



## LES TRANSPLUTONIENS. LES NOYAUX SUPERLOURDS DECOUVERTS DANS LES MICAS DE MADAGASCAR ET LEURS INTERETS

PAR

RAELINA ANDRIAMBOLOLONA \*

### RESUME

Depuis juin 1976, on parle dans les milieux spécialisés et dans les journaux de l'existence probable d'éléments superlourds. Après avoir rappelé les éléments construits de façon *artificielle* dont les numéros atomiques  $Z$  vont de  $Z = 95$  (l'américium) à  $Z = 107$  (fabriqué en 1976), nous considérons les éléments superlourds dont les numéros  $Z$  dépassent 110 et dont des chercheurs américains en étudiant les halos géants dans les micras de Madagascar recoltés dans la région de Fort-Dauphin (région du Haut Mandrare) semblent avoir mis en évidence l'existence. Ce seraient donc des éléments *naturels*, de numéros atomiques  $Z = 114, 115, 116, 124, 125, 126, 127$ . Il semble que l'existence de l'élément  $Z = 126$  puisse être acceptée avec une certaine confiance. Disons qu'elle est toutefois contestée par d'autres groupes de chercheurs. Les recherches continuent de façon active.

Nous estimons les nombres de masse  $A$  de ces superlourds dans le cadre du modèle de la goutte liquide en supposant la stabilité par rapport à la désintégration  $\beta$ . Les résultats concordent avec ceux du modèle en couches dans l'approximation de 4 pour cent.

Pour éviter toute confusion possible, nous considérons de façon brève les hypernoyaux. Ces derniers sont bâtis en remplaçant un ou plusieurs nucléons du noyau par des hypérons.

Nous proposons dans le cas où ces superlourds existaient de donner au moins à l'un d'eux ( $Z = 126$ ) le nom de madagascarium par similitude au francium, lutecium, polonium, berkelium, américium, europium, etc... d'autant plus que leur existence naturelle aurait été soupçonnée pour la première fois dans les micras de Madagascar.

### ABSTRACT

Since June 1976, evidence for the existence of superheavy elements is discussed about. After having recalled artificial elements the atomic numbers  $Z$  of which go from  $Z = 95$  (americium) to  $Z = 107$  (built in 1976), superheavy elements having  $Z$  greater than 110 are considered. They have been discovered by american searchers in giant halos seen in Madagascar micras. The samples have been recoiled in the Fort-Dauphin region (Haut Mandrare). The corresponding numbers  $Z$  are 114, 115, 116, 124, 125, 126, 127. It seems that the existence of  $Z = 126$  element should be accepted with a great degree of confidence. But different experiences done by other groups seem to show the evidence of superheavy elements in micras looks weaker. Nevertheless, it is interesting to investigate the evidence or the non-evidence of those elements.

We estimate the mass numbers  $A$  of those superheavy elements in the liquid drop model if we assume that they are stable versus  $\beta$  decay. The results thus obtained agree with the shell-model ones within 4 % approximation.

We propose if the evidence of superheavies is confirmed to give the name of madagascarium to one of them ( $Z = 126$ ) by similitude with francium, lutecium, polonium, berkelium, americium, europium, etc... Their evidence was first conjectured in Madagascar micras in 1976.

Superheavy nuclei are to be distinguished from hypernuclei.

### 1. — INTRODUCTION. LES TRANSPLUTONIENS

A la base de la construction de la matière, il y a les particules dites «élémentaires». En Physique Nucléaire

\* Professeur titulaire à l'Université de Madagascar, Laboratoire de Physique, Faculté des Sciences, B.P. 138, Antananarivo-Madagascar.



élémentaire, nous pouvons supposer l'existence de trois particules élémentaires seulement, le proton  $p$  de charge positive  $e$ , le neutron  $n$  de charge nulle (nous désignons globalement  $p$ , et  $n$  par « nucléon ») et l'électron négatif, appelé négaton, de charge négative  $-e$ . Si nous combinons les protons et les neutrons nous construisons le noyau de l'atome (ce qui explique d'ailleurs la dénomination « nucléon »). La branche de la science qui étudie le noyau est la physique nucléaire.

Si autour de ce noyau, nous faisons graviter les négatons en nombre égal aux protons de façon que l'ensemble soit électriquement neutre, nous obtenons l'atome dont l'étude est l'objet de la physique atomique.

L'assemblage des atomes constitue la molécule dont l'étude fait l'objet de la physique moléculaire. Les molécules en se combinant constituent la matière.

Comment se font les assemblages des nucléons pour faire des noyaux, des noyaux et des négatons pour faire des atomes, des atomes pour faire des molécules, des molécules pour faire la matière ? Ces questions sont l'objet d'études des branches des sciences physiques ci-dessus nommées.

Nous voyons donc qu'un noyau est parfaitement déterminé par le nombre  $Z$  de protons et le nombre  $N$  de neutrons ou encore par la donnée de  $Z$  ou de  $N$  et du nombre  $A = Z + N$  de nucléons.  $Z$  est appelé le numéro atomique,  $A$  le nombre de masse.

