



HAL
open science

La réflexion et la réfraction des rayons X

M. Siegbahn

► **To cite this version:**

M. Siegbahn. La réflexion et la réfraction des rayons X. Journal de Physique et le Radium, 1925, 6 (7), pp.228-231. 10.1051/jphysrad:0192500607022800 . jpa-00205211

HAL Id: jpa-00205211

<https://hal.science/jpa-00205211>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LA RÉFLEXION ET LA RÉFRACTION DES RAYONS X ⁽¹⁾.

par M. M. SIEGBAHN

Professeur à l'Université d'Upsala.

Sommaire. — L'auteur donne un résumé des recherches récentes effectuées au laboratoire de l'Université d'Upsala (Suède). Ces recherches ont porté sur la vérification de la loi de Bragg, et sur les phénomènes de réfraction des rayons X dans les corps amorphes (verre).

La mesure expérimentale des longueurs d'ondes des rayons X est basée sur la loi de Bragg :

$$n\lambda = 2d_0 \sin \varphi_n, \quad (1)$$

où λ est la longueur d'onde; d_0 , la distance entre les plans atomiques, et φ_n , l'angle de réflexion d'ordre n .

La validité de cette équation fut examinée pour la première fois par Bragg, qui mesurait les angles de réflexion pour des ordres différents en utilisant un rayon monochromatique.

D'après la loi (1), l'expression

$$\frac{\sin \varphi_n}{n} = \frac{\lambda}{2d_0}$$

doit être une constante. Au degré d'exactitude qu'il était possible d'atteindre dans la méthode de mesure de Bragg, la valeur de la fonction $\frac{\sin \varphi_n}{n}$ apparaissait réellement comme constante.

L'auteur a essayé d'augmenter la précision des méthodes utilisées dans la mesure des longueurs d'onde des rayons X. Lorsque des instruments nouveaux, construits dans ce but, furent employés et qu'une exactitude plus grande dans la mesure des angles de réflexion put être obtenue, ce fut une question fondamentale de vérifier la loi de Bragg. Les mesures primitives du Docteur Stenström indiquaient que la fonction $\frac{\sin \varphi_n}{n}$ n'était pas parfaitement constante mais décroissait pour les valeurs élevées de n .

En raison de la grande importance de cette question pour la spectroscopie des rayons X, les études expérimentales furent reprises par le Docteur Hjalmar, et récemment par M. Larsson. Les résultats des expériences de M. Larsson montrent (figure 1) qu'il existe une déviation très régulière de la loi simple de Bragg, la valeur de $\frac{\sin \varphi_n}{n}$ n'étant pas la même pour les différents ordres.

M. Larsson s'est servi dans ses expériences des rayons X caractéristiques du cuivre $K\alpha_1$, et comme cristal réfléchissant, du *mica*. Grâce à ce choix des radiations et du cristal, il lui fut possible de mesurer l'angle de réflexion du premier au onzième ordre.

La courbe tracée sur la fig. 1 est déduite de la théorie de M. Darwin ou de M. Ewald. Ces deux auteurs ont traité le problème de la réflexion des rayons X sur un cristal, en considérant l'influence mutuelle des résonateurs du corps cristallin, influence négligée dans les théories simples de Laue ou de Bragg.

La théorie de Darwin-Ewald conduit à la formule.

$$n\lambda = 2d_0 \left[1 - 4 \frac{d_0^2}{n^2} \frac{\delta}{\lambda^2} \right] \sin \varphi_n$$

où

$$\delta = \frac{e_2}{2\pi c^2 m} \sum_{i=K,L,M} \frac{N_i}{v^2 - v_i^2}$$

avec

$$v = \frac{1}{\lambda} \quad \text{et} \quad v_i = \frac{1}{\lambda_i}$$

Si la fréquence des rayons X est grande par rapport à la fréquence propre de tous les

(1) Séance de Pâques de la Société française de Physique. Conférence du 17 avril 1925.

