

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 12 (1959)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Note sur la théorie de la diffusion  
**Autor:** Di Fazio, Mauro  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-739081>

### **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:** 29.01.2026

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

**Mauro di Fazio.** — *Note sur la théorie de la diffusion* \*.

I. Le but de cette note est une remarque concernant la théorie de diffusion dans un processus multiple. C'est le cas d'une particule diffusée, dont les produits de réaction peuvent encore présenter une nouvelle réaction.

II. L'Hamiltonien du système est composé de l'énergie  $K$  et des interactions  $V_1$  et  $V_2$ . (Dans nos considérations, nous n'envisageons qu'un processus double.) L'énergie  $K$  est l'énergie en absence de diffusion, et peut être considérée soit comme l'énergie cinétique soit comme la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle entre deux particules. Si nous considérons, le cas d'interaction d'une particule avec deux noyaux, nous appellerons  $H_2$  l'énergie totale du système et  $H_1$  l'énergie totale de la particule incidente et du premier noyau avec lequel cette particule interagit.

L'équation de Schroedinger ( $\hbar = 1$ ) pour le système en interaction est:

$$i \frac{\partial \Psi(t)}{\partial t} = (K + V_1 + V_2) \Psi(t) \quad (\text{II}, 1)$$

et indiquons par  $\Phi_j(t) = \Phi_j e^{-i E_j(t)}$  les solutions de l'état stationnaire (normalisées à 1) de l'équation de Schroedinger en absence d'interaction:

$$i \frac{\partial \Phi(t)}{\partial t} = K \Phi(t) . \quad (\text{II}, 2)$$

III. Examinons le taux de transition au temps  $t = 0$  (deuxième noyau), et soit  $t_0$  le temps pour  $t < 0$ . Dans ce cas, il vaut mieux écrire la fonction  $\Psi(t)$  selon la formule:

$$\Psi_j(t, \tau) = e^{-i H_2(t-\tau)} e^{-i H_1(\tau-t_0)} \Psi_j(t_0) . \quad (\text{III}, 1)$$

Cette forme est similaire à celle pour laquelle:

$$\Psi_j(t) = e^{-t H(i-\tau)} \Phi_j(\tau)$$

considérée par Gell-Mann et Goldberger [1].

\* Ce travail a été effectué grâce aux subsides du Fonds national suisse de la Recherche scientifique.

IV. Cherchons maintenant une forme de la matrice  $S$  dans le cas considéré. Prenons la fonction  $\Psi(t, \tau)$  pour laquelle l'équation de Schroedinger est valable et considérons la représentation d'interaction:

$$\Psi'(t, \tau) = e^{iKt} \Psi(t, \tau) \quad (\text{IV}, 1)$$

$$\Psi'(\tau, \tau) = e^{iK\tau} \Psi(\tau, \tau) = e^{iK\tau} \Psi(\tau) . \quad (\text{IV}, 1')$$

Ceci se réduit à la représentation de Schroedinger aux temps  $t = 0$  et  $\tau = 0$ ; (IV, 1') peut s'écrire:

$$\Psi(\tau) = e^{iK\tau} \Psi(\tau) \quad (\text{IV}, 2)$$

à cause de (IV, 1) pour  $t = \tau$ ,  $\Psi(t, \tau)$  peut s'écrire:

$$\Psi(\tau) = e^{-iH_1(\tau-t_0)} \Psi(t_0) .$$

Le nouveau vecteur d'état satisfait alors l'équation suivante:

$$i \frac{\partial \Psi'(t, \tau)}{\partial t} = [V_1(t) + V_2(t)] \Psi'(t, \tau) \quad (\text{IV}, 4)$$

où

$$V_1(t) + V_2(t) = e^{iKt} (V_1 + V_2) e^{-iKt} \quad (\text{IV}, 5)$$

Introduisons maintenant un opérateur unitaire  $U(t, \tau; t')$  tel que:

$$\Psi'(t, \tau) = U(t, \tau; t') \Psi'(t') \quad (\text{IV}, 6)$$

où:

$$U(t, \tau; t') = U_2(t, \tau) U_1(\tau, t') \quad (\text{IV}, 6')$$

et où  $U_1$  et  $U_2$  sont des opérateurs unitaires. Pour chacun de ces opérateurs, nous avons les équations suivantes:

$$\begin{aligned} \Psi'(t) &= U_2(t, \tau) \Psi'(t) \\ \Psi'(\tau) &= U_1(\tau, t') \Psi'(t') . \end{aligned} \quad (\text{IV}, 7)$$

