

S. N. Bose – comptable de photons

« Monsieur,

« J'ai osé de vous envoyer l'article ci-jointe pour que vous la lisiez et afin d'avoir votre opinion. Vous verriez que j'ai essayé de déduire le coefficient dans la loi de Planck indépendamment de l'électrodynamique classique. »

En 1924, Satyendra Nath Bose, âgé de 30 ans et professeur de physique à l'Université de Dacca, a envoyé, avec hésitation, au célèbre Albert Einstein, un article de quatre pages sur une nouvelle façon d'arriver à la formule de Max Planck pour le spectre de rayonnement d'un objet chaud. Le résultat a été la découverte d'un principe fondamental aux processus naturels, un principe qui a joué un rôle central dans le développement ultérieur de la physique.

La question de la répartition des rayonnements émis d'un objet chaud avait dérouté les scientifiques pendant un bon quart de siècle. On savait alors que la lumière et la chaleur rayonnée étaient des formes d'ondes électromagnétiques. Alors que la lumière visible était à des longueurs d'onde que l'œil pouvait détecter, les ondes de rayonnement de chaleur étaient plus longues, plus longues que les ondes de lumière rouge, dans la région infrarouge.

Les scientifiques ont pu analyser ces ondes de chaleur en même façon qu'on le fait avec la lumière blanche, en utilisant un prisme. Ils ont découvert qu'un objet chaud irradiait de la chaleur non seulement sur une longueur d'onde fixée, mais sur une plage de longueurs d'onde, avec un rayonnement de pointe à une longueur d'onde particulière. Ils ont constaté que ce pic se déplace à des longueurs d'onde plus courtes, qui est, plus proche de la lumière visible, ainsi que l'objet devient plus chaud. Nous pouvons facilement imaginer que cela est vrai, car nous savons que des objets très chauds deviennent « rouges » et ils commencent à rayonner dans la région visible. Et si les objets deviennent encore plus chauds, leur couleur change, progressivement, vers la couleur blanche !

Et le besoin actuel, c'était de trouver un bon processus théorique à calculer combien d'énergie serait rayonnée à quelle longueur d'onde par un objet à une température particulière.

Ce n'était pas le seul problème en physique qui troublait les scientifiques à l'époque. Jusqu'à la fin du XIXe siècle, il semblait que nous étions sur le point de comprendre presque tout de la nature. Newton avait formulé les lois du mouvement et la façon de bouger de corps célestes était comprise. Les règles suivies par les gaz, lorsqu'ils étaient chauffés ou comprimés, avaient été élaborées. La machine à vapeur et le moteur à l'essence avaient été inventés. L'électricité et le magnétisme étaient compris et l'ampoule électrique, le téléphone et le sans-fil étaient devenus des réalités. Il semblait que l'on n'y a restait rien de comprendre du monde physique.

Mais bientôt, les développements troublèrent cette vision bien satisfaite. La découverte de la radioactivité de Mme Curie, d'un nouveau type de rayonnement émergeant de certains métaux et défiant l'explication. Puis vint le renversement virtuel de notre compréhension de la vie par Einstein. Einstein a redéfini nos concepts mêmes de temps et de mesure. Thompson et Rutherford ont montré que l'atome, lui-même, consistait en minuscules particules avec une charge négative autour d'un noyau massif et chargé positivement. La théorie existante ne pouvait pas expliquer comment telle une chose pourrait exister. Les deux parties ne seraient-elles pas attirées, l'un à l'autre, et neutralisées ? Si les électrons circulaient autour du noyau, comme un système solaire en miniature, les particules chargées ne rayonneraient-elles pas d'énergie et ne ralentiraient-elles pas?

