسية المنظمة لا تنحصر في حالة المغناطيس الحديدي وحالة المغناطيس الحديدي المضاد بل هناك حالات أخرى لا مجال لوصفها الآن كالمغناطيسية اللولبية. وهذه الحالة هي نوع من أنواع النظام المغناطيسي الحديدي المضاد .

وفي بعض المركبات يؤدي الانتقال إلى حالة مغناطيسية منظمة إلى تغير في التركيب البلوري. وبالرغم من كون هذه الظاهرة غير عامة فإن لدراستها أهمية قصوى خاصة من أجل معرفة علاقة النظام البلوري بالنظام المغناطيسي السائد .

ولقد رأينا الدور الهام الذي تلعبه الأشعة السينية في دراسة البنية البلورية وقياس أطوال الوحدة البلورية وحجمها (راجع الفصل الرابع). فإجراء دراسة بواسطة حيود (أو حيدان) الأشعة السينية عندما يكون الجسم بارامغنيطياً ودراسة ثانية عندما ينتقل إلى حالة المغناطيس الحديدي أو إلى حالة المغناطيس الحديدي المضاد يكفي لربط التغيرات البلورية بالتغيرات المغناطيسية .

وهذا النوع من العمل يستدعي تغيير درجة حرارة المادة البلورية وإمكانية قياس درجة الحرارة هذه. فبهذه الطريقة يمكن تحديد درجة الحرارة التي تتم تحتها التغيرات البلورية، إذ أن مقابلة درجة الحرارة هذه بتلك التي يتم تحتها تغير طبيعة النظام المغناطيسي (T_N ou T_C) تعطي معلومات مهمة وبنوع خاص حول معرفة ما إذا كان يتم التغير البلوري قبل المغناطيسي أو العكس، أو أنهما يحصلان في آن معاً .

وبشكل عام، يمكن القول أن انتقال الجسم الصلب من حالة البارامغنيطية إلى حالة المغناطيس الحديدي لا يؤدي إلى تغيير جذري في البنية البلورية. فجميع الأعزام متوازية ولها نفس الاتجاه مما يبقي الذرات متشابهة ومتكافئة. ولا يصاحب هذا النوع من الانتقال تغيير مفاجئ في أبعاد الوحدة البلورية أو في حجمها، بل يحدث تغيراً في قيمة معامل التمدد الحراري. ولهذا صنّف هذا الانتقال انتقالاً من الدرجة الثانية .

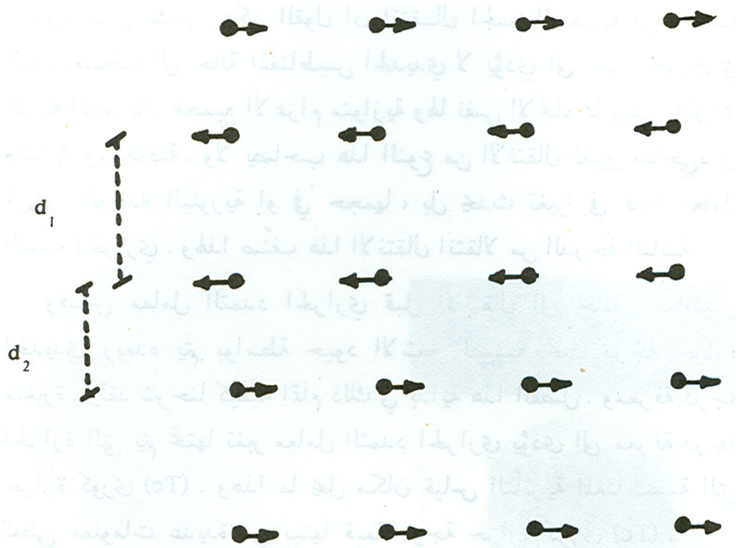
وقياس معامل التمدد الحراري قبل الانتقال إلى حالة المغناطيس الحديدي وبعده يتم بواسطة حيود الأشعة السينية تحت درجة حرارة متغيرة. ولقد شرحنا كيفية إتمام ذلك في بداية هذا الفصل. ومعرفة درجة الحرارة التي يتم تحتها تغير معامل التمدد الحراري يؤدي إلى معرفة درجة حرارة كوري (Tc). وهذا ما يحل مكان قياس التأثيرية المغناطيسية التي تعطي معلومات عديدة من بينها قيمة درجة حرارة كوري (Tc) .

وإما انتقال الجسم الصلب من حالة البارامغنيطية إلى حالة المغناطيسية الحديدية المضادة فيكون مصحوباً في بعض الأحيان بتغير معامل التمدد الحراري، وفي أحيان أخرى بتغير في البنية البلورية .

ومن أجل فهم كيفية تغير البنية البلورية عند الانتقال إلى نظام المغناطيسية الحديدية المضادة يمكن إعطاء الصورة التبسيطية التالية :

لنفترض وجود مسطحات شبكية منتمية لنفس العائلة (أي يشار إليها بنفس قرائن ميلر (hkl) بحيث تكون المسافة بين مسطحين متجاورين d). ولنفترض أن ذرات أحد المسطحات تملك عند الانتقال للنظام المغناطيسي الحديدي المضاد، أعزاماً مغناطيسية متوازية وبنفس الاتجاه وأن ذرات المسطح المجاور تملك أعزاماً مغناطيسية متوازية فيما بينها أيضاً ولكنها معاكسة لأعزام المسطح الأول. أنظر الصورة رقم (6 ـ 5) .

ومن المعروف أن الأعزام المتوازية وذات الاتجاه الواحد تتنافر وأن الأعزام المتعاكسة الاتجاه تتجاذب. وهذا يعني أن المسطحين المذكورين أعلاه سيتجاذبان، مما يجعل المسافة بينهما (d_2) أقصر من المسافة (d_1) التي تنشأ بين مسطحين متشابهين من حيث اتجاه الأعزام المغناطيسية .



صورة رقم 6 ـ 5

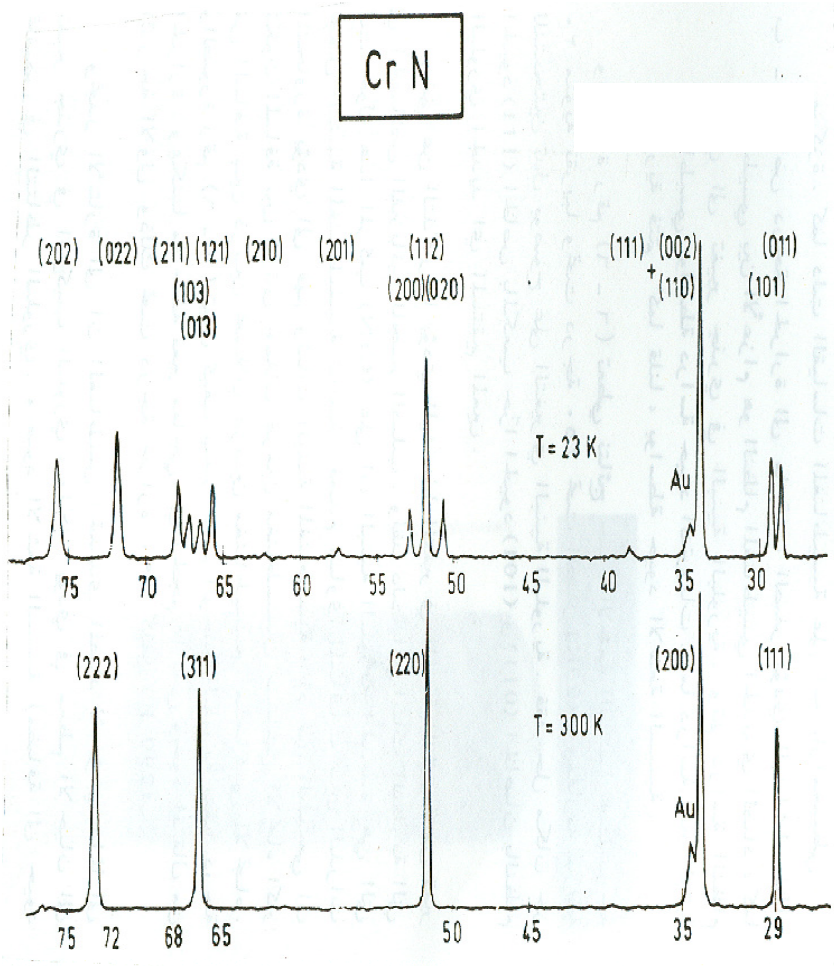
ويقضي هذا التقارب بين بعض المسطحات والتنافر بين البعض الآخر على التناسق (التناظر) البلوري ويغير طبيعة البنية البلورية فينتقل الجسم الصاب من نظام المكعب مثلاً إلى نظام ذي تناسق أقل من تناسق النظام المكعب. ومن الطبيعي أن يتجلى ذلك بالنتائج التي يتم الحصول عليها بواسطة حيود الأشعة السينية .

وكمثل على ذلك سنعرض نتائج دراسة المركب (CrN) :

أ ـ تحت درجة الحرارة العادية (20 درجة مئوية تقريباً) دلت تجارب حيود الأشعة السينية على أنه يملك نظاماً بلورياً مكعباً ذا أوجه مركزة. كما دلت القياسات المغناطيسية على أنه بارامغنيطي .

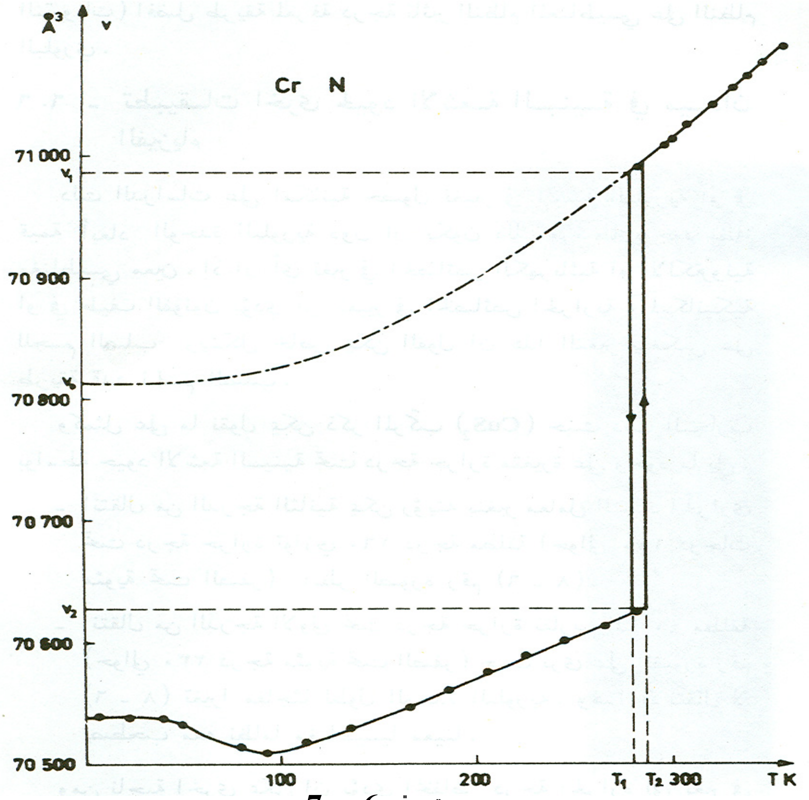
ب ـ إنخفاض درجة الحرارة إلى ما تحت الصفر يؤدي إلى إيجاد نظام مغناطيسي بين الأعزام هو النظام المغناطيسي الحديدي المضاد، كما يؤدي إلى تغيير جذري في البنية البلورية. وتتم دراسة النظام المغناطيسي بواسطة دراسة حيود النترونات. أما دراسة تغير البنية البلورية فتتم، كما قلنا، بواسطة حيود الأشعة السينية .

والصورة رقم (6 ـ 6) تعطي نتائج حيود الأشعة السينية تحت درجة 20 مئوية تقريباً وتحت درجة 250 تحت الصفر (23K). ومقارنة سريعة للنتيجتين تدل بوضوح على التغير في البنية البلورية. فقد حل مكان حز الحيود (111) الخاص بالمكعب حزا الحيود (101) و(011) الخاصان بالنظام الجديد أي المستقيم المعين .



صورة رقم 6 ـ 6

وغني عن التذكير ما يؤدي إليه هذا التغير في البنية البلورية من تغير في الخصائص الفيزيائية للجسم الصلب. ولقد دلت الدراسات النظرية التي تمت حول هذا المركب (CrN) على أن البنية البلورية الجديدة هي التي تجعل البنية المغناطيسية ثابتة. فعدم تساوي المسافات بين الذرات المتجاورة يؤدي إلى فهم وثبات البنية المغناطيسية، إذ من الطبيعي أن تكون المسافة بين ذرتين تحملان عزمين مغناطيسيين متشابهي الاتجاه أكبر من المسافة بين ذرتين تحملان عزمين مغناطيسيين متعاكسي الاتجاه. والصورة رقم (6 ـ 7) تبين كيف يتغير حجم الوحدة البلورية بتغير درجة الحرارة. ويمكننا ملاحظة تغير مفاجئ في الحجم مما يعني وجود انتقال من الدرجة الأولى وذلك تحت درجة حرارة 290 كلفن (290K) .



صورة رقم 6 ـ 7

وتجدر الإشارة إلى أن المغناطيس الحديدي المضاد لا يؤدي دائماً إلى تغيير جذري في التركيب البلوري، ولكنه يؤدي في معظم الأحيان إلى تخفيض في التناظر البلوري. وحيود الأشعة السينية (مضافة إلى حيود النترونات) أفضل طريقة لمعرفة درجة تأثير النظام المغناطيسي على النظام البلوري .

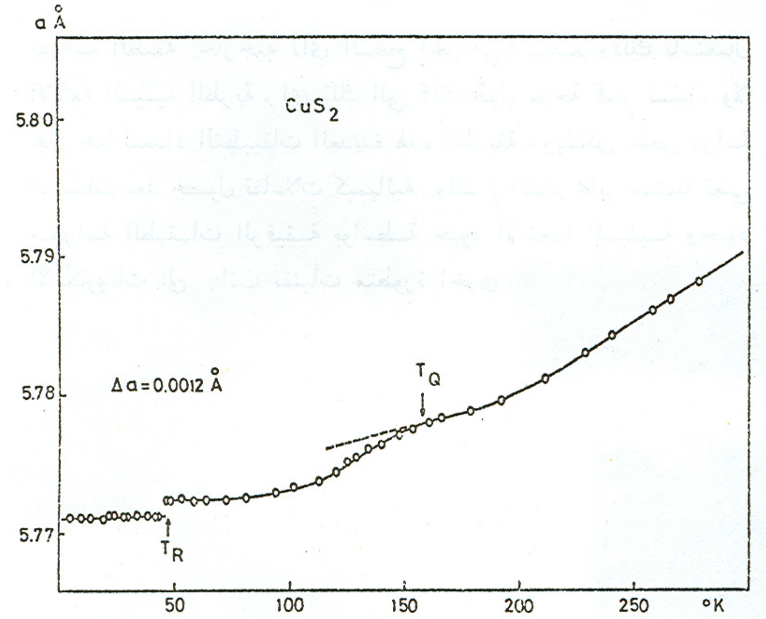
6.6 ـ تطبيقات أخرى لحيود الأشعة السينية في ميدان الفيزياء

دلت الدراسات على إمكانية حصول تغيير في البنية البلورية أو في قيمة أبعاد الوحدة البلورية دون أن يكون ذلك مرتبطاً بوجود نظام مغناطيسي معين، إذ أن أي تغير في الخصائص الكهربائية أو الإلكترونية أو في طيف الفونون يؤدي إلى تغيير في الخصائص الحرارية والميكانيكية للجسم الصلب. وبشكل خاص يمكن القول أن هذا التغير ينعكس على طريقة تمدد الجسم الصلب .

وكمثل على ما نقول يمكن ذكر المركّب (CuS_2) حيث دلّت التجارب بواسطة حيود الأشعة السينية تحت درجة حرارة متغيرة على وجود ما يلي :

- إنتقال من الدرجة الثانية يمكن رؤيته بتغير معامل التمدد الحراري تحت درجة حرارة توازي 160 درجة مطلقة (حوالي 110 درجات مئوية تحت الصفر). أنظر الصورة رقم (6 ـ 8) .
- إنتقال من الدرجة الأولى تحت درجة حرارة تقارب الـ 40 مطلقة (حوالي 230 درجة مئوية تحت الصفر) حيث نرى على الصورة رقم (6 ـ 8) تغيراً مفاجئاً لطول الوحدة البلورية. وهذا الانتقال لا يصطحب معه نظاماً مغناطيسياً معيناً .

ومن ناحية أخرى يمكن أن يؤدي انخفاض درجة الحرارة إلى تغير في الخصائص الكهربائية لجسم معين كأن ينتقل من حالة المعدن إلى حالة العازل الكهربائي (انتقال موت) (Mott) أو من حالة المعدن إلى حالة موصل متفوق. وكلا الانتقالين يؤدي إلى تغير على صعيد الشبكة البلورية. فانتقال موت هو انتقال من الدرجة الأولى يؤدي إلى تغير في قيمة طول الوحدة البلورية. وأما الانتقال الثاني فيحصل تحت درجة حرارة منخفضة جداً ولا يؤدي إلى تغير في قيمة أبعاد الوحدة البلورية، بل في قيمة معامل التمدد الحراري .



صورة رقم 6 ـ 8

وفي كلا الحالين يمكن للفيزيائي أن يدرس طبيعة الانتقال ودرجته بواسطة حيود الأشعة السينية .

وإلى جانب هذه المواضيع يمكن ذكر دراسة تأثير العيوب والشوائب البلورية على الخصائص الفيزيائية للجسم. فبواسطة حيود الأشعة السينية يمكن تحديد طبيعتها وقيمتها (راجع الفصل الرابع) ومقابلتها بالخصائص الفيزيائية .

ولقد قلنا في الفصلين الأول والثالث أن قدرة الأشعة السينية على اختراق المادة تزداد كلما نقص طول موجتها. وهذا ما سمح للفيزيائيين بدراسة الطبقة الخارجية (أي السطح الخارجي) للجسم وذلك باستعمال الأشعة السينية الطرية، أي تلك التي تملك طول موجة كبير نسبياً. ولا مجال هنا لتعداد التطبيقات العديدة لهذه الطريقة، وبشكل خاص دراسة الترسبات بعد حصول تفاعلات كيميائية. ولقد تم إنشاء مخابر مستقلة تعنى بدراسة الطبقات الرقيقة بواسطة حيود الأشعة السينية وحيود الإلكترونات إلى جانب تقنيات متطورة أخرى .

الفصل السابع
التأثيرات البيولوجية للأشعة السينية

سندرس في هذا الفصل تأثير الأشعة السينية على الخلايا الحية بدءاً من البكتيريا وانتهاء بجسم الإنسان. كما سنحاول أن نوضح بعض هذه التأثيرات من أجل استخلاص بعض القواعد المهمة لحياة الإنسان سواء من أجل الوقاية من الأشعة السينية أم من أجل مداواة بعض الأعضاء المريضة في جسم الإنسان وبشكل خاص مداواة السرطان .

1.7 ـ تأثير الأشعة السينية على البكتيريا

بعد اكتشاف رونتغن للأشعة السينية في تشرين الثاني (نوفمبر) 1895، اهتم الباحثون بتأثير هذه الأشعة على البكتيريا وقدرتها على قتلها. ولقد اعتقد الباحثون عن حق بوجود هذه الأشعة في نور الشمس خاصة في الطيف فوق البنفسجي. ربما لأن لنور الشمس تأثيراً مميتاً على البكتيريا يساعد في شفاء بعض الأمراض كالسل مثلاً، كان من الطبيعي أن يتلفت الباحثون نحو الأشعة السينية من أجل استخدامها في هذا المجال خاصة أنه من الممكن تغيير شدة حزمة الأشعة المراد استعمالها .

وفي نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين بدأت التجارب تتوالى لمعرفة تأثير هذه الأشعة على البكتيريا، ولكنها كانت في أكثر الأحيان تعطي نتائج متناقضة. ولكن تقدم العلوم في هذا المجال وتكاثر عدد الباحثين ساهما في حل كثير من التناقضات. فقد تم البرهان بشكل قاطع على أن الأشعة السينية تحدث، ربما بتأثيرات ثانوية وغير مباشرة، خللاً في الخلايا الحية دون أن يعني ذلك قدرة الأشعة السينية على إحداث نفس الخلل في مادة غير حية لها نفس التركيب المادي للخلية الحية .

ولقد دلت التجارب على أن عدد البكتيريا التي تموت تحت تأثير الأشعة السينية يزيد بازدياد كمية الأشعة السينية المسلطة. وهذه الزيادة يمكن التدليل عليها

بواسطة تابع أسي أو دالة أسية. والملاحظ أن التأثير المباشر للأشعة السينية هو جعل الخلايا عقيمة (stériles). ولكن يبقى التأثير النهائي هو الموت .

وتجدر الملاحظة بأن كمية الأشعة السينية المسلطة ليست العنصر الوحيد الذي يحدد مدى تأثير هذه الأشعة على الخلايا الحية. فالوقت الذي يتم خلاله تسليط كمية معينة يدخل أيضاً كعنصر أساسي في تحديد عمق ومدى الخال اللاحق بالخلية. وكلما زاد هذا الوقت خفت التأثيرات المميتة. والبكتيريا التي تتلقى جرعات خفيفة من الأشعة السينية تعيش أكثر من تلك التي تتلقى جرعة كبيرة دفعة واحدة .

والأشعة السينية المزودة بطاقة صغيرة (أي كبيرة طول الموجة) تحدث تغييرات داخل الخلايا الحية أكثر من الأشعة قصيرة طول الموجة أو أشعة غاما، وذلك لكون المادة تمتص الأشعة كبيرة طول الموجة أكثر من الأشعة صغيرة طول الموجة. ومن ناحية ثانية أثبتت التجارب أن الأشعة السينية تصيب الخلايا التي هي في حال الانقسام على نفسها. وأما النوترونات فتصيب كل الخلايا. ولكن الجرح النهائي يبقى هو نفسه في كلا الحالين .

وبعد الحصول على هذه النتائج في ميدان البكتيريا عمد الباحثون لدراسة تأثير الأشعة السينية على الفيروس خاصة وأن المضادات الحيوية غير ذات فائدة في محاربة الفيروس. وبالرغم من النقاش الجاري حول طبيعة الفيروس (فيما لو كان خلية حية أو لا)، توصل الباحثون إلى نتائج قيمة مفادها أن الأشعة السينية قادرة على إضعاف حيوية الفيروس وقتله .

2.7 ـ تأثير الأشعة السينية على المادة الوراثية

لقد أثبتت التجارب على البكتيريا أن الأثر الوحيد للأشعة السينية هو موت البكتيريا، وأما التجارب التي جرت على بعض أنواع الخميرة فأثبتت أن التوالد يتغير تحت تأثير كمية أشعة سينية أقل من تلك التي تؤدي إلى قتل البكتيريا وهذا ما دفع الباحثين لاستعمال الأشعة السينية في ميدان علم الوراثة .

وفي العام 1903 اكتشف شونبرغ (Albers-Schönberg) قدرة الأشعة السينية على إحداث عقم الخلايا الحية. ومنذ ذلك اليوم والعمل متواصل من أجل معرفة نتائج العقم المؤقت عند الحيوان أو الإنسان .

وفي الصورة رقم (7 ـ 1) نعطي جدولاً يبين قيمة الجرعة الكافية لإحداث عقم دائم أو مؤقت عند الإنسان وبعض الحيوانات. ويوضح هذا الجدول أن الإنسان هو أكثر الأحياء (ضعفاً) وتأثيراً بالأشعة السينية .

وفي العام 1906 استطاع باردن (C.R. Barden) أن يلقح بويضة أنثى العلجوم أو الضفدع بواسطة حوين منوي تعرض للأشعة السينية. ولقد تبين أن البويضة بدأت تتطور بشكل غير طبيعي مما حدا بالباحث لأن يستنتج بأن الأشعة السينية تؤثر على مواد غير معروفة موجودة في الحوين المنوي. وتجدر الإشارة إلى أن باردن كان يجهل مفهوم الصبغي أي الكروموزوم. وأما اليوم فمن المعروف أن كل خلية في جسم أي حيوان أو أي نبتة متطورة تحتوي على نواة يوجد فيها كروموزومات تشبه عصياً صغيرة. ويتغير عدد هذه الكروموزومات من مخلوق إلى آخر .

