

科学图书馆 · 科学基础

放射性

[美] P. 安德鲁·卡拉姆博士 本·P. 斯坦 著 刘淑华 译

Radioactivity



上海科学技术文献出版社

“科学基础”丛书

放射性

【美】P. 安德鲁·卡拉姆 博士 本·P. 斯坦 著

刘淑华 译

上海科学技术文献出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

放射性 / (美) P. 安德鲁·卡拉姆博士等著; 刘淑华译. —上海:
上海科学技术文献出版社, 2010. 5
(科学基础系列丛书)
ISBN 978-7-5439-4336-0

I. ①放… II. ①P… ②刘… III. ①放射性—普及
读物 IV. ①TL7-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第062570号

Science Foundations: Radioactivity
by P. Andrew Karam, PhD., and Ben P. Stein

Copyright © 2009 by Infobase Publishing

Simplified Chinese copyright © 2010 Shanghai Scientific & Technological Literature
Publishing House

All Rights Reserved
版权所有, 翻印必究

图字: 09-2010-172

责任编辑: 谭 燕
美术编辑: 徐 利

科学基础·放射性

[美] P. 安德鲁·卡拉姆博士, 本·P. 斯坦 著 刘淑华 译

出版发行: 上海科学技术文献出版社

地 址: 上海市长乐路746号

邮政编码: 200040

经 销: 全国新华书店

印 刷: 昆山市亭林印刷有限责任公司

开 本: 740×970 1/16

印 张: 5.5

字 数: 87 000

版 次: 2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5439-4336-0

定 价: 25.00元

<http://www.sstlp.com>



目 录

1 辐射的基础知识	1
2 自然界中的辐射	11
3 辐射和健康	23
4 核能	32
5 辐射的黑暗面:核武器和恐怖主义	44
6 环境中的辐射	51
7 辐射的光明面:在医院、实验室、超市和家里	62
8 辐射实验	74
9 我们了解些什么	81
译者感言	83



辐射的基础知识

人都有放射性，就此而言，人类世界中几乎所有事物都有放射性——厨房中的香蕉、盖房子用的砖瓦和水泥、烟雾探测器以及每天所吃、所穿、所玩或所接触的多数东西都有放射性。这么说好像不太充分，外部世界含有更多的辐射，有的来自岩石和土壤、大气，甚至有的还来自太空。没有人能够逃离辐射——宇宙的任何角落都充满辐射。自宇宙开始之日起，辐射就一直存在于宇宙中；自地球形成之日起，辐射就一直存在于地球上。生长在地球上的万物都暴露于辐射中，地球上的万物几乎都有些放射性。

如果物体自然地释放像X射线这样的高能粒子，那么物体就有放射性。这些高能粒子被称作辐射。任何事物（包括这本书）都可能含有释放高能辐射的东西，即使其高能辐射的含量微小。

可以说，万物都有放射性。但是，要说明这一点，首先要解释放射性是什么。这就是说了解放射性背后的一些科学知识，有助于理解这一科学术语。

原子

几千年前，希腊的哲学家德谟克利特（Democritus）正在享受着面包的

美味,就在这时,他开始想如何能得到较小的面包片。如果他继续切的话,就会得到更小的面包片。他就这样切下去,面包片越来越小。德谟克利特在想他究竟切了面包多少次?他突然想到他不能永远切下去,面包片终究会小到不能再切的程度。他想事物具有大小限度的想法是有意义的——他只能切出小的面包片,但不能再小了。当他得到最小的面包片——不能再切的面包片时,德谟克利特就称之为“不可切”;希腊语称之为**原子**。

近几千年,人们对原子的认识已经有了很大的改变。与古希腊相比,原子的真实世界更加有趣,但是更加难以理解。不是仅仅有一种原子——现在原子的种类已超过 115 种。原子可以聚集在一起形成叫做**分子**的较大单位。例如,面包是由许多种类的原子和分子构成的。还有,事实上原子是“可切分的”,有可能把原子再继续分割下去,释放大量能量,用于战争或和平。

