

Physique atomique et nucléaire

Rayons X

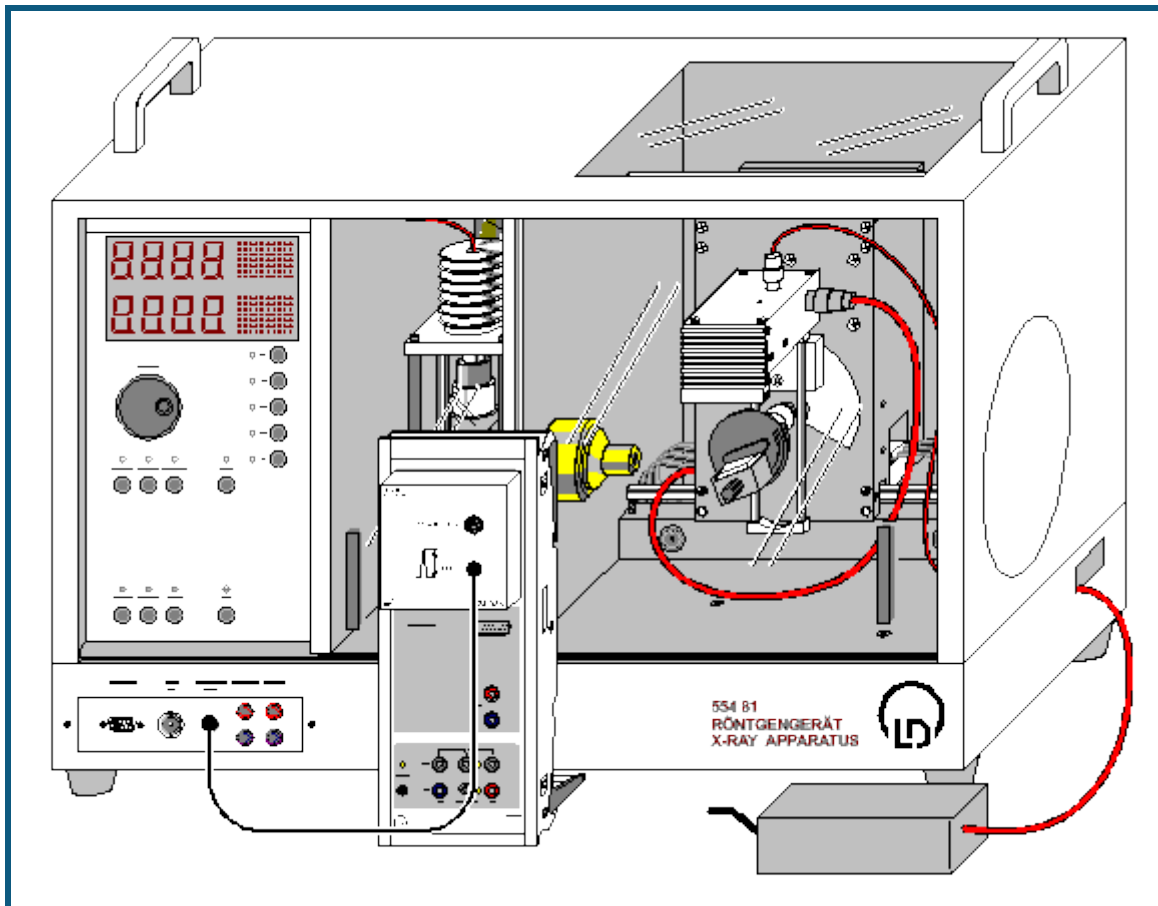
Effet Compton sur rayons X


Effet Compton: Mesure
d'énergie des photons
dispersés en fonction de
l'angle de diffusion

Description tirée de CASSY Lab 2

Pour charger des exemples et des
paramétrages, merci de bien vouloir
utiliser l'aide de CASSY Lab 2.