Les combinaisons des atomes en molécules ou des molécules en molécules se font par l'intermédiaire des négatons qui gravitent autour du noyau. Nous voyons donc que la frontière entre la « Chimie » et la « Physique Atomique et Moléculaire » devient floue au point de se confondre. Nous voyons de même que le nombre de négatons autour du noyau dans un atome est égal au nombre de protons dans le noyau. Les propriétés chimiques vont donc dépendre du nombre  $Z$  de protons, et l'élément chimique est parfaitement déterminé par la donnée du numéro atomique  $Z$ .

L'étude du potentiel d'ionisation des atomes et celle du spectre des rayons X émis par les divers éléments montrent que les négatons dans l'atome se répartissent en groupes d'énergies discrets. Les négatons le plus solidement liés, donc plus proches du noyau, forment le groupe K à deux négatons. Ensuite viennent le groupe L avec 8 négatons au maximum, le groupe M avec 18 négatons au maximum, le groupe N avec  $2 \times 4^2 = 32$  négatons au maximum, ... Les couches sont complétées progressivement au fur et à mesure que la charge du noyau augmente. La dernière couche dite externe peut être incomplète et les propriétés chimiques vont dépendre du nombre des négatons externes. En effet, l'atome a tendance à chercher à compléter sa couche externe, ce qui explique les

affinités chimiques de l'élément. Quand la couche externe est complète, l'atome devient alors chimiquement inerte ; c'est le cas des gaz rares.

Signalons toutefois que le remplissage ne se fait pas toujours de façon régulière et qu'il apparaît parfois des irrégularités. Les irrégularités (par exemple celles pour les éléments allant du scandium Sc au cuivre Cu) se manifestent par une série d'anomalies des propriétés chimiques et physiques des éléments.

Nous concevons alors qu'il puisse exister des nombres entiers jouant des rôles dans la stabilité des éléments. Ces nombres sont dits « magiques » ; ce sont, 2, 8, 18, 32, ... Ils peuvent être expliqués d'ailleurs par la Mécanique Quantique.

Pour la formation du noyau à l'aide des protons et des neutrons, nous pouvons aussi imaginer une disposition en couches pareille à celle des négatons autour du noyau de l'atome ; c'est le modèle en couches qui peut expliquer l'existence de nombres « magiques » 2, 8, 20, 50, 82, 126, ...

Quand le nombre  $Z$  de protons ou/et le nombre  $N$  de neutrons est/sont égal (égaux) à l'un de ces nombres magiques, on constate expérimentalement que nous avons des noyaux stables avec parfois plusieurs isotopes. Ainsi, nous avons :

$Z = 2 : Z = N = 2$  c'est le noyau d'hélium, le plus stable ; il est doublement magique.

$Z = 8 : Z = N = 8$  c'est le noyau d'oxygène  ${}^{16}_8\text{O}$ .

Nous avons aussi dans ces deux cas :  $N = Z$ . Pour  $Z = 50$ , nous avons l'étain qui a 10 isotopes stables. Pour  $Z = 82$ , et  $N = 126$ , nous obtenons le plomb  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  qui est stable donc et qu'on utilise pour la protection contre les irradiations. La stabilité du bismuth  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$  peut s'expliquer par le nombre  $209 - 83 = 126$  de nombre de neutrons.

Nous voyons donc qu'un élément  $Z = 126$  (donc superlourd, son nombre de masse  $A$  est nécessairement égal ou supérieur à  $126 \times 2 = 252$ ) puisse être stable. D'ailleurs un groupe de théoriciens de Florida State University (Fred Petrovich, Donald Robson, John Philpott, Joseph Bevelacqua, Mickie Golin, Douglas Stanley) a trouvé à partir du modèle en couches que les combinaisons  $Z = 114$  et  $N = 184$ ,  $Z = 126$  et  $N = 228$ , correspondent à des noyaux stables par rapport aux radioactivités  $\alpha$  et  $\beta$ . De même, l'année dernière, deux chercheurs polonais A. Sobiczewski et A. Lukasiak de l'« Institut pour la Recherche Nucléaire » de Varsovie ont montré qu'il a fermeture d'une couche pour  $N = 228$  ; malheureusement, ces deux chercheurs n'ont pas considéré le cas de  $Z = 126$ .



Après cette introduction dans laquelle a été esquissée la structure des noyaux et des atomes, parlons maintenant du nouvel élément  $Z = 126$ .

Depuis six mois, dans la littérature spécialisée et dans les journaux on parle de la découverte d'éléments superlourds (c.-à.-d.) d'éléments dont le nombre atomique  $Z$  dépasse 100, dans des échantillons de mica de Madagascar. Ces éléments superlourds sont donc à l'état naturel.

Cette découverte a été rapportée le 17 juin 1976 par un groupe de chercheurs américains lors du dernier jour de la Conférence Internationale de Québec organisée par l'Association Canadienne de Physiciens, (Canadian Association of Physicists), la Société Mexicaine de Physique (Sociedad Mexicana Fisica) et la Société Américaine de Physique (American Physical Society). Le groupe de chercheurs est composé de :

— R.-V. GENTRY, de « Colombia Union College », Takoma Park, qui est en position de « visiting scientist » à « l'Oak Ridge National Laboratory, Tennessee »,

— T.-A. CAHILL, du département de Physique et « Crocker Nuclear Laboratory » de l'Université de Californie, Davis,

— N.-R. FLETCHER, H.-C. KAUFMANN, L.-R. MEDSKER et J.-W. NELSON, du Département de Physique de Florida State University, Tallahassee,

— R.-G. FLOCCHINI, du Département de Physique et de « Crocker Nuclear Laboratory » de l'Université de Californie, Davis.

