

## SUL DECADIMENTO DEL $K^{40}$

C. FESTA - M. SANTANGELO

È noto che l'isotopo radioattivo naturale,  ${}_{19}K^{40}$ , del potassio può trasformarsi in  ${}_{20}Ca^{40}$  per emissione  $\beta^-$ , oppure in  ${}_{18}A^{40}$  attraverso un processo di cattura orbitale. Le costanti di disintegrazione, relative a questi due processi, sono state determinate da parecchi ricercatori con metodi vari.

Le misure della costante di decadimento per emissione  $\beta^-$  ( $\lambda_\beta$ ) sono senza dubbio più numerose e maggiormente attendibili di quelle della costante di decadimento per cattura  $K$  ( $\lambda_e$ ).

Per la interpretazione e la discussione di alcuni problemi geofisici (<sup>1</sup>) come età dei minerali e della terra, età geologiche, calore terrestre è indispensabile la conoscenza della costante di decadimento totale del  $K^{40}$ , che, evidentemente, è legata alle due costanti suddette dalla relazione:

$$\lambda = \lambda_\beta + \lambda_e \quad [1]$$

Oltre ai metodi di misura diretti, per questa determinazione si può sfruttare il fatto che in minerali di potassio formati in epoca molto remota le quantità di  $Ca^{40}$  e  $A^{40}$ , generati per disintegrazione radioattiva dal  $K^{40}$ , sono legate direttamente alle costanti di decadimento.

Così se si considera il processo  ${}_{19}K^{40} \rightarrow {}_{20}Ca^{40} + \beta^-$ , il rapporto  $R$  tra la quantità di  $Ca^{40}$  accumulatasi in conseguenza del decadimento del potassio in un tempo  $t$  e la quantità residua di  $K^{40}$ , è dato dalla seguente relazione:

$$R = \frac{\lambda_\beta}{\lambda} \left( e^{\lambda t} - 1 \right) \quad [2]$$

dove  $t$  è l'età del minerale.

Partendo da questa relazione si può valutare la costante di decadimento totale  $\lambda$  qualora si conoscano con sufficiente esattezza:

a) la costante  $\lambda_\beta$ ;

b) il contenuto in  $Ca^{40}$  e in  $K^{40}$  di un determinato minerale di potassio;

c) l'età del minerale considerato.

Una formula analoga si potrebbe scrivere per il rapporto  $A^{40}/K^{40}$ ; ma riteniamo che l'applicazione di tale formula non possa portare a risultati attendibili per la imperfetta conoscenza del valore di  $\lambda_e$  e, principalmente, per il fatto che la quantità di argon presente nel minerale è indubbiamente solo una frazione di quella generata dal potassio, e d'altra parte la continua perdita da parte del minerale di tale gas difficilmente può essere valutata. Del resto l'alto contenuto dell'isotopo 40 nell'argon atmosferico è una prova indiretta di questa perdita (2).

La formula [2] è stata adoperata recentemente da Ahrens e Evans (3), che hanno ottenuto:

$$\lambda = (1,55 \pm 0,15) \times 10^{-9} \text{ an}^{-1}.$$

Il valore di  $\lambda_\beta$ , da essi adoperato, era il risultato di una rielaborazione delle misure di Mühloff (4) e di Bleuler e Gabriel (5), le quali, come si rileva nella stessa nota di Ahrens e Evans, sono criticabili sotto vari aspetti. Infatti è stato osservato (6) tra l'altro che il valore di  $\lambda$ , ottenuto da Bleuler e Gabriel, non è compatibile con la esistenza di una crosta terrestre solida ad un'epoca compresa fra 1 e  $1,5 \times 10^9$  anni fa: questo risultato contrasterebbe con le più recenti misure di età del minerale (7), le quali, come è noto, provano che, circa  $2 \times 10^9$  anni fa, la crosta terrestre doveva essersi già solidificata.

Dopo la comparsa del lavoro di Ahrens e Evans sono state pubblicate nuove misure di  $\lambda_\beta$ , che ci sembrano particolarmente degne di fiducia.

Abbiamo perciò voluto determinare il valore di  $\lambda$ , che si ottiene dalla [2], qualora si assuma per  $\lambda_\beta$ , la media dei risultati delle ultime misure, raccolti nella tabella 1, e valutare quindi l'attendibilità di questa determinazione.

