

铀矿普查勘探的 放射性测量法

B. B. 阿列克赛耶夫 主编

地质出版社

铀矿普查勘探的 放射性测量法

B. B. 阿列克赛耶夫等 主編

程方道 周超凡 譯
曹祥英 陸家仕

地质出版社

1960·北京

РАДИОМЕТРИЧЕСКЕ
МЕТОДЫ
ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ
УРАНОВЫХ РУД

ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ
МОСКВА 1957

本書为苏联 А. Г. 格拉馬科夫, А. И. 尼康諾夫及 Т. П. 塔費也夫等在 В. В. 阿列克賽耶夫领导下編写成的。全書分为四个部分; 第一部分詳細叙述了放射性勘探方法的物理和地質-地球化学基础; 第二部分論述測量方法原理, 放射性仪器裝置的原理, 放射性观察結果的整理和實驗室測量放射性的方法; 第三部分叙述放射性找矿方法及勘探和开采矿床时主要应用的方法及实例; 第四部分闡明在各种不同条件下及对放射性矿石进行地質勘探工作的各个不同阶段, 綜合应用地球物理方法的基本問題。本書适用于野外和室内从事于地球物理勘探地質工作人員, 地球物理研究工作者及教师。

鈾矿普查勘探的放射性測量法

編者	B. В. 阿列克賽耶夫等
譯者	程方道 周超凡 曹祥英 陸家仕
出版者	地質出版社
	北京西四羊市大街地質部內
	北京市書刊出版登記證出字第 050 号
發行者	新华書店科技發行所
經售者	各地新华書店
印刷者	北京市印刷一厂

印数(京) 1—7000冊
开本 850×1168 毫米
字数 520,000
定价 (10) 3.16 元

1960 年 8 月北京第 1 版
1960 年 8 月第 1 次印刷
印張 18 1/2 插頁 4

目 录

原序	7
----------	---

第一部分 勘探放射性方法的物理和地质原理

第一章 放射性的基本知识	9
§ 1. 放射性及放射性蜕变规则 (A. Γ. 格拉马科夫)	9
§ 2. 天然放射族和元素 (M. M. 索柯洛夫)	26
§ 3. 天然放射性物质的 γ 射线测定 (Г. В. 戈尔什科夫)	50
第二章 放射性辐射及与物质的相互作用 (Г. В. 戈尔什科夫 С. А. 苏彼)	59
§ 4. 带电粒子的通过物质	59
§ 5. γ 辐射通过物质	72
§ 6. 宇宙射线	107
§ 7. 地壳和大气圈中的核反应	111
第三章 地壳的放射性 (A. И. 尼康诺夫)	112
§ 8. 地壳中放射性元素的分布 (A. И. 尼康诺夫)	112
§ 9. 岩石中放射性元素的分布	115
§ 10. 天然水的放射性	132
§ 11. 大气中的放射性	135
第四章 铀及钍的地球化学 (Д. С. 尼柯拉也夫)	140
§ 12. 铀和钍地球化学的某些共同的特征	140
§ 13. 地壳深成作用中铀和钍的地球化学	142
§ 14. 地壳表面风化过程中铀和钍的地球化学	146
§ 15. 关于放射性矿物的基本概念 (A. Я. 克雷洛夫)	162
§ 16. 放射性元素矿床的分散量和分散流 (H. H. 索契万诺夫)	166

