

同位素地质学 论文集

依尔·英格松等著

科学出版社

同位素地質学論文集

依尔·英格松等著

朱 錫 濤 譯

科 学 出 版 社

1958

內 容 提 要

本書選擇了近年來有關同位素地質學研究方面的十篇論文。著名地球化學家 E. 英格松概括地評論了同位素地質學研究的現狀和發展方向。其餘各篇扼要地介紹了根據各同位素的特征分配比率來確定地層、岩石、礦物、隕石等的下限年齡，了解組成礦物的物質來源，進而確定複雜條件下產出的遍在性礦物的成因，而用其他方法幾乎是無法實現的。利用沉積物中同位素比率確定地質時代里的古溫度，為地質學建立適用於一定條件下的精確時標和溫標。測定同位素樣品的加工處理技術、分析步驟，對設備等也作了介紹。指出了利用簡化的模擬實驗來研究成礦作用歷程、沉積物沉積速率的可能性。借助同位素交換反應來研究某些礦物的形成歷程等。這些內容都是尖端性的科學技術。本書大部分篇幅著重探討地質學中的非放射生成同位素，介紹了地殼中分布最廣的遍在元素——氧、碳、硫、硅的同位素地質學研究在理論、實驗、應用方面取得的成果。

本書也提到了利用放射同位素及有關產物來研究絕對下限年齡，岩石成因、岩石中微量元素分配等問題。

論文列出了地質產出條件肯定的岩石和礦物、隕石，不同成因的水、氣體中同位素比率的标准數值，以便於研究時參考和對比。最後附有大量地質學家一般很少接觸到的文獻。

同位素地質學論文集

依爾·英格松等著

朱錫濤譯

*

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

北京西四印刷廠印刷 新華書店總經售

*

1958年11月第一版

書號：1521 印張：7 5/8

1958年11月第一次印刷

開本：850×1168 1/32

（京）0001-2,150

字數：208,000

定價：(10)1.30 元

目 录

地質学中的非放射生成同位素·····	依尔·英格松 (1)
稳定同位素丰度变異的地質意义·····	M. L. 琴遜 (116)
前寒武紀花崗岩中鉛、鈾、釷的同位素成分和分布···	替尔頓等 (133)
地質时代里 Si^{87} 的丰度·····	保尔 W. 迦斯特 (161)
氧的同位素地質学·····	薛尔弗曼 (168)
硅同位素組分的天然变異·····	約翰 H. 雷諾等 (190)
自然界中硫同位素的分餾以及地質学时标与生物学时标 ·····	H. G. 舍德等 (203)
关于矿物中碳同位素組成的两种認識 ·····	法朗士 E. 維克曼等 (212)
He^3 含量与隕石的年齡·····	F. A. 丕内斯特 (218)
南加利福尼亚下更新世的温度变異·····	C. 艾密林尼等 (223)
中外人名对照表·····	(236)

地質学中的非放射生成同位素

(依尔·英格松)

目 次

第一部分 近代成就的概略.....	(2)
緒言.....	(2)
氫.....	(9)
氮.....	(31)
锂.....	(33)
硼.....	(33)
碳.....	(34)
氮.....	(48)
氧.....	(49)
氟和氫.....	(68)
硅.....	(69)
硫.....	(71)
氯.....	(77)
鉀.....	(77)
鉄.....	(80)
銅.....	(81)
鋁.....	(81)
鋅.....	(82)
溴.....	(83)
鈷.....	(83)
鈾.....	(84)
第二部分 典型的趋势和今后的問題.....	(85)
緒言.....	(85)
同位素分离的物理作用.....	(86)
同位素分离的化学作用.....	(96)
同位素分离的生物作用.....	(103)
其他典型的問題.....	(104)
天然分裂所产生的同位素丰度改变.....	(106)
地层的对較.....	(107)
玢屑的問題; 其他同位素对 U^{238}/U^{235}	(107)
結論.....	(108)
参考文献.....	(109)

第一部分 近代成就的概括

緒 言

同位素的丰度和分布的研究正处在一种飞躍的状态中。在以往短短的几年里,自从应用这种新的方法得出初步的解釋以来,数以千計的測定工作曾經先后在几百种公开的刊物上登載过。急剧的發展仍然在繼續进行着,而在主要問題还没有变得过分繁杂以及为許多数据所困惑以前,作者認為概括一下已經完成了的那些工作,並且提出在最近的將來可以适宜地遵循的某些途徑,將是适宜的。

