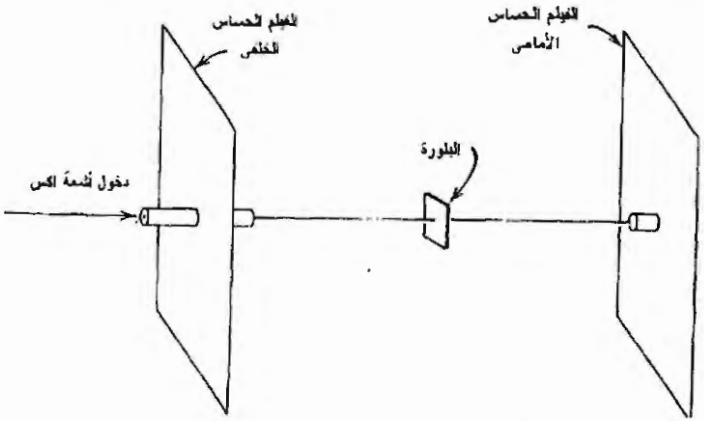
4-2-2 الطرق التجريبية

للحصول على نماذج لحيود أشعة اكس عن البلورات لا بد من حصول توافق بين كل من θ, λ حتى يتحقق قانون براغ. إذ لو سقط شعاع طوله الموجي λ على بلورة ثابتة بزاوية سقوط ما فلا يتوقع حصول انعكاس وتداخل بنائي بشكل عام. ولكن لا بد من الناحية التجريبية أن نوفر أشعة ذات طول موجي متغير فوق مدى معين (مثلاً $0.2 - 2A^{\circ}$) أو أن نغير زاوية السقوط بشكل مستمر (مثلاً $0 - 50^{\circ}$) حتى يحصل التوافق بين θ, λ في قانون براغ.

وقد صممت طرق معيارية لحيود أشعة اكس لدراسة البناء البلوري لعينات مختلفة من المواد المتبلورة. وسوف نصف باختصار ثلاث طرق يستخدمها الفيزيائيون منذ بضعة عقود.

أ- **طريقة لاو** (Laue Method)

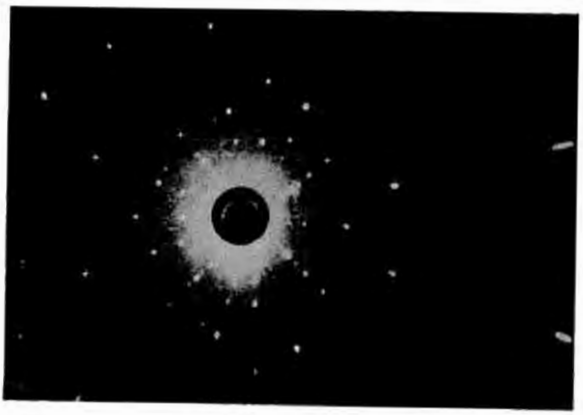
وفيها نسقط شعاعاً من أشعة اكس يتغير طوله الموجي λ بشكل مستمر من المصدر، نسقطه على بلورة أحادية ثابتة. وفي داخل البلورة مجموعات متعددة من المستويات البلورية المتوازية (ويرمز لكل مجموعة بالرموز h,k,l). وعندما تتفق زاوية السقوط لإحدى هذه المجموعات (المسافة بين المستويات البلورية d) مع إحدى قيم λ بحيث يتحقق قانون براغ نحصل على انعكاس عن هذه المستويات المتوازية وعلى تداخل بنائي بين الأشعة المنعكسة عنها وتظهر نقطة بارزة على الفيلم الحساس أو الكاشف. ولمجموعة أخرى من المستويات المتوازية (رموزها h',k',l') نحصل على نقطة أخرى على الفيلم الحساس إذ تختار هذه المجموعة طولاً موجيًا آخر لتحقيق قانون براغ، وهكذا لكل مجموعة من المجموعات العديدة. وبالتالي فإن نموذج الحيود يتألف من نقاط متتالية مرتبة ترتيبًا يكشف عن التماثل الموجود في البلورة. انظر الشكل (2.10) كيفية إعداد التجربة.



شكل (2.10): ترتيب التجربة لطريقة لاو

وانظر الشكل (2.11) الذي يبين نموذج الحيود لمادة السيلكون باستخدام هذه الطريقة.

