

測定岩石絕對年齡的鉀-氬法

Х. И. 阿米尔哈諾夫 С. Б. 布朗特

科學出版社

Х. И. АМИРХАНОВ С. Б. БРАНДТ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА
ПОРОД ПО РАДИОАКТИВНОМУ
ПРЕВРАЩЕНИЮ КАЛИЯ 40 K В АРГОН 40 Ar
АН СССР ДАГЕСТАНСКИЙ ФИЛИАЛ

Махачкала, 1956 г.

內 容 簡 介

岩石絕對年齡測定已成為現代地質學中重要課題之一，世界各國都在研究使用各種天然同位素來測定岩石的絕對年齡，以解決地質建造的生成時代問題，彌補相對地質年表之不足。本書內容主要以蘇聯科學院達格斯坦分院岩石絕對年齡測定工作者們利用 K^{40} 放射轉變成 Ar^{40} 測定岩石絕對年齡的實驗成果為例，來詳細論述放射性測定地質建造絕對年齡的原理和方法，特別是對於 K^{40} 的衰變系統及其常數的測定、岩石和礦物中放射成因氬量以及年齡的計算、氬法測定絕對年齡的工藝要求等一系列問題都作了專門討論。最後一章闡述了質譜計在氬法測定絕對年齡中的應用，並着重介紹了作者們所研究使用的質譜法。

這些研究成果可供我國研究地質建造絕對年齡測定，特別是從事于氬法測定的工作者參考。

測定岩石絕對年齡的鉀-氬法

Х. И. 阿米尔哈諾夫 С. Б. 布朗特 著

范嗣昆 戴禮謨 邱純一 譯

吳 澤 霖 校

*

科學出版社出版 (北京朝陽門大街 117 號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第 061 號

中國科學院印刷廠印刷 新華書店總經售

*

1962 年 7 月 第 一 版

書號：2544 字數：106,000

1962 年 7 月 第一次印刷

開本：850×1168 1/32

(京) 0001—3,050

印張：4 1/8

定價：0.75 元

序 言

由于保存着良好放射性的（主要是含铀的）矿物很稀少，并且放射化学分析又很复杂，所以用岩石和矿物中放射性元素的衰变产物来测定地质建造绝对年龄的方法长期以来受到了阻碍，未能广泛应用。因此，长久以来，尽管这种方法的原理本身很简单明确，但可靠的数据却为数极少，并且对于解决一般地质学上的基本问题帮助不大。

利用钾 40 放射衰变为氩 40 来测定绝对年龄的方法提出以后，情况就发生了深刻的变化。这种新方法使得可以用来做这种测定的矿物应用范围大为扩大。不过，气体的分析既复杂而又花费时间较多，因此最初仍然遇到了一定困难。

应用质谱学来对含钾矿物和岩石中放射成因氩做数量上的测定就为进行大量分析提供了可能性，因而便被视为非常关键的一个步骤。

当然，要掌握质谱分析和查明矿物和岩石中氩的完整性，不是一蹴而就的。在这方面已取得了初步成果，获得了大量的数据，这些数据的可靠性是通过两方面验证的，即用其他放射性矿物进行平行检查分析和用已研究确定了的地层层位的资料加以验证。

这个巨大成就的荣誉应归功于苏联科学院达格斯坦分院的物理学家们，这是由于他们顽强的组织工作和劳动的结果，制定出了方法的原理和仪器设备，同时在自己的分院建立了完备的绝对年龄测定实验室，但是分院的工作人员并非局限于这些方面。物理学家 X. И. 阿米尔哈诺夫 (Амирханов) 和 С. Б. 布朗特 (Брандт) 考虑到对岩石含钾矿物中氩 (Ar^{40}) 含量大量分析的新方法的重大意义，和为普通地质学和实用地质学的发展开辟了新途径的测定