因此,在进行实际材料的綜合之前,先探討一下某些观念、一般原理以及关系到問題的注意点是是有价值的。

原 子 量

原子量的全部問題,現在是与元素同位素組分的概念紧密地相联系着的。物理原子量的标度是以 $O^{16}=16.0000$ 作为基础的,因而与氧的来源無關。然而,即使就这个标度來說,關於多同位素元素的原子量值,还是可以随元素来源的不同而改变的。

關於化学原子量标度的底数本身是可以变化的,因为它採用了“标准”氧 = 16.0000,但是教科書和表格並未規定關於标准氧的来源或同位素的成分,大多数物理化学和無机化学的教科書給氧的化学原子量根据物理的标度为 16.0044,根据这个数值,在兩种标度之間得出一个 1.000275 的換算因子。極少数的近代教科書,如艾麦留斯和安徒生(1952, 32—33 頁)指出,換算因子的值決定於“标准”氧的 O^{16}/O^{18} 比率,但他們仍然沒有指明關於地質或生物历史不同物質的这种比率明显的改变。

25年前或比較較近,在許多学校里对攻讀化学和物理学的学生

是这样教导的：大致，元素具有不变的原子量。也承認有某些例外，如鉛，鉛有一种或几种同位素是放射系列的最終成員，而另外一些元素，尽管在自然界經歷过地質或生物的作用，但仍然認為是具有不变的同位素成分。

这种观念對於更精确的原子量測定方法的發展不能不产生一部分影响，因为，如果这是正确的話，原子量將不受元素来源的約制，而且只要它們是在許多能加以測定的地方都將是一个常数。严格地說，这种概念並不正确的事实無疑地對於原子量值方面的某些差錯不無責任。

因而，今后原子量的測定必須与同位素成分及其變異的研究密切地相結合。除業經自然界中已知的同位素變異所証实者外，我們不应賦予原子量的值以更多的地位。也許它們應註明一个“正或負”的符号，以表明已經充分地研究过的元素在同位素方面的已知變異性。

同位素測定的标准

标准對於化学原子量測定的参考固然有用。對於同位素研究來說，有效的标准則更其重要，因为原子量取決於同位素成分。近代的仪器使用，使得非常精确地測定大多数元素的同位素成分成为可能，从而設置一系列的标准也就比較簡單。标准之對於原子量工作，真像它對於校核仪器的技术操作、仪器的比較以及报导同位素研究結果提供一个公分母一样，是極其有用的，从而一个工作者或一組工作者的数据，就得以直接地与其他人的数据进行对比。

目前报导結果的办法是远远不能令人滿意的。每篇論文选用一种方便的标准借以报导一系列的結果。而报导另外許多系列的結果，又可用一种極不相同的标准。有些文献中沒有說明标准的同位素成分，所以其結果仅仅對於那些个别特殊的文献所發表的材料进行比较才有用处。个人或集体在同一篇論文里採用不同的标准和不同的报导結果的方法。不同的實驗室很少採用密切地可以比較的标准，而且从来不用同样的标准。

假定說，标准局能充作有关标准情报方面的純淨絕塵場所，或則作为标准的一个陈列貯备所与分配处，那末不仅對於同位素地質学方面的工作者，而且同样對於每一位有志於同位素丰度方面的工作者都具有很大的貢獻。

曾經有好几种不精确性被刊载过，假使有标准可循，或許这些不精确性早經發現並已予校正。無疑地，不精确性还存在着其他尚待查明的原因。

作者認為：曾經适当地使用过的有效的标准，定能保證及早地發現技术和仪器使用的缺点所在，从而使採用不同裝置所測得的結果得以进行对比。

其他所需的資料：假設

然而，不精确性和缺点还存在着其他的来源，在这种情况下，我們往往很难加以补救或者甚至查明它。一如在普通的化学分析和光譜分析中那样，适当地挑选样品，在同位素的研究中确实是一个問題，對於許多要求，特別是對於作出地質学上的解釋來說，如果無法正确地說明材料的出处，可以使其結果毫無价值。

