

Une place au soleil pour Meghnad Saha

Le soleil et les étoiles ont été de choses d'émerveillement et de sujets de conjectures depuis les temps primitifs. Elusives, distants, périodiques et régulières comme rien d'autre, les cieux ont évoqué naturellement d'images des dieux et de forces qui contrôlaient la vie des personnes sur la terre !

Ce fut après Galilée, Copernic, Kepler et Newton ont fait leurs découvertes minutieuses et inspirées, afin d'expliquer la magie du mouvement des planètes, en termes de lois qui fonctionnaient sur la terre, que les cieux ont été examinés avec un œil scientifique.



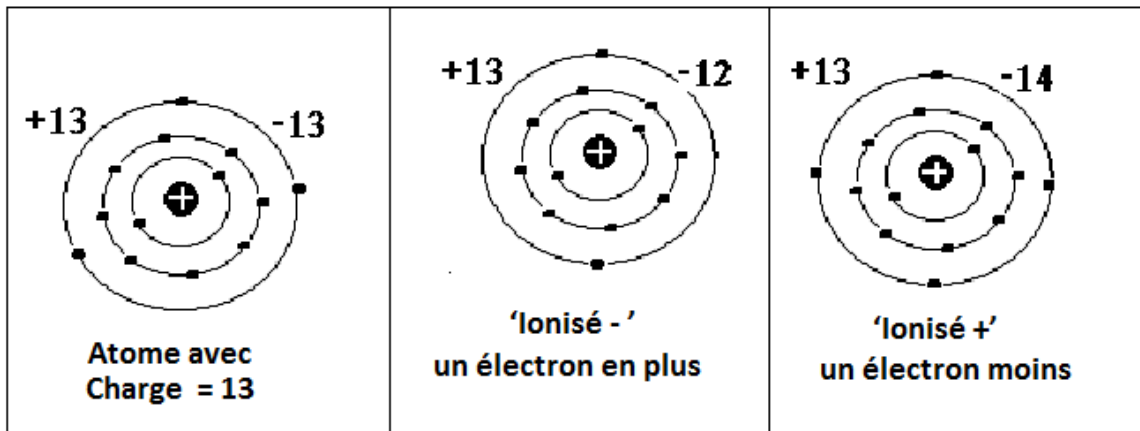
Le début du 20^e siècle a vu d'importantes découvertes scientifiques. La structure de l'atome est expliquée, et aussi ce qui arrive quand un atome émet de la lumière. Il a été découvert que la pression et de la température d'un gaz est à cause d'atomes et des molécules. Avec ces nouvelles connaissances et à l'amélioration de la qualité et de la puissance des télescopes, les scientifiques ont commencé à examiner sérieusement les processus qui se déroulent dans le soleil et dans les étoiles, et la discipline de l'astrophysique est née. Ce fut dans cette période passionnante que Meghnad Saha, de l'Université de Calcutta, a fait de travail important qui a aidé à établir les bases théoriques solides de l'astrophysique.

Au début du 20^e siècle, on comprenait que les étoiles, y compris le soleil, sont formés par l'action de la gravité entre les milliards d'atomes dans un vaste nuage de gaz, principalement de l'hydrogène. Comme le gaz est comprimé, sous les énormes forces qui tiraient tous vers le centre, le gaz se chauffe à des millions de degrés. Sous la chaleur intense, d'atomes d'hydrogène ont été serrés si fortement, qu'ils se fondraient en l'hélium, avec la sortie d'une immense énergie. Le feu nucléaire intense pousse l'expansion à nouveau, jusqu'à ce que le gaz refroidisse, ce qui le comprime encore, et ainsi de suite.

