

Soru Takımı #1'in Çözümleri

Jeokronoloji ve Güneş Sistemi'nin Yaşı

1. Patterson'un klasik 1956 makalesini okuyunuz:

Patterson, C. (1956) Age of meteorites and the earth. Geochimica et Cosmochimica Acta 10, 230-237.

Bu makale Yeryuvarı ve Güneş Sistemi'nin ilk kesin radyometrik yaşını sunmaktadır.

(a) ^{238}U ve ^{235}U radyoaktif parçalanma hız ifadeleri ile başlayarak, sayfa 231'deki Patterson denklemini (I) türetiniz. İki göktaşının (meteoritin) ilksel kurşun kapsamı ve yaşına ilişkin ne tür kabullenmeler yapmak gereklidir?

^{235}U ve ^{238}U için radyoaktif parçalanmanın hız ifadeleri:

$$207\text{Pb} = (207\text{Pb})_0 + 235\text{U}(e^{\lambda_1 T} - 1) \text{ ve } 206\text{Pb} = (206\text{Pb})_0 + 238\text{U}(e^{\lambda_2 T} - 1)$$

^{207}Pb , ^{206}Pb , ^{235}U ve ^{238}U T zamanındaki bu izotopların derişimini (konsantrasyonunu) belirtmektedir. λ_1 ve λ_2 sırasıyla ^{235}U ve ^{238}U izotoplarının radyoaktif parçalanma sabiteleridir. Her iki denklemin her iki tarafında radyojenik olmayan (yani radyoaktif parçalanma sonucunda oluşmamış) ^{204}Pb bölünmesi durumunda:

$$\frac{207\text{Pb}}{204\text{Pb}} = \left(\frac{207\text{Pb}}{204\text{Pb}}\right)_0 + \frac{235\text{U}}{204\text{Pb}}(e^{\lambda_1 T} - 1)$$

$$\frac{206\text{Pb}}{204\text{Pb}} = \left(\frac{206\text{Pb}}{204\text{Pb}}\right)_0 + \frac{238\text{U}}{204\text{Pb}}(e^{\lambda_2 T} - 1)$$

bağıntıları elde edilir.

$R_1 = ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ve $R_2 = ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ olsun.

Bu durumda yukarıdaki denklemler aşağıdaki durumu alır:

$$R_1 = (R_1)_0 + \frac{235\text{U}}{204\text{Pb}}(e^{\lambda_1 T} - 1) \text{ ve } R_2 = (R_2)_0 + \frac{238\text{U}}{204\text{Pb}}(e^{\lambda_2 T} - 1)$$

T zamanında bu izotopları ölçülmüş a ve b gibi iki göktaşını (meteoriti) dikkate alalım:

$$R_{1a} = (R_{1a})_0 + \left(\frac{235\text{U}}{204\text{Pb}}\right)_a (e^{\lambda_1 T a} - 1) \text{ ve}$$

$$R_{2a} = (R_{2a})_0 + \left(\frac{238\text{U}}{204\text{Pb}}\right)_a (e^{\lambda_2 T a} - 1)$$

$$R_{1b} = (R_{1b})_0 + \left(\frac{235\text{U}}{204\text{Pb}}\right)_b (e^{\lambda_1 T b} - 1) \text{ ve}$$

$$R_{2b} = (R_{2b})_0 + \left(\frac{238\text{U}}{204\text{Pb}}\right)_b (e^{\lambda_2 T b} - 1)$$

Alt taraftaki denklemleri üsttekinden çıkartalım:

$$R_{1a} - R_{1b} = (R_{1a})_0 - (R_{1b})_0 + (235U/204Pb)_a(e^{\lambda_{1T}a} - 1) - (235U/204Pb)_b(e^{\lambda_{2T}b} - 1)$$

$$R_{2a} - R_{2b} = (R_{2a})_0 - (R_{2b})_0 + (238U/204Pb)_a(e^{\lambda_{1T}a} - 1) - (238U/204Pb)_b(e^{\lambda_{2T}b} - 1)$$

Göktaşlarının (meteoritlerin) aynı yaş ve aynı kurşun izotopik değerlere sahip oldukları varsayılırsa, yukarıdaki denklemler aşağıdaki şekilde yalınlaşmaktadır.

$$R_{1a} - R_{1b} = \left[\left(\frac{235U}{204Pb} \right)_a - \left(\frac{235U}{204Pb} \right)_b \right] (e^{\lambda_{1T}} - 1)$$

$$R_{2a} - R_{2b} = \left[\left(\frac{238U}{204Pb} \right)_a - \left(\frac{238U}{204Pb} \right)_b \right] (e^{\lambda_{2T}} - 1)$$

