

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 10 (1957)  
**Heft:** 6: Colloque Ampère

**Artikel:** Expériences sur la température de spin  
**Autor:** Abragam, A. / Proctor, W.G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-738786>

### **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:** 21.02.2026

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

## Expériences sur la température de spin

par A. ABRAGAM et W. G. PROCTOR

C.E.N. de Saclay, Gif-sur-Yvette (Seine-et-Oise)

---

Les expériences décrites ci-dessous ne peuvent s'expliquer qu'en utilisant le concept de température de spin. Le premier groupe que l'on pourrait appeler expériences de calorimétrie nucléaire consiste à étudier le changement de polarisation produit par le mélange thermique des systèmes de spin des deux espèces nucléaires contenus dans le même échantillon. Le mélange est effectué en transférant l'échantillon d'un champ magnétique fort  $H_0$  dans le champ terrestre et en retournant dans le champ  $H_0$  en un temps court par rapport au temps de relaxation spin réseau. Les deux systèmes de spin sont isolés par la différence de leurs fréquences de Larmor dans un champ fort, mais peuvent échanger de l'énergie et atteindre l'équilibre thermique dans un champ faible. Ce processus n'est pas réversible au sens d'Ehrenfest et n'est thermodynamiquement réversible que dans des cas très particuliers.

Ces expériences sont résumées dans le Tableau I où  $M_0$  et  $M'_0$  représentent la polarisation d'équilibre de l'espèce nucléaire considérée. L'échantillon utilisé était un monocristal de LiF pour lequel dans  $H_0$ ,  $T_1(\text{Li}^7) = 4,5$  min,  $T_1(\text{F}^{19}) = 1,4$  min et dans le champ terrestre  $T_1$  (commun) est de l'ordre de 6 secondes. Le dispositif expérimental permettait d'examiner, de renverser par passage rapide ou de saturer les populations des différents niveaux.

Les résultats des expériences décrites dans le Tableau I s'expliquent dans le langage de la calorimétrie ordinaire en attribuant à chaque espèce nucléaire une chaleur spécifique proportionnelle à  $\gamma^2 I(I + 1)$  et en tenant compte de la valeur finie du temps de relaxation spin réseau et du renversement incomplet de l'aimantation par passage rapide. Ces considérations élémentaires sont valables aussi longtemps que le champ critique, où se

o Actuellement à Varian Associates, La Haye, Hollande.

TABLEAU I.

Exp.	Polarisation avant mélange		Polarisation après mélange	
	Fluor	Lithium	Fluor	Lithium
<i>a</i>	$M_0$	$M'_0$	$0.95 M_0$	$0.95 M'_0$
<i>b</i>	$M_0$	Saturé	$0.42 M_0$	$0.51 M'_0$
<i>c</i>	Saturé	$M'_0$	$0.42 M_0$	$0.43 M'_0$
<i>d</i>	$M_0$	$-M'_0$	$0.27 M_0$	$0.20 M'_0$
<i>e</i>	$-M_0$	$M'_0$	$0.05 M_0$	$0.00 M'_0$
<i>f</i>	Saturé	$-M'_0$	$-0.16 M_0$	$-0.17 M'_0$
<i>g</i>	$-M_0$	Saturé	$-0.29 M_0$	$-0.34 M'_0$
<i>h</i>	$-M_0$	$-M'_0$	$-0.71 M_0$	$-0.73 M'_0$

produit le mélange, est grand par rapport au champ interne parce qu'alors on peut négliger l'énergie de l'interaction spin-spin. Expérimentalement, nous avons trouvé que le mélange commence à se produire dans un champ de 75 gauss, qui est à peu près dix fois le champ local moyen. Les expériences *a*) et *h*) peuvent être identifiées avec le processus réversible observé par Pound<sup>1</sup> et par Pound et Purcell<sup>2</sup> et apparaissent ici comme un cas particulier du mélange de deux systèmes à la même température. Nous pensons que les expériences *d*) à *g*) constituent les premiers exemples de calorimétrie avec des systèmes à température négative.

Les résultats du Tableau I suggèrent qu'il est possible de « pomper » un système nucléaire avec un temps de relaxation spin-réseau long vers un état de polarisation en le refroidissant à intervalles réguliers par contact thermique avec un système dont  $T_1$  est plus court. Ceci a été démontré sur un échantillon de CsCl pour lequel dans les champs forts  $T_1$  (Cs)  $\cong$  9 min,  $T_1$  (Cl<sup>35</sup>)  $\cong$  3,5 sec, et dans le champ terrestre  $T_1$  (commun) est de l'ordre de 20 sec. Partant de Cs non polarisé, l'échantillon était rapidement retiré de l'entrefer et remplacé dans celui-ci à des intervalles de 6 sec, intervalles

<sup>1</sup> POUND, *Phys. Rev.*, **81**, 156 (1951).

<sup>2</sup> PURCELL, E. M. et R. V. POUND, *Phys. Rev.*, **81**, 279 (1951).

choisis pour permettre à Cl de se polariser; après un « pompage » de deux minutes, Cs avait acquis une polarisation de  $0,7 M_0$  dont l'établissement demande normalement 10 minutes. Nous avons également observé la résonance de  $\text{Li}^6$  dont le temps de relaxation dans l'échantillon considéré est probablement supérieur à une semaine. En polarisant  $\text{Li}^7$  et F à 12.000 gauss et  $77^\circ \text{K}$  pendant plusieurs minutes puis en les mettant rapidement en contact thermique avec  $\text{Li}^6$  dans le champ terrestre, nous avons pu polariser  $\text{Li}^6$  à sa polarisation maximum (en effet, la capacité calorifique de  $\text{Li}^6$  est négligeable par rapport à celles de  $\text{Li}^7$  et de F). Si la polarisation de  $\text{Li}^6$  est saturée par l'observation, elle peut être immédiatement recouvrée par un nouveau mélange dans un champ nul. En renversant la polarisation de  $\text{Li}^7$  et de F avant le mélange, nous avons pu placer  $\text{Li}^6$  dans un état de température et donc de polarisation négative où il demeure « capturé » pendant de nombreuses heures. Il est intéressant de spéculer sur le fait que dans certains cas favorables, il pourrait être possible de mesurer le moment magnétique et le temps de relaxation spin réseau d'un isotope qui n'est pas observé directement en mesurant ses effets calorifiques sur un autre isotope dont on observe le signal de résonance nucléaire.

Une expérience de tout autre nature démontre que dans le cas de niveaux équidistants, le mécanisme de flip mutuel établit en un temps  $T_2$  une température de spin pour le système de spins. Ce mécanisme permet d'expliquer la saturation complète des niveaux Zeeman de  $\text{Na}^{23}$  dans NaCl produits par une radiation ultrasonique intense à une fréquence double de la fréquence de Larmor.

D'autres résultats expérimentaux et une discussion théorique seront publiés ultérieurement.