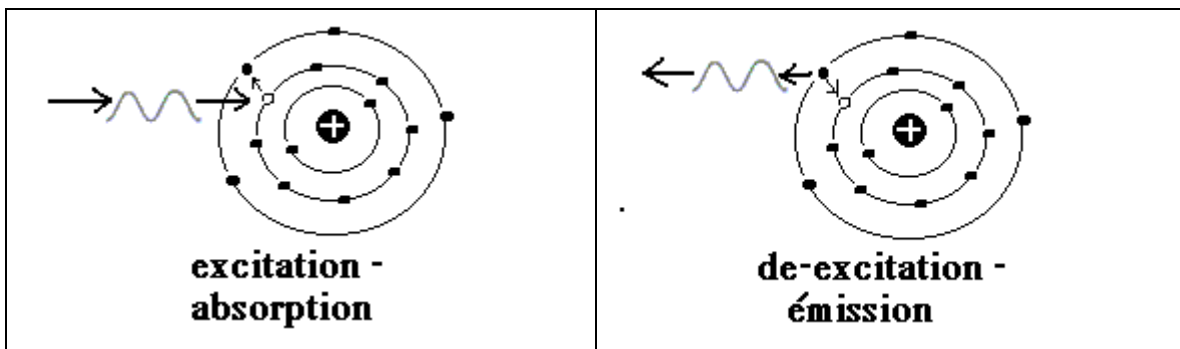
Au cours des âges, ce processus de fusion d'atomes menait à la création des éléments aussi plus lourds. On a détecté tous les éléments dans le soleil et les étoiles. Comment détecter la présence d'un élément dans une étoile ? C'est en examinant la lumière qui vient de l'étoile et la recherche des signes révélateurs des éléments dans le spectre de la lumière, quelque chose comme les empreintes digitales de l'élément !

Atomes des éléments sont constitués d'un noyau lourd, qui contient des protons, qui porte de charge positive (et neutrons neutres). Le noyau est entouré d'un nuage d'un nombre égal d'électrons chargés négativement. Les électrons sont très petits et pourraient être considérés comme en orbite autour du noyau, comme les planètes tournent autour du soleil.

Les électrons sont répartis en « coquilles » autour du noyau. Combien d'électrons vont dans chaque coquille dépend par certaines règles. Une règle importante est que l'enveloppe extérieure ne peut pas avoir plus de huit électrons. Si l'élément a un électron supplémentaire, l'électron donne naissance à une nouvelle coquille avec qu'un électron, et ainsi de suite. Atomes se trouvent le plus stable et efforcerons donc d'avoir deux ou huit électrons dans l'enveloppe extérieure. Comment peuvent-ils faire cela ? Eh bien, en combinaison chimique, l'élément avec trois électrons peut « prêter » un électron à un autre élément qui a sept dans l'enveloppe extérieure, de sorte que les deux atomes aient deux et huit dans leurs enveloppes extérieures. Mais comme le nombre d'électrons est maintenant différent de la charge sur le noyau, l'atome serait *chargé*, ou dans un état *d'ionisation*.