Effet Compton sur le rayonnement X



 Convient aussi pour [Pocket-CASSY](#)

Remarques de sécurité

L'appareil à rayons X est conforme, de par sa conception et construction, à un dispositif à rayons X destiné à l'enseignement et à un appareil de protection intégrale répondant aux réglementations sur les rayons X. Il est homologué comme appareil à rayons X à l'usage des établissements scolaires et comme appareil de protection intégrale conformément au règlement allemand sur la radioprotection (BfS 05/07 V/Sch RöV ou NW 807 / 97 Rö).

Grâce aux dispositifs de protection et de blindage intégrés en usine, le taux de dose hors de l'appareil à rayons X est réduit à moins de $1 \mu\text{Sv/h}$, soit une valeur d'un ordre de grandeur correspondant à la dose d'irradiation naturelle.

- Vérifier le bon état de l'appareil à rayons X avant de le mettre en marche et contrôler la coupure de la haute tension à l'ouverture des portes coulissantes (voir mode d'emploi de l'appareil à rayons X).
- Tenir l'appareil à rayons X à l'abri des personnes non autorisées.

Eviter toute surchauffe de l'anode dans le tube à rayons X Mo.

- A la mise en marche de l'appareil à rayons X, vérifier le bon fonctionnement du ventilateur dans la partie tube.

Le goniomètre est exclusivement réglé par le biais de moteurs pas à pas électriques.

- Ne pas bloquer le bras de cible ni le bras de capteur du goniomètre et ne pas forcer pour en modifier le réglage.

Description de l'expérience

Au passage à travers la matière, une partie du rayonnement X est dissipé. Selon l'idée classique que l'on a de cette diffusion, la fréquence du rayonnement ne devrait pas changer. Or en 1923, le physicien américain A.H. Compton observa une baisse de la fréquence pour une partie du rayonnement diffusé.

Une [explication](#) de cette affirmation implique une étude de tout le processus de diffusion du point de vue de la physique quantique jusqu'à avoir la preuve de la nature corpusculaire ou particulaire du rayonnement X. Par ailleurs, on suppose que les électrons diffusés sont libres, ceci étant une bonne approche pour les couches électroniques extérieures des atomes avec des énergies dans le domaine des rayons X. C'est ainsi que lors d'une diffusion, un photon

de fréquence ν_1 , donc d'énergie $E_1 = h \cdot \nu_1$, entre en collision avec un électron libre initialement au repos et de masse m_0 . Le photon subit alors une diffusion d'un angle ϑ .

En vertu de la conservation de l'énergie et de l'impulsion, Compton calcula alors l'énergie E_2 du rayonnement diffusé

$$E_2 = E_1 / \left(1 + \frac{E_1}{m_0 c^2} (1 - \cos \vartheta) \right).$$

Dans la présente expérience, on réalise les études de Compton sur un corps de diffusion en plexiglas puis on compare les résultats obtenus avec l'équation ci-dessus. Le détecteur d'énergie de rayonnement X est utilisé pour relever le spectre.

Matériel requis

1	Sensor-CASSY	524 010 ou 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	adaptateur AMC	524 058
1	appareil à rayons X avec tube à rayons X Mo	554 801 ou 554 811
1	accessoires pour l'effet Compton X-ray II	554 8371 ou 554 837
1	détecteur d'énergie de rayonnement X	559 938
1	câble HF, 1 m	501 02
1	PC avec Windows XP/Vista/7/8	

Montage expérimental (voir schéma)