Şimdi, $^{235}U_a = c^{235}U_b$ (c bir sabit) ise, $^{235}U/^{238}U=1/k$ (yani uranyum izotoplarının oranları bütün örnekler için sabit olduğu varsayılırsa) kullanarak, $^{238}U_a=c^{238}U_b$ olduğunu görürüz. Bu nedenle yukarıdaki denklemler aşağıdaki ifadelere dönüşür:

$$\begin{aligned} R_{1a} - R_{1b} &= \left[c \left(\frac{235U}{204Pb} \right)_a - \left(\frac{235U}{204Pb} \right)_b \right] (e^{\lambda_{1T}} - 1) \\ &= \frac{(c-1)}{204Pb} 235U_b (e^{\lambda_{1T}} - 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{2a} - R_{2b} &= \left[c \left(\frac{238U}{204Pb} \right)_a - \left(\frac{238U}{204Pb} \right)_b \right] (e^{\lambda_{2T}} - 1) \\ &= \frac{(c-1)}{204Pb} 238U_b (e^{\lambda_{2T}} - 1) \end{aligned}$$

Her iki denklemi birbirine bölersek, $^{238}U/^{235}U = k$ ifadesi yerleştirecek, aşağıdaki denklemi elde ederiz:

$$\frac{R_{1a} - R_{1b}}{R_{2a} - R_{2b}} = \frac{(e^{\lambda_{1T}} - 1)}{k(e^{\lambda_{2T}} - 1)}$$

- (b) Eğer Güneş Sistemi şu anda 4.5 milyar yıl değil de, 6 milyar yıl yaşında olsaydı, izokronun eğimi Patterson'un 1 nolu şeklindeki izokronun eğiminden daha dik mi yoksa daha yatık mı olurdu? Eğer şu anda Güneş Sistemi 3 milyar yıl yaşında olsaydı, izokronun eğimi nasıl olurdu?

Eğer Güneş Sistemi şu an 6 milyar yıl yaşında olsaydı (Şekil 1'de gösterilenden daha yaşlı olduğundan), izokronun eğimi daha sarp (dik) olurdu. Eğer 3 milyar yıl yaşında olsaydı, o zaman ise (Şekil 1'dekinden daha genç ise), izokron daha az eğimli olacaktır. Bu sonuçlar,

ders notlarındaki izokron eğimi denkleminde, T'nin yerine farklı değerler yerleştirilerek elde edilebilir.

$$M = \frac{(e^{\lambda_1 T} - 1)}{k(e^{\lambda_2 T} - 1)}$$

Soru çözümleri sonunda verilen birinci şekilde, bu fonksiyonun artan yaşla artmış olduğu görülmektedir.

- (c) Patterson'un makalesindeki Şekil 1 (arka sayfada verilmektedir) göktaşlarının izokronunun, 1 milyar yıl önce hipotetik bir gözlemciye göktaşları yalnızca 3.5 milyar yıl yaşında olduğunda nasıl görüneceğini kabaca resmediniz. Bu izokron günümüz izokronundan daha sarp veya daha yatık mıdır? Bunu Pb-Pb yaş tayini için izokron denklemini kullanarak, b seçeneğine verdiğiniz yanıtla bağdaştırınız.

Birkaç yıl önce bir gözlemciye gözükcek izokron günümüzdeki izokronundan daha dik olacaktır. Bu soruyu yanıtlamak için gerekli yol-gösterici, geçmişte $k = \frac{^{238}\text{U}}{^{235}\text{U}}$ oranının düşük olmasıdır. Bunu $k(T)$ için bir denklem oluşturarak görebilirsiniz

$$^{235}\text{U} = (^{235}\text{U})_0 e^{-\lambda_1 T} \text{ ve } ^{238}\text{U} = (^{238}\text{U})_0 e^{-\lambda_2 T}$$

buradan

$$k = \frac{(^{238}\text{U})_0 e^{-\lambda_2 T}}{(^{235}\text{U})_0 e^{\lambda_1 T}}$$

$\lambda_1 > \lambda_2$ olduğundan, k zamanla tekdüze (monoton) olarak azalır. k tabiiatta yersel olarak sabit olmasına karşın, zamansal olarak sabit değildir. Doğrunun eğimine ilişkin denklem, geçmişte izokronun eğiminin daha fazla olacağına işaret etmektedir:

$$M = \frac{(^{235}\text{U})_0 e^{-\lambda_2 T} (e^{\lambda_1 T} - 1)}{(^{238}\text{U})_0 e^{\lambda_1 T} (e^{\lambda_2 T} - 1)} = \frac{(^{235}\text{U})_0 (1 - e^{-\lambda_1 T})}{(^{238}\text{U})_0 (1 - e^{-\lambda_2 T})}$$

Soru çözümleri sonunda verilen ikinci şekilde, bu fonksiyon zamanla azaldığı görülmektedir. Bu ilk bakışta b seçeneğine verdiğiniz yanıtla çelişiyor gözükmektedir. Gerçekte bir çelişki olmayıp, ikincisi yalnızca bugün gözlenen örnekler için geçerlidir.