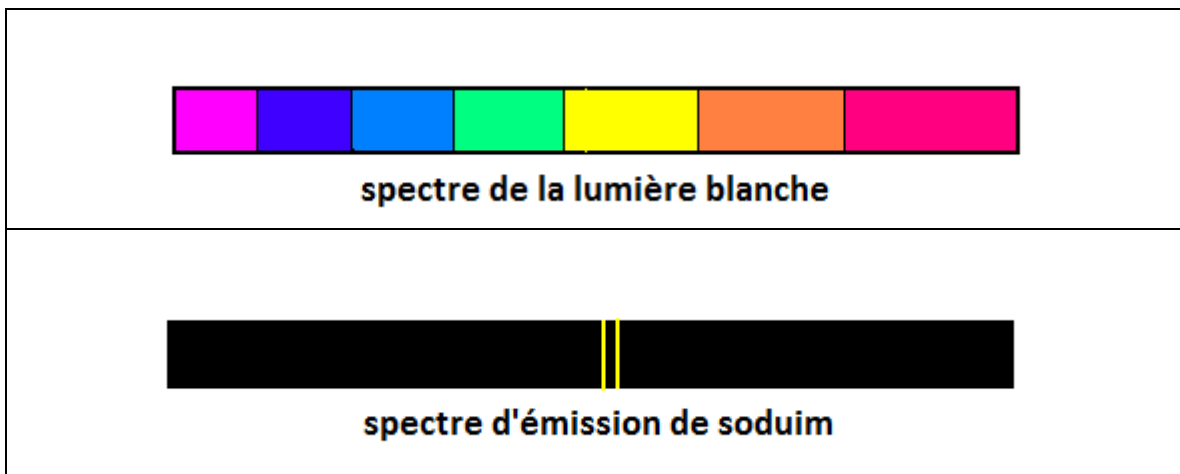


Tous les électrons dans les coquilles ont des énergies, qui les soutiennent dans leurs coquilles, et à l'écart du noyau, ce qui les attire. À la raison que les électrons dans les coquilles extérieures ont tirées plus loin du noyau, ces électrons ont plus d'énergie que les électrons dans les coquilles intérieures. Electrons peuvent donc être promus temporairement à des coquilles plus élevées, en étant donné un peu d'énergie grâce à une certaine forme de *coup*, disons l'impact d'une particule de lumière, qui a l'énergie qui sépare les deux coquilles. Cet état d'énergie plus élevée est temporaire et l'atome serait spontanément désexciter, en émettant un photon, ou particules de lumière, de la même différence d'énergie entre les deux états.



C'est cette différence d'énergie entre les coquilles, caractéristique pour chaque atome, qui décide la longueur d'onde particulière, ou la couleur, des lumières que l'atome émet. Les couleurs émises par des éléments communs peuvent être facilement vues. Par exemple, le sodium a une émission jaune caractéristique, que nous pouvons voir juste en saupoudrant un peu de sel (chlorure de sodium) à la flamme de gaz. Si nous aspergions de la craie, au contraire, nous verrions une flamme rouge. Ceci est parce que la craie est le carbonate de calcium et le rouge est la couleur caractéristique de calcium. La chaleur de la flamme ne crée que la plus facile d'excitation de l'atome et ne montre que les couleurs des transitions de base. Beaucoup d'autres couleurs sont caractéristiques s'émissionnent avec une excitation plus vigoureuse de l'atome, comme dans l'arc électrique ou par des étincelles.

La lumière émise par tous les éléments, sous excitation, a été analysée en utilisant des prismes sensibles, qui divisent la lumière en ses constituants. Dans le cas de la lumière du soleil, qui a toutes les couleurs, le spectre est une série de bandes continues de lumière. Mais dans l'émission d'atomes, ce n'est que des couleurs spécifiques qui sont présentes et le spectre est un ensemble de lignes, chaque ligne représentant la longueur d'onde caractéristique de l'atome de son origine.



