

因此,对于设想的一定的二级结构可估算其 ΔG 的值.例如,他们对一种由 55 个核苷酸组成的病毒 RNA (长链分子中单体顺序已知)用这种方法进行了估算,对于三个可能的二级结构的 ΔG 值列于图 6 中.

其中结构 I 是测定这个 RNA 的一级结构的作者所建议的;对于这个结构 $\Delta G < 0$ 是符合热力学原理的,而结构 II 及结构 III 的 ΔG 更负,这表明它们存在的可能性更大.

用这种方法对于已知顺序的转移 RNA 作

了估计表明,从实验所得的“三叶草”型二级结构是热力学稳定的构象.

参 考 文 献

- [1] R. Rein, Y. Coeckelenbergh, J. T. Egan, *Int. J. Quantum Chem. Quantum Biology Symp.*, No. 2 (1975), 145—153.
- [2] S. Diner, *Theoret. Chim. Acta* (Berlin), **13**(1969) 1—17, 18—45; **15**(1969), 100—110.
- [3] P. G. Seybold, *Int. J. Quantum Chem., Quantum Biology Symp.*, No. 3(1976), 59—64.
- [4] I. Tinoco, jun., O. C. Uhlenbeck, M. Dlevine, *Nature*, **230**(1971), 362—367.

在地球物质中寻找超重元素

张 志 尧 唐 孝 威

(中国科学院高能物理研究所)

一、超重元素存在的理论预言

到目前为止,已经发现的元素有 107 种,核素有 1900 多种.如果我们以原子核内的中子数 N 为横坐标,质子数 Z 为纵坐标,把所有稳定的与放射性的核素标在核素图上,便可以看出,自然界中已知的稳定原子核聚集在中子数接近质子数成一定比例的范围之内,称为稳定带、稳定半岛(见图 1).那些中子数或质子数远离稳

定带的原子核会发生 β 衰变(放出正或负电子与中微子)和 α 衰变;近年来又发现有质子发射;或者俘获电子等转变达到稳定带.

原子序数超过 84 的重元素都是不稳定的.它们自发地进行 α 衰变、 β 衰变或自发裂变等.一般地讲,愈重的元素,原子核自发裂变几率愈大,通过自发裂变而衰变的半衰期就愈短.原子序数 95 以上的元素很快就衰变,在自然界中不存在,只能在实验室中用人工方法产生,在短时间内存在.

然而,根据原子核壳层模型理论计算,除已知的稳定带中的原子核以外,预期在原子序数 114 附近,还可能存在一些比较稳定的元素.它们比现在已经发现的元素重得多,估计其原子核内有 300 个核子左右,所以称为超重元素^[1,2].目前已知元素的原子核内最多不超过二百多个核子.

原子核理论预期,有些稳定的超重元素半衰期可能很长,少数的甚至接近或大于地球年龄.因此,它们可能和其它地球物质一起,在地球上长期存在.它们之所以稳定的原因是:原子核内部的