Il est bon de rappeler qu'au-delà du nombre  $Z = 94$  (qui correspond au plutonium  ${}_{94}\text{Pu}$ ), les éléments correspondants, les transplutoniens, sont *tous artificiels* ; ils ont été fabriqués dans des laboratoires. Ce sont les cas de

— de l'américium ( $Z = 95$ , symbole Am) dont les isotopes sont  ${}_{95}^{241}\text{Am}$ ,  ${}_{95}^{242}\text{Am}$ ,  ${}_{95}^{243}\text{Am}$ .

— du curium ( $Z = 96$ , symbole Cm) dont les isotopes sont  ${}_{96}^{243}\text{Cm}$ ,  ${}_{96}^{245}\text{Cm}$ ,  ${}_{96}^{247}\text{Cm}$ .

— du berkelium ( $Z = 97$ , symbole Bk) dont les isotopes sont  ${}_{97}^{245}\text{Bk}$ ,  ${}_{97}^{249}\text{Bk}$ ,

— du californium ( $Z = 98$ , symbole Cf) dont les isotopes sont  ${}_{98}^{246}\text{Cf}$ ,  ${}_{98}^{249}\text{Cf}$ ,  ${}_{98}^{251}\text{Cf}$ ,

— de l'einsteinium ( $Z = 99$ , symbole Es) dont les isotopes sont  ${}_{99}^{253}\text{Es}$ ,  ${}_{99}^{254}\text{Es}$ ,

— du fermium ( $Z = 100$ , symbole Fm) dont les isotopes sont  ${}_{100}^{253}\text{Fm}$ ,  ${}_{100}^{255}\text{Fm}$ ,

— du mendelevium ( $Z = 101$ , symbole Md)  ${}_{101}^{256}\text{Md}$

— du nobélium ( $Z = 102$ , symbole No)  ${}_{102}^{253}\text{No}$

— du lawrencium ( $Z = 103$ , symbole Lw)  ${}_{103}^{257}\text{Lw}$ .

Le lawrencium a été fabriqué en 1961 par GHIORSO, SIKKEKAND, LARSM et LATIMER.

— du kourchatovium ( $Z = 104$ ) fabriqué par l'équipe de Dubna,

— le rutherfordium ( $Z = 105$ ) fabriqué par l'équipe de Berkeley a une période de 5 secondes.

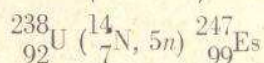
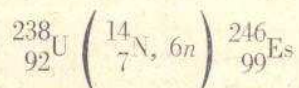
— l'élément  $Z = 106$  qui a été découvert en même temps en 1974 par l'équipe de Berkeley et par l'équipe de Dubna.

— l'élément  $Z = 107$  qui vient d'être fabriqué par l'équipe de Dubna (1976) avant celle de Berkeley.

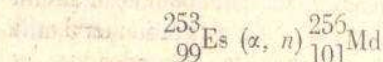
Tous les éléments transuraniens ont été fabriqués par l'homme et aucune trace n'a été jusqu'à maintenant trouvée dans la nature. Le dernier élément artificiel dont on a trouvé cependant des traces dans la nature est le plutonium  ${}_{94}\text{Pu}$ . Ce sont DARLEANE HOFFMAN, F.-O. LAWRENCE, J.-L. MEVHERTER, F.-M. ROURKE (Nature 234, 132, 1971) du laboratoire de Los Alamos qui ont trouvé des traces de plutonium dans les minerais de terres rares.

Comment fabriquer ces éléments transuraniens ? On les obtient en bombardant des éléments lourds avec des ions à plusieurs charges et de très grandes énergies car il faut vaincre la barrière due au potentiel coulombien.

Les isotopes  ${}_{99}^{246}\text{Es}$  et  ${}_{99}^{247}\text{Es}$  de l'einsteinium ( $Z = 99$ ) ont été obtenus par GHIORSO et ses collaborateurs en 1952 en bombardant des noyaux d'uranium  ${}_{92}^{238}\text{U}$  par des ions d'azote  $\text{N}^{+++++} \equiv \text{N}^{6+}$  dont l'énergie est plus grande que 100MeV. Nous avons les réactions :



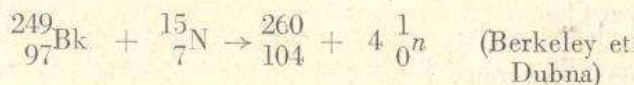
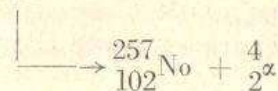
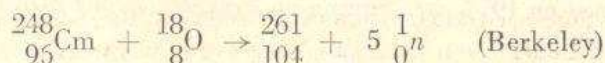
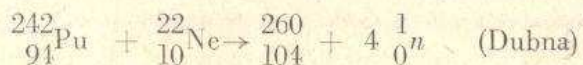
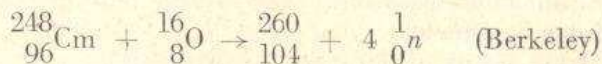
L'élément  $Z = 101$ , le mendelevium a été fabriqué en 1955 par GHIORSO, HARVEY CHOPPIN, THOMPSON et SEABORG suivant la réaction :





