

D'étranges molécules : un sujet de recherche de notre Institut de Physique

Autor(en): **Schneuwly, Hubert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles =
Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg**

Band (Jahr): **67 (1978)**

Heft 1

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-308559>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

D'étranges molécules

(un sujet de recherche de notre Institut de Physique)

par HUBERT SCHNEUWLY,
Institut de Physique de l'Université de Fribourg (Suisse)

1. Introduction

L'un des buts de la recherche en physique poursuivis dans les Universités, les Ecoles polytechniques et les grands centres de recherche est la connaissance de la structure intime de la matière. Pour cela on étudie les réactions des composantes élémentaires de la matière entre elles. Ce genre de recherche est appelée recherche fondamentale. Son but premier n'est pas une application technologique immédiate et les découvertes qui y sont faites ne peuvent souvent pas être qualifiées d'utiles dans le sens étroit du terme. Ainsi, par exemple, la découverte que la terre tournait autour du soleil plutôt que l'inverse n'était pas tant une découverte utile, mais pourtant hautement significative pour l'humanité.

Dans notre Institut de Physique, l'un de nos groupes de recherche travaille dans le domaine des atomes, dits exotiques. La façon dont ces atomes sont formés est encore mystérieuse et, avant que le voile sur ce mystère ne soit levé, on ne peut se lancer que dans des spéculations hasardeuses sur leur utilisation pratique. Dans la recherche pure pourtant, les propriétés des atomes exotiques sont utilisées en physique nucléaire depuis plus de dix ans.

2. Les atomes exotiques

Un atome exotique est un atome où l'un des électrons est remplacé par une autre particule également chargée négativement comme l'électron, mais bien plus lourde que lui. De ce fait, cette particule, qui peut être un muon (atome muonique), un pion (atome pionique), un anti-proton (atome anti-protonique) ou une autre, se trouve beaucoup plus près du noyau atomique que les électrons de l'atome et en est un spectateur rêvé pour le physicien. Par l'analyse des propriétés de ces atomes exotiques on peut étudier de nombreuses propriétés nucléaires comme, par exemple, la grandeur du noyau, sa forme, des propriétés électriques et magnétiques, la distribution des neutrons et autres. L'une des activités de notre groupe de recherche de Fribourg est la poursuite d'expériences commencées au CERN sur les propriétés nucléaires déduites des atomes exotiques (DUBLER et al., 1976a; DUBLER et al., 1977a; SCHALLER et al., 1978). Nos expériences sont réalisées depuis 1975 à l'Institut Suisse pour la Recherche Nucléaire (SIN) à Villigen dans le canton d'Argovie.

3. La formation des atomes exotiques

Depuis quelque temps déjà, notre intérêt s'est porté plus particulièrement sur les mécanismes de formation des atomes exotiques. L'initiation à ce domaine de recherche nouveau pour nous s'est faite, grâce à des bourses d'étude du CERN (1972 et 1974), au Joint Institute for Nuclear Research à Doubna-Moscou (URSS) où des expérimentateurs et théoriciens travaillaient depuis quelques années déjà avec beaucoup de succès à ce sujet (GERSHTEIN et al., 1969; PONOMAREV, 1973). Depuis 1975, ce sujet est devenu le domaine de recher-

che où notre groupe a rencontré les plus grands succès (DUBLER et al., 1976b; DUBLER et al., 1977b; SCHNEUWLY, DUBLER et al., 1978; SCHNEUWLY, 1977a; SCHNEUWLY, 1977b; SCHNEUWLY, POKROVSKY and PONOMAREV, 1978).

L'un des problèmes qui nous préoccupent dans la formation des atomes exotiques est facile à formuler. Lorsqu'une particule exotique pénètre dans une substance constituée de différentes sortes d'atomes, par exemple le chlorure de sodium, quelle est la probabilité pour que cette particule forme un atome exotique avec le chlore plutôt qu'avec le sodium? A première vue on pourrait imaginer que la probabilité est la même pour le chlore que pour le sodium puisque le nombre d'atomes de chaque espèce est le même. C'est ce qu'on appellerait la loi des concentrations. Les expériences effectuées ont révélé que la formation des atomes exotiques ne suivait en général pas cette loi.

E. FERMI et E. TELLER (1947) ont calculé que la probabilité de la formation d'un atome exotique était pour des métaux à peu près proportionnelle à la charge Z du noyau atomique. Depuis, d'autres chercheurs ont trouvé que cette probabilité devait être proportionnelle à $\propto Z^{1/3}$ ($\ln 0.57 \cdot Z$) (DANIEL, 1975) ou $\propto (Z^{1/3} - 1)$ (PETRUKHIN and SUVOROV, 1976).

