

## 物理学咬文嚼字之九十四

## Se luere

曹则贤<sup>†</sup>

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2017-12-31 收到

† email: zxcao@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20180107

Languages are true analytical methods<sup>1)</sup>.

——Etienne Bonnot de Condillac

If you can't solve a problem,  
then there is an easier problem you can solve: find it.——George Pólya<sup>2)</sup>

**摘要** Se luere 是一个出现在各门学科的拉丁语动词。Solve, absolve, desolvate, dissolve, resolve 等动词 absolutely 都源于 se luere; 而从其中同一动词衍生的名词, 却可能指代完全不同的事物。

## 1 Solve

Solve 是个常见的英文词, 来自拉丁语 solvere, to loosen, release, free 的意思, 大致对应汉语的解脱。这个 solvere, se-luere, 由两部分构成, 其中 se, 意为 apart, 而 luere, 意思是 to let go, set free。分开, 还让人家走, 这两重意思是理解 solve 的基础。另有一个英文词 secede (逃离, 脱离), 有 apart (se) 和 to go (cedere) 两重意思, 可以和 solve (apart + to let go) 比照着理解。

Solve 用于 to solve a problem, 汉译解题或者解决问题。解题, 尤其是解数学(物理)题, 可能是我们这里一代一代人的噩梦。这倒不是因为数学(物理)有多难、多枯燥

——数学(物理)很美, 学数学(物理)本应该是件很欢乐的事情——而是因为我们的数学(物理)题实在看不出它跟数学(物理)有半毛钱的关系。大数学家 George Pólya 有名著 “How to solve it?”, 那才是如何解题的典范, 因为首先那里涉及的问题是真正的数学问题。学数学(物理)的目的是为了学会数学(物理)而不是为了应付胡编乱造的考题。即便是真的问题, 有的问题是可解的 (solvable), 有的问题是不可解的 (unsolvable)。一个数学问题的可解与不可解, 可不都是如解一元二次方程时遇到  $b^2 - 4ac < 0$  那么简单。比如, 可解群 (solvable group) 被定义为 a group having a composition series with Abelian quotients is solvable (如果一个群有其商群皆为质数

目之循环群的合成列, 则是可解的)。怎么样, 不好理解吧? 可解群的概念帮助我们理解一元五次方程 (quintic equation) 为什么没有简单代数公式解, 因为  $S_5$  群不是可解的。

将一种物质, 比如食盐 NaCl, 放入一种流体中, 比如水中, 则在固体状态下为立方晶系的 NaCl 晶体会在水中被消解, 形成食盐的水溶液。在这种情形中, 盐是溶质, 而水是溶剂。NaCl 在水溶液中以离子结合一定数量水分子的形式存在。如果将水蒸发, 即去溶剂化, 则会重新得到食盐晶体。上面这段话如果用英文给出, 则会出现一堆 solve 的同源词。NaCl 晶体在水中被消解 (dissolve, dissolution)<sup>3)</sup>, 形成了食盐的水溶液 (solution)。在这种情形中, 盐是溶质 (solvent), 而水是溶

1) 语言是真正的分析方法。

2) 如果有个问题你不会解, 那一定有一个你能解的相对简单的问题: 找到它。——出自 George Pólya, *Mathematical Discovery on Understanding, Learning, and Teaching Problem Solving*, Volume I.

3) 消解可以消解于无形而无需溶剂。比如 all national boundaries are dissolved (所有的国家间疆界消失了)。

剂(solute)。NaCl 在水溶液中以离子结合一定数量水分子的形式存在,这被称为 solvate。如果将水蒸发,即去溶剂化(dessolvate),会重新得到食盐晶体。有些时候,一种物质很难溶入给定的某种流体,则说其是 insoluble, indissoluble (cannot be dissolved)。It's absolutely(绝对地) difficult to resolve (溶解) some particular solvents (溶质) in a given solute (溶剂) to obtain a solution (溶液)。由 solve, 经形容词 soluble, 还得到一个概念 solubility(溶解性)。溶解性由饱和浓度所表征,对处于饱和浓度的溶液添加溶质不会提高溶液的浓度而只会引起溶质的析出。Degree of dissolution, 按字面来看也是溶解度,不知确否。离子在水中的溶解性,还可以称为 degree of solvation of ions by water molecules, 这里谈论的对象是 solvate。Solvent—solute interaction in solution (溶液中的溶质—溶剂相互作用)是非常棘手的问题,特别难以研究。幸运的是,在过去几年中我们基于