正如科学家现在知道的那样,原子含有被称作**原子核**的核心,原子核含有被称作**质子**和**中子**的粒子。质子和中子重量相同。尽管中子没有电荷,但是质子有正电荷。同时,原子核被一群被称作**电子**的粒子所包围,电子有负电荷。电子的负电荷与质子的正电荷一样强,所以它们的电荷保持平衡。在多数原子中,质子的总数与电子的总数相同,所以正负电荷完全相互抵消,这样的原子被称为“中性原子”。

磁铁能帮助说明原子中所发生的事情。有时一块磁铁会排斥另一块磁铁,因为两块磁铁排列在一起,它们的两个北极或两个南极会紧挨在一起。换句话说,相似的磁极会彼此排斥。电荷也如此。两个质子中的正电荷易于彼此排斥,这正如两个北磁极彼此排斥一样。要想在其里面有超过一个质子的原子,必须有克服这种力量的东西。这就是中子进入的地方。

中子像胶水一样帮助原子核聚在一起。核内的中子会施加一种力量(叫做**强核力**),把核内所有的物质都聚集在一起。质子也具有把一切都聚集在一起的强核力,但是单单质子中的强核力不够强大,不能与分开质子的电子力相抗衡。中子使得许多质子保持同一位置。由于有了中子,原子核内拥有 1—100 多个质子。

核内质子的数量决定了原子的种类或**元素**。例如,具有一个质子的核是氢元素,具有 92 个质子的核是铀,铀是自然界中大量存在的最重的元素。(现已在铀矿中发现了重于铀的钚的大量存在,但原子的含量有限。)科学家

在实验室中已经人工创造出有超过 92 个质子的元素。对于最近创造的具有 116 个和 118 个质子的一些元素如何命名,科学家还没有达成一致意见。

当原子能量巨大时,它需要释放能量。原子也需要恰好数量的中子和质子,以便其保持稳定。如果对于核内的质子数量而言,有太多或太少的中子,那么原子不是把质子转化成中子,就是把中子转化成质子。原子经常可以同时完成这两项任务,这一过程叫做**放射性衰变**。

当原子衰变时,释放粒子,并且经常转化为较轻的元素。例如,铀衰变为钍,钍就是一种较轻的元素。有几种不同种类的放射性衰变,每一种衰变都会释放一种不同的粒子。

放射性和辐射

质子互相排斥,中子把质子聚集在一起,所以很容易看出,如果原子没有足够的中子,原子就会分裂。从技术方面来说,如果原子拥有太多的质子(或者太少的中子),那么它就拥有质子相互排斥的电子力所产生的巨大能量。但是,如果拥有太多的中子(或者较少的质子)会怎么样呢?在这种状况下,就会有太多的强核力,因此原子仍然拥有太多的能量。

拥有稳定的原子的唯一办法是保持质子和中子力量的适当平衡。如果中子太多或太少,那么原子就拥有巨大能量,这就造成原子不稳定,不稳定的原子就具有放射性。

拥有太多中子(或者较少质子)的原子要保持稳定该怎么办呢?一种可能就是原子把一些中子转化为质子。但这会出现一个问题:中子总电荷为零,而质子有正电荷,但是原子改变不了它的电荷总量,所以接下来发生的是中子衰变为两个粒子:一个是保持在原子中的带有正电荷的质子,另一个是离开原子的带有负电荷的电子。这样,来自质子的正电荷和来自电子的负电荷保持平衡。离开原子的电子解决了另一个问题:它也帮助原子释放一些多余的能量。只通过释放一个电子,原子就能立即解决两个问题。这种释放电子的辐射叫做**测试辐射**,它是辐射的主要种类之一。

一些原子自身就拥有太多的能量,这些种类的原子不稳定或者有放射性。不稳定的原子通过释放辐射消除多余能量。放射性物质只不过是稳定原子的集合体。

除了上面提到的测试辐射外,还有其他形式的辐射。像镭、铀、钚这样的重原子元素不仅仅是将单个的质子转化为单个的中子,反之亦然。它们更可能释放成群的质子和中子——准确地说是被称作 α 粒子的两个质子和两个中子。阿尔法辐射是第二种辐射;伽马辐射是第三种辐射,也叫做伽马射线,这种辐射就像光线或X射线,但是拥有巨大能量。