絕對年齡方法的先進性，就總結了分院絕對年齡實驗室的經驗，著成此書。

書中簡要地敘述了所有用氬法測定岩石絕對年齡技術有關的基本問題。

第一章“緒論”，闡述了有關這一問題的研究歷史。

第二章“放射性和地質年代學”，向讀者介紹了 И. Е. 斯塔里克 (Старик)、Э. К. 格爾林克 (Герлинг) 和 К. 蘭卡瑪 (Rankama) 等人的關於放射現象和放射性方法的基本理論。

第三章是鉀 (K^{40}) 放射轉變為氬 (Ar^{40})，批判地介紹了測定 K^{40} 轉變為 Ar^{40} 的衰變常數的著作，並且也詳細地描述了轉變的機理。最後引出了氬法計算公式的結論。

第四章根據放射成因氬的數量來測定地質建造的絕對年齡。這也就是敘述了 Э. К. 格爾林克、更特奈爾 (Gentner) 等人以及蘇聯科學院達格斯坦分院關於氬在岩石中保存狀況著作的內容。

此外，在這一章中還敘述了為一些作者所採用的氬法的工藝部分：高真空的建立、岩石中氬的析出、氬的純化以及不用質譜方法測定氬含量。

第五章“應用質譜學來測定岩石中放射成因氬的數量”，闡述了質譜儀的原理，同位素稀釋法的實質，測定放射成因氬時質譜學的不同用法，用普通大氣氬以及富集了 Ar^{36} 同位素的火氣氬作為標準氣體的應用問題。

全書內有 53 幅插圖和 162 條參考文獻。

本書不僅對絕對地質年齡測定實驗室的工作者有用，而且對地球化學家來說也為解決各種地球化學問題揭示了廣泛應用類似方法的可能性。同時，本書對絕對年齡問題感興趣的地質學家們也是有益的。

Д. И. 謝爾巴科夫院士

目 录

序言	(v)
第一章 緒論	(1)
第二章 放射性和地質年代学	(6)
一、放射性的物理基础	(6)
二、測定地質建造絕對年齡的放射性方法原則	(8)
三、測定絕對年齡的放射性方法一般理論	(10)
四、測定年齡的其它方法	(20)
第三章 K^{40} 放射轉变为 Ar^{40}	(24)
一、自然界中的鉀和氩	(24)
二、 K^{40} 放射衰变系統	(26)
三、 K^{40} 衰变常数不同的測定	(31)
四、矿物和岩石中放射成因氩量和年齡的計算	(35)
第四章 氦法測定地質建造絕對年齡	(39)
一、氦法	(39)
二、矿物和岩石中放射成因氦的保存	(40)
三、氦法的工艺学	(52)
四、用来析出和測定放射成因氦量的各种仪器	(73)
第五章 应用質譜学測定岩石中放射成因氦的数量	(77)
一、質譜計	(77)
二、同位素稀釋法	(85)
三、用質譜学測定氦年齡的各項工作	(91)
四、苏联科学院达格斯坦分院所研究的質譜法	(101)
結論	(122)
参考文献	(123)

第一章 緒 論

組成地殼的地質建造形成的順序和時間對估價其中存在的礦產具有現實的意義。在應用地質學中應用絕對年齡數據能很快地確定某種岩漿岩是含礦的侵入雜岩體，因此就能正確地確定找礦標志。

“在蘇聯第一個提出絕對年齡測定對地質科學和實踐意義問題的是 В. И. 維爾納茨基(Вернадский)院士。他創立了地質科學的新分支，稱為放射性地質學(Радиогеология)，並確立了它的任務是‘放射性地質學研究地球放射作用的过程及其在地質現象中的反映和表現’。