Ahrens ed Evans hanno analizzato per via spettrochimica il contenuto in calcio e potassio di quattro campioni di lepidoliti di età pari a  $2,1 \times 10^9$  anni. Dalle loro misure, riportate nella nota citata, abbiamo ricavato

$$R = 24,4 \pm 4,6 \quad ,$$

tenuto debito conto della abbondanza isotopica percentuale del potassio.

La curva *A* di figura 1 è stata calcolata, introducendo nella [2] questo valore di *R*, insieme con il corrispondente valore di *t*:

$$t = (2,1 \pm 0,15) \times 10^9 \text{ an.}$$

Se si attribuisce a  $\lambda_\beta$  il valore:

$$\lambda_\beta = (0,50 \pm 0,03) \times 10^{-9} \text{ an}^{-1},$$

media dei risultati delle più recenti misure (v. tabella 1), si ottiene:

$$\lambda = (2,15 \pm 0,06) \times 10^{-9} \text{ an}^{-1},$$

e di conseguenza dalla [1]:

$$\lambda_e = (1,65 \pm 0,06) \times 10^{-9} \text{ an}^{-1}.$$

Con questi valori il rapporto tra le due costanti di disintegrazione per emissione  $\beta$  e cattura *K* (branching ratio) risulta:

$$\lambda_e/\lambda_\beta = 3,3$$

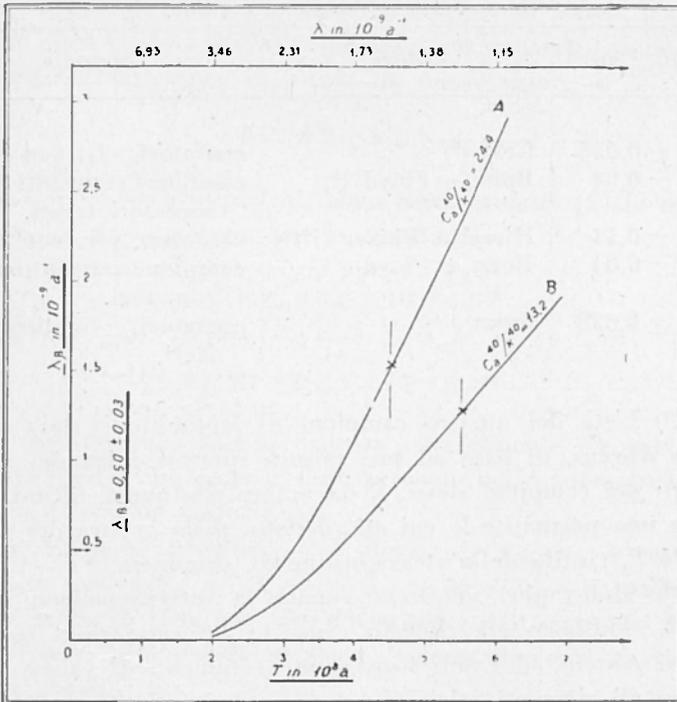


Fig. 1

Come è stato precedentemente accennato la validità di questa determinazione si basa sulla attendibilità:

1°) dei valori di  $\lambda_\beta$ ;

2<sup>o</sup>) dell'età del minerale;

3<sup>o</sup>) del rapporto  $R$ .

A questo proposito dobbiamo osservare che:

1<sup>o</sup>) le misure di  $\lambda_\beta$  sono, in genere, più convincenti di quelle di  $\lambda_\alpha$ , a causa della maggiore facilità di registrazione dei raggi  $\beta$  nei confronti dei quanti emessi nel processo di cattura. In particolare le misure di  $\lambda_\beta$ , dalle quali è stato desunto il valore adoperato nella presente nota, sono state eseguite con cura particolare e con tecniche perfezionate: fra di esse vanno segnalate le esperienze di Borst e Floyd, nelle quali è stato adoperato un campione di potassio arricchito in  $K^{40}$ .

L'attendibilità di tutte queste misure è attestata, inoltre, dalla coerenza tra i risultati dei vari ricercatori (v. tabella 1).