表格 1.1 辐射的性能

辐射的种类	组成	质量	电荷量	人体中穿透的距离	危害
阿尔法辐射 (Alpha)	由两个中子和两个质子组成的物体	大而重——大约一个电子量的 8 000 倍,或者一个中子或质子量的 4 倍	+ 2(质子电荷量的 2 倍)	大约一个细胞	对身体的内部伤害很大,对身体外部完全无伤害
测试辐射 (Beta)	一个电子	很轻——大约单个中子或者质子量的 1/2 000	+ 1 或 - 1 (与电子电荷量相同)	大约 1 厘米 (0.39 英寸)	量大时有害,量小时无害
伽马辐射 (Gamma)	高能量形式的光	没有重量	无电荷	穿透于全身	

辐射的来源

辐射在地球上和宇宙中到处存在,辐射来自于哪里? 辐射来自于放射性原子,但又远不止这些。比较有趣的问题是,地球上的放射性原子来自于哪里。

放射性原子(和许多组成人体的原子)来自于恒星爆炸,所有的恒星最初只是由两个最轻的元素(氢和氦)组成,但是随着时间的推移,它们形成较重的元素,像铁一样重。最终,恒星耗尽了使它们发光的氢和氦燃料。当燃料耗尽时,较大的恒星自身崩溃。随着恒星崩溃,会产生叫做超新星的壮观的爆炸。随后,恒星分裂成浓密度大的热球,恒星形成更重的元素——一直

到形成铀及以后的元素。当一个恒星崩溃时,它的外层迸离其核心,并产生爆炸,把较重的元素喷射到周围的空间中。

科学家认为,大约 60 亿年前,一颗较大的恒星在太阳附近爆炸。在接下来的 10 亿年中,来自于附近恒星爆炸的一些元素聚集在大星际云中。这种星际云最终会在大约 45 亿年前崩溃,形成太阳系。这种星际云包括最终形成的地球,还包括形成于现在死一般寂静的恒星的一些放射性原子。

大多数放射物不论来自于什么恒星,在地球上都存在。现在地球上大多数的天然放射物都存在于岩石和土壤中。岩石中的天然放射物以铀、钍和钾原子元素为开始。但是放射性原子不会永久存在,它们会衰变或者分解为较轻的元素。这些**衰变产物**或者具有放射性,或者不具有放射性。具有放射性的衰变产物再次分解成更轻的元素,不具有放射性的衰变产物是**稳定的**,就是说它不再分解成任何别的元素。

放射性钾直接衰变为或者是钙或者是氩,这两种元素都不具有放射性(稳定的)。但是铀和钍的衰变更有趣:这些元素通过一系列放射性元素(包括氡和镭)衰变,直到衰变为稳定的铅。天然的铀、钍和它们的放射性副产物以及放射性钾都说明了地球上大量的辐射。来自于铀和钍衰变的氡会提供更多的天然辐射。所有这些大约占人类从自然界接受的辐射的 3/4。

还有更多的辐射来自于人体内的放射性钾,更多的辐射来自于太空,这些辐射以来自于太阳和星系其他地方的宇宙辐射形式出现。这两种辐射各自大约占天然辐射剂量的 1/7 和 1/10。按照辐射剂量单位(按照国际体系称作**希沃特**,或者按照标准计量称作**雷姆**——1 希沃特 = 100 雷姆)计算,地球上每人每年要遭受天然辐射剂量接近 0.003 希沃特(0.3 雷姆)。

人工来源也使人遭受辐射,医疗是最大的人工辐射来源。除了人类从自然界遭受的辐射外,X 射线、核医学程序、CT 扫描等等每年平均使病人接受大约 3.3 毫希沃特(1 希沃特的千分之一)或者 330 毫雷姆(1 雷姆的千分之一)的辐射剂量,这些增加了人类所接受的辐射的 50%。尽管科学家同时在努力减少医疗程序过程中的辐射量,但是随着人们越来越多地经常使用这些救生程序,辐射量仍有增加趋势。除此之外,一些消费产品(例如,烟雾探测器)也有微量放射性,辐射剂量每年接近 0.1 毫希沃特(10 毫雷姆)。相比较,**核反应堆**、放射性废物、核武器试验放射性微尘和其他人工辐射来源都使人类平均每年多接受 0.02 毫希沃特(2 毫雷姆)的辐射剂

