

تعیین سن کریستالها با روش آشکار سازی رد پای پاره‌های شکافت: استفاده از آن بر روی آپتیهای بافق

رافیک وارطانیان

مرکز تحقیقات هسته‌ای

سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

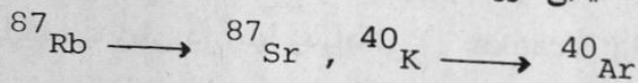
در این کار تحقیقاتی در بخش اول روش آشکار سازی رد پای پاره‌های شکافت بطور کلی تعریف و تشریح شده است. در مرحله بعد از این روش برای اندازه‌گیری سن آپتیهای بافق (کرمان) بکار برده شده است. ذرات این اندازه‌گیری ۹۸۳۳ رد پای پاره‌های شکافت خودبخودی و ۴۲۱۱ رد پای پاره‌های شکافت القایی بصورت مطلق شمارش گردیده، که از این شمارش‌ها خطای آماری مطلوبی بدست آمده است. میانگین نتایج بدست آمده عبارتست از:

$$t = (85.87 \pm 4.94) \times 10^6 \text{ yr}$$

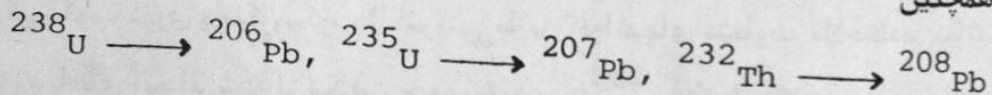
طرز تهیه و محاسبه خطای آماری این اندازه‌گیری تشریح و درباره آن بحث گردیده است.

مقدمه:

بطور کلی اکثر روشهای تعیین سن مواد بر اساس تجزیه هسته مادر به هسته دختر مواد پرتوزا بنا شده‌اند، که از این انتقال می‌توان سن نمونه را تعیین نمود. برای مثال برخی از تجزیه‌هایی را که در سالیابی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ملاحظه می‌نمائیم:



و همچنین



از این روابط با تعیین فراوانی نسبی هسته‌های مادر و دختر در یک نمونه مناسب می‌توان سن نمونه را پیدا نمود.

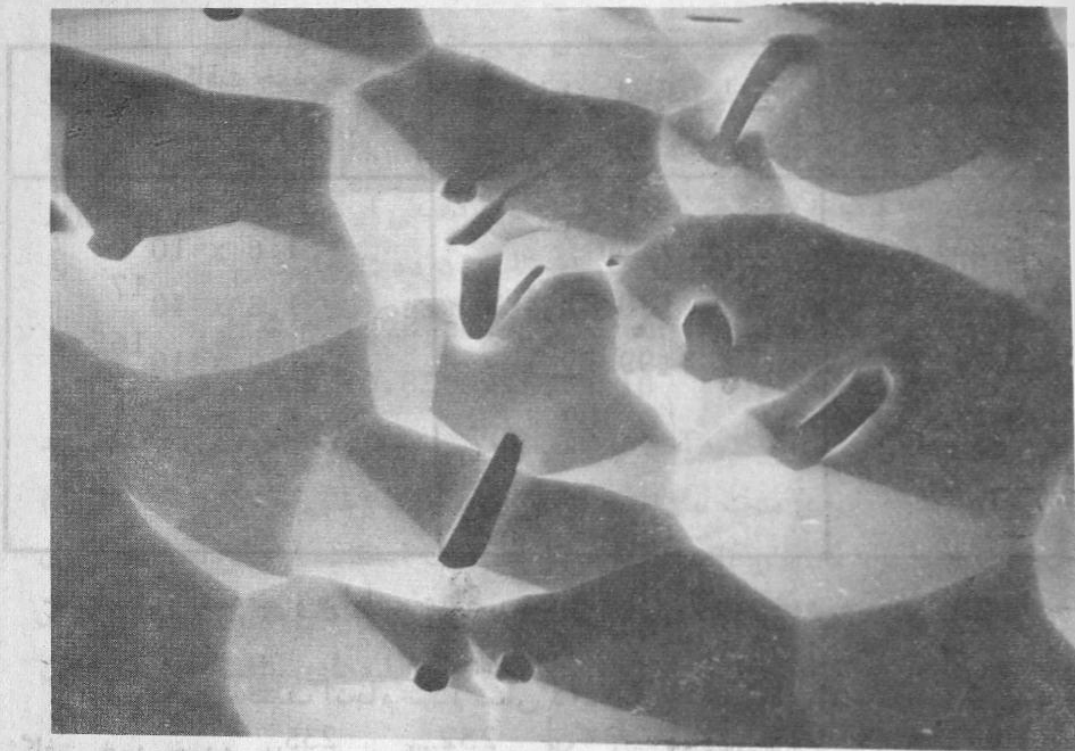
روش رد پای پاره‌های شکافت برای سالیابی بر اساس شمارش رد پای پاره‌های شکافت در کریستالها، شیشه‌ها و سنگهای آسمانی می‌باشد. این روش برای اولین بار در سال