“В. И. 維爾納茨基認為放射性地質學第一個基本任務是確定地質現象和地質建造的絕對年齡，這是以在礦物和岩石中放射衰變現象及其衰變產物的聚積數據為時間的函數作為依據的。他指出了這個領域中兩個基本問題：1) 確定地質作用的時間長短；2) 確定地層和侵入體的年齡。為了指出這個工作的意義，В. И. 維爾納茨基寫道：‘這種時間上的確定就可能非常明確地認識地質事件的同时性(одновременность)和同期性(синхроничность)’，他又指出‘目前還沒有足夠多的事實，就巨大的範圍來估計這種年代確定的可能性，但在不久的將來它必使地質學者的全部科學工作和科學概念發生根本改變’。

“生活活生生地証實了 В. И. 維爾納茨基的預見。他在許多年以前提出的任務不僅未失去其科學和實際意義，而且變得更尖銳、更現實了”。[Д. И. 謝爾巴科夫(Шербаков)和 О. Д. 列維茨基(Левицкий)]^[1]。

事實上在今天地質時代和絕對年齡是現代地質找礦研究的基礎，沒有這些基礎將不能解決重大的地質-地層學問題，而這一問

題正越来越为一般地質勘探部門所关注。

地質学碰到的一个主要困难，是由于地質科学本身的特殊性所造成的。地質作用期限与人类生命，人类历史甚至是与任何实验可能的延續性相比較是无限大的。地質学者是根据現在去判断地壳的过去，他們不可能根据時間比例去內推，而不得不使用外推法来推論。

岩石、矿物和地質事实的絕對年齡給这种推論提供一个客观的基础，絕對年齡方面的知識無論在科学和实践上都是极重要的，并且是地質工作者的可靠指南。

在单位時間里以一定的速度所发生的过程是測定地質建造絕對年齡的基础。十九世紀初期地質学家和物理学家共同努力去寻找这种过程。就象物理学家克尔文(lord Kelvin)假定的一样，“根据所有經典的物理学定律”地球是由熔融物質冷凝而成。确定地球年齡为 4,000 万年。地質学者根据在海水中盐类的聚集和沉积物的厚度估計絕對年齡則推翻了 4,000 万年的过低的数值，但是后者的数据仍然还是偏低的。在地質时代中所有这些过程都不是以常速进行的。这个例子說明现实主义的原則不应当变为均变論(униформизм)，也就是将現代地質条件机械地硬套在过去的地質时代上。

大概唯一已知的具有一定速度而发生的过程是物質的放射衰变現象。只有它可被視为是時間的“保藏物”，就象地質时計一样。已經指出，無論是高温、高压或者化学結合的状态对放射衰变速率均无明显的影响。由于測定地壳物質中內力作用(例如宇宙質点的轰击)的結果而改变自然放射过程的可能性很小。

今天已知有許多的放射性过程可能用于地質年代学。从而最确切地制定了測定岩浆岩或火成岩、地質建造的方法。

測定絕對年齡方法的理論和实践(不仅有火成岩和矿物，而且也有沉积岩)是目前工作的主題，而 K^{40} 放射衰变为 Ar^{40} 則是方法的基础。

众所周知，鉀是地壳上常見組分之一，地壳被勘探的部分中含

鉀約 2.6%。自然界中鉀出現在造岩礦物——長石、雲母中，或出現於易溶於水的礦物——鉀鹽 KCl (52.48%K)、光鹵石 $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 等之中。自然界鉀的原子量為 39.096，它由三種同位素組成： K^{39} (93.91%)、 K^{41} (6.68%)和 K^{40} (0.0119%)。稀少的同位素 K^{40} 具有弱放射性，並部分衰變成鈣質量數為 40 的同位素—— Ca^{40} ，而部分地衰變為氩質量數為 40 的同位素—— Ar^{40} 。鉀的半衰期約為 1.2×10^8 年，完全可以與地質事件的長短相比擬，測定岩石和礦石中的同位素 Ar^{40} 都是放射成因的。也就是說系由 K^{40} 放射衰變而來的。

