

物理学咬文嚼字之三十六

Στοιχειαίο

曹则贤

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

拉丁语和希腊语是现代教育最根本的基础
——Norman Macrae in *John von Neumann*

摘要 Euclid的《几何原本》同化学术语中的化学计量比都来自希腊语 Στοιχειαίο, 反映的是古希腊原子论的精神。

世界上印刷版数最多的书,除了圣经,就是欧几里得(Euclid)的《几何原本》。《几何原本》不是普通的几何学教材,它是欧洲文化的两大支柱之一,有其精神层面上的重大历史意义。欧几里得约是公元前四世纪左右的人物,西方人常说的科学开始于23个世纪之前,就和欧几里得及其同时代人有关。据说这本书的意义不在于写了些什么,而是给出了非常重要的思想方法^[1]。这本书的希腊文原名为 Στοιχεια (stoicheia),本意是元素,最小构成单元的意思。像西文字母(printing types) a, b, c等,它们是构成语言的基本元素,也是 στοιχειαίο;相应的,咱们中文的 στοιχειαίο 就是一个一个的中国字了。按照字典里的英文解释,στοιχειαίο 可理解为 component, element, letter, cell, first principle 等等;其形容词形式为 στοιχειοθεσία (stoichiothesia),意为 rudimentary, essential, elementary, 都是基本的、本原的意思。

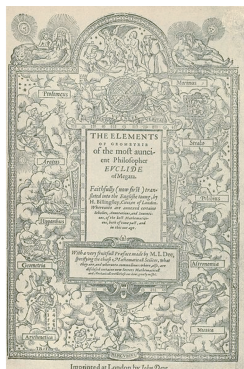


图1 1570年出现的第一个《几何原本》英文版,书名为 The Elements of Geometrie. 一个“the”字体现了这本书在那个时候已经赢得的地位¹⁾

原子论发祥于古希腊,倡导者据信是留基波(Leucippus, 公元前五世纪前期)和德谟克利特(Democritus, ~公元前460—370年)²⁾。把物质一直分

割下去,一直到不能再分割下去为止——当然这只是想象中的物理分割——最后得到的那个不能再分割的(atom的本意)就是世界的最基本组成单元。古希腊人眼中,世界由四种元素组成,物质的构成方式就是原子加上它们之间的空隙(atom-void)³⁾。我们今天的 atom 作为不可分割的存在,只是化学意义上的不可分割。物理上的分割我们还是往前走了三大步,即从原子到原子核(+电子)到核子再到夸克。分割物质涉及到如何分以及是否能得到更小产物的问题,此前已有讨论^[2]。

几何原本从点开始——不能再被分为部分且没有大小者为点。这种把物质分成原子,化合物分成元素,生命分成细胞,西文字分成音标字母(辅音和元音),然后再加以考察的方法,就是分析的方法(analysis),这种思想就是在《几何原本》中提出来的。所有的最简单的 unit, 都可以用 στοιχειαίο 称呼。平面几何从点这个元素出发,两点之间可连成唯一的线段;将线段在端点处连接,就形成了折线,就有了角的概念;闭合的一段折线就成了我们感兴趣的平面几何图形。西方人认为《几何原本》是逻辑和现代科学赖以发展的基础(It has proven instrumental in the development of logic and modern science),对其推崇备至。

- 1) 关于如何“the”就表示地位了,现举两例说明。其一,英语中说到微积分时,总是用“the calculus”,这表示它是一个令人敬畏的科目,见 *the Calculus Gallery* 一书的前言;其二,电影《功夫熊猫2》有台词云:“I'm not a big, fat panda. I am the big, fat panda!”——笔者注
- 2) Demokritos (Δημόκριτος), 意为“chosen of the people”,怎么翻译合适? 人(中)精(选出来的)? ——笔者注
- 3) 把 atom 用 1 表示, void 用 0 表示,则一维的原子链,即一个 atom-void 串,看起来就像二进制数字 101010101010... 猜猜 Leibniz 为什么推崇二进制? ——笔者注

由于《几何原本》的英文为“The Elements”，我国读者可能很少注意到它的希腊语原文 $\Sigma\tau\omicron\chi\epsilon\iota\alpha$ (stoicheia). 源于这个希腊词的一个重要概念是在化学和材料科学中随处可见的 stoichiometry (stoicheion + metry), 形容词形式为 stoichiometric. 这个词汉译化学计量比, 部分地反映了“the determination of the proportions in which chemical elements combine or are produced and the weight relations in any chemical reaction”的意思, 但是其与原子论的关系可能被丢失了, 因此会造成理解上的缺憾. 此外, 添加了“化学”这个强硬的修饰词是中文翻译的一贯恶习, 难道像“ecological stoichiometry”或者“The effects of the evolution of stoichiometry-related traits on population dynamics”中的 stoichiometry 也要翻译成化学计量比? 人家说的分明是性别构成.