۱۹۵۸ توسط سیلک و بارن بکمک یک میکروسکوپ الکترونی در روی ورقه‌های مایکا ملاحظه گردید (۱). پس از آن فلاشر و پرایس (۲) نشان دادند که روش مذکور می‌تواند در آزمایشات مربوط به برآورد سن کریستالها در بررسی‌های سالیابی مورد استفاده قرار گیرد. از روش فوق در سالیابی نمونه‌های آپاتیت، سفن، زیرکون، کوارتز و غیره نیز استفاده شده است (۳ تا ۸).

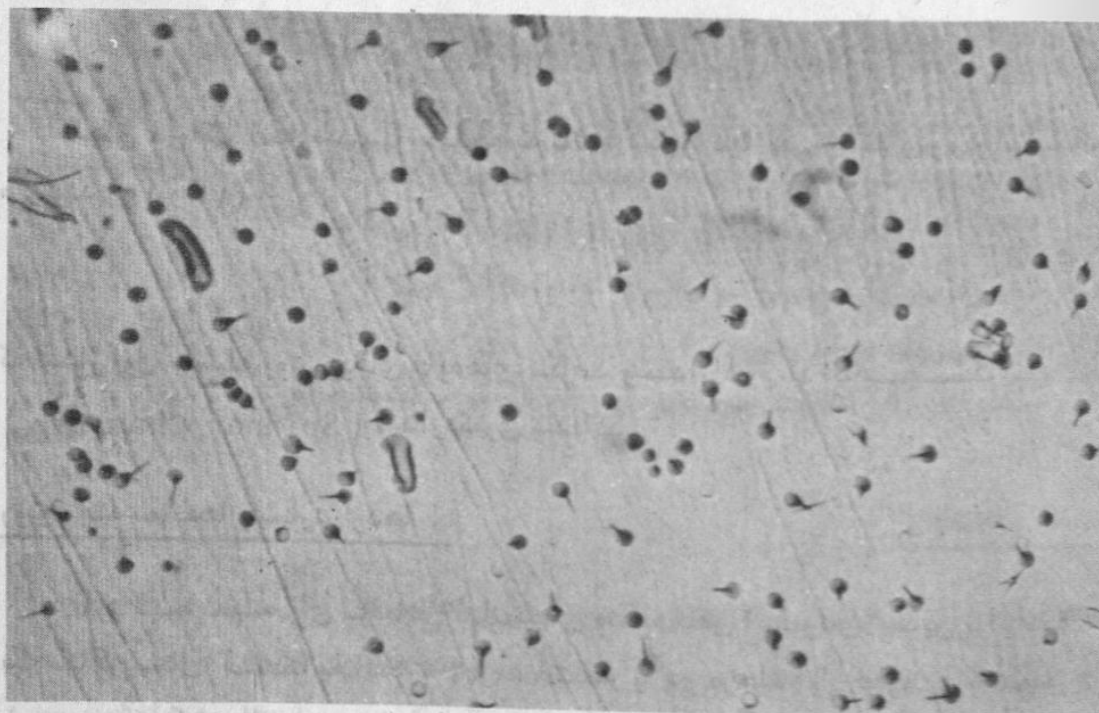
همانطوریکه در بالا ذکر شد سالیابی با روش آشکارسازی ردپای پاره‌های شکافت براساس شمارش تعداد ردها در نمونه که از شکافت خودبخودی ^{238}U ایجاد شده است و همچنین شمارش تعداد ردپاها ناشی از تابش ^{235}U با نوترونهای حرارتی انجام می‌پذیرد. در این مقاله ابتدا به تشریح روشهای بالا می‌پردازیم و از آن برای سالیابی آپاتیتهای بافق (کرمان) استفاده شده است.