TABELLA N. 1

$\lambda_\beta$ in $10^{-9}$ an <sup>-1</sup>	Autori	Metodo
0,505 + 0,055 0,39 + 0,04	Gráf (8) Borst e Floyd (9)	contatori, cfr. con $UX_2$ , campioni arricchiti di $K^{40}$ , contatori tarati.
0,63 ± 0,11 0,43 ± 0,04	Hirzel e Waffler (10) Borst e Floyd (11)	contatori, cfr. con $U^{238}$ , campione arricchito di $K^{40}$ , contatori.
0,58 + 0,038	Stout (12)	contatori, taratura con $Na^{24}$ .

2<sup>o</sup>) L'età dei quattro campioni di lepidolite è stata determinata da Ahrens, in base ad una misura spettroscopica del rapporto  $Sr^{87}/Rb^{87}$  nei campioni stessi. È da notare che questi ultimi provengono da una pegmatite la cui età, dedotta dalla misura del rapporto  $Pb^{207}/Pb^{206}$ , risulta dello stesso ordine di grandezza.

3<sup>o</sup>) Molto più complessa appare la interpretazione del rapporto  $R$ . Abbiamo già rilevato come le determinazioni spettrochimiche di Ahrens ed Evans forniscano unicamente il valore del rapporto fra gli elementi calcio e potassio, contenuti nei campioni considerati. Da questo valore noi siamo risaliti a quello di  $R$ , fondandoci sulle seguenti ipotesi:

a) La composizione isotopica percentuale del potassio nei suddetti campioni è quella universalmente accettata (13).

b) Il  $Ca^{40}$  presente nel materiale è tutto di origine radioattiva.

c) Tutto il  $Ca^{40}$ , formatosi per decadimento del  $K^{40}$ , è rimasto nel minerale.

Riguardo alla prima ipotesi, si può notare che recenti misure (14) (15) hanno rivelato una leggera differenza fra le abbondanze isotopiche di uno stesso elemento in vari minerali. Ma queste differenze sono risultate, sinora, piuttosto piccole: perciò si può ritenere che, nel nostro caso, esse cadano entro gli errori delle analisi.

La seconda ipotesi non può, allo stato attuale delle nostre conoscenze, essere confermata né esclusa. Sta di fatto però che, nelle lepidoliti, il calcio si presenta in tracce o non compare affatto, sicché è probabile che in un minerale antico esso si sia formato tutto in conseguenza del decadimento del  $K^{40}$ . Ad ogni modo la eventuale presenza del  $Ca^{40}$ , di origine non radioattiva, non altera di molto i nostri risultati. Infatti, se, come suggeriscono Ahrens ed Evans (1), si ammette che circa la metà di  $Ca^{40}$ , contenuto nei minerali esaminati, non sia di origine radioattiva, si ottiene un nuovo valore di  $R$ :

$$R = 13,2 \pm 2,5$$

Con questo nuovo valore abbiamo ricavato dalla [2] la curva  $B$ : da questa, se si pone, come per la curva  $A$ :

$$\lambda_{\beta} = (0,50 \pm 0,03) \times 10^{-9} \text{ a.}^{-1}$$

si ottiene

$$\lambda^* = (1,87 \pm 0,1) \times 10^{-9} \text{ a.}^{-1}$$

ossia un risultato che non si discosta sensibilmente da quello ottenuto nella ipotesi che tutto il  $Ca^{40}$ , presente nei 4 campioni di lepidolite, sia di origine radioattiva.

Contrariamente a quanto si è detto per l'argon, è certamente molto meno probabile per il calcio che parte di esso sia andata perduta, ciò anche in vista del valore bassissimo del contenuto in calcio del minerale e della possibilità che ha questo elemento di dare composti non gassosi.

Lo scarto sul valore di  $\lambda$  è stato ottenuto graficamente: ciò significa che nella valutazione di esso è stato tenuto conto solo dell'errore probabile sul valore di  $\lambda_{\beta}$ . Osserviamo però che, in realtà, l'errore commesso nella valutazione di  $\lambda$  dipende anche dagli errori sulle determinazioni di  $t$  e di  $R$ , che sono rispettivamente del 15% e del 20%.

Allora se si tiene conto di questa considerazione, si hanno i due nuovi valori:

$$\lambda = (2,15 \pm 0,7) \times 10^{-9} \alpha^{-1} ,$$

$$\lambda^* = (1,87 + 0,6) \times 10^{-9} \alpha^{-1} .$$

Ahrens ed Evans nella loro nota non fanno cenno di questo ed attribuiscono a  $\lambda$  un errore che è dello stesso ordine di grandezza di quello di  $\lambda_\beta$ .