化学家关切 stoichiometry (to measure in unit) 是基于物质的原子论信念, 所谓的化学反应不过是物质在原子层面的重新组合. 正整数是自然的数, 化学如果按照原子的概念进行, 则反应物和反应产物的量之比应该是有理的, 即整数比. 虽然在化学产生的初期, 这个量可能不是原子数, 而是质量或者体积, 似乎都没有关系, 因为我们的测量总是终结在正整数或者有理数上的. 神秘的炼金术士留下的配方常有这样的句子: “取 9 等分的土星的孩子, 和 4 等分的上帝之骑士的圣餐杯, 放入坩埚……”^[3]. Lavoisier 通过细致的测量明白了化学反应的 stoichiometry 是原子基础上的概念——把质量比的零头去掉 (round-up), 就能得到小整数之间的比, 原子数目的 stoichiometry 可以解释这个小整数之间的比, 而原子质量对整数单位的微小偏差可以解释质量比的零头. 这个化学家对化学反应的计量工作直指核子的存在, 比物理学家要早一个世纪还多. 难怪当 Lavoisier 在 18 世纪末的法国大革命中被带上断头台后, Lagrange 感叹“……要再产生这样的—一个头脑却可能需要一百年.”

对于炭¹在氧气中的充分燃烧, 1:2 的原子计量比是严格的. 但是, 更多的时候, 计量比不能得到满足, 于是有了 nonstoichiometric 和 substoichiometric 的说法. 所谓的 nonstoichiometric 化合物就是“元素组分不能用一个很好定义的自然数之比表示因而违反了特定比例原则的化合物 (chemical compounds with an elemental composition that cannot be represented by a ratio of well-defined natural numbers, and therefore violate the law of definite proportions.” 不过, 这个说法显然是有

问题的. 只要物质还是由原子组成的, 则一个材料中, 其元素成分总可以表示成“a ratio of well-defined natural numbers”, 大不了是 1:347821589035482815109217 这个样子的而已. 这个定义的问题是没能指出那个要求“特定比例”的因素及其要求的“特定比例”的大小. 笔者以为, 当我们说 nonstoichiometric 的时候, 我们应该明确相对于什么来定义的, 仅仅从数字层面来看, 3:2 没有鄙视 317:13 的理由. 一个液态的化合物, 不管原子比例是多少, 也无所谓 nonstoichiometric 的问题, 除非有某种因素给出强烈的限制, 比如液态 NaCl 由于离子极性的限制, 不能容忍对 1:1 的原子比有些许的偏离⁵⁾. 就人类社会来说, 人口性别上的 stoichiometry 约是男女比例为 106:100⁶⁾, 这本身没有什么 nonstoichiometric 的问题; 但是, 假设男女寿命预期是相同的, 则对一夫一妻制的社会构架来说, 显然我们的社会是关于女性 substoichiometric 的——这是许多社会问题的性别计量比上的根源.

对物质有化学计量比要求的一个重要因素是固体的晶格结构. 假设某个 AB 型化合物中, 两类原子各占据一套简单立方格子, 则完美的格点对应的原子比为 1:1. 如果一个实际的化合物固体为 AB_x ($x < 1.0$), 我们就说它是关于元素 B substoichiometric 的. 我们这样说时, 隐含的参照物是其晶格点阵结构. 否则的话, 化学式 $A_{0.4}B$ 对应 A_2B_5 , 有什么 nonstoichiometric 的问题, 又不是没有 V_2O_5 . 这类东西? 然而, 对于许多固体物质, 因为不能像 NaCl 那样既有晶格的要求, 还有离子极性上的要求, nonstoichiometry 反而是常态. 比如氧化亚铁的化学式为 FeO, 实际固体里的计量比接近 $Fe_{0.95}O$, 1:1 的化学计量比是理想不是现实.