La percée est venue sous la forme d'une réponse à l'ancien spectre de rayonnement des objets chauds. Pour comprendre la façon dont les objets irradiaient la chaleur, les scientifiques avaient supposé qu'ils contiennent des millions et des millions de minuscules oscillateurs élémentaires, qui vibraient et irradiaient de l'énergie. Quand les objets étaient plus chauds, les vibrations étaient plus énergiques, et donc, le rayonnement. La « couleur », ou la longueur d'onde à laquelle la plus grande partie du rayonnement a été émise, a également se levé sur le spectre lorsque l'objet est devenu plus chaud. Alors que l'objet rayonnait de l'énergie de cette façon, il absorba également une certaine énergie qui était dégagée par d'autres objets de l'environnant. Si l'environnement était plus frais, l'objet perdrait plus de chaleur qu'il gagne et allait refroidir. Sinon, il gagnerait plus de chaleur qu'il rayonnait et se réchauffait. Après quelque temps, la température se stabiliserait lorsque la quantité de chaleur perdue serait égale à la quantité de chaleur absorbé.

L'étude de ces systèmes, constitués d'un grand nombre de composantes, qui menaient l'ensemble à un comportement « moyen » et stable, a été à la base des théories des gaz. Des techniques très précises et intelligentes ont été développées pour l'étude de ces théories au cours du siècle précédent.

Les scientifiques de l'époque ont d'abord traité un objet comme si ses oscillateurs élémentaires vibraient avec toutes les énergies possibles. A partir de là, compte tenu de l'énergie totale, ils ont déterminé à quelle énergie le plus d'oscillateurs seraient groupés, quelle fraction des oscillateurs serait à une fréquence légèrement inférieure et une fréquence légèrement plus élevée, et ainsi de suite. Cet exercice les a aidés à déterminer la fréquence à laquelle l'objet rayonnerait le plus et combien il rayonnerait aux fréquences plus hautes et plus basses. C'était comme le cas de décider combien les différents groupes de personnes gagneraient et dépenseraient, en tenant constant le revenu total du pays :

La première loi à formuler était la loi de Wien et elle semblait de s'accorder avec l'expérience, jusqu'à une limite. Il a donné la répartition correcte de l'énergie

rayonnée pour une gamme de fréquences, mais est sorti de la marque en dehors de la plage. Une meilleure loi était la loi de Raleigh, puis la loi de Raleigh-Jeans. Ces lois fonctionnaient pour une partie du spectre de rayonnement et non pas sur toutes les longueurs.

C'est alors que le fameux Max Planck devina que si les oscillateurs ne pouvaient vibrer à tous les niveaux d'énergie, mais seulement à des niveaux très rapprochés, mais séparés par des « pas », appelés « quanta ». Et dès que cette condition est appliquée, les équations commencent à fonctionner sans fautes. Avec cela, Planck avait résolu le problème de rayonnement d'objets noirs et tombé aussi la « théorie quantique ».

La notion révolutionnaire, que la nature ne se bouge pas de façon continue, mais par étapes, a enflammé le monde de la physique. Niels Bohr a saisi l'idée et a proposé son modèle de l'atome et Einstein a proposé que le rayonnement électromagnétique n'était pas la vague pure mais des paquets d'énergie. Ces paquets, plus tard nommés photons, ont été rapidement détectés et les manuels de physique ont été réécrits.

C'est à ce moment que Satyendra Nath Bose a écrit la lettre inspirée au célèbre Albert Einstein.

Satyendra Nath Bose est né en 1894 à Kolkata, l'aîné des sept enfants de Surendranath Bose, un ingénieur dans la société du chemin de fer de l'Est-Inde. Le jeune Satyendra Nath était un érudit aguerri et capable et a impressionné ses professeurs avec son intelligence et son industrie. Il est allé au Presidency Collège, à Kolkata, où il a eu le talentueux Jagdish Chandra Bose comme enseignant et de dynamiques étudiants comme collègues, Meghnad Saha est un d'eux. Après avoir obtenu son diplôme de maîtrise en 1915, lui et quelques autres, motivés pour servir la publique ainsi que par le nationalisme, ont pressé pour l'ouverture d'un centre de physique avancée et de mathématiques à l'Université de Kolkata. En 1916, cet effort a réussi et S N Bose y a commencé travailler comme conférencier en physique pour les cinq années prochaines.