تأثير الأشعة السينية على قدرة الإنسان والحيوان على التكاثر

	جرعة الأشعة السينية بالرونتغن[1]	
	ذكر	أنثى
عقم دائم		
الإنسان	500 ـ 600	300 ـ 320
الفئران والجرذان	1600 ـ 3000	800 ـ 1500
ذبابة الفواكه والخل	12000	5000
عقم مؤقت[2]		
الإنسان	250 (12)	170 (12 ـ 36)
الفئران	800 (4)	
الأرنب		1500 ـ 2000 (24)

(1) الرونتغن : وحدة قياس الجرعة

(2) العدد المكتوب بين قوسين يشير إلى مدة العقم بالأشهر .

صورة رقم 7 ـ 1

وبالنسبة للجنس البشري يوجد 24 كروموزوماً في كل مني ذكري و24 كروموزوماً في بويضة الأنثى. وبعد التلقيح يصبح في البويضة الملقحة 24 زوجاً من الكروموزومات نصفها يأتي من الأب والنصف الآخر يأتي من الأم. وخلال انقسام الخلية الجديدة (البويضة الملقحة) إلى خلايا أخرى تُزود كل خلية في جسم المولود الجديد بـ 48 كروموزوماً نصفها من الأب والنصف الآخر من الأم .

ويمكن إيجاز تأثير الأشعة السينية على عملية انقسام الخلايا والتوالد بما يلي :

أ ـ تؤثر الأشعة على الخلايا تأثيرات شتى حسب حالة الخلايا هذه : تباطؤ عملية انقسام النواة، وتجمع بعض الكروموزومات في بعض الخلايا التي تبدأ بالانقسام وذلك نتيجة تأثير الأشعة على حامض النيوكليك الموجود في الخلايا، وشفاء الخلايا التي تعرضت للأشعة السينية قبل أن تبدأ عملية الانقسام بالرغم من تأخير حصول هذه العملية .

ب ـ حصول تغيير في الترتيب الداخلي وتركيب الكروموزوم. ويصبح هذا التغير وراثياً وذلك حسب قانون ماندل (Mendel) وحسب الخصائص العامة للكروموزوم نظراً لطريقة انقسام الخلية الملقحة التي أشرنا إليها أعلاه .

ج ـ تؤدي هذه التغيرات في الكروموزوم إلى تغيرات ظاهرة كشكل الجسم وطوله، واللون وشكل الأعضاء المعزولة، وتأثير الضوء والجاذبية على الفرد، ودرجة الحرارة التي يمكن تحملها ...الخ. ففي حال النباتات كالقمح والشعير والأرز، تؤدي الإشعاعات إلى وجود نبات بدون كلوروفيل أي نبات لا يستطيع أن يغذي نفسه بنفسه، أو على نبات لا يستطيع ساقه أن يحمل وزنه .

وقد دلت التجارب التي أجرتها شركة جنرال إلكتريك على أن تعريض بصل الزنبق للأشعة السينية يؤدي للحصول على نوع من الزنبق لا يتغير لونه بسرعة ولا يذبل بنفس السرعة التي يذبل بها الزنبق الطبيعي. لقد أدت هنا الأشعة السينية إلى تغيير في تطور النبتة، ولكنه تغيير يستفيد منه بائع الزهور .

ويتم حالياً استخراج البنسلين من نوع من الفطر حصل عليه بواسطة الأشعة السينية. وهذا النوع يعطي من البنسلين ضعف ما يعطي الفطر العادي الطبيعي. وقد أفاد بالطبع صانعو الأدوية من هذه النتيجة .

د ـ تؤدي الأشعة السينية لإحداث تغييرات في الحوين المنوي سواء تم تسليط هذه الأشعة على الحوين المنوي في خصية الذكر أو بعد ولوجه الأنثى. ففي العام 1933 برهن سنل (Snel) أن تسليط 400 رونتغن على ذكر الفأر أدى إلى تغييرات في منيه يمكن تلمسها في عقم الجيل الأول .

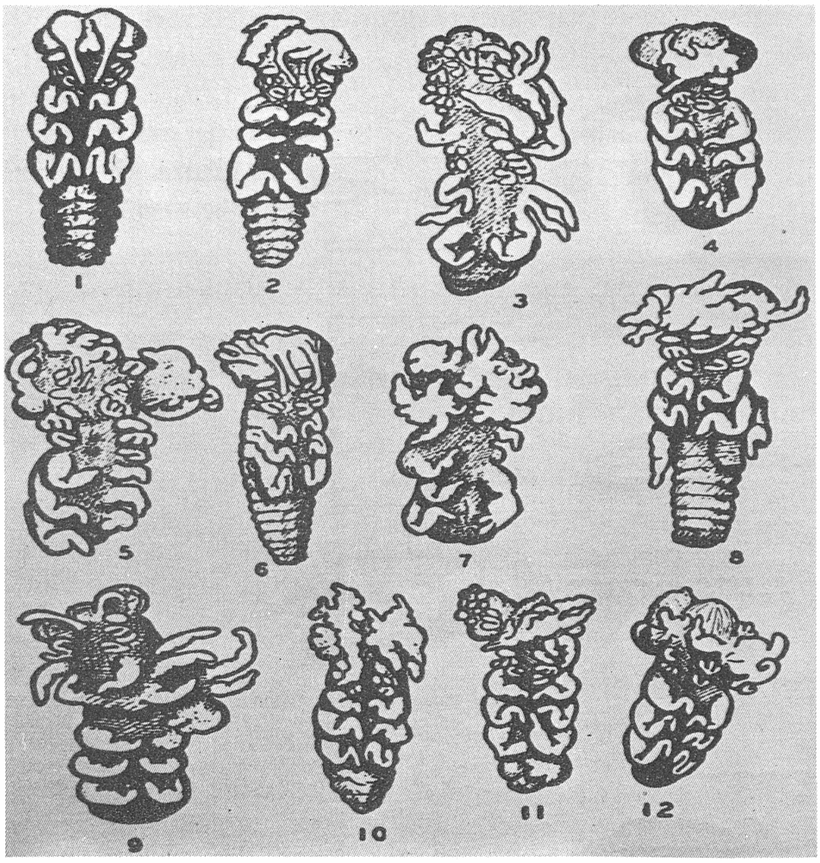
وفي الصورة رقم 7 ـ 2 نماذج لجنين جرادة غير طبيعي تم الحصول عليها بعد تعريض بيض الجرادة للأشعة السينية .

وفي الصورة رقم 7 ـ 3 نرى تأثير تعرض ذكر الفأرة للأشعة السينية على الأجيال اللاحقة والشكل غير الطبيعي لأحد الأحفاد .

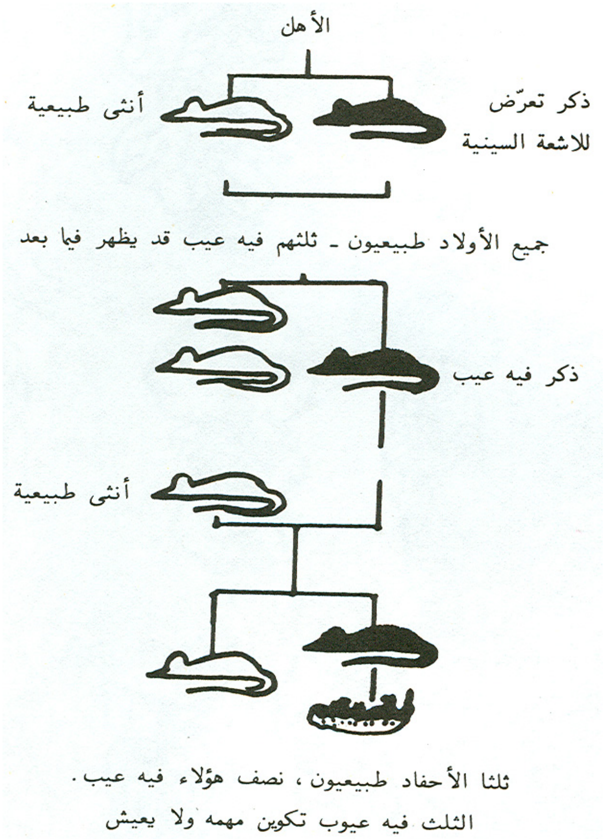
هـ ـ أثبتت بعض التجارب أن بعض الخلايا تنقسم على نفسها وتتطور، بعد تعرضها للأشعة السينية، بسرعة أكبر حتى الوصول إلى حالة ورم خبيث أو إلى إبيضاض الدم (Leucémie) أي تكاثر عدد الكريات البيضاء بالنسبة لعدد الكريات الحمراء مما يسبب سرطان الدم. وعلى سبيل المثال نذكر أن 25 إلى 50 رونتغن تكفي لإحداث تورمات قد تكون خبيثة لدى 70% من النساء. وتجدر الإشارة إلى أن بعض السرطان المسبب بتعرض شديد للأشعة السينية لا يظهر إلاّ بعد 18 إلى 20 سنة من تاريخ التعرض للأشعة .

والنصيحة الأساسية التي يمكن أن نقدمها لكل عامل أو باحث حديث في ميدان يستعمل الأشعة السينية، هي ألاّ يبقى بشكل دائم داخل قاعة المختبر بالقرب من الجهاز، لأن التعرض الدائم لهذه الأشعة، ولو بكميات ضئيلة، قد يؤدي إلى نتائج سيئة. ولكن يتوجب عدم المبالغة في هذا المضمار حتى لا تتحول النصيحة إلى رادع ومانع عن العمل في هذا الحقل. ومن دواعي الإطمئنان ما تبذله الشركات المنتجة لأجهزة الأشعة السينية وأنابيبها من جهد من أجل توفير حماية تامة لمستعمل الأشعة السينية. ويمكن القول حالياً أن كل الأجهزة العصرية، بدون

استثناء، لا تسمح بأي تسرب للأشعة السينية إلى خارج الجهاز. وبالرغم من ذلك تبقى النصيحة التي قدمناها أعلاه قيمة. وللتدليل على ذلك نورد ما حدث لإحدى الباحثات في أحد المختبرات الفرنسية. فقد وضعت مكتبها في نفس غرفة الجهاز بغية توفير الوقت إذ أنها تأخذ النتائج التجريبية من الجهاز لتحلّلها على مكتبها. ومع مرور الوقت، وبدون أي عارض مفاجئ، بدأت الفتاة تذبل وتشحب حتى اضطرت للدخول إلى المستشفى ... ولم تخرج منه حية فقد كانت مصابة بابيضاض الدم وماتت متأثرة به .



صورة رقم 7 ـ 2
الجنين رقم 1 طبيعي



صورة رقم 7 ـ 3

ولدى فحص الجهاز الذي كانت تعمل عليه تبين أن هناك بعض الفتحات المتناهية الصغر في رأس أنبوب الأشعة السينية تتسرب منه الأشعة السينية ... وتصل بين الحين والآخر إلى الفتاة. هذا إلى جانب الجو المؤين (ionisé)، بشكل جزئي ودائم، الذي يسيطر على الغرفة بسبب الأشعة السينية .

و ـ أثبت قانون لاكاساني (Lacassagne) أن تأثر الخلايا الحية بالأشعة السينية يزداد بازدياد سرعة انقسام الخلايا. وهكذا فالجنين أكثر تأثراً من المولود والأعضاء الشابة أكثر تأثراً من الأعضاء الكبيرة. ولهذا يمكن القول أن الخلية التي تتوالد بسرعة تحت تأثير الأشعة السينية

(راجع المقطع هـ) أكثر حساسية وتأثراً بالأشعة السينية، بمعنى أن الأشعة السينية قادرة على القضاء على سرعة التكاثر في هذه الخلايا (المتورمة) كما سنرى فيما بعد .

ومن ناحية ثانية أثبتت التجارب التي أجريت على خلايا تعرضت لجرعة معينة من الأشعة السينية أن ازدياداً طارئاً في الحاجة للأكسجين كان يؤدي إلى موتها. وهذا يعني أن الجهد الجسدي يؤدي إلى نفس النتيجة، أي موت الخلايا المعرضة للأشعة السينية. وقد أجريت تجارب على فئران تعرضت لـ 600 رونتغن ودلت على ما يلي :

- الفئران التي تعرضت للأشعة السينية ولم تقم بأي جهد جسدي عاشت جميعها .
- 50% من الفئران التي تعرضت للأشعة السينية وقامت بجهد جسدي كبير ماتت .
- الفئران التي لم تتعرض للأشعة السينية وقامت بمجهود جسدي كبير عاشت جميعها .

وتأثير الأشعة السينية على العناصر الوراثية أخطر من تأثيرها على بقية عناصر الخلية وذلك لعدة أسباب يمكن ذكر بعضها :

- خسارة صبغي أو كروموزوم لا يمكن التعويض عنه في أغلب الأحيان .
- أي تغير في هذا الكروموزوم سينعكس على الخلايا وعلى الفرد نفسه وذلك يعود للدور المهم الذي تلعبه الكروموزومات في انتقال الصفات الإنسانية بالوراثة وللطريقة التي يتم فيها انقسام الخلايا واقتسام الكروموزومات فيما بين الخلايا الجديدة .

ز - من الممكن إحداث تغييرات وراثية تحت تأثير جرعة صغيرة. وهذا يعني أنه لا يوجد عملياً جرعة مقبولة وأخرى غير مقبولة. فقد دلّت التجارب على الحيوانات أن جرعة 0,1 رونتغن يومياً (30 رونتغن في السنة تقريباً) تقصر الحياة حوالي ثلاث سنوات. وهذا يعني أن

مراقبة صارمة يجب أن تمارس من قبل الجسم الطبي على فحص الإنسان بواسطة الفلورة (Fluroscopie) وعلى مداواة الجلد بهذه الأشعة. ويجب مضاعفة هذه المراقبة عند النساء الحوامل .

هذه هي بعض تأثيرات الأشعة السينية على الخلايا الحية وبالتالي بعض أسباب النظرة الحذرة التي يواجه بها عالمنا اليوم الإشعاعات. والمؤسف أن النتائج التي بحوزة الإنسان اليوم لم تقتصر على التجارب التي أجريت على الحيوان. فالقنابل الذرية التي ألقيت على هيروشيما وعلى ناغازكي والإشعاعات التي نشرتها برهنت كم هي رهيبة النتائج المباشرة وكم ستكون هائلة ومريعة النتائج على الذين عاشوا بعد إلقاء القنبلة الذرية وكانوا عرضة للإشعاعات. وما قلناه حول الأشعة السينية يمكن تكراره بالنسبة للإشعاعات النووية، وبالتالي فإن تأثير هذه الإشعاعات لن يتوقف على جيل القنبلة بل على الأجيال اللاحقة أيضاً .

3.7 ـ تأثير الأشعة السينية على الجنين

إن تأثير الأشعة السينية على الجنين يشبه تأثيرها على الكروموزوم. وفي هذا المجال تتجلى القدرة المذهلة للأشعة السينية على إحداث خلل في تطور الجنين المتعرض لها .

وفي دراسة حول أثر الأشعة السينية على نمو الصوص، استعملت جرعات تتراوح بين 40 و600 رونتغن على مجموعة من البيض يتراوح عمر الواحدة منها بين 19 و243 ساعة. ويمكن إيجاز نتائج هذه الدراسة بما يلي :

- في 45% من الحالات توقف نمو جنين الصوص مباشرة بعد تعرض البيضة للأشعة .
- في 24% من الحالات مات الجنين داخل قشرة البيض بعد فترة من تسليط الأشعة السينية .
- في 11,9% من الحالات مات الجنين بعد أن ينمو خلال 15 يوماً .
- 9% من الصيصان الخارجة من البيض كانت قوائمها مشلولة .
- 6% من الصيصان لها قوائم وأظفار مشوهة. والتشويه يتراوح بين تشويه الأصابع واختفاء إحدى القائمتين أو كلتيهما .

ـ 1,4% من الصيصان مشوهة الرأس .

ـ 1% من الصيصان مشوهة الأجنحة أو المنقار أو النخاع ... الخ

ولقد أجريت تجارب مماثلة على الفئران وعلى حيوانات أخرى كانت نتائجها مماثلة لما ذكرناه أعلاه مع بعض الاختلافات غير الجوهرية التي تنحصر في نوعية التشويه وفي ربط نوعية هذا التشويه ودرجته بعمر الجنين لحظة تعرضه للأشعة السينية. ولا يوجد أي سبب يمنعنا من القول بأن هذه النتائج تنطبق، من الناحية النوعية لا الكمية، على جنين الإنسان .

والفترة الخطرة في حياة جنين الإنسان هي تلك التي يكون فيها عمره بين أسبوعين و6 أسابيع. وهي الفترة التي يمكن للأم أن تعتبر نفسها غير متأكدة من كونها حاملاً. وتعرض الجنين للأشعة السينية بعد انقضاء الأسابيع الستة قد يؤدي إلى نتائج أقل خطورة. وتجدر الإشارة إلى أن التشويه هو ثمرة تعرض الجنين مباشرة للأشعة السينية وليس نتيجة لما قد تحدثه الأشعة في خلايا الأم .

وتكفي جرعة صغيرة نسبياً، 25 رونتغن مثلاً، لإحداث تغيرات مهمة في الجنين إذا ما أعطيت في الفترة الخطرة التي أشرنا إليها أعلاه. لا بل يمكن القول بأن جرعة أقل، أي كتلك التي تعطى أثناء الفحص بالفلورة تحدث، في بعض الأحيان، بعض الخلل في نمو الجنين. وكل هذه النتائج توضح أهمية عدم تعرض الحامل للإشعاعات حتى ولو كان ذلك بهدف التشخيص الطبي .

4.7 ـ أثر الأشعة السينية على الخلايا الطبيعية

الظاهرة الأولى في حلقة تأثيرات الأشعة السينية على الخلايا الحية هي ظاهرة فيزيائية بحتة. فالتقاء الفوتون السيني بكهيربات الذرات وجزيئات المواد الكيميائية الموجودة في الخلية يؤدي إلى إحدى الظاهرتين التاليتين :

ـ تحرير كهيرب من إحدى الذرات التي تصبح أيوناً .

ـ إمتصاص كهيرب لطاقة الفوتون السيني وانتقاله إلى مستوى طاقة أعلى داخل الذرة نفسها التي تتحول إلى ذرة محرضة .

وخصائص الأيون والذرة المعرضة تختلف عن خصائص الذرات العادية التي لم تتعرض للأشعة السينية. وهكذا فخصائص البروتين تتغير بالضرورة، وقد تتحول جزيئاته إلى مواد أخرى أكثر بساطة من جزيئات البروتين. وهذا يعني وجود مواد غريبة عن الخلية الحية تؤدي إلى تغير في شكل ووظيفة الخلية نفسها. وفي هذا المجال يمكن استخلاص الملاحظات التالية :

أ ـ بعض تعرض الخلايا للأشعة السينية تظهر التغيرات بعد مرحلة كمون، أي بعد انقضاء فترة على هذا التعرض. ويمكن أن تكون هذه الفترة قصيرة جداً لو كان بإمكاننا أن نعرف بدقة التغيرات الكيميائية والبيولوجية في المادة. ويمكن أن تكون طويلة إذا اعتبرنا أن التغيرات تنحصر في الموت أو في حدوث خلل واضح للعيان كالتهاب الجلد مثلاً. ويمكن أن نرد هذا الكمون إلى أن التغيرات الكيميائية التي تحدثها الأشعة السينية في نواة الخلية تتراكم تدريجياً بحيث لا يظهر مفعولها إلاّ بعد اكتمالها .

ب ـ قدرة الخلية على التنفس تتضاءل بعد تعرضها الطويل للأشعة السينية وذلك حسب رأي الكثيرين من الذين عملوا في هذا الميدان. فلقد عرض شازلي (Chesley) حبوب القمح وبيض السمك لجرعات من الأشعة السينية غير كافية لإيقاف النمو. وقام بقياس كمية الأكسجين التي يستهلكها غرام واحد من الخلايا خلال وحدة زمنية معينة فتبين له أن هذه الكمية المستهلة بعد مضي 24 ساعة على تسليط الأشعة السينية تساوي الكمية نفسها التي تستهلك قبل التعرض للأشعة السينية. وهذا يعني أن القدرة على التنفس تتغير بعد تباطؤ عملية النمو وليس قبله. وقد ظهر من تجارب شازلي أن بعض الخلل في نمو بيض السمك ظهر قبل تغير القدرة على التنفس .

ج ـ سرعة انقسام الخلايا الطبيعية أقل من سرعة انقسام خلايا الأورام الخبيثة. وهذا يعني أن الأشعة السينية تقضي على خلايا الأورام أكثر من قضائها على الخلايا الطبيعية، وذلك للأسباب التي ذكرناها عند تعرضنا لأثر الأشعة السينية على الصبغيات، أي الكروموزومات.

وبكلام آخر يمكن القول أن الخلايا الطبيعية المحيطة بورم خبيث يمكن أن تتحمل جرعة من الأشعة السينية أكبر من تلك التي يمكن أن تتحملها خلية متورمة. وهذا ما يطرح إمكانية معالجة الأورام الخبيثة بواسطة الأشعة السينية .

هـ ـ أثر الأشعة السينية على الخلايا لا يتغير بتغير طول الموجة بالرغم من الملاحظة التي تقول بأن الأشعة أحادية طول الموجة هي أكثر فتكاً من الأشعة متعددة طول الموجة .

5.7 ـ أثر الأشعة السينية على أنسجة جسم الإنسان

تبعاً لتغير قيمة جرعة الأشعة السينية المسلطة، يمكن تحديد أربع درجات في إصابة الجلد .

أ ـ الدرجة الأولى : لا يظهر أي التهاب على الجلد، ثم يتساقط الشعر، ثم يتغير لون الجلد. وتستمر هذه الحالة من أسبوعين إلى أربعة أسابيع ثم تشفى شفاء تاماً .

ب ـ الدرجة الثانية : طفح جلدي معتدل، وتمدد واضح في الأوعية الدموية، وإحساس بارتفاع درجة الحرارة في الجزء المصاب، وتساقط الشعر مع تلون الجلد. وتستمر الإصابة من ستة أسابيع إلى اثني عشر أسبوعاً مع إمكانية الشفاء واختفاء تغير لون الجلد .

ج ـ الدرجة الثالثة : طفح جلدي لونه بين الأحمر والأزرق مع ظهور نفاطات تشبه نفاطات الحروق، وتساقط الشعر، وموت الغدد المفرزة للعرق، وشعور بالألم. وتستمر الإصابة بين ثمانية أسابيع وستة عشر أسبوعاً. ويتم الشفاء مع ترك آثار واضحة على الجلد دون أن تنبت شعرة واحدة. وهناك إمكانية حدوث مضاعفات بعد مرور سنوات عديدة على الإصابة .

د ـ الدرجة الرابعة : طفح أزرق يميل للإحمرار، وظهور نفاطات وما يشبه القرحة، وألم رهيب. وهنالك شك في إمكانية الشفاء. وفي كثير

من الحالات تبدو عملية استئصال المنطقة المصابة هي الحل الوحيد للمعالجة .

ومن البداهة أن نقول بوجود حالات من الإصابة يمكن أن تكون بين درجة وأخرى .

وأما بالنسبة للأنسجة غير الجلدية فالنتائج تختلف من نسيج إلى آخر وذلك نظراً لاختلاف حساسية الخلايا الحية المؤلفة لهذه الأنسجة :

- الدم لا يتأثر كثيراً بالأشعة السينية ولكن قدرته على التخثر تتضاءل، ولكن التعرض الطويل، ولو بكميات ضئيلة، للأشعة السينية يؤدي إلى مضاعفات خطيرة كفقر الدم مثلاً ...
- أنسجة نخاع العظام حساسة جداً .
- الغدد التناسلية حساسة جداً أيضاً : 200 رونتغن تكفي للحصول على عقم مؤقت و300 رونتغن تسبب عقماً دائماً. وأقل من هذه الكمية تكفي لإحداث عقم المبيض .
- الكبد قليل الحساسية .
- القصبة الهوائية قليلة الحساسية أيضاً .
- الجدار الداخلي للأمعاء يموت تحت تأثير جرعة شديدة .
- الجهاز العصبي والعمود الفقري والنخاع : تتحمل جرعات قوية ولا تظهر أي أعراض غير طبيعية .
- العين غير حساسة عدا القزحية .
- العظام : قليلة الحساسية تحت تأثير جرعات متوسطة الشدة. وأما عند الصغار الذين لم يكتمل نموهم طبعاً بعد فيمكن أن تؤدي الجرعات إلى وقف النمو في العضو المعرض للأشعة السينية مما يساهم في إبقائه قصيراً بالنسبة لبقية أعضاء الجسم .