Örneklerin izokronları örnekler yaşlandığında yatıklaşmaktadır. Ancak yaşlı örnekler daha eğimli izokronlarla başlamakta, böylece onların günümüz izokronları genç örneklerinkinden daha sarpdır.

- (d) Kanyon Diablo göktaşına ait veriler troilit minerali ölçülerek toplanmıştır. Bu mineralin kimyasal formülü nedir? Troilitte daha fazla U mu veya Pb mu bulmayı beklersiniz? Bu Yeryuvarı'nın ilksel Pb izotopik değerini sınırlamada nasıl yardımcı olur?

Troilit mineralinin kimyasal formülü FeS 'dür. Pb kalkofil (S'ü seven) bir elementtir. Buna karşılık U ise, litofil (silikati seven) bir elementtir: Pb Güneş Sistemi'nde Pb^{2+} iyonları halinde olup, tıpkı troilitteki Fe^{2+} gibi. U ise U^{4+} ve U^{6+} olarak doğada bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak, uranyumdan ziyade, Pb troilitteki Fe^{2+} nin kristal kafesindeki yerini alır. Troilit, bu nedenle, U'dan ziyade önemli miktarda Pb içerir. Mineral içindeki başlangıçtaki U miktarı son derece az olacağından, Güneş Sistemi'nin gelişimi süresince göktaşındaki radyojenik Pb miktarı son derece az miktarda artmıştır. Bugünkü Pb içeriği ve izotopik oranları başlangıçtakine yakındır.

- (e) Güneş Sistemi'nin yaşını bulmak için Çizelge 1'deki verileri kullanınız. Bu veriler yardımıyla ilk olarak Patterson'un Şekil 1'ini yeniden çiziniz. Beş göktaşının (meteoritin) Pb izotopik değerlerini şekil üzerinde gösteriniz ve Canyon Diablo göktaşına ait veri üzerinden geçen en uygun doğrunun eğimini belirleyiniz. Bir numaralı denklemin soyut (transandantal) olmasından dolayı, denklemi zaman için çözmek için sağ tarafını yinelenmeli olarak hesaplamak gerekli olduğuna dikkat ediniz.

Ekleki Excel çizelgesine bakınız.

- (f) Bu sonuçlara dayanarak, 4 Vesta (asteroit) kabuğunun oluşumunun minimum yaşı ne olmalıdır? Arizona'daki göktaşı kraterini oluşturan asteroidinin çekirdeğinin oluşumunun minimum yaşı nedir?

Patterson, Nuevo Laredo'nun kristallenme yaşının 4.55-4.56 milyar yıl olduğunu göstermiştir. Nuevo Laredo bir ökrit olup, asteroid 4 Vesta'dan farklılaşmış olduğu düşünülmektedir. Bundan ötürü, Vesta'nın kabuğunun oluşumunun minimum yaşı 4.55 milyar yıldır.

Kraterini oluşturan göktaşı Canyon Diablo'nun ana kütesidir. Canyon Diablo bir demir göktaşı olup ve ana kütlein çekirdeğinden türemiş olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple, 4.55 milyar yıllık yaş değeri onun çekirdeğinin oluşumu için minimum yaş olarak kabul edilmektedir.

- (g) Şimdi, Patterson'un sonuçlarının bir adım ötesine gidelim: Güneş Sistemi'nin bilinen en yaşlı katılarına verilen ad verilmektedir? Onların kesin yaşı nedir (1 milyon yıl ölçeğinde)? Güneş Nebulasında beklenen yoğunlaşma sırasına bağlı olarak, bileşimlerine ilişkin açıklamalar yapınız.

Bilinen en yaşlı Güneş Sistemi katıları kalsiyum alüminyum kapaımlarıdır (**CAI: Calcium Aluminum Inclusions**). Y. Amelin tarafından 2002'de 4567 milyon yıl olarak yaşlandırılmışlardır. Lewis'in Güneş Nebulası'nın yoğunlaşması için öngördüğü jeokimyasal model, yüksek buharlaşma noktasına sahip olan minerallerin ilk önce yoğunlaşacağını öngörmektedir. Dağıtılan kâğıtlardan ve Şekil 128b-c'den de anlaşılacağı gibi Ca- ve Al-lu mineraller en yüksek yoğunlaşma sıcaklıklarına sahip olacaklardır (yani oldukça ısıya dayanıklıdır).

