

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 10 (1957)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Effets de relaxation des spins électroniques observés dans la résonance en champ faible  
**Autor:** Beeler, Roland / Béné, Georges / Extermann, Richard  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-738704>

### **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:** 06.07.2025

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

$$\tilde{\varphi}(P, p) = \int_{-1}^{+1} du g(u) [p^2 + u(P, p) + M^2 - i\varepsilon]^{-3} \quad (22)$$

avec :

$$g(u) \rightarrow C(1 - |u|) \quad \text{pour} \quad x = 0. \quad (23)$$

L'insertion de (22) dans (11) et l'utilisation de (23) donnent, après un calcul assez laborieux basé sur la technique des représentations de Feynman, le résultat suivant :

$$\tilde{\eta}(k^2) \rightarrow -C^2 \frac{8\pi^3}{M\rho} \frac{1}{(k^2 + 16\rho^2)^2}. \quad (24)$$

Ce qui donne (21) si  $C = i\pi^{-3/2} (2\rho)^{5/2} M^{1/2}$ . Ce coefficient de normation est identique à celui obtenu par Nishijima [2].

#### BIBLIOGRAPHIE

1. SALPETER, E. E. and H. A. BETHE, *Phys. Rev.*, **84**, 1232 (1951).
2. NISHIJIMA, K., *Prog. of Theor. Phys.*, **10**, 549 (1953); **12**, 279 (1954); **13**, 305 (1955).
3. MANDELSTAM, S., *Proc. Roy. Soc.*, **233**, 248 (1955).
4. WICK, G. C., *Phys. Rev.*, **96**, 1124 (1954).
5. CUTKOSKY, R. E., *Phys. Rev.*, **96**, 1135 (1954).
6. WANDERS, G., *Phys. Rev.*, **104**, 1782 (1956) et *Helv. Phys. Acta* (sous presse).

*Université de Genève.  
Institut de Physique.*

**R. Lacroix et Ch. Ryter.** — *Influence de la structure fine sur la structure hyperfine en résonance paramagnétique.*

(Voir *Archives des Sciences*, vol. 10, numéro spécial (1957).

**Roland Beeler, Georges Béné, Richard Extermann et Dominique Roux.** — *Effets de relaxation des spins électroniques observés dans la résonance en champ faible.*

La forme des courbes de résonance obtenues lorsque la largeur de raie est de l'ordre de grandeur du champ  $H_0$  peut être établie dans le formalisme classique de Bloch en écrivant que la magnétisation globale de l'échantillon se fait suivant la résultante des deux champs appliqués, c'est-à-dire en ne négli-

geant plus l'amplitude relative du champ oscillant  $H_1$  par rapport au champ constant  $H_0$ . Garstens et al. [réf. 1] ont établi ces équations et ont vérifié expérimentalement quelques-unes de leurs conséquences, notamment le déplacement relatif du maximum de la courbe d'absorption en utilisant la résonance électronique du diphényl-picryl-hydrazyl (DPPH).

Il est possible, comme il avait été montré antérieurement aux travaux de Garstens [réf. 2] de déduire beaucoup plus simplement et d'une manière plus générale, le comportement d'un ensemble de dipôles ayant une fréquence propre de résonance, lorsque la période d'un champ (électrique ou magnétique, suivant la nature des dipôles) est de l'ordre de grandeur du temps de relaxation de ces dipôles. Il suffit en effet d'écrire que la fonction caractéristique  $\alpha(t)$  de la relaxation des dipôles [réf. 3] n'a pas la forme d'une simple exponentielle comme dans le cas de Debye, mais celle d'une oscillation amortie

$$\alpha(t) = \gamma e^{-t/\tau} \cos(\omega_0 t + \psi)$$

$\tau$  étant le temps de relaxation et  $\omega_0$  la fréquence de résonance du système,  $\gamma$  et  $\psi$  étant deux constantes arbitraires à déterminer.

La magnétisation complexe, mesurée dans le plan perpendiculaire  $H_0$  de forme générale

$$\chi^* = \int_0^{\infty} \alpha(t) e^{i\omega t} dt$$

lorsqu'une onde de pulsation  $\omega$  est appliquée au système, devient alors:

$$\chi^* = \int_0^{\infty} \gamma e^{-t/\tau} \cos(\omega_0 t + \psi) e^{i\omega t} dt.$$

On en déduit:

$$\begin{aligned} \chi'(\omega) &= \frac{1}{2} \chi_0 \left[ \frac{1 + \omega_0 (\omega + \omega_0) \tau^2}{1 + (\omega + \omega_0)^2 \tau^2} + \frac{1 - \omega_0 (\omega - \omega_0) \tau^2}{1 + (\omega - \omega_0)^2 \tau^2} \right] \\ \chi''(\omega) &= \frac{1}{2} \chi_0 \left[ \frac{\omega \tau}{1 + (\omega + \omega_0)^2 \tau^2} + \frac{\omega \tau}{1 + (\omega - \omega_0)^2 \tau^2} \right]. \end{aligned}$$