Ces opérateurs satisfont aux conditions:

$$U(t, t) = 1 \quad (\text{IV}, 8)$$

$$U(t, t_0) = U(t, t') U(t', t_0) . \quad (\text{IV}, 8')$$

L'opérateur  $U(t, \tau; t')$  satisfait aux conditions:

$$U(t, t; t) = 1$$

$$U(t, \tau; t') U(t', t'; t_0) = U(t, \tau; t_0) . \quad (\text{IV}, 9)$$

Maintenant, les équations (IV, 8) donnent:

$$\begin{aligned} U_2(t, \tau) U_2(\tau, t) &= 1 \\ U_1(\tau, t') U_1(t', \tau) &= 1 \end{aligned} \quad (\text{IV, 10})$$

et alors:

$$\begin{aligned} U_2(t, \tau) &= U_2(\tau, t)^* \\ U_1(\tau, t') &= U_1(t', \tau)^* \end{aligned} \quad (\text{IV, 11})$$

en posant:

$$U(t, \tau; t') = U(t'; \tau, t)^* = [U_1(t', \tau) U_2(\tau, t)]^* \quad (\text{IV, 12})$$

nous avons enfin:

$$[U_2(t, \tau) U_1(\tau, t')][U_2(t, \tau) U_1(\tau, t')]^* = 1. \quad (\text{IV, 13})$$

Cherchons, maintenant, une formule finale pour  $U(t, \tau; t')$  et posons par ailleurs:

$$\Psi^*(t, \tau) = e^{-iH_2(t-\tau)} e^{-iH_1(\tau-t')} \Psi^*(t'). \quad (\text{IV, 14})$$

On voit facilement à l'aide de (IV, 1) et (IV, 6) que:

$$\begin{aligned} e^{iKt} e^{-iH_2(t-\tau)} e^{-iH_1(\tau-t')} \Psi^*(t') &= U(t, \tau; t') e^{iKt'} \Psi^*(t') \\ U(t, \tau; t') &= e^{iKt} e^{-iH_2(t-\tau)} e^{-iH_1(\tau-t')} e^{iKt'}. \end{aligned} \quad (\text{IV, 15})$$

Exprimons  $U(t, \tau; t')$  en fonction des grandeurs qui représentent l'interaction:

$$i \frac{\partial U(t, \tau; t')}{\partial t} = [V_1(t) + V_2(t)] U(t, \tau; t') \quad (\text{IV, 16})$$

$$i \frac{\partial U(t, \tau; t')}{\partial \tau} = -U_2(t, \tau) V_2(\tau) U_1(\tau, t') \quad (\text{IV, 16'})$$

$$i \frac{\partial U(t, \tau; t')}{\partial t'} = -U_2(t, \tau) U_1(\tau, t') V_1(t') \quad (\text{IV, 16''})$$

nous avons, en intégrant:

$$\begin{aligned} i \int_{\tau}^{t_0} \frac{\partial U}{\partial t'} dt' &= i U(t, \tau; t_0) - i U(t, \tau; \tau) = \int_{\tau}^{t_0} dT U_2(t, \tau) U_1(\tau, T) V_1(T) \\ i \int_{\tau}^{t_0} \frac{\partial U}{\partial \tau} d\tau &= i U(t, t_0; t_0) - i U(t, \tau; t_0) = - \\ &= - \int_{\tau}^{t_0} dT U_2(t, T) V_2(T) U_1(\tau, t_0) \end{aligned} \quad (\text{IV, 17})$$

pour les deux dernières (IV, 16).

Nous avons encore :

$$\begin{aligned} i \int_t^\tau \frac{\partial U}{\partial \tau'} d\tau' &= i U(t, \tau; t_0) - i U(t, t; t_0) = - \\ &= - \int_t^\tau dT U_2(t, T) V_2(T) U_1(T, t_0) \end{aligned} \quad (\text{IV, 18})$$

c'est-à-dire :

$$i U(t, \tau; t_0) = i U_1(t, t_0) - \int_\tau^t dT U_2(t, T) V_2(T) U_1(T, t_0) \quad (\text{IV, 19})$$

et puisque nous avons :

$$i U_1(t, t_0) = i + \int_{t_0}^t dT V_1(T) U_1(T, t_0) \quad (\text{IV, 20})$$

nous aurons enfin :