第二部份 测量方法及仪器

测量方法及放射性测量仪器的结构原理	173
-------------------------	-----

第五章 电离法 (А. Л. 雅庫博維奇).....	174
§ 17. 电离室的工作原理	174
§ 18. 电离电流的测量	180
第六章 脉冲法 (А. Л. 雅庫博維奇).....	190
§ 19. 放射性射綫充气計数管的結構及作用原理	190
§ 20. 晶体計数器及閃爍計数器	202
§ 21. 脉冲的記錄	207
第七章 放射性測量仪器	216
§ 22. 野外的及实驗室的輻射仪	216
§ 23. 輻射仪的統計学誤差	239
§ 24. 射气測量及發光的仪器	249
§ 25. 儀器校准原理	249
第八章 放射性測量的加工及精度估計 (Г. П. 塔費耶夫和 Б. Я. 尤法).....	253
§ 26. 放射性測量誤差的計算	253
§ 27. 在放射性測量中对比分析的应用	254
第九章 实驗室的放射性測量方法 (Е. И. 热列茲諾娃).....	272
§ 28. 岩石和矿石塊样总放射性的測定	273
§ 29. 使用阿尔發方法測定粉末样品的放射性	274
§ 30. 用具它法确定粉末样品的放射性	277
§ 31. 使用伽瑪法測定粉末样品的放射性	283
§ 32. 使用貝它和伽偶測量法分析綜合性和不平衡的矿石	285
§ 33. 放射性化学分析法	293
§ 34. 放射性照相法	300
§ 35. 实驗室放射性測量的准确度 (Б. Я. 尤法和 Е. И. 热列茲諾娃)	302
§ 36. 标准源	307
§ 37. 样品分析法的選擇	309
§ 38. 測量檢查	310

第三部分 普查及勘探方法

第十章 鈾矿床的航空γ-普查 (Г. С. 斯米尔諾夫).....	314
§ 39. 航空 γ -法的理論基础.....	315

§ 40.	飞机放射性测量仪器	326
§ 41.	飞机普查工作方法	332
§ 42.	地面检查及航空 γ -异常的远景评价	347
§ 43.	飞机普查铀矿床方法的发展和改进	350
第十一章	野外 γ-测量 (B. Я. 尤法)	353
§ 44.	γ -测量法的基础	353
§ 45.	在野外条件下仪器工作状况的检查	361
§ 46.	在地質普查时 γ -测量观测方及結果的解釋	371
§ 47.	汽車 γ -测量 (B. A. 阿依达尔奇)	382
第十二章	野外射气测量法 (A. Г. 格拉馬柯夫)	392
§ 48.	射气测量法的物理基础	392
§ 49.	射气法的数学理論基础	396
§ 50.	确定扩散系数的实验工作結果	411
§ 51.	在岩石內的放射性射气	414
§ 52.	确定壤中空气內的射气濃度	421
§ 53.	野外工作及結果的解釋 (A. Г. 柯尔契娜)	434
第十三章	銩量測量 (H. B. 克瓦什涅夫卡娅)	448
§ 54.	按水網內的銩分散流普查銩矿床	449
§ 55.	研究分散量的方法	455
§ 56.	在銩量測量中測定样品內銩的方法及技术	461
第十四章	γ-測井 (C. A. 苏璞)	467
§ 57.	一般知識 (A. И. 尼柯諾夫)	467
§ 58.	γ -測井的基本理論	469
§ 59.	γ -測井圖的定量解釋法	489
§ 60.	进行工作的技术及方法。解釋測井圖的例子 (C. A. 苏璞; A. И. 尼柯諾夫)	496
第十五章	在自然埋藏条件下銩矿石的放射性測量采样 (C. A. 苏璞)	511
§ 61.	根据差異效应的具屏 γ -采样	512
§ 62.	在自然埋藏条件下应用銩矿石放射性測量采样的例子	518
§ 63.	当放射性測量采样时矿体几何学的考虑	521