Mais ces approches considèrent les atomes comme indépendants les uns des autres. Ils ignorent délibérément une influence éventuelle de la liaison chimique des atomes entre eux sur le mécanisme de formation des atomes exotiques.

4. Les étranges molécules

Si les particules exotiques pouvaient non seulement avoir des orbites atomiques, ce qui est confirmé par les expériences, mais aussi des orbites moléculaires, c.-à-d. s'il existait de telles molécules étranges, alors on devrait en tenir compte dans les probabilités de formation d'atomes exotiques. Les expériences ont en fait démontré (DUBLER et al., 1976; SCHNEUWLY et al., 1978) qu'on ne pouvait pas ignorer la liaison chimique entre les atomes et que les probabilités de formation ne contenant que Z étaient trop approximatives.

Que dans le cas particulier d'un mélange d'isotopes d'hydrogène ces étranges molécules existent, est connu depuis plus de vingt ans et l'explication théorique vient d'être réussie par des théoriciens soviétiques (GERSHTEIN and PONOMAREV, 1977). Mais on n'a encore aucune confirmation directe que ces étranges molécules peuvent également exister avec des atomes qui ont plusieurs électrons.

5. Notre modèle

Pour tenter d'expliquer les résultats des expériences sur la formation des atomes exotiques, nous avons émis l'hypothèse que de telles molécules étranges existaient et qu'elles pouvaient se former chaque fois qu'une substance était constituée de molécules normales (ou électroniques). La molécule étrange n'est qu'un état intermédiaire et instable. De l'orbite moléculaire la particule exotique passe à une orbite atomique de l'un des constituants de la molécule. Le passage de l'orbite moléculaire à l'orbite atomique du constituant du numéro d'ordre Z est déterminé par Z^2 et dépend de la répartition spatiale des électrons de valence.

L'hypothèse de base de notre modèle pour le mécanisme de formation des atomes exotiques est qu'une particule exotique n'est capturée dans une orbite atomique ou moléculaire

laire que par l'intermédiaire d'électrons dont l'énergie de liaison ne dépasse pas une certaine limite supérieure (ordre de grandeur de 60 électron-volts). Les électrons de valence ont toujours des énergies de liaison inférieures à cette limite et sont, selon notre hypothèse, responsables de la formation de molécules que nous avons appelées étranges. Parmi les autres électrons atomiques ne participant pas à la liaison chimique, il n'y en a qu'une fraction dont l'énergie de liaison est inférieure à notre limite. Cette fraction diminue avec le numéro d'ordre dans le Tableau Périodique. Ces électrons atomiques sont responsables de la formation directe des atomes exotiques sans passage par un état moléculaire intermédiaire.

Nous avons appliqué ces principes à la plupart des composés pour lesquels il existait des valeurs expérimentales sur les rapports de capture de muons. Certains exemples sont donnés dans les références (SCHNEUWLY, 1977a; SCHNEUWLY, 1977b; SCHNEUWLY, POKROVSKY and PONOMAREV, 1978) qui, en plus, exposent le présent modèle en détail et de façon plus rigoureuse.

La figure 1 illustre la comparaison des prédictions faites par notre modèle avec les valeurs expérimentales de rapports de capture de muons dans les oxides.