وقد قام الباحثون بتسليط جرعة كبيرة على كل جسم الإنسان كانت نتيجتها إحساس بدوار أسمي دوار الأشعة السينية يشبه دوار البحر. وقد قام هؤلاء

الباحثون بصياغة النظريات العديدة من أجل تفسير هذا الشعور. والكثير من هذه النظريات يربط بين الدوار وبين حالة التسمم التي تصيب الجسم من جراء تخريب الخلايا الحية وتحول بعض موادها إلى مواد أخرى .

وبعض هذه النظريات أيضاً يعيد هذا الشعور بالدوار إلى عوامل أخرى نذكر منها :

- نقص في كمية ملح الطعام إذ أن حقن محلول يحتوي على 5% من الملح أدى إلى القضاء على الشعور بالدوار .
- نقص في كمية الكولسترول .
- زيادة كمية الكالسيوم ونقص كمية البوتاسيوم .
- زيادة كمية النتروجين في الدم .
- تكون الماء المؤكسج في ماء الجسم .
- تغير كمية السكر في الدم .
- تغير كمية البروتين .

ونظرة إلى عدد هذه النظريات التي تحاول تفسير هذا الشعور بالدوار يعطي فكرة عن المضاعفات الكثيرة، والتي قد تكون خطيرة، التي تنشأ عن تعرض جسم الإنسان للأشعة السينية. وتجدر الإشارة إلى أن بعض الباحثين يعتقد أن الشعور بالغثيان والدوار يتم بعد تعرض منطقة البطن للأشعة السينية .

والسؤال الأساسي الذي طرحه العاملون في حقل تأثير الأشعة السينية على الأنسجة كان ينحصر في معرفة ما إذا كانت الأشعة السينية توجِد في الجسم مواد جديدة تؤثر على بقية أجزاء الجسم، وكان الشعور بالدوار، كما قلنا، سبباً وجيهاً من أسباب طرح هذا السؤال. ولكن يمكن القول في يومنا هذا أن تأثير الأشعة السينية على عضو معين يكون أكبر إذا ما تعرض الجسم كلّه للأشعة السينية عوض عن أن يتعرض العضو وحده لهذه الأشعة. وهذا ما يمكن أن يساعد في محاربة الأورام الخبيثة .

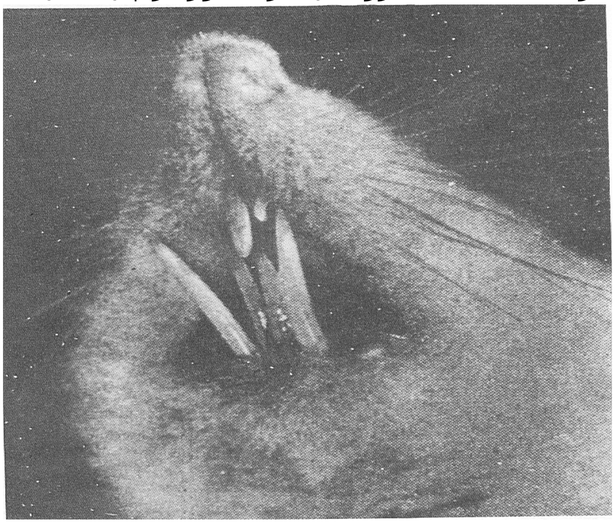
ولقد دلت التجارب على إمكانية التخلص من ورم خبيث إذا ما سلط عليه جرعة سينية توازي عشرين ألف رونتغن بينما تكفي 3200 رونتغن للتخلص من نفس الورم الخبيث تسلط على الخلايا الطبيعية المحيطة به .

كيف يتم تفسير ذلك ؟

من المعروف أن خلايا الورم الخبيث تنقسم على ذاتها بسرعة أكبر من سرعة انقسام الخلايا الطبيعية. وهي تأخذ غذاءها من طريق الخلايا الطبيعية المحيطة بها وربما على حسابها. والقضاء على هذه الخلايا الطبيعية يقطع "طريق الإمدادات" عن خلايا الورم ويحرمها من الغذاء والأكسجين فيستحيل عندئذ انقسامها وتموت .

من ناحية ثانية، ظهرت، عبر سنوات عديدة، نظريات تقول بأن للجرعة الصغيرة من الأشعة السينية تأثيرات إيجابية على جسم الإنسان كزيادة مناعة الجسم ونموه. أما الأثر السيء فيعود للجرعات الكبيرة. وقد يكون هذا صحيحاً إذ أن الأشعة السينية قد تزيد من نمو الخلية. ولكن هذه الزيادة ليست إلاّ مرحلة انتقالية يعقبها انحطاط أو موت الخلية نفسها .

وقد دلت التجارب التي أجريت على جرذ تعرض لأشعة سينية شديدة على بروز نابين جديدين في الفك الأسفل إلى جانب النابين الأساسيين. ولكن نفس التجارب دلت على أن نابي الفك الأعلى بقيا صغيرين نسبياً وقليلي القساوة وكأنهما مصنوعان من مادة غضروفية (أنظر الصورة رقم (7 ـ 4)) .



صورة رقم 7 ـ 4

وهذا ما يدعو لأخذ المزيد من الحذر ولحماية أسنان المرضى، خاصة الأطفال منهم، عند الاضطرار لاستعمال الأشعة السينية في تصوير أو معالجة قسم من الوجه .

6.7 ـ المعالجة بالأشعة السينية

يمكن استعمال الأشعة السينية في معالجة الأمراض إذا كانت هذه المعالجة تتم بالحصول على الظواهر التالية :

أ ـ كبح نشاط الغدد والخلايا، وخاصة خلايا الغدد، والخلايا الشابة، وتلك التي تتهيأ للإنقسام. وبكلام آخر كبح نشاط الغدد الشديدة التأثر بالأشعة السينية. وهذا ما يسمح على سبيل المثال بمعالجة بعض أمراض الجلد التي يسببها نشاط كبير في الغدد .

ب ـ تخفيف حدة الإلتهابات كالالتهابات الصدرية مثلاً .

ج ـ شفاء الغنغرينة الغازية، وذلك لأن الأشعة السينية تساعد في تكوين المياه المؤكسجة أو بعض المواد التي تساهم في الشفاء .

د ـ معالجة الإلتهابات الداخلية المختلفة. فقد مرت فترة من الزمن كانت تستعمل فيها الأشعة السينية لمعالجة كل الأمراض التي يمكن تصورها: السحايا، وشلل الأطفال، والربو، والسعال الحاد، والذبحة اللوزية وكثرة إفراز الأنسولين، وابيضاض الدم .

و ـ قتل الأورام الخبيثة وتخريبها وقد بدأت تحل الإشعاعات النووية مكان الأشعة السينية في هذا المجال .

وقد دلت دراسة عامة جرت حول أربعين نوعاً من المعالجة بالأشعة السينية لتسعين حالة من الأمراض الداخلية على أن النتائج تتراوح بين الشفاء التام وبين عدم وجود أي تغيير في حالة المرض .

7.7 ـ السرطان

تسقط كل المقارنات بين ما قدمته علوم الأشعة السينية وما تقدمه علوم أخرى عند استعراض الخدمات الجلى التي قدمتها الأشعة السينية في مجال محاربة

السرطان. فالمعالجة بواسطة الأشعة السينية (أو أشعة غاما) استطاعت أن تنقذ حياة عشرات الآلاف من الناس، أو أن تخفف آلام الذين تم اكتشاف السرطان لديهم بعد فترة زمنية من ظهوره. وكل هذا بالرغم من أن السرطان يبقى السر الطاغي على تفكير كثيرين من العاملين في حقل الطب .

ما هو السرطان ؟

يطلق اسم السرطان على الأنسجة التي تنمو بشكل غير طبيعي أي بسرعة أكبر من سرعة نمو الأنسجة السليمة .

ولا تملك الخلايا السرطانية نفس خصائص ووظائف الخلايا الطبيعية التي انطلقت منها. وهي تنتقل بسهولة إلى الأنسجة المجاورة والأوعية الدموية واللمفاوية. وتبقى هذه الخلايا عادة شابة، أي صغيرة بسبب سرعة الانقسام والنمو في الأنسجة المصابة. وهذا ما يسمح بتمييزها عن الأنسجة الطبيعية بواسطة الميكروسكوب. ويسبب النمو السرطاني فقر الدم والهزال والوهن... وفي النهاية الموت، لأن الخلايا السرطانية تأخذ الغذاء والأكسجين فتحرم الخلايا السليمة من ذلك وتسبب لها الضعف والموت .

ولقد دلت التجارب على وجود تشابه واضح بين الخصائص الكيميائية لمختلف الأنسجة السرطانية بصرف النظر عن اختلاف مكان وطبيعة العضو المصاب. ولو صحت هذه النتائج لأصبح بالإمكان معالجة كل الأورام الخبيثة بنفس الطريقة وبنفس العقاقير إن وجدت .

وتتميز الخلية السرطانية عن الخلية السليمة بما يلي :

أ ـ في النسيج السرطاني يتحول اثنا عشر جزيئاً من السكر إلى حامض لبنيك وجزيء واحد يتأكسد. وأما في الخلية السليمة فمقابل كل جزيء سكر يتحول إلى حامض اللبنيك يتأكسد جزيء آخر. وهذا يعني أن تغذية الخلية السرطانية تشبه علمية التخمير .

ب ـ تزداد نسبة السكر في الدم .

ج ـ تزداد كمية البوتاسيوم وتنقص كمية الكالسيوم كما قلنا سابقاً .

د ـ يحول مصل الدم أزرق المتيلين إلى سائل قلوي لا لون له بينما لا يفعل مصل الدم السليم الشيء نفسه .

هـ ـ تنقص كمية البروتيين والنتروجين (N_2) .

و ـ يتم إفراز خميرة (Enzyme) تساعد على هضم البروتين .

والأسباب الأساسية لوجود السرطان تنحصر في حصول تغيير داخل الخلية قادر على الإستمرار حتى النهاية. وهذا التغيير السرطاني يمكن أن يحدث نتيجة أي عامل التهاب أو إثارة أو تنشيط. وهذه العوامل قد تكون فيزيائية أو كيميائية أو بيولوجية .

1.7.7 ـ العوامل الفيزيائية : ويمكن إعطاء الأمثلة التالية عنها :

- الجروح
- إرتفاع درجة الحرارة
- التعرض لأشعة قصيرة طول الموجة كالأشعة تحت البنفسجية والأشعة السينية والإشعاعات النووية. وتجدر الإشارة إلى أن الأشعة تحت البنفسجية موجودة في أشعة الشمس مما يدعو للحذر من الإفراط في التعرض لأشعة الشمس بالرغم من ضرورة هذه الأشعة لجسم الإنسان وخاصة لأجسام الأطفال .

2.7.7 ـ العوامل الكيميائية ومن بينها :

ـ توقف سريان الدم في الأوعية الشعيرية وبالتالي حرمان الأنسجة من الغذاء والأكسجين .

ـ عناصر كيميائية مساعدة لظهور السرطان. ففي العام 1915 استطاع باحثون يابانيون أن يبرهنوا بالتجربة على أن وضع زفت الفحم على جلد أذن الأرنب يؤدي إلى تورمات سرطانية. ومنذ ذلك اليوم بدأ الباحثون عملية التفتيش عن الفحوم الهيدروجينية .

- الكولسترول والدهنيات الساخنة .
- إفرازات داخلية كالهرمونات والأستروجين (Oestrogènes) .

3.7.7 ـ العوامل البيولوجية : ونذكر منها :

- ـ البكتيريا
- ـ الفيروس
- ـ بعض الديدان المعوية (Helminthes) .

وبشكل عام يمكن القول بأن تغيراً سيطرأ على كل خلية قابلة للنمو، وذلك تحت التأثير الدائم أو المتقطع لعامل التحريض. ومع استمرار هذا التأثر يصل التغير في الخلية إلى درجة لا يمكن العودة عنها حتى ولو زال عامل التحريض .

ولكن هل من الممكن أن تؤدي الهرمونات إلى ظهور السرطان ؟

لقد دلت التجربة على إمكانية حماية الفأرة من سرطان التجويف الصدري (Thorax) وذلك باستئصال المبيض أي بإزالة الأوسترين (هرمون أنثوي). وقد ثبت عملياً أن هذا الهرمون يسبب السرطان الصدري. فقد تم حقن بعض الحيوانات الطبيعية بالأوسترين فظهر نمو غير طبيعي في حلمة الصدر .

وحول نفس الموضوع دلّت التجارب أنه بالإمكان إيقاف سرطان حلمة الصدر بحقن الأنثى المريضة بهرمون ذكري اسمه تستوسترون (Testostérone) .

وأما موضوع الوراثة في انتقال السرطان فما زال يحتل مركزاً مهماً في عالم الباحثين. فهو، إن صح، العامل الأكثر مرارة بين العوامل المساعدة على ظهور السرطان. ومن المعروف اليوم أن خصائصه تنتقل من جيل إلى جيل بالوراثة. وبعد مراقبة ظهور سرطان الصدر عند الفئران تبين أن هذا النوع لا يظهر مطلقاً بين سلالة معينة من الفئران، بينما يظهر في سلالة أخرى لم تخالط بالأولى عند كل فأرة تبلغ سناً معينة. ولكن هذا لا يعني أن ابن ـ أو بنت ـ إنسان، أصيب فيما بعد، بالسرطان، سيصاب حتماً بالسرطان. فهذا المرض لا ينتقل، كمرض من الأهل إلى الأولاد بالوراثة. وما يمكن أن يتم نقله بالوراثة قد يكون حساسية للسرطان. وقد لا تظهر مطلقاً هذه الحساسية إذا ما تمت حماية الفرد من العوامل الخارجية المساعدة على ظهور السرطان .

ولم يتمكن الباحثون من معرفة ما إذا كانت أنواع المأكولات تساعد على ظهور السرطان أم لا. ولكن يبدو، من الناحية النظرية على الأقل، أن مراقبة أنواع المأكولات قد تكون عاملاً مهماً في إيقاف تكون ورم خبيث معين. وقد ظهر منذ سنوات تيار جديد في ميدان الطب يدعو لاعتماد مراقبة المأكولات طريقاً للحماية، ليس من السرطان فقط، بل من كل ما يحدق بالإنسان من أمراض. ويدعو هذا التيار للعودة إلى الطبيعة في صناعة مأكولاتنا والابتعاد عن كل ما هو مبالغ في صناعته. ويستشهد هؤلاء الأطباء بالطب الشرقي القديم الذي يبتعد، قدر المستطاع عن العقاقير المركبة .

والعقبة الأساسية التي يواجهها العاملون في مجال تحديد أسباب ظهور السرطان تنحصر في استحالة إجراء التجارب على الإنسان لأسباب لا يجهلها أحد. ومعظم المعلومات التي يتناقلها المختصون تعتمد على إحصاءات تربط بين نسبة المصابين بالسرطان ضمن فئة معينة وبين تصرف هذه الفئة بالذات. وعلى سبيل المثال، وإضافة للجزم بأن الزفت (Goudron) يساعد على ظهور السرطان، ربط الباحثون بين ظهور سرطان الرئة وبين الدخان إذ تبين أن ظهور هذا السرطان يكثر، إحصائياً، عند المدمنين على الدخان، ويقل، دون أن ينعدم، بين غير المدخنين .

8.7 ـ معالجة السرطان

منذ أن بدأ الإنسان يعاني من أمراض السرطان والباحثون يحاولون استنباط الطرق الكفيلة بإيقاف هذا المرض الذي ما زال مستعصياً. وقد دلت التجربة على أن كل الوسائل الكيميائية (ومنها سم الحية)، والهرمونية والبيولوجية لم تعط أي مفعول يذكر على نمو السرطان في الأنسجة المريضة. والوسائل الوحيدة التي أثبتت حتى الآن بعض الفعالية هي، إلى جانب الجراحة، تلك التي تستعمل المعالجة بالأشعة السينية أو الإشعاعات النووية والنترونات .

وفي مجال المعالجة بالأشعة السينية يجب التمييز بين مرحلتين مهمتين :

أ ـ القضاء موضعياً على النمو السرطاني، ومن ثم تطهير المكان المصاب بإزالة "أنقاض" الخلية المريضة بعد قتلها بالأشعة .

ب ـ إعادة "ترميم" الجزء الذي ماتت خلاياه المريضة بواسطة خلايا طبيعية تأتي لتشفي جرحاً أوجدته الأشعة السينية والسرطان وسمومه.

وتجدر الإشارة إلى أن حساسية الخلايا المريضة تحت تأثير الأشعة السينية أكبر من حساسية الخلايا الطبيعية مما يجعل من الممكن القضاء على الورم الخبيث دون القضاء التام على الخلايا الطبيعية المحيطة به. ولكن، من ناحية ثانية، لا يمكن أن تتم المعالجة دون إحداث جرح في الأنسجة السليمة .

وهذا يطرح أسساً جديدة للمعالجة بالأشعة السينية لا تنطلق من فاعلية الجرعة في قتل التورم الخبيث، وإنما من تحمل الخلايا السليمة للجرعة المسلطة على العضو أو المنطقة المصابة. وتدور بعض الأبحاث لمعرفة ما إذا كان المفروض إعطاء الجرعة دفعة واحدة أم على دفعات وما إذا كانت الفاعلية تتعلق بطول الموجة المستعملة أو بقيمة التوتر العالي المسلط على طرفي أنبوب الأشعة السينية .

والأجوبة على هذه الأسئلة ما زالت مجتزأة بالرغم من التراكمات الهائلة عبر عشرات السنين من العمل الدؤوب والملاحظات الدقيقة. ويمكن حالياً إعطاء الملاحظات التالية :

أ ـ الجرعة اللازمة لقتل خلايا سرطان معين تتغير بتغير طبيعة هذا السرطان. ولكن يمكن القول أنها تتراوح بين 2500 و 3500 رونتغن تقريباً .

ب ـ من المفضل إعطاء الجرعة على دفعات (طريقة كوتار Coutard) بحيث يعطي المصاب جرعة يومية (تتراوح بين 50 و250 رونتغن) أصغر من الجرعة التي تحدث طفحاً على الجلد. ويجب الإستمرار في إعطاء هذه الجرعات الصغيرة حتى الوصول إلى جرعة إجمالية كبيرة نسبياً. وهذه الطريقة تستعمل في معالجة السرطان الذي مضى على ظهوره بعض الوقت. وبالرغم من شيوع هذه الطريقة يظن

الكثيرون من كبار العاملين في هذا الحقل بأن جرعة كبيرة دفعة واحدة تبقى ضرورية لمنع الأنسجة المصابة من "لملمة" خلاياها الميتة وإصلاح ما خربته الأشعة السينية. ومن أجل حماية الجلد يصار إلى توجيه الجرعة الكبيرة من أماكن متعددة بحيث لا تؤثر على الجلد، إذ أن الجرعة المسلطة على كل جزء من الجلد أقل من تلك التي تسبب الطفح الجلدي .

ج ـ لا يؤثر طول موجة الأشعة السينية المستعملة على فعالية المعالجة. وقد أثبتت تجارب عديدة أن الأشعة السينية الطرية والأشعة القاسية (التي يتم الحصول عليها تحت توتر عال مرتفع) لها نفس النتائج البيولوجية فيما يتعلق بقتل الحيوانات أو إحداث تغيرات معينة. وتجدر الإشارة إلى وجود أبحاث كثيرة نشرت نتائجها في عدة مقالات تشير إلى نتائج معاكسة، أي إلى أن النتائج التي يمكن الحصول عليها بواسطة الأشعة الطرية تختلف عن تلك التي يتم الحصول عليها بواسطة الأشعة القاسية. وبالرغم من ذلك يبقى من الممكن، في بعض الحالات، أن نفسر هذا التناقض بالقول أن المادة تمتص الأشعة الطرية أكثر مما تمتص الأشعة القاسية، وذلك لأنه كلّما قصر طول الموجة زادت إمكانية اختراق الأشعة لهذه المادة. وبكلام آخر يمكن القول بأن شدة الأشعة الطرية تتناقص كلّما توغلت في المادة، بينما شدة الأشعة القاسية تبقى شبه ثابتة على طول مسارها داخل المادة .

وقد جرت تجارب بواسطة الأشعة السينية الطرية وأخرى بواسطة الأشعة القاسية على حيوان يسمى سمندل الماء (Triton). وقد أدت الأشعة السينية القاسية إلى بروز أذناب للحيوان بشكل متناظر أي أن ما حصل على الجهة اليمنى حصل على الجهة اليسرى. وأما الأشعة الطرية فلم تؤد إلى نفس التناظر بالرغم من أنها أدت إلى بروز أذناب .

وتفسير ذلك يكمن في أن الأشعة السينية القاسية اخترقت جانبي الحيوان بنفس الشدة بينما لم تحافظ الأشعة الطرية على شدتها. فالجانب الذي دخلت منه

هذه الأشعة تعرض لآثارها أكثر من الجانب المقابل بسبب امتصاص المادة لجزء منها .

ويوجد حالياً في المستشفيات التي تعالج السرطان أجهزة أشعة سينية تعمل تحت توتر عال يصل حتى مليوني فولط. كما يوجد أجهزة تعمل تحت توتر عال يصل حتى 20 مليون فولط يتم الحصول عليه بواسطة بتاترون .

والهدف من استعمال مثل هذه الأجهزة هو الحصول على أشعة سينية قاسية (ذات طول موجة قصير) من أجل معالجة عميقة دون إحداث جرح كبير في الأنسجة السليمة بسبب قلة امتصاصها لهذه الأشعة. وقد يستحسن استعمال مثل هذه الأجهزة من أجل معالجة السرطان في الأماكن الداخلية من الجسم كسرطان المبولة مثلاً. ولكن ليس هناك أي مبرر لاستعمال توتر عال (مليون فولط مثلاً) في معالجة إصابات سطحية أو غير بعيدة عن الجلد. ففي هذه الحالات يمكن استعمال أجهزة تعمل تحت توتر لا يتعدى 200 ألف فولط .

9.7 ـ إستعمالات أخرى للأشعة السينية في ميدان الطب

إلى جانب الاستعمالات التي ذكرناها حتى الآن، وخاصة في ميدان معالجة السرطان، تؤدي الأشعة السينية خدمات أخرى وكثيرة. ومن هذه الخدمات التصوير بالأشعة الذي أصبح شائعاً وروتينياً في بعض الميادين الطبية. وسنتكلم على هذا الموضوع في فصل لاحق .

وكلنا نعلم مدى الإمكانات التي وضعها استعمال المجهر أمام الباحثين من أجل معرفة تفاصيل بعض الأجسام المتناهية الصغر. ولكن قصور المجهر عن إظهار تفاصيل الخلايا الحية دفع الباحثين لاستعمال الأشعة السينية من أجل استكشاف تركيب هذه الخلايا بنفس الطريقة التي تتم فيها دراسة الأجسام الصلبة، أي بطريقة الحيود التي فصلناها في الفصل الرابع من هذا الكتاب .

ومعرفة تركيب الخلية السليمة وتركيب الخلية المصابة بالسرطان مثلاً قد تؤدي إلى إغناء المعلومات التي يعمد الباحثون لتجميعها من أجل خوض المعركة القاسية مع أمراض التورم الخبيثة. ولقد أدت بالفعل هذه الدراسات إلى ملاحظة اختلاف في التركيب بين خلية سليمة وأخرى مريضة أشرنا إليه من خلال عرضنا للسرطان .