En 1921, il est nommé professeur de physique à l'Université de Dacca, qui faisait partie de la province du Bengale en Inde à l'époque. À Dacca, Bose a continué le processus commencé à Kolkata, d'améliorer des facilités pour l'étude de la physique. Un des domaines clés a été la disponibilité des meilleurs manuels et des documents les plus récents de la recherche. Car plusieurs d'eux n'étaient pas en anglais, mais en français ou en allemand, Bose a arrangé pour qu'ils soient traduits. C'est dans le cadre de cet effort que Bose a traduit les articles d'Einstein sur la théorie générale de la relativité. Les droits de traduction, en fait, avaient été donnés à la société Methuen d'Angleterre, qui protesta. Mais Einstein lui-même a accepté et la traduction a été acceptée à pataître.

Bose s'est tenu au courant des derniers développements de la physique dans le monde entier, en particulier dans la zone passionnante de « rayonnement du corps noir », où l'étude intense a eu lieu. Comme nous venons de le voir, Planck avait étudié les objets

chauds comme une collection d'oscillateurs et avait obtenu une expression exacte du spectre de rayonnement en proposant que les niveaux d'énergie des oscillateurs soient « quantifiés ». Einstein n'était pas tout à fait satisfait de la façon dont cela a été fait et a introduit un raffinement de dire que le rayonnement lui-même consistait en « quanta » d'énergie, les photons. Il considérait le problème non comme un oscillateur, mais comme une cavité remplie de photons qui ne cessaient d'être absorbés et émis par les parois de la cavité. Avec ce modèle pour le corps rayonnant, et avec l'aide de la loi de Wiens, Einstein a pu arriver à l'expression de Planck pour la distribution de l'énergie rayonnée.

Einstein avait utilisé des méthodes statistiques semblables à celles utilisées pour dériver les lois des gaz, en traitant les photons dans la cavité de la même manière que les molécules de gaz dans un conteneur. La théorie cinétique des gaz, ou la répartition statistique des énergies d'un certain nombre de particules dans un conteneur, avait été développée avec une certaine sophistication. Dans le cas d'un gaz, les millions de molécules du gaz partagent l'énergie totale. Cela pourrait se produire de plusieurs manières. Par exemple, quelques molécules pourraient se déplacer très, très vite, tandis que le reste, qui devait se contenter de l'énergie restante, serait léthargique. Ou bien, certaines molécules peuvent être très lentes, conduisant les autres à se déplacer plutôt vite. La manière de calculer la répartition la plus probable des énergies était de tenir que la plupart de particules auront l'énergie ou il y aurait le maximum de manières de dispositions différentes de particules, compte tenu de la myriade de particules impliquées, de la façon à conserver l'énergie totale.

Le nombre de manières qu'un groupe de particules peut avoir la même énergie dépend le nombre de manières que c'est possible d'arranger la group. C'est toujours plus probable qu'une particule particulière se trouve avec l'énergie ou il y a un grand nombre manières de distributions avec la même énergie. Ceuillir un boule rouge d'un sac qui contient de boules rouges et verts est un cas pareil. Si on a dix boules rouges et trois boules verts, c'est plus probable que c'est un boule rouge qui va être choisi.

Cette ligne de pensée nous amène à la distribution de molécules. Dans le cas des molécules, si nous avons dix molécules en tout et nous voulons que seulement deux molécules utilisaient une plus grande partie de l'énergie, de combien de façons pouvons-nous créer de groupes de deux à partir des dix? On peut calculer qu'il y a quarante cinq façons de former des paires à partir d'un groupe de dix. Dans le cas où trois molécules partagent l'énergie, à la place de seulement deux, nous trouvons qu'il y a cent vingt façons de créer de groupes de trois à partir d'une population de dix. Et pour de groupes de quatre, il y a deux cent dix façons et deux cent cinquante-deux façons de former de groupes de cinq, à partir de dix ! Le nombre commence à tomber, après cinq, qui est la moyenne – il n'y a que deux cent dix façons de créer de groupes de six, cent vingt façons de créer de groupes de sept et que quarante-cinq façons si on avait de groupes de huit. On peut voir que c'est de cinq molécules qu'on peut avoir le maximum de groupes.