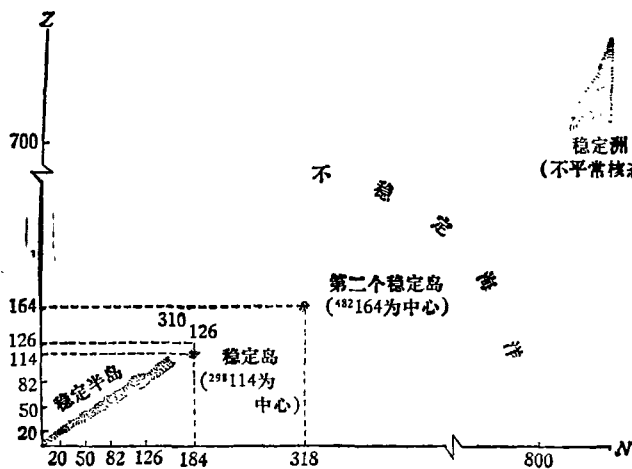


图 1 稳定半岛、稳定岛和稳定洲示意图

中子和质子是按壳层排布的。当原子核内部中子数和质子数处于闭合壳层时，原子核就特别稳定。一些比较稳定的超重原子核，正是它们内部中子数和质子数都很大，而且达到闭合壳层的那些原子核。例如，多数理论工作的估算认为，质子数为 114，中子数为 184 的原子核中，中子数和质子数都处于闭合壳层，所以可能特别稳定。这些稳定的超重元素聚集在核素图中的稳定半岛的右前方。它们和周围大量的不稳定原子核相比，像是不稳定“海洋”中的稳定“小岛”，所以又称为超重元素“稳定岛”，见图 1。部分理论工作还认为质子数为 164，中子数为 318 的原子核是在下一个闭合壳层，其周围还可能存在一批相当稳定的超重元素，这样就构成了另一个“稳定岛”^[3]。不过，关于这一个“稳定岛”的存在问题一直有较大的争议。

除了这一类超重元素外，近几年来，李政道等还提出一种设想，认为有可能存在由数百个到数千个以上核子(中子及质子)组成的稳定原子核，称为“不平常核态”^[4,5]。李政道认为，在不平常核态中，质子数和中子数大致相等，中子和质子间结合得特别紧密。这种不平常核态形成的元素，比上面所说的超重元素要重得多，它们是广义的超重元素。由于它们的原子核内的核子结合得特别紧密，我们也可以把它们叫做“超密核”、“超密元素”。它们不像超重元素那样，是“小岛”，而是一片稳定的“新大陆”、“稳定洲”。Bodmer 则认为，在不平常核态中，质子数和中子数不一定相等。此外，还可能中性的重原子核存在^[5]。理论上预期，不平常核态是稳定的，因此它们也可能和其它地球物质一起，在地球上长期存在。

如果在实验上证实超重元素(及不平常核态)确实存在的话，其意义是十分重大的。在原子核物理，将会开辟一个研究超重原子核结构和性质的新领域。在化学方面，将会扩展人们对新元素的认识，人们将对原子结构、元素周期律等获得更深刻的理解。而且如果在地球物质中存在足够量的稳定的超重元素，由于它们有特殊的物理、化学性质，例如一次裂变时，放

出的次级中子平均数可能达到 10 个，而普通热中子引起 ^{235}U 一次裂变，放出中子平均数是 2.5 个。它们可能有实际应用的价值，作为新的材料、新的化学原料、新能源原料等。因此，在地球物质中寻找超重元素(包括不平常核态)的探索工作，引起人们广泛地重视。

二、在地球物质中寻找超重元素的方法

自从提出了关于超重元素“稳定岛”的理论预言以来，除用重离子加速器，通过重离子核反应来尝试人工合成超重元素以外，核物理、核化学和地球化学等各方面的实验工作者曾合作进行过许多实验，试图在地球物质中寻找理论预期存在的长寿命的超重元素^[2,6]。虽然到目前为止，在地球物质中寻找超重元素的研究工作给出的是否定的结果，但在探索方法方面却取得了丰硕的成果。常用的探索方法有：

1. 自发裂变中子测定法

理论预言超重核一次裂变释放的中子平均数可达 10 个左右，一般天然裂变元素仅为 2.5 个。据此区别，已有几个实验组设计了由多个 ^3He 或填充液体闪烁计数器组成的裂变中子探测器寻找超重元素^[2,6,7]。探测灵敏度可达 10^{-14} 克/克^[2]。其优点是可测定大量样品，不经过预处理，几乎可测定几十公斤重的样品。

2. 自发裂变测定法

(1) 充气正比计数器法

即“经典”的裂变测定法。一次可测定 50 克左右样品，探测灵敏度可达 10^{-12} 克/克^[2]。

(2) 固体径迹探测器法

有些固体如玻璃、云母或塑料等，当裂变碎片在其中造成电离损伤后，其损伤区域通过适当化学蚀刻，可形成较大径迹，用光学显微镜可观察裂变径迹。其探测超重核的灵敏度可达 10^{-12} 克/克^[2]。

1) 假定超重核半衰期为 10^9 年，以下几种方法探测灵敏度的估计同此。

(3) 旋转器法

在一个特制的玻璃圆筒里,充满被测样品的溶液,通过旋转玻璃圆筒,使其内部形成负压,溶液呈亚稳状态。这时,如果溶液中有裂变事件发生,其电离作用将破坏亚稳状态,并形成气泡,通过光学仪器观察气泡,可测定裂变事件,其探测灵敏度可达 10^{-14} 克/克,测定样品量可达数百克^[8]。