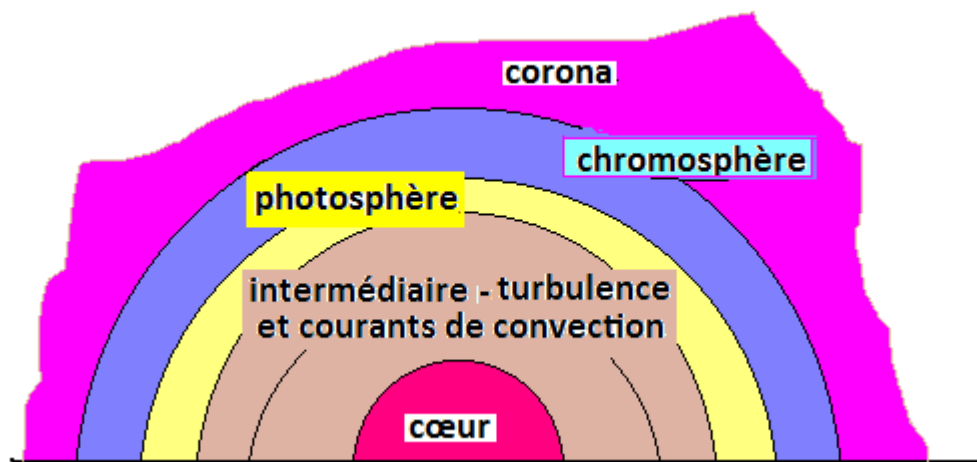
Tout comme d'atomes peuvent émettre à des couleurs caractéristiques, en désexcitation, ou en descendant d'un état excité à un état bas, d'atomes peuvent absorber d'énergie de la lumière de mêmes couleurs, pour monter d'un état bas à un état excité. Ainsi, si la lumière blanche, qui a toutes les couleurs, passe à travers d'un gaz d'une substance qui a des couleurs d'émission particulières, ces mêmes couleurs seraient absorbées par le gaz, et émises de nouveau, dans toutes les directions. Et, si nous étudions le spectre des rayons de lumière, originaux, émergeant du gaz, nous trouverions des lacunes où les raies d'émission devaient apparaître. Les scientifiques ont créé des cartes des bandes d'absorption de tous les éléments. Une image du spectre est devenue, actuellement, un indicateur sensible et fiable de quels éléments sont présents dans le milieu à travers duquel la lumière est venue.

Les spectres d'émission et d'absorption des étoiles sont devenus d'outils d'enquête importants, qui révèlent les détails de la structure du soleil, qui aident à affiner notre compréhension.

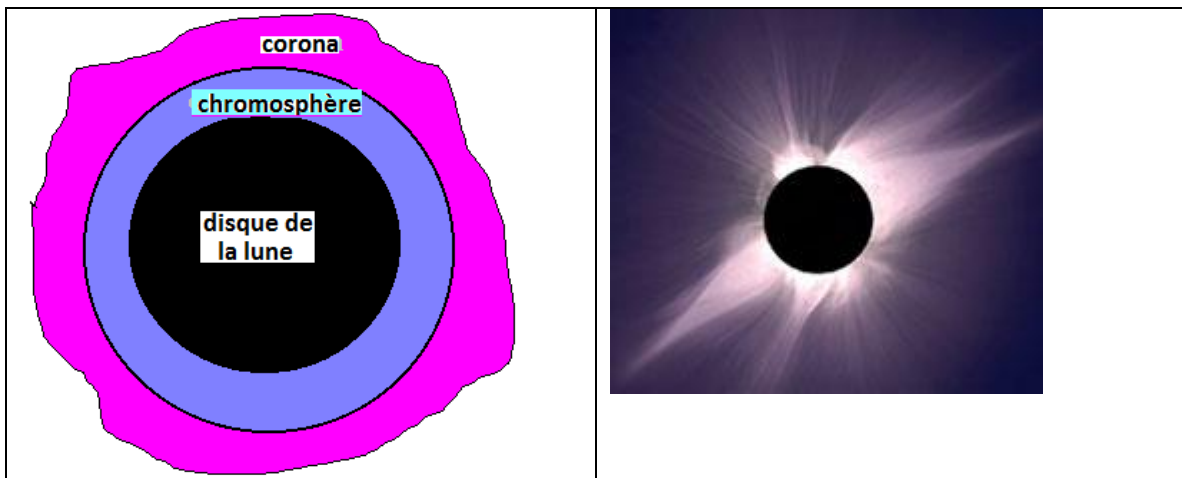
En dehors de cette émission de lumière à des longueurs d'onde particulière en raison de désexcitation des électrons, d'objets chauds émettent, en plus, un spectre continu, à cause de la vibration de leurs éléments constitutifs. C'est cette radiation de spectre continu, la lumière blanche que le soleil rayonne, de sa photosphère, sa partie visible. Mais quand le spectre de cette lumière est étudié en détail, on voit que le spectre est traversé par des lignes noires ! Ceci est parce que les éléments dans l'atmosphère extérieure du soleil ont absorbé les couleurs particulières. Ce type d'analyse a montré que le soleil contient tous les éléments connus sur la terre et aussi que presque toutes les étoiles sont constituées des mêmes éléments que notre soleil !

