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

Artikel: Réversibilité et irréversibilité en résonance nucléaire [1]
Autor: Seiden, Joseph
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738794

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: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://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).