对于许多化合物来说, 非化学计量比才带来有趣的性质. 许多过渡金属的氮化物、碳化物都能够在计量比较大的范围 (10% 的量级) 内维持某种晶体结构. 比如立方结构的 TaN_x , 对于 $x = 0.6 - 1.2$, 其晶格结构都是稳定的. 一些金属氮化物晶格中有空

4) 在此前的物理学咬文嚼字之十二中我就尝试过放弃“碳”的使用, 觉得没必要引进这么个字. 社会上关于碳、炭两字用法上的区别没有任何科学道理——笔者注

5) 固体也不允许. 按说, 统计物理允许 NaCl 材料里出现一定的 nonstoichiometry, 但上限是多少呢? 一般文献中的 non-stoichiometry 是指对理想组分差不多 1% 层面上的偏离, NaCl 显然不能容忍这么大的偏离——笔者注

6) 不同时期、不同地域上这个比值差别很大. 性别比太大的人类群体显然是不稳定的结构. 王震将军懂得这一点, 才有“八千湘女上天山”的美谈——笔者注

闲的格点,但只能部分地占据.比如, Cu_3N 的立方晶格的中心位置是空闲的,它和N原子占据的格点的顶点位置满足1:1的 stoichiometry,但是我们却无法实现 Cu_3NM (M =另一种金属).对于 $M=\text{Pd}$ 来说, $\text{Cu}_3\text{NPd}_{0.35}$ 的结晶质量就不敢恭维了.在对应 $\text{Cu}_3\text{NPd}_{0.238}$ 的薄膜样品中,我们在超过200K的温度范围内测量到了恒定的电阻率^[5],从而表明,虽然电阻率有高达33个数量级的变化,但在大温区内电阻率恒定的单一固体材料原则上还是存在的.

文章结束前有必要再讨论一下物理分割的问题.如果认为点是线的基本单元(στοιχειαίο)的话,显然是有物理上的困难的,因为点是个零维的东西,而线是一维的存在.笔者一直难以理解何以几何图形可以分解到点;或者反过来想,点又如何“加”成一条线的,这个“加”的操作是怎样完成 $D=0$ 到 $D=1$ 的转变的? 两点之间,如果只用点填充,得到的是一个 atom-void 串,还是离散的点而已.在固体物理的教科书中,我们就是稀里糊涂地把这样的 atom-void 当成一维链的.然而,在几何上,是在两点之间“划一条直线”这个操作带来了 $D=1$ 的线段的.点的堆砌不会构成线.

笔者有个大胆的想法,物理上我们没有 $D=0$ 的“atom”,数学上是否也不能指望点构成线?若物理地看待一维的结构,如圆、直线等,则它的单元(atom)也应是一维的,单元通过一个明确的物理操作构成直线、圆等几何图形.对于直线、圆,笔者构思了如下基于一维单元的定义:假设存在一线元(segment),将重叠于其上的(overlapping)复件(copy)沿着原来的线元(original segment)从一端向另一端作位移(displacement),但无须到达另一端点,(无穷地)重复

下去.如果操作的结果永远不能回到原来的线元上(it never revisits its starting segment),这是一条直线;如果经有限次操作回到原来的线元上,这就是圆⁷⁾.用公式表述,就是 $l = \sum \Delta l$ 或者 $l = \Delta l \cup \Delta l \cup \Delta l \dots$,这里的求和(summation 或者 union),就是前述的拷贝——将拷贝沿原件移动但保持只有两个端点的构型——重复进行(overlapping copy, displacing along the original segment, and repeating this operation so long as it is executable)⁸⁾.这样,构成单元同其所构造的上层建筑维度⁹⁾上的不匹配(dimensional misfit)的问题就能避免了.不知这个念头有什么意义,抛之以为砖.

参考文献

- [1] 远山啓. 数学与生活. 北京:人民邮电出版社,2010
- [2] 曹则贤. 物理,2010,39:203
- [3] Ping Z. 尼古拉的遗嘱. 北京:中国和平出版社,2006
- [4] Toth L E. Transition metal carbides and nitrides. New York: Academic Press, 1971
- [5] Ji A L, Li C R, Cao Z X. Appl. Phys. Lett., 2006, 89:252120

- 7) 2006年笔者在为在中国科技大学准备经典力学系列讲座时想起了这个念头——笔者注
- 8) 这一段可表述如下:“Given a line segment, Δl , Let's make a copy of it overlapping the original, and displace the copy along the original segment in a way that the resulting figure is a new, longer line segment (i. e., the overlapping parts are conformal). Repeat this operation so long as it is still executable. If the starting segment will never be revisited, we obtain a straight line; otherwise we get a circle”——笔者注
- 9) 用6个 $D=2$ 的正方形纸片糊成一个正方体,就存在(纸)本身来看,我们得到的是一个闭合的 $D=2$ 的不光滑曲面而不是什么 $D=3$ 的正方体——笔者注