量。加在一起,北美每人每年就要接受大约 6.3 毫希沃特(630 毫雷姆)的辐射剂量,其中 3.0 毫希沃特(300 毫雷姆)的辐射剂量来自于自然界,其余的是人为造成的。

辐射和放射性的使用

辐射不仅在地球上广泛存在,而且在社会中广泛使用。它主要应用于研究、医学和工业。

在医学界,辐射以令人惊奇的方式被广泛使用。它可以帮助医生检查身体,诊断骨折、癌症和其他疾病。辐射不仅可以帮助医生查看病情,而且可以治疗很多疾病。辐射用于医学近一个多世纪,它成为医生的一个最有价值的工具。在第三章我们会了解更多有关医生如何使用辐射治疗病人的信息。

科学家也在他们的研究中广泛使用辐射,多数用于医学和生物学研究。多数情况下,科学家致力于发现是否新的医药可以到达准确的器官,或者营养如何被细胞利用。放射性在未来有可能会在医学和研究中探索新的用途。

辐射和放射性甚至用于工业。辐射在穿透物体到达其内部时会逐渐变弱,因为物体外层会吸收许多辐射。例如,一家工厂正在制造 1.19 厘米(0.5 英寸)厚度的钢板,工厂可以把放射性物质放在钢板上,把辐射探测器放在钢板下。如果探测器显示辐射太强,那么就意味着钢板太薄。这样,信号就传送到控制钢板厚度的机器上,命令它将钢板制造得厚一点。放射性测量也被用来控制纸的厚度、检测瓶罐是否灌满、警告油箱即将溢出或即将用光、检查地面是否足以承受建筑或公路重压。

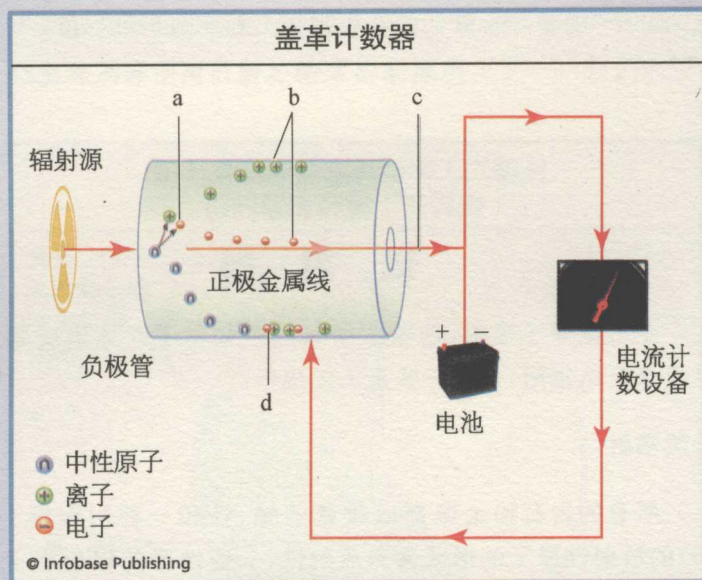
这仅仅是开端。工业也使用辐射和放射性来检查管道、确定飞机刹车装置是否性能良好,还有很多很多的用途。事实上,像医学和研究一样,工业依靠辐射——在某种状况下,甚至更多。

本书将解释辐射的来源以及辐射如何影响人类健康,也会解释核反应堆如何运作,包括 20 亿年前发生在地球上的天然核反应堆。本书也会展示辐射和放射性如何影响环境,展示辐射如何用于医学和工业,以及利用辐射给社会带来益处。最后,本书将以展示如何使用天然辐射源在家或者在学校做一些简单的实验而结束全文。

如何检测辐射：盖革计数器

发现放射性后仅仅 10 年的时间，科学家就发明了测量放射性的设备，现在使用的是现代版设备，称作**盖革计数器**。这种设备是一种金属管，形式简单，里面充满了由原子组成的气体。

当像 X 射线或伽马射线这样的高能辐射撞击一个原子时，它会从这个原子中移走一个电子——这一过程叫做**电离**。电子带有负电荷，其余的原子叫做离子，带有正电荷。正常情况下，带有负电荷的电子和带有正电荷的离子会相互吸引，因此又会聚在一起，