以同位素分布作为基础的許多地質学上的解釋，需要並不一定直接可以利用的資料。在實驗室里，測定包括原始材料和产物的同位素成分、溫度、扩散率、距离、時間等这些因素，並根据特种要求而使这些因素彼此联系起来，这是比較簡單的。然而，在自然界，除了現在的同位素成分而外，要想測定其他任何因素也許是不可能的，这种同位素成分可以是几亿年或更久以前所进行的反应或作用的結果。於是，这种判断就近乎是一种猜謎，它不外是通过独特的方法审慎估計對於問題的解决說来是基本的其他因素——外推法、演繹法、材料或有关物質其他性質的測定、或者仅仅作出假設，其精确性則按問題的具体情况而令人吃惊地变动的。

研究地質材料时，首先的假設是：自从我們所关心的形成或改变过程終結之后，标本的同位素成分不再有所改变。这种假設能够在各种不同的程度上得到証实；有时，由於在採集的环境里材料表現有

曾經受過交換以致影響了它的同位素成分而得到反証。在一般情況下，這種假說很多時候似乎是正確的，而僅有極少數情況可能證明並未發生過逆向的交換。也許交換會一度起過作用的特例以及或許交換並不顯著的其他例子，作者想以後在各個元素的章節里加以論述。

在某些類型的問題中，如化學交換反應的產物，有必要進一步假定：溶液的介質或由此而形成材料的其他介質的同位素成分，跟類似介質今天所具有的同位素成分是相同的，或則假定它的同位素成分是能夠加以測定的。當研究比較古老的材料時，隨之產生一些比較根本的問題，例如，“前寒武紀海中的水與溶解的鹽類是否跟現代海洋的同位素成分相同呢？古代的有機體比它們現代的對應物選擇性地取得同位素的本領是大抑是小呢？原始（熔融？）地球內各種元素的同位素成分是怎樣的？原始地球的同位素成分是否到處均一？如果不是，它又怎樣變化？若果如此，最先的分離作用始於何時又如何進行？地球的平均同位素成分與太陽系是否相同？核子族的宇宙豐度與太陽系是否大致相同？”

對於這些問題，我們大多數是通過較多而較好的同位素測定來得到比較確切的答復的，質言之，同位素解釋一定要日趨精確，特別是涉及極為古老的材料。其中有些問題已經能夠得到相當精確的答復，至少對於某些元素是這樣。例如，在所有時代的基性岩石和隕石中，氧似乎基本上具有相同的同位素成分。據此，作者推想這種比率基本上就是原始地球的比率，可能也就是整個太陽系的比率。愈來愈多的證據表明：就是對於鐵、鎳、硫和其他元素來說，這同樣也是正確的。理論上，當地球將熔融的溫度時，只有絕少的機會能夠產生同位素的分離，已經滅亡的生物，其同位素的分離作用或非分離作用只能依靠與類似的近代種族進行類比來推論，除非某生物羣或生物種常常不顧地質環境而偏愛某種同位素，在這種情況下就無法推論了。同位素的宇宙豐度還了解得很少，但已經證明：碳的同位素成分在不同類型行星的大氣圈中變化很大。據邏輯推理，其他的輕元素也可能出現類似的變異。就行星進行的測定工作未必能很精確地反映宇

宙丰度,因为(勃朗 1949):

1. 光谱强度换算成为原子丰度时依然存在相当的困难和不可靠性;

2. 还存在很多无法确定的问题,例如,元素是否系均匀地分布在整个星体内部呢。

就同位素丰度而论,其中第一个困难是原则性的;即使在实验室里,原始材料还有其他因素都受到严格的控制,因此将光谱强度换算成为同位素丰度仍然有困难。当分析从一个遥远的行星发来的微弱光线时,困难更增加了好多倍。

在同位素方面,第二种不可靠性可以不直接用到它,处于行星的温度时,几乎可以肯定不会有同位素的分馏作用产生。但是,可能在某些类型的行星极内部所达到的温度和压力时,同位素的形成并不是在或者接近于行星的表面产生的。这不算是同位素分馏,但是如果行星内部与外部之间同位素的形成和物质交换的速率是这样的话,即在行星的内部和外部间同位素的浓度保持着一个差额,则就可能产生同样的效果。

