

Datation des roches lunaires

Objectif

Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs et dater un évènement.

Consigne

En 1974, on a pu déterminer l'âge de la Lune par la méthode de datation dite du rubidium-strontium. Dans l'article scientifique¹, des échantillons de roches lunaires issus de différents sites ont été soumis à l'analyse. L'exploitation de cette courbe a permis cette datation. A vous de faire de même !

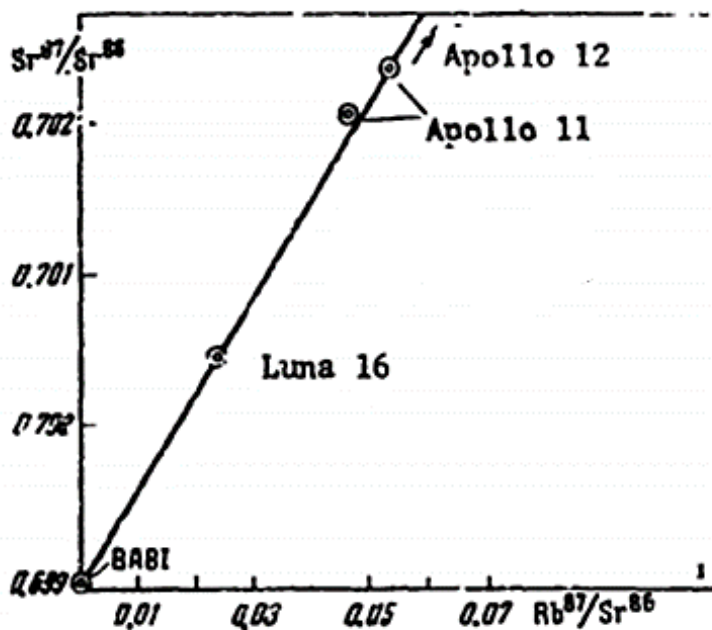


Fig. 1. Plot of $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ --
-- $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ for lunar surface material.

Ressources

Document 1 : Le rubidium et le strontium

Ces deux éléments existent dans la nature sous la forme de plusieurs isotopes, deux pour le rubidium, ^{85}Rb et ^{87}Rb et quatre pour le strontium, ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr et ^{88}Sr . Seul l'un d'entre eux, le ^{87}Rb , est radioactif. Il se désintègre en ^{87}Sr qui, lui, est un isotope stable du strontium comme le sont, d'ailleurs, les trois autres. Cette désintégration, un pour un, aboutit à l'émission d'un électron. Le strontium 87 présent aujourd'hui dans une roche est donc la somme du strontium 87 présent à l'origine, à la formation de la roche et du strontium 87 produit par la désintégration du rubidium 87 dont le temps de demie-vie est $T_{1/2} = 48,8 \text{ Ga}$.

¹ Allègre, Claude & Birck, Jean-Louis & Loubet, Michel & Provost, Ariel. (1974). Rb-Sr age and content of potassium, rubidium strontium, barium, and rare earths in surface material from the Sea of Fertility. Lunar Soil from the Sea of Fertility (NASA-TT-F-15881) p 436-440 (SEE N75-11814 02-91);

Questions

1. Rechercher les numéros atomiques du Strontium et du Rubidium
2. Ecrire l'équation de désintégration du rubidium 87
3. De quel type de radioactivité s'agit-il ?
4. Ecrire une équation simple donnant le nombre de noyaux de strontium 87 en fonction des différentes sources de strontium. Ce sera l'équation (1).
5. En utilisant la loi de désintégration radioactive, calculer la constante radioactive λ .
6. Démontrer que ${}^{87}\text{Sr}_{\text{issu de la radioactivité du Rb 87}} = {}^{87}\text{Rb}_{\text{actuel}}(e^{\lambda t} - 1)$
7. Réécrire l'équation (1) en utilisant le résultat ci-dessus. Ce sera l'équation (2)
8. En admettant que l'on puisse connaître par des procédés physico-chimiques les quantités actuelles de strontium et de rubidium, combien d'inconnues contient l'équation précédente ?

Document 2 : Le strontium 86

Pour résoudre ce problème, il faut comprendre que la cristallisation est un processus géologique qui ne fractionne pas les isotopes d'un même élément lourd. Ainsi, deux minéraux ou deux roches cristallisant à partir d'un même magma intégreront dans leur réseau cristallin du strontium (Sr) avec un rapport isotopique ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ identique à celui du magma d'origine. On dit que ces échantillons sont cogénétiques. Et même si certains minéraux intégreront plus de strontium que d'autres (suivant la compatibilité de l'élément avec le réseau cristallin en question), tous auront le même rapport initial ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$.