شکافت خودبخودی اورانیوم - ۲۳۸

اورانیوم طبیعی از ۷۲/۰٪ ایزوتوپ ^{235}U ، ۲۷/۹۹٪ ایزوتوپ ^{238}U و $10^{-3}\%$ ایزوتوپ ^{234}U تشکیل شده که هر سه این ایزوتوپها پرتوزا (رادیاکتیو) هستند و بوسیله ساطع نمودن ذرات آلفا و شکافت خودبخودی تجزیه می‌شوند. ضریب ثابت (λ_F) برای شکافت خودبخودی ^{238}U در مقایسه با ضریب ثابت (λ_α) برای تجزیه آلفا آن ایزوتوپ بسیار ناچیز می‌باشد و در بیشتر اوقات از آن صرف نظر می‌شود. پاره‌های شکافت (Fission Fragments) ایجاد شده از شکافت خودبخودی ^{238}U با ضریب ثابت مخصوص این ایزوتوپ در کریستالها، سنگهای آسمانی، شیشه‌ها و غیره با گذشت زمان در آنها ردپاهائی (Tracks) ایجاد می‌نمایند که بوسیله شمارش این ردپاها می‌توان سن نمونه را تعیین کرد. در شکلهای ۱ و ۲ این نوع ردپاها را در میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی با بزرگنماییهای متفاوت ملاحظه می‌نمائیم. در مورد ردپاهای ایجاد شده از شکافت خودبخودی ^{238}U می‌توان گفت، تقریباً "تنها ردپاهای مهمی هستند که در کریستالها و نمونه‌ها وجود دارند که در کره زمین پیدا شده‌اند. البته عناصر دیگری نیز وجود دارند که بوسیله تجزیه خودبخودی در نمونه‌ها ایجاد ردپا می‌نمایند، لیکن یا مقدار آنها کم است و یا ضریب ثابت تجزیه و یا شکافت خودبخودی آنها بسیار کوچک می‌باشد. در جدول شماره ۱ فراوانی و نیمه‌عمر خودبخودی ایزوتوپهای اورانیوم و توریم را که بوسیله هاید (۹) جمع‌آوری شده ملاحظه می‌نمائیم.



شکل ۱- عکس میکروسکوپ نوری از آپاتیت دورانگو (مکزیک) که برای مدت ۳۰ ثانیه در HNO_3 (۶۵٪) در حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد خورش شیمیایی انجام شده است. (بزرگنمایی ۴۰۰ مرتبه)



شکل ۲- آپاتیت جزیره هرمز (ایران) که بمدت ۳۶۰ ثانیه در HNO_3 (۵۶٪) در حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد خورش یافته است در زیر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۲۰۰۰ مرتبه نشان داده شده است.

هسته اتم	فراوانی ایزوتوپها	نیمه عمر شکافت خودبخودی (بر حسب سال)
U-234	$5.6 \times 10^{-3} \%$	1.6×10^{16}
U-235	0.72 %	1.8×10^{17}
U-238	99.27 %	1.0×10^{16}
Th-232	100 %	1.0×10^{21}

جدول ۱- نیمه عمر و فراوانی عناصر سنگین برای شکافت، خودبخودی (۹).

برآوردهای مختلف انجام شده نشان داده اند که ردیاهای ایجاد شده بوسیله شکافت خودبخودی ^{235}U ، ^{232}Th کلاً "کمتر از ۵/۰٪ تمام ردیاهائی هستند که در بیشتر نمونه ها وجود دارند.

مقدار ضریب ثابت برای شکافت خودبخودی ^{238}U بوسیله دانشمندان زیادی با روشهای متفاوت اندازه گیری شده است که مقدار این ثابت مابین دو عدد زیر قرار گرفته:

$$5 \times 10^{-17} \text{ yr}^{-1} \geq \lambda_f \geq 12 \times 10^{-17} \text{ yr}^{-1}$$

لیکن در اکثر اندازه گیریها با توجه به تائید شدن آنها یکی از مقادیر زیر استفاده می شوند (۱۰ و ۱۱):

$$\lambda_f = (6.85 \pm 0.20) \times 10^{-17} \text{ yr}^{-1}$$

$$\lambda_f = (8.4 \pm 0.1) \times 10^{-17} \text{ yr}^{-1}$$

که مقدار اول بوسیله روش ردیای پاره های شکافت و مقدار دوم با اطاقک اسپینر (Spinner Chamber) اندازه گیری شده اند.