一方面含鉀礦物和岩石分布廣，另一方面衰變產物很純，因此對於符合實用地質學需要的氩法工作來說，是特別有前途和吸引人的。

鉀放射性的機制在 1937 年第一次得到正確的科學解釋^[2]，但是由於 K^{40} 的放射性很弱，長期以來衰變常數未獲準確的測定值。僅僅近年來用兩個原理上彼此不同的方法所得到的數據才準確地相符合。1943 年，湯姆遜和羅倫茨(Thomson, Rowlands)發表了根據含鉀礦物中放射成因氩的含量來測定它們的年齡的可能性的推想。但實際上第一個用放射性 K^{40} 來測定絕對年齡(氩法)的是蘇聯 Э. К. 格爾林克和 Н. Е. 吉托夫(Титов, 1948)。運用這個基本理論，在蘇聯和外國很多研究者已建立了許多類型的儀器，進行過無數次的絕對年齡測定。

廣泛採用氩法的唯一障礙是現在還未闡明在礦物中放射成因氩的保存性問題，顯然，絕對年齡的任何評價都必須建立在這一前提的基礎上，即因衰變形成的氩完整保存在礦物中而不會由於某種作用(如擴散作用)而消失。如果放射成因氩在礦物的地質歷史中發生了消失，那就必須要有可能定量地估計這個現象的外部標誌。

現在僅是雲母已經證明能完全保存放射成因的氩，同時對於某些類型的長石最終的證據還未得到。

雖然如此，但是氩法的遠景，主要是它的高效率迫使許多地質

学者接受了它对其它岩石的臆断(априори)。

无论在苏联或者在外国有许多的权威地质学家完全将氩法作为自己研究工作的基础,并根据它作出实际的结论。

用氩法测定年龄无论采用任何方案都必须包括三个阶段: 1) 从岩石或矿物标本中析出放射成因氩; 2) 测定析出的放射成因氩的数量; 3) 测定标本中形成放射成因氩的钾(K^{40})的数量。以 2) 和 3) 两项的数据即可以确定标本年龄。这个数值还应当用标本的地质-矿物学特性来证实。这些特性是为了估计在标本晶格中氩保存好坏所必需的。

今天氩法的一切测定技术出现两个趋向: 提高测定的精确度和增大仪器的灵敏度。但是地质学者使用的方法对于实践来说, 使他们感兴趣的是方法的效率, 也就是一次测定所需的时间。现代技术在此种含义上会提供怎样的可能性呢?

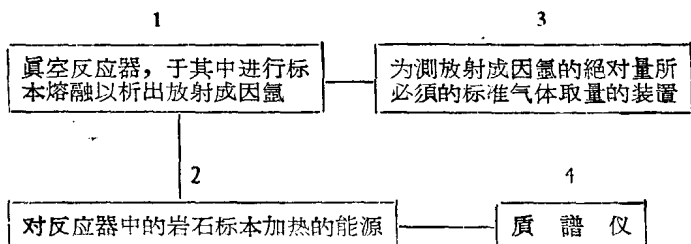
精确度的概念首先应当是包含着放射成因氩析出完全的程度问题。既然氩原子保存在矿物结晶格架中, 那么要将它们析出就必须完全地或部分地破坏结晶格架。要实现这样的破坏可以用溶解、加热或熔融矿物来达到。也可以期望最后一种方式——熔融——能赋予最有效的结果。

至于提高方法的灵敏度, 也就是设计一种仪器, 能可靠地测定极少量的放射成因的氩。这就能够一方面将样品称重缩减到几克, 另一方面又能测量最年青的地质建造的年龄。

以后将对已有的各种方法进行评述。这里仅对苏联科学院达格斯坦分院所拟制的方法进行描述。方法的基本系统如下:

在这个仪器中首先有真空反应器(1), 在反应器中以加热熔融的方式将岩石中放射成因氩析出。反应器借助于油扩散泵, 真空捕集器也就是高度真空的工具获得高真空。加热的能源(2)是高频电炉或者是供给装在反应器内部的电阻以能源的绕线变压器。用质谱计(4)测量放射成因氩量。众所周知, 质谱计不能测定气体的绝对量, 而只能测定同位素的比例。可以借助对标准气体精确取量的特殊装备(3), 再用质谱计可以测量自反应器中析出气体

的絕對量。



苏联科学院达格斯坦分院所拟制的析出与测定放射成因氩方法的基本系統。

因此氩法測定的現代化仪器可以应用电热爐、高频技术、同位素稀释技术、質譜仪，一句話，物理方法的研究有着非常广泛的园地。

因此仪器本身的工作應該是电子物理学家最熟悉的工作，至于研究的内容，它的解释和总的方向則应当是地质学家和地球化学家的专长。

就我們所知，这部著作是第一次试图在一本书中闡述用氩法測定岩石、矿物絕對年龄有关的全部問題。尽管考虑到在地质研究当中絕對年龄測定的深远意义，这个問題所涉及的范围又很广，高等院校又未培养出这方面的专门人材，但作者认为这个任务已經到了必須解决的时候。本书的目的是使广大科学技术人員熟悉与絕對年龄測定有关的问题，并使对实验室工作感兴趣的人們能够了解为进行此項工作所必需的仪器。本书介绍了物理学家所需要的简单的地质知識以及专门从事絕對年龄測定的地质学者所必须具备的物理学知識。书中綜合了各个学者的实验，其中包括了作者本人在研究氩法測定仪器方面的实验。測定方法的理論整理工作也已經进行了，它可以作为仪器技术計算的基础。

本书首次发表了一系列作为作者个人成果的专题論文，书末还列出了所涉及到的各种問題的文献。

第二章 放射性和地质年代学

一、放射性的物理基础

組成所有物質的原子核可分為穩定的和放射性的，後者不能保持其結構在一定時間內的穩定性（也就是說，不能保持中子和質子的數量及它們的結合能），而自發地轉變成另一種元素的原子核。這些作用都服從於能量轉化守衡、電荷守衡和脈沖守衡定律。

對於我們最重要的放射性轉變形式例舉如下：

1. β -射綫： β -放射時核放出一個電子。核的質量實際上不變，但其正電荷增加一個單位。子體產物是門氏周期表中母體核向右移一格的元素的同位素。

2. α -射綫：在 α -放射時核放出一個 α -質點——氦核。具有電荷 $+2$ 和質量 4 。每一次 α -放射後母體核質量減少 4 個單位，而電荷減少 2 個單位。子體產物在門氏周期表中位於母體的左二格。

3. K -(層電子)捕獲：眾所周知，在原子中電子的狀態有四個量子數， n ， l ， m_l 和 m_s ，根據包里原則，一個電子只能處於被這些數目所表征的一個可能的狀態。僅兩個電子具有量子數的最小可能值： $n = 1$ ； $l = 0$ ； $m_l = 0$ 和 $m_s = \pm \frac{1}{2}$ 。這兩個電子形成了所謂閉合 K -層、在某種情況下造成核捕獲一個 K -層電子的條件時，在原子 K -層中剩下一個空位置，外層軌道電子進入這個空位置時伴隨有倫琴能量子的放出。母體核正電荷減少一個單位，子體產物位於門氏周期表左邊一格。

必須指出，某些物質能以幾種方式同時轉變，例如 K^{40} 一部分以 β -衰變而轉變為 Ca^{40} ，而另一部分以 K -捕獲變成 Ar^{40} 。由於放

射过程統計的特点,每一种形成轉变的速度就是一个常数。

放射衰变时母体核的质量大于衰变产物质量的总和。当 K-捕获时母体核和电子质量总和大于形成核的质量。

我們引出放射性过程基本的数量关系。

假定在 t 時間內某一母体物质放射性原子数为 N 。又假定 λ 是核物质在单位時間內衰变的原子分数(衰变常数)。根据卢瑟福和索第定律在時間 dt 內母体原子数改变 dN 将与剩存的母体原子数 N 成正比。

$$dN = -\lambda N dt$$

将这个公式积分并确定积分常数:

当 $t = 0$ 时, $N = N_0$, 获得下式:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (\text{II.1})$$

众所周知,母体原子的平均寿命 τ 等于放射常数的倒数値即

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{II.2})$$

衰变半衰期(簡称半衰期) T 是原有母体物质衰变一半所需的时间。根据(II.1)可得。

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} = 0.693 \tau \quad (\text{II.3})$$

当子体物质稳定时,实际上研究子体物质聚集的規律对我们是很重要的。

如果在开始的时候沒有子体,那么 N_0 将在任何時間 t 等于存

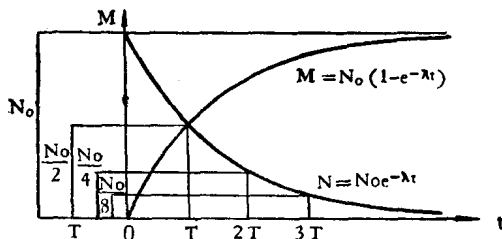


图 1. 母体物质的减少与子体物质的聚集

在的母体 N 和子体物质 M 之总和。

$$N_0 = N + M; \quad N_0 = N_0 e^{-\lambda t} + M$$

或者

$$M = N_0(1 - e^{-\lambda t}) \quad (\text{II.4})$$

母体物质减少(II.1)和子体物质增加(II.4)的规律列于图 1。

二、测定地质建造绝对年龄的放射性方法原则

在任何地球或隕石成因的岩石标本中都经常含有一定数量的放射性元素。

在原则上组成岩石的任何放射性元素的衰变都可能用来测定岩石的年龄，但实际上只是衰变速度足以能获得子体物质的定量测定才可能利用。矿物或岩石的绝对年龄是指它形成后所经历的时间，也就是在它沉积、冷凝或结晶以后的时间。

$$\text{年龄} = \frac{\text{转变产物的数量}}{\text{产生转变产物的速度}}$$

要测定年龄，必须符合下列条件^[1]：

1. 放射衰变在时间上应以等速进行。
2. 确切知道原始放射系列的放射性元素的同位素组成。
3. 衰变的最終产物应当是稳定的。
4. 必须知道母体物质衰变常数的准确值。
5. 必须正确测定放射性元素(系衰变的产物)的含量。
6. 必须确信不存在破坏放射平衡的过程。

第一个条件是最主要的。已经证明放射衰变的速度是不受外界因素，如温度、压力等影响其数值。到现在为止所进行的试验都没有能改变它。因此应当指出某种元素转变的速度在地质时间上是不变的。放射性转变是最好的“地质時計”。在放射衰变基础上用某种方法可能测定年龄的上限是近似于 KT 。式中 K 为 10 乘数， T 是母体物质的衰变半衰期。超过这个界限，方法也就不灵敏了。

从这一测定中看得很明显，绝对年龄可记录特殊类型的事件，例如流动的岩浆冷凝。在这个时间的前后组成岩浆物质的放射衰

变是以常速发生的。相的转变，即冷凝，不会影响放射过程的速度。放射性元素衰变和时计一样(当元素诞生的时候)计算时间不依外界因素而转移。上述相的过渡限制了子体物质的完整性。从冷凝时起，子体停止了分散而成为冷凝物质结构的有机组成部分。

