

科学图书馆

我们世界中的物理

PHYSICS IN OUR WORLD

粒子与宇宙

PARTICLES AND THE UNIVERSE

[美] 凯尔·柯克兰德 著 雷泉 译



YZLI 0890092146



上海科学技术文献出版社

科学图书馆

我们世界中的物理

PHYSICS IN OUR WORLD

粒子与宇宙

PARTICLES AND THE UNIVERSE

[美] 凯尔·柯克兰德 著 雷泉 译



YZLI 0890092146



上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

粒子与宇宙 / (美)凯尔·柯克兰德著;雷泉译. —上海:上海科学技术文献出版社,2011.1
(科学图书馆. 我们世界中的物理)
ISBN 978-7-5439-4594-4

I. ①粒… II. ①凯…②雷… III. ①粒子—普及读物②宇宙—普及读物 IV. ①0572.2-49②P159-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 235626 号

Physics in Our World: Particles And the Universe

Copyright © 2007 by Kyle Kirkland

Copyright in the Chinese language translation (Simplified character rights only) ©
2008 Shanghai Scientific & Technological Literature Publishing House

All Rights Reserved

版权所有,翻印必究

图字:09-2008-207

责任编辑:刘仁焰

封面设计:徐利

粒子与宇宙

[美]凯尔·柯克兰德 著

雷泉 译

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市长乐路746号 邮政编码200040)

全国新华书店经销
江苏昆山市亭林彩印厂印刷

*

开本740×970 1/16 印张7.5 字数133 000
2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5439-4594-4

定价:18.00元

<http://www.sstlp.com>

谨以此书献给乔治·格斯坦教授，
他是一位卓越的科学家，更是一位卓越的人。



内 容 简 介

世界上最小的粒子是什么？浩瀚的宇宙又蕴藏着什么样的奥秘？翻开《粒子与宇宙》这本书，你就开始了一段穿越时空的旅行。你可以到粒子动物园去看看夸克是什么样子，也可以乘上宇宙飞船到苍茫的太空中去捕捉来自天外的信号，你还可以扇动着想象的翅膀回到时间的起点去一睹大爆炸的悲壮，或者飞向未来去看看数十亿年之后的宇宙将会怎样。一个小小的原子何以能毁灭地球？光是波还是粒子？所有的物质都是由什么构成的？我们能回到过去吗？宇宙从哪里来又将到哪里去？所有这些已知的、未知的世界之谜都等待着你去探索。《粒子与宇宙》一书分5章介绍了核物理、量子理论、粒子物理、相对论和宇宙学的有关知识，深入浅出地为我们再现了知识发现的过程，并介绍了这些知识的当前或者潜在应用。这本书集科学性与趣味性于一身，从微观到宏观，从过去到未来，既传递信息，又启发思考。经典物理学让位于现代物理学是科学发展的必然结果，然而，关于世界的奥秘，我们要去探索的还有很多很多……

前言



1945年,两枚核弹终结了第二次世界大战,这是对物理学威力的一次展示,让人惶恐而又令人信服。由世界上最杰出的一些科学头脑酝酿出的这次核爆炸摧毁了广岛和长崎这两座日本城市,迫使日本不得不无条件投降。应该说,物理学和物理学家的身影贯穿于第二次世界大战的始终,而原子弹只是最生动的一个例子。从那些用于炸坝的在水中跳跃前进的炸弹到那些感应到船体出现便发生爆炸的水下鱼雷,第二次世界大战实际上也是一场科学的较量。

第二次世界大战让所有人,包括那些多疑的军事领导人相信,物理学是一门很重要的科学。然而,物理学的影响远远延伸到了战场之外,物理学原理几乎关系到世界的每个部分,触碰了人们生活的方方面面。飓风、闪电、汽车引擎、眼镜、摩天大厦、足球,甚至包括我们怎么走、怎么跑,所有这一切都要服从科学规律的安排。

在诸如核武器这样的话题或者有关宇宙起源的最新理论面前,物理学和我们日常生活的关系往往显得黯然失色。“我们世界中的物理”这套丛书的目标就是去探究物理学应用的各个方面,描述物理学如何影响科技、影响社会,如何帮助人们理解宇宙及其各个相互联系的组成部分的性质和行为。丛书覆盖了物理学的主要分支,包括如下主题:

- ◆ 力学与动力学
- ◆ 电学与磁学
- ◆ 时间与热动力学
- ◆ 光与光学
- ◆ 原子与材料
- ◆ 粒子与宇宙

“我们世界中的物理”丛书的每一册均阐释了有关某个主题的基本概念,然后讨论了这些概念的多种应用。虽然物理学是数学类学科,但这套丛书主要聚焦于思想的表达,而数学知识并不是重点,书中只涉及一些简单的等式。读者并不需要具备专门的数学知识,当然,对于初等代数的理解在有些时候还是很有帮助的。实际上,每一册可

以讨论的话题的数量几乎是无限的,但我们只能选取其中的一部分。令人遗憾的是,不少有趣的东西就这样不得被省略掉。然而,丛书的每一册都涉猎了非常广泛的材料。

我曾经参加过一个讨论会,会上一位年轻学生问教授们,是否需要备有最新版本的物理教科书。有一位教授回答说,不,因为物理学的原理“多年来一直没有改变”。这个说法大体上是对的,但这只是对物理学的效力的一个证明。物理学的另一个支撑来源于建立在这些原理之上的令人吃惊的诸多应用,这些应用仍在不断扩展和变化,其速度之快非同寻常。蒸汽机已经让位给了用在跑车和战斗机上的强大内燃机,而电话线也正在被光导纤维、卫星通讯和手机等取代。这套丛书的目标就是鼓励读者去发现物理学在各个方面、各个领域所起的作用,现在的、过去的以及不远的将来的……

鸣 谢

感谢我的老师,是他们尽了自己最大的努力理解包容我。感谢乔治·格斯坦(George Gerstein)、拉里·帕姆(Larry Palmer)和斯坦利·斯密特(Stanley Schmidt)博士,是他们在迷失方向的时候帮助我找到自己的路。我很感激乔迪·罗治(Jodie Rhodes)先生,是他帮助我发起了这个工程,感谢执行编辑弗兰克·达姆斯达(Frank K. Darmstadt)以及其他推动这项工程的编辑和制作人员,感谢许多为本书提供宝贵时间和见解的科学家、教育工作者和作家们。我尤其要感谢伊莉莎白·柯克兰德(Elizabeth Kirkland),她是一位有着非凡力量并能明智地运用这种力量的伟大母亲。

简 介

1665—1666 年间,由于瘟疫流行,艾萨克·牛顿(Isaac Newton)被迫离开了剑桥大学,这使他有了大量的时间来进行实验,后来他被授以爵位,成为了艾萨克公爵。他非常充分地利用了这段时间,作出了许多重要的发现,这些发现为他几十年后发表的物理规律奠定了基础。牛顿的方程式精确地描述了加速度和运动,他的万有引力定律用一种简洁的、数学化的方式解释了存在于地球上以及整个太阳系中的引力。

牛顿物理学统治物理学界长达 200 余年。在牛顿看来,力的作用导致运动的变化,这些变化是决定了的而且可以精确地计算出来,时间和空间等概念都是绝对的,对所有人都一样。长期以来,物理学家都接受这种观点,直到 20 世纪,开始出现了一些例外。由于更加完善的仪器和更富有想象力的理论的出现,人们开始探索一些日常生活中不能碰见的物体和事件——原子内部的微小粒子,巨大的物体例如整个宇宙以及大大小小物体的高速运动。在很多情况下,牛顿所描述的规律再也无法立足,人们需要新的规律以及一些全新的概念。在我们熟悉的情形下,这些新规律还原成了已有的旧规律,但却极大地拓展了旧规律的适用范围和精确性。

《粒子和宇宙》这本书记述了牛顿物理学不能成立的一些现象,解释了构成一整套新规律基础的“现代”物理学。科学方法是不会改变的——观察导致理论的产生,而理论的正确性需要被检验。《粒子和宇宙》的每一章涉及一个特定话题,深入研究了有关这个话题的观察、理论和检验:

- ◆ 核物理
- ◆ 量子力学
- ◆ 粒子物理学
- ◆ 相对论
- ◆ 宇宙学,有关宇宙的研究

核物理探讨原子的中心部分即核子的属性和行为。核物理也许是 20 世纪对世界产生过最大影响的物理学分支,因为正是核物理演化出来的知识帮助人们制造了有史以来最具破坏性的武器。1945 年结束第二次世界大战的原子弹和接下来的军备竞赛