第四部份 地球物理方法的綜合应用及在鈾矿床的普查与勘探中决定它們的效果的因素

第十六章 在普查及勘探鈾矿床时决定应用地球物理方法

的效果的基本因素 (И. С. 奥仁斯基和 Г. Г. 塔費耶夫)..... 529

§ 64. 地質因素 529

§ 65. 地貌因素 536

§ 66. 气候因素 538

§ 67. 水文地質因素 539

§ 68. 物理因素 540

第十七章 在普查及勘探鈾矿床时地球物理方法的綜合应用

(Г. П. 塔費耶夫和 И. С. 奥仁斯基) 542

§ 69. 放射性測量異常的分类及漏掉矿体的可能原因 542

§ 70. 在普查勘探工作的不同阶段应用地球物理方法的合理綜合及順序 545

§ 71. 綜合应用地球物理方法的例子 548

附录1. 放射性的測量及校准單位 569

附录2. 在實驗室及野外放射性測量工作中的保安技术 574

参考文献 577

原 序

以利用矿产及其圍岩在放射性方面的差別为基础，对放射性矿石进行找矿和勘探的地球物理方法，属于勘探放射性测量方法。

勘探地球物理学中这一門的發展，是由蓬勃發展的核动力学对原料之需要所决定的，并且与鄰近的科学門类：如放射性元素矿床的地球化学与地質学，放射性和研究放射性輻射的方法学，自动化技术和电子学等等的成就紧密联系。

目前，勘探放射性已經牢固地深入到了找矿勘探和开采的實踐工作中去了。

放射性的基本优点就是：获得結果的效能高、速度快，野外和室内的放射性研究精度高，这些优点也就决定了它在解决上述任务中起的主要作用。

近年来，苏联和国外用放射性方法發現了一系列放射性矿石的大矿区和工业矿床。

已出刊的一本唯一的資料“地質学附录：放射性地球物理方法 (Радиоактивные геофизические методы в приложении к геологии)” (1934年出版)至今已过时了。

近年来出版的勘探地球物理学教科書中，放射性方法很少加以注意，所佔地位也小。

本書旨在弥补地球物理文献中所存在的空白点，預計是供广泛的物探和地質界工程师用，也可作为矿业和地質高等学校專門系里的教材。

編写本書的参加者有科学研究所及生产組織的諸位同志如：Г. В. 戈尔什科夫，А. Г. 格拉馬科夫，Е. И. 热列茲諾娃，Н. В. 克瓦什涅夫斯基，Д. С. 尼柯拉也夫，А. Н. 尼康諾夫，И. С. 奥仁斯基，Л. Ч. 普哈里斯基，Г. С. 斯米尔諾夫，М. М. 索柯洛夫，С. А. 苏波，Г. П. 塔費耶夫，В. Я. 尤法，А. Л. 雅庫博維奇等。

本書手稿某些章节經由 И. Е. 斯塔里克，В. В. 謝尔宾納，В. И.

巴蘭諾夫等閱讀后提出的一些意見，在編校过程中均已考慮。

本書由四篇組成。第一篇敘述放射性方法的一般物理和地質-地球化學基礎，並且是上述專業範圍內工作的物探和地質人員必備基本知識的綜合，故又具有獨立意義；第二篇敘述測量方法原理，放射性儀器裝置的原則，放射性觀察結果的整理原理和實驗室測量放射性的方法；第三篇敘述放射性找礦方法以及勘探和開采礦床時主要應用的方法。最後，第四篇是闡明在各種不同條件下，以及對放射性礦石進行地質勘探工作的各個不同階段，綜合地應用地球物理法的基本問題。

本書的編著基本上是1954—1955年完成的。

第 一 部 分

勘探放射性方法的物理和地質原理

第 一 章 放射性的基本知識

§ 1. 放射性及放射性蛻變規則

1. 放 射 性

凡原子核不穩定，過一些時間能自發地變成其他元素原子核的元素，稱為放射性元素。蛻變過程中放出一種特殊的射線；根據其不同的性質而稱為 α 、 β 或 γ 射線。這種現象稱為放射性。經過研究後證明， α 射線是氦核， β 射線是電子流， γ 射線是電磁性的短波輻射。