再者，了解到不是所有结构都能完整地保存子体物质。有时它们会消失，例如由于扩散作用。标本选择和地质年代学方法的任务之一归结为保证衰变产物的保存完整。

测定绝对年龄的放射方法是二十世纪初由 P. 居里(Curie)在法国和 E. 卢瑟福(Rutherford)在英国提出来的。

在苏联 1932 年根据 B. И. 维尔纳茨基院士的提议，在 B. Г. 赫洛宾(Хлопин)院士和 И. Е. 斯塔里克通讯院士积极参加下成立了岩石矿物绝对年龄测定研究委员会。委员会的工作在发展苏联地质年代学方面获得了巨大的成就。苏联学者研究了一系列独特的现代化的测定年龄的方法。

与绝对年龄不同，还存在有相对地质年龄的概念。后者是按

表 1 地质年代(纪)及其年距(百万年)

代	纪	绝对年表	
		a (最终时间)	б (延续时间)
新生代	第四纪	0	1
	第三纪	1	69
中生代	白垩纪	70	40
	侏罗纪	110	40
	三迭纪	150	35
古生代	二迭纪	185	40
	石炭纪	225	50
	泥盆纪	275	35
	志留纪	310	120
	寒武纪	430	80
元古代			
太古代			

地壳上沉积物的顺序而决定的,回答“早或晚”的问题。而对于单个地质时代的绝对长短是留待解决的问题。

地质学应用两种年龄的概念。为了便于参考,表1中列出相对地质年代(纪)和与之相对比的绝对年表。

三、测定绝对年龄的放射性方法一般理论

正如我们说过的一样在岩石中许多的放射性元素是测定绝对年龄的依据。今天已经有许多不同的测定方法,从整体的观点来看,所有这些方法都是适当的,这个理论基础是布尔林(Burling)^[5]、K. 兰卡玛^[4]和 И. Е. 斯塔里克^[3]等建立的。

测定绝对年龄的任务是确定保存在岩石中的子体产物开始“密封”和保藏的时间。例如,地壳与地核分离、矿石矿物与热液分离就是这样的时间。

必须着重指出,我们研究的方法不能记录石头与峭壁、石头与雕像等分离的时间。

我们首先研究一下被孤立的一定数量的物质在某一开始时刻($t = 0$) 冷凝,在其中的物质 A 以某种的放射衰变而成为物质 $B, C, D, \dots$ 。此时总的衰变常数 λ 等于各衰变常数 $\lambda_B \lambda_C \lambda_D \dots$ 之和。

$$\lambda = \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \dots$$

母体物质的量按 $dA = -A\lambda dt$ 定律而减少。积分后,得到与(II.1)似的形式:

$$A_0 = Ae^{\lambda t} \quad (\text{II.5})$$

式中: A_0 是 $t = 0$ 时母体物质的原始数量。

A 是在 t 时间剩余的母体物质的数量。

首先我们说明一下根据剩余的母体物质 A 的数量,例如根据含在岩石中的 K^{40} 测定年龄的可能性。根据(II.5)即可测定 t 。

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_0}{A}$$

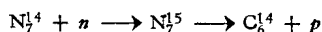
显然,为了测定年龄不仅必须知道目前母体物质的数量(这是可以测定的),而且还必须知道母体物质的原始数量 A_0 , 这个数值

在大多数情况下是不可能知道的。因此它本身的年龄就不知道。

因此，测定母体物质的数量在大多数的情况下不能提供岩石年龄的资料。

我們所知道例外的有：

(1) **放射性碳法** 这个方法是在 1949 年由里比 (Libby)、安德逊 (Anderson) 和阿诺特 (Arnold) 提出^[6]用来测定了有机物标本的年龄。碳的放射性同位素 C^{14} 在有机体 (标本) 死亡时期的含量假定为可知的，并等于在活的生物中的现有含量^[7,8]。碳同位素形成于高空大气层中，是由于宇宙射线的中子对氮的同位素 N^{14} 作用的结果。