Le mendelevium 256 se transforme par capture K (radioactif de période 1 heure) en fermium ( $Z = 100$ ). Le nobélium ( ${}_{102}^{253}\text{No}$ ) a été obtenu en 1957 en bombardant du curium ( $Z = 96$ ) par des ions  ${}^{13}\text{C}^{6+}$  et le lawrencium ( ${}_{103}^{257}\text{Lw}$ ) en 1961 en bombardant du californium ( $Z = 98$ ) par des ions de bore.

L'élément  $Z = 104$ , baptisé kourtachovium par l'équipe du Dubna a été obtenu à l'aide des réactions suivantes :



L'élément  $Z = 105$  peut être obtenu à partir des réactions  ${}_{83}^{209}\text{Bi} + {}_{22}^{50}\text{Ti}$  et  ${}_{82}^{208}\text{Pb} + {}_{23}^{51}\text{V}$  donnant le rutherfordium ( $Z = 105$ ) avec une durée de vie de 5 secondes.

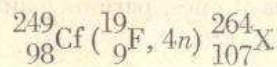
L'élément  $Z = 107$  vient d'être fabriqué par l'équipe de Dubna avant celle de Berkeley (1976). Les réactions utilisées sont  ${}_{83}^{209}\text{Bi} + {}_{24}^{54}\text{Cr}$ ,  ${}_{82}^{208}\text{Pb} + {}_{25}^{55}\text{Mn}$  et  ${}_{81}^{205}\text{Tl} + {}_{26}^{58}\text{Fe}$ . L'interprétation de la première réaction est la suivante :



→ fission (rapport de branchement 20 pour cent).

→  ${}_{105}^{257}\text{Rt} + 4 {}_2^4\alpha$  (rapport de branchement égal à 80 pour cent, désintégration en 2 millisecondes).

L'équipe de Berkeley va utiliser la réaction :



Nous voyons alors apparaître l'intérêt des accélérateurs d'ions lourds. Les grands « fabricants » d'éléments transplutoniens sont les groupes de chercheurs de « Lawrence Berkeley Laboratory » (Albert GHIORSO, Glenn SEABORG, Mc MILIAN, KENNEDY, WAHL, SEGRE, MORGAN, JAMES, THOMPSON, STREET, etc...), ainsi que Georgi FLEROV et ses collaborateurs du « Joint Institute for Nuclear Research », Dubna, de l'URSS.

S'il s'avérait exact que les éléments superlourds existait à l'état naturel, cette découverte pourrait avoir des repercussions non seulement sur le plan de la science fondamentale, mais aussi sur le plan technologique.

En effet, sur le plan fondamental, ils pourraient nous aider à mieux comprendre la formation des éléments et leurs structures atomiques. Bien sûr, la théorie atomique, elle, subsiste mais nous pourrions avoir des idées plus claires concernant les phénomènes nucléaires.

Sur le plan technologique, avant même qu'on soupçonnait l'existence possible de tels éléments, des théoriciens ont prédit que les éléments superlourds posséderaient la propriété d'être plus fissiles que l'uranium. L'uranium  ${}_{92}^{235}\text{U}$  par fission produit en moyenne 2,5 neutrons. Cette propriété de l'uranium est utilisée dans les réacteurs nucléaires désignés de façon impropre dans le langage courant par piles atomiques ou centrales atomiques. Les superlourds produiraient non pas 2,5 neutrons par fission mais quatre fois plus, environ 10 neutrons par fission. Comme les centrales nucléaires sont passées dans le stade industriel (il est possible à l'heure actuelle d'acheter une centrale nucléaire « clés en main », il suffit d'avoir l'argent correspondant), nous voyons les repercussions possibles que peuvent avoir les éléments superlourds sur le développement de l'industrie nucléaire s'ils existaient à l'état naturel en grande quantité.

En 1974, signalons qu'on a soupçonné aussi l'existence d'éléments superlourds dans les météorites. A.-G. POPEKO DE DUBNA a déjà suggéré leur existence en étudiant des échantillons de la météorite d'Allende. En décembre 1975, Edward ANDERS et son équipe de l'Université de Chicago (R.-S. LEWIS, B. SRINIVASAN, H. HIGUCHI, J. GROS, H. TAKAHASHI, J.-W. MORGAN) ont montré que les éléments  $Z = 113, 114, 115$  auraient pu se former dans la météorite d'Allende.



## 2. — LES NOYAUX SUPERLOURDS. EXPERIENCE DE LEUR PREMIERE DECOUVERTE (?)

Thomas CARLSON et ses collaborateurs de l'Oak Ridge National Laboratory ont calculé en 1969 et en 1971 les spectres des rayons X des éléments superlourds en utilisant un programme de calcul de fonctions d'onde atomique relativistes et en tenant compte des effets relativistes par extrapolation expérimentale. On connaît donc, du moins théoriquement, les spectres des rayons X des éléments superlourds.