روش تهیه نمونه ها و شمارش ردها:

طرز تهیه نمونه برای سالیابی آپاتیت های منطقه بافق اسفوردی* بدین قرار است: یک تک کریستال آپاتیت به اندازه 2×4 سانتیمتر را در مرحله اول عمود بر محور z (محور کریستال) به ضخامتهای در حدود ۵ میلیمتر بصورت ورقه هائی با یکاره

* به نقشه ایران مراجعه شود

دقیق (Macrotome) بریده شده ، سپس نیمی از این نمونه را برای ردپاهای خودبخودی و نیم دیگر برای ردپاهای القائی مورد استفاده قرار داد . بمنظور ایجاد ردپاهای القائی کریستالهای بریده شده را در درجه حرارت ۶۰۰ درجه سانتیگراد در کوره بازپخت (Anneal) نموده و سپس آنها تحت فلوی دقیقی از نوترونهای حرارتسی در مرکز تحقیقات اطریش (سایبرزدورف) به قرار زیر تابش داده شده است .

$$n_1 = (7.87 \pm 0.25) \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$$

$$n_2 = (6.85 \pm 0.18) \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$$

پس از تابش نمونه‌ها در راکتور ، کلیه آنها را ابتدا بخوبی صیقل داده ، سپس در اسید نیتریک (۶۵٪) HNO₃ برای مدت ۳۰ ثانیه در درجه حرارت اطاق ، خورش (etch) انجام شده است . سپس ردپاهای ظاهر شده در کریستال با استفاده از میکروسکوپ نوری لایتس ازتوبیلان با بزرگنمایی ۱۰۰۰ مرتبه (با استفاده از روغن میکروسکوپی) شمارش گردیدند . با استفاده از رابطه سالیابی برای روش ردپاهای پاره‌های شکافت ، سن کریستال (برحسب سال) تعیین می‌گردد .

$$(1) \quad t = \frac{1}{\lambda_{\alpha}} \ln \left(1 + \frac{\lambda_{\alpha} \cdot \sigma_f \cdot I \cdot n}{\lambda_f} \cdot \frac{P_s}{P_i} \right)$$

که در معادله بالا ضریب ثابت برای تجزیه آلفای ²³⁵U ($\lambda_{\alpha} = 1.54 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$) ، λ_f ضریب ثابت برای شکافت خودبخودی ²³⁸U ($\lambda_f = 8.4 \times 10^{-17} \text{ yr}^{-1}$) ، σ_f سطح مقطع شکافت ²³⁵U برای نوترونهای حرارتی (بارن = 582) و نسبت ایزوتوپی ²³⁵U / ²³⁸U ($I = 7.26 \times 10^{-3}$) می‌باشند .

مقادیری که در فرمول بالا باید اندازه‌گیری شوند به این قرارند :

انتگرال فلوی نوترونهای حرارتی ($n = \text{ n/cm}^2$)

تعداد ردپاهای حاصل از شکافت خودبخودی و القائی بر سانتیمترمربع P_s ، P_i

محاسبات و یافته‌ها :

نتایج حاصل از شمارش ردپاها در کریستال‌ها و محاسبات آماری آنها در جدول شماره ۲ ملاحظه می‌شوند . چون در طول لوله حاوی نمونه‌ها فلوی نوترون متغیر است باید برای نمونه‌های تابش داده شده دو فلوی متفاوت در نظر بگیریم . با محاسبه میانگین

یعنی P_s/P_i :

$$(2) \quad \left(\frac{P_s}{P_i} \right) = 2.33 \pm 0.43$$

و ضرب آن با فلوهای مختلف و با در نظر گرفتن فاکتور موازنه آماری (Statistical Weighting Factor) خواهیم داشت:

$$(3) \frac{p_s}{p_i} \cdot n = \frac{\sum_{j=1}^4 g_j \left(\frac{p_s}{p_i}\right)_j}{\sum_{j=1}^4 g_j} = 17.18 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$$

با استفاده از معادله (۱) و مقدار معادله (۳) و ضریبهای ثابت برای سن آпатیت بافق خواهیم داشت:

$$t = (85.87 \pm 4.94) \times 10^6 \text{ yr}$$

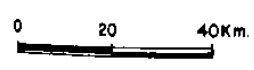
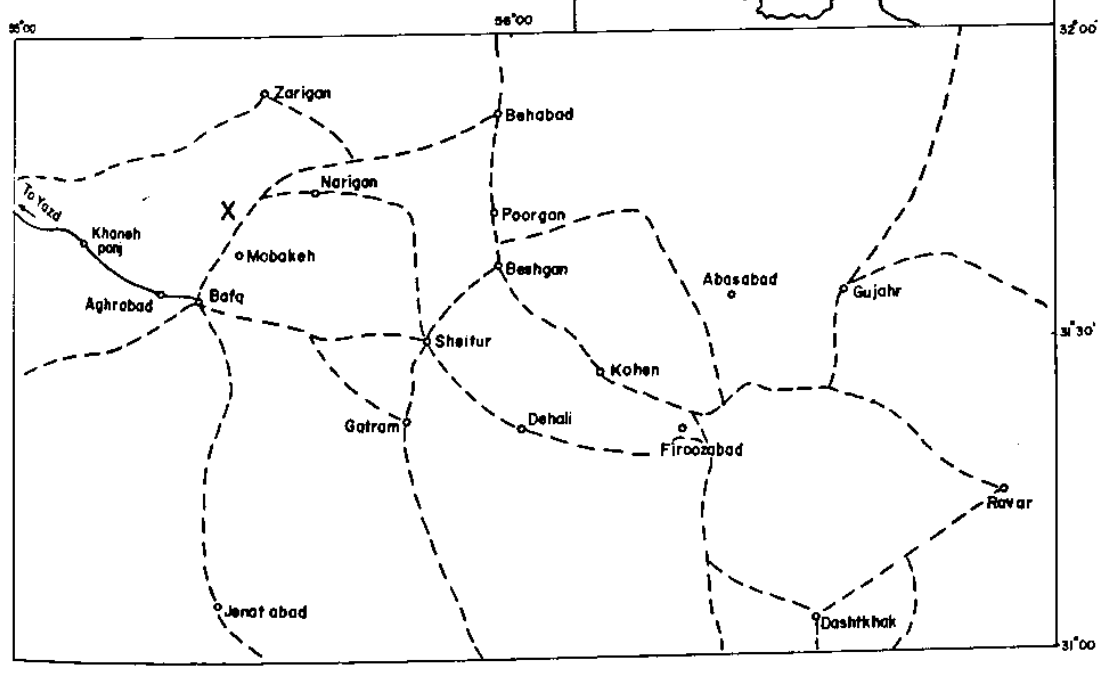
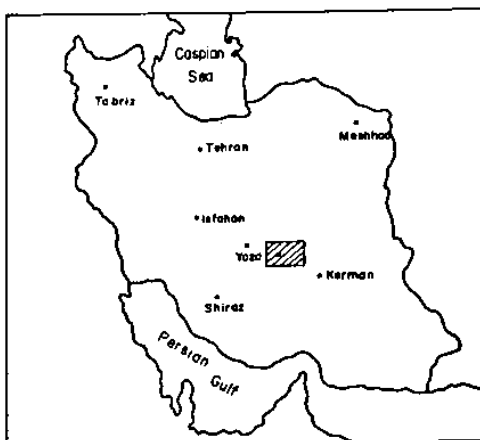
منبع اصلی خطا برای سن آپاتیتها انتگرال فلوی نوترونهای حرارتی n و نسبت p_s/p_i در زمان شمارش ردپاها می باشد.

نتیجه گیری

روش سالیابی بوسیله آشکارسازی ردپای پاره‌های شکافت یک روش ساده و خیلی ارزان و در ضمن دقیق می باشد. این روش برای اولین بار روی آپاتیت‌های منطقه بافق کرمان مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج بدست آمده کاملاً مورد قبول بوده است. جهت اطمینان بیشتر به نتایج، نمونه‌هایی از این کریستالها به دانشگاه اینسبروگ (اطریش) ارسال شد تا با روشهای متداول مورد سالیابی قرار گیرد (۱۲). نتایج بدست آمده در اطریش کاملاً با نتایج بدست آمده توافق دارند. شماره ردپاها در حد ممکن با دقت زیاد انجام گرفته و نمونه یا فلوی انتگرال دقیقی تابش داده شده‌اند.