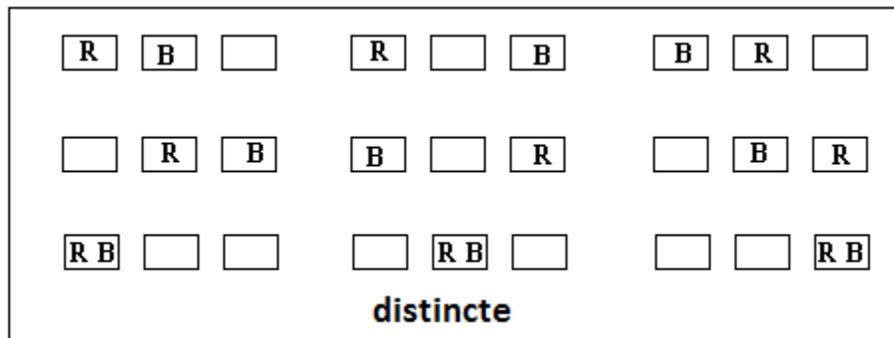
Dans le cas des milliards de particules, même dans un petit volume de gaz, le nombre de manières de distribution avec la « moyenne » des énergies sont tellement grand que nous avons le comportement « uniforme » des gaz, ou nous ne rencontrons jamais de ondulations de la température, et nous rencontrons toujours le comportement que nous

connaissions le mieux. C'est pourquoi, compte tenu d'un volume de gaz à une certaine énergie, le gaz se comporte de la même manière partout, et ne jamais se termine avec les molécules rapides se regroupant sur un côté, pour rendre une partie de la volume plus chaud!

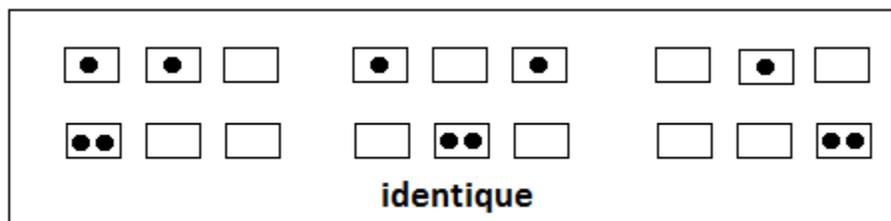
Ainsi Einstein avait utilisé des méthodes semblables à celles-ci pour traiter son «gaz» de photons et avait réussi, avec un peu d'aide de la loi de Wein, à arriver à la relation de Planck. Une hypothèse implicite dans la méthode utilisée avec les gaz est que chaque molécule, en principe, pourrait être identifiée, de sorte que les différentes combinaisons de vitesses de particules, avec la même énergie, pourraient être considérées séparées et comptées.

Bose avait suivi cette recherche et il a estimé que ce qu'Einstein avait fait était un peu artificiel, car il dépendait de la loi de Wien. Cette loi a été une entrée externe, et non une conséquence naturelle des photons considérés comme se comportent comme un gaz. Il a donc conçu une autre façon d'arriver à la formule de Plank, mais sans faire des suppositions qui ont soulevé des questions sur leur validité.

Ce que Bose a fait était de faire le raffinement que les photons dans son gaz, contrairement à l'hypothèse pour les molécules dans un gaz réel, étaient identiques ou indiscernables. Cela fait immédiatement une grande différence dans les façons dont les distributions fonctionnaient. Prenons l'exemple d'une boule rouge et une boule bleue réparties en trois compartiments. Ceci est possible de neuf façons, comme au-dessous :



Mais si les boules étaient toutes les deux de la même couleur, alors l'ensemble des première et troisième, et les distributions quatrième et sixième, ci-dessus, deviennent les mêmes. Maintenant, il n'y a que six distributions qui sont possibles, comme ceci:



Ce que Bose faisait était de calculer un nombre pour tous les états d'énergie possibles qui étaient possibles dans le récipient du gaz photon, quelque chose comme les

compartiments dans l'exemple, et de compter en combien de façons les photons, comme les boules dans L'exemple, en pourrait être distribué. Reconnaisant que les photons étaient identiques était crucial à sa ligne de pensée.