水溶液玻璃化温度具有普适性的事实获得了确定离子水合数的有效方法<sup>[1]</sup>。

通过减小溶解度或者去除溶剂可以让溶质析出。溶液法生长 (solution growth)是非常有效的晶体生长方法。一个晶体的外观既可能是由生长过程造成的,也可能是由于溶解(dissolution)过程造成的。一般来说,溶解过程存活下来的晶体可能会表现出一些圆角的、弯曲的面 (rounded, curved faces), 称为 dissolution form (图1), 与生长得来的由平面包围的晶体略有不同,这背后的原因是缺陷一般不会是活跃的生长中心但肯定是活跃的溶解或者腐蚀中心<sup>[2]</sup>。

## 2 Resolve

Resolve, 其前缀 re-的意思是 again, back, 其本义加上延伸的意思那就多了去了。下定决心, 下决心的过程, 以及下定决心达成的决议, 解释清楚, 等等, 都是 resolve 或者 resolution, 此处不论。用于科学语境, 使分解、使分开、使消释、使解体, 才是 resolve 的本义。

Resolve的使分开的意思可用于表征各种成像装置。Resolution, resolving power, 汉译分辨率、分辨本领, 度量的是装置分辨细节的能力, 这是任何成像系统的关键指标。光学显微镜此前有半波限制

的说法, 即可分辨的最小尺度不小于所使用光波之波长的一半, 即不好于 200 nm。近场光学的应用, 将光学显微镜的分辨本领推进到 10 nm 的量级。利用电子成像的系统, 扫描电镜的分辨本领目前能达到 0.1 nm, 而透射电镜和扫描隧道显微镜更是能获得清晰的原子像了。当然, 不可忘记的是, 分辨本领的定义中总包含人的因素, 人眼能否分辨其所获得的像(image)的细节定义了成像系统对物(object)的分辨本领(图2)。

Resolve的使分解的意思可以和分析(analysis)比照着理解。波义耳发展了探测物质之组分的技术, 将相应的过程称为 analysis (up + to loose)。他得出的一个重要结论是元素最终是由一些不同种类的、不同尺寸的粒子所组成, 这些粒子 were not to be resolved in any known way (用任何已知手段都不能将之分解了)。

类似于存在对应 solve 有 solvent, 对应 resolve 也有 resolvent 此一概念, 而且是代数方程理论、群论中非常重要的概念, 汉译分解式。Resolvent, 指 that which resolves, 乃可分解之物而非分解的产物, 与 solvent (溶质)的意思一致。Resolvent, 由 solve an equation 的实践而来。拉格朗日 1770 年在其 *Réflexions sur la résolution algébrique des équations*(关于方程的代数分解的思考)一文中, 籍由分解式的方法研究一元三次方程的解。他把方程的三个根( $x_1, x_2, x_3$ )转换为三个分解式

$$\begin{aligned} r_1 &= x_1 + x_2 + x_3 \\ r_2 &= x_1 + \zeta x_2 + \zeta^2 x_3 \\ r_3 &= x_1 + \zeta^2 x_2 + \zeta x_3 \end{aligned}$$

其中  $\zeta$  是  $\zeta^3 = 1$  的某个(非为 1 的)根。Resolvent 概念的提出, 是为



图1 天然金刚石的 growth form (左)与 dissolution form 比较。Dissolution form 外观上具有弯曲的面



图2 分辨与无法分辨, 说的是人眼看像的效果

了把高次方程降为低次幂的方程从而方便求解。比如对于一元三次方程  $x^3+ax^2+bx+c=0$ ，其分解式是一元二次方程  $z^2+(2a^3-9ab+27c)z+(a^2-3b)^3=0$ ，三次方程的解之一表示为  $x=(-a+z_1^3+z_2^3)/3$ 。

分解式的引入是为了获得降幂的辅助代数方程(auxiliary equation)。利用 resolvent 的概念，发现由三次方程得到的辅助方程是二次，由四次方程(quartic equation)得到的辅助方程是三次的，故分别被称为 resolvent quadratic 和 resolvent cubic。然而，五次方程(quintic equation)的 resolvent equation 却是六次的(sextic)，这条路走不下去了。为什么呢？对这个为什么的回答，引来了伽罗华理论，那里有个 solvable group (可解群)的概念是回答这个问题的关键<sup>4)</sup>。

Resolvent 还出现在算子理论中。一个自伴随算符  $\hat{A}$  的本征值问题的 resolvent，定义为  $G_i=(\hat{A}-\lambda I)^{-1}$ ，格林函数就是这个 resolvent 的核。这是量子力学的基础，按说量子力学的一般教程里应该提及。