行星内元素分布的不均一性会使同位素组分的测定造成困难,即使其成分一致也是一样。例如,一种极致密的元素可以在行星内部丰沛而在行星的大气圈中则稀少。某元素光谱线的强度是随着它的浓度而变化的,所以在上述的例子中,借现有技术来测定有关元素的同位素成分会有困难,或则甚至不可能,然而如果能够获得行星内部的光谱的话,则可能会获得成功。

丰度的测定

勃朗(1949)曾经综合过行星、陨石和太阳里元素丰度的材料。他指出:业经确定,在陨石和大地材料之间将近有十几种元素的同位素有近似的一致性。借这种假设以及关于陨石中元素的相对丰度和大地物质同位素成分的有效资料,他编制了比以前更为有用的一个比较广泛的核子丰度表。尤莱(1952 a, 231—233 页; 1952 b, 252 页)曾就勃朗的图表作了修正。

西博和潘尔曼(1948)和比較晚近有倍恩勃利琪与納尔(1950)曾經編制了卓越的元素同位素的相对丰度表以及他們在工作中所确定的書目提要。納尔就(1952)1950年發表的关于同位素丰度的論文进行評述,而將它作了嶄新的綜合。

学者們曾經不知多少次地試圖闡明关于元素及其同位素的相对丰度和分布。阿尔弗和汉曼(1950, 208—212 頁)對於这些問題曾經作了卓越的概括。

作者假定:編集这些大地丰度所依据的大部分实验工作,其同位素成分都不受材料来源的約束。当然,很多工作都是想获得关于各种元素原子量的比較精确的数值。因此,来源材料一般系取自淨化的化学試剂,而對於从中获得各种元素的原始矿物或其他化合物的地質环境或生物环境或历史則很少或則沒有予以重視。

目前有一种日益明显的现实感,即至少多同位素的元素在自然界会经历过同位素的分餾作用。對於由不同工作者所測得的同位素成分上的某些差異,以及平均原子量方面由此而必然产生的差異,这种分餾作用,無疑地不能不承担有責任,虽然有不少情况可能系由於技术和仪器使用方面的不同所引起的,以致同样的样品会得出不同的結果。

虽然,所有具有一种以上同位素的元素,其同位素丰度都已經測定,然而,自然界中同位素變異方面已告完成的研究工作还比較少。比較早期工作的綜合已經問世:(郭特曼 1942, 285—288 頁;卡門, 1946;舍德 1949)。即使在这些材料問世的当时,这也决不是完整無遺的,而現在則已成為極其陈旧的东西了。瑪博尔(1952)曾經編了一种比較冗長的書目提要,其中包括了放射性和放射生成同位素方面的工作,同样也包括了还不清楚究竟是屬於放射性的抑是放射性蛻變产物的同位素。他总结了各种原理、一般的成果、以及个别論文中所發表的未作詳細說明的結果的簡短結論。

本文評述的范围

作者想通过下列的摘要来全面地研討一下关于自然界中不是因

为受了放射性同位素生产或蜕变的影响而导致同位素分馏作用所产生的同位素现有丰度方面所業已完成而且著有成效的工作。据此,鉛是毋須考虑的,因为与其認為鉛同位素的相对丰度变异是由於物理或化学的分馏作用,倒不如認為是決定於它所含普通鉛的量、它的年齡和当它形成的时候所存在的鈾、 U^{235} 和 U^{238} 的相对份量来得更确切。 C^{14} 也不用考虑,因为 C^{14} 是不断地由宇宙綫轟击所产生的。

另一方面,同位素對於像 K^{39}/K^{40} (有一种同位素是放射性的) 或 U^{238}/U^{235} , (都是放射性的) 都应屬於考虑之列,因为这种同位素对不論样品的年齡或来源如何,其現有比率都將是一样的,除非由於某种物理或化学的分馏作用会無視同位素的放射性而發揮作用,以致进行局部的分离,这种情况下当另作別論。 He^4/He^3 則概略地加以考虑。關於 He^3 的来源还存在有疑問。但無論如何,在适当的情况下它的来源可因通过扩散而分馏,使比率發生改变,从而給地質学上的推論提供一个机会。与放射性系列無關的稳定性輕同位素对,如 C^{12}/C^{13} 和 O^{16}/O^{18} , 曾經进行了大量的研究。