C^{14} 是放射性的，半衰期为 5,560 年通过 β -衰变又重新转变为 N^{14} 。由于物质的新陈代谢不断地补充了放射性碳 C^{14} 的减少不足，当动植物生存时存在其中的 C^{14} 是一个常量。生物死亡后与大气的有机物的新陈代谢作用便停止了。根据 C^{14} 连续的衰变可以测定不大于 15,000—20,000 年范围的年龄。这个范围是受 C^{14} 微弱的 β -放射所限制。放射性碳法可以测定许多重要的历史、考古、古生物等许多研究对象的年龄^[9-14]。

(2) **应用于沉积岩的方法** 如果假定目前沉积的放射性物质的浓度与以往沉积层中一样，那么就可以用与放射性碳法类似的方法测定年龄。用这种方法测定过黄石 (Yellowstone) 公园的凝灰岩^[15]年龄。比哥特和尤里 (Piggot, Urry)^[16] 根据目前铀和钍的沉积在数量上超过了相应与之同时沉积铀的放射平衡的数量的事实，测定了海相沉积物的年龄。

虽然这些方法是放射性的，但是今天在教育地质年代学中并不起主要作用。

为了消除未知数 A_0 必须引入子体物质 B 的聚集数量。其聚集数量按 (II.4) 或乘上 $\frac{\lambda_B}{\lambda}$ ，也就是乘上总的转变物质中 B 的量。

$$B = A_0(1 - e^{-\lambda t}) \cdot \frac{\lambda_B}{\lambda}$$

$$\text{或者 } B = \frac{A_0}{e^{\lambda t}} \cdot (e^{\lambda t} - 1) \frac{\lambda_B}{\lambda}$$

$$\text{利用 (II.5) 得: } B = A \frac{\lambda_B}{\lambda} (e^{\lambda t} - 1).$$

如果在开始时由于某种原因在系統內存在某些数量的子体物質 B_0 , 那么为确定衰变产物的数量必須由 B 中減去 B_0 :

$$B - B_0 = A \frac{\lambda_B}{\lambda} (e^{\lambda t} - 1) \quad (\text{II.6})$$

用数学方法解方程式(II.6)可得相应的時間:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{B - B_0}{A} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_B} \right) \quad (\text{II.7})$$

为了計算年齡必須測定 A 和 B , 要做出某种相应的 B_0 . (假定衰变常数 λ_B, λ 为已知的).

我們研究一下几种个别情况, 如果母体物質具有唯一的衰变形式, 則 $\lambda = \lambda_B$. 如果标本的年齡比母体物質半衰期小, 則 $\lambda t \ll 1$, $e^{\lambda t} \cong 1 + \lambda t$. 在这样条件下方程式(II.5)具有如下形式.

$$B - B_0 = A \lambda t \quad (\text{II.8})$$

$$t = \frac{B - B_0}{A \lambda} \quad (\text{II.9})$$

有时子体物質 B 是由多于一个母体物質放射衰变而形成的. 譬如我們假定两个母体 $A^{\text{①}}$ 和 $A^{\text{②}}$ 以衰变常数 λ_1 和 λ_2 轉变而成同一子体物質.

这时, 方程式(II.6)应綜合为:

$$B - B_0 = A^{\text{①}} (e^{\lambda_1 t} - 1) + A^{\text{②}} (e^{\lambda_2 t} - 1) \quad (\text{II.10})$$

如果标本的年齡比两个半衰期都小, 則:

$$B - B_0 = (A^{\text{①}} \lambda_1 + A^{\text{②}} \lambda_2) t \quad (\text{II.11})$$

$$t = \frac{B - B_0}{A^{\text{①}} \lambda_1 + A^{\text{②}} \lambda_2} \quad (\text{II.12})$$

方程式(II.7), (II.9), (II.12)都包括有 B_0 ——子体物質的原始数量, 在今天无法測定它. 关于 B_0 应当作出一些补充的假定. 显然, 如果假設 $B_0 = 0$ (与放射过程的本質无关), 那么就得到标本年齡的上限.

設 $B_0 = 0$ 对大多数广泛应用的測定絕對年齡的方法是正确的.