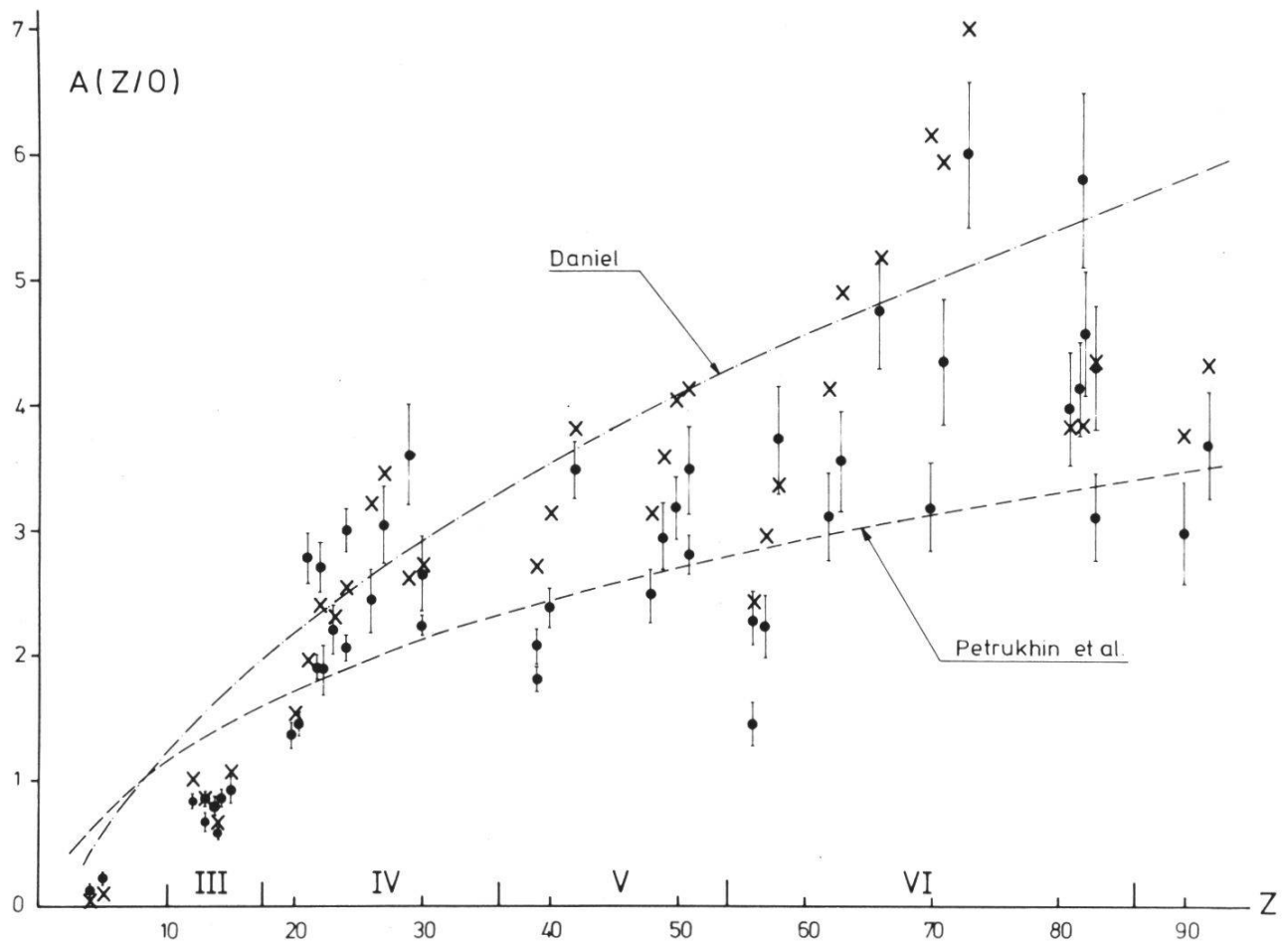


Fig. 1: Rapports A (Z/O) de capture atomique de muons dans les oxides $Z_k O_n$ en fonction de Z. Les points avec barres d'erreur représentent les valeurs expérimentales. La courbe en trait-point correspond aux prédictions faites en utilisant la formule de H. DANIEL (1975), la courbe en trait-trait à celles de la formule de V.I. PETRUKHIN et V.M. SUVOROV (1976). Les croix correspondent aux prédictions de notre modèle.

6. Conclusion

Nous ne pensons pas que le mécanisme de capture de particules exotiques soit aussi simple que le ferait croire notre modèle. D'ailleurs les résultats expérimentaux ne sont pas tous reproduits avec précision par notre modèle. Mais, malgré sa simplicité extrême, il donne dans sa version actuelle déjà des résultats encourageants. Peut-être peut-il devenir une base pour des investigations théoriques sur la formation des atomes exotiques.

Avec des résultats expérimentaux plus précis et plus systématiques un test détaillé de notre modèle doit être possible. De nouveaux résultats permettraient de détailler d'avantage ce modèle et de mettre à jour ses limites. Mais, si dans ses principes il devait s'avérer correct, nous aurions prouvé l'existence de nos étranges molécules qui ne recueillent pas encore l'unanimité des chercheurs.

Résumé

Il existe des atomes que l'on appelle exotiques parce qu'un électron est remplacé par une autre particule. Ces particules sont produites dans de grands accélérateurs tels que ceux du CERN. On se demande si ces particules peuvent aussi avoir des orbites moléculaires. En admettant l'existence de telles molécules étranges un certain nombre de phénomènes trouvent une explication.

Zusammenfassung

Es gibt Atome, die man exotisch nennt, weil ein Elektron durch ein anderes Teilchen ersetzt ist. Solche Teilchen werden in großen Beschleunigern wie die des CERN produziert. Es stellt sich die Frage, ob diese Teilchen auch Molekularbahnen haben können. Würden solche seltsame Moleküle existieren, so würden eine gewisse Anzahl von Phänomenen eine Erklärung finden.