国家研究理事会所屬委员会提出的關於地質年代測定的报告,曾就放射性同位素及其各个系列的最終成員方面所完成的工作作了一次全面而詳細的报导。这許多报告所具的規模远比作者現在提出的摘要为广泛,其中收罗了物理的、化学的和光譜分析的方法,關於研究放射性和放射性矿物的其他實驗室技术、放射性矿物及其产狀的描述、放射性矿物的合成、放射性矿物的構造以及同位素丰度對於地質問題方面的应用,虽不算完整無遺,但許多間接有关的其他問題也都提到了。

虽然这許多报告可以胜任地为極其有用的目的服务,然而對於适所討論的問題來說,要提供一个方便的参考似嫌過於概括。在綜合放射性同位素丰度和放射性派生的同位素丰度及其分布方面所業已完成的研究工作时,也許会有价值,从而我們就得以在由於放射性蜕变而曾經产生过分馏作用的情况下作出或者可以作出地質学上的推論。

本文所沒有概括在內的某些論文則在書目提要中簡要地加以

註明。

氮

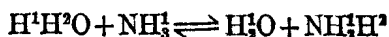
概 要

近年来,由於人們对重水有着濃厚的兴趣,所以在氘的产狀和分离、其化合物的性質、以及其他有关問題方面已經有过不少論著問世。1949年,由金堡尔(1949)作了一次文献的全面綜合。該書罗列了122篇涉及氘的丰度的論文。寇兴巴姆(1951, 376—427頁)在氘和氚同位素的自然丰度方面有過一篇达52頁的記述,此外还有60个标题的書目提要。

在重氘方面,有很多早期工作差不多都是通过精密地測定水(天然的,或由所研究的氘制备而得)的密度来完成的,並且假定密度的变異完全是由於 H^1/H^2 比率变異所致。現在知道水和其他含氘化合物的 O^{16}/O^{18} 比率是多少可以感知地变动的。所以,那些早期的工作對於現在氘同位素丰度的解釋而言,大多只具有比較小的价值。因此,對於地点和环境等已知的天然水在密度上系統差異來說,虽然我們还不清楚由於 H^1/H^2 的变異所引起的異常以及屬於 O^{16}/O^{18} 所引起的究竟各佔多少,但對於这种結果都必須引起注意。这会向我們指出分离比率进一步研究的容許范围,从而使我們有可能得出更詳細而精确的解釋。

在目前这种評述里,想討論或者甚至罗列出關於自然界 H^1/H^2 比率的变異方面所已經完成的全部工作,这是不切实际的。本文挑选用以表明和揭露地質学問題的所提到的許多原理,总的看来,其中似乎氘和氚的天然丰度的測定方法最合适。

1933年,刘易斯討論了:



式的反应並进行了定性的实验,其目的是在於論証这种同位素交換的真实性。虽然他並沒有定量地以数字来表示这种因素,但是可以肯定这种工作表明:“只要再經過改良,則就会出现一种兼含氧和氘同位素的水的精确測定方法”。

华尔和尤莱(1935)在各种温度下就 HDO^{16} 、 H_2O^{16} 、 D_2O^{16} 、和 H_2O^{18} 的蒸气压力得出几个数值*。他们断定：“氢的同位素或许能通过(水的)分馏而分离,而(用这种方法)氧同位素的分离则困难得多”。尤莱皮格蘭姆和赫夫曼(1939)曾就他们的测定结果作了报导,这些结果是利用一个直径6呎、高35呎的分馏塔测得的,塔内有619个迴轉錐体和同等数目的固定錐体,在理論上这相当於230片的板子。每分鐘供应50立方厘米的水到塔理,过8天以后,他们测得 O^{18} 增加3倍,而 H^2 则增加40倍。將这些水全部回流,在塔的頂部产生了 O^{18} 含量比原来小的水。