放射性射線通過物質能引起其中一系列變化。就中有：在放射性射線作用下進行氣體的電離，感光乳膠變黑，一系列物質發螢光及其他現象。

放射性輻射具有相當大的能量，輻射被吸收時就放出熱，並產生化學作用和生物作用。

現在除了有岩石和水中到處都分散的鈾、釷、鐳等天然放射性元素外，還可以用人工方法得到各種穩定元素的許多放射性同位素。

放射性核可以發生如下幾種蛻變（分裂）：

(1) α 蛻變。這種蛻變時由核里放出 α 粒子。由於 α 粒子的質量數等於4，原子序數等於2，蛻變後形成的原子核比蛻變前的序數減少2，質量數減少4。

在元素周期系里，這種元素的位置向左移動兩格。

这种规律称为位移法则。

(2) β 蜕变并放出电子。这种蜕变时，核里的中子变为质子，由核里飞出一个负电子和小质量的中性粒子，即微中子。核电荷增加，但质量数不变。

新形成的元素在周期系中位置向左移动一格。

(3) β 蜕变并放出正电子。这种蜕变时，核里的质子变成中子，由核里飞出一个正电子和一个微中子，电荷减少一，但质量数不变。

新形成的元素在周期系中位置向左移动一格。

(4) 电子俘获。原子核从 K 层 (K 俘获)，或从 L 层 (L 俘获) 或从更远的电子层俘获一个负电子。结果，核内的质子变为中子，从核里飞出一个微中子，而外部电子层中则由于电子从一个轨道跳到另一个轨道而出现特征性的伦琴射线。这一类放射性蜕变时，核电荷减少一，质量数不变，元素在周期系里向左移动一格。

(5) 同质异能转变并放出 γ 光子。这种放射性蜕变的特点是：原子核从一个能级转变为另一个能级。此时，在元素周期系中不发生任何位移。

(6) 核分裂。由实验研究肯定，用中子辐照铀核时，某些核就分裂为各个部分。最常见的是铀核分为两部分，一部分的质量与另一部分质量之比为 2:3，可是也有其他的比值，直到分裂成为两个大致相同的碎片为止。

研究后证明， ${}_{92}\text{U}^{238}$ 只在快中子作用下才分裂，而 ${}_{92}\text{U}^{235}$ 在快中子和慢中子作用下都能猛烈地分裂。

正如首先由苏联物理学家 K. A. 彼得查克和 Г. H. 弗列罗夫所证明的，铀核不仅在快中子和慢中子作用下能分裂，而且它本身在没有任何外界作用下也能分裂 (所谓自发的分裂)。

给定数量的铀 (例如 1 克铀) 中，一半铀核产生自发分裂所经过的时间 T ，平均可以等于 1×10^{16} 年。快中子作用下钍和镤的核也能分裂，慢中子作用下钍的核以及用快中子轰击钍 232 的核时所得到的钍 233 的核，也能分裂。核的自发分裂是从钍那里发现的。

重核不仅在中子作用下进行分裂，而且在硬的光子和快的荷电粒

子(質子, 氦核和 α 粒子有数亿个电子伏)作用下也进行分裂。

2. 放射物質蛻變的基本規律

實驗研究确定, 任何一种簡單的(取單个的)放射物質的原子, 都按照指数定律随着時間而减少。

这种蛻變的性質說明, 在某一小段時間里轉变的原子数 N , 与該瞬間存在的原子数和这段時間的長度 dt 成正比, 也就是:

$$-dN = \lambda N dt, \quad (1, 1)$$

式中比例系数 λ 称蛻變常数[●]。

例如, 假使起始時刻(即 $t=0$ 时)有 N_0 个原子, 經過一段時間 t 后, 原子数为 N , 那末积分表达式 (1, 1), t 的域是从 0 到 t , N 的域是从 N_0 到 N , 得到

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda t \quad (1, 2)$$

或

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1, 3)$$

表达式 (1, 2) 表明, 利用半对数座标, 即在横坐标軸上标出开始观察分裂以來的時間, 縱坐标則标出原子数的对数, 于是得到一条直綫, 并且蛻變常数 λ 等于直綫的角度系数, 直綫則表示 $\ln N$ 随時間而减小。

