

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 13 (1960)  
**Heft:** 9: Colloque Ampère

**Artikel:** Polarisation dynamique de noyaux par «effet solide»  
**Autor:** Borghini, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-738645>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 30.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Polarisation dynamique de noyaux par « effet solide »

par M. BORGHINI

C.E.N., Saclay, France

---

La production de cibles polarisées est souhaitable pour la réalisation de différentes expériences de physique nucléaire par bombardement, comme par exemple des expériences aux hautes énergies pour la détermination de la parité des particules étranges [1], des tests de la conservation de la parité dans les interactions fortes, etc., ou des expériences de diffusion de protons ou de neutrons sur des protons ou des noyaux composés, aux basses ou aux moyennes énergies.

Une cible polarisée doit contenir des spins nucléaires ayant une polarisation  $\frac{\langle I_z \rangle}{I}$  de plusieurs pour-cents et remplir un certain nombre de conditions générales: la densité en noyaux considérés doit être grande, l'échantillon doit pouvoir absorber la chaleur fournie par le faisceau, qui est au moins de quelques milliwatts, la polarisation doit être maintenue longtemps; par ailleurs la nature, la forme et le volume de l'échantillon dépendent de l'expérience particulière considérée.

On connaît actuellement des méthodes de polarisation qui sont statiques, transitoires ou bien stationnaires ou dynamiques. La plupart de ces méthodes ne permettent pas de satisfaire aux conditions précédentes: par exemple, la méthode la plus directe, dite de la « brute force », exige, pour obtenir des protons polarisés à 10%, dans les champs les plus élevés, des températures produites par désaimantation adiabatique, ce qui ne permet pas à l'échantillon d'absorber la chaleur fournie par le faisceau.

Deux méthodes dynamiques permettent de satisfaire aux conditions exposées plus haut; elles s'appliquent à des échantillons contenant, en plus des spins nucléaires considérés, des spins électroniques libres: ceux-ci ont des polarisations très importantes dans des circonstances convenables, par exemple 50% pour  $g = 2$  dans un champ de 12 000 gauss, à 1,5° K. Les deux méthodes consistent à appliquer un champ magnétique constant  $H_0$  et un champ de radiofréquence adéquat qui transfère une partie de la pola-

risation électronique aux noyaux. La première, due à A. W. Overhauser [2], s'applique à des systèmes de spins électroniques et nucléaires ayant des mouvements relatifs rapides: aux basses températures nécessaires pour obtenir de fortes polarisations, elle s'applique aux solides métalliques; la seconde, due à A. Abragam et W. G. Proctor [3], s'applique à des systèmes sans mouvement, ce qui est le cas de la plupart des substances aux températures de l'hélium liquide, hydrogène solide et hélium exceptés.

Soient  $I$  les spins nucléaires et  $S$  les spins électroniques,  $\omega_I = \gamma_I H_0$  et  $\omega_S = \gamma_S H_0$  leurs fréquences de Larmor (nous supposons  $I = S = \frac{1}{2}$  pour simplifier). La relaxation spin-réseau des spins  $I$  se fait par couplage avec les spins  $S$  qui sont en contact direct avec le réseau par leur interaction spin-orbite.

Dans le premier cas (métal; effet Overhauser), ce couplage est un couplage scalaire  $A \vec{I} \cdot \vec{S}$ . On applique un champ de radiofréquence, de fréquence  $\omega_s$ , suffisamment intense: le basculement d'un spin  $I$  se fait avec émission ou absorption par le réseau à la température  $T$  d'une énergie  $\hbar(\omega_s - \omega_I)$  et absorption ou émission par le champ d'une énergie  $\hbar \omega_s$ ; on montre (4) que dans ces conditions la polarisation des noyaux  $I$  est

$$\frac{\langle I_z \rangle}{I} = Th \frac{-\hbar(\omega_s - \omega_I)}{2kT}.$$

Dans le second cas (« solide »; « effet solide »), le couplage est un couplage dipolaire qui autorise partiellement des transitions dans lesquelles un spin  $I$  et un spin  $S$  basculent simultanément. On applique un champ de radiofréquence de fréquence  $\omega_s + \omega_I$  ou  $\omega_s - \omega_I$ , suffisamment intense pour court-circuiter la relaxation des spins  $I$ . Le renversement d'un spin  $I$  se fait alors avec émission ou absorption par le réseau d'une énergie  $\hbar \omega_s$  et absorption ou émission par le champ d'une énergie  $\hbar(\omega_s + \omega_I)$  ou  $\hbar(\omega_s - \omega_I)$ . La polarisation correspondante est

$$\frac{\langle I_z \rangle}{I} = \pm Th \frac{\hbar \omega_s}{2kT},$$

dans la mesure où les transitions induites par le champ ne sont pas suffisamment nombreuses pour modifier la polarisation des spins électroniques.

Cette méthode s'applique d'autant mieux que la raie de résonance électronique est plus fine: la densité en spins électroniques doit donc être faible; comme par ailleurs la densité en spins nucléaires doit être grande,

un spin électronique est amené à polariser un nombre de spins nucléaires qui peut être de plusieurs milliers; la polarisation des noyaux proches voisins de chaque spin électronique se fait directement grâce à l'interaction dipolaire relativement forte; la polarisation des noyaux éloignés se fait grâce à la diffusion de spin [5] à l'intérieur du système de spin nucléaires.

Les deux méthodes ont été employées dans notre laboratoire pour produire des polarisations nucléaires de plusieurs pour-cents.

Ch. Ryter [6] a obtenu par effet Overhauser une polarisation de 12% de noyaux de lithium métallique dans du fluorure de lithium irradié par des neutrons thermiques.

L'« effet solide » a donné les résultats suivants: dans des échantillons de polystyrène contenant un radical libre dissous (DPPH), nous avons obtenu une polarisation de  $\pm 5\%$  des protons; dans des échantillons de fluorure de lithium irradié par des neutrons thermiques, nous avons obtenu une polarisation de  $\pm 6\%$  des noyaux de fluor; dans des monocristaux de  $\text{La}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  contenant des traces de cérium [7], nous avons obtenu une polarisation de  $\pm 19\%$  des protons [8].

Des études sont en cours pour permettre à ce dernier échantillon de servir de cible à un cyclotron, et pour étendre cette méthode à d'autres noyaux.

Remerciements: l'auteur remercie vivement M. le professeur A. Abragam sans qui ce travail n'aurait jamais été fait.

#### RÉFÉRENCES

1. BILEN'KII, S. M., RYNDIN, R. M., *JETP* (trad. ang.), **35**, 574, 1959.
  2. OVERHAUSER, A. W., *Phys. Rev.*, **92**, 411 (1953).
  3. ABRAGAM, A., W. G. PROCTOR, *C. R. Acad. Sc.*, **246**, 2251 (1958).
  4. KITTEL, C., *Phys. Rev.*, **95**, 589 (1954).
  5. BLOEMBERGEN, N., *Physica*, **XV**, 386 (1949).
  6. RYTER, Ch., *Phys. Rev. Lett.*, **5**, 10 (1960).
  7. Le professeur C. D. Jeffries nous a suggéré l'emploi de ce sel.
  8. BORGHINI, M., ABRAGAM, A., *C. R. Symposium international sur la polarisation des nucléons*. Bâle, juillet 1960 (à paraître).
-