3. 质谱法

(1) 直接测定法

选择适当样品用质谱仪测定其中超重核的含量,灵敏度可达 10^{-15} 克/克。

(2) 特征裂变产物质谱测定法

理论预言,超重核裂变将产生中等质量元素的丰中子稳定同位素。通过测定样品中超重核的特征裂变产物即可推算原始存在的超重元素。如惰性气体 ^{136}Xe 测定法,探测灵敏度约为 10^{-15} 克/克^[2,9]。

4. α 测定法

理论预测超重核 α 衰变粒子平均能量约为 13 MeV,与一般天然放射性元素的 α 粒子能量有较大区别,据此可探测超重元素的存在。样品经化学浓集后,探测灵敏度可达 10^{-11} 克/克。

5. 特征 X 射线测定法

已知元素的 X 射线能谱中,铀的最末一条 L 线(21.54 千电子伏)和稀土元素(镧)第一条 K 线(33.03 千电子伏)之间,存在着一个空白区域。这一空白区域叫做 X 射线能谱“窗口”。根据理论计算,一些超重元素的 L_x 射线恰好就在这一“窗口”内。可利用其特征 L_x 射线进行测定。探测灵敏度约为 10^{-13} 克/克。

三、关于 Gentry 等人的实验结果

近年来,在地球物质寻找超重元素的研究中,影响较大的是美国佛罗里达州立大学等单位 Gentry 实验组的工作。在这里,我们简要

地加以介绍。

1976 年 6 月,该组宣称,在马达加斯加岛产黑云母的巨晕圈中心放射性包体中,发现了第 126 号超重元素^[10]。

通常,黑云母内晕圈的中心有磷铈镧矿(独居石 [(Ce, La, Th)PO₄]) 包体。其中含有 α 放射性核。它们不断地放出 α 粒子,造成黑云母晶格内辐射损伤,形成晕圈。晕圈的大小相当于 α 粒子的射程。实验上看到,黑云母除通常大小的铀晕圈(其半径约为 43 微米以下)外,还有一些半径特别大(约为 84 微米)的巨晕圈。Gentry 推测,如果包体中含有超重元素母体,放出能量特别高的 α 粒子,就可能造成这种巨晕圈^[11]。

据此, Gentry 等人用约 5 兆电子伏质子束激发巨晕圈中心的包体微晶进行 X 光荧光分析。实验结果发现一条 X 射线,它不能用已知元素的 X 射线解释,而可以用 126 号元素的特征 L_x 射线解释。他们认为,这是存在 126 号元素的证据。这一工作结果引起人们很大的兴趣。在几个月的时间里,有不少实验室试图验证 Gentry 等人的发现,但都未能重复他们的结果。其中有:

1. Stéphen 等人用同样包体,先经化学处理,分出稀土元素,再用同位素分离器收集质量数大于 300 的样品,进行中子诱发裂变,以核乳胶测量,给出超重元素存在的含量不超过 10^{-12} 克/克^[12]。

2. Bosch 等人用 2—7 兆电子伏质子对同样包体进行激发,未发现 126 和 116 号超重元素的特征 L_x 射线谱,给出 126 号元素存在的浓度上限是 10^{-8} 克/克^[13]。

3. Herrmann 等人用大量同样包体进行化学处理,分出三类元素:(1) 钷、铀、钍等类;(2) 镧、铈、镨、钕等类;(3) 铅、汞、金等类。然后用 X 射线荧光分析法、 α 能谱分析法和质谱等多种方法进行鉴定,没有发现 126 号超重元素,给出的实验上限值为 10^{-7} 克/克^[14]。

4. Pilt 等人用 30 兆电子伏的 ^{16}O 离子轰击同样包体,并用从碳离子到碘离子进行重离子

弹性散射实验,结果未发现 126 号超重元素,给出的超重元素存在的上限为

$$\frac{\text{超重元素}}{\text{铀}} < 3 \times 10^{-7[14]}$$

5. 最有力的否定实验是由 Sparks 等人(包括 Gentry)做的,他们用同步辐射对同样包体样品进行 X 射线荧光分析,结果未测到那种特征 X 射线,从而推算出,在该包体中,126 号元素的浓度小于 5×10^8 个原子/包体物^[15]。