从列出的公式中不难看出, 蛻變常数 λ 的時間量綱为負一次方, 因此, 蛻變常数 λ 一般用負一次方年、晝夜、小时、分或秒表示。

为了举例解釋放射蛻變的基本規律, 用圖 1 表示氢的蛻變(曲綫 A) 和积累(曲綫 B)。

根据圖 2 上所示曲綫的角度系数, 可以測定氢的蛻變常数。

除了蛻變常数以外, 还有下列两个数值可以表征放射性元素原子蛻變的速度, 即原子的半衰期 T 和平均寿命 τ 。

某种放射物質蛻變掉一半所需的一段時間称为該放射物質的半衰期。以半衰期 T 代替 t 代入表达式 (1, 2) 中, 而代替 N 的是与該段時間相应的数值 $N = \frac{N_0}{2}$ 于是:

●有时 λ 也称做放射性常数或衰变常数

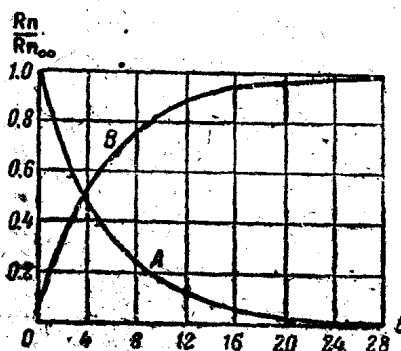


圖 1. 氫的蛻變和積累

R_n —該瞬間氫的數量； $R_{n\infty}$ —氫的平衡數量； t —時間，以秒計

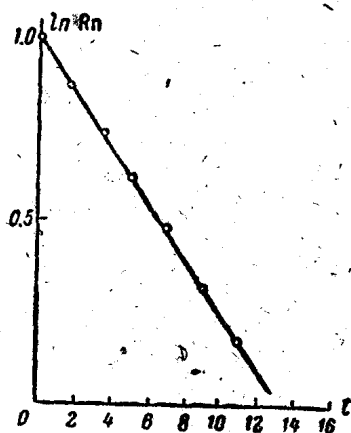


圖 2. 氫的蛻變（半對數比例尺）

$\ln R_n$ —氫的數量的對數； t —開始蛻變以來的時間，以晝夜計

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (I, 4)$$

同一種放射物質之各種不同原子的壽命是不相同的。因此，蛻變速度還可以用原子的平均壽命表示。

用 dN 表示介於 t 與 $t+dt$ 之間的一段時間 dt 內蛻變的原子數。這將是在時間 t 內存在的一些原子。將 t 乘上 dN ，求得所研究的一組原子存在的“全部時間”。從 0 到 ∞ 累計所有 t 值的乘積 $t dN$ ，並將所有原子的全部壽命除原子的總數 N_0 ，求得該放射性元素之原子的平均壽命 τ 。由上述得知，測定 τ 用下列表达式

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t dN = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N dt = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt = \\ &= \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \end{aligned} \quad (I, 5)$$

●將表达式 $\int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt$ 分部積分，假定 $\lambda t = u$ ， $e^{-\lambda t} dt = dv$ ，則 $\int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt =$