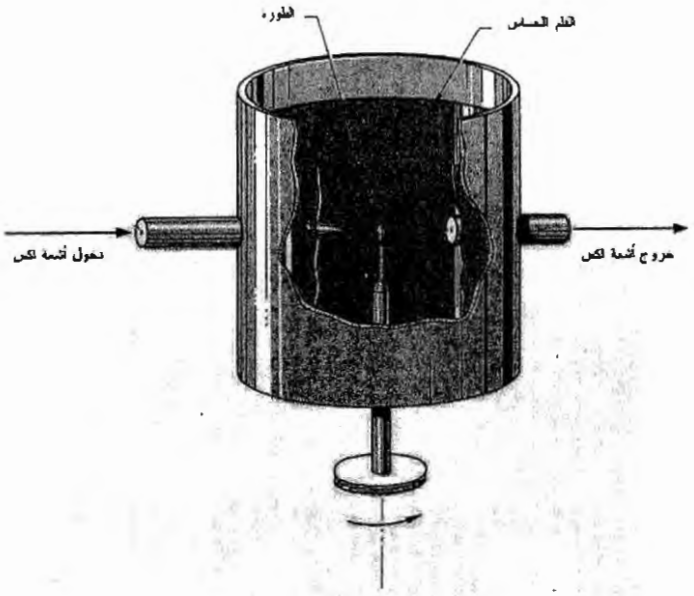
والنقاط التي تظهر مرتبة في نموذج الحيود هي رسم لنقاط الشبيكة المقلوبة لأن كل نقطة في نموذج الحيود تقع على مسافة تساوي أحد المتجهات في الشبيكة المقلوبة (G) من نقطة السقوط امتثالاً للعلاقة $\Delta\vec{k} = \vec{k}' - \vec{k} = \vec{G}$.



شكل (2.11): نموذج لاو لبلورة السيليكون.

ب- طريقة دوران البلورة (Rotating–Crystal)

وفي هذه الطريقة نثبت الطول الموجي لأشعة اكس الساقطة على البلورة والتي تكون مثبتة على حامل رأسي ثم نجعلها تدور حول المحور الرأسي الذي يعامد اتجاه أشعة اكس (انظر الشكل 2.12). وفي هذه الحالة لا نحتاج إلى تغيير λ ، ولكننا بإدارة البلورة حول المحور الرأسي نغير من زاوية السقوط θ على مجموعة المستويات (h,k,l) حتى تكون قيمتها محققة لقانون براغ. وحيث أن قيم θ تتغير بشكل مستمر فإن كل مجموعة من مجموعات المستويات المتوازية تختار الزاوية التي تناسبها لتحقيق قانون براغ وتؤدي إلى ظهور نقطة على الفيلم الحساس، ويكون هذا الفيلم ملصقًا على الجدار الداخلي لأسطوانة تحيط بالعينة وبحيث يكون محور الأسطوانة هو نفس المحور الرأسي الذي تدور حوله البلورة.

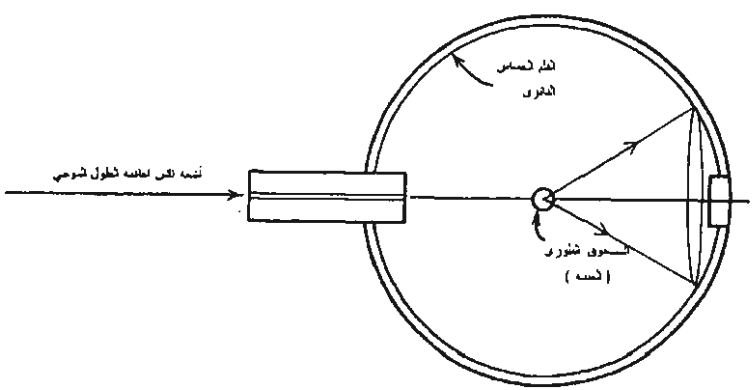


شكل (2.12): ترتيب التجربة في طريقة البلورة الدوارة.

وتنعكس الأشعة عن جميع المستويات التي تكون موازية للمحور الرأسي بحيث تقع هذه الأشعة المنعكسة في المستوى الأفقي، أما المستويات الأخرى المائلة عن المحور الرأسي فتقع الأشعة المنعكسة عنها فوق أو تحت المستوى الأفقي.

ج- طريقة المسحوق البلوري (Powder Method)

وتكون العينة التي تستخدم في هذه التجربة كميةً قليلة من مسحوق ناعم (من البلورة تحت الدراسة) توضع في أنبوب زجاجي دقيق (capillary)، ثم نضع هذه العينة في مركز كاميرا دائرية الشكل تحتوي على فيلم حساس ملصق على محيطها الداخلي. وتدخل أشعة اكس حين سقوطها على العينة من ثقب صغير بجانب الكاميرا، وتخرج باقي الأشعة من ثقب آخر يقابله. (انظر الشكل 2.13a)



شكل (2.13a): الكاميرا المستخدمة في طريقة المسحوق البلوري.