résonateurs, c'est à dire si $\nu > \nu_i$, on a

$$\delta = \frac{e^2}{2\pi c^2 m} \frac{1}{\nu^2} \sum N_i = k \cdot \lambda^2,$$

où k est une constante, indépendante de la longueur d'ondes, ce qui donne :

$$n\lambda = 2d_0 \left[1 - 4k \frac{d_0^2}{n^2} \right] \sin \varphi_n.$$

S'il est permis de négliger les fréquences des résonateurs par rapport aux fréquences des rayons, on peut se servir de cette loi au lieu de la formule de Bragg. C'est dire qu'au lieu de

$$\log \frac{\sin \varphi_n}{n}$$

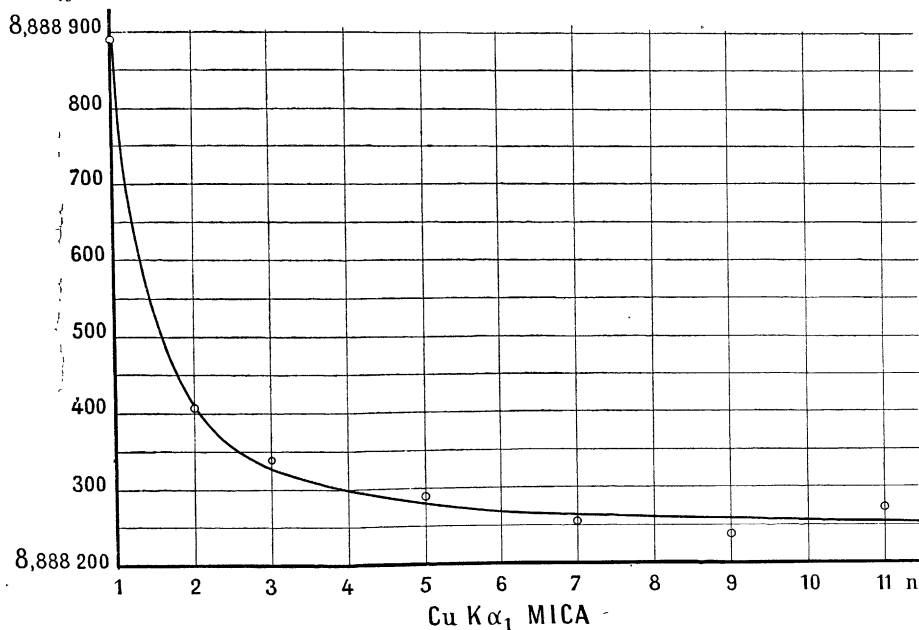


Fig. 1.

la distance vraie d_0 entre les plans atomiques, nous pouvons nous servir d'une valeur corrigée

$$d_n = d_0 \left[1 - 4k \frac{d_0^2}{n^2} \right],$$

valeur indépendante des longueurs d'onde des rayons réfléchis.

Nous pouvons soumettre ces formules à une épreuve expérimentale en comparant les angles de réflexion dans deux cristaux différents.

Pour les mesures dans le premier ordre sur la calcite, nous obtenons ainsi, la formule

$$\lambda = 2d_{\text{calcite}} \sin \varphi$$

et pour le gypse,

$$\lambda = 2d_{\text{gypse}} \sin \varphi'$$

où d_{calcite} et d_{gypse} sont indépendants des longueurs d'onde si l'approximation précitée est satisfaisante. Cette question a été examinée récemment par l'auteur en collaboration avec le Docteur Hjalmar. Nous avons déterminé l'angle de réflexion d'un certain nombre de rayons monochromatiques qui étaient réfléchis sur la calcite et sur le gypse. Pour chaque rayon nous avons calculé la fonction

$$\frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi} = \frac{d_{\text{calcite}}}{d_{\text{gypse}}}.$$

Le second membre de cette formule doit être une constante en première approximation si nous supposons $\nu \gg \nu_i$ pour tous les résonateurs du cristal.

