Réversibilité et irréversibilité en résonance nucléaire [1]

Autor(en): **Seiden, Joseph**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **10 (1957)**

Heft 6: **Colloque Ampère**

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-738794

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Réversibilité et irréversibilité en résonance nucléaire [1]

par Joseph SEIDEN
Laboratoire d'Electronique et de Radioélectricité, Université de Paris

---

Le problème fondamental de la mécanique statistique des phénomènes irréversibles consiste à éclaircir la contradiction apparente entre la réversibilité par rapport au temps de l'équation de Schrödinger $i\hbar \frac{d\Phi}{dt} = \mathcal{H}\Phi(t)$ qui régit l'évolution des systèmes matériels et l'irréversibilité du comportement macroscopique de ces systèmes, constatée expérimentalement. Nous avons démontré, sans faire intervenir l'hypothèse des « phases réparties au hasard », l'irréversibilité de l'évolution d'un système de spins nucléaires couplés à un thermostat. L'interaction spin-spin a été supposée suffisamment faible pour que le comportement d'un spin donné arbitraire puisse être considéré comme indépendant de celui de ses voisins. Le thermostat a été considéré comme un système classique (et non quantique), ce qui est légitimé par le fait que les énergies mises en jeu sont faibles devant kT. L'énergie de couplage spin-thermostat V (t) doit être considérée comme une fonction aléatoire stationnaire du temps; elle induit des transitions entre les états propres de $H = -\gamma\hbar \vec{H}_0 \vec{I}$, énergie des spins dans le champ $\vec{H}_0$ constant. Les spins sont écartés de l'équilibre thermique avec le réseau par un champ magnétique de radiofréquence. Pour qu'il y ait relaxation à partir de l'état de non-équilibre ainsi créé, les spins doivent vérifier certaines conditions. Des conditions suffisantes sont que les spins soient en nombre infini (pratiquement en nombre N très grand) et que les fonctions d'onde $\psi^{(j)}(0)$ des divers spins j ($j = 1, 2, ..., N$) à l'instant initial forment un ensemble dense dans l'espace des fonctions d'onde des spins individuels. En d'autres termes, la répartition des états initiaux des divers spins doit être suffisamment « uniforme ». Dans ces conditions, la théorie de la relaxation est basée sur un développement de l'opérateur d'évolution en série de puissance de V (t).

On introduit une matrice de relaxation $\sigma(t)$, qui joue ici un rôle analogue aux fonctions de distribution de Boltzmann, mais qui ne doit pas être

confondue avec une matrice de densité. Il est nécessaire de calculer $\sigma(t)$ non seulement au deuxième ordre en V, comme on le fait dans les théories habituelles de la relaxation, mais encore à tous les ordres en V, afin de n'avoir à invoquer la condition de densité des $\psi^{(j)}$ qu'à l'instant initial $t = 0$. Ce calcul rigoureux de $\sigma(t)$ montre que les processus les plus généraux qui contribuent à la relaxation consistent en une succession de processus du deuxième ordre en V, au cours desquels la perturbation V agit par deux fois dans des intervalles de temps inférieurs au temps de corrélation τ_c de $V(t)$. On parvient ainsi à former une « équation de Boltzmann » vérifiée par $\sigma(t)$ à tous les ordres en V

$$
\begin{aligned}
m \mid \beta(t) \mid n) = & -\frac{1}{\hbar^2}\sum_p \int_0^{+\infty} \overline{(m \mid V(u) \mid p)(p \mid V(0) \mid m)}\, e^{i\omega_{mp}u}\, du\, (m \mid \beta(t) \mid n) \\
(1) \qquad & -\frac{1}{\hbar^2}\sum_p \int_{-\infty}^{0} \overline{(n \mid V(u) \mid p)(p \mid V(0) \mid n)}\, e^{i\omega_{np}u}\, du\, (m \mid \beta(t) \mid n) \\
& +\frac{1}{\hbar^2}\sum_p \int_{-\infty}^{+\infty} \overline{(m \mid V(u) \mid p)(p + n - m \mid V(0) \mid n)}\, e^{i\omega_{mp}u}\, du\, (p \mid \beta(t) \mid p + n - m)
\end{aligned}
$$

où

$$\beta(t) = e^{-i\gamma\vec{I}\vec{H}_0 t}\,\sigma(t)\, e^{i\gamma\vec{I}\vec{H}_0 t}\,.$$

Une grandeur macroscopique $\langle G \rangle$ sera donnée par $\langle G(t) \rangle$ = Trace de $[\sigma(t)\, G]$. Ces équations donnent une description complète aussi bien de la relaxation énergétique que de la relaxation transversale. Les moyennes portent sur les N spins et non pas sur le temps. La déduction ne fait appel qu'aux lois de la mécanique quantique, on n'introduit ni espace de phases, ni aucun argument statistique. La théorie est applicable à la résonance nucléaire magnétique dans les liquides et les gaz, et avec certaines restrictions à la résonance dans les cristaux moléculaires, les métaux, etc. Les équations [1] n'incluent pas les fluctuations, c'est l'explication physique du fait qu'il soit nécessaire de supposer $N = \infty$, pour les déduire. Un compte rendu détaillé de ce travail paraîtra au *Journal de Physique* de mars 1957.

1. Seiden, J., *C. R.*, *243*, 1201, 1308 (1956); *241*, 1450 (1955).