Par ailleurs, sachant que ${}^{86}\text{Sr}$ n'est ni radioactif ni radiogénique, la quantité de cet isotope ne varie pas au cours du temps dans un système clos et ${}^{86}\text{Sr} = {}^{86}\text{Sr}_0$. Si on divise toute l'équation par le nombre d'un autre isotope du Sr, le ${}^{86}\text{Sr}$, l'équation ne contient alors plus qu'une seule inconnue : t

Et l'on peut mesurer les rapports ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ et ${}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$ par spectrométrie de masse.

Questions

9. Diviser toute l'équation (2) par ${}^{86}\text{Sr}$. Ce sera l'équation (3)
10. Quelle est l'équation de la courbe que l'on peut tracer ?
11. A quoi correspondent les points sur la courbe ?
12. Déterminer les coordonnées des points.
13. En utilisant l'équation (3), estimer l'âge de la Lune.
14. Que pensez-vous de ce résultat ?

Eléments de correction

- $Z(\text{Rb}) = 37 ; Z(\text{Sr}) = 38$
- ${}_{37}^{87}\text{Rb} \rightarrow {}_{38}^{87}\text{Sr}^+ + {}_{-1}^0\text{e}$
- C'est une radioactivité de type β^-
- ${}^{87}\text{Sr}_{\text{actuel}} = {}^{87}\text{Sr}_{\text{initial}} + {}^{87}\text{Sr}_{\text{issu de la radioactivité du Rb } 87}$
- Lorsqu'un isotope radioactif se désintègre, la variation de cet isotope suit une fonction du temps $N(t)$ qui obéit à la loi $\frac{dN}{dt} = -\lambda N(t)$ et cette équation différentielle a pour solution :
 $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$. Nous avons donc $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$, d'où $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$. L'application numérique donne $\lambda = \frac{\ln 2}{48,8 \cdot 10^9} = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{an}^{-1}$
- ${}^{87}\text{Sr}_{\text{issu de la radioactivité du Rb } 87} = {}^{87}\text{Rb}_{\text{initial}} - {}^{87}\text{Rb}_{\text{actuel}}$
 Et comme ${}^{87}\text{Rb}_{\text{actuel}} = {}^{87}\text{Rb}_{\text{initial}} \times e^{-\lambda t}$, alors ${}^{87}\text{Rb}_{\text{initial}} = {}^{87}\text{Rb}_{\text{actuel}} \times e^{\lambda t}$
 Donc ${}^{87}\text{Sr}_{\text{issu de la radioactivité du Rb } 87} = {}^{87}\text{Rb}_{\text{actuel}}(e^{\lambda t} - 1)$
- ${}^{87}\text{Sr} = {}^{87}\text{Sr}_0 + {}^{87}\text{Rb}(e^{\lambda t} - 1)$
- Il y en a deux : la quantité initiale de strontium et t .
- L'équation devient :

$$\begin{pmatrix} {}^{87}\text{Sr} \\ {}^{86}\text{Sr} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} {}^{87}\text{Sr} \\ {}^{86}\text{Sr} \end{pmatrix}_0 + \begin{pmatrix} {}^{87}\text{Rb} \\ {}^{86}\text{Sr} \end{pmatrix} (e^{\lambda t} - 1)$$

- On peut tracer ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ en fonction de ${}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$. On obtient une équation de la forme $y = ax + b$ avec $a = e^{\lambda t} - 1$, pente de la courbe.
- Les points correspondent à des minéraux séparés sur les différents sites visités par les missions Apollo 11, Apollo 12 et Luna 16.
-

	BABI	Luna 16	Apollo 11	Apollo 11
$\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}}$	0,699	0,7005	0,702	0,7025
$\frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}}$	0	0,02	0,045	0,05

- En utilisant le tableur d'une calculatrice graphique on trouve :
 $a = e^{\lambda t} - 1 = 6,795 \cdot 10^{-2}$ avec un coefficient de corrélation $r^2 = 0,9967$
 On en extrait $t = 4,63 \cdot 10^9 \text{an}$.
- Aux incertitudes de mesures près, ce résultat est cohérent avec l'âge de la Terre, ce qui tend à émettre l'hypothèse que leurs formations se sont déroulées en même temps.