Les résultats de nos mesures sont données dans la fig. 2. Les valeurs de $\sin \varphi' / \sin \varphi$ obtenues dans les expériences sont données en fonction de la longueur d'onde; ces valeurs varient de 1 000 unités X (1 Å) à 5 000 (5 Å). Comme le montre la figure, les valeurs de $d_{\text{calcite}}/d_{\text{gypse}}$ ne sont pas situées sur une ligne droite parallèle à l'axe des abscisses,

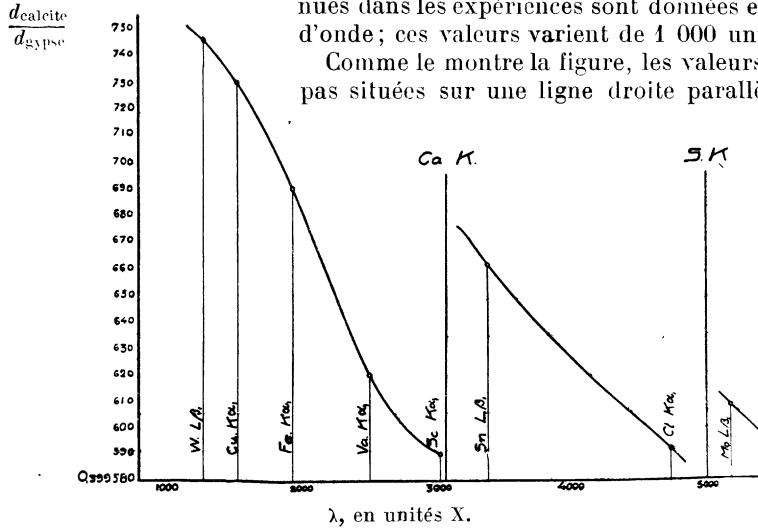


Fig. 2.

comme nous pouvions le présumer, mais, au contraire, la courbe expérimentale montre deux discontinuités : la première exactement pour la longueur d'onde caractéristique du calcium, et la deuxième exactement pour la longueur d'onde caractéristique du soufre

Ce résultat est à prévoir par la théorie complète. La valeur de δ/λ^2 n'est pas tout à fait

une constante et ceci est en concordance avec la théorie classique de la dispersion; la valeur de δ montre une anomalie lorsque ν passe par les fréquences propres des résonateurs. Dans le cas étudié expérimentalement, nous sommes passés, dans nos mesures, par les fréquences du calcium et du soufre et notre courbe montre la dispersion anormale par les deux cristaux calcite et gypse dans le domaine des fréquences de rayons X.

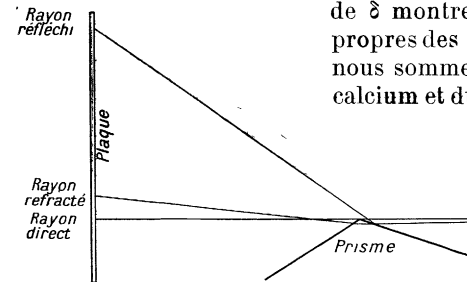


Fig. 3.

Dans les cas précédemment traités, il s'agissait d'une réfraction dans des cristaux, cette réfraction venant se superposer à la réflexion

interférentielle de Laue-Bragg. Mais la réfraction n'est pas nécessairement restreinte à des corps cristallisés. On a souvent essayé de découvrir expérimentalement une réfraction dans des prismes amorphes, en utilisant un dispositif analogue à ceux de l'optique. Un exposé complet de ces expériences se trouve dans le bel ouvrage de MM. Dauvillier et Ledoux-Lebard sur la Physique des rayons X.

MM. Larsson, Waller et l'auteur ont repris ces expériences en choisissant les conditions les plus favorables pour le phénomène. La figure (3) montre le dispositif. Un rayon très fin passe près de l'arête d'un prisme de verre. Si l'angle d'incidence est très petit, une partie du rayon est totalement réfléchi et forme une image sur une plaque photographique. Une autre partie passe au dehors du prisme au voisinage de l'arête et donne sur la plaque une ligne noire fine correspondant au faisceau direct.

Mais, outre cela, on peut voir sur les plaques une troisième ligne qui correspond à un rayon réfracté par le prisme dans une direction contraire à la déviation optique normale.