### 3 数学与物理里的 absolute 存在

动词 absolve, to loose from, to free from, 本义是免除、解除，用于 absolve from sorrow (duty, promise, guilt, penalty, etc.)，即免除或解除烦恼(义务、承诺、罪责、惩罚等)。Absolute 作为形容词，意思是 not dependent on or without reference to anything else, not relative,

即不依赖于其它东西的存在或以之为参照(relative)。汉译绝对，只体现了后一重意思。绝对，北京话加儿化音就成了绝对儿，不过这可以理解为一个绝-对儿。据说“寂寞寒窗空守寡”这上联是宋朝李清照女士所出，因七字皆是宝盖头故而特别难对，一直寻求下联未果。笔者去年见到这幅上联，半小时给出了一个下联“污浊泥淖没沉沦”，或许算对上了也未可知。我觉得这一联可影射红楼梦里两个人物，若说上联说的是李纨，这下联应该说的是妙玉。此是闲话，打住。

Absolute 作为形容词出现的重要数学概念除了人们熟知的 absolute value, 绝对值，即不涉及方向意义的值，还有 absolute differential calculus, 绝对微分学。这是意大利人创造的学问，意大利文为 calcolo differenziale assoluto<sup>5)</sup>。因为采用曲线坐标处理弯曲空间里的微分问题，坐标系是局域的，且量与方程的表达形式不依赖于坐标系的选择(independent of any coordinates)，具有 absolute 的含义，故得名。绝对微分学乃理解广义相对论的必备数学知识。相对论本质上是绝对论，是关于物理规律之不变表达的理论，此为论据之一。爱因斯坦和此学问之创立者 Tullio Levi-Civita 多有书信往来，从中可以参悟绝对微分学在创立广义相对论过程中的作用。

物理学中用绝对修饰的概念，如绝对温度、绝对温标、绝对熵(计算)、绝对时空等，那可是绝对重要、绝对不易理解的概念。先说绝对温度(absolute temperature)。从摄氏温度参照点(0 °C和 100 °C)附近气

体体积随温度的变化出发，将温度—体积关系向低温方向外推，会发现对应体积  $V=0$  的摄氏温度约为 -240 °C(当年的数据)，将那里定义为 0 度的温度标准(temperature standard)，即是绝对温度，符号为 K。绝对温度没能满足绝对的 without reference to anything 的条件，其具有唯一的参照点，即水的三相点(选择三相点，免除了对压力的定义)，数值定为 273.16 K。绝对温度 0 K 不可达到，被有些人赋予了莫须有的庄严而大加讨论。其实，愚以为正确的理解是，温度既然和压力同样作为强度量，则其应为一个自零开始的量是天经地义的。绝对温度的 0 值不可达到，同压力的 0 值不可达到(玩过真空的都明白)一样，没有任何特殊的地方。关于此问题，康德也早有论述。

然而，关于温标，还有一个词 temperature scale 才是需要深入讨论的。Scale, a series of marks along a line, at regular or graduated intervals, used in measuring or registering something, 关键是标示的间隔如何定。必须认识到，即便有了绝对 0 K 和水的三相点 273.16 K 作为参照，这中间的某个温度，比如氢气的液化温度，到底该取值多少也取决于 temperature scale (温度标度)的选择，因为任何不会把冷热程度的顺序弄混的 temperature scale 都是合理的<sup>6)</sup>，这个 temperature scale 才是温标要关切的问题。开尔文爵士引入的绝对温标，是可将热力学第二定律表达为  $Q_1/T_1-Q_2/T_2=0$  的温标(愚以为热力学第二定律，如同第一定律一样，应该表述为一个方程！由此方程导出了熵概念)，或者是可

4) 1994年我闲坐在图书馆里摆弄这个问题几个月，自己走到了 resolvent 表达式，但往下就走不动了——到底没有研究数学的能力。那时候还不知道这是 200 多年前拉格朗日玩过的。

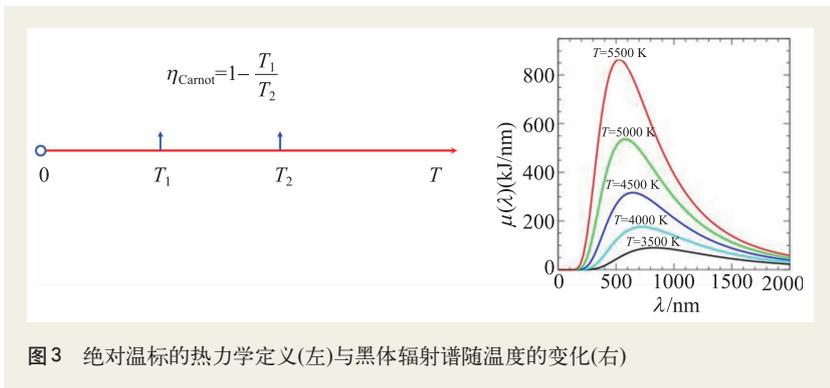


图3 绝对温标的热力学定义(左)与黑体辐射谱随温度的变化(右)