改变了历史的进程。核物理的应用也为和平目的提供了巨大的能量,世界上电能的16%是由核反应产生的。

原子的组成成分等微小粒子的奇特行为要求物理学家对他们的理论作出修正,并改变理解和应用这些理论的方式。量子力学提出了一些用来描述粒子的运动和性质的方程式,但采用了一种特殊的度量方法。物体的属性倾向于具有离散的特点——它们的值像整数($\dots -2, -1, 0, 1, 2, \dots$)一样按特定的数量增加,而不是像连续的实数那样可以是任何数值。量子力学中的计算引入了一定量的不确定性,这种不确定性永远也不会消失。在量子力学提出之前,物理学家也要和不确定性打交道,但这种不确定性是由于知识的缺乏而产生的,而在新理论中,不确定性是由物理性质本身造成的。

为了进一步探索物质的性质,物理学家建造了能够使粒子以接近光速的速度在通路上运动的巨大加速器。高速运动的粒子具有足够的能量,粒子之间发生碰撞,可以把粒子撕开或者生成一些全新的粒子,结果发现存在着成百上千种粒子。粒子物理对这些粒子进行分类,确定它们的性质,解释它们在相互作用过程中的作用力,是物理学的一个重要分支。

极端高速是又一种需要用新鲜观点来审视的物理现象,粒子加速器可以使粒子达到极端高速。在巨型粒子加速器制造出来的几十年前,历史上最伟大的物理学家之一阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)致力于思考这样一个问题:物理规律对于运动着的观察者来说是什么样的。爱因斯坦相信,物理规律对所有的观察者来说都是一样的,他在1905年发表了狭义相对论,对变慢的时钟和收缩的长度作出了奇特但却准确的预测。10年之后,爱因斯坦又发表了广义相对论,涉及万有引力。广义相对论产生了惊人的影响,它使人们发现了太空中的一种高致密的物体,就连光线都不能从这种物体中逃逸出来。到目前为止,爱因斯坦的理论经受住了所有考验。

狭义相对论和广义相对论也是研究宇宙的重要工具。这些理论能够帮助天文学家理解用望远镜和其他仪器得到的观察结果,进而揭示大量壮观的物体和事件。其中,最引人注目的一种现象就是宇宙膨胀,但就连爱因斯坦本人起初也不相信广义相对论的这个预测。

本书的每个章节都描述了由新发现带来的深刻变化以及它的一些应用,例如震动地球的武器、能对人脑活动进行成像的机器和精确的卫星导航系统。20世纪物理学的兴起改变了科学的版图,产生了一些新思想和新理论,极大地推动了人类未曾涉足的新领域的科学知识的发展。

目 录

前言	1
鸣谢	1
简介	1
1 核物理:辐射、武器和反应堆	1
原子核	1
辐射	6
原子弹	8
$E = mc^2$	10
核能	14
核医学	18
核动力宇宙飞船	21
聚变:未来的核能	27
2 量子力学	31
微小粒子的力与运动	32
波粒二象性	32
电子显微镜	35
知识的限度	38
量子计算机	40
传送“我”:量子隐形传送	42
3 粒子物理学	46
粒子加速器	47
回旋加速器—— R 约去 R	48

所有物质是由什么构成的	55
反物质	56
物质—反物质湮灭	58
用反物质给人体照相	59
用反物质推进宇宙飞船	62
标准模型:基本粒子及其相互作用.....	63
4 相对论	67
阿尔伯特·爱因斯坦的假设	68
迈克尔逊—莫雷实验	70
时间膨胀和长度收缩	73
狭义相对论的方程式	76
双生子悖论	77
引力和广义相对论	79
黑洞	84
5 宇宙学	88
宇宙大爆炸	89
超新星、脉冲星和类星体.....	94
万物的理论	97
宇宙的命运	99
结语	101
元素周期表	104
化学元素表	105
译者感言	106

核物理：

辐射、武器和反应堆

早在 20 世纪初,年轻的化学家乔治·赫维西(George de Hevesy, 1885—1966)在吃由女房东准备的食物时,怀疑食物是上一顿吃剩下的,他决定检验一下自己的怀疑。有一天,他在吃完饭后往残留在盘子上的食物中注入了很少量的没有危害的化学物质。这种物质具有微弱的放射性:它的原子向外辐射能够由敏感仪器检测到的射线。后来,赫维西的女房东给他端上了一份具有放射性的食物——里面有他上一顿留在盘子里的食物。

赫维西是广泛应用放射示踪技术的先驱,他和其他一些科学家引领了现代核物理应用的道路。原子核的物理学导致了大量震惊世界的科学发展:古老物质的放射性年代鉴定、产生巨大电能的核能反应堆、最具毁灭性的核弹。本章描述了这些重要的发明,并阐述了核物理的基本原理。