La figure (4) montre quelques résultats obtenus avec le rayon caractéristique du fer. Dans la première partie, on voit l'image directe et l'image totalement réfléchi. Dans la

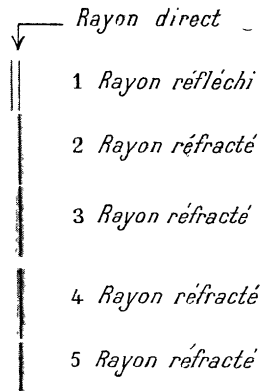


Fig. 4.

seconde partie, qui est obtenue avec un angle d'incidence plus grand, l'image réfléchie a disparu, mais en même temps le rayon réfracté est apparu. Les autres parties montrent les résultats avec des angles d'incidence croissants.

Ces clichés peuvent servir à mesurer l'indice de réfraction. Dans ce but, nous avons mesuré les distances à la ligne directe des lignes relatives aux rayons réfléchis et réfractés.

Les valeurs de l'indice de réfraction $\mu = 1 - \delta$ sont les suivantes :

Prisme de verre (densité : 2,551).

	RAIE	λ	$\delta \cdot 10^{-6}$	$\delta/\lambda^2 \cdot 10^{-6}$
Fe.....	$K\alpha_{12}$	1,933	$12,38 \pm 0,4$	$3,31 \pm 0,10$
	$K\beta$	1,750	$10,00 \pm 0,4$	$3,26 \pm 0,10$
Cu.....	$K\alpha_{12}$	1,538	$8,125 \pm 0,05$	$3,435 \pm 0,02$
	$K\beta$	1,389	$6,648 \pm 0,05$	$3,443 \pm 0,03$
Mo.....	$K\alpha_{12}$	0,708	$1,641 \pm 0,10$	$3,3 \pm 0,2$
	$K\beta$	0,630	$1,220 \pm 0,15$	$3,1 \pm 0,4$

Puisque, dans ces cas, les fréquences sont plus grandes que les fréquences des résonateurs, nous pouvons supposer que δ/λ^2 est une constante. Les valeurs expérimentales sont en accord avec cette hypothèse.

Cette méthode pour montrer de petites différences dans les vitesses de la lumière (ou des rayons X) est vraiment très sensible. Pour les rayons $K\alpha$ du cuivre nous avons mesuré le rapport $C_{\text{verre}}/C_{\text{air}}$ et nous avons trouvé 1,000 008 125 avec une erreur probable de 0,000 000 05.

On peut donc utiliser cette méthode pour mesurer des indices de réfraction dans le domaine des rayons X. Il est probablement possible, par des mesures de ce genre, de calculer directement les nombres d'électrons dans les niveaux d'énergie des atomes.

Mais on peut aussi utiliser la méthode indiquée pour étudier les spectres de rayons X par un moyen tout à fait analogue à la méthode optique ordinaire.

La figure montre des spectres de rayons X obtenus avec un prisme de verre ordinaire. On peut voir, en outre du rayon direct et du rayon totalement réfléchi, le spectre d'un faisceau complexe de rayons X comprenant les rayons $K\alpha$ du cuivre et du fer.

Pour terminer, je désire attirer l'attention sur le fait que ces expériences mettent en jeu une méthode spectrale qui est applicable dans l'optique ordinaire aussi bien que dans le domaine des rayons X. Nous pouvons donc espérer que cette méthode ouvrira de nouvelles perspectives pour la liaison de ces deux domaines.

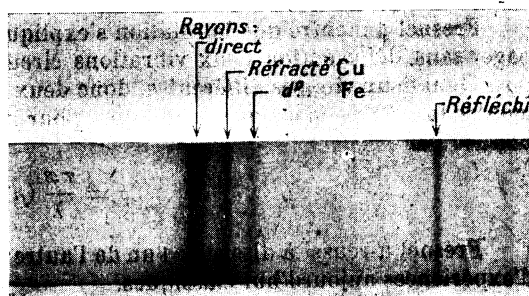


Fig. 3.