$$-e^{-\lambda t} t \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}.$$

由表达式(I, 4)和(I, 5)得

$$T = \tau \cdot \ln 2 \quad (\text{I}, 6)$$

和

$$\tau = \frac{T}{\ln 2} = 1.443 T. \quad (\text{I}, 7)$$

某些放射性物質，如 RaC 和一系列其他物質，能同时發生 α 和 β 蛻變。

这时蛻變的总常数由放射性物質(如 RaC)的总减少值中求得，总减少值由下列总和确定

$$dN = dN_1 + dN_2, \quad (\alpha)$$

式中 dN_1 ——第一次蛻變时在時間 dt 內蛻變的原子数；

dN_2 ——第二次蛻變时在時間 dt 內蛻變的原子数。

显然，

$$-dN_1 = \lambda_1 N dt, \quad -dN_2 = \lambda_2 N dt, \quad (\beta)$$

式中 N ——蛻變复杂的物質(例如 RaC)的原子总数。

由表达式(α)及(β)中得

$$-dN = (\lambda_1 + \lambda_2) N dt.$$

因此，总的过程將服从于一般的指数定律，并且也能确定它的蛻變常数和半衰期。

現确定相等于十个半衰期的時間內未蛻變掉的放射性物質之数量。經過一个半衰期后，初原子数 N_0 剩下了一半，經過两个半衰期

后剩下， $\frac{1}{4} N_0 = \frac{1}{2^2} N_0$ ，經過了十个半衰期后則剩下， $\frac{1}{2^{10}} N_0 = \frac{1}{1024} N_0$ ，或者接近于初原子数量的千分之一。

3. 放射現象中的統計漲落

放射性蛻變的指数規律是一种統計規律^①；蛻變的原子数愈多，

①例如參閱 Э. В. Шпольский. Атомная физика, т. II, стр. 415. Гостехиздат, 1951; Э. Ферми. Лекции по атомной физике. ил. М., 1952; М. Кюри. Радиоактивность. Гостехиздат, М.—Л., 1947.

应用这种规律的精度就愈大。根据或然率理论，放射性蜕变时应当观察到与指数定律之偏差，即所谓放射涨落或起伏，结果，任意一种放射性物质在相同时间间隔内放出的粒子数目均不相同。

假设某种放射性物质的原子数有 N 个，它在观测时间内的减少值可以忽略。

把全部观测时间分为一系列较小的时间间隔 t 。

显然，在时间 t 内蜕变的原子数 M 平均为 $M = \lambda N t$ 。

实测时，在相等时间间隔内所蜕变的原子数各不相同。

用 ξ 表示绝对偏差（起伏），可以写出： $m = M \pm \xi$ ，并且绝对值 ξ 可以是各种不同的，而大量偏差的代数和将趋近于零。

根据一系列或然率理论的比值可以证明，在时间 t 内 m 个原子蜕变的或然率。因而也就是 $N - m$ 个原子未蜕变的或然率由普阿松公式确定

$$W(m) = \frac{M^m}{m!} e^{-M} \quad (I, 8)$$

若该时间内放出的粒子数 m 非常多，那末 $m = M$ 时的或然率 $W(m)$ 则最大，该最大值附近的或然率的分配可以用高斯公式表示

$$W(m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi M}} e^{-\frac{(M-m)^2}{2M}} \quad (I, 9)$$

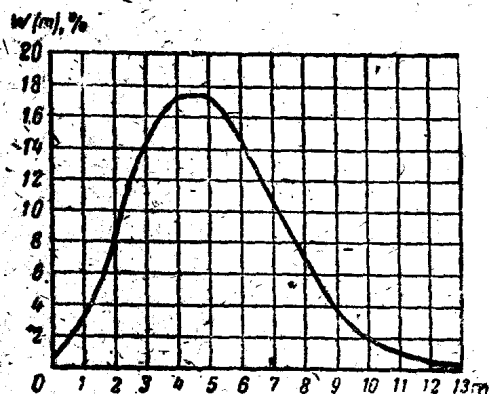


圖 3 蜕变或然率的分配

这些公式对于正确估计辐射源的放射性极为重要，因为辐射源的放射性与一定时间间隔内所放出的平均粒子数成正比。

圖 3 表示放射性物质放出粒子或然率的分配曲线，该物质平均每秒钟放出 5 个粒子。当放射性物质在被观测的一秒内一个粒子也没有放出时，则或然率不等于零。

約為 1%。換句話說，如果連續觀測 100 秒鐘，則其中有 1 秒鐘可能沒有粒子。5 個和 4 個粒子出現的或然率在理論上是相同的。1 秒鐘放出 5 個以上粒子的機會可能較多。1 秒鐘出現 10 個粒子的或然率約為 2%。