En revenant à la structure du soleil, on le considérait, comme nous l'avons dit, d'être composé d'un gaz se comprimant sous sa propre pression gravitationnelle, compensée par l'impulsion de se dilater, à cause de la chaleur produite au cœur. Le comportement était donc comme notre propre atmosphère, avec la pression à cause de l'atmosphère étant plus grande quand nous approchons du noyau et moins vers la périphérie. La température, aussi, serait plus grande près du noyau et moins à la périphérie.

Aujourd'hui, c'est bien compris que le soleil se compose d'un cœur très chaud, alimenté par des réactions nucléaires, entouré par une région intermédiaire de turbulence et de courants de convection. En dehors de cette région se trouve la photosphère, qui est la région que nous pouvons voir. Au-delà de la photosphère est la chromosphère, une région de gaz mince, et pourtant au-delà est la corona. Ces régions extérieures ne sont normalement pas visibles, en raison de l'éblouissement de la photosphère et ce n'est que pendant une éclipse solaire totale qu'ils peuvent être entrevus.



Lors d'une éclipse, le disque de la lune recouvre la photosphère brillante et permet de visualiser ou de photographier les régions extérieures comparativement moins intenses. Dans le cas normal, ce que nous voyons est le spectre d'absorption de la chromosphère. Mais dans une éclipse, avec la photosphère coupée, la lumière d'émission de la photosphère devient visible - un spectacle qui est le plus révélateur !



Au cours de ce qu'on appelle la «photographie flash» de la chromosphère et de la couronne (corona), pendant les courtes minutes où ils sont visibles, on a fait une découverte remarquable. Les tableaux montraient le plus haut spectre d'émission d'énergie du calcium, un élément quarante fois plus lourd que l'hydrogène, mais aucun spectre d'émission de l'hydrogène lui-même. Et il y avait beaucoup d'autres éléments dont les spectres d'absorption manquaient dans la chromosphère !



On a donc dessiné une carte du spectre des différentes régions de la chromosphère et on a vu que l'hydrogène semblait d'être présent jusqu'à une hauteur d'environ 8000 km, mais le calcium était là à 14 000 km. Et de plus, les lignes de calcium vues à cette haute altitude étaient les émissions d'énergie plus élevées, qui n'étaient attendues qu'à des températures plus élevées !

La découverte a confondu la communauté des astrophysiciens. Comment le calcium ; l'élément plus lourd, pourrait-il se trouver à des altitudes plus élevées que l'hydrogène ? Et comment la température semblerait-elle augmenter à mesure qu'on s'éloigne de la source centrale du chauffage ? Comme les scientifiques du monde entier, Meghnad Saha, à l'Université de Kolkata à l'époque, a également été saisi du problème. En raison de ses antécédents dans la théorie des réactions chimiques et le sujet de la thermodynamique, il était maintenant en mesure de formuler une idée nouvelle et importante.

Meghnad Saha est né en 1893 dans un petit village pas loin de Dacca, alors partie de la province du Bengale en Inde britannique. La famille avait de moyens limités et c'est grâce à une série d'interventions heureuses de la part de parents et de sympathisants que

le jeune Meghnad a pu continuer ses études au-delà de l'école primaire. Mais il était toujours un étudiant brillant dans l'école du village, l'école moyenne anglaise dans un village voisin, puis à Dacca, où il se préparait à entrer à l'université. À Dhaka, il a également reçu de soutien financier et une allocation. Ces avantages, il a perdu pour avoir participé à une manifestation contre le gouverneur britannique, à l'âge de quatorze ans. Heureusement, avec d'autres aides financières, il a pu continuer ses études, qui comprenait la langue allemande, jusqu'à ce qu'il a rejoint le Presidency Collège à Kolkata, à l'âge de dix-huit ans.

