PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Relation entre le principe des potentiels retardés et le second principe de la thermodynamique*. Note de M. **Olivier Costa de Beauregard**, présentée par M. Louis de Broglie.

Variation de l'entropie d'un système *émetteur macroscopique* + *photons libres* lors d'une émission ou absorption de photons.

Raisonnons sur un exemple volontairement très schématisé. La source macroscopique ($\mathfrak{S}$) sera formée de N atomes identiques, susceptibles seulement de deux niveaux d'énergie $h\nu_0$ et $h\nu_1$, et maintenus rassemblés par une énergie potentielle constante à l'intérieur d'un volume indéformable et fini $\upsilon$. Lors de l'absorption ou de l'émission d'un photon de fréquence $\nu = \nu_1 - \nu_0$, il y a à la fois changement d'état interne et recul de la source; ce dernier n'interviendra pas dans la statistique de notre problème, puisque, dans l'espace vide, tous les états inertiques de $\mathfrak{S}$ sont également probables. Négligeant les variations de vitesse de la source $\mathfrak{S}$ très lourde, prenons un repère galiléen $\mathcal{G}$ lié à son centre de gravité; compte tenu de l'effet Doppler pour les atomes, les niveaux $\nu_0$ et $\nu_1$ sont supposés fins, et leurs largeurs $\delta\nu_0$ et $\delta\nu_1$ définies de manière à n'exclure que des énergies négligeables; soient $g_0$ et $g_1$ les nombres correspondants de degrés de liberté internes de $\mathfrak{S}$, qui, d'après nos hypothèses, sont *fixes* et *finis*.

Appelant $n$ le nombre des N atomes situés sur le niveau fondamental $\nu_0$, enfermons idéalement la source $\mathfrak{S}$ avec $n$ photons $\nu$ dans une enceinte parfaitement réfléchissante pour les photons, de volume très grand V et de contour $\mathcal{C}$ fixe dans $\mathcal{G}$; les desiderata précédents seront satisfaits si l'on suppose idéalement que la paroi $\mathcal{C}$ serait parfaitement transparente au corps macroscopique $\mathfrak{S}$. Dans les états où le niveau $\nu_1$ est vide, les N photons libres sont répartis en moyenne autour de la fréquence $\nu$ suivant un profil qui est une *donnée physique* de notre problème; soit $\delta\nu$ la largeur de cette raie fine définie comme précédemment, $g$ le nombre de degrés de liberté correspondants, qui est proportionnel à V d'après la loi de Rayleigh-Jeans (modifiée pour tenir compte du spin).

A $n$ photons libres correspondent $n$ atomes sur le niveau $\nu_0$ et N — $n$ sur le niveau $\nu_1$; suivant les règles bien connues de la mécanique statistique ([1]), il vient alors, pour la variation $d$S d'entropie liée à l'émission ($dn > 0$) ou à

([1]) *Voir* par exemple L. Brillouin, *Les statistiques quantiques*, I, Paris, 1930, p. 134-138.

l'absorption ($dn < 0$) de $dn$ photons :

$$\frac{dS}{dn} = \mathrm{Log}\,\frac{(N-n)(g+n)(g_0+\varepsilon n)}{n^2[g_1+\varepsilon(N-n)]};$$

$\varepsilon = 0, +1, -1$ suivant que les atomes suivent la statistique classique, celle de Bose ou celle de Fermi (la même sur leurs deux états, puisque les photons sont des « bosons »). La valeur $\bar{n}$ de $n$ qui rend S stationnaire est racine de l'équation

$$(N-n)(g+n) = n^2\,\frac{g_1+\varepsilon(N-n)}{g_0+\varepsilon n}.$$

Supposons que la paroi $\mathcal{C}$ soit arbitrairement lointaine dans toutes les directions : alors $g \to \infty$ et, nécessairement, $n \to N$ : *tout se passe comme si les* N *photons du système « s'évaporaient » à partir d'une phase condensée, « l'état annihilé »*. Ce résultat, joint au fait évident que, dans le cas où V est fini et $\bar{n} < N$, le signe de $dS/dn$ est le même que celui de $\bar{n} - n$, constitue la *déduction statistique de la règle des potentiels retardés*. Le point important est l'association en un produit des nombres $N - n$ des photons annihilés et $g$ des cases allouées aux photons libres; *cette circonstance se retrouvera dans tous les problèmes de rayonnement macroscopique*, ce qui doit permettre l'extension générale de la présente démonstration, moyennant les précautions mathématiques requises.

Notons bien que les états des systèmes que nous considérons sont *fort éloignés de l'équilibre thermique;* la température n'intervient pas, et ne pourrait pas être définie; en revanche, il est nécessaire de recourir à la définition généralisée de l'entropie propre à la mécanique statistique.

Il ressort de ce qui précède que, si nous partageons avec Wheeler, Feynman, Watanabe, l'idée d'une symétrie temporelle complète du phénomène élémentaire, nous n'adhérons ni à la théorie préquantique de l'élimination statistique des ondes avancées des deux premiers auteurs ([2]), ni à la théorie quantique purement subjectiviste de leur non-apparition du troisième ([3]). Nous avons examiné ailleurs les implications épistémologiques de ce genre de problèmes ([4]).

([2]) *Rev. Mod. Phys.*, **17**, 1945, p. 157-181 et **21**, 1949, p. 425-433.

([3]) *Phys. Rev.*, **84**, 1951, p. 1008-1025; *Revue de métaphysique et de morale*, n° **2**, 1951, p. 128-142.

([4]) *Revue des questions scientifiques*, 20 avril 1952, p. 171-199.

(Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. **235**, p. 1193-1194, séance du 17 novembre 1952.)

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.
143083-52 Paris. — Quai des Grands-Augustins, 55.