الفصل الثامن
التصوير بالأشعة في ميدان الطب والبيولوجيا

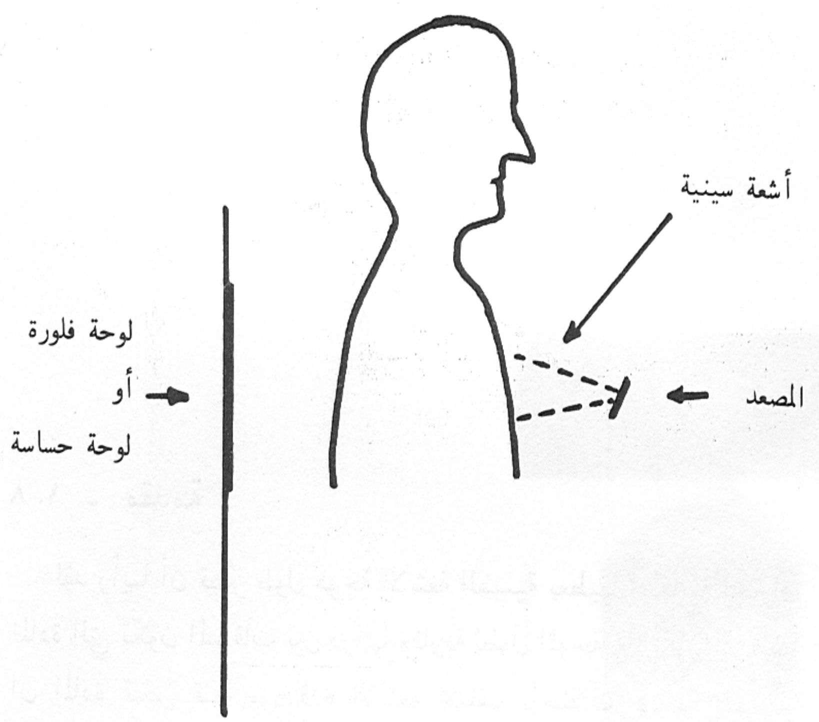
1.8 ـ مقدمة

لقد رأينا أن قصر طول موجة الأشعة السينية يعطيها إمكانية اختراق المادة التي تكون المسافات بين ذراتها مقاربة لطول الموجة هذا. ورأينا أيضاً أن المادة تمتص قسماً من هذه الأشعة يختلف باختلاف طبيعة العناصر المكونة للمادة ويتغير بتغير طول الموجة. وبكلام آخر يمكن القول أن شفافية المادة ليست ثابتة بل تتغير بتغير العناصر الممتصة للأشعة السينية .

وقد كونت هذه الملاحظات أساس التصوير بالأشعة إذ ترسل حزمة أشعة سينية من أجل اختراق الجسم المراد فحصه بالأشعة بعد أن يتم وضع شاشة فلورة أو لوحة حساسة (فيلم) وراء الجسم (صورة رقم 8 ـ 1). فإذا كان الجسم غير متجانس (كخشبة تحوي في داخلها قطعة من حديد) أصبح التوزيع الطيفي للحزمة التي تخرج من الجسم غير متجانس وأثّر على لوحة الفلورة أو اللوحة الحساسة. والتأثير على هذه اللوحة يختلف بين نقطة وأخرى بسبب اختلاف شدة الأشعة السينية الخارجة من الجسم بعد أن يتم امتصاص قسم منها. وما يتم الحصول عليه على اللوحة يشكل "ظل" داخل الجسم .

ويذكر القارئ أن أول صورة بالأشعة تم الحصول عليها أثناء الاجتماع التاريخي الذي عقد في ديسمبر/كانون الأول من العام 1895 والذي أعلن رونتغن خلاله عن اكتشافه. فبعد أن أكد المكتشف أن هذه الأشعة قادرة على اختراق المادة عرض فان كوليكر أن يصار إلى تصوير يده فكان ما أراد، وكانت الصورة الأولى من نوعها .

ومنذ ذلك اليوم بدأ الباحثون باستعمال الأشعة السينية في تطبيقات شتى. وكانت التطبيقات الأولى قد انحصرت في البدء بالتصوير بالأشعة الذي ما زال يشكل حتى يومنا هذا وسيلة أساسية وفعالة في ميادين عديدة كالطب والصناعة .



صورة رقم 8 ـ 1
التصوير بالأشعة

2.8 ـ التصوير الطبي

أصبح التصوير بالأشعة وسيلة لا غنى عنها من أجل الكشف عن مكان الشوائب في جسم الإنسان. ويمكن إعطاء بعض الأمثلة عن هذه الاستعمالات بعد أن أصبحت معروفة ودخلت ميدان العمل اليومي في المصحات والمستشفيات :

أ ـ فحص العظام المكسورة
ب ـ دراسة حالة الأسنان من أجل تحديد العلاج المناسب
ج ـ تحديد أماكن الأجسام المعدنية التي يبتلعها الطفل كالمسامير والدبابيس

د ـ البحث عن الرصاص وشظايا القنابل في حال بقائها في الجسم بغية تحديد مكانها وانتزاعها

هـ ـ فحص الأورام الخبيثة

و ـ تصوير الرئة والمفاصل بحثاً عن إمكانية وجود مرض السل

ز ـ تصوير "الحصى" في الكلية أو المبولة

ح ـ فحص الجهاز الهضمي

ط ـ دراسة بعض أمراض الكبد

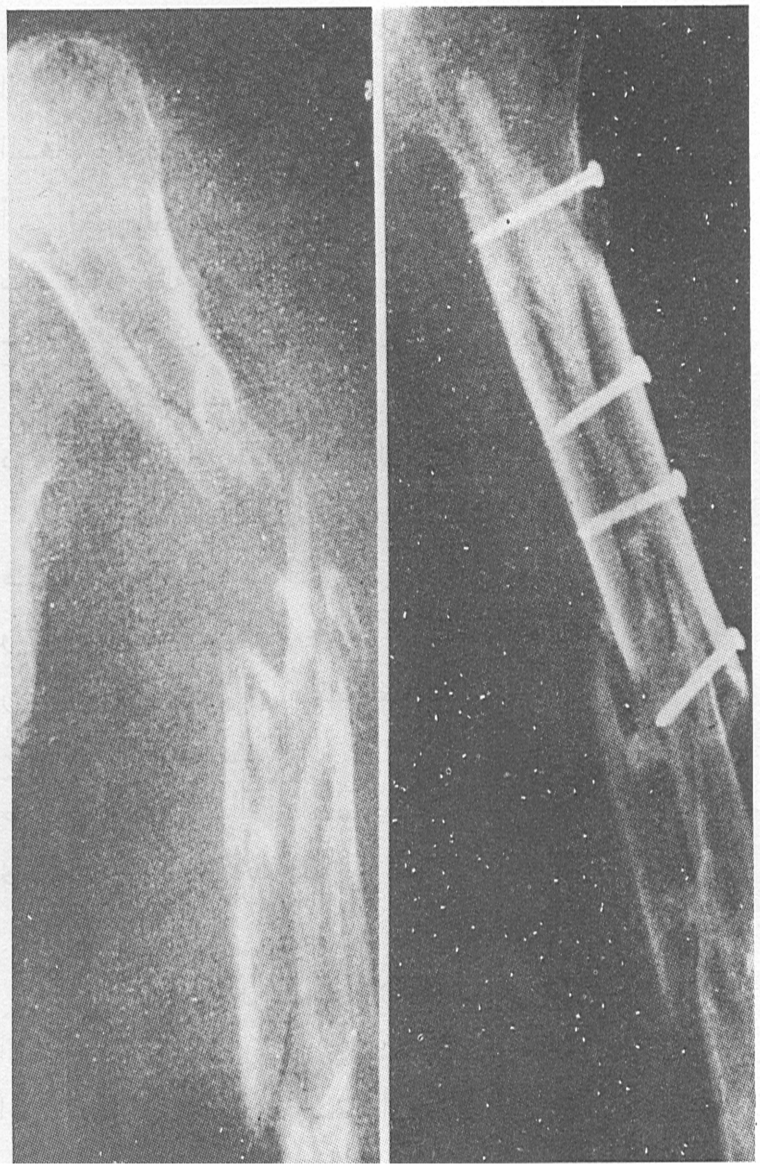
ي ـ دراسة بعض حالات الحمل ... الخ

وتجدر الإشارة إلى أن التصوير بالأشعة وصل إلى أوجه خلال الحرب العالمية الثانية إذ ساهم، على أيدي أطباء أكفاء، في إنقاذ حياة كثير من الجنود الذين تلقت أجسامهم رصاصة أو شظايا قنبلة أو لغم أرضي .

وفي الصورة رقم 8 ـ 2 نعطي صورتين لذراع أحد الجنود وقد كسرتها رصاصة : صورة قبل إصلاح الكسر وأخرى بعده .

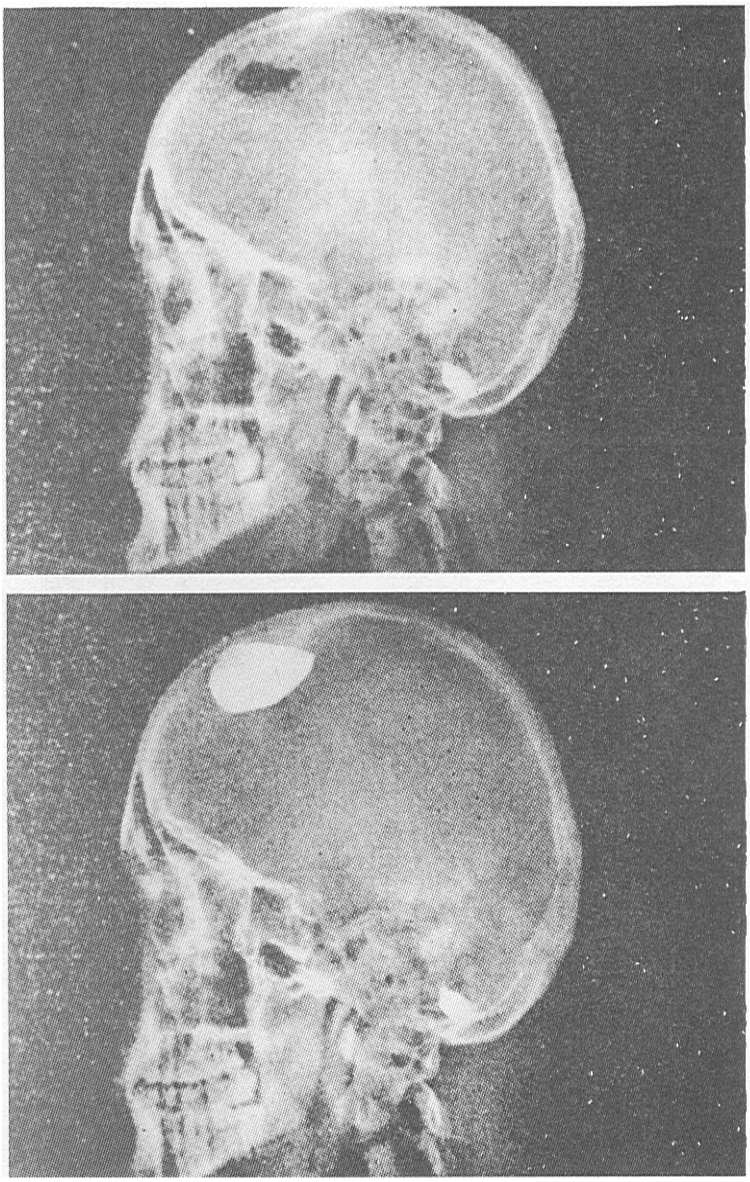
أما في الصورة رقم 8 ـ 3 فنعطي صورتين لجمجمة أصيبت بكسر : واحدة قبل إصلاحها وثانية بعد أن وضع عليها لوحة معدنية صغيرة من التانتال وهو عنصر فلزي شبيه بالفضة أو البلاتين .

ولتصوير الجهاز الهضمي يتوجب تحويله إلى جسم معتم أي جسم يمنع مرور الأشعة، وذلك من أجل خلق فروق في معامل الامتصاص بين نقطة وأخرى. وكذلك بالنسبة لتصوير المرارة والشعب الهوائية والكلية ورحم المرأة والكبد والشرايين والأوردة. وتجدر الإشارة إلى أن المادة المعتمة تتغير بتغير الجزء المراد تصويره. فالمادة التي تستعمل في تصوير الكلية لا تستعمل في تصوير المعدة أو الأمعاء. وأصبح اختيار هذه المادة المعتمة علماً بحد ذاته يتطلب في بعض الحالات تقنيات خاصة ومتطورة. ومن هذه الحالات نذكر تصوير النخاع الشوكي وتصوير الأوعية الدموية واللمفاوية والقلب وتصوير الكلية .



صورة رقم 8 ـ 2

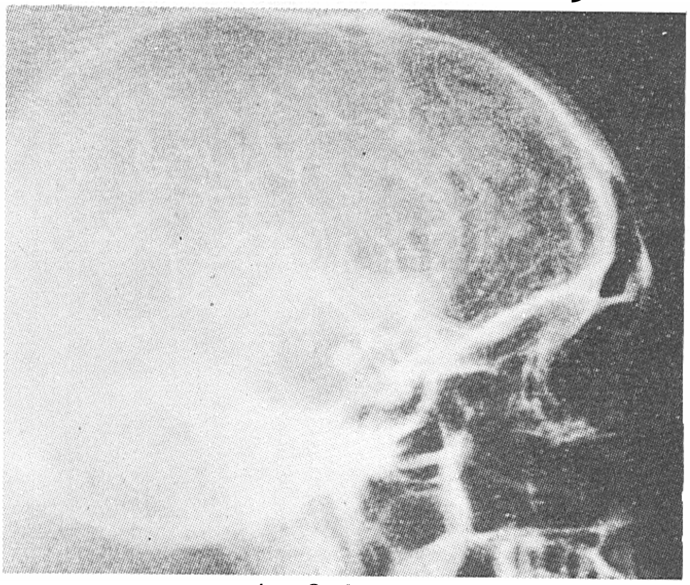
صورتان بالأشعة لذراع مكسور



صورة رقم 8 ـ 3

صورتان بالأشعة لجمجمة أصيبت بكسر : قبل وبعد إصلاحها

وتبين الصورة 8 ـ 4 انتفاخاً في جدران الشريان في الرأس (Anévrisme d’artère cérébrale). وانفجار مثل هذا الجيب (الانتفاخ) بسبب ضعف الجدران يؤدي إلى نزيف داخلي. ومن المعتقد أن الرئيس الأمريكي روزفلت (F. D. Roosvelt) والرئيس السوفياتي ستالين (J. Staline) قد ماتا نتيجة مثل هذا النزيف .



صورة رقم 8 ـ 4
صورة بالأشعة تبين شرايين الرأس

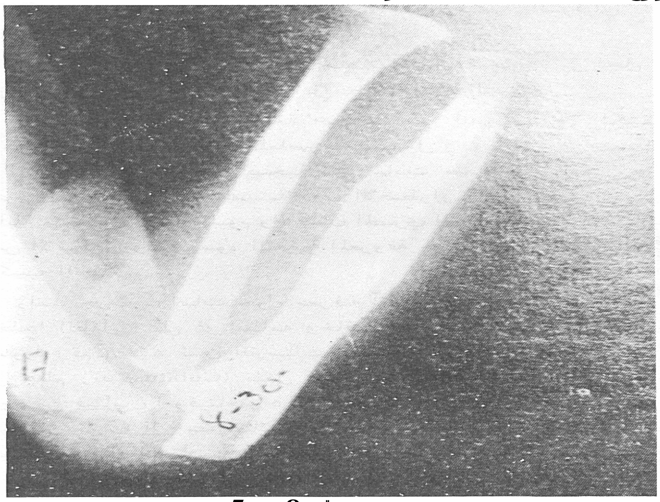
وفي أيامنا هذه تزداد ضرورة إيجاد مواد معتمة جديدة من أجل تصوير المزيد من أجزاء جسم الإنسان بواسطة الأشعة السينية .

ولقد أدى التصوير بالأشعة خدمات جلى للطب لا في الكشف عن الأمراض في جسم الإنسان المعاصر فحسب بل في مقابلة الظروف الصحية في أيامنا هذه بالظروف الصحية التي سادت منذ آلاف السنين. فقد تم تصوير المومياء بالأشعة السينية دون الاضطرار لتعريتها. ونتج عن ذلك مقابلة مهمة بين إنسان اليوم والإنسان المصري القديم. ولقد تم اكتشاف آثار نفس الأمراض ونفس سوء التغذية المعروفة حالياً بحيث ينعكس ذلك على تركيب العظام .

ولقد جرت دراسات حول معرفة آثار جرعات الفيتامينات التي يأخذها الطفل، على نحو عظامه وخاصة فيتامين آ (Vitamine A). وفي الصورة رقم 8 ـ 5 نبين الترسبات (Hypérostose corticale) التي تتراكم على عظم زند (Cubitus) طفل عمره سنتان بعد أن أعطته أمه جرعة كبيرة من فيتامين آ وفيتامين د (Vitamines A et D) وهذا يعني أن زيادة الفيتامين تؤدي إلى مضاعفات قد تكون أخطر من تلك التي تنجم عن نقصانه .

وعند عرضنا لخصائص الأشعة السينية أشرنا إلى تأثر اللوحات الحساسة (فيلم) بهذه الأشعة. ومن الطبيعي القول إذن بأن دراسة درجة تأثر (أو درجة سواد) اللوحة بواسطة ميكروفو تومتر أو آلة قياس الكثافة (densitomètre) تعطي معلومات مهمة في ميدان الفحص الطبي أو في ميدان البحث العلمي .

ولنفترض أن طفلاً ابتلع قطعة معدنية (دراهم، دبوس...) وأن الطبيب يريد معرفة مكان وجودها في الجهاز الهضمي من أجل مراقبتها وتتبع سيرها داخل هذا الجهاز. فالوسيلة المثلى، حتى لا نقول الوحيدة، هي التصوير بالأشعة أو استعمال لوحة فلورة. وهذا ما يحصل بالفعل، خاصة إذا مضى أكثر من يومين دون خروج القطعة المعدنية (بالطريقة السلمية) .



صورة رقم 8 ـ 5
صورة بالأشعة تظهر ترسبات على زند طفل

وتستعمل آلة قياس الكثافة وتقنيات خاصة أخرى في كثير من الدراسات، نذكر منها :

- قياس وجود المعادن في العظام وربطها بأنواع المأكولات التي يتناولها الإنسان .
- تكلس يعود لمرض السل في المفاصل .
- كثافة العظام والعضلات والأنسجة الأخرى خلال عملية نمو الطفل .
- نقص كمية أملاح الكالسيوم في عظام بعض المرضى المصابين بالتهاب المفاصل المزمن. (معدل هذه الكمية هو حوالي 0,4 غرام في كل سنتيمتر مكعب $(0,4g/cm^3)$.

كيف تتم عملية القياس ؟

يصار عادة إلى قياس كثافة العظم بمقابلة النتيجة التي يتم الحصول عليها بواسطة العظم بالنتيجة التي يتم الحصول عليها على نفس (الفيلم) اللوحة الحساسة باستعمال قطعة من العاج أو من الألومنيوم .

ولقد تطورت تقنية التصوير بالأشعة بمرور الأعوام، بل الأيام، فأصبح بالإمكان استعمال بقع بؤرية متناهية الصغر تسمح بتصوير دقيق وواضح دون أي إضعاف لشدة الأشعة. واستعمال أشعة شديدة يساعد على الحصول على الصورة خلال وقت قصير، مما لا يعيق حركة المريض، ويحافظ على وضع الصورة .

3.8 ـ تقنيات خاصة في التصوير الطبي

بعد أن أثبت التصوير الطبي فعاليته عمد الباحثون إلى تعميم استعماله واستنباط تقنيات خاصة ومتعددة تساعد على حل المتطلبات الجديدة التي أوجدها التوسع في الاستعمال. وبعض هذه التقنيات يستعمل في مجال التصوير الصناعي أيضاً. وفيما يلي سنورد وصفاً موجزاً لبعض هذه التقنيات .

1.3.8 ـ التصوير المجسم

يعد التصوير الطبي العادي كافياً في كثير من الحالات، إذ تعطي هذه الطريقة صورة ذات طولين (بعدين) للجزء المراد رؤيته في الجسم. ولكن بعض

الحالات تستدعي رؤية مجسمة من أجل تحديد أدق لمكان الجسم الغريب أو للخال الحاصل في بعض أجزاء الجسم كالورم الخبيث مثلاً .

وللحصول على مثل هذه الرؤيا يصار إلى أخذ صورتين بالطريقة العادية : واحدة عند وضع أنبوب الأشعة السينية في نقطة معينة بالنسبة للجزء المراد تصويره، وثانية عند وضع الأنبوب في نقطة تبعد عن النقطة الأولى حوالي سبعة سنتيمترات، أي المسافة بين عيني الإنسان .

وتتم رؤية هاتين الصورتين في آن معاً بواسطة آلة مجسمة بحيث ترى عينا الباحث صورة مجسمة للجزء المصور تماماً كما لو وضع هذا الباحث عينيه في المكانين المتتاليين لأنبوب الأشعة السينية .

2.3.8 ـ التصوير الحركي

تسمح هذه الطريقة بتسجيل حركة الأعضاء الداخلية كالقلب والرئتين. ويتم ذلك بوضع حاجز من الرصاص (Diaphragme)، بين المريض والفيلم، مزود بفتحة (fente) صغيرة لا تتجاوز المليمتر الواحد. وأثناء تسليط الأشعة السينية يصار إلى تحريك الفيلم مسافة تساوي عشرين أو أربعين مرة قيمة عرض الفتحة. وهكذا يصبح ظل القلب أكبر أو أصغر حسب سرعة نبضه، وهذا ما يسمح بتسجيل حركة القلب .

وأما بالنسبة للأعضاء التي تتحرك بسرعة أقل من سرعة القلب فيصار إلى تخفيض سرعة تحرك الفيلم .

3.3.8 ـ التصوير السينمائي بالأشعة السينية

المبدأ المستعمل في هذه الطريقـة هو مبـدأ التصويـر السينمائي مع فارق بسيط يعود إلى طبيعة الأشعة المستعملة. ويتم التصوير بإحدى الطريقتين التاليتين :

- الطريقة غير المباشرة حيث يصار إلى أخذ الصور عن لوحة فلورة .
- الطريقة المباشرة حيث يتم التصوير مباشرة على فيلم سينمائي خاص باستعمال الأشعة السينية .

وقد نجح الباحثون في الحصول على أفلام واضحة باستعمال حزمة أشعة سينية شديدة. وتستعمل عادة أنابيب أشعة سينية فيها المصعد في حالة دوران (راجع الفصل الثاني). وتجدر الإشارة إلى أن أول جهاز مكّن العلماء من الحصول على مائة صورة على الفيلم الذي يتحرك بسرعة ثابتة تم استعماله عام 1949. وكان الوقت الذي يستغرقه أخذ صورة واحدة يساوي عشرة أجزاء من مليون جزء من الثانية. واستعمل هذا الجهاز في دراسة احتراق المحروقات في الصواريخ .

4.3.8 ـ التصوير الوقائي

يتم التصوير بالطريقة العادية ويهدف لأخذ عدة صور لعدة أشخاص بأرخص الأسعار، أي باستعمال أصغر فيلم ممكن في تصوير أكبر جزء ممكن من الصدر. وقد أدى تطوير هذه الطريقة إلى إمكان مراقبة صحة التلاميذ في المدارس والعمال في المصانع، وبشكل خاص عمال المناجم حيث تأخذ الوقاية حجمها الحقيقي. وقد تم بالفعل اكتشاف ترسبات غبار المعادن في رئتي عامل المناجم. وقد تؤدي هذه الترسبات، إلى جانب الظروف القاسية التي يعيشها هؤلاء العمال، إلى مضاعفات خطيرة كالتليف أو السل وغيرهما. ويؤدي غبار البريليوم إلى مضاعفات أخطر بكثير من مضاعفات غيره من المعادن، وقد لا تظهر إلاّ بعد مضي ست سنوات على دخول الغبار إلى الرئة .

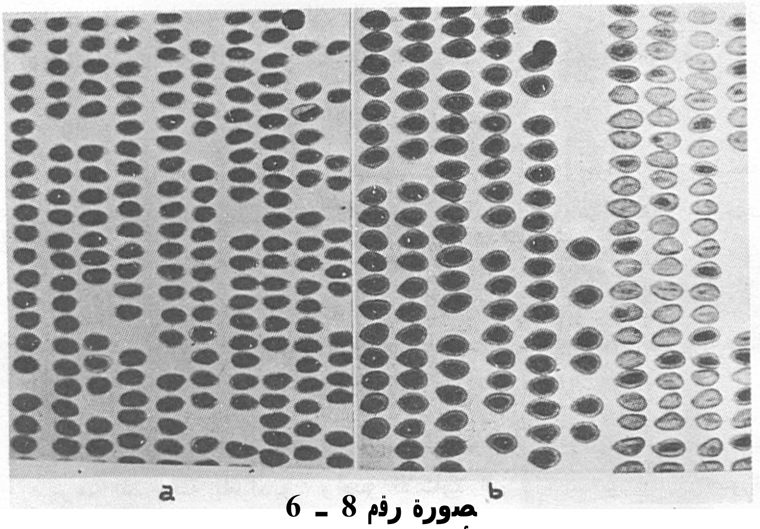
5.3.8 ـ التصوير بأشعة أحادية طول الموجة

عند تطرقنا لدراسة امتصاص المادة للأشعة السينية (الفصل الثالث) رأينا أهمية معرفة طول موجة الأشعة المسلّطة. وهذا يعني أن استعمال حزمة متعددة طول الموجة (Polychomatique) يدخل شيئاً من عدم الوضوح في الصورة أي في "ظل" الجسم المراد تشخيصه. ولتلافي ذلك، فكّر الباحثون باستعمال أشعة أحادية طول الموجة. ولقد أدى ذلك للحصول على صور أوضح تظهر المزيد من التفاصيل .