À Kolkata, Meghnad était un camarade de classe de S.N.Bose et P.C.Mahalanobis, qui sont devenus des scientifiques célèbres, et un de ses professeurs était J.C. Bose lui-même. Meghnad a eu une scintillante carrière universitaire, mais à la fin, comme tant d'Indiens de l'époque, il a essayé d'entrer dans la fonction publique, afin qu'il puisse aider sa famille. Heureusement pour la physique, Meghnad n'est pas reçu, parce qu'il n'est pas bien connu pour ses antécédents politiques impeccables et il a fini dans l'université de Kolkata, avec S.N. Bose, grâce à un peu d'aide de Sir Ashutosh Mukherjee.

Dans le département de physique universitaire, S.N.Bose et Saha se sont efforcés d'introduire les sujets les plus récents dans le programme d'études. Les deux ont finalement reçu une allocation spéciale et ont assigné des sujets à lire et à maîtriser, Saha étant assigné à la théorie quantique. Grâce à leur connaissance de l'allemand et à l'aide de livres et de revues, Bose et Saha étaient au courant des dernières avancées dans le domaine de la physique et ont poursuivi activement des recherches à l'Université de Kolkata. En 1920, peu de temps après son entrée à l'université, à l'âge de 27 ans, Saha publia son célèbre article intitulé « Sur l'ionisation dans la chromosphère solaire », publié dans le Philosophical Magazine de l'Université de Cambridge. Il a traité du rayonnement anormal, qui est vu dans les photographies instantanées des chromosphères.

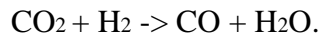
Pour récapituler, le casse-tête dans l'étude du soleil, c'était, comment la chromosphère supérieure montrait les parties les plus énergétiques du spectre d'émission de calcium, bien que les altitudes inférieures, où la température aurait dû être plus élevée, ne l'avaient pas ? Est-ce que cela impliquait que l'atmosphère du soleil devenait plus chaude que l'on allait plus haut ? Et pourquoi, dans cette partie supérieure de la chromosphère, beaucoup d'autres éléments sont absents ? Et enfin, comment se fait-il que le calcium, 40 fois plus lourd que l'hydrogène, est présent à des hauteurs beaucoup plus grandes ?

Des explications ont été tentées et des solutions ont été essayées, mais le problème persiste, en particulier celui des températures plus élevées à plus grandes altitudes. L'explication révolutionnaire de Saha était que le spectre, d'émissions d'énergie plus grande, n'était pas dû à des températures plus élevées, mais parce que les atomes de calcium eux-mêmes étaient ionisés à des altitudes plus élevées.

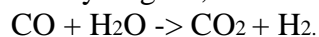
L'ionisation consiste à séparer un électron de la configuration stable de l'atome neutre. Cela nécessite l'utilisation de l'énergie, qui, encore, n'est rien d'autre que d'élever le gaz à

des températures plus élevées ! La notion d'ionisation de Saha équivalait-elle alors à la même chose que le chauffage ? C'est là que Saha a pu s'appuyer sur sa familiarité avec la dynamique des réactions chimiques et trouver un moyen d'ionisation possible même à des températures plus basses.