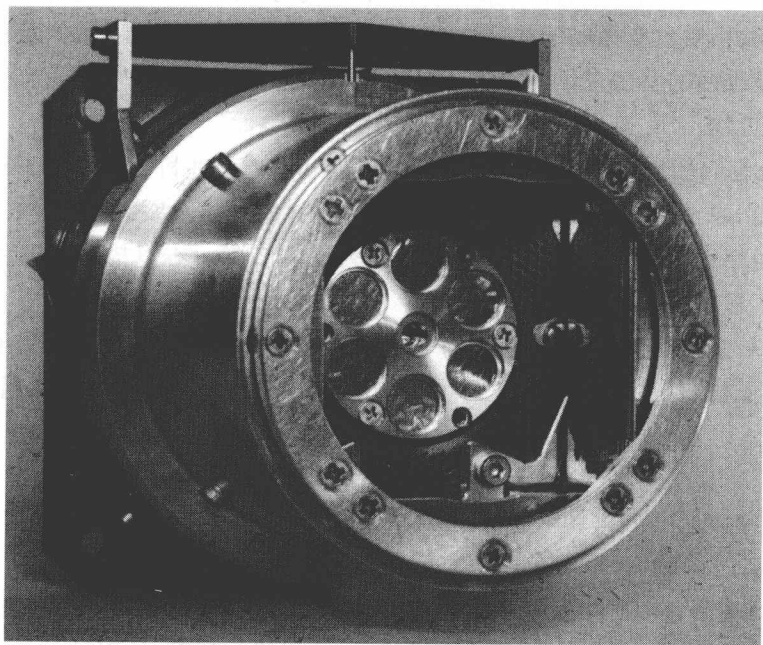
原子核对 20 世纪物理学的形成有着重要贡献,它由被叫做质子和中子的微小粒子组成。原子核非常之小,1 000 亿个原子核堆在一起才有一根头发那么粗。

原子核

1896 年,法国物理学家安东尼·亨利·贝克勒尔(Antoine - Henri Becquerel, 1852—1908)在沥青铀矿中发现了放射线,不知不觉地开启了核物理的时代。沥青铀矿是一种包含铀元素的矿物质,铀的含量越高,放射线就越多,所以铀是一种重要的元素。波兰物理学家玛丽·居里(Marie Curie, 1867—1934)创造出辐射(radioactivity)这个术语用来描述这些射线的发射。居里夫人和她的丈夫皮埃尔·居里(Pierre Cu-

rie, 1859—1906)一起发现了一种更强的放射源,那就是镭元素(镭的放射性非常强,纯净的镭在黑暗中能够发光,而铀是不能的)。由于贝克勒尔和居里夫妇的杰出工作,他们共同分享了1903年的诺贝尔物理学奖。

辐射是伴随原子核的放射性衰变过程产生的射线发射。直到1911年,原子核才被新西兰/英国物理学家欧内斯特·卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871—1937)所发现。在一系列后来对世界产生深刻影响的实验中,卢瑟福用一束 α 粒子轰击一片很薄的金箔。在这个时代,科学家们还不知道原子是由什么构成的,很多人都接受由英国物理学家约瑟夫·约翰·汤姆生(Joseph John Thomson, 1856—1940)公爵提出的一种理论。汤姆生是一位杰出的科学家,他在1896年发现了原子中带负电的电子。汤姆生认为,原子(通常情况下不带电)是由镶嵌着电子的一团带正电的物质组成的。卢瑟福决定通过测量金原子对 α 粒子的散射来探索原子的内部结构。因为 α 粒子是带正电的,所以卢瑟福预测有一些 α 粒子在穿越金箔上的原子层时会发生轻微的偏折。但令他吃惊的是,有一些 α 粒子在碰到金原子之后被反弹了回来!