Abstract

There exist atoms, called exotic, because an electron is replaced by another particle. Such particles are produced in accelerators like those of CERN. The question is asked if these particles may have molecular orbitals. Assuming the existence of such strange molecules several phenomena can be explained.

Références

- DANIEL, H.: Formation of mesonic atoms in condensed matter. *Phys. Rev. Lett.* **35**, 1649–1651 (1975).
- DUBLER, T., KAESER, K., ROBERT-TISSOT, B., SCHALLER, L.A., SCHELLENBERG, L., und SCHNEUWLY, H.: Bestimmung der Kernladungsverteilung aus myonischen Röntgenlinien. *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.* **65**, 54–75 (1976a).

- DUBLER, T., KAESER, K., ROBERT-TISSOT, B., SCHALLER, L.A., SCHELLENBERG, L., and SCHNEUWLY, H.: Chemical effects in muonic nitrogen. *Phys. Letters* 57A, 325–327 (1976b).
- DUBLER, T., KAESER, K., ROBERT-TISSOT, B., SCHALLER, L.A., SCHELLENBERG, L., and SCHNEUWLY, H.: Precision test of vacuum polarization in heavy muonic atoms. *Nucl. Phys. A* 294, 397–416 (1977a).
- DUBLER, T., KAESER, K., ROBERT-TISSOT, B., SCHALLER, L.A., SCHELLENBERG, L., and SCHNEUWLY, H.: Are muonic X-rays sensitive to the solid state of selenium? *Proc. Int. Symp. on Meson Chemistry and Mesomolecular Processes in Matter, Dubna, June 7–10, 1977*, 146–149 (1977b).
- FERMI, E., and TELLER, E.: The capture of negative mesotrons in matter. *Phys. Rev.* 72, 399–408 (1947).
- GERSHTEIN, S.S., PETRUKHIN, V.I., PONOMAREV, L.I., and PROKOSHKIN, Yu.D.: Mesoatomic processes and model of large mesic molecules. *Soviet Physics Uspekhi* 12, 1–19 (1969).
- GERSHTEIN, S.S., and PONOMAREV, V.I.: Mu-meson catalysis of nuclear fusion in a mixture of deuterium and tritium. *Phys. Letters* 72B, 80–82 (1977).
- PETRUKHIN, V.I., and SUVOROV, V.M.: Study of atomic capture and transfer of pimesons in mixtures of hydrogen with other gases. *Soviet Physics JETP* 43, 595–598 (1976).
- PONOMAREV, L.I.: Molecular structure effects on atomic and nuclear capture of mesons. *Ann. Rev. Nucl. Sci.* 23, 395–430 (1973).
- SCHALLER, L.A., DUBLER, T., KAESER, K., ROBERT-TISSOT, B., SCHELLENBERG, L., and SCHNEUWLY, H.: Nuclear charge radii from muonic X-ray transitions in F, Na, Al, Si, P, S and K. *Nucl. Phys. A* 300, 225–234 (1978).
- SCHNEUWLY, H.: Molecular effects in the formation and deexcitation of exotic atoms. *Proc. 1st Course Int. School of Physics of Exotic Atoms, Erice-Trapani, 24–30 April 1977*, ed. G. FIORENTINI et G. TORELLI (Servizio Documentazione dei Laboratori Nazionali di Frascati, 1977), 255–354 (1977a).
- SCHNEUWLY, H.: Effects of the molecular structure of matter in the capture mechanism of negative muons and pions. *Proc. Int. Symp. on Meson Chemistry and Mesomolecular Processes in Matter, Dubna, June 7–10, 1977*, 86–102 (1977b).
- SCHNEUWLY, H.: Chemical effects in exotic atoms. *Proc. Nordic Spring Symp. of Atomic Inner Shell Phenomena, Geilo (Norvège), April 17–21, 1978*, ed. J.M. HANSTEEN et R. GUNDERSEN, vol. 2, 143–161 (1978).
- SCHNEUWLY, H., DUBLER, T., KAESER, K., ROBERT-TISSOT, B., SCHALLER, L.A., and SCHELLENBERG, L.: On the influence of the chemical bond on the relative muonic capture rates in elements of compounds. *Phys. Letters* 66A, 188–190 (1978).
- SCHNEUWLY, H., POKROVSKY, V.I., and PONOMAREV, L.: On Coulomb capture ratios of negative mesons in chemical compounds. *Nucl. Phys. A* 312, 419–426 (1978).