Une autre chose que Bose prévoyait était que le nombre de photons, contrairement au nombre de balles, n'était pas fixé. Les photons pourraient se former à volonté, sous réserve seulement de la condition que l'énergie totale de tous les photons restait constante. Donc, avec le détail que chaque photon pourrait exister sous deux formes de l'orientation de vibration - « gaucher » ou « droitier », Bose a calculé la répartition la plus probable des énergies et il est arrivé à la même result Plank!

Un raffinement important a été introduit ici, qu'outre qu'il y ait des paquets ou des particules d'énergie, les photons, ces photons se comportaient comme des entités identiques et indiscernables! Tel était le travail que Bose, en hésitant, a soumis à Einstein le quatre Juin 1924.

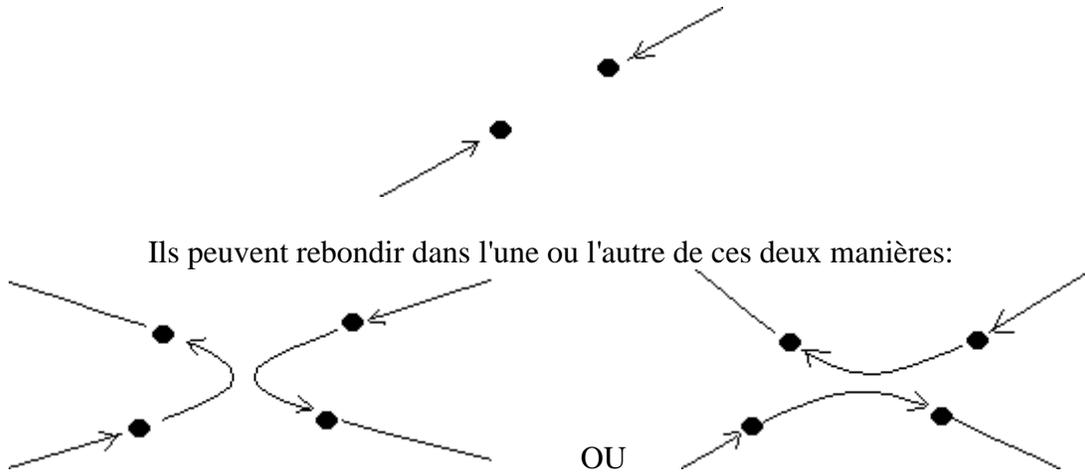
Ce n'est pas évident que Bose avait anticipé les conséquences capitales de son éclair de perspicacité dans ce papier qu'il avait transmis à Einstein. Le Philosophical Magazine avait déjà refusé sa publication et Bose espérait maintenant qu'Einstein en trouverait plus de valeur et accepterait de le faire publier dans un journal allemand, au moins pour la raison que le papier est par l'auteur qui avait traduit certains du travail du maître en anglais !

C'est au crédit d'Einstein qu'il a lu attentivement ce papier d'un scientifique obscur en Inde et a vu immédiatement que ce que Bose a dit avait la plus grande signification. Il a traduit le document en allemand lui-même et l'a fait publier dans Zeitschrift fur Physik, avec son propre commentaire au qui expliquait son importance. Quelques semaines plus tard, Einstein a écrit une suite au papier de Bose et a suivi avec un travail important dont le fondement était le travail de Bose.

Le document a déclenché une cascade de recherches dans le monde entier. L'idée du quantum avait à peine pris racine dans le monde de la physique. Ce fut un raffinement dans la pensée scientifique, qui ne devint significative qu'à de très petites dimensions. Mais cette différence à très petite échelle est vitale pour une compréhension correcte de la nature à plus grande échelle. Une grande partie de l'avancement dans le monde moderne - transistors, lasers, puissance nucléaire, en tant qu'exemple - a suivi de cette compréhension d'effets quantiques.