وهذه الطريقة تستدعي استعمال أشعة شديدة لأن عزل أشعة أحادية طول الموجة يؤدي بالطبع إلى تخفيض الشدة. وغالباً ما تكون هذه الأشعة (Kα)

الخاصة بأحد المعادن كالنحاس والحديد والكوبالت والكروميوم، أي نفس الأشعة المستعملة في مجال دراسة التركيب البلوري لبعض الأجسام الصلبة .

وفي الصورة رقم (8 ـ 6) نبين صورتين أخذتا لبعض الحبوب بهدف تبيان جودتها. الأولى (a) أخذت بواسطة أشعة متعددة طول الموجة والثانية (b) بواسطة أشعة أحادية طول الموجة. ويظهر الوضوح على الصورة الثانية أكثر مما يظهر على الأولى .



صورة رقم 8 ـ 6

صورة بالأشعة لإظهار جودة الحبوب

وتسمح هذه الطريقة بالحصول على صور لأجزاء دقيقة من العظام، مما قد يؤدي لاكتشاف بعض الأمراض منذ اللحظة التي تبدأ فيها. ومراقبة عظام اليد بدقة تؤدي لملاحظة أي تزايد غير طبيعي في نشاط الغدد الدرقية أو أي خلل في النظام الغذائي. كما أن هذه الطريقة تساعد على اكتشاف سريع لسرطان القفص الصدري الذي يبدو كعظم جديد يتكون على العظم الطبيعي، أو على اكتشاف الحرض (داء المفاصل) .

6.3.8 ـ التضخيم الالكتروني للصورة المتفاورة

لقد ظهر الفلوروسكوب كآلة عظيمة الفائدة وعملية جداً لأنها تؤدي في عملية التشخيص خدمات جلّى فهي :

- سريعة لا تحتاج لتحميض أفلام أو ما شابه ذلك .
- إقتصادية لأن لوحة الفلورة لا تتغير بين مريض وآخر .
- أكثر شمولاً إذ أنها تحل مكان آلاف الصور بالأشعة وتسمح بتتبع العمليات الطبية خطوة خطوة .

وبالرغم من ذلك فهي تشكو، بطبيعتها، من ضعف تألقها وهذا ما يقلّل من إمكان رؤيتها بالعين المجردة بوضوح. وقد عمد الباحثون إلى زيادة تألقها باستعمال تقنيات إلكترونية قد تختلف من جهاز إلى آخر .

وتجدر الإشارة إلى أن تطور هذه التقنيات أدى إلى استعمال الفلورة في ميادين غير طبية وخاصة في ميدان مراقبة عملية حيود الأشعة السينية بواسطة البلوريات. وقد تم ذلك بالفعل منذ عام 1954 على يد كوب وروز (Cope et Rose) اللذين راقبا عملية الحيود على شاشة تلفزيونية .

7.3.8 ـ بث صور الأشعة بالراديو

أدى التوسع في استعمال التصوير بالأشعة إلى وجود أجهزة أشعة سينية في كثير من مستشفيات الريف (في البلدان المتقدمة طبعاً). ووجود مثل هذه الأجهزة لا يعني دائماً وجود الجهاز البشري المتطور القادر على تحليل كل الصور. وأمام وجود حالة معقدة يعمد أطباء المستشفى الريفي لإرسال هذه الصورة إلى مستشفى كبير في المدينة القريبة من أجل عرضها على اختصاصي في ميدان تحليل صور الأشعة .

ويتم الإرسال بنفس الطرق التي يستعملها الصحفيون من أجل إرسال صورهم الصحفية بالراديو. وتجدر الإشارة إلى أن عملية إرسال صورة (35x40cm) تستغرق دقائق معدودات فقط .

4.8 ـ التصوير المجهري بالأشعة

منذ العام 1898 بدأ الباحثون باستعمال التصوير بالأشعة بغية تكبير الجسم ورؤية المزيد من تفاصيله بوضوح. وقد استعمل هيكوك (Haycock) ونفيل (Neville) هذه الطريقة في دراسة خليط من الذهب والصوديوم .

وقد أخذت التجارب شكلها العملي في العام 1913 في دراسة الأجسام غير المتجانسة على يد غوبي (Goby) ودوفيليي (Dauvilier) ولادارك (Ladarque)، وبشكل خاص دراسة الأجسام البيولوجية. ولكن ضعف التوتر العالي المستعمل في الأجهزة (4000 à 8000 V) كان يعطي أشعة سينية طرية (طويلة طول الموجة) وهذا يفسر قلة أهمية النتائج التي توصلوا إليها في التصوير الطبي .

وفي العام 1938 بدأت الدراسات الجدية لاستعمال هذه الطريقة بعد أن تم صنع أفلام ذات حبيبات دقيقة تصغر عشرة آلاف مرة حبيبات الفيلم العادي. وقد استعملت أجهزة أشعة سينية تعمل تحت توتر عال يبلغ عشرات الآلاف من الفولط (20000 à 30000 V). وأدت النتائج المشجعة التي حصل عليها كلارك (CLARK) في بلجيكا إلى توسع كبير في استعمال التصوير المجهري بالأشعة .

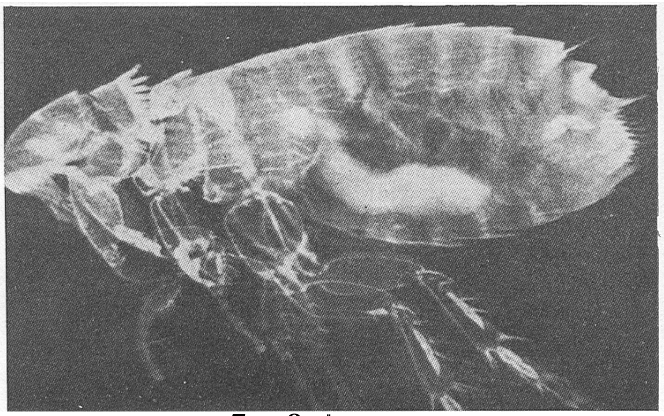
وأهم الخصائص المميزة لتقنية التصوير المجهري بالأشعة السينية تنحصر في اختيار جسم صغير الحجم والسماكة من أجل تصويره، وفي اختيار أفلام ذات حبيبات دقيقة ثم تكبير الصورة التي يتم الحصول عليها حتى الوصول إلى قياسات معقولة .

وللتصوير المجهري بالأشعة تطبيقات بيولوجية. ومن الممكن استعمال فيلم عادي إذا كان المطلوب تكبير الصورة من خمسة إلى عشرة أضعاف فقط. والصورة رقم 8 ـ 7 تبين برغوثاً أخذت صورته بواسطة التصوير المجهري بالأشعة ثم كبرت فيما بعد. وتجدر الإشارة إلى أن هذا البرغوث تغذي ببعض مركبات الباريوم (Baryum) قبل هذه الصورة .

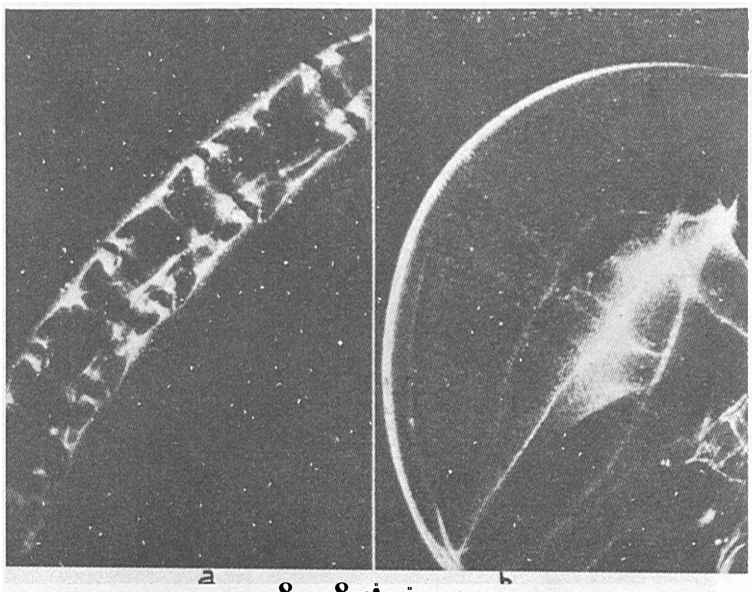
وقد تطور استعمال هذه الطريقة نحو تصوير الأجزاء المتناهية الصغر والمتحركة كأمعاء الحشرات مثلاً مما يعطي معلومات هامة حول تركيب أجسام هذه الحشرات وحول طريقة حياتها .

وفي الصورة رقم 8 ـ 8 تقدم صورتين مختلفين تم التقاطهما بواسطة التصوير المجهري بالأشعة السينية :

a ـ رجل الذبابة
b ـ عينها التي يمكن ملاحظة أوجهها المتعددة .



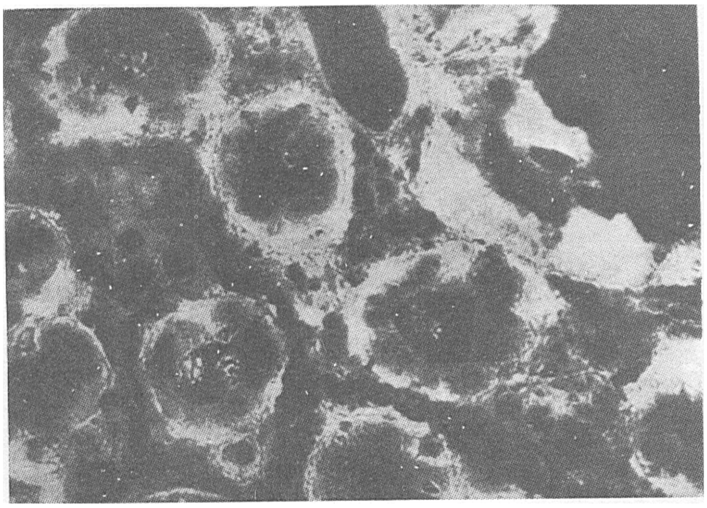
صورة رقم 8 ـ 7
صورة برغوث بالأشعة السينية



صورة رقم 8 ـ 8

A ـ رجل ذبابة
B ـ عينها .

والتطور الأهم لهذه الطريقة كان في استعمالها من أجل الكشف على الأنسجة السرطانية. وبالرغم من أن النتائج الأولية التي حصل عليها لادارك (Ladarque) في فرنسا لم تكن مشجعة، فقد ساهمت التقنيات المختلفة والمتطورة في تذليل الكثير من الصعوبات بحيث أصبح التصوير المجهري في أيامنا هذه ممكناً ويعطي نتائج قيمة. ونجد في الصورة 8 ـ 9 مقطعاً مستعرضاً لسرطان شرجي .

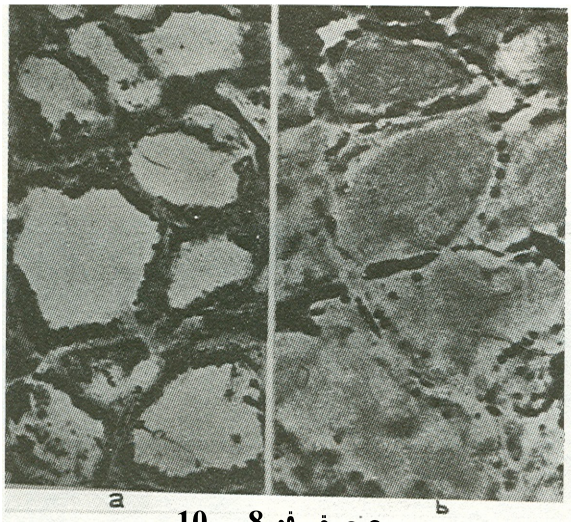


صورة رقم 8 ـ 9
صورة بالأشعة لخلايا شرجية سرطانية

ومن المعروف أن الغدة الدرقية معتمة بسبب وجود اليود فيها ولكن استخراج اليود منها يجعلها شبه شفافة بالنسبة للأشعة السينية. أنظر الصورة رقم (8 ـ 10) حيث

A ـ قبل استخراج اليود من الغدة
B ـ بعد استخراجه من الغدة .

نرى صورتين الأولى أخذت قبل استخراج اليود والثانية بعد استخراجه. ونجد في الصورة الأولى مناطق أكثر سواداً من مناطق الصورة الثانية، مما يدل على وجود اليود فيها .



صورة رقم 8 ـ 10

ويمكن في بعض الحالات استعمال التصوير المجهري المجسم بالحصول على صورتين منفصلتين كما شرحنا ذلك آنفاً عند عرضنا لطريقة الستريوسكوبي.

5.8 ـ تصوير الأسنان والأضراس بالأشعة

يعلق الإنسان أهمية بالغة على صحة أسنانه ومظهرها لأسباب تتراوح بين الاعتبارات الجمالية وبين الدور المهم الذي يلعبه الفم في تزويد جسم الإنسان بالغذاء الضروري لنموه. ومن أجل المحافظة على صحة الأسنان يضطر الإنسان إلى مواجهة أمراض عديدة تصيب الفم والأسنان كالخراج (abcés) في اللثة وتسوس الأسنان أو قلة الكالسيوم فيها ... الخ .

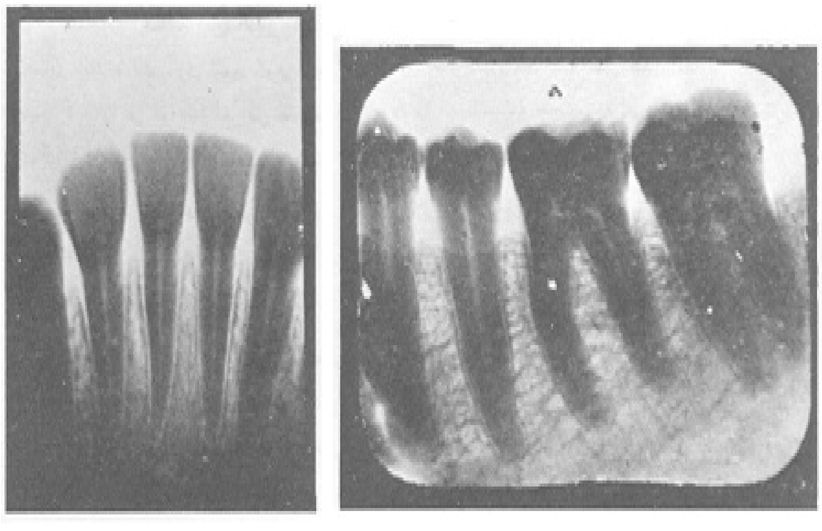
ومن أجل تشخيص هذه الأمراض يعمد أطباء الأسنان حالياً للاستعانة بالأشعة السينية من أجل تصوير المنطقة المصابة. ونتيجة التشخيص هذه تسمح للطبيب باستنتاج ما يمكن عمله بغية الحصول على أفضل النتائج .

وغالباً ما تساعد الصور بالأشعة على إعطاء الطبيب المعالج الإيضاحات اللازمة حول ضرورة خلع الضرس أو إمكانية إبقائه بعد تجويف القسم المصاب منه وإعادة ملئه بمواد صلبة خاصة وغير سامة .

وفي بعض الحالات لا يوجد تحت ضرس من أضراس الحليب (أي الأضراس التي نبتت في فم الطفل) ضرس آخر (ينبت عادة بعد خلع الأول) مما يستوجب المحافظة على هذا الضرس أطول مدة ممكنة. والتصوير بالأشعة السينية خير وسيلة لمعرفة ما إذا كان مثل هذا الضرس موجوداً أم لا .

وتمثل الصورة رقم (8 ـ 11) صوراً بالأشعة أخذت لبعض أضراس البالغين وأسنانهم .

وفي ختام هذا الفصل لا يسعنا إلاّ أن نؤكد الدور الرائد الذي لعبته وتلعبه الأشعة السينية في مجال التشخيص الطبي وفي المراحل التي قد تسبق أو تلي العمليات الجراحية، وبشكل خاص تلك العمليات التي تتعلق بكسور العظام وأمراض السرطان التي قد تصيبها. ولم يكن فان كوليكر مخطئاً عندما اقترح تصوير يده بهذه الأشعة الرائعة. فهو قد رأى منذ اللحظة الأولى عظمة الإمكانات التي تضعها أشعة رونتغن في خدمة الجسم الطبي والإنسانية .



صورة رقم 8 ـ 11
صورتان بالأشعة لبعض الأسنان والأضراس

الفصل التاسع
التصوير بالأشعة في ميدان الصناعة

1.9 ـ المبادئ العامة

يهدف التصوير الطبي، كما رأينا، إلى سبر أعماق جسم الإنسان بحثاً عن جسم غريب أو أي خلل طارئ في تكوينه. ويمكن استعمال نفس المبدأ في تصوير أي جسم لمعرفة درجة تجانسه وطبيعة تركيبه الداخلي. وهذا ما يحصل بالفعل في بعض الصناعات .

وتتجلى أهمية هذا التصوير الصناعي بالأشعة السينية عند دراسة الشوائب في معدن معين أو في سبيكة معينة تدخل في صناعة بعض الآلات التي يستخدمها الإنسان بشكل دائم. والمراقبة الدقيقة لحسن تجانس المعادن المستعملة يؤدي إلى حماية حياة الإنسان من الأخطار. ويستطيع القارئ أن يتصور الخطر الذي يحدق بحياة ركاب طائرة تحتوي بعض أجزائها على بعض الشوائب أو بعض التفسخات الداخلية .

وحول الأجهزة والمبادئ العامة المستعملة في مجال التشخيص الصناعي يمكن إيراد ما يلي :

1.1.9 ـ الأجهزة

يستعمل عادة أنبوب أشعة سينية صنع مصعده من التنغستن ويحتوي بالقرب من مهبطه على شريط ساخن جداً يرسل إلكتروناته نحو المصعد. وخشية ارتفاع درجة حرارة المصعد يصار إلى تبريده بواسطة الماء أو الزيت مما يسمح بمرور تيار كهربائي كبير في الأنبوب .

ويتم الحصول على التوتر العالي بإحدى الطرق التي شرحناها في الفصل الثاني وهو يتراوح بين بضعة آلاف فولط وعشرين مليون فولط. واختيار قيمة التوتر العالي وبالتالي نوعية الجهاز المستعمل يعتمد على سماكة الجسم المراد فحصه :

- ثمانين ألف فولط (80KV) لفحص لوحة من الألومنيوم سماكتها 4 سم (4 cm) .
- 110 آلاف فولط (110KV) لفحص لوحة من نفس المعدن سماكتها 10 سم (10 cm) .
- 200 ألف فولط (200 KV) لفحص لوحة من الحديد سماكتها 6 سم (6 cm) .
- 230 ألف فولط (230 KV) من أجل لوحة من الشبهان (Laiton) سماكتها 6 سم (6 cm) .
- من مليون إلى 20 مليون فولط (1000 à 2000 kv) لفحص لوحة من الفولاذ تتراوح سماكتها بين 10 و 20 سم (10 à 20 cm) .

ويحدد الباحث المسافة بين الجسم وبين مصعد أنبوب الأشعة السينية حسب قيمة مساحة القسم المراد فحصه. وتجدر الإشارة إلى أنه كلما زادت هذه المسافة نقصت شدة الأشعة طبقاً للقانون المعروف بالنسبة لأي ضوء أو أي موجة. وكمثل على ذلك يمكن أن نورد الأرقام التالية : فلو اعتبرنا أن تياراً يمر في أنبوب الأشعة قيمته 0,1 أمبير (100 mA) يعطي على مسافة 75 سم (75 cm) كثافة ضوئية معينة لوجدنا، حسب هذا القانون، أنه يلزم للحصول على نفس الكثافة الضوئية على مسافة 150 سم (150 cm) تيار يساوي 0,4 أمبير (400 mA) أي ما يساوي أربعة أضعاف قيمة التيار الأول .

وتدل الدراسات على وجوب استعمال أنابيب أشعة سينية ذات بقعة بؤرية متناهية الصغر وذلك من أجل تحديد أوضح لموقع الشوائب في الجسم أو لقيمة سماكة اللوحة المستعملة والمراد قياس سماكتها .

2.1.9 ـ طريقة تسجيل الصورة

كما في التصوير الطبي يمكن في ميدان التصوير الصناعي استعمال لوحة حساسة (فيلم) أو لوحة مفلورة تعطي مباشرة ظل الجسم وشوائبه. وكل ما قلنا في هذا الموضوع عند دراستنا للتصوير الطبي يصدق هنا وخاصة :

- التصوير المجسم .
- إستعمال الأجهزة الإلكترونية من أجل مضاعفة تألق اللوحة المفلورة .
- تفضيل استعمال الأشعة أحادية طول الموجة بهدف الحصول على وضوح أفضل في تحديد أبعاد الشوائب وأشكالها .
- إستعمال التصوير المجهري بالأشعة .

وأما اختيار الفيلم فيتم انطلاقاً من نوعية الجسم المراد تصويره ومن الدقة المبتغاة في تحديد الشوائب في هذا الجسم. فحساسية الفيلم تنعكس على هذه الدقة إذ أن أي تغير في سواد الفيلم يعني تغيراً في كثافة الجسم أو في سماكته إن كان متجانساً .

3.1.9 ـ تحديد مكان الشوائب وسماكتها

يتم تحديد مكان وجود الشوائب بتسجيل ظل الجسم على لوحة فوتوغرافية وهذا يعني أن الجزء غير الممتص من الأشعة المسلّطة على الجسم يكمل طريقه حتى يصل إلى الفيلم ويؤثر عليه. ولن ندخل في تفاصيل الإشعاعات الثانوية التي يمكن أن تنطلق من الجسم عند امتصاصه لجزء من الأشعة المسلّطة بها وسنكتفي بالتذكير بما قلنا عند دراستنا لامتصاص المادة للأشعة السينية حيث رأينا أن الامتصاص يتم حسب قانون أسي .

$$I_x = I_o e^{-\mu} x$$

فلو أخذنا على الفيلم نقطتين A و B. الأولى ظل جزء من الجسم لا شائبة فيه والثانية ظل جزء من نفس الجسم يحوي مثلاً تجويفاً مملوءاً بالهواء (أو بأي غاز آخر)، ولو أهملنا قيمة امتصاص هذا الغاز للأشعة لأصبح من الممكن إعطاء شدة الأشعة كالتالي :

$$I_A = I_o e^{-\mu} x$$

$$I_B = I_o e^{-\mu}(x-D)$$

حيث (D) تساوي سماكة الجيب الهوائي

ومن المعادلتين السابقتين يمكن استخلاص المعادلة التي تربط شدة الأشعة عند B بالشدة عند A وبالسماكة D :

$$I_B = I_A e^{-\mu} D$$

وانطلاقاً من مثل هذه المعادلة يمكن حساب سماكة الجيب الهوائي. ولكن مثل هذا العمل تشوبه بعض الأخطاء العائدة لشكل الشائبة الموجودة في الجسم ولحساسية الفيلم أو أي جهاز لقياس شدة الأشعة في النقطتين الآنفتي الذكر .

وأما عند استعمال اللوحة المفلورة في دراسة تجانس جسم معين فيمكن الوصول لرؤية الجيوب الغازية (أو الهوائية) التي تتجاوز سماكتها 5% من السماكة الإجمالية للجسم. ولكن بعض التحسينات التي أدخلت على اللوحة المفلورة وعلى أجهزة القياس أدت لنتائج أكثر دقة من تلك التي ذكرنا .

4.1.9 ـ تحديد سماكة لوحة معدنية

الطريقة التي تستعمل في هذا المجال تذكر بالمبادئ الأولى للبصريات الهندسية والتي تنطلق من مبدأ سريان الضوء بخط مستقيم. فمن هذا المبدأ انطلقت المعادلات التي تعطي حجم ظل جسم معين يقع بين منبع الضوء والشاشة ومنه انطلقت التفسيرات الأولى لخسوف القمر أو كسوف الشمس .