综上所述,可以认为 Gentry 等人的实验结果并不是超重元素存在的证据,而是由于 ^{140}Ce ($p, n\gamma$) ^{140}Pr 反应所产生的低能 γ 射线造成的假象;或者是包体中其它微量已知元素杂质所造成的假象。

Gentry 等人的结果不仅从实验上被否定了,而且从理论上也是错误的。如 Möller 和 Nix 最近重新计算了 $^{354}126$ 核的稳定性,认为它是一个短寿命的原子核,不可能在地球上留存下来^[16]。

同时,对于巨晕圈的成因问题,也提出了几种不同的解释。其中之一认为黑云母中巨晕圈的产生并不是由于包体中含有超重元素放出很高能量的 α 粒子所造成的,而可能是由于云母中含有少量水,水分子中的氢和一般天然放射性元素铀、钍等的 α 粒子发生 $^1\text{H}(\alpha, \alpha)P^*$ 散射反应,该反应所产生的质子具有较高能量,因而造成了长射程的电离损伤,使晕圈加大^[17]。

四、关于进一步寻找的问题

1. 理论上对宇宙核合成过程中能否产生超重核的问题是有较大争议的。如果自然界重元素合成过程中,达不到超重区,则无法在地球物质中找到它们。

2. 在地球物质中寻找超重元素同对它们的核性质的预测关系极大。理论预测的超重核半衰期的不确定性是非常大的,只能把它们看成是定性的结果。如果超重核的半衰期小于 10^8 年,则根本无法从地球物质中找到它们。

过去一些探索工作,假设了超重元素的原

物理

子核是自发裂变的,因而通过探测裂变中子或自发裂片来鉴定超重核。假若超重核的自发裂变半衰期特别长,那么这类实验就不可能得到结果,所以在探索工作中还必须用其它不采用测量裂变产物的方法进行寻找。例如,用质谱法测量其特殊的荷质比,或者用特征 X 射线法鉴定其特征的 X 射线能谱。

3. 化学性质的预测,对于寻找超重元素也有重要的指导意义。过去探索超重元素的实验工作,预测超重元素的化学性质,110 号类铂、111 号类金、112 号类汞、114 号类铅。因此,在有关矿物,例如含铂、金、汞、铅等矿物样品中寻找超重核^[2]。不过,对于它们的化学性质作进一步研究是十分必要的。例如 Pitzer 利用相对论量子力学计算猜测,112(类汞)和 114(类铅)元素可能比汞和铅更惰性,很可能是气体或者是极易挥发的液体。Pitzer 还推测,112 号元素的氧化物、氯化物和溴化物是不稳定的,而其氟化物是稳定的;114 号的氯化物、氟化物是稳定的,溴化物也可能是稳定的。这些推测如果正确,分离出 112 和 114 号元素的过程可能会更方便^[18]。

4. 目前,国外许多实验室正积极地在地球物质中寻找超重元素,还有少数实验室也开始在地球物质中寻找不平常核态^[19]。这种实验工作的探索性很强,不是很容易就能取得结果的。然而从长远来看,探索新元素的工作意义是十分重大的。我们认为,我国地质构造复杂,地下矿藏十分丰富,可以广泛进行富有特色的探索工作。寻找稳定的新元素工作,一般不需要特别的大型专用设备。用常规的实验设备就可以进行这方面的实验工作。

参 考 文 献

- [1] W. D. Myers and W. J. Swiatecki, *Nucl. Phys.*, **81**(1966), 1.
- [2] 张志尧,《科学通报》, **18** (1973), 241.
- [3] J. Grumann, et al., *Z. Physik*, **228**(1969), 371.
- [4] 李政道, *Rev. Mod. Phys.*, **47**(1975), 267.
- [5] A. R. Bodmer, *Phys. Rev.*, **D4**(1971), 1601.
- [6] M. Nurmia, *Physica Scripta*, **10A**(1974), 77.
- [7] G. Herrmann, *Physica Scripta*, **10A** (1974), 71.
- [8] K. Behringer, et al., *Phys. Rev.*, **C9**(1974), 48.
- [9] Г. Ш. Ашкинадзе и др., *Геохимия*, **7** (1972),