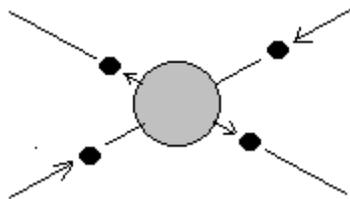
Une des caractéristiques qui se trouvent à l'échelle atomique, c'est que ce n'est pas possible d'identifier exactement la position d'un objet - plus l'objet est petit, plus l'incertitude de sa position est grande. Lorsque nous traitons de grandes entités, comme des boules de billard ré bondissantes, nous pouvons clairement discriminer une boule de l'autre. Ce modèle de gaz «billard-ball», où les molécules d'un gaz étaient considérés distinguables, a réussi avec les lois du gaz, parce que les molécules sont encore assez grandes pour être distinguées, en principe. Mais lorsque nous entrons dans le monde des particules subatomiques, ou photons, le flou de la position des particules nous empêche de savoir quelle particule est qui, après une collision. Un exemple est dans l'image:

Pensez que deux boules s'approchent, de sorte qu'elles peuvent entrer en collision et rebondir.



Et en principe, nous pourrions dire quelle balle est qui après la collision

Mais si nous nous occupons de particules subatomiques, les positions sont floues au moment de l'impact, comme ceci:



Et l'identité des particules, après l'impact, est perdue!

Cette incertitude de position était un aspect du comportement mécanique quantique pour la compréhension duquel par de scientifiques contemporains il fallait encore quelques années. Nous pouvons voir qu'une fois qu'une telle chose concernant de très petites particules est entendue, il s'ensuit que les particules doivent être traitées comme indiscernables. La signification de la découverte de Bose est que sa vision selon laquelle les photons suivraient les statistiques de particules indistinguables, a prévu la même conclusion où la mécanique quantique est venue plus tard. La découverte de Bose que de choses se comportaient parfois comme de «particules identiques» a aidé d'autres à résoudre de point d'interrogation du principe de l'incertitude et de la mécanique quantique et a beaucoup contribué à développer un cadre théorique sans contradictions.

Le développement des idées de Bose, d'abord par Einstein lui-même et puis par beaucoup d'autres, est devenu la pierre de fondation d'un champ nouveau, qui s'appelle les statistiques quantiques, une pierre angulaire de la physique qui suivait. Bose, et plus tard Einstein, avaient travaillé sur une catégorie des particules fondamentales, qui ont été plus tard nommées Bosons, et les règles pour ces particules sont connues sous le nom de

statistiques de Bose-Einstein. Certaines propriétés remarquables pourraient être prédites pour ces particules, l'une d'elles étant que, à d'énergies faibles, tous les particules tendent à avoir le même état d'énergie; tout comme de molécules de vapeur, lorsqu'elles se refroidissent, en se condensant pour former de l'eau : Einstein a dit que les Bosons, lorsqu'ils sont amenés à des énergies inférieures, se condenseraient en cours de l'essai que tous aient le même niveau d'énergie. Une conséquence de ceci est la possibilité de la superfluidité, ou la propriété par laquelle une substance coule sans frottement, parce que les particules adjacentes ont la tendance à suivre, plutôt que d'opposer une particule en mouvement!

Cela a été réalisé, quelques années plus tard, quand l'hélium dont l'atome est un boson, pourrait être refroidi à une température suffisamment basse!

S N Bose est ainsi entré dans les rangs de personnages grands du monde de la physique. Il a été honoré par plusieurs universités avec des doctorats et des degrés. En 1926 il a été nommé chef du Département de Physique à l'Université de Dkaka. La partition de l'Inde a été un coup pour lui, parce qu'il se croyait citoyen de tout le Bengale. En 1945, il est nommé *Professeur de Khaira* de physique à l'Université de Kolkatta, poste qu'il occupait jusqu'à 1956. En 1958, il est élu membre de la Royal Society.

Comme beaucoup de très talentueux, S N Bose avait d'intérêts variés. Son travail scientifique couvrait des domaines aussi éloignés que la géologie et la biochimie. Il était un professeur doué et dévoué à ses élèves. Les langues lui venaient naturellement et il avait de profonds intérêts littéraires. Il a bien essayé et réussi d'introduire l'enseignement de la physique en bengali aux étudiants de troisième cycle. Il a servi comme membre du Rajya Sabha et a joué un rôle dans l'élaboration de la politique scientifique du pays.

Il est mort à Kolkata, en 1974, à l'âge de quatre-vingts ans.

-----X-----