Des chercheurs ont noté depuis plusieurs décades l'existence de halos autour des inclusions dans le mica. On pensait que ces halos sont dus à des réactions chimiques mais aussi que certains proviendraient de phénomènes radioactifs.

En effet, les inclusions sont des minéraux contenant de l'uranium ou/et du thorium. Ces derniers (ou leurs isotopes ou leurs produits fils) étant radioactifs, provoquent des destructions donc des halos autour des inclusions. La provenance radioactive de certains halos peut s'expliquer ainsi. Le diamètre des halos permet d'avoir une estimation de l'énergie des particules  $\alpha$  émises.

En effet, nous avons :

\* la relation empirique de GEIGER :

$$(1) R = C_1 v^3 = C_2 E^{3/2}$$

entre le libre parcours moyen des particules  $\alpha$ , la vitesse d'éjection  $v$  et l'énergie correspondante  $E = \frac{1}{2}mv^2$ ,  $C_1$  et  $C_2$  sont des constantes.

\* la loi empirique de GEIGER-NUTALL (1912) :

$$(2) \text{Log } R = \alpha \text{Log } \lambda + \beta$$

entre le libre parcours moyen  $R$  et la constante de désintégration  $\lambda$ ,  $\alpha$  et  $\beta$  étant des constantes.

En tenant compte de la relation (1), la relation (2) donne :

$$(3) \text{Log } \lambda = A + B \text{Log } v$$

La loi empirique de Geiger-Nutall a été expliquée théoriquement par GAMOW (1928) et GURNEY-CONDON (1928) en étudiant la traversée d'une barrière de potentiel à l'aide de la mécanique quantique. C'est l'effet tunnel. La loi de Gamow — Gurney — Condon s'écrit :

$$(4) \text{Log } \lambda = A' - \frac{B'}{v}$$

où  $A'$  et  $B'$  sont des constantes connues dépendant du numéro atomique  $Z$  du noyau et  $E = \frac{1}{2}mv^2$  l'énergie cinétique de la particule  $\alpha$  émise.

Les deux relations (3) et (4) sont concordantes car lorsque  $v$  n'est pas trop grand, nous avons :

$$\text{Log } v \simeq \frac{1}{v}$$

avec une bonne approximation.

Signalons toutefois que pour les transuraniens, les écarts à la loi empirique de Geiger-Nutall sont importants. Et c'est pourquoi, l'étude des éléments superlourds est intéressante car ces écarts, s'ils continuent au-delà des transuraniens doivent être expliqués (mauvaise approximation ?, déformation des noyaux ?, formation de particules  $\alpha$  au voisinage de la surface des noyaux ?..).

Nous avons donc une possibilité d'estimation de l'énergie des particules  $\alpha$  émises.

Depuis 1970, R.-V. GENTRY (Science 169, p. 670, 1970) s'est intéressé aux halos géants dont les diamètres vont de  $100 \mu$  à  $150 \mu$ . Ces halos, s'ils sont dus à la désintégration  $\alpha$  entraînent à cause de leurs grands diamètres que l'énergie des particules  $\alpha$  émises en question soit supérieure à 14 MeV. Il a pu intéresser les équipes des Universités de Californie (Davis) et de Floride (Tallahassee) et c'est ainsi que des expériences ont pu être montées.

L'expérience consiste à bombarder des échantillons de micas de Madagascar contenant des inclusions de monazite avec des faisceaux de protons de  $30 \mu$  de diamètre, de base énergie (4,7 à 5,7 MeV), accélérés par l'accélérateur tandem Van de Graaff de l'Université de l'Etat de Floride. [Rappelons que la formule du monazite est (Ce, La, Th)  $\text{PO}_4$ ]. Ils analysent les spectres des rayons X émis caractéristiques des éléments de  $Z = 105$  à  $Z = 134$  au moyen d'un détecteur Si(Li). Les spectres des éléments superlourds sont connus théoriquement.

L'analyse des raies des rayons X émis leur a permis d'affirmer que l'élément  $Z = 126$  existe avec une très grande probabilité : en effet, d'après eux sur les six halos géants étudiés, 5 ont donné le même résultat et la concordance avec les prédictions théoriques est parfaite (pour l'énergie  $E_X$  des rayons X émis égale à 27,250 keV, on a les transitions  $L\alpha_1$  pour l'élément  $Z = 126$  prévues théoriquement).

La présence de l'élément  $Z = 124$  toujours d'après eux ne peut être affirmée avec une aussi grande probabilité à cause des empiètements avec les raies dues à l'antimoine.

Il y a des raies que l'on peut attribuer également aux éléments  $Z = 116$  ( $L\beta_2$ ) et  $Z = 127$  ( $L\alpha_1$ ). L'élément  $Z = 116$  semble probablement exister, mais cette probabilité n'est pas bien grande.

Quelques inclusions suggèrent aussi l'existence de  $Z = 114, 115, 124, 125, 127$ .



## 3. — DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Quelles en sont les perspectives ?

D'après un spécialiste, Ghiorso, « la découverte des éléments superlourds est si fantastique qu'il faut prendre des précautions avant de l'admettre ».