- 851.
- [10] R. V. Gentry, et al., *Phys. Rev. Lett.*, **37**(1976), 11.
- [11] R. V. Gentry, *Science*, **169**(1970), 670.
- [12] C. Stéphen, et al., *Phys. Rev. Lett.*, **37**(1976), 1534.
- [13] F. Bosch, et al., *Phys. Rev. Lett.*, **37**(1976), 1515. **38**(1977), 479.
- [14] Search & Discovery, *Phys. Today*, **30**(1977), 17.
- [15] C. J. Sparks, et al., *Phys. Rev. Lett.*, **38**(1977), 205. **40** (1978), 507.
- [16] P. Möller & J. R. Nix, *Phys. Rev. Lett.*, **37** (1976), 1461.
- [17] U. von Wimmersperg, et al., *Phys. Rev. Lett.*, **38**(1977), 886.
- [18] K. S. Pitzer, *J. Chem. Phys.*, **63**(1975), 1032.
- [19] R. J. Holt et al., *Phys. Rev. Lett.*, **36**(1976), 183.

磁性液体和它的应用

孙克 黄锡成 罗河烈

(中国科学院物理研究所)

一、引言

磁性液体 (Magnetic fluids), 有时也称为磁流体, 是指具有磁性的, 可以流动的液体. 确切地讲, 磁性液体是一种将强磁性微粉 (100 Å 左右) 分散在液相中所得到的非常稳定的胶态溶液. 我们在这里着重介绍具有铁磁性的磁性液体.

我们知道, 有一些固体是铁磁性材料, 有着较强的磁性. 所以, 将很细小的固体铁磁性颗粒分散到如水等溶液中, 它们仍然是可以被磁化的. 这样便可获得均匀的液体态磁性材料, 它象固体一样具有磁性, 却又保留了液体的性质.

磁性液体首先在 1965 年由美国国家航空和宇宙航行局 (NASA) 试制成功. 近年来, 由于它的奇特的性质, 引起了人们极大的兴趣和越来越广泛的注意, 在国外已有市售商品. 磁性液体的用途十分广泛. 例如: 性能优良的密封; 几乎没有磨擦的轴承; 分选矿物; 快速印刷; 清洗油珠; 转动涡轮; 以及在仪表、医学上的用途等. 许多新用途还在发展中. 目前, 我国一些单位也在研制并在某些方面已达到实际应用.

二、磁性液体的性质

磁性液体是稳定的磁性悬浮胶体, 例如, 将极细小的磁性粒子 (Fe_3O_4) 分散、悬浮在载体溶液中即可得到. 这些粒子大小为 100 Å (即 10^{-8}m) 左右, 具有超顺磁性的尺寸.

微小的铁磁单畴颗粒的集合体显示超顺磁 (Super paramagnetism); 在外磁场作用下其总的磁化强度 I 达到一个热平衡值. 热力学平衡状态, 是铁磁颗粒在液体中悬浮时, 由磁化向量反转的布朗运动来达到. 在这种情况下, 达到平衡的弛豫时间由液体的粘滞系数决定. 埃尔莫尔 (Elmore) 首先研究了铁的氧化物在胶体悬浮液中的超顺磁性.

超顺磁性铁磁颗粒的磁化曲线是这样的: 具有磁矩 $\mu = \nu I_s$ 的铁磁单畴颗粒在磁场 H 中的位能 $E_H = -\nu I_s H \cos \varphi$, 其中 ν 为颗粒的体积; I_s 为饱和磁化强度, φ 为磁化强度和磁场之间的角度.

当各向异性小 ($K\nu \ll kT$, K 为各向异性常数, k 为波耳兹曼常数, T 为绝对温度.), 一组小颗粒平衡时 φ 角按波耳兹曼分布. 颗粒组合的磁化曲线由朗芝万函数表达,

$$\tilde{I}/\tilde{I}_s = \text{ctgh } \alpha - 1/\alpha = L(\alpha); \quad (1)$$