شماره جدول	مقدار رد ناهای (مطلق) α		مقدار رد ناهای بر اساس ضریب مرتب $\alpha \times 10^3$		انحراف فلوی نوری		فاکتور مؤثره آمیازی	
	β_c	β_i	β_c	β_i	β_c	β_i	$\frac{\beta_c}{\beta_i}$	β_c
۱	۲۵۶۰	۱۱۲۵	۵۱/۲۶±۱/۱۷	۲۶/۰۴±۰/۷۶	۲۰۲۷۶±۰/۰۸۰	۷۰۸۵±۰/۲۵	۱۷.۸۷±۰.۶۳	۰/۲۶۲
۲	۲۳۸۰	۱۰۲۰	۵۵/۰۹±۱/۱۳	۲۳/۶۱±۰/۷۲	۲۰۳۴۲±۰/۰۸۷	۶۰۸۵±۰/۱۸	۱۵.۹۸±۰.۶۰	۰.۲۲۲
۳	۲۴۶۷	۱۰۲۹	۵۷/۱۰±۱/۱۵	۲۴/۲۸±۰/۷۵	۲۰۳۵۲±۰/۰۸۷	۷.۸۵±۰/۲۵	۱۸.۲۶±۰.۶۸	۰/۲۵۰
۴	۲۲۳۶	۱۰۱۷	۵۶/۱۵±۱/۱۲	۲۳/۵۲±۰/۷۲	۲۰۳۸۵±۰/۰۸۹	۶۰۸۵±۰/۱۸	۱۶.۲۲±۰.۶۰	۰.۲۳۵

جدول ۴ - رد ناهای خود بخودی و القایی برای آلیاژهای نایق (گرمای) و انحراف فلوی نوری نوری استناد شده.



شکل ۱- محل نمونه آب‌تینهای بافق (اسفوردی) در نقشه ایران با علامت (x) مشخص شده است.

References:

1. Silk, E.C.H. and Barnes, R.S.: Examination of fission fragment tracks with an electron microscope, *Phil. Mag.*, Vol. 4, p.970-972 (1959).
2. Fleischer, R.L. and Price, P.B.: Techniques for geological dating of minerals by chemical etching of fission fragment tracks, *Geochim. et. Cosmochim. Acta*, Vol.28, p. 1705-1714 (1964).
3. Naeser, C.W.: The use of apatite and sphene for fission track age determination, *Geological Society of America Bulletin*, Vol.78, p.1523-1526 (1967).
4. Wagner, G.A.: Spuren der spontanen Kernspaltung des U^{238} als Mittel zur Datierung von Apatiten und ein Beitrag zur Geochronologie des Odenwaldes, *N. Jb. Miner.*, Band 110, p. 252-286 (1969).
5. Wagner, G.A.: Spaltspurenalter von Mineralen und natürlichen Glasern:
Eine Uebersicht, *Fortschr. Miner.*, Band 49, p.114-145 (1972).
6. Maerk, E., Pahl, M. and Maerk T.D.: Fission-track Alter von Durango Apatit, Mexiko, *Contr. Mineral and Petrol*, Vol. 32, p. 147-148 (1971).
7. Vartanian, R., Maerk, T.D., Pahl, M. and Purtscheller, F.: Fission Track age determination of apatite from the Hormoz Island, Iran. *Ber., nat.-med. Ver. Innsbruck*, Band 63, p. 7-10 (1976).
8. Koark, H.J., Maerk, T.D., Pahl, M., Purtscheller,

- F., and Vartanian, R. Fission-track dating of apatites in Swedish Precambrian apatite iron ores, Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala, N.S., Vol. 7, p. 103-108 (1978).
9. Hyde, E.K., The nuclear properties of the heavy elements. Bd III, Fission Phenomena, Prentice Hall, Englewood, New Jersey (1964).
 10. Fleischer, R.L. and Price, P.B.: Decay constant for spontaneous fission of U^{238} , Phys. Rev., 133 B. p. 63-64 (1964).
 11. Spandavecchia, A. and Hahn, B., Die Rotationskammer und einige Anwendungen, Helv. Phys. Acta, 40, p. 1063-1079 (1967).
 12. Ritter, W., Kronthaler, F., Girstmair, A. Vartanian, R., Koark, H.J., Purtscheller, F. and Mark, T.D.: Fissiontrack temperature-ages. To be published in 12 Int. Conf. on SSNTD (1983).

AGE DETERMINATION OF CRYSTALS USING FISSION TRACK
METHOD; APPLICATION TO BAFQ UPATITE SAMPLES

R.Vartanian

Nuclear Research Center

Atomic Energy Organization of Iran,

P.O.Box 3327, Tehran, Iran.

Abstract

In the present investigation first the fission track technique for age determination has been described and afterwards the method has been applied on samples of apatite crystals from Bafq (Kerman). In this measurement 9833 spontaneous and 4211 induced tracks were counted respectively, providing a reasonably low statistical error for the calculation. The results obtained show the age of the crystals to be :

$$t = (85.87 \pm 4.94) \times 10^6 \text{ yr}$$

The technique of preparation and statistical sources of error are described and discussed.