- Enficher le filtre en zircon (livré avec l'appareil à rayons X) du côté de l'entrée des rayons du collimateur circulaire (livré avec les accessoires pour l'effet Compton X-ray II).
- Monter le collimateur circulaire dans le logement du collimateur de l'appareil à rayons X.
- Faire passer le câble de raccordement de l'alimentation portable à travers le canal vide de l'appareil à rayons X et le brancher à la douille Mini DIN du détecteur d'énergie de rayonnement X.
- Fixer le porte-captur avec le détecteur d'énergie de rayonnement X monté au bras de capteur du goniomètre.
- Connecter la sortie du signal du détecteur d'énergie de rayonnement X à la douille BNC SIGNAL IN de l'appareil à rayons X à l'aide du câble BNC fourni.
- Faire en sorte que le câble de raccordement soit inséré sur une longueur suffisante pour permettre le pivotement complet du bras de capteur.
- Appuyer sur le bouton-poussoir SENSOR et régler manuellement l'angle du capteur sur 150° à l'aide du bouton de réglage ADJUST, pour ce faire, éventuellement déplacer le goniomètre vers la droite.
- Sélectionner la distance entre le détecteur d'énergie de rayonnement X et l'axe de rotation de sorte que le boîtier du détecteur soit à la limite de masquer le faisceau de rayonnement X pour cet angle du capteur.
- Pousser ensuite le goniomètre vers la gauche jusqu'à ce que le boîtier du détecteur soit à la limite de toucher le collimateur circulaire (distance d'env. 8 cm entre le collimateur circulaire et l'axe de rotation).
- Brancher le Sensor-CASSY à l'ordinateur et enficher l'adaptateur AMC.
- Utiliser le câble BNC pour relier la sortie SIGNAL OUT de la zone de connexion de l'appareil à rayons X à l'adaptateur AMC.


Préparation de l'expérience

■ Charger les paramétrages


- Brancher l'alimentation portable au réseau (le témoin lumineux passe au « vert » au bout d'env. 2 min et le détecteur d'énergie de rayonnement X est opérationnel).

Pour une mesure exacte des faibles translations d'énergie, il importe de savoir que le calibrage du détecteur d'énergie de rayonnement X se décale légèrement pour des taux de comptage élevés, ce pour quoi une limitation à des taux de comptage jusqu'à 200 /s semble donc toute indiquée.

Evaluation du taux de comptage dans un arrangement de diffusion :

- Placer le corps de diffusion en plexiglas sur le support pour cible et le fixer.
- Appuyer sur le bouton-poussoir TARGET et régler manuellement l'angle de la cible sur 20° à l'aide du bouton tournant ADJUST.
- Régler une haute tension du tube U = 35 kV, un courant d'émission I = 1,00 mA et brancher la haute tension.
- Lancer le relevé du spectre avec .
- Faire lentement varier l'angle du capteur entre 150° et 30° puis relever à chaque fois le taux de comptage global en haut à droite dans la fenêtre CASSY Lab.
- Réduire le courant d'émission si le temps de comptage global vient à nettement dépasser 200 /s.

Adaptation du taux de comptage du faisceau primaire :

- Démontez le porte-cible avec le support pour cible et positionnez le capteur sur 0°.
- Placer le diaphragme affaiblisseur sur le collimateur circulaire et l'orienter avec minutie (avec les vis tournées vers le haut et le bas)
- Réduire le courant d'émission à 0,1 mA et brancher la haute tension.
- Lancer le relevé du spectre avec .
- Par pas de 0,1° de part et d'autre de 0°, chercher l'angle du capteur pour lequel le taux de comptage global dépasse seulement légèrement les taux de comptage mesurés dans l'arrangement de diffusion (éventuellement légèrement modifier le courant d'émission).



Si aucun taux de comptage n'est mesurable ou bien seulement un taux faible :

- Vérifier l'orientation du diaphragme affaiblisseur (avec les vis tournées vers le haut et le bas, éventuellement tourner de 180°).

Procédure expérimentale

Dans le boîtier de la photodiode PIN au silicium du détecteur d'énergie de rayonnement X, le rayonnement X à mesurer génère en plus un rayonnement de fluorescence X qui est lui aussi enregistré. Dans le spectre primaire, il faut donc aussi s'attendre aux raies L_α et L_β de l'Au en plus des raies K_α et K_β du Mo. Ces raies permettent d'effectuer l'étalonnage énergétique des spectres.