将工作于  $T_1$  和  $T_2$  之上的理想热机效率表示为  $\eta = 1 - T_2/T_1$  的温标。不幸的是，这个绝对温标的定义却没有可操作性，即无法拿这个温标去实现精确的温度标定。当前，将黑体辐射(应为空腔辐射)的 Wien 位移定律当作硬性的物理定律，即热平衡时空腔辐射谱的极值频率与温度成正比(图3)，则温度的精确值就可以由光谱的极值频率予以标定——其它依赖于温度的物理规律以此温标来表述其规律的数学形式。这和电压的标准为频率同出一辙——频率，可数的物理量，才是测量。所谓的宇宙背景辐射的温度，就是这么确定的。Absolute temperature 的定义有物理图像，可从其它众多物理现象中的温度依赖规律中挑出一个具有简单的、可精确测量的物理量的(空腔辐射谱)，将该物理量(极值频率)作为温度的量度(请记住，没有测量温度的温度计!)。绝对温度是个可触摸的概念。

自从熵被从公式  $\oint \frac{dQ}{T} = 0$ ，  
 $\int_A^B \frac{dQ}{T} = S(B) - S(A)$  引入以后，熵

给定的就是相对值，即一般涉及的是过程中的熵变  $\Delta S$ 。在热力学的主方程 (cardinal equation)  $dU = TdS - pdV + \dots$  中，熵是以  $dS$  形式出现的。计算熵的绝对值 (absolute entropy calculation) 一直是一些科学家的追求。然而，莫说是在变换  $F = U - TS$  中，即便是在玻尔兹曼的熵公式  $S = k \log W$  中，看似是绝对的熵也不过是个假象。注意，所谓的状态数  $W$ ，取决于考虑进去的自由度，而关于一个具有熵概念的大粒子数体系，在计算熵时到底要考虑哪些自由度也是物理学家可以自由选择的，也就是说  $S = k \log W$  中的熵依然是取其相对数值。至于说到热力学第三定律以绝对温度 0 K 时的熵  $S=0$  作为绝对熵计量的起点，那就有点太 naïve 了。体系接近绝对温度时，体系的状态数未必是 1——简并度如今可不是个陌生的概念。此外，体系接近零温的过程中不知道一路上有多少自由度被冻结了，这些作为构型熵，其贡献就不为零。

物理学中最不易理解的概念是

牛顿的绝对时间 (absolute time)、绝对空间 (absolute space)，可作为描述物理的优选参照系。根据牛顿的说法，绝对的时间和绝对空间 do not depend upon physical events (不依赖于物理事件)，而这正是 absolute 的本义。与牛顿不同，莱布尼兹则认为空间不过是物体的相对位置，而时间则来自物体的相对运动。狭义相对论把时间和空间放到一起作为时空处理，放弃了绝对同时性 (absolute simultaneity)，即不依赖于参照系的事件同时性。不过，先把绝对时间这种抽象概念放一边，还是讨论我们的 relative and common time, which is a sensible and external (whether accurate or unequal) measure of duration by the means of motion，即我们以运动(石英晶片振荡或者原子谱线)加以测定的时间。当我们把电磁学的动力学方程和引力的动力学方程放在一起比较的时候，这两个方程中的时间，电磁学的时间  $t_{em}$  和引力的时间  $t_g$ ，有相同的 scale 吗？或者退一步说，它们之间存在线性关系  $t_{em} = at_g$  吗？这里想说的是，没有严肃的以某个动力学方程所规定的时间去考察印证别的动力学方程的努力<sup>[5]</sup>。此外，似乎没有理由认为在宇宙的演化过程中，不同相互作用中的时标是不变的。相关问题有深入讨论的必要<sup>[6]</sup>。有必要多啰嗦一句，牛顿的绝对时间和绝对空间，或者说数学的时间和空间，经历过马赫的经典力学和爱因斯坦相对论的非难，反过头来看才