$$\begin{aligned} U(t, \tau; t_0) &= 1 - i \int_{t_0}^t dT V_1(T) U_1(T, t_0) + \\ &+ i \int_t^\tau dT U_2(t, T) V_2(T) U_1(T, t_0) \end{aligned} \quad (\text{IV, 21})$$

examinons le calcul des opérateurs (1) :

$$\begin{aligned} U(t, -\infty; -\infty) &= U_2(t, -\infty) = \\ &= e^{iKt} e^{-iH_2t} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\varepsilon}{\varepsilon + i(H_2 - K)} \Phi_k > < \Phi_k \end{aligned}$$

et

$$U_2(0, -\infty) = \Sigma_k \Psi_k^{(+)} > < \Phi_k$$

$$U(\infty, \infty; t_0) = U_1(\infty, t_0) = \Sigma_j \Phi_j > < \Phi_j \frac{\varepsilon}{\varepsilon + i(H_1 - K_j)} e^{iH_1 t_0} e^{-iK t_0}$$

et

$$U_1(\infty, t_0) = \Sigma_j \Phi_j > < \Psi_j^{(-)}.$$

Les fonctions  $\Psi_j^{(+)}$  et  $\Psi_j^{(-)}$  sont les mêmes que celles de Gell-Mann et Goldberger [1].

Nous avons par ailleurs, pour  $t \rightarrow \infty$  et  $\tau \rightarrow -\infty$  :

$$\begin{aligned} U(\infty, -\infty; -\infty) &= U_2(\infty, -\infty) = 1 - i \int_{-\infty}^\infty dT V_1(T) U_1(T, -\infty) + \\ &+ i \int_{-\infty}^\infty dT U_2(\infty, T) V_2(T) U_1(T, -\infty) \end{aligned} \quad (\text{IV, 22})$$

ce qui donne:

$$\begin{aligned}
 U_1(T, -\infty) &= e^{iK T} \sum_j e^{-iE_j T} \Psi^{(+)} > < \Phi_j \\
 V_1(T) U_1(T, -\infty) &= \\
 &= \sum_{i,j} \Phi_i > < \Phi_i | e^{i(E_i - E_j) T} V_1 \Psi^{(+)} > < \Phi_j \quad (\text{IV, 23}) \\
 U_2(\infty, T) &= \sum_k \Phi_k > < \Psi_k^{(-)} e^{iE_k T} e^{-iK T} \\
 U_2(\infty, T) V_2(T) U_1(T, -\infty) &= \\
 &= \sum_k \Phi_k > < \Psi_k^{(-)} V_2 e^{iE_k T} e^{-iE_j T} \Psi_j^{(+)} > < \Phi_j. \quad (\text{IV, 24})
 \end{aligned}$$

Nous aurons alors, pour la matrice S, la formule suivante:

$$\begin{aligned}
 S &= 1 - \sum_{ij} \Phi_i > 2\pi i \delta(E_i - E_j) R_{ij} < \Phi_j + \\
 &+ \sum_{j,k} \Phi_k > < \Psi_k^{(-)} V_2 e^{iE_k T} e^{-iE_j T} \Phi_j > < \Phi_j + \\
 &+ \sum_{j,k} \Phi_k > < \Psi_k^{(-)} V_2 e^{i(E_k - E_j) T} G^{(+)}(E_j) V_1 \Psi_j^{(+)} > < \Phi_j \quad (\text{IV, 25})
 \end{aligned}$$

où nous avons posé pour  $G^{(+)}(E_j)$

$$G^{(+)}(E_j) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{1}{E_j - K + i\epsilon}$$

et pour  $R_{ij}$

$$R_{ij} = < \Phi_i | V_1 | \Psi_j^{(+)} >$$

On peut démontrer que la matrice S est unitaire.

1. GELL-MANN et GOLDBERGER. *Phys. Rev.*, **91**, 398 (1953).

Genève, novembre 1959.

*Institut de Physique.  
Laboratoire de Recherches nucléaires.*

### Séance du 3 décembre 1959

**L. Strassberger, Ed. Frommel et C. Fleury.** — *Actographe électromagnétique et électronique des transmissions sonores ou vibratoires, l'audiovibrographe.*

L'expérimentation de substances agissant au niveau du cortex cérébral porte sur l'effet soit déprimant soit excitant