水的密度和同位素成分間的关系

华希明、史密斯和弗蘭德遜(1933)曾就水的密度和同位素成分間的关系得出一些公式。氘**效应的簡化方程式是:

$$P_2 = 8.957 \Delta + 0.00003$$

$P_2 = \text{H}^2$ 的原子份数,而 Δ = 所研究的样品与普通水間的密度差(以 γ 为單位)***。他们假设样品的氧同位素含量是正常的。

1933年时所採用的 H^1/H^2 值約为30,000,在方程式的常数中反映为0.00003。现在看来 H^1/H^2 值为6,700,故常数应約为0.00015。因之,經修正后的方程式是:

$$P_2 = 8.957 \Delta + 0.00015$$

关于氢同位素方面所报导过的工作,主要是以这个氢样品与标准密度的水中的标准氧化合形成的水跟标准密度的水間的密度离差值表示,而直接的表示方式就是 H^1/H^2 比率。有一种使测定結果彼此联系的圖解,可以使这种方式所报导的結果对比起来更方便一些。如上所述,关于从+8至-5 γ 的 Δ 值以及通过以上修正过的方程式所求出的 H^1/H^2 值,一并載明在圖1中。

* $\text{D} = \text{H}^2$ 。这种符号是可以通用的;个别作者的習慣用法后来就被其他作者所一直沿用。

** 参看关于氧这一节中 O^{18} 效应的方程式。

*** $\gamma = 1 \times 10^{-6}d$ ($d = 3.98^\circ\text{C}$ 时水的密度)。

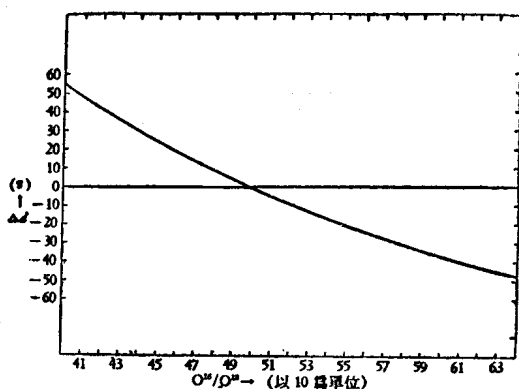


圖 1 圖示标准水与一个給定的氫样品和标准同位素成分的氧化合制成的水之 H^1/H^2 以及密度差之間的关系。

分别为某給定样品的密度和折射率与普通水的相应数值間之差(在 25°C 时)。

氫同位素正常的大地丰度

大地材料中 H^1 和 H^2 相对丰度的測定已經作过許多次。大多数早期測得的 H^1/H^2 值远比今天所採用的为高,而且大多数文献里水的来源是沒有說明的。倍恩勃立琪和納尔(1950)採用 6,700 作为最适合的 H^1/H^2 值。他們列举了由 1933—1939 年所作的 17 次測定,其平均值約为 6500。註明样品来源的最有效的結果示於表 1。

表 1 氫和氖的大地丰度

备 考	水的来源	H^1/H^2
刘易斯和麦克唐納(1933 年, 344 頁)	加利福尼亚, 貝克萊	6,500
爱德华, 貝尔和莪芬登(1935 年 793 頁)	英格蘭, 牛津	$6,220 \pm 300$
霍尔和琼斯(1938 年, 1919 頁)	威斯康辛, 門杜他湖	$6,400 \pm 200$
加巴德和杜尔(1937 年, 185 頁)	密西根湖	6,900
莫里达和鉄坦尼(1938 年 c, 423 頁)	麻省, 劍桥, 日本大阪	$6,200 \pm 200$
屈期斯塔和勃倫(1938 年, 772 頁)	雨和雪, 挪威, 莫斯科	$5,960 \pm 300$
伏斯庫尔(哈佛大学, 学位論文, 1938 年)	麻省, 劍桥, 倫敦, 自來水, 日本大阪	$6,700 \pm 50$
斯华透脫和杜尔(1939 年, 2029 頁)	密西根湖, 大西洋	$6,970, 6,900$

刘易斯和魯吞(1933)得出两个方程式,这两个式子能够算出密度和折射率業已測定的水的全部同位素(O^{17} 略而不計):

$$x = 1.370 \Delta S - 190.5 \Delta n$$

$$y = 7.692 \Delta S + 180.9 \Delta n$$

x 和 y 分別示 H_2O 和 H_2O^{18} 的克分子分数超出普通水的相应数值的增量,而 ΔS 和 Δn 分別

關於採樣地點和樣品的資料未作詳細說明,但是有一些工作者所測得的充分的結果足以說明,正常地面水的 H^1/H^3 可能接近於 6,500, 並且幾乎可以肯定是處在 5,900 與 6,900 之間。