Il faut donc poursuivre les recherches et obtenir d'autres expériences confirmant l'existence des éléments superlourds. Il faudrait enlever les inclusions du mica et étudier les rayons X caractéristiques émis. Il y a cependant une difficulté. D'après GENTRY lui-même, les halos géants sont très rares ; sur les milliers d'échantillons de mica qu'il a examinés, il a trouvé un seul contenant des halos géants.

Il y a aussi la possibilité de prendre une inclusion de monazite, la bombarder et chercher d'autres variétés d'éléments superlourds, ce qui sera d'ailleurs fait par d'autres groupes.  $10^{10}$  atomes d'éléments superlourds ont une masse de l'ordre de 3 picogrammes. En effet, pour un nombre de masse A voisin de 300, nous avons une masse de :

$$1g \times \frac{10^{10}}{6 \times 10^{23}} \times 300 \simeq 3 \times 10^{-12}g = 3 \text{ pg}$$

D'après les expérimentateurs, on peut faire de la spectrographie de masse avec une telle quantité.

La mesure expérimentale du nombre de masse A des éléments superlourds, s'ils existaient effectivement, est d'une importance capitale.

Si nous utilisons la formule semi-empirique de Bethe — Weiszächer, nous avons en supposant A impair la relation semi-empirique :

$$N - Z = 0,0060 A^{5/3}$$

dans l'approximation de 4 pour cent pour la courbe de stabilité par rapport à la désintégration  $\beta$  (nous supposons le noyau superlourd stable par rapport à la désintégration  $\beta$ ). Pour les éléments superlourds, par extrapolation, nous obtenons le tableau suivant (toujours dans l'approximation de 4 pour cent).

Pour  $Z = 114$ , nous trouvons deux valeurs de  $A = 315$  (par défaut) et  $A = 317$  (par excès), valeurs qui concordent dans l'approximation de 4 pour cent avec les valeurs  $Z = 114$  et  $N = 184$  soit  $A = 298$  calculées par PETROVICH et al (Université d'Etat de Floride) à partir du modèle en couche. Ces derniers auteurs donnent aussi  $^{298}_{114}\text{X}$ ,  $^{300}_{116}\text{X}$ ,  $^{352}_{124}\text{X}$ ,  $^{354}_{126}\text{X}$ ,  $^{472}_{164}\text{X}$ . Pour  $Z = 164$ , l'écart est de l'ordre du 15 pour cent.

Pour  $Z = 126$ , nous obtenons deux valeurs de A dont l'une est par excès, l'autre par défaut. Ce sont  $A = 361$  et  $A = 363$ . Ces valeurs concordent dans l'approximation de 4 pour cent avec celles couramment admises

( $Z = 126$ ,  $A = 354$ ) ou celle proposée par WONG ( $Z = 126$ ,  $N = 222$ ,  $A = 348$ ).

Z	A	N	N - Z	Résultats de Petrovich et al
113	311	198	85	
	313	200	87	
114	315	201	87	298
	317	203	89	
115	319	204	89	
	321	206	91	
116	323	207	91	300
	325	209	93	
124	353	229	105	352
	355	231	107	
	357	233	109	
125	357	232	107	
	359	234	109	
	361	236	111	
126	361	235	109	354
	363	237	111	
127	365	238	111	
	367	240	113	
	369	242	115	
164	547	383	219	472
	549	385	221	
	551	387	223	

Il est bon de souligner que l'existence de ces éléments superlourds est de plus en plus contestée. En effet, des recherches ont été effectuées par d'autres laboratoires.

John FOX et al ont étudié les rayons X induites par bombardement par des protons d'énergie variant entre 4,7 — 5,7 MeV de monazite (rappelons que la monazite contient du cerium Ce). Ils ont montré que la raie  $L\alpha_1$  que GENTRY et al ont attribuée au superlourd 126 peut être attribuée à la transition 27,23 keV du  $^{140}_{59}\text{Pr}$  (praseodymium) formé par la réaction  $^{140}_{58}\text{Ce}(p; n)^{140}_{58}\text{Pr}$  quand l'énergie du proton incident est supérieure à 4,3 MeV.

Le groupe de l'Institut Max Planck de Physique Nucléaire, Heidelberg, a refait la même expérience mais en bombardant de la monazite avec des protons dont l'énergie est comprise entre 2 et 7 MeV. Il a confirmé les résultats de J. Fox et al. La seule raie significative qu'on a attribuée aux superlourds est en fait



celle du photon  $\gamma$  de la réaction  $^{140}_{58}\text{Ce}(p; n, \gamma)$ . L'un des membres du groupe de Heidelberg va même jusqu'à suggérer que la soustraction du bruit de fond de l'expérience de l'Université d'Etat de Floride a été faite de façon incorrecte.

D'autres groupes d'Orsay, d'Oxford, de Pologne, de Darmstadt n'ont pas réussi à l'aide d'autres méthodes à établir de façon certaine l'existence des superlourds.