图表 1.1 盖革计数器测量放射性辐射引起中性原子电离，产生离子和自由电子(a)。带有负电荷的电子与带有正电荷的正极金属线相吸引；带有正电荷的离子与带有负电荷的负极管壁相吸引(b)。电子沿着正极金属线行进，在金属线处一个电流计数设备在计数电子通过的数量(c)。正极金属线把电子转回到负极管，在那里与离子重组，又一次形成中性原子(d)。

这一过程叫做重组。然而,盖革计数器阻止这一重组发生。

在盖革计数器的金属管内有一根与电池相连的线,如果给这根线足够的强正电荷,电子就会被吸引过去,离子也会被带有负电荷的金属管自身吸引。当这种情况发生时,电子和离子使劲撞击其他原子,使它们电离。然后,电子和新离子对中的离子撞击更多原子,产生更多电离。一次又一次发生电离,直到盖革管内几乎每个原子都电离。然后,当它们到达金属线时,电子穿过金属线,到达金属管壁,在那与正电荷的离子联合,再一次形成电中性原子。在这个过程中,电子也穿过标明计数的监控设备。这样,如果盖革计数器读数为每分钟 1 000,这就意味着整个过程每分钟内发生 1 000 次,或者每秒钟大约 16—17 次。一些盖革计数器标明一次计数为一个“啪嗒”声,其他的在可视板上显示放射性标度。

辐 射 源

宇宙充满了辐射,地球上所有的生物都不断地遭受辐射。大多数是天然辐射,但是一些是人工辐射。

天然辐射

所有的岩石和土壤都以微量的铀、钍和一种叫做钾-40($K-40$)的放射性原子的形式含有放射性,一些地区的辐射水平比另一些地区高——例如,美国夏威夷当地岩石的放射性就比怀俄明州和缅因州的少得多。

氡来自于岩石和土壤,也来自于铀放射性衰变。事实上,铀产生大量放射性元素,包括镭、钋、钍、钍和在它变成铅之前的其他元素。铅稳定并且无放射性(尽管任何人不想吃它或者呼吸它,因为铅使人误以为它像钙一样是人体确实需要的另一种金属)。

海平面上的宇宙射线多数来自于太阳系外,来自星系其他地方的恒星爆炸。但是,在海拔较高处,例如,在飞机上,辐射水平比

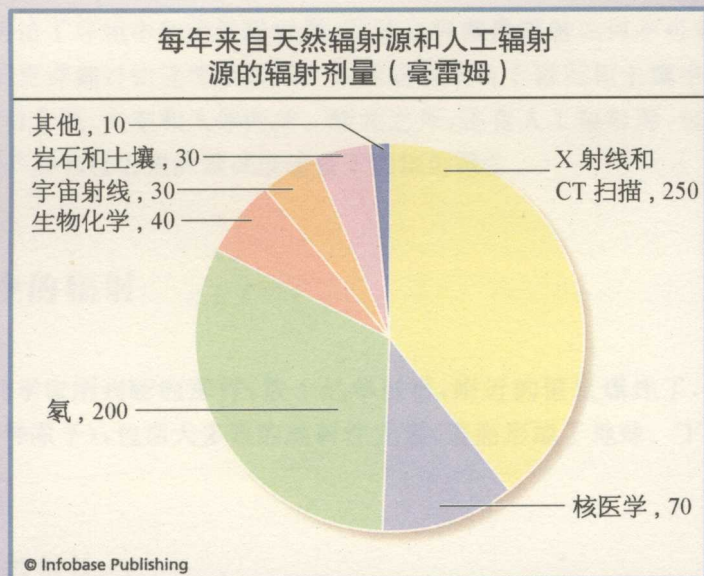
地面上略高一点。这种差异多数是由于太阳辐射造成的。

作为放射性钾-40($K-40$),放射性在人体内存在,对大多数人来说这是第二重要的辐射源,毫无办法避免它。含钾高的食物如香蕉等里面的放射性钾-40 就会略多,这种水平的辐射危害相当低——但是缺钾就有危险了,因为钾有助于肌肉(包括心脏)正常工作。