وكما تظهر الصورة 9 ـ 1 تكفي صورة واحدة بالأشعة لتحديد سماكة لوحة معدنية. فيوضع على هذه اللوحة حاجز مسطح ورقيق من الرصاص فيه فتحة دائرية يساوي قطرها (A) ثم، بعد أخذ الصورة، يصار إلى قياس ظل هذه الفتحة على الفيلم. ومن الطبيعي أن يكون الظل دائرياً قيمة قطره (B) أكبر من (A) .

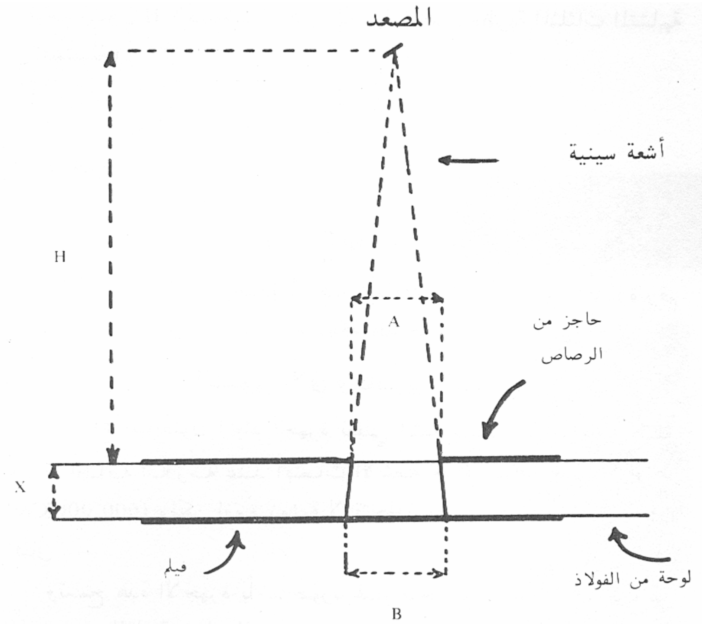
فلو اعتبرنا أن سماكة اللوحة المعدنية تساوي X وبعد المصعد عن هذه اللوحة يساوي H لأصبح بالإمكان الكتابة (حسب نظرية المثلثات المتشابهة في الهندسة) :

$$H/H+X = \frac{A}{B}$$

وأخيراً

$$X = H = \frac{B}{A} - 1$$

وقياس الكميات الموجودة في هذه المعادلة والمشار إليها في الصورة رقم (9 ـ 1) يؤدي إلى معرفة قيمة سماكة اللوحة .



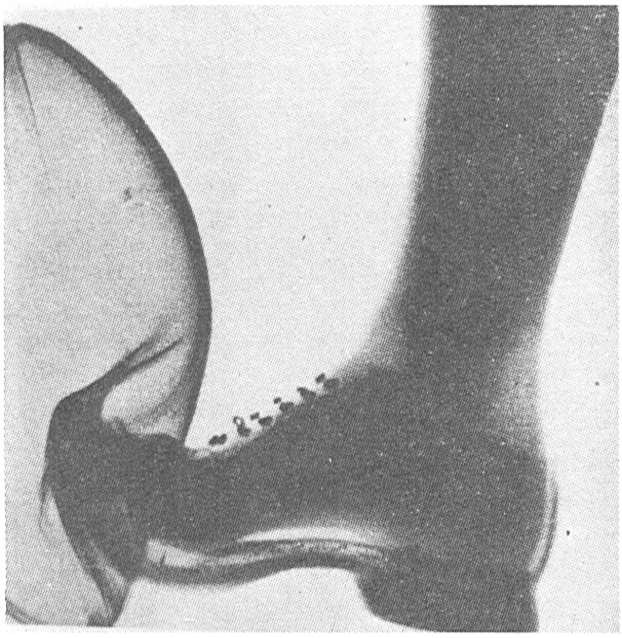
صورة رقم 9 ـ 1

تحديد سماكة لوحة معدنية بواسطة الأشعة

5.1.9 ـ التصوير الآني والتصوير السينمائي

إستطاع الباحثون إيجاد أجهزة تعطي أشعة سينية على دفعات وتبلغ قيمة الطاقة اللازمة عند ابتعاث الأشعة حوالي ستمائة ألف كيلواط (600 000 KW) ولكن لفترة زمنية لا تتجاوز بضعة أجزاء من مليون من الثانية .

وتسمح هذه الأجهزة بأخذ صورة لجسم متحرك بسرعة خلال جزء من مليون من الثانية. وفي الصورة 9 ـ 2 نبين لحظة التقاء رجل اللاعب بالكرة التي يتغير شكلها تحت تأثير قوة الدفع التي تحدثها الرجل .

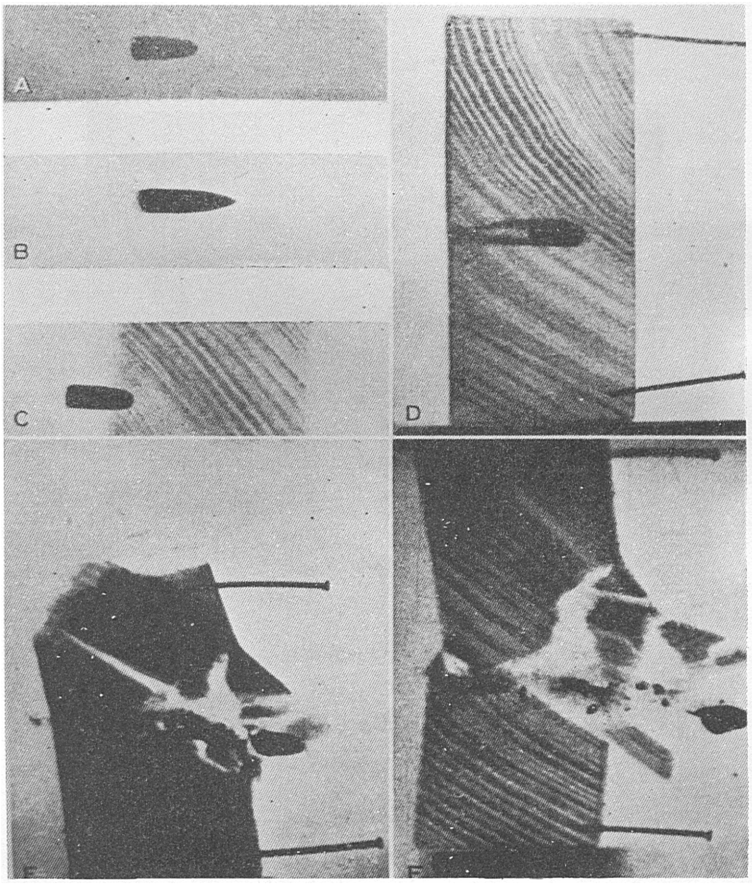


صورة رقم 9 ـ 2

وإمكانية الحصول على صور بمثل هذه السرعة إضافة إلى إمكانية أخذ صور متتالية تجعل من الممكن أخذ صور سينمائية بالأشعة، تماماً كما في التصوير الطبي، من أجل تتبع جسم يتحرك بسرعة. والصورة 9 ـ 3 تبين كيفية اختراق الرصاصة لقطعة خشبية .

وخلال الحرب العالمية الثانية استعملت هذه الطريقة في دراسات كثيرة عن انفجار القنابل، ومسار القذائف داخل اسطوانة البندقية واختراق اللوحات المصفحة من أجل معرفة سماكة الألواح المفروض استعمالها وتركيبها للحصول على حماية أفضل .

وفي هذا المجال لا بد من التذكير بما قلناه سابقاً حول استعمال التصوير السينمائي في دراسة احتراق المحروقات في الصواريخ. فمعرفة سرعة الاحتراق داخل الصاروخ تعطي معلومات مهمة من أجل تحديد كمية المحروقات الضرورية لإيصال صاروخ معين من نقطة إلى أخرى .



صورة رقم 9 ـ 3

ويستعمل التصوير السينمائي بالأشعة السينية أيضاً في مجالات أخرى كدراسة اللحام وسيلان بعض المركبات داخل الأنابيب وحركة بعض الأقسام الميكانيكية غير المرئية بالعين المجردة لوجودها داخل أجزاء غير شفافة .

6.1.9 ـ التصوير بواسطة البتاترون

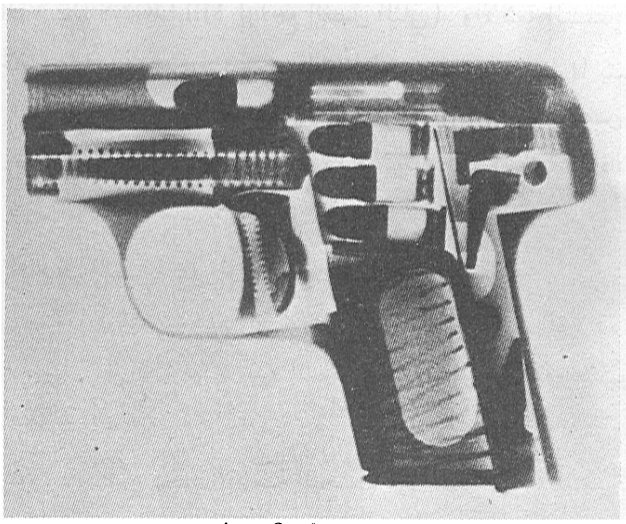
البتاترون آلة تعطي توتراً عالياً يساوي ملايين الفولطات (10 à 20 MILLIONS DE VOLTS) (راجع الفصل الثاني). والأشعة السينية التي تم الحصول عليها تحت توتر مرتفع تملك طول موجة قصير جداً مما يتيح لها قدرة

أكبر على اختراق المادة. فكمية الأشعة التي تمتصها المادة تنقص كلما نقص طول الموجة، ولكنها تمر بحد أدنى ثم ترتفع مجدداً. وهكذا فالأشعة ذات طول الموجة المناسب للامتصاص الأدنى تعتبر الأكثر اختراقاً للمادة .

وقد دلت التجربة على أن الأشعة السينية التي يتم الحصول عليها تحت عشرين مليون فولط تستطيع أن تخترق خمسين سنتيمتراً من الفولاذ. ومن أجل الحصول على ظل فولاذ بهذه السماكة يجب تسليط الأشعة مدة توازي 18 دقيقة .

ويمكن بواسطة هذه الأشعة البحث عن الشوائب أو التفسخات الداخلية في مادة معينة. وإمكانية رؤية هذه الشوائب لا تتحدد بالسماكة الإجمالية للجسم لأن معامل الامتصاص لا يتغير كثيراً بالنسبة لمثل هذه الأشعة القاسية. وبكلام آخر يمكن تحديد مكان الشوائب سواء كان الجسم سميكاً أم رقيقاً شريطة ألاّ تكون سماكة الشائبة متناهية الصغر .

والصورة 9 ـ 4 تبين صورة لمسدس أوتوماتيكي تم الحصول عليها بواسطة بتاترون. ويمكن ملاحظة كل دقائق تركيبه الداخلي بكثير من الوضوح بما في ذلك الخطوط اللولبية المحفورة داخل اسطوانة المسدس .



صورة رقم 9 ـ 4
صورة مسدس بالأشعة

7.1.9 ـ التصوير بالأشعة أحادية طول الموجة

أثناء عرضنا للتصوير الطبي بالأشعة تطرقنا لهذه النقطة وأوضحنا أهمية استعمال أشعة أحادية طول الموجة في التصوير من أجل الحصول على صور واضحة تبين المزيد من التفاصيل. والصورة رقم (8 ـ 6) تبين الفرق بين التصوير بهذه الأشعة وبين التصوير بأشعة متعددة طول الموجة .

وفي الصناعة يستعمل هذا التصوير من أجل البحث عن الشوائب الدقيقة في محركات الطائرات بشكل خاص. والأنابيب المستعملة يمكن أن تكون تلك التي تستعمل في تجارب حيود الأشعة السينية في علم البلوريات كما يمكن أن تكون أنابيب ذات تيار شديد. ومعدن المصعد يصنع من الموليبدين. ويوضع أمام الأنبوب مصفاة بحيث يتم عزل الأشعة ($K\alpha$) الأكثر شدة من غيرها .

واستعمال أشعة ($K\alpha$) الخاصة بهذا المعدن يجعل من الصعب دراسة أجسام ثقيلة أو مكونة من ذرات ثقيلة. ولكن بعض التحسينات يمكن أن تؤدي إلى تطوير هذه الطريقة. وبالفعل يمكن عزل أشعة بواسطة بلور معين (حسب قانون براغ) يكون طول موجتها أقصر من طول موجة ($K\alpha$). وقد رأينا في الفصل الرابع كيف أن البلور يحيد باتجاه معين الأشعة ذات طول الموجة المناسب لقانون براغ .

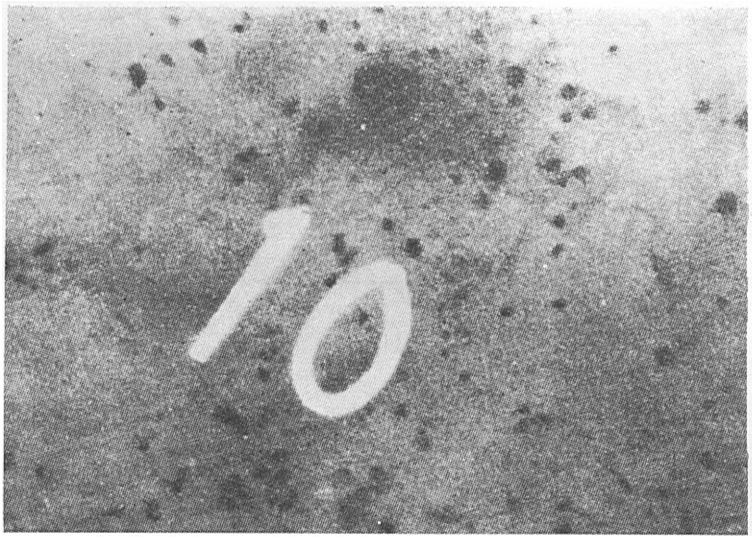
2.9 ـ التطبيقات العملية للتصوير الصناعي

1.2.9 ـ مراقبة السبائك المعدنية

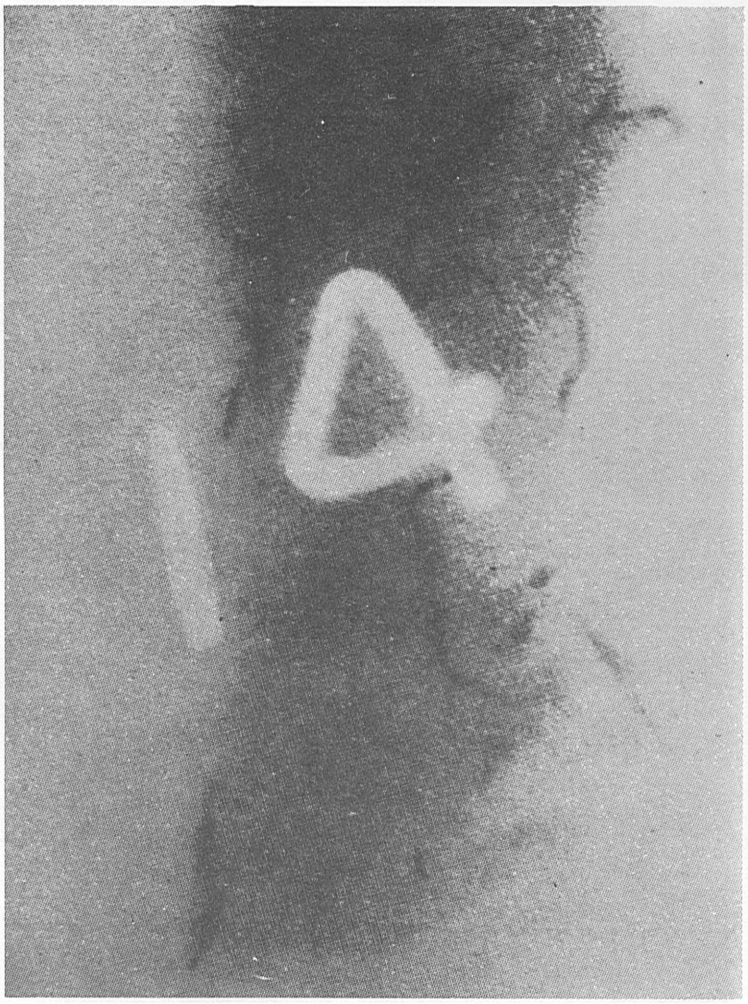
ويعد هذا المجال من أهم استعمالات الأشعة السينية في التشخيص الصناعي. فصناعة السبائك المعدنية والخلائط الصلبة تطورت بناء لقواعد تجريبية تراكمت على مر العصور. وتصنع السبيكة عند تبريد سائل المعدن بعد إعطائه شكلاً معيناً. ومثل هذه الصناعة لا تعطي أي فكرة عن التركيب الداخلي للسبيكة. ولقد أثبتت الدراسات التي جرت على مختلف السبائك وجود شوائب متنوعة يمكن إظهارها بواسطة التصوير بالأشعة السينية. ونذكر من بين هذه الشوائب :

- الجيوب الغازية، ويمكن أن تنشأ من الغازات التي تنبعث من المعدن نفسه أو من الفرن الذي يستخدم في تذويبه .
- وجود بعض الرمل .
- أوساخ معدنية مختلفة .
- وجود أجزاء مسامية في السبيكة بسبب وجود جيوب غازية صغيرة مثلاً .
- تفسخ السبيكة في بعض أجزائها .
- وجود تمايز بين ذرات المعادن المؤلفة للسبيكة. والتمايز يتجلى بوجود مناطق غير متجانسة .

وفي الصورة (9 ـ 5) نرى الكثير من الشوائب في سبيكة فولاذية سماكتها 3 سم. وأما في الصورة 9 ـ 6 فنرى تفسخات في سبيكة فولاذية ثانية لا تتجاوز سماكتها الأربع سنتيمترات. وتجدر الإشارة إلى أن هذه التفسخات لم تكن ظاهرة من الخارج مما يعني استحالة الظن بوجودها قبل أخذ الصورة بالأشعة السينية .

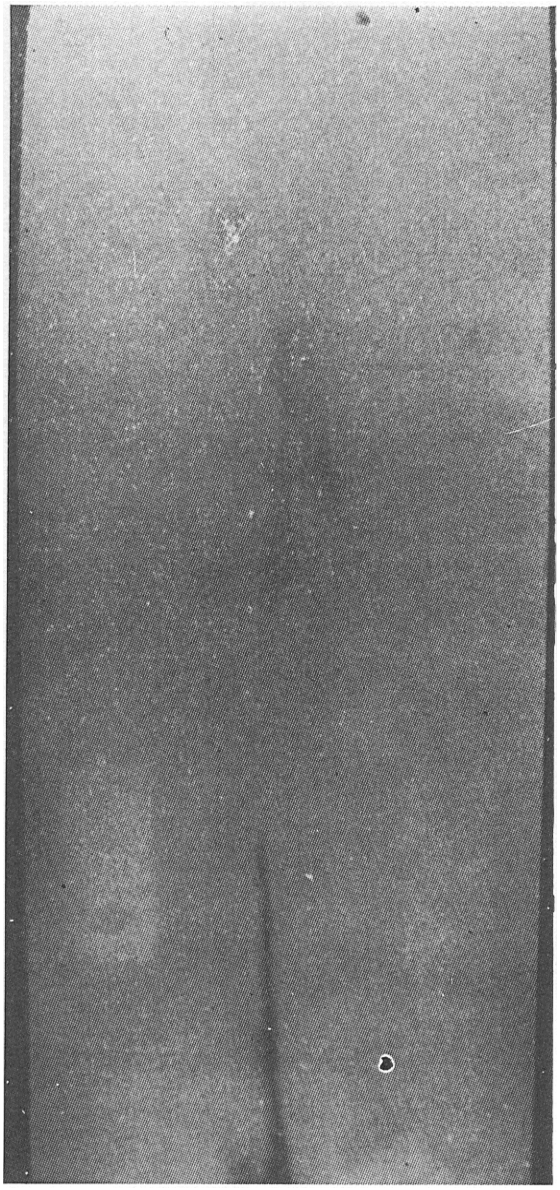


صورة رقم 9 ـ 5
شوائب في سبيكة فولاذية



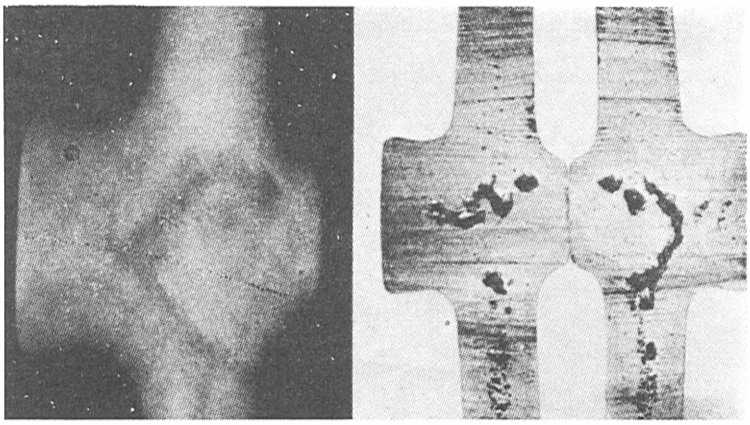
صورة رقم 9 ـ 6
تفسخات في سبيكة فولاذية

ويمكن أخذ صور لمعادن أكثر سماكة باستخدام الأشعة السينية التي يتم الحصول عليها بواسطة البتاترون. وفي الصورة (9 ـ 7) نرى تفسخاً في سبيكة تبلغ سماكتها 23 سم. والأشعة التي استعملت تم إنتاجها تحت توتر عال يساوي عشرة ملايين فولط .



صورة رقم 9 ـ 7
تفسخ في سبيكة فولاذية سميكة

وأما في الصورة 9 ـ 8 فنرى الشوائب التي اكتشفتها الأشعة السينية في سبيكة من الألومنيوم. وقد جرى فيما بعد نشر السبيكة (قطع السبيكة) بحيث ظهرت الشوائب بالعين المجردة مما أكد نتائج التصوير بالأشعة .



صورة رقم 9 ـ 8
شوائب في سبيكة المنيوم

2.2.9 ـ مراقبة اللحام

ويصادف العاملون في هذا الحقل نفس المشاكل التي يواجهها عمال المسابك. فالطرق العادية لا تؤكد ما إذا كان اللحام قد حصل بشكل جيد أم أنه غير متجانس في كل أجزائه. وأما بواسطة الأشعة السينية فيمكن رؤية كل أنواع الشوائب الممكن وجودها في اللحام. وأنواع الشوائب هذه تشبه، إلى حد بعيد، تلك التي يمكن إيجادها في السبائك .

ويصار إلى مثل هذه المراقبة في مركبات القطارات التي تتعرض لاهتزازات كثيرة، أو لقوى شديدة كما في صناعة الجسور والسدود المائية .

3.2.9 ـ مراقبة قطع السيارات والطائرات

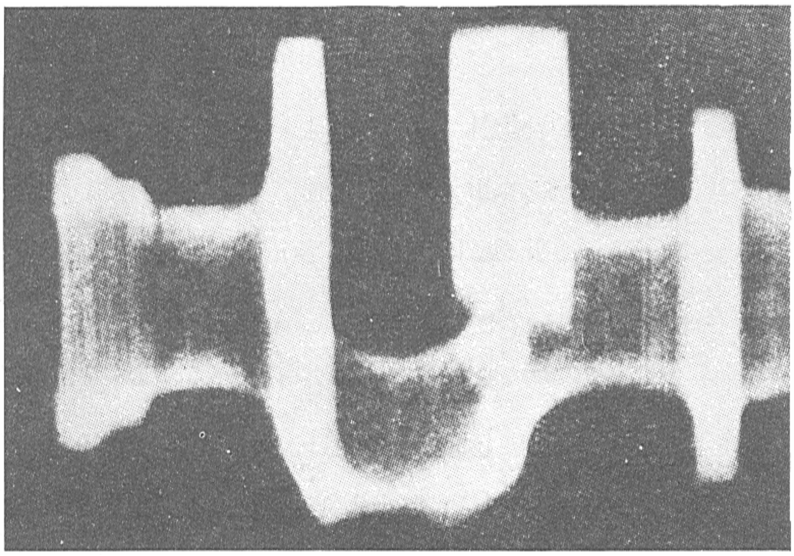
يجب التأكد عند السماح للسيارة أو الطائرة بالانطلاق بسرعة هائلة من أن كل قطعة فيهما تخلو من أي شائبة كما يجب التأكد بصورة خاصة من سلامة المحرك بجميع أجزائه. والطريقة الفضلى لمراقبة قطع المركبات هي التصوير

بالأشعة السينية، فبهذه الطريقة يمكن التأكد من خلو القطع من التفسخات الداخلية أو الخارجية .