En chimie, de nombreuses réactions peuvent avoir lieu dans l'un ou l'autre sens, selon les conditions. Par exemple, une réaction est lorsque le dioxyde de carbone réagit avec l'hydrogène pour produire du monoxyde de carbone et de l'eau. Les chimistes le décrivent ainsi :



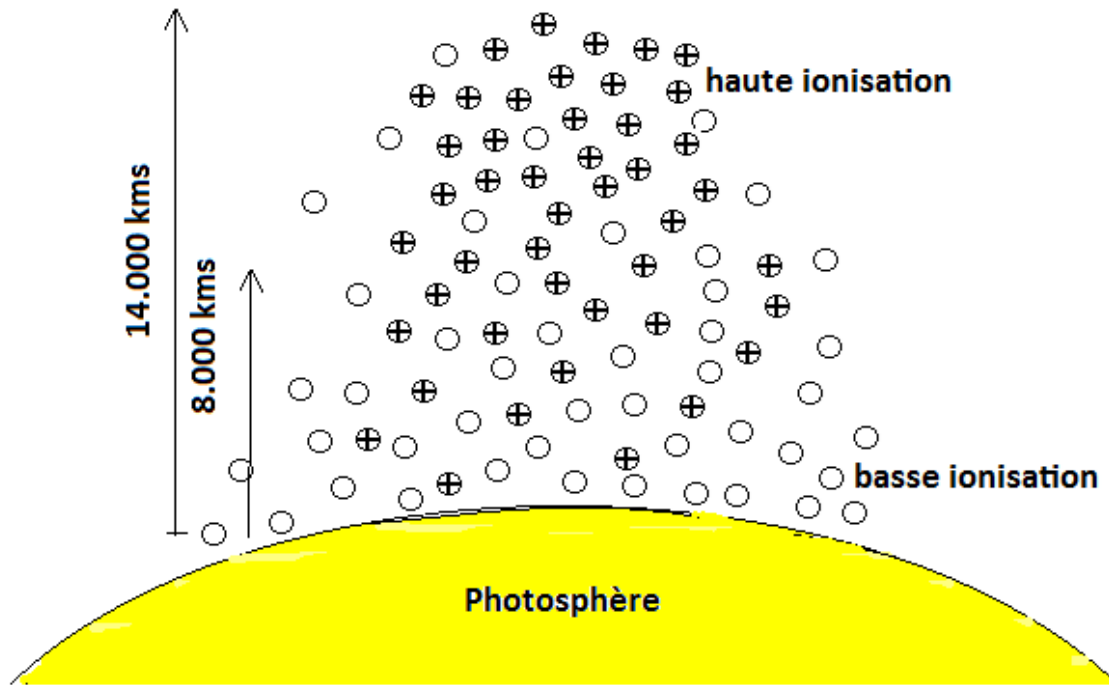
Mais le contraire est également possible, avec le monoxyde de carbone et la vapeur d'eau donnant le dioxyde de carbone et l'hydrogène, comme ceci :



En effet, dans cette réaction, il y a toujours un mélange des quatre composants, les deux réactions en cours tout le temps, l'étendue du progrès de l'un ou de l'autre en fonction de la température et de la pression.

Saha a représenté les atomes ionisés d'une manière similaire. Comme il y avait des atomes normaux, des atomes ionisés et des électrons se mêlant ensemble, il a imaginé qu'ils pourraient continuer à échanger leurs rôles respectifs. Les atomes neutres se décomposent en ions et les ions se combinent avec les électrons pour redevenir des atomes neutres. C'est comme l'exemple du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau ci-dessus. Et comme dans le cas des gaz, les atomes et les ions s'établissent aussi à un état moyen de tant d'atomes et de tant d'ions, selon la pression et la température.

Et, à l'aide de ce genre de raisonnement, Saha est arrivé à la célèbre « formule d'ionisation de Saha ». La formule a montré que l'ionisation augmentait quand le gaz devenait plus chaud et aussi quand la pression diminuait. On peut imaginer que comme on obtient plus haut dans l'atmosphère du soleil, la température chute, mais la pression diminue également. Il s'avère que la chute de l'ionisation à cause du refroidissement est moins que l'augmentation de l'ionisation à cause de la chute de la pression. Le résultat est que les atomes sont plus ionisés plus haut dans l'atmosphère du soleil, tout comme les expériences nous ont montré et comme illustré dans Le diagramme ci-dessous :



Jusqu'à présent, le mystère était que comment est-il possible que l'ionisation soit plus élevée à des altitudes plus hautes ? Est-ce qu'il fait plus chaud quand on est passé plus haut ? Mais la formule de Saha a aidé à trouver une réponse quand il a montré que la pression jouait un rôle et c'est la baisse de la pression qui a fait l'affaire !