现代的仪器同样运用 α 粒子。装载在“勇气”号火星探测器上的这个仪器向土壤发射 α 粒子和其他射线,对反射回来的成分进行分析,从而探索火星表面的情况。(NASA·JPL)

对卢瑟福实验的正确解释是,原子内部包含了一个很小的带正电的核心。大部分 α 粒子如所预期的那样略有偏折地穿越了原子层,而少部分 α 粒子因为碰到了一个坚硬的、致密的物体而被反弹回来。一幅原子的新图像浮现出来:原子是由微小的带正电的原子核和环绕着原子核的带负电的一群电子组成的。正电和负电互相抵消,所以整个原子是电中性的。

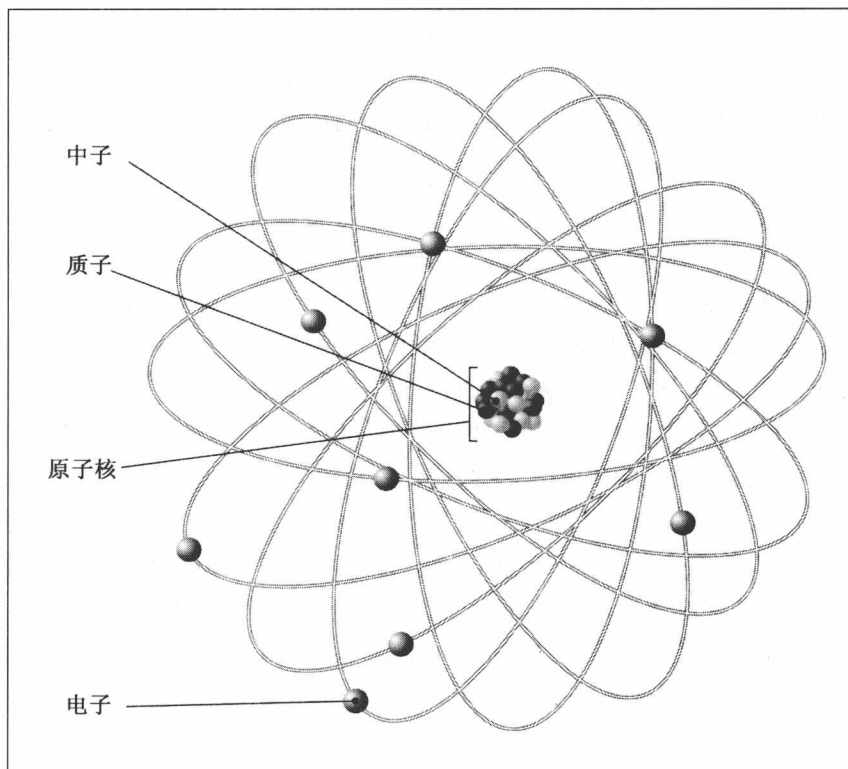
若干年后的1919年,卢瑟福确定了原子核中带正电的粒子,他把它们命名为质子。质子这个名称来源于希腊词 *protos*,是“第一”的意思。质子比电子重1 836倍。但后来的发现表明,原子核除了质子外还包含其他的粒子,1932年,英国物理学家詹姆斯·查德威克(James Chadwick, 1891—1974)公爵发现了中子并确定了它的质量。中子略重于质子,大约是电子质量的1 840倍。正如它的名字所表明的那样,中子是电中性的。由于这一重要发现,查德威克很快获得了1935年的诺贝尔物理学奖。卢瑟福因为早期在放射性研究方面所做的工作获得了1908年的诺贝尔化学奖。

这样一来,原子的基本图像就比较完整了。如图所示,质子和中子位于原子的核心,外面环绕着一群电子。电子和质子所带的电量相等但符号相反,而且正常状态下的原子包含相同数量的电子和质子。中子增加了原子核的质量但没有增加它的电量。原子核中质子的数目是原子序数;每种化学元素有着不同的原子序数。例如,碳原子的原子序数为6(6个质子),铁原子的原子序数为26。原子核也包含了一定数量的中子,但中子的数量是可以变化的——同一种元素的原子可以包含不同数量的中子。例如,碳原子的原子核总是包含6个质子,但却可以包含6个、7个或8个中子。原子的质量数等于它的核子数(质子和中子)。包含不同中子的同一种元素的原子被称为同位素。包含6个质子和6个中子的碳的同位素的质量数为12(命名为碳12),包含6个质子和8个中子的碳的同位素质量数为14(碳14)。

有关原子结构的图画仍然是物理学的一个重要部分,在本书的后面部分我们将会看到,最近的一些发现使这张图画变得更为复杂,但对原子结构的基本描述在本质上是正确的。

令人迷惑不解的是,为什么带正电荷的质子能够聚合在一起?异种电荷相互吸引(质子和电子相互吸引)但同种电荷相互排斥,那么为什么质子能够紧密地堆积在原子核中呢?质子之间肯定存在着另一种作用力,物理学家把这种力叫做强核力,通常就叫做强力。这种作用力非常强大(因此得名),它牢牢地把质子和中子捆绑在原子核中。但是,粒子之间的距离必须很近才行,因为强力随着距离的增大而迅速变弱。质子之间通常是相互排斥的,因为它们带有同种电荷。但是,一旦它们彼此靠得很近,强力的作用

