

## 神奇的磁性钆

---

原文作者：

佩卡·皮克（Pekka Pyykkö），芬兰赫尔辛基大学化学系。



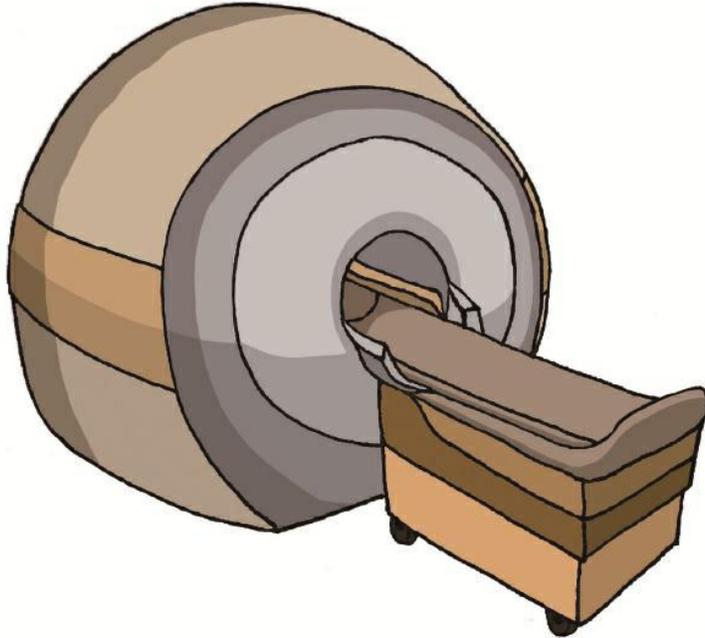
皮克讲述了钆的历史及其特性。

元素周期表中从镧到镥的镧系元素，与化学性质相似的钇和铥，一起组成了稀土元素大家庭。1788年，莱因霍尔德·耶伊尔（Reinhold Geijer）描述了阿伦尼乌斯在瑞典斯德哥尔摩附近的伊特比发现的一种新矿物<sup>[1]</sup>。1794年，加多林从这种矿物中分离出了含稀土元素氧化物的未知混合物<sup>[2], [3], [4]</sup>。加多林谨慎地表示，该氧化物可能含有一个新的元素。他说这将是一个遗憾<sup>[1], [2], [3]</sup>，因为元素已经“太多了”。一个有趣的转折是，其中一个元素后来以他的名字命名。1797年，加多林的分析被埃克贝格<sup>[5]</sup>证实了，一开始的那种矿物很快被命名为硅铈钇矿（gadolinite）。

德马里尼亚克<sup>[6]</sup>通过多次重结晶得到了氧化钆（化学符号Gd），并测定了它的原子质量，但元素名是德布瓦博德兰在1880年<sup>[7]</sup>提出的（德马里尼亚克也赞同）。尽管不知道命名时，德布瓦博德兰是想到了矿物、人物或是同时想到了两者，钆最终成为了唯一一个名称来源于希伯来语的元素。它的词根“gadol”表示“伟大的”意思。这是加多林的祖父所选的姓，源自他居住的芬兰农场Maunula的译名。

大多数镧系元素的化学行为是非常相似的，这也是为什么花了一个多世纪才将它们的元素单质一个个分出来。尽管化学性质相似，但它们的光学和磁学性质不同。钆拥有的磁性质尤其独特，并因此产生了许多相关的应用。第64号元素位于镧系元素的中间，三价的钆离子可以使其7个4f电子分布在7个不同轨道，得到所有电子自旋平行的半满壳层，这是钆所能得到的最大的不成对电子数。这使Gd(III)拥有最大的可能总自旋值 $S=7/2$ ，并因此具有相应的非常大的自旋磁矩。这种特性可以用来改善永磁体。镧系元素4f壳层的电子结合能处于价态电子的范围之内，因此可以用化学手段来改变4f轨道的占据情况，但最外层的核电子通常具有紧凑的4f壳层径向尺寸，这阻止了大多数的4f电子直接参与成键。

尽管它们被叫做稀土元素，但并非特别稀有，每10 g金属钆（纯度99.9%）现价为111欧元。但在冶金业中，通常使用的是便宜得多的混合稀土金属。目前钆最重要的用途是在医疗领域，用作磁共振成像（MRI）的造影剂。MRI信号来自某些原子核的自旋，比如无处不在的质子。然而，核自旋系统在磁共振的射频场中会被加热，这通常会削弱MRI信号。Gd(III)的大电子磁矩有助于将核自旋系统耦合到晶格并使其保持冷却，这被称为核自旋-晶格弛豫。因为Gd<sup>3+</sup>具有一定的毒性，为了避免其危害健康，医学上用螯合配体包围钆离子以防止其进入组织。目前，新的配体正在开发中，以进一步提高安全性。



**钷**以及它的一部分合金或盐类在磁制冷中起着突出的作用。在制冷过程中，由于磁偶极子的取向，磁性材料在一定的外部磁场下会发热。相反，当磁场移除并绝热时，材料温度降低。通过改变磁场和材料的热绝缘，可以调整其电子自旋系统和其他自由度之间的熵。

其他一些镧系元素由于发光时颜色出众，在荧光灯、旧式显像管和现在的平板显示器中都有应用。第64号元素的化合物本身是无色的，但它们可以吸收紫外辐射，并将能量传递给其他镧系元素。这能实现在需要的波长范围内的发光。此外，**钷**-155和**钷**-157核拥有异常大的中子吸收截面，这能在核反应堆的控制棒中得到应用。

加多林可能希望只有更少的元素存在，但两个世纪以来，**钷**带来了丰富的历史、有趣的性质以及各种实际应用。

---

[1] Geijer, B. R. *Crells Ann.* 229-230 (1788).

[2] Gadolin, J. *Kungl. Svenska Vetenskapsak. Handl.* 15, 137-155 (1794).

[3] Gadolin, J. *Crells Ann.* 313-329 (1796).

[4] Pyykkö, P. & Orama, O. in *Episodes from the History of the Rare Earth Elements* (ed. Evans, C. H.) 1-12 (Kluwer, 1996).

[5] Ekeberg, A. G. *Kungl. Svenska Vetenskapsak. Handl.* 18, 156-164 (1797).

[6] de Marignac J.-C. G. *Arch. Sci. (Genève)* 3, 413-418 (1880).

[7] Lecoq de Boisbaudran, P.-E. *C. R. Acad. Sci.* 102, 902 (1886).