 Charger les paramètres

- Relever le spectre primaire (position 0°) avec .
- Ensuite, ouvrir l'[Étalonnage énergétique](#) dans les [paramétrages EA](#), (clic avec la touche droite de la souris) sélectionner **Étalonnage énergétique global à cette entrée** puis inscrire à droite les énergies de la raie L_α de l'Au (9,72 keV) et de la raie K_α de du Mo (17,48 keV).
- Dans le menu contextuel du graphe, sélectionner [Calcul valeur principale du pic](#), marquer la raie L_α de l'Au (petit pic à gauche de la raie L_β de l'Au elle aussi petite) et inscrire le résultat à gauche dans l'[Étalonnage énergétique](#) (par ex. en le transférant de la ligne d'état par glisser-déposer).
- Pour finir, déterminer le centre de gravité de la raie K_α du Mo (grand pic) et également l'inscrire à gauche
- Faire passer la représentation sur Énergie (par ex. par glisser-déposer de E_A vers le graphe)
- Retirer le diaphragme affaiblisseur.
- Monter le porte-cible avec le support pour cible sur le goniomètre.
- Mettre en place le corps de diffusion en plexiglas et le fixer.
- Régler un courant d'émission $I = 1,00$ mA (ou le courant d'émission déterminé au préalable lors de l'évaluation du taux de comptage) et brancher la haute tension.
- Régler l'angle de la cible sur 20° et l'angle du capteur sur 30°.
- Relever un nouveau spectre (position 30°) avec .
- Pour finir, relever d'autres spectres pour les angles 60°, 90°, 120° et 150° du capteur alors que l'angle de la cible est constant.

Exploitation

L'énergie du rayonnement diffusé diminue au fur et à mesure que l'angle de diffusion augmente. L'intensité du rayonnement diffusé est la plus faible pour $\vartheta = 90^\circ$.

Pour une exploitation ultérieure, il est possible de [zoomer](#) le domaine autour des pics diffusés et de sélectionner [Calcul valeur principale du pic](#) pour chaque pic décalé en énergie. À partir d'un angle de diffusion $\vartheta = 90^\circ$, la résolution énergétique du détecteur suffit pour la séparation du pic non décalé (diffusion élastique sur les électrons fortement liés) et du pic décalé (diffusion inélastique sur des électrons quasi libres). Seul le domaine du pic décalé en énergie devra être marqué pour la détermination de la valeur principale du pic.

L'énergie de chaque valeur principale du pic est transférée avec son angle de diffusion dans la représentation **Exploitation**. Pour ce faire, l'énergie peut être transférée de la ligne d'état vers le tableau par glisser-déposer avec la souris. L'angle doit être inscrit manuellement dans le tableau.

Afin de comparer les énergies mesurées avec les énergies calculées à partir des équations de conservation du moment et de l'énergie, il est possible, dans la représentation **Exploitation**, de sélectionner une [modélisation libre](#) de l'équation

$$17,48 / (1 + 17,48 * (1 - \cos(x)) / A)$$

avec la valeur initiale $A = 511$ (=constante).

Le résultat correspond à la courbe théorique avec les paramètres $E_1 = 17,48$ keV et $m_0 \cdot c^2 = 511$ keV qui coïncide bien avec les valeurs mesurées.

Au passage à travers la matière, une part du rayonnement X est diffusé et subit ce faisant un déplacement d'énergie (effet Compton). Le déplacement d'énergie peut se calculer en interprétant le phénomène de diffusion comme une collision entre un photon X et un électron libre au repos et en appliquant pour cette collision la conservation de l'énergie et de l'impulsion.

Remarque

Une alternative consiste aussi à comparer la mesure et la théorie sous la forme d'une modélisation avec le paramètre de modélisation libre A (de la masse au repos du partenaire de collision des photons X). En résultat, on obtient une valeur pour le paramètre A qui coïncide en bonne approximation avec la masse au repos d'un électron libre au repos ($m_0 \cdot c^2 = 511 \text{ keV}$).