人工辐射

人工辐射源包括 X 射线和其他医疗过程,像 CT 扫描和核医学。成人(特别是年长者)比儿童更多使用这些医疗过程,所以儿童会比成年人遭受较少的医疗辐射。

许多消费产品也使用放射性,一些是有意使用,一些则纯属巧合。烟雾探测器使用放射性镭来帮助探测火灾——它们的放射性



图表 1.2 辐射到处存在,它既有天然辐射源(像宇宙射线),又有入工辐射源(像医学辐射)。

水平低,没有危险。用亮光纸印刷的杂志的材料中掺杂着含有钾-40的黏土。事实上,砖、水泥、煤渣块和其他建筑材料也含有钾-40。电视会释放水平很低的X射线,某些高质量的光学玻璃中会使用钍。然而,所有这些放射性元素都处于安全水平。

其他辐射源中,最大的辐射源是来自于大气核武器试验年代的放射性微尘和(最近)来自于乌克兰的切尔诺贝利(Chernobyl, Ukraine)核反应堆事故。但是,除了居住在附近地区的人之外,其他的地区和人遭受的辐射水平都很低。现在,这些地区的放射性已在世界各地扩散开来,放射性水平变低。



自然界中的辐射

前一章讨论了环境中的天然辐射源,以及这种**背景辐射**如何不可避免,现在我们更详细讨论这些辐射源。天然辐射来自于岩石和土壤中的放射性原子,来自于氡、太空和人体内部。除此之外,还有人工辐射源,包括医疗来源、消费产品和过去核武器试验遗留下的辐射微尘。

自然界中的辐射

正如科学家所判断的那样,数十亿年以前,附近的恒星爆炸了,喷出各种元素(各种原子),包括大多数的放射性元素,进而形成了地球。下面是后续的故事。

地球中的放射性

当地球最初形成的时候,其组成物质混合完好或均匀,科学家称之为**同质**。就像把巧克力汁倒入一杯牛奶中搅拌:刚开始,白色牛奶和棕色巧克力清晰可见,但是一旦它们完全被搅拌,整个杯子就变成同一颜色——每一滴

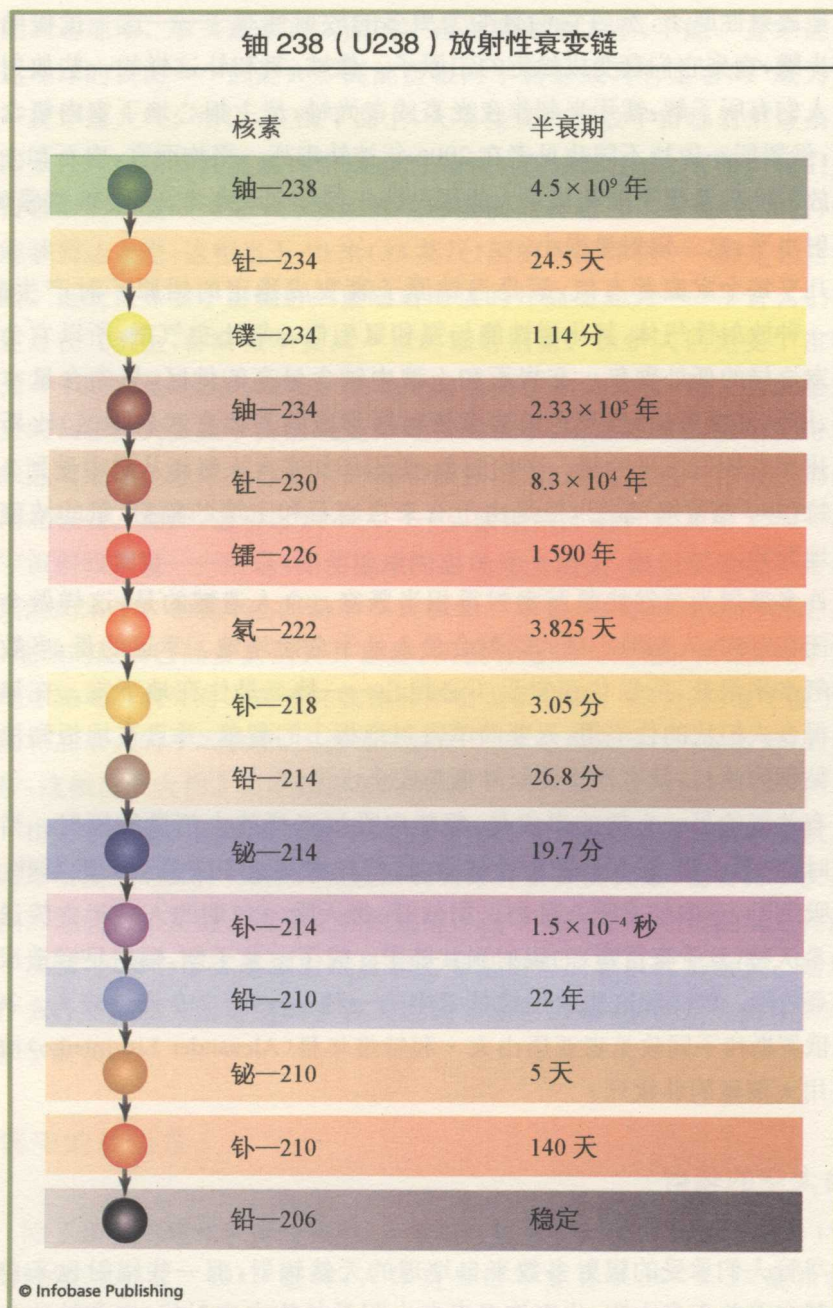
巧克力奶看起来都一样。早期的地球就是这样：各处的岩石具有相同的化学成分，但是今天的地球表面却不同了：一些岩石是黑色，一些是粉色，一些是粒状等等。地球发生了变化——不同地区开始不同。这一过程有助于解释为什么当今一些岩石比另一些具有更多的放射性。