وفي الطائرة لا يجوز الاكتفاء بمراقبة المحرك بل يجب مراقبة كل قطعة فيها ابتداء من اسطوانات المحرك حتى الأجنحة وكل جسم الطائرة. ومن أجل تقصي وجود شوائب صغيرة في بعض القطع الهامة بالطائرة يصار إلى استعمال الأشعة أحادية طول الموجة التي توفر، كما قلنا سابقاً، وضوحاً أكثر في الصور .

وفي الصورة رقم 9 ـ 9 نرى صورة بالأشعة السينية لقطعة من قطع السيارة اسمها المدور. وتشير هذه الصورة إلى وجود شوائب هامة (المنطقة المعتمة من الصورة) لم تكن رؤيتها ممكنة من الخارج وبالعين المجردة .

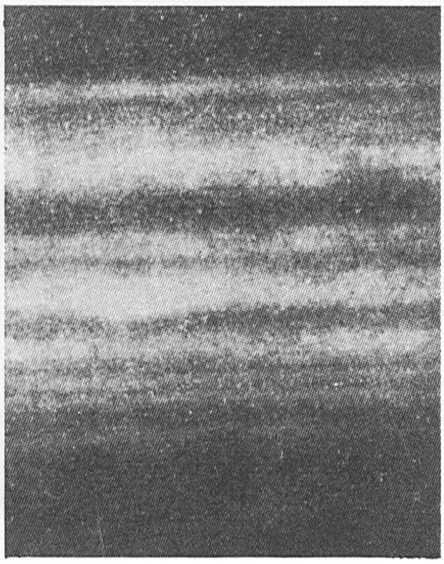
وفي خلو السيارة أو الطائرة من الشوائب ضمان لحياة الإنسان. فإذا كانت هذه الحياة تعتمد على حسن مراقبة القطع المعدنية المؤلفة لهذه الآلات كان من الإجرام عدم استعمال الأشعة السينية في مراقبة كل قطعة قبل تركيبها في السيارة وخاصة في الطائرة .



صورة رقم 9 ـ 9
صورة بالأشعة لمدور السيارة

4.2.9 ـ مراقبة المعادن المصفحة والمشدودة

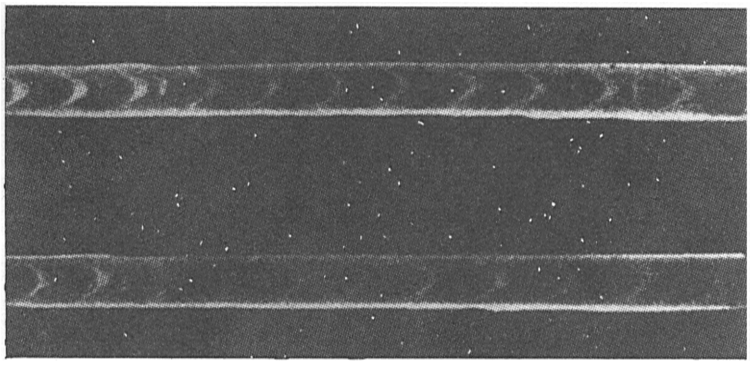
يلجأ كثير من الصناعيين لاستعمال صفائح معدنية أي سبائك رقيقة. ويتم الحصول على هذه الصفائح بطرق مختلفة تدخل بعض الشوائب والتفسخات في تركيبها هذا إذا لم يكن في السبيكة نفسها أوساخ وشوائب معدنية قبل تصفيحها. وفي الصورة رقم (9 ـ 10) نرى أوساخاً معدنية وشوائب لم تكن مرئية بالعين المجردة .



صورة رقم 9 ـ 10
شوائب في سبيكة رقيقة

وقد دلت التجارب الميكانيكية التي أجريت فيما بعد على هذه الصفيحة أنها سريعة العطب في الأماكن التي أشارت الأشعة السينية إلى وجود شوائب فيها .

وأما في الصورة رقم (9 ـ 11) فنرى آثار الشد الطولي لقضيبين من الألومنيوم. ونتيجة التشخيص بالأشعة السينية تقضي، في هذه الحالة، بعدم استعمال هذه القطع بينما لا يستطيع أي فحص بالعين المجردة أو بواسطة المجهر أن يرى ما فعل الشد الطولي بالتركيب الداخلي لقضيبي الألومنيوم مما لا يستبعد إمكان استعمالها دون أي توجس من الأخطار التي قد يسببها هذا الاستعمال .



صورة رقم 9 ـ 11

صورة لقضيبين مشدودين

3.9 ـ تطبيقات أخرى لتصوير المعادن بالأشعة السينية

من بين التطبيقات العديدة لتصوير المعادن بالأشعة السينية يمكن أن نورد ما يلي :

- ـ مراقبة الأسلاك المعدنية
- ـ مراقبة المعادن المغلفة بمواد بلاستيكية بحثاً عن أي تفسخ فيها
- ـ تصوير الأنابيب والأنابيب الشعيرية من أجل التيقن من عدم وجود أوساخ أو ترسبات تغلّفها كلياً أو جزئياً
- ـ تصوير بعض الآلات المعقدة من أجل معرفة ما إذا كانت كل القطع في مكانها المناسب
- ـ فحص اسطوانة البندقية أو المدفع بحثاً عن أي شائبة
- ـ دراسة المعادن في الأفران من أجل تحديد سليم لدرجة ذوبانها
- ـ فحص العوازل الكهربائية بحثاً عن حبيبات معدنية قد تكون موجودة فيها مما يضعف قدرتها على العزل
- ـ مراقبة الذخائر الحربية والقنابل لمعرفة درجة امتلائها بالمواد المتفجرة
- ـ مراقبة حقائب المسافرين بحثاً عن أسلحة أو قنابل .

وتجدر الإشارة إلى إمكان استعمال التصوير المجهري بالأشعة السينية من أجل الحصول على صور أوضح لبعض دقائق الجسم المراد فحصه .

والتصوير بالأشعة السينية لا ينحصر مطلقاً بتصوير المعادن ومركباتها بل يتعداها لتصوير كل المواد. فالتصوير يعتمد على مبدأ امتصاص المادة لهذه الأشعة. فأي تغير في تجانس المادة أو أي ابتعاد عن تركيبه العام يؤدي إلى تغير في امتصاص الأشعة مما يغير سواد الظل على اللوحة الحساسة .

ويمكن بهذه الطريقة مراقبة الأخشاب للتأكد من خلوها من المسامير وبحثاً عن أي تفسخ أو تسوس في داخلها قد يضعف صلابتها. كما يمكن فحص المركبات المطاطية لمعرفة درجة تجانسها وعدم احتوائها على قطع معدنية .

الفصل العاشر
تطبيقات أخرى

رأينا في الفصول السابقة كيف استطاعت الأشعة السينية أن تؤدي كثيراً من الخدمات في كثير من ميادين النشاط الإنساني : دخلت مختبرات الفيزيائيين والكيميائيين والبيولوجيين وعيادات الأطباء وأطباء الأسنان والمصانع الثقيلة. وكلما تقدمت التقنية وتطورت زادت حاجة الباحثين إليها. ولكن هذا لا يعني أن أوجه استعمال الأشعة السينية تنحصر في الميادين التي ذكرناها سابقاً بل تتعداها إلى ميادين أخرى قد يصعب حصرها .

ولن نتكلم في هذا الفصل على كل الأوجه المتبقية لاستعمال الأشعة السينية بل سنقدم بعض الأمثلة حول ما يمكن أن تؤدي من خدمات في مجالات الزراعة والجيولوجيا وفن الرسم .

1.10 ـ الأشعة السينية والزراعة

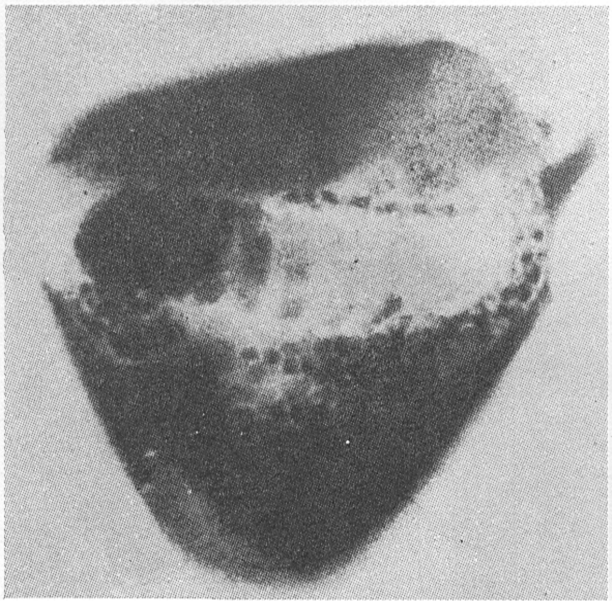
عند تطرقنا لدراسـة تأثيـرات الأشعة السينية على الخلايا الحية رأينا كيف يمكن لهذه الأشعة أن تغير بعض خصائص النباتات والمزروعات. ولم يكن ذلك مفاجأة لدارسي علم النبات إذ يعرف الجميع مقدار أهمية الأشعة فوق البنفسجية بالنسبة لحياة النباتات ونموها. وتلتقي الأشعة السينية مع غيرها من الإشعاعات النووية وأشعة الليزر في التأثير على نمو النباتات وتغيير بعض خصائصها .

وبالرغم من أن الأبحاث في هذا المجال متوالية فإنها مازالت في كثير من الحالات مجتزأة وتفتقد إلى رؤية شاملة للموضوع. والنتائج التي تم الوصول إليها مشجعة جداً. وقد أوردنا سابقاً كيف ساهمت الأشعة السينية في إيجاد نوع من الفطر يعطي كمية أكبر من البنسلين، وكيف تم الحصول على بعض الزهور التي لا تذبل بنفس سرعة ذبول الأزهار الطبيعية .

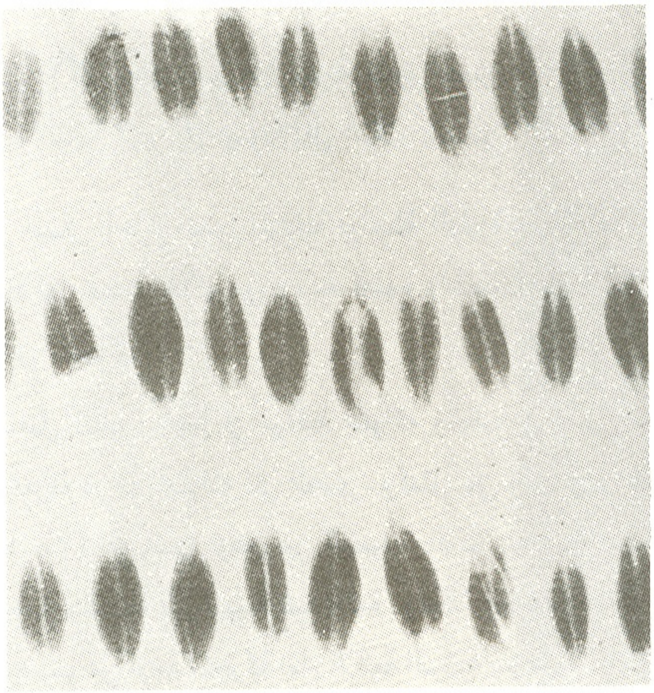
إضافة إلى هذا المجال في استعمال الأشعة السينية، أمكن استعمالها في الزراعة في مجالات أخرى كالتيقن من جودة المحاصيل الزراعية ومراقبتها، ومحاربة الحشرات الضارة كالذباب والبعوض .

1.1.10 ـ مراقبة المحاصيل الزراعية

تلجأ الدول والأفراد لتخزين الحبوب تحسباً لأي طارئ. وكثيراً ما تكون هذه الحبوب عرضة للتسوس ولبعض الحشرات والديدان. وللتأكد من سلامة القمح مثلاً قبل إرساله إلى المطاحن يعمد المسؤولون لتصوير مئات الحبوب بالأشعة السينية وتكبيرها بحثاً عن أي إصابة. ويذكر أن مصنعاً للبيرة في الولايات المتحدة الأميركية قد غرم من قبل السلطات المختصة لاستعماله حبوباً مصابة بالتسوس كشفتها الأشعة السينية. وفي الصورة رقم (10 ـ 1) نرى صورة مكبرة لحبة من القمح بداخلها دودة. وأما في الصورة رقم (10 ـ 2) فنجد حبوباً من الشعير أصيب بعضها بالآفة نفسها. وهاتان الصورتان أخذتا بطريقة شبه مجهرية.



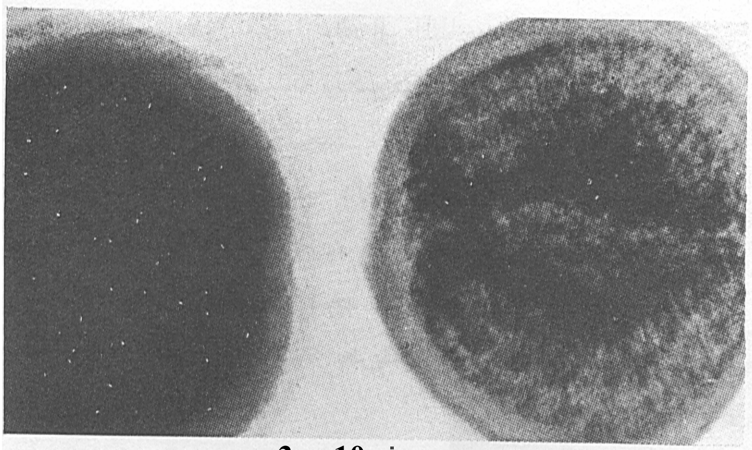
صورة رقم 10 ـ 1
حبة قمح وبداخلها دودة



صورة رقم 10 ـ 2
حبوب شعير يحتوي بعضها على ديدان

ومن الممكن إجراء نفس المراقبة بواسطة الفلورة. وهذا ما يسمح بمراقبة آلاف الحبوب خلال فترة زمنية قصيرة والحصول على نتائج أكثر شمولية من التصوير .

وتستعمل الفلورة أيضاً في مراقبة الفواكه وخاصة في تقصي نوعية الليمون لمعرفة درجة احتوائه على العصير. وكمثل على ذلك نورد الصورة رقم (10 ـ 3) التي تبين نوعين من الليمون : الأكثر سواداً تمثل ليمونة كثيرة العصير والثانية تمثل ليمونة شبه ناشفة. وهكذا بمجرد مرور الليمون المعد للتوضيب على لوحة متحركة أمام الأشعة السينية يستطيع المراقب أن يختار الليمون الذي تنطبق عليه المواصفات المطلوبة واستعمال المتبقي منه في مجال آخر .



صورة رقم 10 ـ 3

مراقبة الليمون بواسطة الأشعة السينية :

ـ الصورة الأكثر سواداً تشير إلى ليمونة كثيرة العصير

ـ الصورة الثانية تشير إلى ليمونة أقل امتلاء بالعصير .

2.1.10 ـ مكافحة الحشرات والذباب

تتعرض المزروعات من خضار وفواكه وأشجار للكثير من الآفات والحشرات مما يحتم على المزارع اللجوء إلى أساليب شتى من أجل مكافحة هذه الحشرات. والإهمال يؤدي حتماً إلى قلة المحصول الزراعي وإتلافه .

وتزايد السكان المطرد يضع العالم أمام مسؤوليات ضخمة أبسطها تأمين الغذاء لجميع السكان. ويمكن الوصول إلى هذه النتيجة بزيادة المساحة المزروعة وتحسين أنواع المزروعات ومحاربة الأمراض والآفات التي تفتك بالمزروعات. وتدل الإحصاءات التي أجراها بعض العلماء على أن ما يعادل خمس المحصول الزراعي يتلف قبل جنيه وفي المخزن .

ولن نتطرق هنا إلاّ لموضوع مكافحة الحشرات. وهذه المكافحة تتم بوسائل شتى نذكر منها :

ـ المكافحة بالمبيدات الزراعية مع ما يرافق ذلك من تلوث في البيئة وتولد للمقاومة عند الحشرات ضد المبيدات والقضاء على الأعداء الطبيعيين للحشرة .

- المكافحة بالأعداء الحيوية أي باستخدام الطفيليات والمفترسات والمسببات المرضية للحد من الكثافة السكانية للآفة .
- المكافحة بالطرق الزراعية أي باستعمال المحاصيل المقاومة للحشرة .
- المكافحة ببعض الطرق الحديثة أي باستعمال الإشعاعات في تعقيم الحشرات وسنحصر عرضنا في هذه الطرق فقط .

أثبت رنر (Runner) في العام 1916 قدرة الأشعة السينية على تعقيم خنفساء السجاير وفي العام 1927 لاحظ عالم آخر هو مولر (Muller) أن أنثى ذبابة الخل (Drosophila) تبيض بيضاً غير مخصب إذا تزاوجت مع ذكر من نفس النوع تعرض للأشعة السينية .

بعد هذه الملاحظات، التي تكررت على يد علماء آخرين، بدأ التفكير باستعمال الأشعة في مكافحة الحشرات. والفكرة تقضي بتعقيم أعداد كبيرة من ذكور الحشرة المراد مكافحتها ثم إطلاقها في المنطقة التي تتكاثر فيها الحشرة. وبعد تزاوج هذه الذكور مع الإناث تقل أعداد الحشرات المولودة .

وقد استعملت هذه الطريقة لأول مرة عام 1955 في محاربة ذباب الماشية (Cochliomyia hominivorax) المنتشرة في جزيرة كاراكاو. والأشعة المستعملة كانت أشعة غاما الصادرة من الكوبلت 60 (^{60}Co : Cobalt 60). وقد تم إطلاق 70 ألف ذكر عقيم من هذه الذبابة أسبوعياً وذلك خلال ستة شهور. وكانت المكافحة ناجحة إذ تم القضاء على الذبابة وإبادتها .

وبعد ذلك استعملت هذه الطريقة في مكافحة نفس الحشرة في فلوريدا وفي مكافحة أنواع أخرى من ذباب الثمار نذكر منها :

- ذبابة الفواكه الشرقية (Dacus dorsalis)
- ذبابة الفواكه المكسيكية (Anestrepha ludens)
- ذبابة البحر المتوسط (Ceratilus capitata) .

وبالرغم من سهولة النظرية التي تقضي بتعريض الذكور للأشعة فإن مشاكل كثيرة واجهت العاملين في هذا الحقل. واختيار جرعة الأشعة المناسبة هو الذي يؤدي إلى النتيجة المرجوة. فليس الهدف الحصول على ذكر عقيم فقط بل

على ذكر عقيم وقادر على مزاحمة بقية الذكور الطبيعيين على التزاوج مع الإناث. والذكر العقيم الخامل جنسياً لا يعطي أي نتيجة في محاربة الحشرة التي ينتمي إليها .

ومن أجل المحافظة على حسن صحة الذكر العقيم وقدرته على التزاوج يلجأ الباحثون إلى إعطاء الجرعة على دفعات. وقد أثبتت هذه الطريقة فاعليتها في محاربة ذبابة البحر المتوسط. وتجدر الإشارة إلى أن الأشعة تسلط في بعض الحالات على الحشرة في أيامها الأولى أو قبل ولادتها بيومين أو ثلاثة أيام .

وهناك بعض الشروط الأساسية لإنجاح هذه الطريقة نذكر منها :

- إيجاد طريقة اقتصادية لإنتاج أعداد هائلة من ذكور الآفة حتى يبقى مردود المكافحة بهذه الطريقة مرتفعاً .
- عدم إحداث مضاعفات فيزيولوجية في ذكر الحشرة تؤثر في سلوكه كأن يعزف عن التزاوج مع الإناث أو يقصر عمره فيموت قبل أن يقوم بمهمته التي تقضي بإبعاد الذكور الطبيعيين عن الإناث قدر المستطاع .
- حسن اختيار الجرعة حتى لا يحدث عند الذكر عقم مؤقت يزول بعد مرور أيام معدودات .

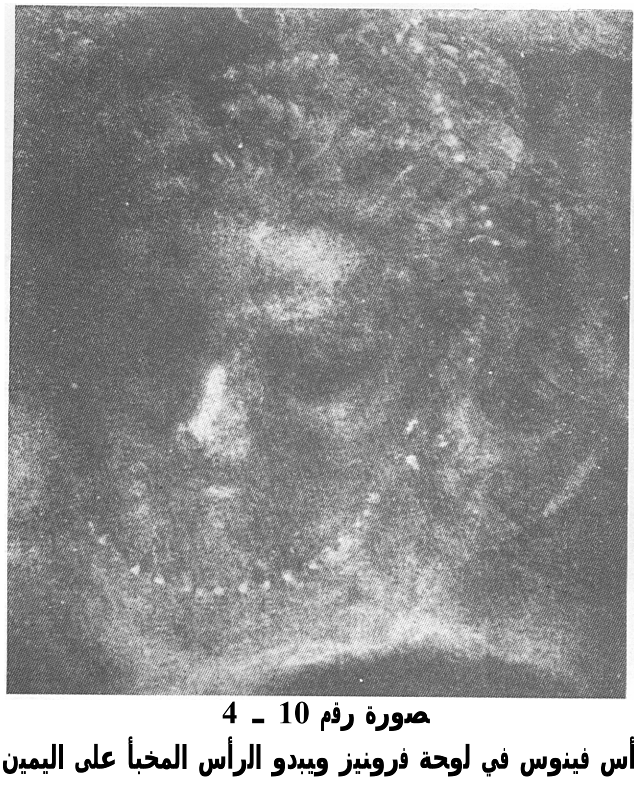
وعند التمكن من تأمين هذه الشروط يصبح في يد الإنسانية وسيلة ناجحة، قليلة الثمن ونظيفة تقضي على الحشرات دون إحداث أي ضرر بالبيئة أو بالحشرات والطيور المفيدة .

2.10 ـ تصوير التحف الفنية واللوحات القديمة

كان من أكثر الاستعمالات إثارة استعمال الأشعة السينية في ميدان النقد الفني الهادف للتعرف على أساليب الفنيين وبالتالي التمييز بين اللوحات الحقيقية واللوحات المزيفة. ومن التطبيقات المعروفة للأشعة السينية حالياً تصوير اللوحات القديمة والتحف الفنية. ويذكر أن دعاوى كثيرة وصلت للقضاء حلت باستعمال الأشعة السينية إذ من المعروف أن الألوان المستعملة في اللوحات القديمة تحتوي على كثير من المركبات المعدنية التي تمتص الأشعة السينية. وأما الألوان

المستعملة في اللوحات الحديثة فهي مركبات عضوية تمتص الأشعة السينية بكميات أقل من تلك التي تمتصها المواد المعدنية .

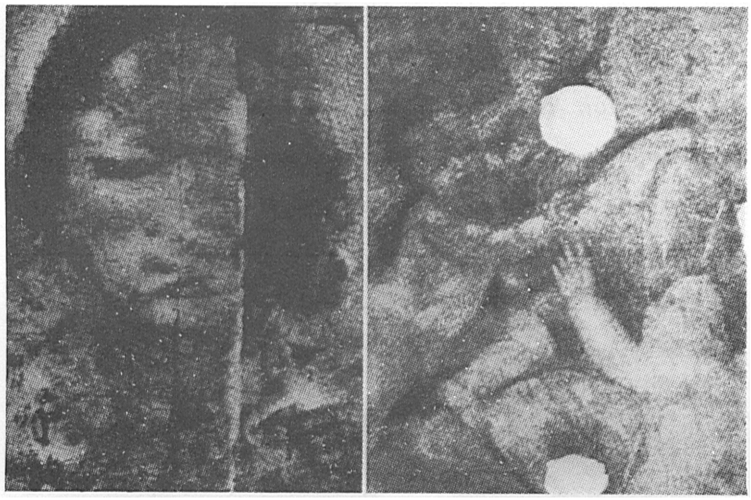
ويوجد حالياً في أكثر المتاحف العالمية أجهزة أشعة سينية متخصصة بتصوير اللوحات ودراستها. ومنذ العام 1927 بدأ الباحثون باستعمال هذه الطريقة العلمية في عمليات الدراسات الفنية للوحات القديمة إذ نشر بوروغس (Burroughs) مقالاً عن إحدى لوحات فرونيز (Veronèse) المعروفة والمسماة "المريخ وفينوس" (Mars et Venus). والدراسة تركزت على جزء من اللوحة وبالذات حول رأس فينوس إذ دلت صورة الأشعة السينية (Radiographie) على وجود رأس ثان غير ظاهر في اللوحة يقع على يمين رأس فينوس (أنظر الصورة رقم 10 ـ 4). ومن المعتقد أن فرونيز نفسه قد غطى هذا الرأس بالألوان لأسباب مجهولة .