Ces équations sont identiques à celles de Garstens et al.; elles nous ont permis de prévoir dès 1952 que si la résonance magnétique était observée dans des conditions telles que la période de résonance propre des dipôles magnétiques est de l'ordre de grandeur du temps de relaxation, les courbes de résonance sont considérablement déformées, et que, en particulier, la position  $\omega = \omega_M$  du maximum de la courbe d'absorption n'est pas exactement à la fréquence propre  $\omega_0$  du système, mais elle s'en écarte suivant la relation

$$\omega_M = \frac{1}{\tau} (1 + \omega_0^2 \tau^2)^{1/2}$$

Cette relation a été vérifiée avec précision par Garstens et al. sur le DPPH. Ce produit a malheureusement le défaut d'avoir une raie de résonance de forme géométrique mal définie. Il était intéressant de reprendre cette vérification sur une substance dont la raie de résonance soit très bien définie géométriquement. L'expérience a été faite dans notre laboratoire sur la résonance électronique de la solution (sodium métallique +  $\text{NH}_3$  liquide). La forme de cette raie est parfaitement lorentzienne, mais sa largeur est de l'ordre de 20 mG, ce qui a nécessité une étude dans la bande de fréquences 250-60 kC/sec.

Le détail des résultats obtenus, qui a déjà fait l'objet de quelques communications préliminaires [4], sera exposé plus tard; signalons seulement le très bon accord de la théorie avec l'expérience, si l'on ne néglige pas, puisque  $H_1$  est de l'ordre de grandeur de  $H_0$  l'effet des termes de saturation.

Dans la référence citée [2] nous avons également prévu la possibilité d'observer les effets de passage rapide en résonance électronique; de tels effets ont été effectivement découverts depuis: les figures classiques de battements, dont les conditions d'observation sont assez simples à établir ont été observées pour la première fois dans notre laboratoire sur le même échantillon (sol. Na +  $\text{NH}_3$  liq.) [réf. 5].

Nous voulons, en terminant, remercier très vivement les physiciens du groupe de M. Schmelzer, à la division PS du CERN, qui en mettant à notre disposition ces échantillons et

en nous informant de résultats préliminaires sur leur étude, ont rendu possible le bon aboutissement de nos expériences.

Elles seront poursuivies, sur la suggestion du professeur Gorter, par l'étude correspondante en champ parallèle.

#### RÉFÉRENCES

1. GARSTENS, *Physical Review*, **93**, 1238 (1954); GARSTENS, SINGER, RYAN, *P. R.*, **96**, 53 (1954); GARSTENS, KAPLAN, *P. R.*, **99**, 459 (1955); BECKER, *P. R.*, **99**, 1681 (1955).
2. BÉNÉ, EXTERMANN, *Archives des Sciences (Genève)*, **4**, 436 (1951); *P. R.*, **97**, 238 (1955).
3. FRÖHLICH, *Theory of Dielectrics*, chap. 3, Clarendon Press, Oxford, 1949.
4. BEELER, ROUX, *Arch. des Sc. (Genève)*, **9**, fasc. spéc. p. 86 (1956); *Helvetica Physica Acta*, **30**, 216 (1957).
5. BEELER, ROUX, BÉNÉ, EXTERMANN, *C. R. Acad. Sc. (Paris)*, **241**, 472 (1955); *Phys. Rev.*, **102**, 295 (1955).

*Université de Genève.  
Institut de Physique expérimentale.*

**E. Geneux et B. Vincenz.** — *Résonance dipolaire magnétique des atomes de cadmium excités optiquement.*

(A paraître ultérieurement.)

**P. Gagnaux, D. Janjic et B. P. Susz.** — *Préparation et spectres infrarouges de complexes formés par le bromure d'aluminium avec des nitrodérivés aromatiques.*

L'objet de la présente recherche est de préciser, au moyen de la spectrographie infrarouge, la nature de la liaison intervenant dans les composés d'addition formés par le bromure d'aluminium avec des composés organiques renfermant le groupe  $\text{—NO}_2$ , fortement électrophile, attirant les électrons  $\pi$  du noyau benzénique. Ce déplacement électronique peut être plus ou moins favorisé par la substitution sur le noyau, tout spécialement en position para, de groupes nucléophiles, tels que  $\text{—CH}_3$ , ou électrophiles, comme  $\text{—Cl}$  et  $\text{—NO}_2$ .