现在地球上有很多火山，但是在过去有更多。众所周知，火山是地球内部的熔岩喷出地表。不为人知的是，火山喷发前熔岩或岩浆内部究竟发生了什么。从放射性角度看，最重要的是了解岩浆在地下深处时就开始变硬。当岩浆变硬时，放射性原子易于停留在剩余的岩浆中。最终到达地表的岩浆比最初的岩石含有更高的放射性原子浓度，并且随着时间的推移，最初地球中的多数放射性原子移动到最外层，就是我们所知的地壳。

然而，地壳内的岩石放射性水平不同。例如，夏威夷的固体黑熔岩直接从地幔上升，地幔是紧挨着地壳下的地球外层。如果地球上所有放射性都位于地壳中，就意味着地幔中的岩石中放射性很少。所以，夏威夷岩石的放射性水平低。事实上，确切地说这是科学家的发现，这解释出几乎所有地球上的放射性在地壳中存在。还有，地壳中的岩石应该有较高水平的放射性，也许甚至新生的岩石，也就是刚刚经历过地球的物质混合的岩石，应该有最高水平的放射性。这的确是科学家在观看不同种类的岩石时所观察到的。所以，即使地球诞生时是一个相当同质的球体，但是，随着时间的推移，它慢慢地变得不均匀了——差不多像巧克力奶被分离成巧克力汁和白色牛奶一样。

地球上任何地方总是有来自岩石的辐射，甚至土壤也含有放射性，这是因为土壤形成于地下的岩石中。岩石一形成，就开始分解，因为它接触大气，经受天气的影响。这一过程叫做风化。随着岩石的分解，岩石与腐烂的植物成分混合，最终形成土壤。所以，土壤来自于地下岩石，岩石与科学家称之为**有机材料**的植物相混合。事实上，土壤中的放射性含量与岩石中的放射性含量相似，所以科学家推测出放射性水平较高的岩石是在放射性水平较高的土壤下。在地球上，岩石和土壤中的放射性含量多变，由低水平（像在夏威夷地区）变化到高水平（像在伊朗的拉姆萨尔和印度的喀拉拉地区）。

地球上发现的天然放射性原子主要有3种形式。铀、钍和钾这些原子被称作**放射性核素**，这些原子自地球诞生以来到处存在，从现在起未来数十亿年有太阳的照射，它们仍然会继续存在。即使放射性钾分解或衰变成无放射性原子，铀和钍也会衰变成有放射性原子。这些放射性原子反过来衰变



图表 2.1 辐射的种类和不同核素的半衰期