就可以克服电荷之间的相互排斥。一般说来,自由的质子是不会自动聚集在一起形成原子核的,但在特定情形下(例如它们发生高速碰撞)强力就会把它们捆绑在一起。还存在一种弱核力,通常被叫作弱力,弱力也是一种短程的核力。弱力在后面将会提到的许多放射过程中起作用,例如 β 粒子的产生。强力大概比弱力强 10 亿倍。



一群电子环绕着原子核。原子核由紧密结合在一起的中子和质子组成。

放射性起因于原子核的衰变。某些原子的原子核是不稳定的;就像一根在末端立起的棍子倾向于倒下,一个不稳定的原子核注定要发生变化。这个变化涉及射线的发射,标题为“辐射”的知识窗详细地描述了这种现象。这个过程往往导致原子核中一个或多个质子或中子的转变,如果质子的数目发生了改变,就产生了另一种元素。例如,碳 14 具有放射性并衰变成氮 14;铀 238 衰变成钍 234。古代的炼金术士一直在寻找把铅等元素转变成金的方法,他们没有成功,他们从未意识到有一些元素由于具有放射性会自发地完成这种转变。

正如知识窗所解释的那样,放射性同位素衰变的速度是恒定不变的,因此放射活动就像一座时钟。衰变在时间上的精确性使它在放射性年代鉴定中有了用武之地,即衰变可以用来测定物质的年代。如下页的知识窗中的内容所述,只要知道了某种放射性物质的初始含量,我们通过测定放射性原子的剩余量并运用半衰期规则,就能知道这种物质的年龄。举例来说,如果一份样品衰变到初始含量的 $1/8$,那么这份样品的年龄就是 3 个半衰期那么长。

有些时候,某种放射性物质的初始含量只能粗略地估计出来。但对于地球上发现的大量的同位素,例如铀、钍等元素,我们利用这些同位素各自的比例以及它们的衰变速率可以精确地测算出它们所在的岩石的年龄。物理学家通过这种方法揭示了地球的年龄大约为 45 亿年,使用不同种类同位素所得到的测算结果是一致的,这使物理学家们对这个年龄有了充分的信心。科学家们还测定了从陨星上取得的样品,测算结果表明太阳系的其他部分与地球大概是在同一个时间形成的。

另一种精确的年代鉴定方法采用了同位素碳 14。这是鉴定有机物质或者生命相关物质的一种方法,因为有机物质中含有碳元素。这种方法称为碳放射年代鉴定,其之所以有效,是因为所有有机体都在不断地吸收含有碳的物质。动物吃的食物中含有大量的碳,这些碳存在于碳水化合物、蛋白质和脂肪中,而植物利用二氧化碳和阳光来合成碳水化合物。地球上平均每万亿个碳原子中有一个是放射性的碳 14 原子,它的半衰期是 5 700 年(大多数的碳原子是诸如碳 12 的稳定的同位素)。当植物或动物活着的时候,它们体内的碳 14 原子的数量是恒定不变的,因为有机体总在不断地消耗新的碳元素。当植物或动物死亡之后,它们就不能再吸收碳元素了,其体内的碳 14 原子开始衰变却得不到更新。通过测定有机体剩余的碳 14 的含量,科学家们可以确定这个有机体在多少年以前是活着的。用碳放射年代鉴定法对年龄为几千岁的物体进行测定,可以得到相当准确的结果,但是如果一个物体的年龄超过了 5 万年,测定就会变得非常困难,因为残存在物体中的碳 14 已经非常稀少了。

应用碳放射年代鉴定法的一个非常有名的例子就是正在进行的对“冰人”的鉴定。1991 年,一群徒步旅行者在攀登位于奥地利和意大利之间的山脉时发现了一具木乃伊——一具在冰雪中保存完好的男性遗体。碳放射年代鉴定表明这位男性大约是在 5 300 年前死去的(这个时间和环境使之成了一个真正的“冷箱”)。这个冰人“奥茨”是迄今发现的最为古老、保存得最为完好的木乃伊之一。

除了对物体进行年代鉴定之外,放射性还有其他的用途。一个最为常见的应用存在于几乎任何一栋建筑物中——烟尘检测器。这些装置能够检测空气中存在的烟尘