صورة رقم 10 ـ 4

رأس فينوس في لوحة فرونيز ويبدو الرأس المخبأ على اليمين

وأما في الصورة رقم (10 ـ 5) فنجد صورتين بالأشعة للوحتين مشهورتين موقعتين باسم رافاييل (Raphaêl) : لوحة (La Madone de la Tour) ولوحة (La Madone Carvach) وقد دلت الدراسات بواسطة الأشعة السينية (صورة رقم 10 ـ 5) على أنه من الممكن أن تكون الألوان المستعملة في اللوحة الأولى (صورتها إلى اليسار) قد مزجها رافاييل نفسه ولكن من المؤكد تقريباً أن رسمها قد تم على يد تلامذته. وأما الصورة الثانية (إلى اليمين) فقد حققها رافاييل كاملة. وهذا ما أكد ظن خبراء متحف (National Art Gallery) في لندن الذين اعتقدوا بأن اللوحة الأولى، بالرغم من جمالها، لا يمكن أن تكون، من الناحية التقنية الفنية، من صنع رافاييل .



صورة رقم 10 ـ 5

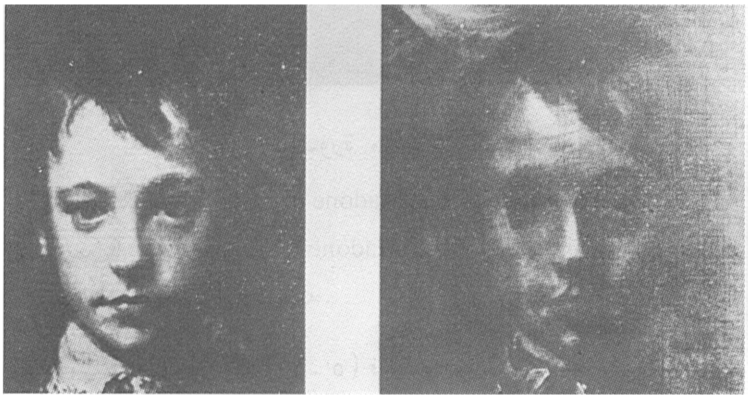
إلى اليسار : لوحة (La madone de la Tour) التي رسمها تلامذة رافاييل .

إلى اليمين : لوحة (La Madone Carvach) التي رسمها رافاييل نفسه .

والإثنتان تحملان توقيعه .

ولقد تم تصوير اللوحة الأكثر شعبية في الولايات المتحدة وهي لوحة الولد الأزرق (L'enfant bleu)التي رسمها الفنان غنسبوروغ (Gainsborough) والموجودة في متحف (Huntington Art Museum) في كاليفورنيا. ولقد دلت

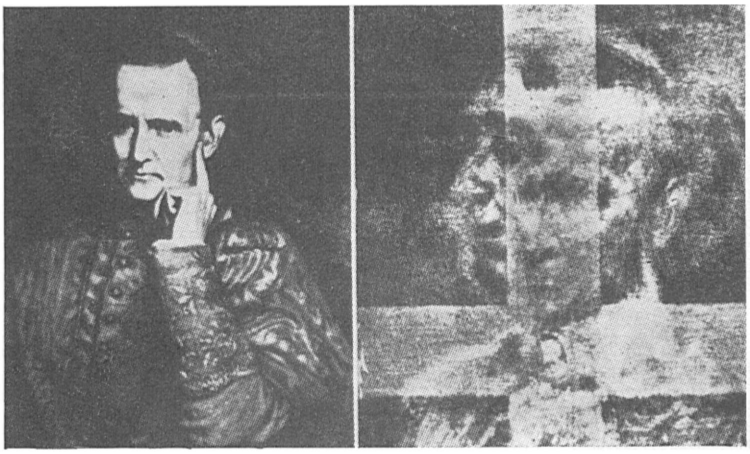
الصورة بالأشعة السينية على تفاصيل مذهلة (أنظر الصورة رقم 10 ـ 6). إذ تبين أن الفنان رسم لوحته المشهورة هذه فوق لوحة قديمة بعد أن غطاها بالألوان. وتظهر الأشعة السينية بعض أجزاء اللوحة القديمة (أعلى الجهة اليسرى) وهي عبارة عن ربطة عنق بيضاء كانت حول عنق رجل عجوز .



صورة رقم 10 ـ 6
لوحة الولد الأزرق لغنسبوروغ
إلى اليسار : صورة عادية
إلى اليمين : صورة بالأشعة السينية

ولقد أظهر التصوير بالأشعة السينية أن الكثير من لوحات رامبرانت (Rambrandt) وغيره من الفنانين قد رسمت فوق لوحات قديمة. والصورة رقم 10 ـ 7 تبين لوحة رسمها هيلي (Healy) لأول كاردينال أميركي (Mc Closky). والتصوير بالأشعة السينية أظهر رأساً وميدالية مثبتة على عنقه لا يظهران على اللوحة أو على صورة عادية لهذه اللوحة (الصورة الموجودة على اليسار) .

وتستعمل الأشعة السينية في كثير من دراسات الناقدين الفنيين. وقد قامت مؤخراً الباحثة الفرنسية مادلين هورس بدراسة على لوحات الأخوة لونان (Lenain) الذين عاشوا في القرن السابع عشر في فرنسا وكانوا من أكبر الفنانين الواقعيين. وقد أقيم لهم معرض في باريس استمر من شهر تشرين الأول (أكتوبر) 1978 حتى شهر كانون الثاني (يناير) 1979 .



صورة رقم 10 ـ 7
لوحة الكاردينال ماكلوسكي التي رسمها هيلي
إلى اليسار : صورة عادية
إلى اليمين : صورة بالأشعة السينية

وقد أجرت مادلين هورس دراستها بواسطة التصوير والتصوير شبه المجهري بالأشعة السينية حيث لمست وجود ثلاث تقنيات مختلفة في الرسم مما يعني اشتراك الأخوة لونان الثلاثة (أنطوان ولويس وماتيو) في تحقيق اللوحة .

وقد تساءل المهتمون بفن لونان عن إمكان معرفة دور كل واحد من الثلاثة في عملية إنجاز اللوحة ؟

الحقيقة الأولى التي قدمتها الأشعة السينية هي أن الأخوة لونان كانوا يستعملون نفس طريقة مزج الألوان وتحضيرها، أو أن أحدهم كان يحضر الألوان للجميع. وأما بالنسبة لتحديد دور كل واحد منهم في عملية الرسم فقد تم تأليف فريق كبير يضم فيزيائيين وكيميائيين ومؤرخين وفنانين، مهمته القيام بدراسة وافية لكل أعمال الأخوة لونان. وقد ظهرت نتائج الدراسات التي تمت، بواسطة الأشعة السينية، على اللوحات الموجودة في فرنسا .

ويقول التقرير الفرنسي أن انطوان (وهو وسطهم) كان يرسم الأشخاص بشكل متسرع وغير متقن ولويس (وهو أكبرهم) كان الذي يضع في اللوحة نفحة

شاعرية إذ أنه كان يرسم المناظر الطبيعية. وأصغرهم ماتيو كان يضع اللمسات الأخيرة على مجمل اللوحة مضيفاً إليها نفحة بورجوازية أنيقة .

وبعد وفاة الأخوين انطوان ولويس في العام 1648 بقي ماتيو وحيداً حتى وفاته عام 1677. وقد استمر ماتيو بالرسم مع أنه لم يعلن ذلك. فقد وجد في منزله بعد وفاته حوالي مئتا لوحة موقعة باسم لونان أي بنفس التوقيع الذي كان يستعمله الأخوة الثلاثة. ولكن التصوير بالأشعة السينية أظهر أنه كان قد كتب اسمه الأول على اللوحات التي أنجزها بعد وفاة شقيقيه. ولكن يبدو أنه غير رأيه فيما بعد فغطى اسمه بالألوان ثم وقّع فوقها باسم لونان. ولم يكن بالإمكان، دون التصوير بالأشعة السينية، التوصل إلى هذه النتيجة المهمة إذ أنه باكتشاف إسم ماتيو تحت الألوان، ساعد ذلك في عملية التمييز بين اللوحات التي رسمها الأخوة الثلاثة وتلك التي رسمها ماتيو منفرداً .

ولن نسترسل في إعطاء المزيد عن الحالات التي استعملت فيها الأشعة السينية في ميدان الدراسات النقدية لبعض اللوحات الفنية، وفي الأمثلة التي ذكرنا خير دليل على إمكانية التوسع في استعمال هذه الأشعة، هذه العين المتناهية الصغر، في عملية فحص دقيق لمجمل التراث الفني الإنساني. فمن مثل هذه الدراسة يمكن استخلاص معلومات مهمة عن طريقة عمل كل فنان وعن تطور تقنية الرسم عبر السنين .

3.10 ـ الأشعة السينية وعلم الجيولوجيا

لجأ الجيولوجيون في العشرين سنة الأخيرة إلى استعمال تقنيات جديدة تساعدهم على حل المشاكل العديدة التي تواجه أبحاثهم. وقد صدر خلال هذه الحقبة عدة كتب تتكلم على الطرق التحليلية الجديدة الممكن استعمالها في ميدان الجيولوجيا والجيوكيمياء .

والحصول على المعلومات الكيميائية، كماً ونوعاً، المتعلقة بالمواد العديدة التي يدرسها الجيولوجيون أفضل طريقة لدراسة الترسبات والعوامل الجيولوجية وتركيب الصخور ... إلى ما هنالك من مواضيع. وكان من البديهي اللجوء إلى الأشعة السينية واستعمال خصائصها العديدة والتقنيات المرتبطة بها من أجل

الحصول على هذه المعلومات الكيميائية. وذلك لأن الأشعة السينية، كما قلنا سابقاً، لا تؤثر في الصخور بل تحافظ على تركيبها الكيميائي والبلوري .

وإلى جانب معرفة التركيب الكيميائي يحاول الباحثون معرفة درجة تجانس المادة التي يدرسون وإمكان قسمتها، في حال عدم تجانسها، إلى مناطق متجانسة. وقد زادت تقنية التحليل المجهري للمواد إمكانية الحصول على مثل هذه المعلومات.

والطرق المستعملة في الجيولوجيا تتحدد بالنسبة للهدف المراد الوصول إليه وهي تتراوح بين تجارب الحيود وبين الفلورة وتحليل طيف الأشعة السينية المنبعث من المادة المراد تحليلها. وتتم دراسة النتائج بنفس الأساليب التي شرحناها في الفصول السابقة، وبشكل خاص عند تطرقنا لدور الأشعة السينية في الكيمياء .

وتجدر الإشارة إلى السهولة التي يصادفها الباحثون في التحليل النوعي نظراً لبساطة الأجهزة المستعملة : يتم وضع العينة في كبسولة خاصة ثم يسلط عليها حزمة من الأشعة السينية. فإذا كانت المادة بلورية أو إذا كان العنصر الموجود فيها بلورياً تمت الدراسة بواسطة الحيود. وإن كانت المادة غير بلورية أصبح من الضروري أن يصار لتحليل حزمة الأشعة السينية المنبعثة من المادة بعد امتصاصها لجزء من الأشعة السينية المسلّطة عليها .

وليس من الممكن في الحالين معرفة وجود عنصر معين في المادة إلاّ إذا كان موجوداً بكميات أكبر من حد أدنى معين. وهذا الحد الأدنى يتغير بتغير حساسية أجهزة القياس المستعملة من ناحية وتغير معامل الامتصاص الذري من عنصر إلى عنصر آخر .

وقد استعملت الأشعة السينية في كثير من الأبحاث الجيولوجية كالبحث عن الأورانيوم وعن المعادن الأخرى. ودرست عينات من الطين المصري الأسود في مناطق كثيرة من أجل معرفة خصائصها المعدنية، الكيميائية والفيزيائية والبتروغرافية. وقد وجد أن حبيبات هذا الطين تتراوح بين الطمي الدقيق والطفل. وأظهرت تجارب حيود الأشعة السينية، إضافة إلى التحليل الحراري التفاضلي، أن هذا الطين يحتوي، وبنسب متفاوتة، على المركبات التالية : الكاولينيت

(Kaolinite) والإيليت (Illite) والمرو والأنيهيدريت (Anhydrite) والكربونات .

وفي وسع باحثي الجيولوجيا بشكل عام أن يستعملوا كل طرق التحليل الكيميائي، بما فيها طرق الأشعة السينية، من أجل تحديد كل العناصر الموجودة في مادة أولية معينة. والفارق بين الكيميائيين والجيولوجيين يعود إلى كيفية تحضير العينات الضرورية للدراسة .

خاتمة

منذ اليوم الأول لاكتشاف الأشعة السينية والإنسان يحاول الاستفادة منها في شتى مجالات عمله. استعملها في الصناعة والطب والهندسة والصيدلة والفيزياء والكيمياء والزراعة والفن. ولكن الخدمات التي أدتها هذه الأشعة في ميدان الطب تبقى الأهم والأجدى لأنها ساهمت مساهمة فعالة في تشخيص بعض الأمراض وفي معالجة بعضها الآخر .

وأمام كل اكتشاف علمي جديد يحاول الباحثون الاستفادة التامة من كل ما تجلّى لهم من خصائص هذا الاكتشاف. فكلنا يذكر أنه بعد أقل من خمسين سنة على اكتشاف النظائر المشعة تم تفجير القنابل الذرية في اليابان التي سببت للإنسان المسالم كثيراً من الآلام حتى يومنا هذا .

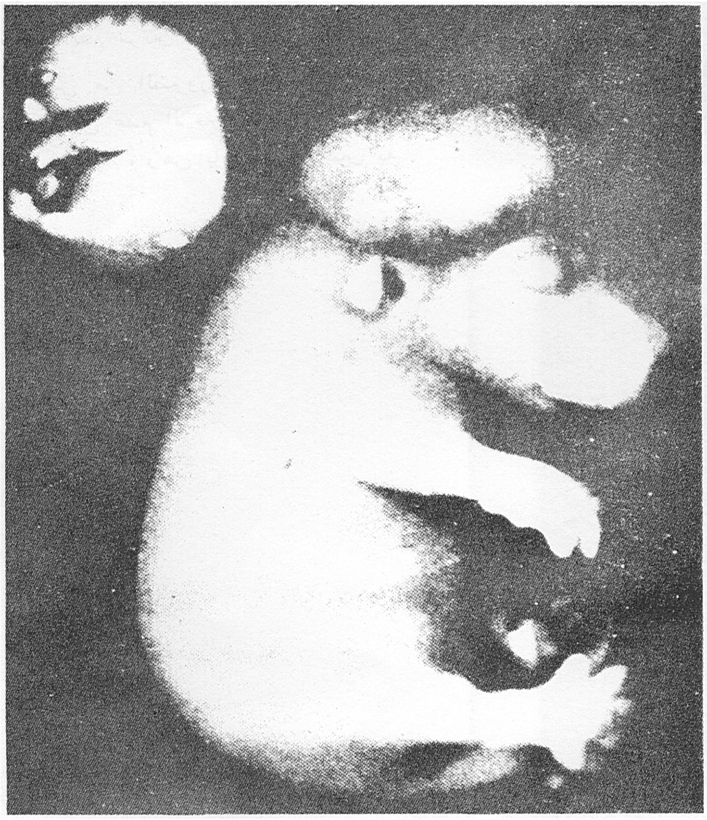
وبعد اكتشاف الأشعة السينية وقدرتها على اختراق بعض الأجسام الصلبة بدأ الأطباء باستعمالها حتى أصبحت في يومنا هذا ضرورة أولية لكل مستشفى. وكثيرون هم الأطباء الذين يشخصون بعض الأمراض بواسطة التصوير أو بواسطة لوحة مفلورة دون إعارة الانتباه إلى ما يمكن أن تسببه الأشعة السينية في الخلايا الحية .

وقد بدأ كثر من المهتمين بهذا الموضوع اليوم بالاعتقاد بأن القليل من الأشعة السينية إذا ما استعملت اعتباطياً، قد يؤدي إلى مضاعفات خطيرة. فالأشعة السينية خطرة بالنسبة للجزء المعرض لها من جسم الإنسان ولكنها أخطر بكثير على الجلد وعلى النخاع الشوكي وعلى الغدد الجنسية. وليس من الضرورة أن تسلط الأشعة على الغدد الجنسية لتشكيل الخطر عليها إذ أن كل صورة بالأشعة تؤخذ لأي عضو في الجسم تؤثر بشكل غير مباشر على الغدد الجنسية، أي على الغدد التي تصنع الخلايا الجنسية المسؤولة عن عملية التوالد عند الإنسان .

والخطر يتضاعف مرات كثيرة عند استعمال اللوحة المفلورة أي الراديوسكوبي. فالحصول على صورة بالأشعة السينية يستغرق ثلاثة أجزاء من مئة من الثانية. أما التشخيص بواسطة اللوحة المفلورة فيحتاج تقريباً إلى ثلاثين

ثانية أي ألف مرة أكثر من الصورة. وهذا ما يدفع بعض الأطباء للدعوة إلى إلغاء هذه الوسيلة في التشخيص الطبي لأنها قد تؤدي إلى مآس خاصة ولأن أثر التعرض للأشعة السينية قد لا يظهر إلاّ في أولاد المريض أو أحفاده. فإن استمر الأطباء في تسليط الأشعة السينية على الآباء ومن ثم على الأولاد وعلى أولاد الأولاد فستحدث على مر الأجيال بعض التغيرات في أشكال وأطباع بعض الأولاد. وهذا ما يجب تلافيه .

ويكفي النظر إلى الصورة (خ ـ 1) لرؤية التغيرات التي طرأت على شكل حفيد فأر تعرض لجرعة من الأشعة السينية ولم تسبب له العقم .



صورة خ ـ 1

جنين حفيد فأر تعرض للأشعة السينية وفي أعلى اليسار جنين طبيعي

ومن ناحية ثانية يعمد بعض الجراحين إلى استعمال لوحة مفلورة من أجل وضع عضو معين من جسم الإنسان في مكانه بدقة. هذه الطريقة في العمل ستؤثر مع مرور الوقت على الطبيب الجراح نفسه، وقبل كل شيء على المريض، فتحدث له بعض الالتهابات الجلدية أو الداخلية .

إن الإشارة الصريحة إلى هذا الخطر المحدق بالإنسان من جراء الإسراف باستعمال الأشعة السينية في تشخيص الأمراض تبغي قبل كل شيء الدعوة إلى الاستغناء عن الراديوسكوبي وعن التصوير بالأشعة السينية إلاّ في حالات الضرورة .

ومن الطبيعي القول بأن العاملين في حقل الأشعة السينية، سواء في الصناعة أو في الفيزياء والكيمياء، هم عرضة لهذا الخطر، مما يحتم أخذ الاحتياطات اللازمة أثناء العمل والقيام بمراقبة صحية دائمة لهم كالقيام بتحليل الدم مرتين في السنة مثلاً .

وليس من الضرورة أن يكون هذا الخطر حافزاً لبعض الباحثين الشباب على عدم الاقتراب من كل ما له علاقة بالأشعة السينية. فتقدم العلم، أي علم، رهن باندفاع المهتمين به .

المراجع

1 – Les Applications des rayons X
JJ. TRILLAT
Les presses Universitaires de France Paris (1930)
2 – X Ray Emission spectrography in Geology
I. ADLER
Elsevier Publishing Company – (1966)
3 – Les rayons X et leurs applications
G. L. CLARK
Traduit Par
M. JORAND
Dunod – Paris – (1961)
4 – Théorie et Technique de la radiocristallographie
A. GUINIER
Dunod – Paris – (1956)
5 – Les rayons X et leurs applications
H. BRASSEUR
Desoer – Liège – (1945)
6 – Understanding Light
B. TANNENBAUM and M. STILMAN
Fawcett Publications – New York (1968)
7 – Introduction à la cristallographie et à la chimie structurale
M. VAN MEERSSCHE
et J. FENEAU – DUPONT
Vander – Louvain (Belgique) 1973
8 – The Structure of matter
M. KARAPETYANTS and S. DRAKIN
Mir publishers – MOSCOW 1974

9 – La physique du metal
P. PEGUIN
Presse Universitaire de France (Que Sais Je ?) 1970
10 – Les rayons X
LOUIS ROUGEOT
Presse Universitaire de France (Que Sais Je ? N° 79) 1974
C. LEGRAND
11 – La radiocristallographie
C. LEGRAND
Presse Universitaire de France (Que Sais Je ? N° 1243) 1967
12 – Fundamental principles of Alveolo – Dental radiology
J. A. POLLIA
Dental Items of Interest Pub. Co.
Brooklyn, New York
13 – The crystalline state. (Vol. I)
L. BRAGG
G. Bell and Sons Ltd 1962
14 – The Use of isotopes in pesticides and Pest Control
Proc. of a symposium – Beirut – March 1974
15 – Arab Dev. Journal for Sc. And Tech.
Vol. I march 1978
16 – Al Mustansiriyah Journal of Sc.
Vol I. Dec. 1976
Baghdad – Iraq.

معجم

Excitation	إثارة
Monochromatic	أحادي طول الموجة
	أحادي اللون
X rays	أشعة سينية
Cathode rays	أشعة مهبطية
Electron	إلكترون
Tube	أنبوب
Transition	إنتقال
Refraction	إنكسار
Diffraction	إنعراج
Ion	أيون
Paramagnetism	بارامغنيطية
Optics	بصريات
Single Crystal	بلور أحادي
Polymer	بلمر
Focus	بؤرة
Function	تابع
Susceptibility	تأثيرية
Brilliance	تألق
Ionization	تأيين
Induction	تحريض
Caogulation	تخثر
Interference	تداخل
Radiography	تصوير بالأشعة
Interaction	تفاعل

Symmetry	تناظر
Activation	تنشيط
Photoconductivity	توصيلية ضوئية
Superconductivity	توصيلية متفوقة
Alternating Current	تيار متردد
Trigonal	ثلاثي (نظام ثلاثي)
Triclinic	ثلاثي الميل
Molecule	جزيء
Induction	حث
Peak	حز (ذروة)
Beam	حزمة
Diffraction	حيود
Cell	خلية
Unit Cell	خلية وحدة
Circuit	دارة
Function	دالة
Diamagnetism	ديامغنيطية
Atom	ذرة
Tetragonal	رباعي (نظام رباعي)
Ionic bond	رباط أيوني
Covalent bond	رباط تساهمي
Spin	سبين
Hexagonal	سداسي (نظام سداسي)
Calory	سعر
Ion	شارد
Lattice	شبكة
Reciprocal lattice	شبكة عكسية
Semiconductor	شبه (نصف) موصل

Intensity	شدة
Chemical formula	صيغة كيميائية
Photo chemical	ضوكيميائي
Potential energy	طاقة الجهد (طاقة الكمون)
Wavelength	طول الموجة
Spectrum	طيف
Atomic number	عدد ذري
Orbital moment	عزم مداري
Magnetic moment	عزم مغناطيسي
Node	عقدة
Crystallography	علم البلوريات
Phospherescence	فسفرة
Anoemia	فقر دم
Fluorescence	فلورة
Photon	فوتون
Voltage	فولتية
Index	قرينة
Iris	قزحية (العين)
Quartz	كوارتز
Electrostatic	كهرسكوني - كهراكدي
Electron	كهيرب
Vector	متجه
Microscope	مجهر
Transformer	محول
Quartz	مرو
Orthorhombic	مستقيم المعين (نظام)
Reticular plan	مسطح شبكي
Anode	مصعد

Coefficient	معامل
Magnet	مغناطيس ـ مغنط
Ferromagnetism	مغناطيسية حديدية
Antiferromagnetism	مغناطيسية حديدية مضادة
Helimagnetism	مغناطيسية لولبية
Paramagnetism	مغناطيسية مسايرة
Diamagnetism	مغناطيسية مغايرة
Rectifier	مقوم
Goniometer	مقياس الزوايا
Cubic	مكعب (نظام)
Prism	منشور
Cathode	مهبط
Equilibrium position	موضع اتزان
Isotope	نظير
Induction Coil	وشيعة التحريض