Notiamo inoltre che dalle curve in fig. 1 (*A* e *B*) si può ricavare anche un limite minimo per  $\lambda$ , dato dalla relazione (1), dalla quale consegue la condizione

$$\lambda \geq \lambda_\beta.$$

Questo valore limite nei due casi da noi considerati si può calcolare rispettivamente, per la curva *A*

$$\lambda_{\min} = 1,54 \times 10^{-9} \alpha^{-1}$$

per la curva *B*

$$\lambda_{\min}^* = 1,27 \times 10^{-9} \alpha^{-1}$$

TABELLA N. 2

$\lambda$ in $10^{-9} \text{ an}^{-1}$	Autori
$2,89 \pm 0,62$	Bleuler e Gabriel <sup>(5)</sup>
$1,74 + 0,22$	Gráf <sup>(13)</sup>
$1,55 \pm 0,15$	Ahrens e Evans <sup>(6)</sup>
$1,38 + 0,41$	Gráf <sup>(8)</sup>

Nella tabella 2 sono riportati i valori di  $\lambda$ , ottenuti dai diversi autori: la media dei quattro valori risulta

$$\lambda = (1,89 \pm 0,2) 10^{-9} \alpha^{-1} (*),$$

che non si discosta molto dal valore da noi calcolato.

Concludendo osserviamo che il valore della costante di disintegrazione totale del  $K^{40}$ , così ottenuta, risulta necessariamente poco precisa; solo accurate misure dirette di  $\lambda_\beta$  e  $\lambda_e$ , e particolarmente di quest'ultima, potranno fornire un valore maggiormente approssimato.

Roma — Istituto Nazionale di Geofisica — Dicembre 1949.

(\*) Lo scarto sul valor medio è stato calcolato in base agli errori dati dai singoli autori; riteniamo però che esso sia di molto inferiore a quello reale poiché la maggior parte di queste determinazioni sono suscettibili di critica.

## RIASSUNTO

Si determina la costante di decadimento totale  $\lambda$  del  $^{40}_{19}K$  in base all'accumulo di  $^{40}_{20}Ca$  in minerali di potassio di età remota. Vengono discusse le ipotesi su cui si basa tale procedimento e si precisa l'attendibilità dei valori ottenuti che vengono confrontati con quelli già trovati da altri autori.

## BIBLIOGRAFIA

- (<sup>1</sup>) BIRCH F.: *Phys. Rev.* 72, 1128 (1947).
- (<sup>2</sup>) VON WEIZSÄCKER C.: *Physik. Zeit.* 38, 623 (1937).
- (<sup>3</sup>) AHRENS L. H. and EVANS R. D.: *Phys. Rev.* 74, 279 (1948).
- (<sup>4</sup>) MÜHLOFF W., *Ann. d. Phys.* 7, 205 (1930).
- (<sup>5</sup>) BLEULER E. und GABRIEL M.: *Helv. Phys. Acta.* 20, 67 (1947).
- (<sup>6</sup>) GLEDITSCH E. and GRÄF T.: *Phys. Rev.* 72, 641 (1947).
- (<sup>7</sup>) AHRENS L. H.: *Nature.* 160, 874 (1947).
- (<sup>8</sup>) GRÄF T.: *Phys. Rev.* 74, 831 (1948).
- (<sup>9</sup>) BORST L. B. and FLOYD J. J.: *Phys. Rev.* 74, 989 (1948).
- (<sup>10</sup>) HIRZEL O. and WAFFLER H.: *Phys. Rev.* 74, 1553 (1948).
- (<sup>11</sup>) BORST L. B. and FLOYD J. J.: *Phys. Rev.* 75, 1106 (1949).
- (<sup>12</sup>) STOUT R. W.: *Phys. Rev.* 53, 502 (1938).
- (<sup>13</sup>) SEABORG G. T. and PERLMAN L.: *Rev. of Mod. Phys.* 20, 585, (1948).
- (<sup>14</sup>) THODE H. G., MAC NAMARA J., LOSSING F. P. and COLLINS C. B.: *J. Am. Chem. Soc.* 70, 3008 (1948).
- (<sup>15</sup>) UREY H. C.: *Science.* 108, 489 (1948).
- (<sup>16</sup>) GRÄF T.: *Phys. Rev.* 74, 1199 (1948).