Une autre question qu'il fallait répondre est ceci : pourquoi n'y avait-il pas d'émission de certains éléments aux niveaux supérieurs de l'atmosphère solaire ? Une autre partie de la formule de Saha expliquait ça, en disant que l'ionisation dépendait aussi de la quantité d'énergie nécessaire pour qu'un atome s'ionise. Si l'énergie nécessaire était assez faible, les atomes s'ionisaient même à basse altitude, où la pression était élevée. Les éléments qui avaient des énergies d'ionisation faibles se sont, donc, totalement ionisés bien avant qu'ils n'atteignent des altitudes plus élevées, et ils ne puissent plus émettre leurs traits caractéristiques.

La formule d'ionisation de Saha a aussi d'autres caractéristiques intéressantes. Elle a aidé à comprendre les mécanismes fonctionnant dans l'atmosphère du soleil et des étoiles et a ouvert la voie à de nouvelles recherches et découvertes.

Quand on entend l'explication directe devisée par Saha, c'est possible de critiquer que le raisonnement est simple et pas sophistiqué. Mais cette ligne de pensée de Saha, pendant les années 1920, était très loin d'être évidente. La structure de l'atome et les idées de la physique quantique étaient à peine développées. L'astrophysique n'était pas le seul domaine où les explications manquaient. Il n'est guère probable que l'idée d'utiliser des méthodes statistiques, qui avaient travaillé pour les gaz, pour traiter une collection d'ions chargés, pourrait être imaginer. Dans ces circonstances, à traverser le labyrinthe et d'arriver à un

dispositif mathématique pour expliquer le comportement du soleil et des étoiles a été vraiment un triomphe.

Saha a appliqué sa formule à beaucoup d'autres éléments et a proposé des estimations des niveaux d'ionisation, ce qui ont été régulièrement vérifiées. Les idées de Saha ont été saisies par des chercheurs du monde entier et l'astrophysique est passée à la voie rapide.

En 1923, Saha est devenu professeur de physique à l'université d'Allahabad et en 1927 il a été élu Camarade de la Société Royale. À Allahabad, et plus tard comme Palit Professeur à Kolkata, il a continué à faire des recherches dans de domaines nouveaux, comme les spectres complexes, la physique de l'atmosphère, la physique des rivières et même la réforme du calendrier !

Lorsqu'il est arrivé à Kolkata en 1938 comme professeur de Palit, il a commencé à se livrer à son intérêt, suscité par un voyage à l'étranger en 1937, en physique nucléaire. Il lançait le projet de la construction d'un équipement sophistiqué, appelé *cyclotron*, en Kolkata. Il a commencé un certain travail dans la recherche de rayons cosmiques à Darjeeling et a fondé le Saha Insitute de Physique Nucléaire, à Kolkata. A partir de 1940, la physique nucléaire a été enseignée comme un sujet distinct à l'Université de Kolkata. Saha Institute est maintenant un institut de recherche de premier plan et a formé d'innombrables hommes et femmes de la science.

Saha s'intéressa aussi à la vie publique, à la planification économique et aux causes sociales. Il a été élu au Parlement comme député indépendant du nord-ouest de Kolkata en 1952. Il a continué son travail à l'Institut Saha et aussi la vie publique jusqu'à la fin. Il est mort en 1956, s'effondrant en route vers une réunion au bureau de la Commission de planification à New Delhi.

-----X-----