وتكون الأشعة السينية أحادية الطول الموجي (λ). ويوفر المسحوق الناعم عددًا كبيرًا جدًا من البلورات الصغيرة بحيث تكون اتجاهاتها موزعة على جميع الزوايا بشكل متصل تقريبًا. وتنعكس الأشعة عن البلورات الصغيرة التي يحصل أن تصنع بعض المستويات البلورية فيها زاوية مقدارها θ تتفق مع قيمة λ بحيث يتحقق

قانون براغ. وتخرج هذه الأشعة بعد حيودها عن العينة على شكل مخروطي حول اتجاه الشعاع الساقط قاطعةً الفلم الحساس داخل الكاميرا في حلقات متتالية حسب زاوية المخروط. وتكون الزاوية بين سطح المخروط واتجاه الشعاع الساقط تساوي 2θ حيث θ هي زاوية براغ. (انظر الشكل 2.13b)

شكل (2.13b): نموذج التشتت مسجلاً على الفلم الحساس

2-2-5 مناطق برلوان (*Brillouin Zones*)

لقد مر معنا عند دراسة حيود الأشعة السينية (وبعد تعريف الشبيكة المقلوبة) بأن الأشعة الساقطة على البلورة بالاتجاه $\vec{k}$ سوف تتشتت في الاتجاه $\vec{k}'$ (وبالشدة العظمى) عندما يكون الفرق بين k, k' مساويًا لأحد متجهات الشبيكة المقلوبة، أي

$$k' - k = \Delta k = G$$

أو:

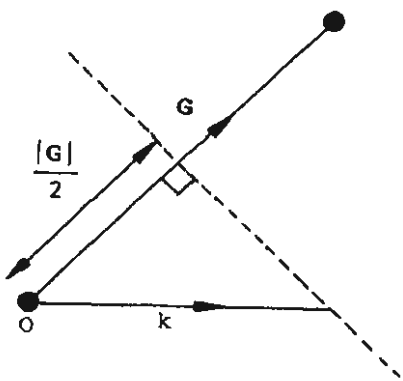
$$2\vec{k} \cdot \vec{G} = |G|^2$$

أو

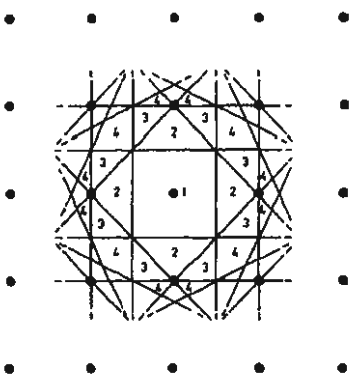
$$\vec{k} \cdot \left(\frac{1}{2}\vec{G}\right) = \left|\frac{1}{2}G\right|^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.24)$$

ويمكن تمثيل هذه العلاقة هندسيًا بأن نختار شبيكة مقلوبة مؤلفة من عدد كبير من النقاط، ونجعل إحدى هذه النقاط نقطة الأصل (0) ثم نصل 0 مع إحدى النقاط المجاورة فيكون المتجه بين 0 والنقطة المجاورة هو إحدى متجهات الشبيكة المقلوبة G، ثم نرسم مستوى معامدًا للمتجه G ويمر من منتصفه (انظر الشكل 2.14

لشبيكة مربعة في بعدين). وعندئذ فإن أي متجه $\bar{k}$ يبدأ عند 0 وينتهي على سطح هذا المستوى يحقق العلاقة السابقة، أي أن الشعاع الساقط في الاتجاه k يحقق شرط التشتت البنائي ويكون التشتت في الاتجاه k' الذي يساوي $(k-G)$. وليس هذا المستوى المعامد للمتجه G إلا جزءًا من سطح يحيط بالنقطة 0، إذ لو وصلنا نقطة الأصل مع جميع النقاط من حولها لحصلنا على عدد كبير من المتجهات G. ثم إن مجموعة المستويات التي تُعامد هذه المتجهات وتُنصّفها تشكل عند تقاطعها منطقة (أو مناطق) مقفلة حول النقطة 0، ويكون كل متجه موجي k يبدأ عند 0 وينتهي على سطح أي مستوى من هذه المستويات محققًا لشرط التشتت البنائي. ويؤدي تقاطع هذه المستويات إلى تجزئة فضاء الشبيكة المقلوبة إلى قطع متجاورة تمثل مناطق مختلفة. وفي الشبيكة المقلوبة المربعة يكون المربع المركزي هو المنطقة الأولى المتكاملة والتي تمثل الخلية الأولية (أصغر مساحة) في هذه الشبيكة (انظر الشكل 2.15) وتسمى هذه الخلية الأولية (المربع المركزي) بمنطقة برلوان الأولى. أما منطقة برلوان الثانية فهي مجموع الأجزاء الأربعة المشار إليها بالرقم 2. والمنطقة الثالثة هي مجموع الأجزاء الثمانية المشار إليها بالرقم 3، وهكذا.



الشكل (2.14): تمثيل العلاقة 2.24 في فضاء الشبيكة المقلوبة.



الشكل (2.15): مناطق برلوان (الأولى، الثانية والثالثة) لشبيكة ثنائية الأبعاد.