可以證明，

$$\xi = \pm \sqrt{N \lambda t} = \pm \sqrt{M} \quad (I, 10)$$

因此，絕對或然統計起伏的值等於該時間間隔內放出的粒子平均數的方根。

相對起伏(ϵ)由下式測得

$$\epsilon = \frac{\xi}{M} = \frac{\sqrt{M}}{M} = \frac{1}{\sqrt{M}} \quad (I, 11)$$

由上列公式看出，絕對起伏（誤差）隨著蛻變原子或被放出的粒子數的增長而增大，可是相對起伏卻隨著觀測到的粒子數的增加而減小。

當 M 很大時，可以近似地認為

$$\sqrt{M} \cong \sqrt{m}$$

且

$$\frac{1}{\sqrt{M}} \cong \frac{1}{\sqrt{m}}$$

應注意，公式 (I, 10) 和 (I, 11) 確定的是或然起伏，而不是可能起伏，後者也可能大於前者。其次應當考慮到一種情況，當 M 很小時，用 M 代替 m ，所造成的已不是很小的誤差，而是很大的誤差。

到現在為止，還沒有發現那些現象會嚴重地影響地殼中存在的放射性元素蛻變速度 (A. П. 基利科夫等, 1934)。

近年來，以 K 俘獲法使鉍蛻變的研究實驗證明：這些蛻變的速度與鉍的化學化合物性質有關。其中尤其是確定了 BeO 、 BeF_2 、 Be 和 Be^{++} 等化合物蛻變速度中的一些小差別。

鐳的蛻變速度在壓力為 10^6 大氣壓時，比正常大氣壓下大 0.025%。

上述實驗及其他一系列實驗說明，文獻中有时硬說放射性蛻變的

而大速度与外界条件“原则上”无关，是不符合实验资料的。

同时，现在大家知道地壳中发生的原子核作用，都认为其影响没有重大的实际意义，由此可知，地球的自然生命过程中，放射性蜕变的速度实际上可当作是常数（斯塔里克，1952）。

4. 放射性蜕变的各种不同情况

(1) 两种放射性物质的蜕变

假定有两种相继蜕变的放射性物质。在这种情况下第一种物质常称为物质，第二种称为女物质。

现在研究由第一种物质产生第二种物质的各种情况。

设在时刻 t ，第一种物质有 N_1 个原子，第二种物质有 N_2 个原子。第一种和第二种物质的蜕变常数分别用 λ_1 和 λ_2 表示。显然，第一种物质在单位时间内蜕变的原子数在时刻 t 等于

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (\alpha)$$

设在起始时刻第一种物质的原子为 $N_{0,1}$ ，将方程式 (α) 积分后得

$$N_1 = N_{0,1} e^{-\lambda_1 t} \quad (\beta)$$

现在来讨论第二种物质的蜕变。若第一种物质的每一个蜕变原子能形成一个第二种物质的原子，则单位时间内由第一种物质所形成的、第二种物质的原子数，在时刻 t 等于 $\lambda_1 N_1$ ；然而，由第一种物质产生第二种物质的原子时，第二种物质的原子也同时进行蜕变。单位时间内第二种物质蜕变的原子数将等于 $\lambda_2 N_2$ 。由此在时刻 t 第二种物质积累的速度由下式确定

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (I, 12)$$

上式中相当于时刻 t 的值 $N_{0,1} e^{-\lambda_1 t}$ 代替 N_1 ，并把 $-\lambda_2 N_2$ 移至等式左边，得

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{0,1} e^{-\lambda_1 t} \quad (I, 13)$$

方程式 $(I, 13)$ 的一般解为：

$$N_2 = \left(N_{0,2} - \frac{\lambda_1 N_{0,1}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) e^{-\lambda_2 t} + \frac{\lambda_1 N_{0,1}}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t}$$

或