4. — ESTIMATION DE L'ENERGIE LIBEREE PAR FISSION SYMETRIQUE DES NOYAUX SUPERLOURDS

Quelles sont les possibilités présentées par les éléments superlourds ? Il est assez mal aisé de parler des possibilités d'éléments dont l'existence elle-même est probable et même contestée. Nous risquons toujours d'être démentis par les faits. Cependant, en ce qui concerne les éléments superlourds, des théoriciens ont prédit que les éléments superlourds sont plus fissiles que l'uranium ; l'uranium 235 ne fournit en moyenne que 2,5 neutrons par fission alors que les éléments superlourds pourraient fournir quatre fois plus de neutrons, exactement de 8 à 10 neutrons par fission. Ainsi, si nous bombardons avec des neutrons un échantillon de mica contenant des inclusions de monazite, ce dernier contenant des éléments superlourds supposés fissiles, nous obtiendrons non pas une cascade de neutrons comme dans le cas de l'uranium mais un véritable torrent de neutrons de fission. Cette propriété qui diffère les éléments superlourds des uraniums peut être utilisée pour détecter les noyaux superlourds (méthode de la multiplicité des neutrons).

De même, nous pouvons estimer l'énergie Q dégagée par fission *symétrique* d'un élément superlourd par extrapolation de la formule obtenue à partir du modèle de la goutte liquide :

$$Q \simeq \left( -3,4 A^{2/3} + 0,22 \frac{Z^2}{A^{1/3}} \right) \text{ MeV}$$

ce qui donne pour  $Z = 126$ ,  $A = 363$

$$Q \simeq 316,6 \text{ MeV}$$

valeur qui est à comparer à l'énergie calculée de 170 MeV pour l'uranium  $^{238}_{92}\text{U}$  (rappelons que pour l'uranium  $^{235}_{92}\text{U}$ , nous obtenons expérimentalement 210 MeV). Les énergies libérées par nucléon  $\frac{316,6}{363} \text{ MeV} = 0,87 \text{ MeV}$

pour l'élément superlourd et pour  $^{235}_{92}\text{U}$  c.-à.-d.  $\frac{210}{235} \text{ MeV} = 0,89 \text{ MeV}$  sont à peu près égales. Le calcul de l'énergie dégagée par désintégration  $\alpha$  peut se faire aussi sans aucune difficulté.

5. — CONCLUSIONS. LES HYPERNOYAUX. UTILITE

Je voudrais conclure par deux remarques.

La première concerne les hypernoyaux qu'il ne faut pas confondre avec les noyaux superlourds.

La seconde sera une longue citation de H. Poincaré sur le choix des faits en science ou mieux, sur le problème de l'utilité de la science.

a. Les hypernoyaux :

Nous avons dit que les noyaux sont formés avec des protons et neutrons désignés de façon globale sous le nom de nucléons.

En fait, l'étude des particules élémentaires (qui est celle de la Physique des Hautes Energies) a montré qu'il n'y a pas que les trois particules fondamentales (neutron, proton, négaton) dont nous avons parlé. Mais en fait il en existe une quarantaine. La théorie les classe par « familles » suivant leurs propriétés. Ainsi, les nucléons (n, p) et les hypérons ( $\Lambda^0$ ,  $\Sigma^+$ ,  $\Sigma^0$ ,  $\Sigma^-$ ,  $\Xi^0$ ,  $\Xi^-$ , baryons étranges) se comportent de la même façon vis-à-vis des interactions fortes. Il est alors naturel de nous demander s'il est possible de fabriquer des noyaux non pas seulement avec des nucléons (neutrons et protons) mais aussi avec des nucléons et des hypérons. En 1953, la réponse a été donnée : elle est positive.

Les noyaux ainsi obtenus sont appelés des *hypernoyaux*.

L'écriture est légèrement différente de celle des noyaux ordinaires. Pour un hypernoyau contenant un hypéron  $\Lambda^0$ , la charge électrique ne change pas. Le nombre Z de protons ne change donc pas ; l'élément chimique n'est pas changé. On a ainsi :

$^4_{\Lambda}\text{He}$  formé de 2 protons, d'un neutron et d'un  $\Lambda^0$

$^3_{\Lambda}\text{He}$  formé de 2 protons, d'un  $\Lambda^0$

$^3_{\Lambda}\text{H}$  formé d'un proton, d'un neutron, et d'un  $\Lambda^0$ .

A l'heure actuelle on a fabriqué une vingtaine d'espèces d'hypernoyaux allant du  $^3_{\Lambda}\text{H}$  à  $^{27}_{\Lambda}\text{Al}$  à l'aide des grands accélérateurs.

De tels hypernoyaux existent-ils dans la nature ? Cette question n'a pas encore reçu de réponse certaine. Mais en tout cas, leur étude permet de faire avancer notre connaissance concernant les interactions des particules et la structure des noyaux complexes.

b. Le sens du mot utile dans la science ?

La question qui vient tout de suite à l'esprit en considérant les recherches sur les éléments superlourds



et les hypernoyaux est le sens de l'utilité des sommes investies, des efforts faits en vue de résoudre un problème qui paraît planer au-dessus des contingences de la vie de tous les jours ? A quoi sert-il de dépenser tant d'argent, tant d'efforts intellectuels, tant de temps pour trouver un résultat que certains n'hésiteront pas de qualifier inutile et sans aucune application pratique. Si nous regardons l'histoire du développement de la science et de la technique (ou mieux de la technologie), cette question et ce jugement ont toujours été posés et émis. A l'encontre de ceux qui la jugent inutile, je leur ferai remarquer que si nous regardons seulement l'histoire de la fission nucléaire, ils auront de quoi réfléchir avant de porter un jugement de façon superficielle.