泰勒(1934)提到勃利克內和高爾德的一篇報告,他認為:就普通水來說, $H^1/H^3 > 5 \times 10^5$ 而 D_2O 的 $D/H^3 > 5 \times 10^4$ 。葛魯斯、約翰斯頓、莞夫根和呂班(1951)測定了在挪威進行生產的某些重水的 H^3 含量。根據樣品的年齡以及製備重水時利用的方法所假設的分离因素,他們測得挪威的地表水中 H^3 的天然丰度是屬於 1×10^{-8} 這一級;即 $H^1/H^3 \sim 10^{18}$ 。至於分离因素的值還相當不可靠,所以這種測定在 10 的因子以內也許並不精確。這些數值表明,在氫同位素成分的普通測定時, H^3 毋需考慮。由於 H^3 的放射性,因此,我們就能以充分的精確度來測定並從而研究它的丰度,這將有助於解決某些地質上的問題(見第三部分)。

據雷森斐爾德和張(1936 b)報導:“標準”水(地下水與河水等)含 0.035% HDO 和 0.2% H_2O^{18} , 分別相當於 18.3 γ 和 220 γ 的密度差。海水的平均過量密度超過淡水 1.5 γ 。海水含 0.036% HDO, 相當於 $\Delta d = 18.9\gamma$, 所以 $18.9\gamma - 18.3\gamma = 0.6\gamma$ 的過量密度一定是由於海水中 H^3 的增加所引起的,而其餘的 0.9 γ 是由於 O^{18} 所產生的。

關於河水、湖水和海水的這些數值,某種意義上是許多來源的水的平均值。來源比較單純的水,其密度變異的研究結果表明,它們可以作為一個標準。但是對於極為精密的測定工作來說,必須仔細地闡明標準水的來源和成分,因為許多研究表明:在湖水、河水和海水中,甚至同一條河流的不同地點,在同位素成分上也有顯著的變異(亦可參考關於氧這一節)。

舉例來說,雷森斐爾德和張(1936 c)曾測定過各種來源的水的密度,並以這些密度與標準“陸地水”的

表 2 各種來源的水在密度上的變異

(根據雷森斐爾德和張, 1936 年 c)

產 狀	$\Delta d(\gamma)$
雪	-2.3
雨	-1.0
陸地水	0
動物	+1.2
大洋	+1.5
植物	+1.7
礦物	+2.4

密度进行对比(表 2)。

通过扩散和蒸发,比较轻的分子蒸发较为迅速,此外它们比较易于从植物和动物体素中逸失,根据这些情况,这种差异就很容易理解了。

氡同位素的宇宙丰度

泰勒(1934)报导了在哈佛由门捷尔根据天文光谱图所作的一次研究,即 H^1/H^2 的宇宙值 $>5 \times 10^5$, 这表明当地球形成时以及地球的早期历史时 H^1 惊人的逸失。克雷士(1951)获得一个更大的这种比率值—— $>4 \times 10^7$ 。

水化水中的氡同位素

矿物中水化水的密度之所以比较大的解释是:矿物是从由于蒸发而已使重水富集的过饱和溶液中结晶出来的。所研究的矿物是蒸发盐。有一篇较早的论著(雷森斐尔德和托平克, 1935)曾得出关于个别矿物的结果(表 3)。

表 3 矿物中水化水的密度
(根据雷森斐尔德和托平克, 1935)

矿物和地点	Δd
斜方硼砂 (Rasorite), $Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$, 加利福尼亚	+6.37
硼砂 $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, 加利福尼亚	+2.73
光卤石 $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 斯塔福	+3.36
杂卤石 (Polyhalite) $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 史塔福	+0.04
石膏 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 苏德哈茨	+0.034

在这次和还要早些的工作中(雷森斐尔德和雷森斐尔德, 1934), 他们已经预计到矿物中的结晶水会比实际上所发现的重得多。这种预测是根据泰勒、凯利、欧林(1933)所发现的 $NaCl$ 和 $BaCl_2$ 在 D_2O 中比在 H_2O 少溶解 15% 和 19% 的事实作为基础的。希尔曼和孟席斯(1937)发现, $0^\circ C$ 时 KCl 在 D_2O 中比 H_2O 中少溶解 16%。然而, 当 $180^\circ C$ 时, 差别则减至 4%。对于矿物来说, 这种发现是假定