5) Newton, verzeih' mir; du fandest den einzigen Weg, der zu deiner Zeit für einen Menschen von höchster Denk- und Gestaltungskraft eben noch möglich war. Die Begriffe, die du schufst, sind auch jetzt noch führend in unserem physikalischen Denken, obwohl wir nun wissen, daß sie durch andere, der unmittelbaren Erfahrung ferner stehende ersetzt werden müssen, wenn wir ein tieferes Begreifen der Zusammenhänge anstreben. 这是爱因斯坦纪念牛顿逝世 200 周年时的讲话，收录于 P. A. Schilpp, *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Braunschweig 1979, S. 12. 大意是：“牛顿，原谅我。你找到了唯一的道路，你那个时代具有最高的思考与构造能力的人才可能找到的路。你创立的概念，今天仍然引领着物理的思考，尽管我们现在知道，当我们追求更深入地把握联系时，它们必须被别的、更加远离直观经验的概念所取代。”

见其高明。爱因斯坦的“Newton, verzeih mir!”<sup>5)</sup>, 我宁愿将之诠释为理解后的心悦诚服。通过对实在的思考而达成的脱离了一切实在的抽象, 才是物理学的实在。

#### 4 结语

西文中的同一个词, 在不同学科中有不同的汉译, 这是一个妨碍从中文理解科学的不可小觑的问题。此前讨论过的案例有 vector, 它被翻译成向量、矢量、载具、(病毒、细菌)携带者, 等等。在数学、物理中把 vector 理解成矢量(带箭头的量), 大概有碍于对 vector field (vectorial field, 矢量场) 这个概念的理解。本篇中谈论的 resolve 及其众多的同源词, 又让我们注意到了西文汉译的另一个困难。英语一个词

常常表示动作、动作的结果以及作为动作结果的实体, 而翻译时我们会用不同的汉语词汇, 这样必然会带来误解或者错失相关概念之间的内在联系。比如在 soap solution provides analogue solutions to the minimum surface problem (肥皂溶液提供了最小面问题的类比解)和 to work with the expected solution to a problem leads to the solution of that problem! (对一个问题预期解的研究导致了问题的解决)两句中, 我们的解、解决和溶液对应的英文只有 solution 一个字! 而由一个西文词衍生的关联词汇, 在汉语中被翻译成字面上看似不相干的多个词, 更是司空见惯。汉译会丢失原文的内在关联, 是翻译数理文献者应该格外关注的问题。

噫吁嚱, 迥然异哉! 翻译之难, 难于上青天!

#### 参考文献

- [1] Wang Q, Zhao L S, Li C X, Cao Z X. The decisive role of free-water in determining ice homogeneous nucleation behavior of aqueous solutions. *Scientific Reports*, 2016, 6:26831
- [2] Sunagawa I. *Crystals: growth, morphology and perfection*. Cambridge University Press, 2005
- [3] Levi-Civita T. *Lezioni di calcolo differenziale assoluto*. Roma, 1925
- [4] 曹则贤. 物理学咬文嚼字之二十八: 阅尽冷暖说炎凉. *物理*, 2009, 38(10): 751
- [5] 汪克林, 曹则贤. 时间标度与甚早期宇宙疑难问题. *物理*, 2009, 38(11): 769
- [6] 汪克林, 曹则贤, 私人通讯

## 利用声音测量微小物体质量

质量是重要的物理量, 可以提供关于物体性质的重要信息。但是称量微量量级的生物样品, 比如液体中的胚胎, 是非常棘手的。使用标准的实验室设备很难进行。

为了解决这一问题, 加利福尼亚大学 Riverside 分校的 William Grover 等用普通的电子学仪器和弯成“U”字形的短玻璃管, 研制出一种简单的质量传感器。玻璃管与一小的扬声器相连, “U”字形的底部通过一个光斩波器, 这种仪器采用发光二极管和光敏元件探测是否有物体存在。这种简单装置的花费只需 12 美元左右, 却可以测定微量量级的物体的质量, 分辨

只有几百纳克。

利用来自探测振动速率的光斩波器的反馈信号, 扬声器保持玻璃管以其共振频率振动。当对一物体进行称量时, 将物体抽运通过玻璃管, 使玻璃管的共振频率发生变化。这一变化被光斩器探测并用于计算物体的质量、体积和密度。

传感器用已知质量的微粒进行标度。研究团队还演示了传感器可以测量斑马鱼胚胎在与毒素起反应时质量的变化, 这是常用的研究胚胎发育的范例。该装置还用于测量医学植入物的纳米量级的生物材料的退化速率, 以及测量发芽中的种子的质量和密度的变化。有关研究工作发表在 2017 年 4 月 5 日出版的 *PLOS ONE* 上。

(周书华 编译自 *Physics World News*, 11 April 2017)