En 1939, quand HAHN et STRASSMANN, Frédéric JOLIOT et ses collaborateurs, MEITNER et FRISCH ont trouvé la fission nucléaire en laboratoire, très peu de personnes, leurs inventeurs mêmes ne pouvaient prévoir la répercussion économique et industrielle qu'auraient leurs découvertes quelques décades plus tard. Nous avons eu les bombes nucléaires (à fission, puis à fusion), les réacteurs nucléaires à fission qu'il est possible d'acheter « clé en main » comme une vulgaire automobile. Nous aurons aussi sous peu les réacteurs thermonucléaires (ou à fusion).

Cette remarque m'amène à ce passage de Henri Poincaré dans « Science et Méthode » concernant le choix des faits en science. Je ne voudrais pas citer des passages tronqués de peur de déformer sa pensée.

« Tolstoï explique quelque part pourquoi la Science pour la Science » est à ses yeux une conception absurde. Nous ne pouvons connaître tous les faits, puisque leur nombre est pratiquement infini. Il faut choisir ; dès lors, pouvons-nous régler ce choix sur le simple caprice de notre curiosité ; ne vaut-il pas mieux nous laisser guider par l'utilité par nos besoins pratiques et surtout moraux ; n'avons-nous pas mieux à faire que de compter le nombre des cochenilles qui existent sur notre planète ?

Il est clair que le mot utilité n'a pas pour lui le sens que lui attribuent les hommes d'affaires, et derrière eux la plupart de nos contemporains. Il se soucie peu des applications de l'industrie, des merveilles de l'électricité ou de l'automobilisme qu'il regarde plutôt comme des obstacles au progrès moral ; l'utile, c'est uniquement ce qui peut rendre l'homme meilleur.

Pour moi, ai-je besoin de le dire, je ne saurais me contenter ni de l'un, ni de l'autre idéal ; je ne voudrais ni de cette ploutocratie avide et bornée, ni de cette démocratie vertueuse et médiocre, uniquement occupée

à tendre la joue gauche, et où vivraient des sages sans curiosité qui, évitant les excès, ne mourraient pas de maladie, mais à coup sûr mourraient d'ennui. Mais cela, c'est une affaire de goût et ce n'est pas ce point que je veux discuter.

La question n'en subsiste pas moins, et elle doit retenir notre attention ; si notre choix ne peut être déterminé que par la caprice ou par l'utilité immédiate, il ne peut y avoir de science pour la science, ni par conséquent de science. Cela est-il vrai ? Qu'il faille faire un choix, cela n'est pas contestable ; quelle que soit notre activité, les faits vont plus vite que nous, et nous ne saurions les rattraper ; pendant que le savant découvre un fait, il s'en produit des milliards de milliards dans un millimètre cube de son corps. Vouloir faire tenir la nature dans la science, ce serait vouloir faire entrer le tout dans la partie... *Il suffit d'ouvrir les yeux pour voir que les conquêtes de l'industrie qui ont enrichi tant d'hommes pratiques n'auraient jamais vu le jour si ces hommes pratiques avaient seuls existé, et s'ils n'avaient été devancés par des fous désintéressés qui sont morts pauvres, qui ne pensaient jamais à l'utile, et qui pourtant avaient un autre guide que leur caprice.*

C'est que, comme l'a dit Mach, ces fous ont économisé à leurs successeurs la peine de penser. Ceux qui auraient travaillé uniquement en vue d'une application immédiate n'auraient rien laissé derrière eux et, en face d'un besoin nouveau, tout aurait été à recommencer. Or, la plupart des hommes n'aiment pas à penser et c'est peut-être un bien, puisque l'instinct les guide, et le plus souvent mieux que la raison ne guiderait une pure intelligence, toutes les fois du moins qu'ils poursuivent un but immédiat et toujours le même ; mais l'instinct c'est la routine, et si la pensée ne le fécondait pas, il ne progresserait pas plus chez l'homme que chez l'abeille ou la fourmi. Il faut donc penser pour ceux qui n'aiment pas à penser et, comme ils sont nombreux, il faut que chacune de nos pensées soit aussi souvent utile que possible, et c'est pourquoi une loi sera d'autant plus précieuse qu'elle sera plus générale.

#### BIBLIOGRAPHIE

Nous donnons seulement quelques références. Les travaux sont nombreux.

R.-V. GENTRY — T.-A. CAHILL, N.-R. FLETCHER, KAUFMANN, MEDSKER, NESLON, FLOCCINI. Phys. Rev. Lett., 37, (July 1976) p. 11.

J.-D. FOX et al Phys. Rev. Lett., 37, (sept 1976), p. 629.

PETROVICH et al Phys. Rev. Lett., 37 (août 1976), p. 558 Physics today, Août 1976, p. 17.

KETELLE et al, Phys. Rev. Lett., 37 (déc. 1976) p. 1734.